

**除去土壌等の再生利用に係る放射線影響に関する  
安全性評価検討ワーキンググループ（令和元年度第2回）**

令和2年2月10日（月）

10:00～12:00

於：（公財）原子力安全研究協会

議事次第

1. 開会
2. 議題
  - (1) 今後の試験栽培について
  - (2) 最終処分の方向性の検討について
  - (3) その他
3. 閉会

配付資料一覧

- |        |                  |
|--------|------------------|
| 放安 WG1 | 今後の試験栽培について      |
| 放安 WG2 | 最終処分の方向性の検討      |
| 参考資料 1 | 除去土壌再生利用実証事業について |

# 今後の試験栽培について

令和2年2月10日  
環境省

# 1. 令和2年度における試験栽培について（1）

## 目的

- ・ 村の要望等を踏まえ、継続的に試験栽培を実施する（可食物を含む）。
- ・ 安心して農地利用ができるよう異常時の評価として覆土が無い場合の試験栽培も実施する。

## 留意事項

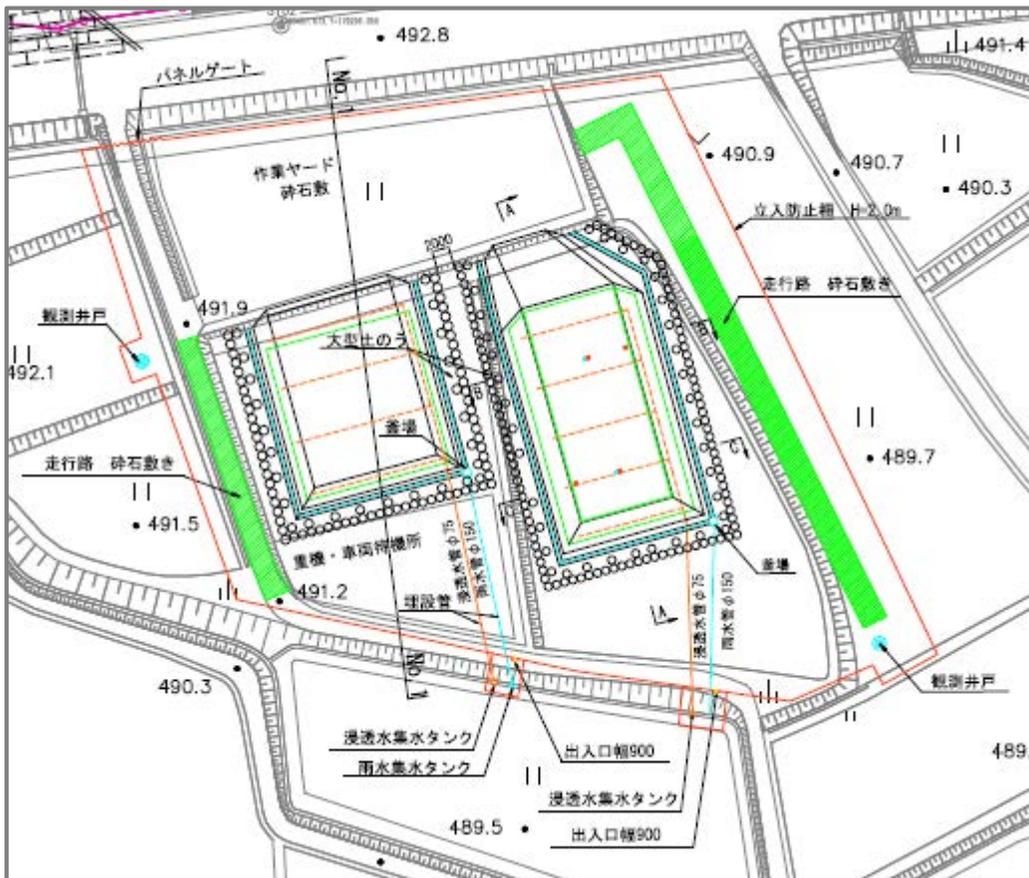
- ・ 出荷制限解除を目的としたものではない。

## 実施概要

- ・ 覆土50cm及び再生資材上で試験栽培を行う。
- ・ これまでと同様に、農林水産省が推奨している福島県の施肥条件を利用。
- ・ 作物の選定は以下を考慮する。
  - － 地元からの要望
  - － 上期中に収穫評価が可能な作物を優先し、その後、作付けが可能な作物

# 1. 令和2年度における試験栽培について（2）

## 露地栽培



盛土ヤード全体平面図

## 西側盛土

○12区画のうち3区画はジャイアントミスカサスを継続栽培（R1.6月より栽培）

○12区画のうち9区画で、食用作物を栽培する予定。  
作目については、短期で収穫できる事、大規模な設備が不要な事等を考慮し以下を想定している。

例) トウモロコシ、トマト、キュウリ、大根等

## 東側盛土

○暗渠（スライド4参照）を設置し試験を実施。

その後、露地栽培にて花き類を栽培する。  
作目は以下を想定している。

例) かすみ草、リンドウ、小菊、ソバ等

# 1. 令和2年度における試験栽培について（3）

## ハウス栽培

### ○作目

トルコギキョウ、ストック、カンパニュラ等

### ○育成方法

遮へい土（山砂）で作成された盛土において、すき込みや施肥を実施し花き類が育成することを確認する。

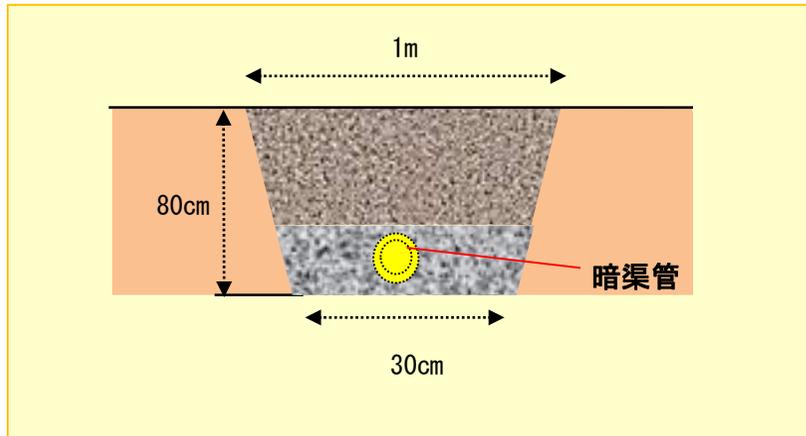
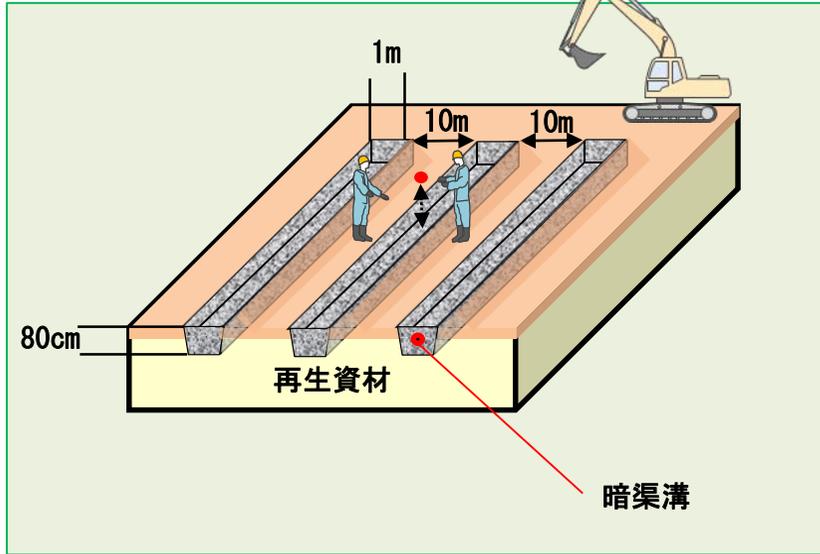
現状の区画に限定されることなく栽培する。

（ハウス：5.4×14m）



## 2. 暗渠施工作業者の放射線影響

### 暗渠施工イメージ



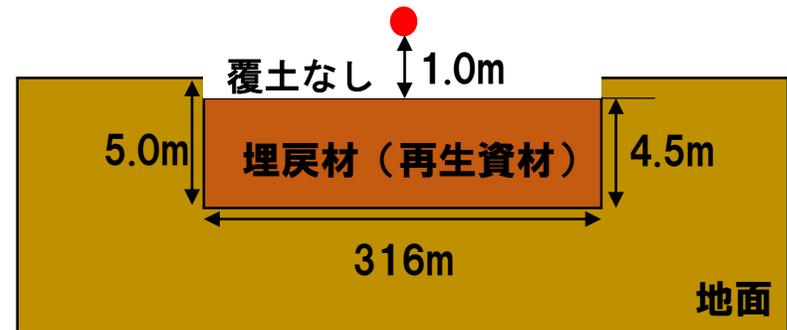
暗渠溝断面図例

### 暗渠施工作業者の外部被ばく線量

- ・ 暗渠溝の掘削工事による再生資材の露出面積は、農地造成面積の極一部であり、暗渠施工時の平均的な空間線量率は、農地造成作業時に比べて小さい。従って、暗渠施工作業者の外部被ばく線量評価は、農地造成作業者の外部被ばく線量評価に包含される。

\* 農地造成作業者の外部被ばく線量  
(H29年度第8回中間貯蔵除去土壤等の減容・再生利用技術開発戦略検討会 参考資料1より抜粋)

- ・ 被ばく時間1,000h/y
- ・ 1年施工時の1mSv/y相当濃度 → 5,225Bq/kg



農地造成(10ha)作業者の外部被ばく線量評価体系

# 3. 再生資材を用いた観賞用プランターの周辺線量の確認（1）

## 目的

- 再生資材を利用した観賞用プランターで植栽試験を行い、周辺線量を確認する。

## 実施場所

- 技術実証フィールド

## 実施概要

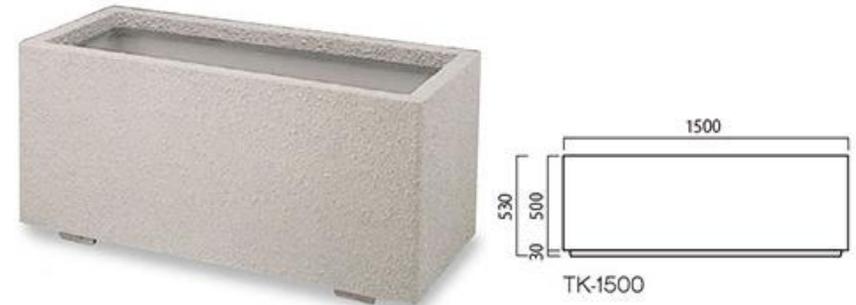
- 観賞用プランターに再生資材＋覆土を充てんし、パンジー等を植栽する。
- プランター周辺の空間線量率を測定・確認する。
- 浸出水及び試験後の花きの放射能濃度を測定・確認する。



植栽イメージ



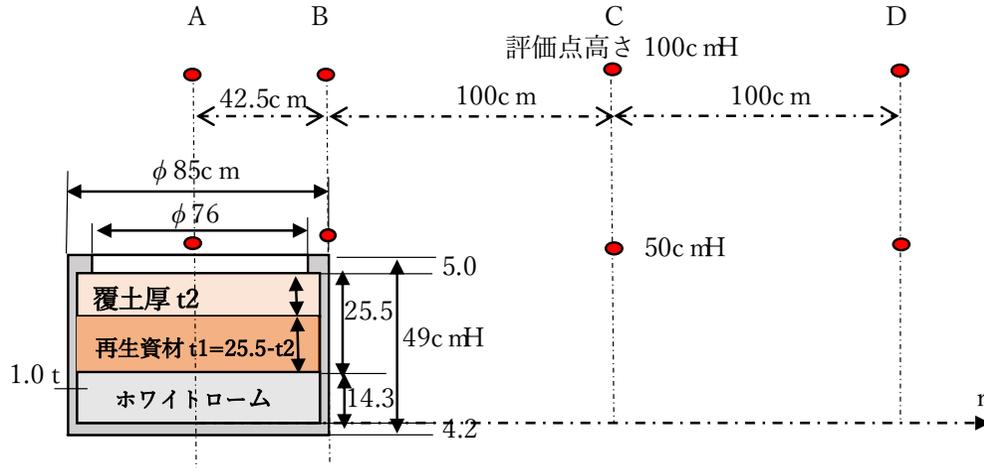
丸型 TM-850-SGR



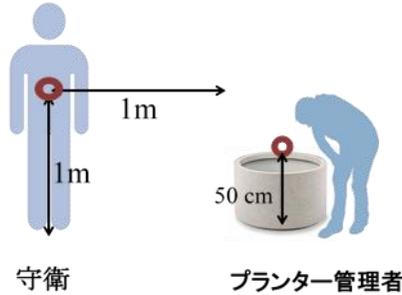
角型 TM-1500-SGR

# 3. 再生資材を用いた観賞用プランターの周辺線量の確認（2）

丸型プランター  
TM-850-SGR

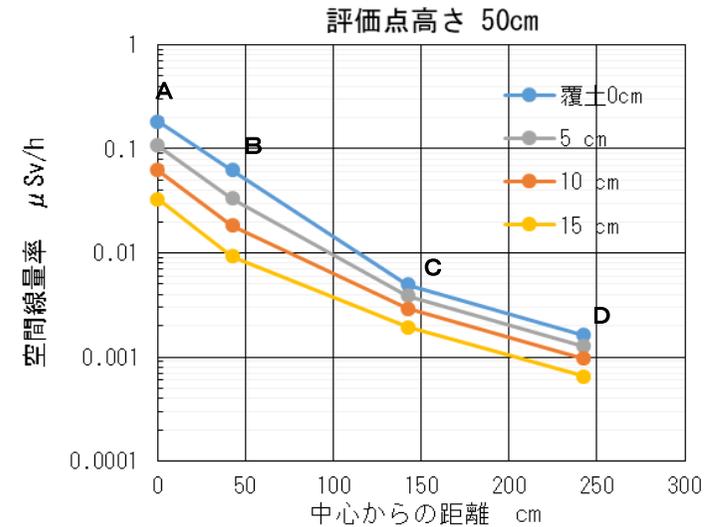
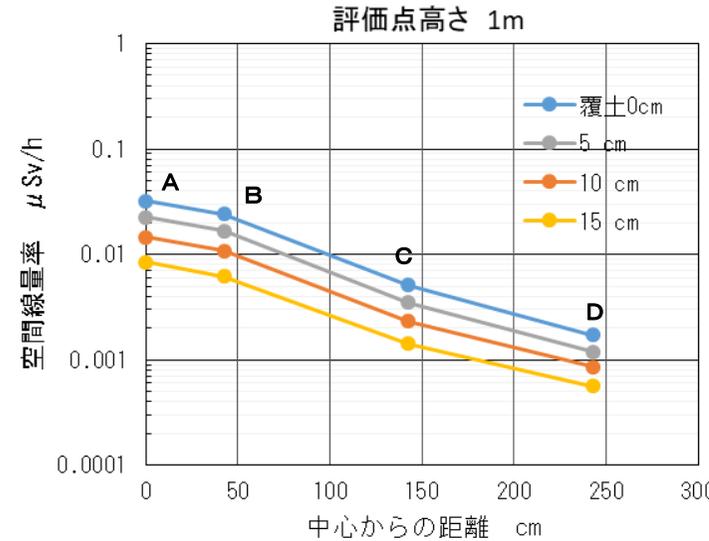


- 計算コード：ガンマ線遮蔽計算コードQAD-CGGP2R  
 計算条件：  
 ・覆土厚パラメータ ( $t_2 = 0, 5, 10, 15\text{cm}$ )  
 ・再生資材：2,000 Bq/kg（密度：1.0 g/cm<sup>3</sup>）  
 ・覆土：汚染なし（密度：同上）



## 外部被ばく線量評価（覆土15cmの場合）

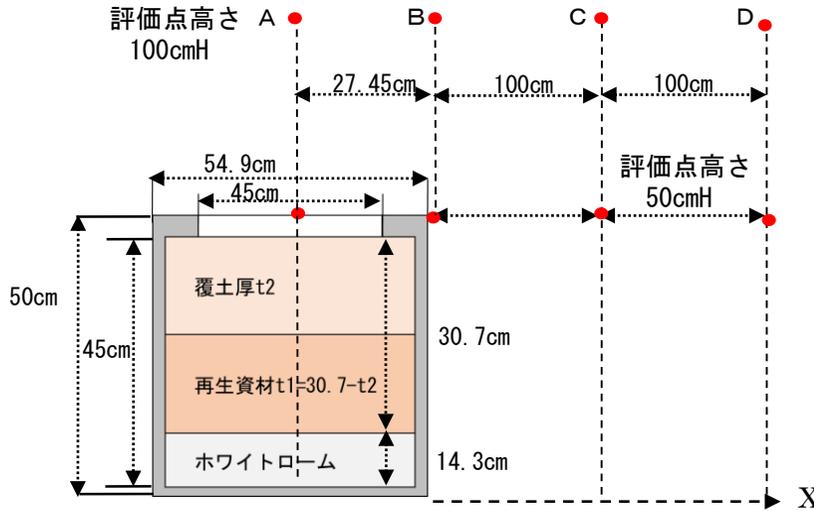
覆土厚 (cm)	再生資材厚 (cm)	評価対象者	評価点	暴露時間	空間線量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	年間線量 ( $\mu\text{Sv/y}$ )
15	10.5 (容量56.8L)	守衛	側面距離1m 高さ1m	1日7時間勤務 年240日勤務 合計1,680h/y	0.0014	2.4
		プランター 管理者	中心0m 高さ50cm	週1回4時間手入れ 植え替え8時間（年2回） 合計224h/y	0.033	7.3



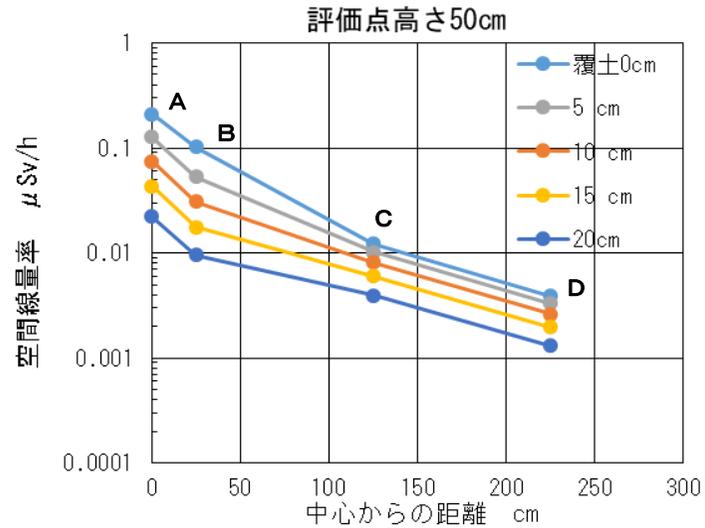
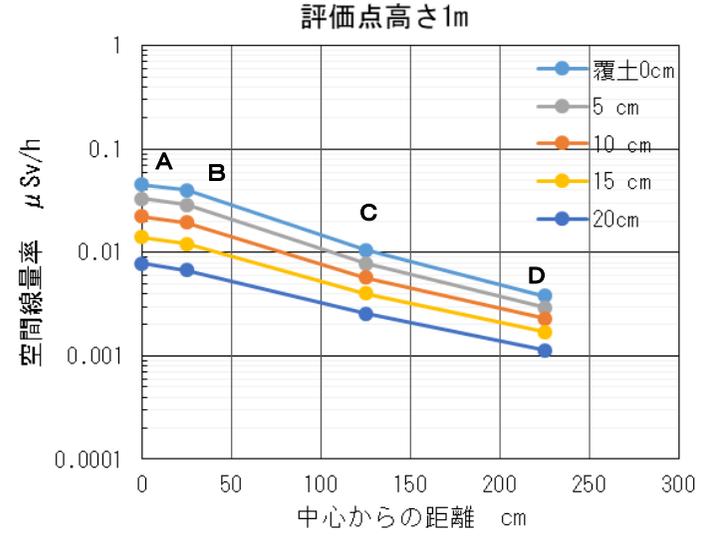
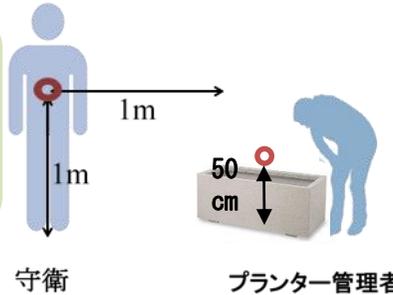
空間線量率分布  $\mu\text{Sv/h}$

# 3. 再生資材を用いた観賞用プランターの周辺線量の確認 (3)

角型プランター  
TM-1500-SGR



計算コード：ガンマ線遮蔽計算コードQAD-CGGP2R  
 計算条件：  
 ・覆土厚パラメータ (t2=0, 5, 10, 15, 20cm)  
 ・再生資材：2,000 Bq/kg (密度：1.0 g/cm<sup>3</sup>)  
 ・覆土：汚染なし (密度：同上)



## 外部被ばく線量評価 (覆土20cmの場合)

覆土厚 (cm)	再生資材厚 (cm)	評価対象者	評価点	暴露時間	空間線量率 (μSv/h)	年間線量 (μSv/y)
20	9.5 (容量74.5L)	守衛	側面距離1m 高さ1m	1日7時間勤務 年240日勤務 合計1,680h/y	0.0024	4.0
		プランター管理者	中心0m 高さ50cm	週1回4時間手入れ 植え替え8時間 (年2回) 合計224h/y	0.021	4.7

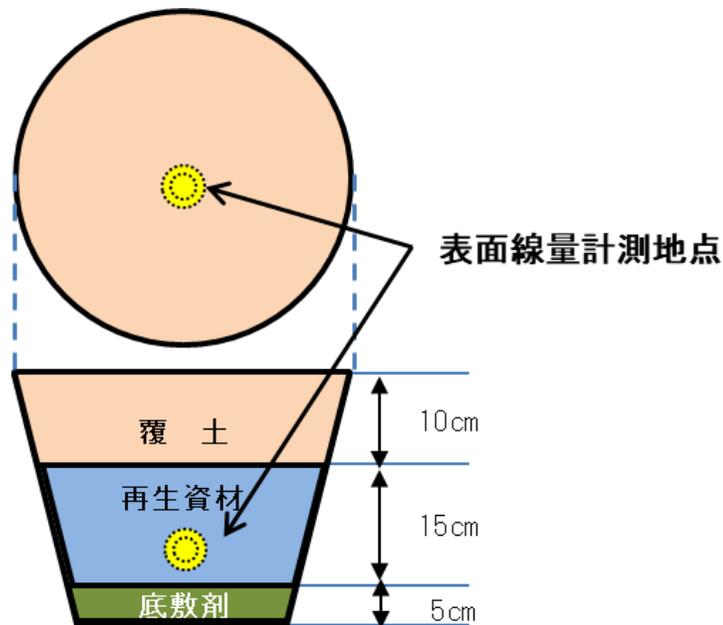
空間線量率分布 μSv/h

### 3. 再生資材を用いた観賞用プランターの周辺線量の確認（4）

#### 室内観葉植物ポット植栽試験

1. 花きとして観葉植物を植栽し、表面線量を測定する。
2. 浸出水については底部にある通水孔から放射能濃度等を計測する。
3. 乾燥粉碎後放射能濃度を計測する。

観葉植物



フレグラーポット30型  
材質ポリプロピレン

#### 外部被ばく線量概算（2,000Bq/kg、覆土10cm）

覆土厚 (cm)	再生資材厚 (cm)	評価対象者	評価点	暴露時間	空間線量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	年間線量 ( $\mu\text{Sv/y}$ )
10	15 (容量14L)	居住者	距離 3m 高さ 1m	1日8時間×250日/y ×0.5 (在室時間) 合計1,000h/y	5.7E-5	0.06

類似のM型プランタから再生資材量比（約1/10）で換算・外挿

# 最終処分の方向性の検討

令和2年2月10日  
環境省

# 1. 検討の内容・手順

## 検討のアプローチ

- ・ H30年度は、最終処分の対象となる土壌（減容ケースゼロ、Ⅰ、Ⅱ）について、埋立処分の検討を実施。今年度は、最終処分の対象となる廃棄物（減容ケースⅢ、Ⅳ）について、特措法の特定廃棄物の埋立処分規準に基づき最終処分の検討を行う。
- ・ 本検討においては、第11回戦略検討会における減容技術（分級処理、化学処理、熱処理等）の絞り込みの検討を踏まえ、最終処分対象廃棄物の物量、濃度、性状等の条件を試算する。
- ・ 現状有力な熱処理/洗浄処理を想定した場合、最終処分対象廃棄物は10万Bq/kg以上になり、遮断型最終処分相当の埋立処分（特措法施行規則第26条）に該当することから、廃棄物の安定化処理（廃棄体化処理：セメント固化、ガラス固化等）について減容、コスト等の観点から比較検討を行う。
- ・ ここでは、処理コストと高減容・耐浸出性の両端の特質をもつセメント固化とガラス固化の2つのケースを想定して安定化処理後（廃棄体）の物量及び放射能濃度を試算し、埋設処分の検討を行う。
- ・ この際、廃棄物の減容化に加えて廃棄体の耐浸出性の観点から、ガラス固化を想定した安定型最終処分の技術的可能性についても比較検討を行い、安全かつ合理的な最終処分の方向性の検討を行う（特措法施行規則改正も視野）。

## 検討条件

- ・ 最終処分の対象となる物量等は、昨年度の推計値（第10回戦略検討会）を踏襲。

# 2. 減容技術の絞り込み検討（減容・再生利用技術実証の現状把握・評価(1)）

## ■ 除去土壌

## 第11回戦略検討会資料抜粋

技術区分		除染率※1 【%】 〈件数〉	濃縮率※2 【倍】 〈件数〉	処理コスト※3 【万円/t】 〈件数〉	メリット	デメリット	適用性評価
分級処理	小規模事業	10~98 (平均74) 〈36件〉	1.3~34 (平均6.1) 〈15件〉	0.4~4.4 (平均1.3) 〈22件〉	重金属除去で実績あり。実用化段階の技術が多い。大量かつ比較的安価に処理が可能。	粘土分の割合が高い土壌は濃縮物量が多くなるため効果的な分級が難しい。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・土壌D (10.4万m<sup>3</sup>、31.2万Bq/kg) の再生資材化 (除染率95~99.9%必要) への適用は困難。</li> <li>・土壌C (131.8万m<sup>3</sup>、2.57万Bq/kg) の再生資材化 (除染率40~74%必要) に対しては、安価で十分な除染効果を発揮する。</li> <li>・国直轄の分級処理システム実証試験 (大熊町) では100t/日の処理能力が実証されている。</li> </ul>
	国直轄	通常分級 64~77 (平均72) +高度分級 69~84 (平均78)	1.5~3.1	通常分級 ※4 2.2 +高度分級 2.6			
化学処理	小規模事業	33~98 (平均72) 〈7件〉	—	6~310 〈4件〉	砂質土に適用できるほか、粘性土にも効果がある。	セシウムの吸着材が必要。再生資材中に残留する溶媒等の処理や排水処理が必要。土壌の性状や組成が変化するため、再生利用先の用途開拓が必要。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・土壌Dへの適用は困難。</li> <li>・土壌Cの分級脱水ケーキ (64.5万m<sup>3</sup>、5.53万Bq/kg) の再生資材化 (除染率71~88%必要) への適用は除染率にばらつきがあるものの可能。</li> <li>・大量の廃液の処理が必要であり、大量の土壌処理には適さない。</li> </ul>
熱処理	小規模事業	94~99.8 (平均98.4) 〈5件〉	9~20 〈5件〉	10~22 〈3件〉	粘性土や砂質土などの性状にかかわらず適用でき、除染率も高い。	相当量の反応促進剤が必要なため、再生資材もその分増加。処理コストが高い。排気処理等が必要。土壌の性状や組成が変化するため、再生利用先の用途開拓が必要。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・反応促進剤 (CaCl<sub>2</sub>、Ca(OH)<sub>2</sub>等) が必要であるが、除染減容効果が非常に大きく、土壌C分級脱水ケーキ、土壌D、焼却灰の確実な除染減容が可能。</li> <li>・飯館村蔵平地区における実証事業で土壌、焼却灰、土壌+焼却灰に対して高い除染減容効果が実証されている。</li> </ul>
	国直轄	99.8	—	—			

平成23~30年度除染技術実証事業等（内閣府、環境省、JESCO）、除染・中間貯蔵関連技術探索サイト、平成26年度除去土壌等の最終処分に向けた減容化等に関する技術調査業務報告書（環境省）等より整理

※1 除染率 (%) = (1 - 再生資材の放射能濃度 ÷ 処理対象物の放射能濃度) × 100

※2 濃縮率 (倍) = 分離濃縮物の放射能濃度 ÷ 処理対象物の放射能濃度

除染率及び濃縮率は、各試験に用いた試料（土壌、焼却灰）の放射能濃度及び性状等が異なるため参考値

※3 処理コストは、排水処理等付帯設備の範囲やコスト評価項目（設備費、運転費、資材費、労務費等）が異なるため参考値

※4 分級処理（国直轄）の処理コストは、実証試験実施に要した作業員数・重機台数に基づいた試算

# 2. 減容技術の絞り込み検討（減容・再生利用技術実証の現状把握・評価(2)）

## 第11回戦略検討会資料抜粋

### ■ 焼却灰

技術区分		除染率※1 【%】 〈件数〉	濃縮率※2 【倍】 〈件数〉	処理コスト※3 【万円/t】 〈件数〉	メリット	デメリット	適用性評価
洗浄処理	小規模事業	55~92 (平均 77.7) 〈7件〉	460~1690 〈2件〉	5~7 〈4件〉	飛灰に付着しているセシウムは水に溶けやすく、高い除染率が得られる。	セシウムの吸着材が必要。 排水処理が必要。	今後は、熔融飛灰の実証試験が必要。
	小規模事業	99 〈1件〉	7~17 〈3件〉	—	除染率が高い。安定した熔融スラグ等が得られる。	反応促進剤が必要。 処理コストが高い。 排気処理等が必要。	飯館村蕨平地区における実証事業で <u>土壌、焼却灰、土壌+焼却灰に対して高い除染減容効果が実証されている。</u>
熱処理	国直轄	99.9	—	—			

平成23-30年度除染技術実証事業等（内閣府、環境省、JESCO）、除染・中間貯蔵関連技術探索サイト、平成26年度除去土壌等の最終処分に向けた減容化等に関する技術調査業務報告書（環境省）等より整理

※1 除染率（%） =  $(1 - \text{再生資材の放射能濃度} \div \text{処理対象物の放射能濃度}) \times 100$

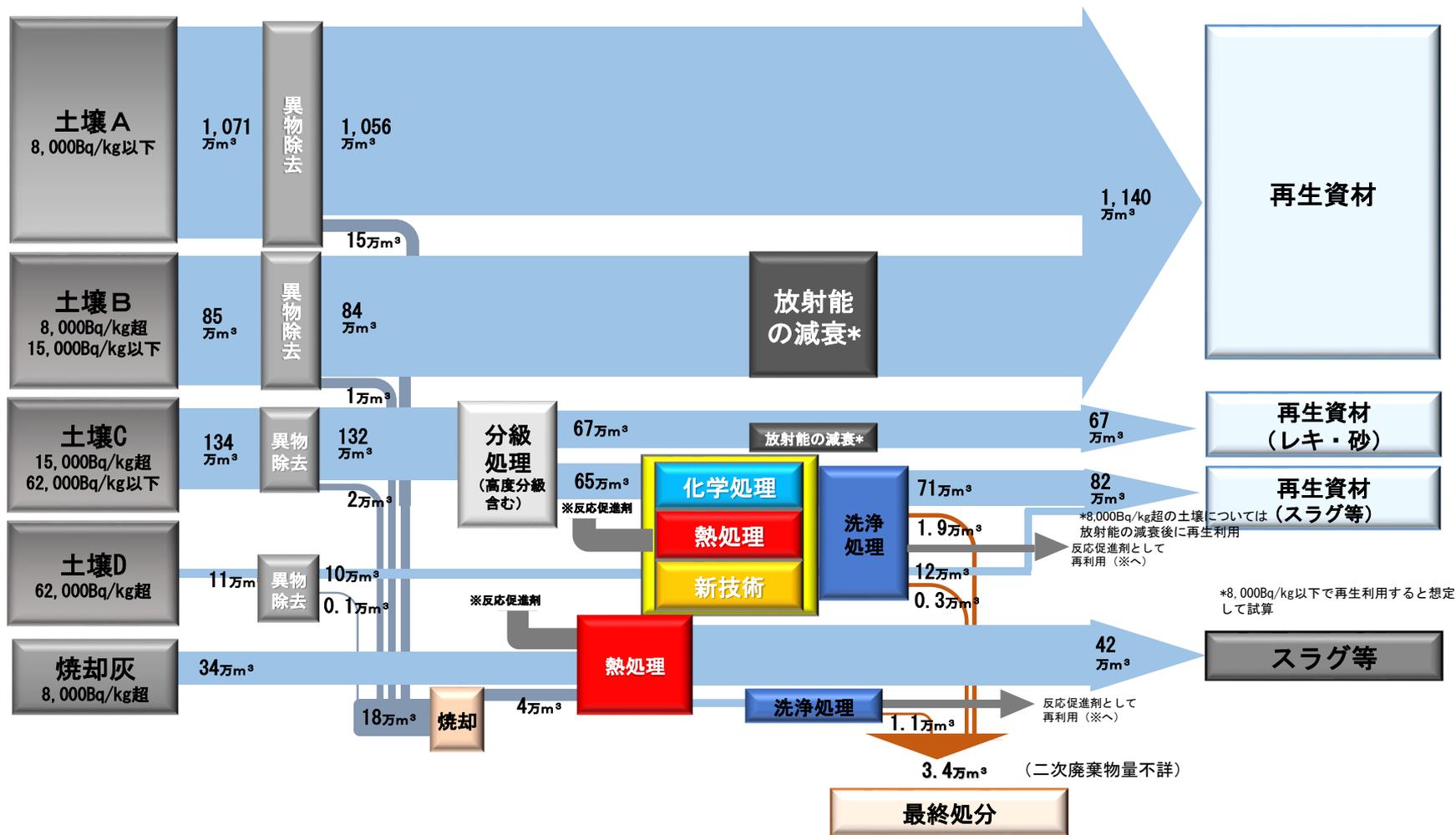
※2 濃縮率（倍） =  $\text{分離濃縮物の放射能濃度} \div \text{処理対象物の放射能濃度}$

除染率及び濃縮率は、各試験に用いた試料（土壌、焼却灰）の放射能濃度及び性状等が異なるため参考値

※3 処理コストは、排水処理等付帯設備の範囲やコスト評価項目（設備費、運転費、資材費、労務費等）が異なるため参考値

# 3. 最終処分対象物の物量等の試算（第9回戦略検討会資料抜粋）

## ・ 減容ケースⅣの物質収支の試算



※図中の放射能濃度は2018年10月末時点での評価。  
 また、図中の物量は、四捨五入し、整数値で表記。  
 但し、計算にあたっては小数点以下も考慮しているため、  
 図中に記載した整数値のみの計算とは必ずしも一致しない。

### 3. 最終処分対象物の物量等の試算（H30年度第1回放安WG資料抜粋）

- 最終処分の対象物のうち、溶融飛灰、洗浄処理後の廃吸着材等については、廃棄物であることから、特措法施行規則における特定廃棄物の埋立処分基準に基づき最終処分が実施されることと想定。
- 最終処分の対象物のうち、土壌については、ケースゼロで1,282万<sup>3</sup>、ケースⅠで142万<sup>3</sup>、ケースⅡで75万<sup>3</sup>。

最終処分の対象物  
（廃棄物、土壌）

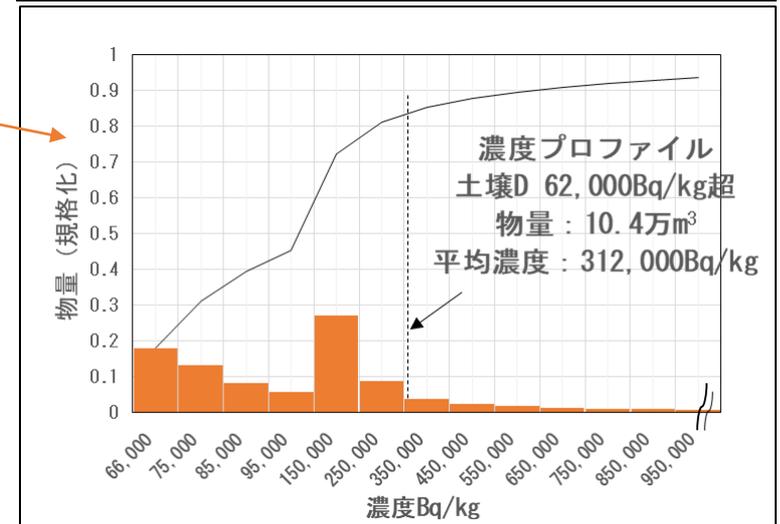
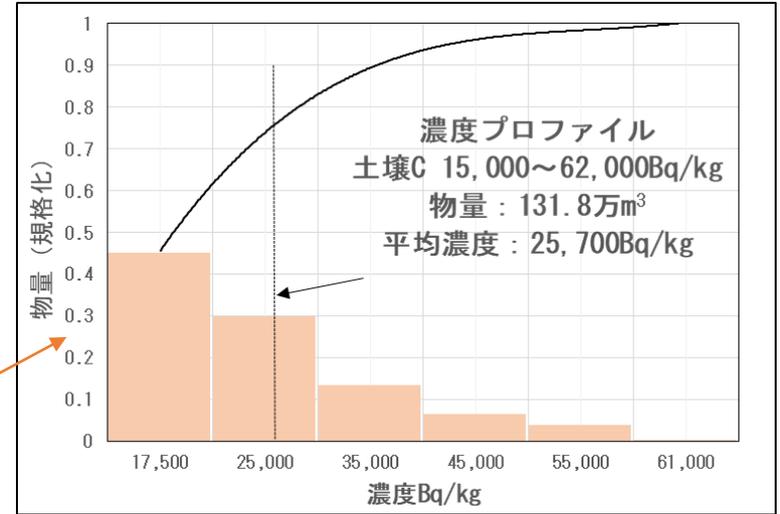
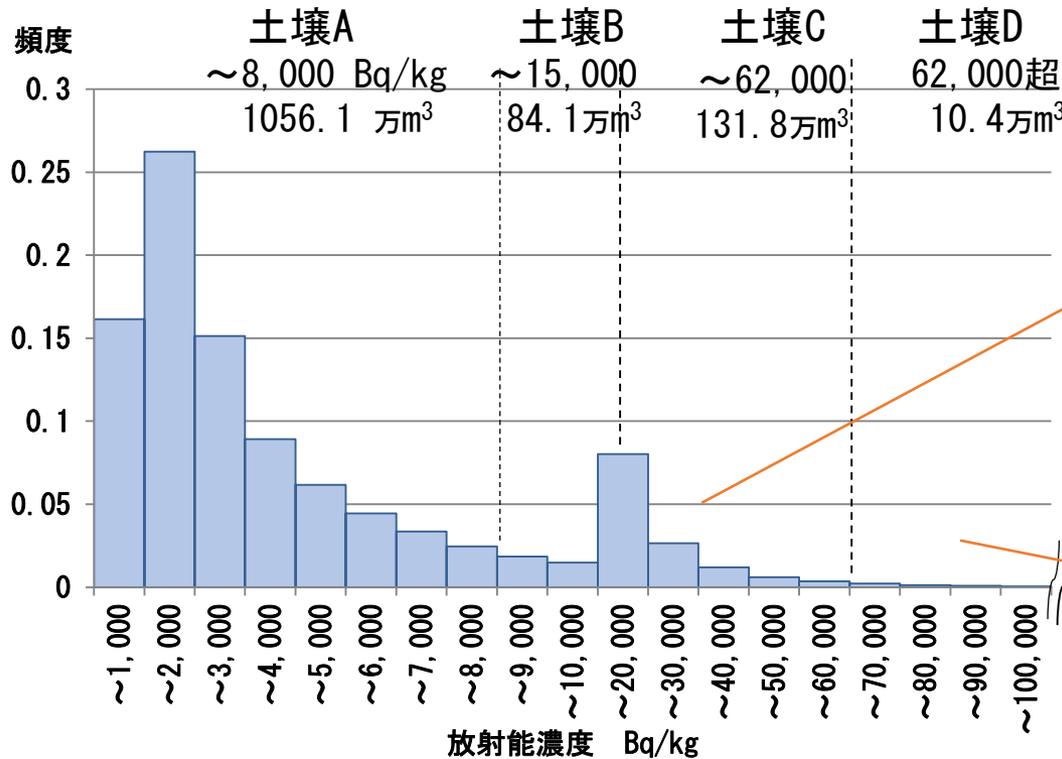
ケース	最終処分の対象物	性状	処分量
ケースゼロ	土壌A	土壌	1,056.1万 <sup>3</sup>
	土壌B	土壌	84.1万 <sup>3</sup>
	土壌C	土壌	131.8万 <sup>3</sup>
	土壌D	土壌	10.4万 <sup>3</sup>
	焼却灰を熱処理して得られる濃縮物	溶融飛灰等	9.5万 <sup>3</sup>
ケースⅠ	土壌C	土壌	131.8万 <sup>3</sup>
	土壌D	土壌	10.4万 <sup>3</sup>
	焼却灰を熱処理して得られる濃縮物	溶融飛灰等	9.5万 <sup>3</sup>
ケースⅡ	土壌Cを分級処理・高度分級して得られる濃縮物	脱水ケーキ	64.5万 <sup>3</sup>
	土壌D	土壌	10.4万 <sup>3</sup>
	焼却灰を熱処理して得られる濃縮物	溶融飛灰等	9.5万 <sup>3</sup>
ケースⅢ	土壌Cを高度処理して得られる濃縮物	溶融飛灰等	16.1万 <sup>3</sup>
	土壌Dを高度処理して得られる濃縮物	溶融飛灰等	2.6万 <sup>3</sup>
	焼却灰を熱処理して得られる濃縮物	溶融飛灰等	9.5万 <sup>3</sup>
ケースⅣ	土壌Cを高度処理＋洗浄処理して得られる濃縮物	洗浄処理後の廃吸着材等	1.9万 <sup>3</sup>
	土壌Dを高度処理＋洗浄処理して得られる濃縮物	洗浄処理後の廃吸着材等	0.3万 <sup>3</sup>
	焼却灰を洗浄処理して得られる濃縮物	洗浄処理後の廃吸着材等	1.1万 <sup>3</sup>

最終処分の対象物  
（土壌のみ）

ケース	処分量の合計（土壌のみ）	平均放射能濃度	
		2018年10月末時点	最終処分完了日（2045年3月） 時点
ケースゼロ	1,282万 <sup>3</sup>	約8,200Bq/kg	約4,100Bq/kg
ケースⅠ	142万 <sup>3</sup>	約54,000Bq/kg	約27,000Bq/kg
ケースⅡ	75万 <sup>3</sup>	約99,000Bq/kg	約49,000Bq/kg

# 3. 最終処分対象物の物量等の試算（除去土壤の濃度プロファイル）

・除去土壤の放射能濃度の試算に用いた濃度プロファイル



除去土壤（白タグ）の放射能濃度分布（輸送済み：現場発生フレコン除く）  
期間：輸送開始～H30. 10. 31まで N=1, 433, 359

注) 放射能濃度はフレコンの表面線量率から換算

### 3. 最終処分対象物の物量等の試算（濃縮率の設定）

対象物	処理技術	減容比 <sup>1)</sup>	除染率（濃縮比） <sup>2)</sup>	備考
土壌	土壌C分級 （高度分級込）	49 vol% （脱水ケーキ）	74 % （2.15倍）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・土壌C（131.8万m<sup>3</sup>）の分級（高度分級含む）により濃縮物（脱水ケーキ）は64.5万m<sup>3</sup>となる（第9回戦略検討会資料4）ことから、減容比を64.5/131.8=0.49と設定</li> <li>・土壌C分級の除染率74%は、H23-H29除染技術実証事業データの平均値（第9回戦略検討会資料4）を設定</li> <li>・熱処理および洗浄処理の減容比（25%×12% =&gt; 3vol%）は、現行の物質収支計算の設定値を踏襲。</li> <li>・熱処理の除染率は、H23～H29除染技術実証事業データに基づき、土壌熱処理では97%（5件の平均値）、焼却灰熱処理では99%（1件のみ）を仮定（第9回戦略検討会資料4）</li> <li>・洗浄処理の除染率は、90%と仮定（除染・廃棄物技術協議会：土壌、焼却灰で同等）</li> </ul>
	熱処理	25 vol% （溶融飛灰）	97 % （3.92倍）	
	洗浄処理	12 vol% （廃吸着材）	90% （7.60倍）	
焼却灰	熱処理	25 vol% （溶融飛灰）	99% （9.51倍）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・処理対象物のかさ密度：土壌1.54 t/m<sup>3</sup>、焼却灰1.2t/m<sup>3</sup>（廃棄物協議会資料）、溶融飛灰のかさ密度は、0.5t/m<sup>3</sup>と設定（平岡他：ごみ焼却飛灰の性状と処理技術の展望、廃棄物学会誌、Vol.5 No.1 1994を参照）</li> <li>・廃吸着剤のかさ密度は、0.5 t/m<sup>3</sup>と設定（UOP IONSIV IE90 製品相当：ユニオン昭和株式会社カタログ参照）</li> </ul>
	洗浄処理	12 vol% （廃吸着材）	90% （7.60倍）	

1) 減容比  $p = \text{濃縮物体積} / \text{処理対象物体積}$  注：減容率（再生資材化率） $= 1 - p$

2) 除染率  $d = 1 - \text{再生資材の単位重量当たりの放射能濃度} / \text{処理対象物の単位重量当たりの放射能濃度}$

濃縮比（倍） $= \text{濃縮物の単位重量当たりの放射能濃度} / \text{処理対象物の単位重量当たりの放射能濃度} = (1 - (1 - p') \times (1 - d)) / p'$

濃縮物重量比  $p' = p \times (\text{濃縮物密度} \rho_2 / \text{処理対象物密度} \rho_1)$

# 3. 最終処分対象物の物量等の試算（最終処分対象物の放射能濃度）

- ・ 土壌の放射能濃度は、昨年度用いた輸送済フレコンの濃度プロファイル（H30年10月末時点）に基づき設定
- ・ 濃縮物の放射能濃度の試算に用いた濃縮率は、H23～H30年度除染技術実証事業データ等に基づき設定

ケース	最終処分の対象物	性状	物量 (万m <sup>3</sup> )	濃度(Bq/kg)		
				2018年時点	2045年時点	
ケースゼロ	土壌A	土壌	1,056.1	2,520	1,260	平均 4,100
	土壌B	土壌	84.1	10,900	5,400	
	土壌C	土壌	131.8	25,700	12,800	
	土壌D	土壌	10.4	312,000	156,000	
	焼却灰を熱処理して得られる濃縮物	熔融飛灰等	9.5	317,000	158,000	158,000
ケース I	土壌C	土壌	131.8	25,700	12,800	平均 27,000
	土壌D	土壌	10.4	312,000	156,000	
	焼却灰を熱処理して得られる濃縮物	熔融飛灰等	9.5	317,000	158,000	158,000
ケース II	土壌Cを分級処理・高度分級して得られる濃縮物	脱水ケーキ	64.5	55,300	27,600	平均 49,000
	土壌D	土壌	10.4	312,000	156,000	
	焼却灰を熱処理して得られる濃縮物	熔融飛灰等	9.5	317,000	158,000	158,000
ケース III	土壌Cを高度処理して得られる濃縮物	熔融飛灰等	16.1	217,000	108,000	平均 170,000
	土壌Dを高度処理して得られる濃縮物	熔融飛灰等	2.6	1,220,000	610,000	
	焼却灰を熱処理して得られる濃縮物	熔融飛灰等	9.5	317,000	158,000	
ケース IV	土壌Cを高度処理＋洗浄処理して得られる濃縮物	洗浄処理後の廃吸着材等	1.9	1,650,000	820,000	平均 980,000
	土壌Dを高度処理＋洗浄処理して得られる濃縮物	洗浄処理後の廃吸着材等	0.3	2,370,000	1,180,000	
	焼却灰を洗浄処理して得られる濃縮物	洗浄処理後の廃吸着材等	1.1	2,410,000	1,200,000	

## 4. 安定化処理技術の現状把握・評価（第11回戦略検討会資料抜粋）

技術区分	方法等	対象物	充填率※1 (w%)	コスト※2 【万円/t】	メリット	デメリット
セメント固化	混練 <sup>1)</sup>	焼却灰	30~54	—	実用技術、実績あり、低廉安価	・所定の強度を得るためのセメント配合により処分重量が増加
		廃吸着材（ゼオライト）	40	—		
	超流体（粉体加振）工法による固化ブロック化	焼却灰	—	1.3~2.2		
	脱水固化砕石化	飛灰+粘性土	70	1.4		
ジオポリマー固化	アルカリ活性剤との縮重合反応による固化（貯蔵容器製作）	焼却灰	—	—	セメントより強度発現が早い、耐火性、耐浸出性に優れる	・アルカリ液配合により処分重量が増加
プラスチック固化	有機樹脂による硬化（セインテラスレジン）	飛灰、吸着材（ゼオライト）	54~69	12.7~15.5	耐浸出性がある	・有機系樹脂は埋立処分に適さない
ガラス固化	加熱熔融 <sup>2)</sup>	飛灰	70	—	・自らのガラス成分によりガラス化するため減容効果大きい ・耐浸出性、長期安定性に優れる	・処理コストが高いことが予想される
		廃吸着材（ゼオライト、フェロシアン化鉄、ケイチタン酸塩）	70~80	—		

平成23~30年度除染技術実証事業等（内閣府、環境省、JESCO）、除染・中間貯蔵関連技術探索サイト及び以下の論文による。

- ・ JAEA (2010) : 焼却灰のセメント固化試験1、JAEA-Technology-2010-013(1)
  - ・ 日本原子力研究開発機構：東京電力（株）福島第一原子力発電所事故に係わる廃棄物処理・処分技術開発-平成24年度成果報告書、JAEA-Review 2013-064
- ・ 技術研究組合 国際廃炉研究開発機構：平成26年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業費補助金（固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発）」中間報告、平成28年4月
  - ・ 技術研究組合 国際廃炉研究開発機構：平成28年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業費補助金（固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発）」平成29年度成果報告、平成31年2月

※1 充填率（w%） = 処理対象廃棄物の重量 ÷ 処理後の固化体重量 × 100

※2 処理コストは、排水処理等付帯設備の範囲やコスト評価項目（設備費、運転費、資材費、労務費等）が異なるため参考値

## 4. 安定化処理技術の現状把握・評価（安定化処理後の物量等）

- ・処理コストと高減容・耐浸出性の両端の特質をもつセメント固化とガラス固化について、安定化処理後（廃棄体）の物量及び放射能濃度を試算

減容ケース	対象物	物量 (万m <sup>3</sup> )	放射能濃度 (Bq/kg) 2045年時点	安定化処理			
				セメント固化		ガラス固化	
				体積 (万m <sup>3</sup> )	濃度 (Bq/kg) 2045年時点	体積 (万m <sup>3</sup> )	濃度 (Bq/kg) 2045年時点
ケース0	土壌A, B, C, D	1,282	4,100	固型化なし			
ケースⅠ	土壌C, D	142	27,000				
ケースⅡ	土壌C分級脱水ケーキ <sup>1)</sup> 、D	75	49,000				
ケースⅢ	廃棄物（溶融飛灰） <sup>1)</sup>	28	170,000	28	49,000	7	131,000
ケースⅣ	廃棄物（廃吸着剤） <sup>2)</sup>	3.4	980,000	3.4	280,000	0.9	750,000

1) 溶融飛灰のみかけ比重は、0.5t/m<sup>3</sup>と設定（平岡正勝・酒井伸一；ごみ焼却飛灰の性状と処理技術の展望、廃棄物学会誌、Vol.5 No.1 pp.3-17 1994 3）

- ・溶融飛灰のセメント固化による容積減容率は1/1と設定（灰充填率30w% W:/C=1；焼却灰のセメント固化試験1、JAEA-Technology-2010-013(1)）
- ・溶融飛灰はガラス固化により容積は1/4に減容されると設定（ガラス形成材30%添加假定。溶融飛灰0.5×1.3/ガラス密度2.6）（ガラス形成材添加量30%と設定；TMI汚染水処理ゼオライト吸着剤ガラス固理事例を参照：特定原子力施設放射性廃棄物規制検討会（第5回）資料2）

2) 廃吸着剤のかさ密度は、0.5t/m<sup>3</sup>と設定（UOP IONSIV IE90 パウダー製品相当：ユニオン昭和株式会社カタログより）

- ・廃吸着材のセメント固化による容積減容率は上記と同様に1と設定
- ・廃吸着材は、ガラス固化により容積は、上記と同様に1/4に減容されると設定

参考：既存の低レベル廃棄物埋設施設規模：4万m<sup>3</sup>/許認可単位（1号埋設、2号埋設・・・）

# 5. 埋立処分の線量評価（既存の処分概念の比較）

## 特措法の処分概念

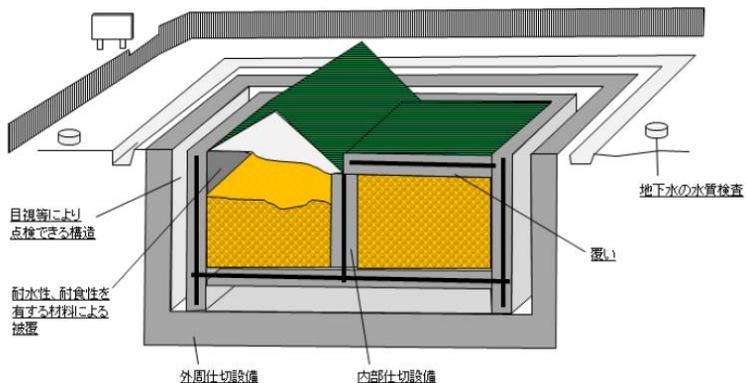


図1 遮断型埋立処分概念  
(環境省特定廃棄物関係ガイドラインより抜粋)

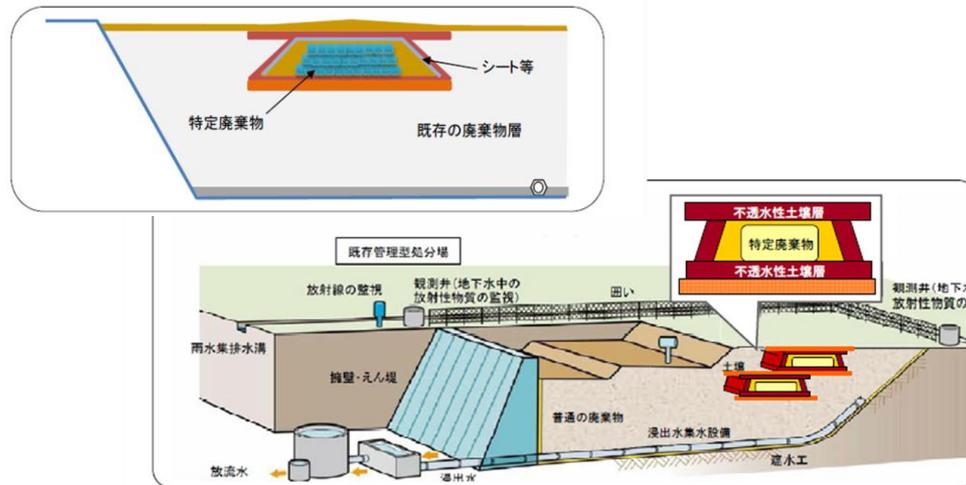


図2 管理型埋立処分概念  
(環境省特定廃棄物関係ガイドラインより抜粋)

## 原子炉等規制法の処分概念

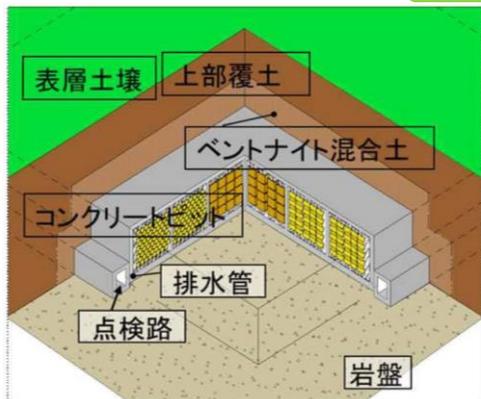


図3 コンクリートピット型処分概念  
(第7回研究施設等廃棄物連絡協議会 資料7-2-1より抜粋)

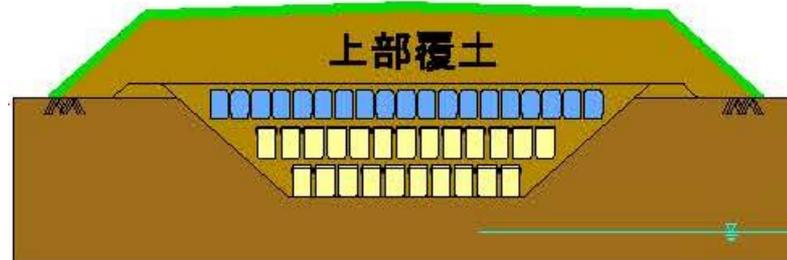


図4 トレンチ処分概念

原子力規制委員会：平成29年10月03日第26回廃炉等に伴う放射性廃棄物の規制に関する検討チーム、資料26-2-1：研究施設等廃棄物の埋設処分について  
[http://www.nsr.go.jp/disclosure/committee/youshikisya/hairo\\_kisei/00000027.html](http://www.nsr.go.jp/disclosure/committee/youshikisya/hairo_kisei/00000027.html)

## 5. 埋立処分の線量評価（既存の線量評価シナリオの比較）

- ・既存の線量評価としては、低レベル放射性廃棄物処分の政令濃度上限値の算定、クリアランスレベルの算定及び土地造成事業評価書の事例があるが、それぞれの前提条件により評価シナリオは異なる。
- ・土地造成事業評価書のモデル・パラメータはクリアランスレベル算定と同じ。

低レベル放射性廃棄物処分の  
濃度上限値算定時の評価シナリオ

評価シナリオ		利用形態
跡地利用シナリオ	建設シナリオ	建設作業
	居住シナリオ	跡地居住
地下水移行シナリオ	河川水利用シナリオ	河川水飲用 河川産物摂取 畜産物摂取
操業中シナリオ	処分場操業	スカイシャイン

前提条件：トレンチ処分は50年間、ピット処分は300年間の制度的管理期間終了後にサイト解放

クリアランスレベル設定時の  
評価シナリオ

評価シナリオ		利用形態
跡地利用シナリオ	建設シナリオ	建設作業
	居住シナリオ	跡地居住
地下水移行シナリオ	河川水利用シナリオ	河川水飲用 河川産物消費 飼育水利用
	井戸水利用シナリオ	井戸水飲用 灌漑水利用 飼育水利用 養殖水利用

前提条件：埋設後、即時サイト解放

土地造成事業における評価シナリオ

注) 環境回復時に伴う施工時の被ばくシナリオは省略。

評価シナリオ	
跡地利用シナリオ	植栽作業（草と木の2種類）
	保全作業（草と木の2種類）
	周辺居住シナリオ（草と木の2種類）
	環境回復地利用
井戸水利用シナリオ	飲料水摂取
	農耕作業
	農作物摂取
	畜産物摂取
	畜産物摂取
	淡水産物摂取

前提条件：造成した土地は管理主体や責任主体が明確で人為的な形質変更が発生しにくいと想定

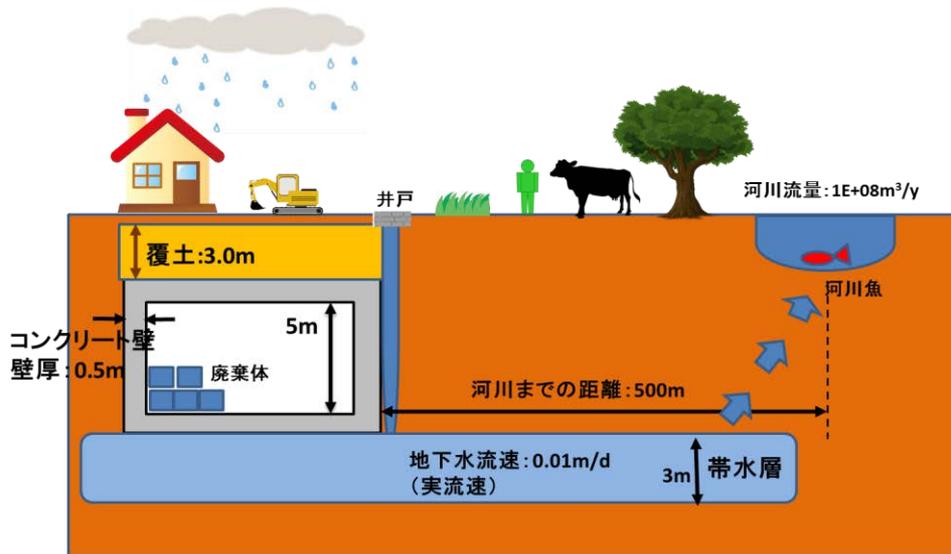
# 5. 埋立処分の線量評価（評価シナリオ及び評価経路の設定）

- ・ 現行の低レベル放射性廃棄物処分における濃度上限値算定の基本シナリオでは、井戸水利用は考慮されていないが、本線量評価ではクリアランスレベル設定や土地造成評価書における評価シナリオを考慮して、井戸水利用シナリオを追加

No.	評価シナリオ		利用形態	被汚染物		被ばく形態	線量評価対象者	考慮の有無			
								遮断型処分	管理・安定型処分		
1	跡地利用シナリオ	建設シナリオ	建設作業	覆土の掘削された廃棄物層		土壌直接線・外部	建設作業	○	○		
2						塵埃吸入・内部		○	○		
3		居住シナリオ	跡地居住	客土で覆われた廃棄物との混合土壌	農作物	居住者	○	○			
4					混合土壌		土壌直接線・外部	○	○		
5	地下水移行シナリオ	河川水利用シナリオ	河川水飲用	河川水	飲料水	消費者（成人）	○	○			
6			河川産物消費		河川産物	河川産物摂取・内部	消費者（成人）	○	○		
7			飼育水利用		畜産物	畜産物摂取・内部	消費者（成人）	○	○		
8		井戸水利用シナリオ	井戸水飲用	井戸水	飲料水	井戸水飲用・内部	消費者（成人）	○	○		
9					消費者（子ども）		○	○			
10			灌漑水利用		灌漑した農地	土壌直接線・外部	農耕作業	○	○		
11						塵埃吸入・内部		○	○		
12					灌漑した牧場	土壌直接線・外部	牧畜作業	○	○		
13						塵埃吸入・内部		○	○		
12			農作物		農作物	農作物	農作物摂取・内部	消費者（成人）	○	○	
13								消費者（子ども）	○	○	
14								消費者（成人）	○	○	
15			畜産物（飼料経由）		畜産物（飼料経由）	畜産物（飼料経由）	畜産物摂取・内部（飼料経由）	消費者（子ども）	○	○	
16								消費者（成人）	○	○	
17			飼育水利用		飼育水利用	飼育水利用	飼育水摂取・内部（飼育水経由）	消費者（成人）	○	○	
18								消費者（子ども）	○	○	
19			養殖水利用		養殖水利用	養殖水利用	養殖産物	養殖産物摂取・内部	消費者（成人）	○	○
19									消費者（子ども）	○	○

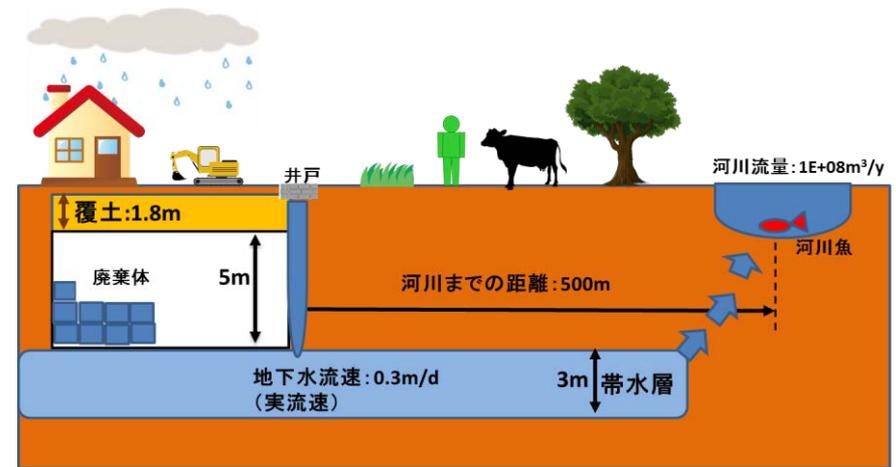
## 5. 埋立処分の線量評価（線量評価モデル概念の検討）

- ・建設シナリオ、居住シナリオ及び河川水利用シナリオについては、現行の低レベル放射性廃棄物処分の濃度上限値算定モデル・パラメータ、井戸水シナリオについては、クリアランスレベル算定モデル・パラメータが参考になると考えられる。
- ・セメント固化体には瞬時放出モデル、ガラス固化体には浸出率律速モデルを適用。ガラス固化体の浸出率については、高レベル放射性廃棄物（HLW）の地層処分の核種移行評価に用いられている長期浸出モデルを参照し、そこで用いられている浸出率より保守的に1桁高い値（ $1E-02\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$ ）で評価することを検討。



現行のピット処分の地下水利用シナリオ概念図

注) クリアランスレベル算定時の井戸水シナリオを追記



現行のトレンチ処分の地下水利用シナリオ概念図

注) クリアランスレベル算定時の井戸水シナリオを追記

## 5. 埋立処分の線量評価（パラメータ1）

### 全シナリオ共通のパラメータ

評価シナリオ		評価経路	パラメータ	単位	ピット処分	トレンチ処分	クリアランスレベル	
全シナリオ (共通)	ソース ターム	-	廃棄物総量の処分場容量に対する割合*1	%	16	16	62.5	
			混合率	-	1	1	0.1	
			埋設された廃棄物の見かけ密度	g/cm <sup>3</sup>	2.0	2.0	2.0	
			浸透水量*2	m/y	0.1	0.3	0.4	
			埋設材の放出係数*3	Gs	-	1.0E-02	1.0E-02	1.0E-02
			埋設材の分配係数	Gs	-	-	-	-
			覆土	m	3	1.8	0.5	
			コンクリート厚さ	m	0.5	-	-	

注) 網掛け部分はクリアランスレベル設定時のパラメータと異なっている数値で、     はご議論いただきたい箇所。

\*1: 処分場のサイズと廃棄体の核種別放射能濃度は各計算ケースに応じて、廃棄体の物量と放射能濃度から算出入力。

\*2: ピット処分については、「原子力安全委員会、低レベル放射性固化廃棄物の陸地処分の安全規制に関する基準値について（第2次中間報告）、平成4年6月18日」に基づき設定。トレンチ処分については、「地下水ハンドブック」に基づき、年間の地下水流出量（浸透水量）400mmに、通常の土壌成分となるシルト層を想定してさらに小さい値の300mm/yを設定。クリアランスレベルでは、「改定地下水ハンドブック」に示された平均年地下水流出量約400mmをもとに設定されている。

\*3: 計算コードGSA-GCLでは、放出係数若しくは分配係数のどちらかを入力するが、本評価では前者を入力。

なお、建設・居住シナリオにおいては放出係数を保守的に0と設定。

放出係数から分配係数に換算すると50mL/kgに相当する。（JAEA-Technology 2012-031、研究施設等廃棄物浅地中処分施設の概念設計、2012より）

## 5. 埋立処分の線量評価（パラメータ2）

### 建設シナリオのパラメータ

評価シナリオ		被ばく形態	パラメータ	単位	ピット処分	トレンチ処分	クリアランスレベル	
跡地利用シナリオ	建設シナリオ	共通	建設開始時期	y	300	50	0	
			建設掘削深さ	m	3	3	3	
			建設作業による年間作業時間	h/y	500	500	500	
			廃棄物掘削容積の全掘削容積に対する割合	-	0	0.32	1.0	
		外部	建設作業時における遮へい係数	-	0.5	0.5	0.4	
			外部被ばくに対する線量換算係数 (跡地利用・建設作業)	Cs-134	$\mu\text{Sv/h}$	4.7E-04	4.7E-01	4.7E-01
				Cs-137	per Bq/g	1.3E-04	1.7E-01	1.7E-01
		塵埃吸入	建設作業時におけるダスト濃度	$\text{g/m}^3$	評価対象外	5E-04	5E-04	
			建設作業者の呼吸量	$\text{m}^3/\text{h}$	評価対象外	1.2	1.2	
			微粒子への放射性物質の濃縮係数（吸入摂取）	-	評価対象外	4	4	

注) 網掛け部分はクリアランスレベル設定時のパラメータと異なっている数値。

# 5. 埋立処分の線量評価（パラメータ3）

## 居住シナリオのパラメータ

評価シナリオ		被ばく形態	パラメータ	単位	ピット処分	トレンチ処分	クリアランスレベル		
跡地利用シナリオ	居住シナリオ	共通	居住開始時期	y	300	50	10		
			年間居住時間	h/y	8760	8760	8760		
		外部	遮へい係数		-	0.2	0.2	0.2	
			外部被ばくに対する線量換算係数 (跡地利用・居住者)	Cs-134	$\mu\text{Sv/h}$ per Bq/g	6.4E-17	1.2E-02	4.7E-01	
				Cs-137		0.0E+00	4.1E-03	1.7E-01	
		塵埃吸入	居住時のダスト濃度		$\text{g/m}^3$	評価対象外	6E-06	6E-06	
			住居者（成人）の呼吸量		$\text{m}^3/\text{h}$	評価対象外	0.96	0.96	
			微粒子への放射性物質の濃縮係数（吸入摂取）		-	評価対象外	4	4	
		農作物摂取	農作物の摂取開始時期		Y	310	50	10	
			農作物の経根吸収係数		-	0.1（果実）	1	0.1	
			農作物の年間摂取量（成人）*1	米	kg/y	評価対象外	13	71	
				葉菜		評価対象外	3	12	
				非葉菜		評価対象外	9	45	
				果実		4	4	22	
			米への移行係数*3		Cs	Bq/g-wet per Bq/g	評価対象外	2.0E-02	7.1E-02
			葉菜、非葉菜、果実への移行係数*2		Cs	Bq/g-wet per Bq/g	3.0E-02	3.0E-02	5.7E-02
		農作物の市場係数		-	1	1	1		

注) 網掛け部分はクリアランスレベル設定時のパラメータと異なっている数値で、    はご議論いただきたい箇所。

\*1：農作物の年間摂取量は、濃度上限値設定の際は平成15年度「国民健康・栄養調査報告」に示された摂取量に対して、汚染された農作物以外の摂取を考慮して0.1を乗じた値。クリアランスレベルでは、「平成8年版 国民栄養の現状」に示された1日当たりの摂取量を年間に換算した数値。

\*2：移行係数は、濃度上限値はIAEA TECDOC-1380、クリアランスレベルはIAEA TRS No. 364を根拠として設定。

## 5. 埋立処分の線量評価（パラメータ4）

### 地下水移行シナリオの共通パラメータ

評価シナリオ	被ばく形態	パラメータ	単位	ピット処分	トレンチ処分	クリアランスレベル	
地下水移行シナリオ	帯水層	-	移行開始年	y	300	0	0
			帯水層空隙率	-	0.2	0.3	0.3
			地下水流速（実流速）*1	m/d	0.01	0.3	3.34
			地下水流方向の分散長	m	1	1	0
			帯水層土壌密度	g/cm <sup>3</sup>	2.6	2.6	2.6
			帯水層土壌の分配係数*2	Cs mL/g	1.0E+03	1.0E+03	2.7E+02

注) 網掛け部分はクリアランスレベル設定時のパラメータと異なっている数値で、     はご議論いただきたい箇所。

\*1：濃度上限値算定で設定している地下水流速は「地下水ハンドブック」のデータに基づいており、クリアランスレベルでは「新版地下水調査法（1983）」のデータに基づいて設定。これは評価対象となる処分場の深度の違いに関係するものと考えられる。

\*2：帯水層土壌への分配係数は、濃度上限値では「加藤他、原子力学会誌Vol. 28 No. 4（1985）」、クリアランスレベルでは「IAEA TRS No. 364（有機土）」が設定根拠。

# 5. 埋立処分の線量評価（パラメータ5）

## 河川水利用シナリオのパラメータ

評価シナリオ		被ばく形態	パラメータ	単位	ピット処分	トレンチ処分	クリアランスレベル		
地下水移行シナリオ	河川水利用シナリオ	共通	河川水流量	m <sup>3</sup> /y	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08		
			河川出口までの距離 <sup>*1</sup>	m	500	500	100		
		飲料水摂取	人の年間飲料水摂取量（成人）		m <sup>3</sup> /y	0.6	0.6	0.61	
			淡水産物の地下水利用率		-	1.0	1.0	0.25	
		淡水産物摂取	淡水産物（魚類）の年間摂取量（成人） <sup>*2</sup>		kg/y	1.6	1.6	0.7	
			魚類への濃縮係数	Cs	L/kg	2.0E+03	2.0E+03	2.0E+03	
			淡水産物の市場係数		-	1	1	1	
		畜産物摂取	家畜の飼育水摂取量		肉牛	L/d	40	40	50
					乳牛		60	60	60
					豚		10	10	10
					鶏		0.3	0.3	0.3
			畜産物の年間摂取量（成人） <sup>*3</sup>		牛肉	kg/y	1	1	8
					豚肉		1	1	9
					鶏肉		1	1	7
					鶏卵		1	1	16
					牛乳		L/y	4	4
			Cs の畜産物への移行係数		牛肉	d/kg	5.0E-02	5.0E-02	5.0E-02
		豚肉			2.5E-01		2.5E-01	2.5E-01	
		鶏肉			4.4E+00		4.4E+00	4.4E+00	
		鶏卵			4.9E-01		4.9E-01	4.9E-01	
牛乳	d/L	7.9E-03			7.9E-03		7.9E-03		
畜産物の市場係数		-	1	1	1				

注)      : クリアランスレベル設定時のパラメータと異なる数値で、ご議論いただきたい箇所。

\*1 : IAEA TECDOC-401において100~1000mの範囲が示されており、濃度上限値では中間値、クリアランスレベルでは最低距離の100mを設定。

\*2 : 淡水産物（魚類）の年間摂取量は、濃度上限値設定の際は平成15年度「国民健康・栄養調査報告」の1日あたりの魚類消費量から保守的に半分が川魚として摂取すると想定し、それに食習慣の変動等を考慮して0.1を乗じた数値。クリアランスレベルでは、「日本の統計（1997年）」に記載されている平成6年の魚類の生産量を人口1億2千万人で除した数値。

\*3 : 畜産物の年間摂取量は、濃度上限値設定の際は平成15年度「国民健康・栄養調査報告」に示された値に食習慣の変動を考慮して0.1を乗じた数値。クリアランスレベルは「平成8年版 国民栄養の現状」に示された1日当たりの摂取量を年間に換算した数値。

# 5. 埋立処分の線量評価（パラメータ6）

## 井戸水利用シナリオのパラメータ（その1）

評価シナリオ		被ばく形態	パラメータ	単位	ピット処分	トレンチ処分	クリアランスレベル	
地下水移行シナリオ	井戸水利用シナリオ	-	移行開始年	y	-	-	0	
			帯水層出口までの距離	m	-	-	0	
			井戸水の混合割合	-	-	-	0.33	
		飲料水摂取	人の年間飲料水摂取量（成人）	m <sup>3</sup> /y	-	-	0.6	
			人の年間飲料水摂取量（子ども）	m <sup>3</sup> /y	-	-	0.1	
		灌漑土壌共通	農耕土壌の分配係数	Cs	mL/g	-	-	2.70E+02
				灌漑水量*1	田	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /y	-	-
			畑、牧草地		y	-	-	1.2
			土壌水分飽和度*1	田	-	-	-	1
				畑、牧草地	-	-	-	0.2
			灌漑水浸透水量	m/y	-	-	0.4	
			灌漑土壌真密度	g/cm <sup>3</sup>	-	-	2.6	
			実効土壌深さ	cm	-	-	15	
			放射性核種の土壌残留係数	-	-	-	1	
			灌漑土壌空隙率	-	-	-	0.3	
			灌漑水年間生育期間	d	-	-	60	
			農作物（葉菜、牧草）の栽培密度	kg/m <sup>2</sup>	-	-	2.3	
			放射性核種の農作物表面（葉菜、牧草）への沈着割合	-	-	-	1	
		weathering効果による植物表面沈着放射性核種の除去係数	1/y	-	-	18.07		

注) \*1：外部被ばく、粉塵吸入の評価には、畑の値を使用

# 5. 埋立処分の線量評価（パラメータ7）

## 井戸水利用シナリオのパラメータ（その2）

評価シナリオ		被ばく形態	パラメータ	単位	ピット処分	トレンチ処分	クリアランスレベル			
地下水移行シナリオ	井戸水利用シナリオ	農耕作業外部	開始時期	y	-	-	0			
			年間作業時間	h/y	-	-	500			
			遮へい係数	-	-	-	1			
		外部被ばくに対する線量換算係数	Cs-134	$\mu$ Sv/h per Bq/g	-	-	4.7E-01			
			Cs-137		-	-	1.7E-01			
		農耕作業塵埃吸入	作業時のダスト濃度		g/m <sup>3</sup>	-	-	5E-04		
			作業者の呼吸量		m <sup>3</sup> /h	-	-	1.2		
			微粒子への放射性物質の濃縮係数数（吸入摂取）		-	-	-	4		
		農作物	農作物	汚染農作物の摂取開始時期		y	-	-	10	
				農作物の経根吸収係数		-	-	-	0.1	
				農作物の年間摂取量（成人）*1	米	kg/y	13	13	71	
					葉菜		3	3	12	
					非葉菜		9	9	45	
					果実		4	4	22	
				農作物の年間摂取量（子ども；1~2歳児）*2	米	kg/y	-	-	25	
					葉菜		-	-	5	
					非葉菜		-	-	23	
					果実		-	-	22	
				米への移行係数		Cs	Bq/g-wet per Bq/g	2.0E-02	2.0E-02	7.1E-02
				葉菜、非葉菜、果実への移行係数		Cs	Bq/g-wet per Bq/g	3.0E-02	3.0E-02	5.7E-02
農作物の市場係数		-	-	1	1	1				

注)      : クリアランスレベル設定時のパラメータと異なる数値でご議論いただきたい箇所。

\*1 : 農作物の年間摂取量は、濃度上限値設定の際は平成15年度「国民健康・栄養調査報告」に示された摂取量に対して、汚染された農作物以外の摂取を考慮して0.1を乗じた値。クリアランスレベルでは、「平成8年版 国民栄養の現状」に示された1日当たりの摂取量を年間に換算した数値。

\*2 : クリアランスレベルにおける子どもの農作物年間摂取量は、成人との整合性を図り国民栄養の現状調査の結果に基づき設定。しかし1~2歳児の摂取量が示されていないため、1~6歳児のデータから割合で算出。

# 5. 埋立処分の線量評価（パラメータ8）

## 井戸水利用シナリオのパラメータ（その3）

評価シナリオ		被ばく形態	パラメータ	単位	ピット処分	トレンチ処分	クリアランスレベル		
地下水移行シナリオ	井戸水利用シナリオ	畜産物摂取	放射性核種を含む飼料の混合割合		—	—	—	1	
			飼料への移行係数		Cs	—	—	5.3E-01	
			家畜の飼料摂取量		肉牛	kg-dry/d	—	—	7.2
					乳牛		—	—	16.1
					豚		—	—	2.4
					鶏		—	—	0.07
			家畜の飼育水摂取量		肉牛	L/d	40	40	50
					乳牛		60	60	60
					豚		10	10	10
					鶏		0.3	0.3	0.3
			畜産物の年間摂取量（成人）		牛肉	kg/y	1	1	8
					豚肉		1	1	9
					鶏肉		1	1	7
					鶏卵		1	1	16
					牛乳	L/y	4	4	44
			畜産物の年間摂取量（子ども:1~2歳児）*1		牛肉	kg/y	—	—	3
					豚肉		—	—	4
					鶏肉		—	—	5
					鶏卵		—	—	10
					牛乳	L/y	—	—	29
			Cs の畜産物への移行係数		牛肉	d/kg	5.0E-02	5.0E-02	5.0E-02
					豚肉		2.5E-01	2.5E-01	2.5E-01
					鶏肉		4.4E+00	4.4E+00	4.4E+00
鶏卵	4.9E-01	4.9E-01			4.9E-01				
牛乳	d/L	7.9E-03			7.9E-03		7.9E-03		
畜産物の市場係数				—	1	1	1		

注)      : クリアランスレベル設定時のパラメータと異なる数値でご議論いただきたい箇所。

\*1 : クリアランスレベルにおける子どもの畜産物年間摂取量は、成人との整合性を図り国民栄養の現状調査の結果に基づき設定。しかし1~2歳児の摂取量が示されていないため、1~6歳児のデータから割合で算出。

## 5. 埋立処分の線量評価（パラメータ9）

### 井戸水利用シナリオのパラメータ（その4）

評価シナリオ		被ばく形態	パラメータ	単位	ピット処分	トレンチ処分	クリアランスレベル	
地下水移行シナリオ	井戸水利用シナリオ	淡水産物摂取	淡水産物の地下水利用率		-	0.25	0.25	0.25
			淡水産物（魚類）の年間摂取量（成人）		kg/y	1.6	1.6	0.7
			淡水産物（魚類）の年間摂取量（子ども）*1		kg/y	-	-	0.33
			魚類への濃縮係数	Cs	L/kg	2.0E+03	2.0E+03	2.0E+03
			淡水産物の市場係数		-	1	1	1

注)      : クリアランスレベル設定時のパラメータと異なる数値で、ご議論いただきたい箇所。

\*1 : クリアランスレベルにおける子どもの淡水産物（魚類）の年間摂取量は、成人との整合性を図り国民栄養の現状調査の結果に基づき設定。しかし1~2歳児の摂取量が示されていないため、1~6歳児のデータから割合で算出。

### 内部被ばく線量換算係数（濃度上限値、クリアランスレベル共通）

パラメータ		単位	値
内部被ばく線量係数	作業員(ICRP Publ. 68) : 吸入	Cs-134	9.6E-09
		Cs-137	6.7E-09
	作業員(ICRP Publ. 68) : 経口	Cs-134	1.9E-08
		Cs-137	1.3E-08
	一般公衆(ICRP Publ. 72) : 吸入(成人)	Cs-134	6.6E-09
		Cs-137	4.6E-09
	一般公衆(ICRP Publ. 72) : 吸入(子ども)	Cs-134	7.3E-09
		Cs-137	5.4E-09
	一般公衆(ICRP Publ. 72) : 経口(成人)	Cs-134	1.9E-08
		Cs-137	1.3E-08
	一般公衆(ICRP Publ. 72) : 経口(子ども)	Cs-134	1.6E-08
		Cs-137	1.2E-08

# 参考資料：第10回戦略検討会配布資料抜粋（1）

## ③最終処分の対象物及び物量等の試算

- 最終処分場に廃棄物を埋立する場合に要求される施設構造等の要件は、特措法施行規則における特定廃棄物の埋立処分基準による。
- 土壌を埋立する場合に要求される施設構造等の要件の検討にあたり、減容処理ケース（ケースゼロ、ケースⅠ、ケースⅡ）ごとに最終処分の対象となる土壌に着目。
- ケースゼロ及びケースⅡにおいて、最終処分の対象となる土壌の物量及び平均放射能濃度を想定し、最終処分に係る安全評価を実施（次スライド参照）。

ケース	最終処分の対象物	性状	処分量	
ケースゼロ	土壌A	土壌	1,056.1万m <sup>3</sup>	計1,291.9万m <sup>3</sup>
	土壌B	土壌	84.1万m <sup>3</sup>	
	土壌C	土壌	131.8万m <sup>3</sup>	
	土壌D	土壌	10.4万m <sup>3</sup>	
	焼却灰を熱処理して得られる濃縮物	熔融飛灰等	9.5万m <sup>3</sup>	
ケースⅠ	土壌C	土壌	131.8万m <sup>3</sup>	計151.7万m <sup>3</sup>
	土壌D	土壌	10.4万m <sup>3</sup>	
	焼却灰を熱処理して得られる濃縮物	熔融飛灰等	9.5万m <sup>3</sup>	
ケースⅡ	土壌Cを分級処理・高度分級して得られる濃縮物	脱水ケーキ	64.5万m <sup>3</sup>	計84.4万m <sup>3</sup>
	土壌D	土壌	10.4万m <sup>3</sup>	
	焼却灰を熱処理して得られる濃縮物	熔融飛灰等	9.5万m <sup>3</sup>	
ケースⅢ	土壌Cを高度処理して得られる濃縮物	熔融飛灰等	16.1万m <sup>3</sup>	計28.2万m <sup>3</sup>
	土壌Dを高度処理して得られる濃縮物	熔融飛灰等	2.6万m <sup>3</sup>	
	焼却灰を熱処理して得られる濃縮物	熔融飛灰等	9.5万m <sup>3</sup>	
ケースⅣ	土壌Cを高度処理＋洗浄処理して得られる濃縮物	洗浄処理後の廃吸着材等	1.9万m <sup>3</sup>	計3.4万m <sup>3</sup>
	土壌Dを高度処理＋洗浄処理して得られる濃縮物	洗浄処理後の廃吸着材等	0.3万m <sup>3</sup>	
	焼却灰を洗浄処理して得られる濃縮物	洗浄処理後の廃吸着材等	1.1万m <sup>3</sup>	

次スライドのケースBに相当

次スライドのケースAに相当

# 参考資料：第10回戦略検討会配布資料抜粋（2）

## 最終処分に係る安全評価の実施

- 減容処理ケースゼロ及びケースⅡにおいて、最終処分の対象となる土壌の物量及び平均放射能濃度を想定し、除去土壌の最終処分場への埋立処分に係る安全評価を実施。
- 仮想的な埋設地の立地や形状等について仮定を置いたうえで（外部被ばく線量の評価条件等を保守的に設定）、評価経路毎の年間被ばく線量について評価を実施。

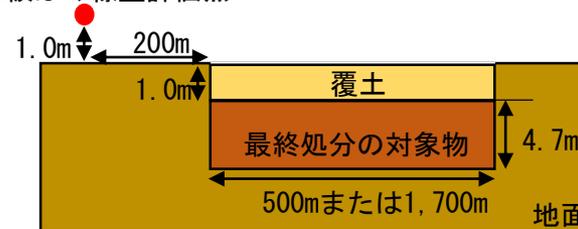
### 【被ばく線量に係る考え方】

- 特措法基本方針に基づき、運搬時及び埋立時における周辺住民の追加被ばく線量が1mSv/yを超えないことを条件とする。
- 運搬時及び埋立時における作業者の被ばく線量限度は、電離則の対象となり当該規則が適用されることを想定し、5年で100mSvかつ1年間につき50mSvとする。

### 【評価条件】

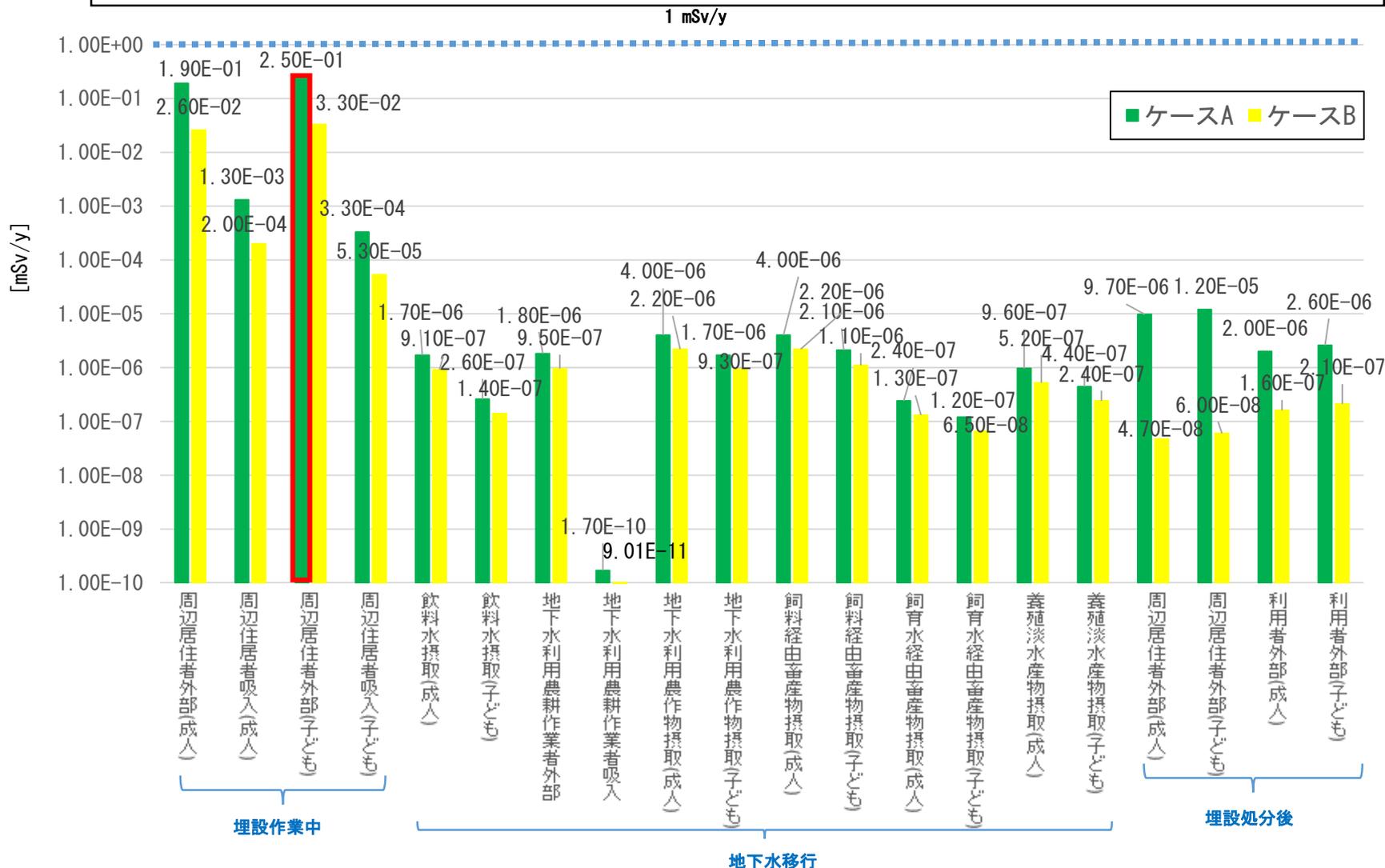
- 線源の面形状として、埋設地の形状を矩形状に模擬し、その線源厚さは4.7mとし外部被ばく線量を保守的に評価。
  - 500m（長さ）×500m（幅）×4.7m（厚さ）、平均放射能濃度50,000Bq/kg
  - … [ケースA]（前スライドのケースⅡの土壌及び脱水ケーキの最終処分を想定）
  - 1,700m（長さ）×1,700m（幅）×4.7m（厚さ）、平均放射能濃度8,000Bq/kg
  - … [ケースB]（前スライドのケースゼロの土壌の最終処分を想定）
- 埋設作業中は最終処分の対象物の埋設が終了するまでは覆土による遮へいが無い状態とし、埋設処分後は覆土厚1mで全ての埋設領域が覆われている状態とした。
- 外部被ばく線量評価点までの距離として、直近民家から埋設地までの最短水平距離を200mとした。
- 直近民家における居住時間は保守的に8,760時間/年とし、住居による遮へいの効果は0.2とした。
- 埋設地からの粉塵による被ばくについて、戸外及び戸内におけるダスト濃度はそれぞれ $2.4E-5g/m^3$ 及び $1.0E-4g/m^3$ とし、居住者は居住時間の20%を戸外で過ごすものとした。
- 埋設地からの地下水移行による被ばくについて、浸透水量は0.4m<sup>3</sup>/y、地下水流速は1m/yとし、埋設地の下端から井戸までの距離は保守的に0mとした。

外部被ばく線量評価点



# 参考資料：第10回戦略検討会配布資料抜粋（3）

年間被ばく線量は、埋設作業中における周辺居住者（子ども）の外部被ばくの経路が最大で0.25mSv/yとなり、特措法基本方針に基づき、運搬時及び埋立時における周辺住民の追加被ばく線量が1mSv/yを超えないことを確認。



# 参考資料 第10回戦略検討会配布資料抜粋（4）

## ⑤最終処分場に土壌を埋立する場合に要求される施設構造等の要件の整理

実際には、最終処分場固有の立地条件、形状等に基づき安全評価を実施した上で、管理措置等を検討する必要があることに留意

段階	基本安全機能	管理措置		管理項目（例）
		区分	目的	
埋立段階	遮蔽	遮蔽その他適切な措置	施設に起因する外部被ばく線量が線量限度を超えないようにすること。※1	<ul style="list-style-type: none"> <li>覆土の巡視・点検（異常がないことの確認）</li> <li>覆土の位置・構造・遮へい部材厚・遮へい部材密度（線量評価条件を逸脱しないことを施設検査で確認）</li> <li>受け入れ検査など（土壌が施設の受け入れ条件を満足することの確認）</li> <li>施設の操業条件の遵守</li> </ul>
	飛散防止	飛散防止のための措置	放射性物質を含む粉じんの大気中への飛散を防止すること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>粉じん濃度、大気中の粉じんの放射能濃度の測定</li> </ul>
	移行抑制	覆土の施工	陥没のような大きな変形が生じる原因となる空隙が残らないこと。	<ul style="list-style-type: none"> <li>覆土材の選定方法</li> <li>覆土の施工方法</li> </ul>
			埋立した土壌が用意に露出しないこと。	<ul style="list-style-type: none"> <li>覆土材の選定方法</li> <li>覆土の施工方法</li> <li>覆土の厚さ</li> </ul>
		埋立地に係る保全	埋立地の移行抑制を維持すること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>埋立施設への立ち入り制限</li> <li>監視設備及び測定設備の維持管理</li> <li>埋立施設の巡視・点検</li> </ul>
		監視	移行抑制が適切に機能していること（生活環境への移行を監視）。	<ul style="list-style-type: none"> <li>近傍地下水中の放射能濃度の測定</li> </ul>
維持管理段階	遮蔽	遮蔽その他適切な措置	施設に起因する外部被ばく線量が線量限度を超えないようにすること。※1	<ul style="list-style-type: none"> <li>覆土の巡視・点検（異常がないことの確認）</li> </ul>
	移行抑制	埋立地に係る保全	埋立地の移行抑制を維持すること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>監視設備及び測定設備の維持管理</li> <li>埋立施設の巡視・点検</li> <li>特定行為の禁止、制約に係る立札などの設置及び維持管理</li> </ul>
		監視	移行抑制が適切に機能していること（生活環境への移行を監視）。	<ul style="list-style-type: none"> <li>近傍地下水中の放射能濃度の測定</li> </ul>

※1 特措法基本方針に基づき、除去土壌の処理等に伴い周辺住民の受ける線量が1mSv/年を超えないようにすることが必要。

# 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

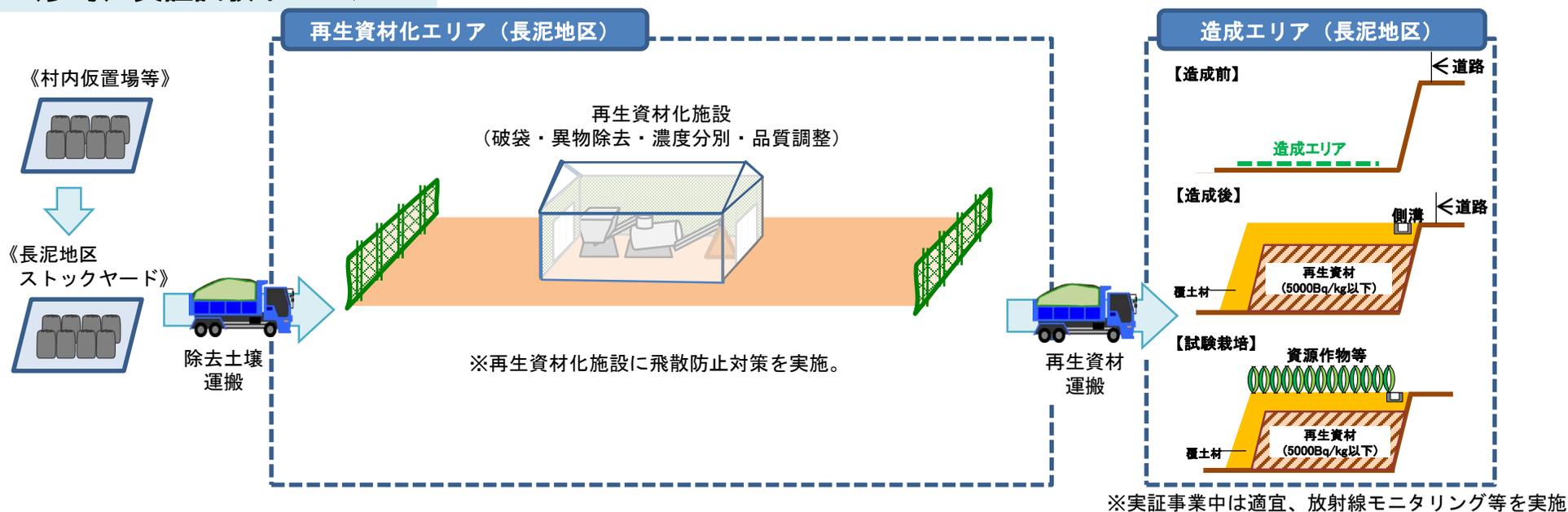
【参考資料】 南相馬市における除去土壌再生利用実証事業のモニタリング状況

# 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。

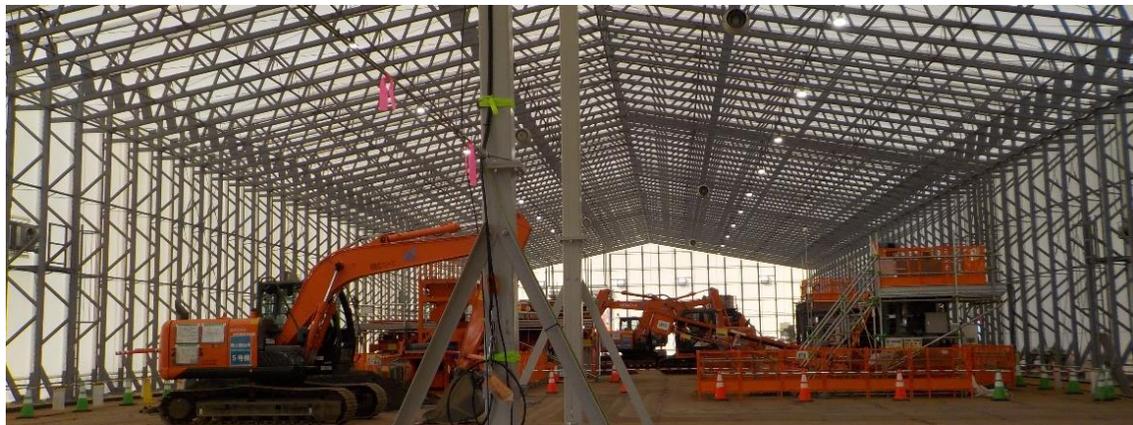
- 1) 村内の仮置場等から、除去土壌をストックヤードに運搬
- 2) 再生資材化施設を設置し、除去土壌から異物等の除去、濃度分別、品質調整し、再生資材化する。
- 3) 実証事業場所において、再生資材、覆土材を用いて造成
- 4) 造成地において、露地栽培（試験栽培）を実施
- 5) これに先立ち、ポット栽培による生育性及び移行係数の確認を行い、ハウス栽培エリアにこれらの展示を設置するとともに、ハウス内で試験栽培を行う。

## （参考）実証試験イメージ

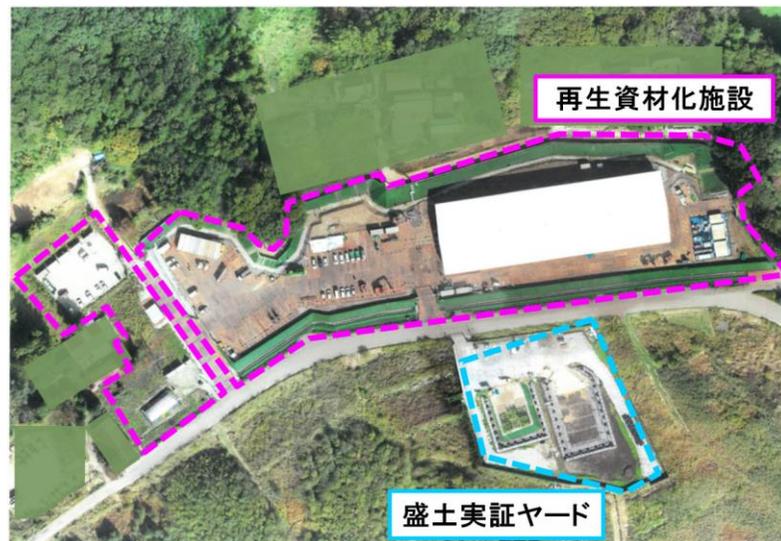


※実証事業中は適宜、放射線モニタリング等を実施

# 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

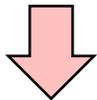
# 1. 飯舘村における除去土壌再生利用実証事業の概要（3）

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

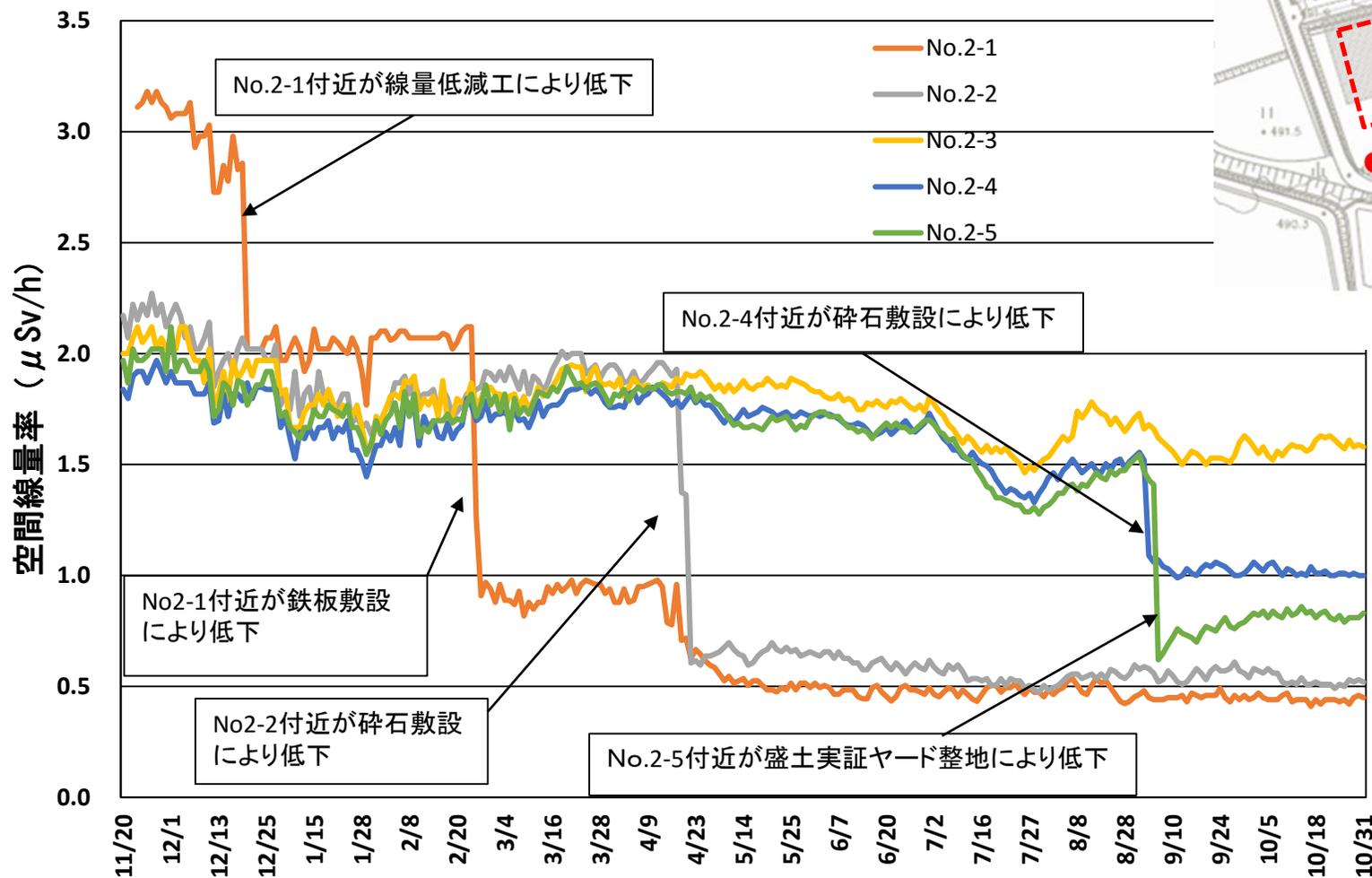
## 2-1. 盛土実証ヤードの空間線量率モニタリング結果

### 【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）

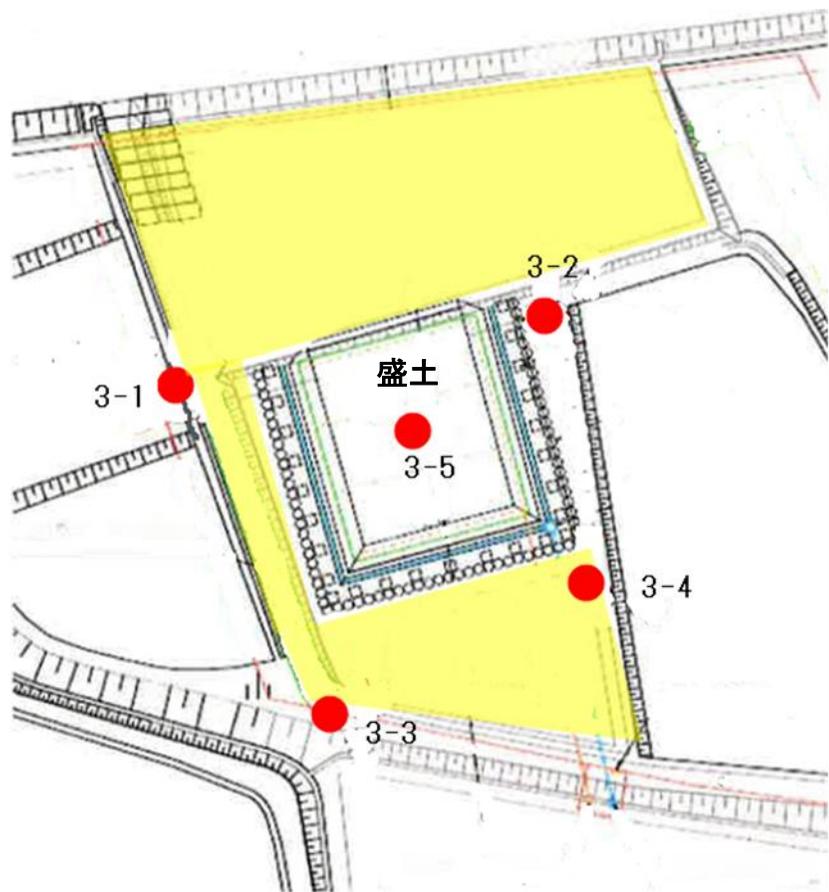
2019/6/3～2019/6/5（覆土）



# 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

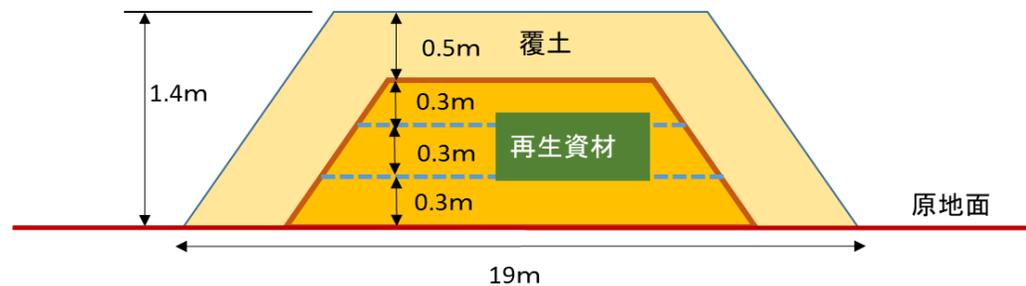
\*2 盛土施工前測定日 : 2019. 4. 19

\*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

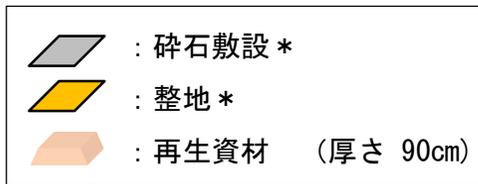
## 2-2. 盛土上の空間線量率の計算値と実測値の比較 (2)

### 【盛土実証ヤードの空間線量率の計算条件】

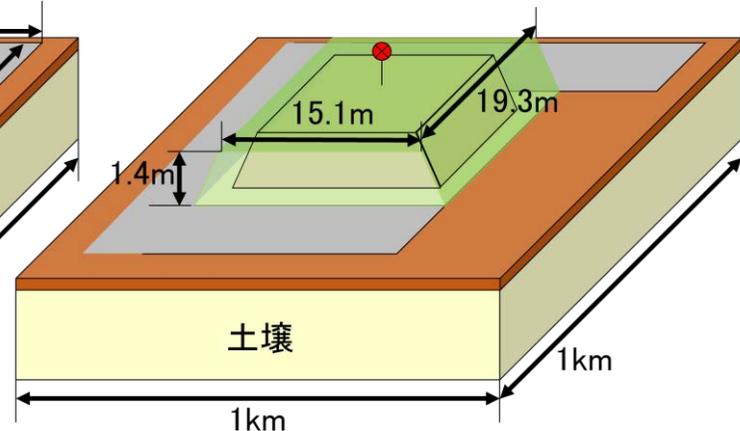
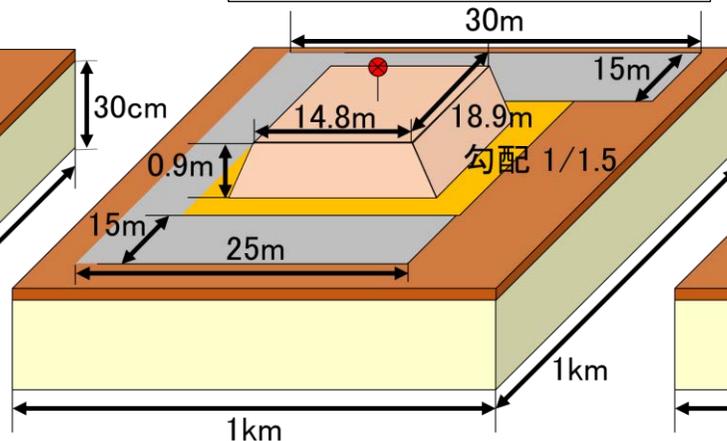
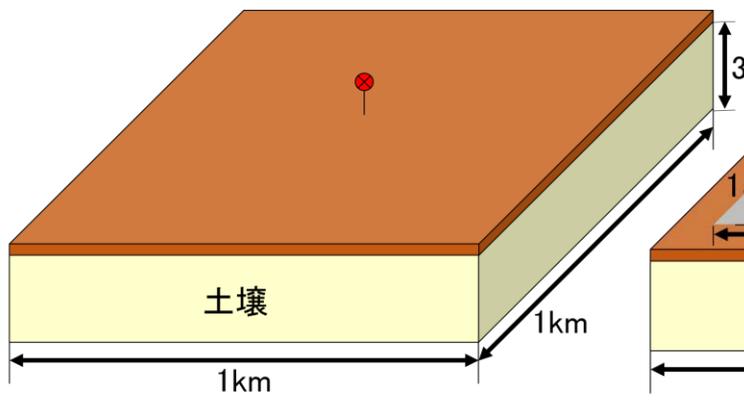
- 評価点高さ：1 m
- 原地面の表層土壌放射能濃度（平均）：17,000 Bq/kg
- 再生資材放射能濃度（平均）：2,400 Bq/kg
- Cs-134:Cs-137=0.081:1 (2019.4.1)
- 詳細は次スライド参照

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



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%

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 $\mu\text{Sv/h}$ )

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 <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>	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				
	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	(放射平衡にある)		
※ 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						
	密度[g/cm <sup>3</sup> ]	元素	空気	現地面	再生資材	覆土
		-	1.20E-03	1.6	1.43	2.04
	元素組成 [g/cm <sup>3</sup> ]	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
※ 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						

# 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/cm<sup>3</sup>)

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/cm<sup>3</sup> (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

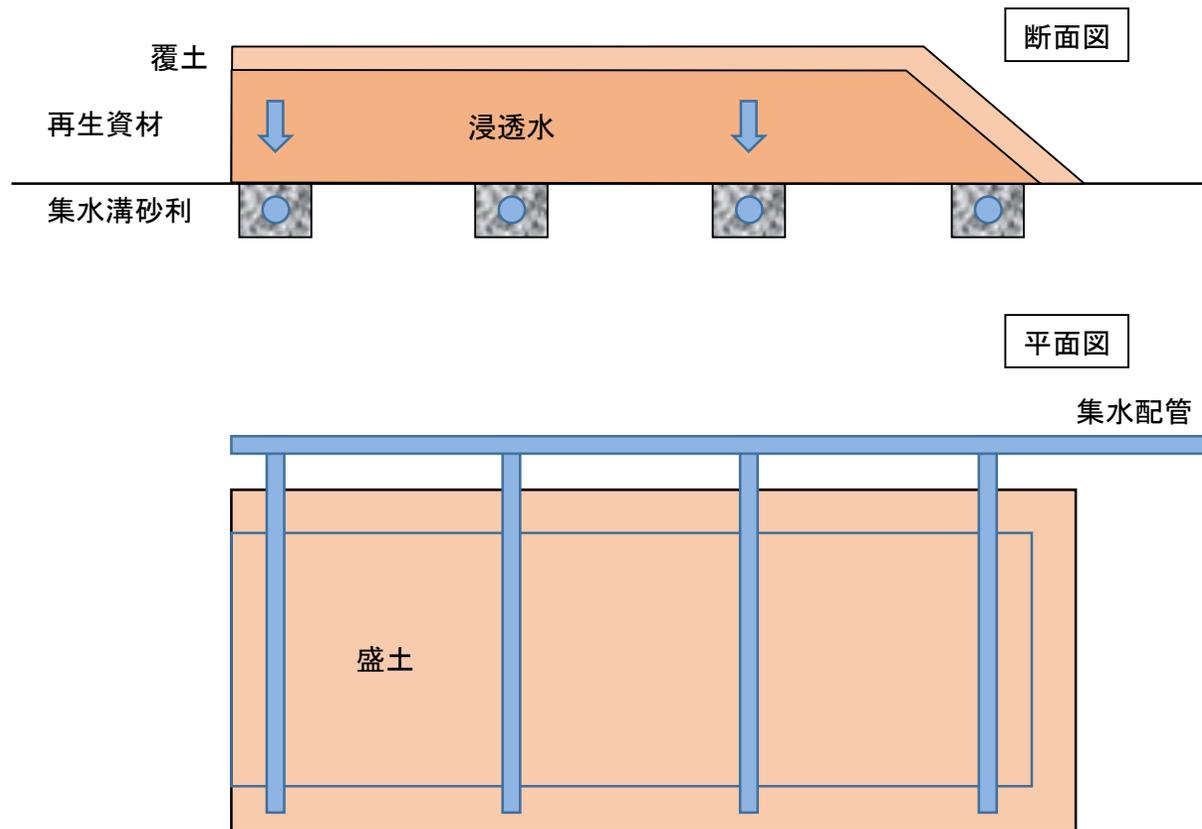
ND : Cs-134 : 0.35~0.58Bq/L未満、 Cs-137 : 0.40~0.70Bq/L未満



- ・ 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

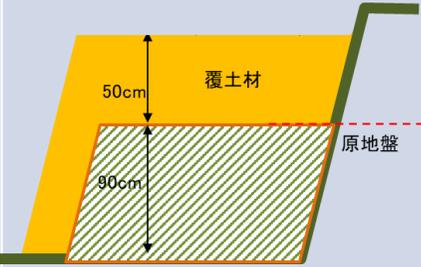
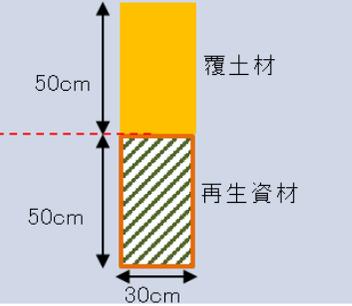
ND: 0.1 Bq/L (検出下限値) 未満



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、アカクローパー）

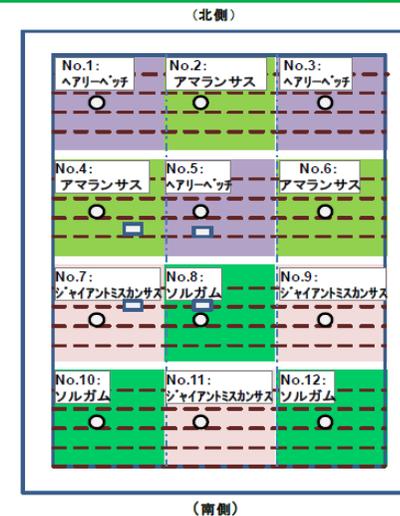
# 3. 栽培に関する試験について

## 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）
  - ジャイアントミスカンサス刈取り（9月20日）
  - ソルガム刈取り（9月20日）
  - 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

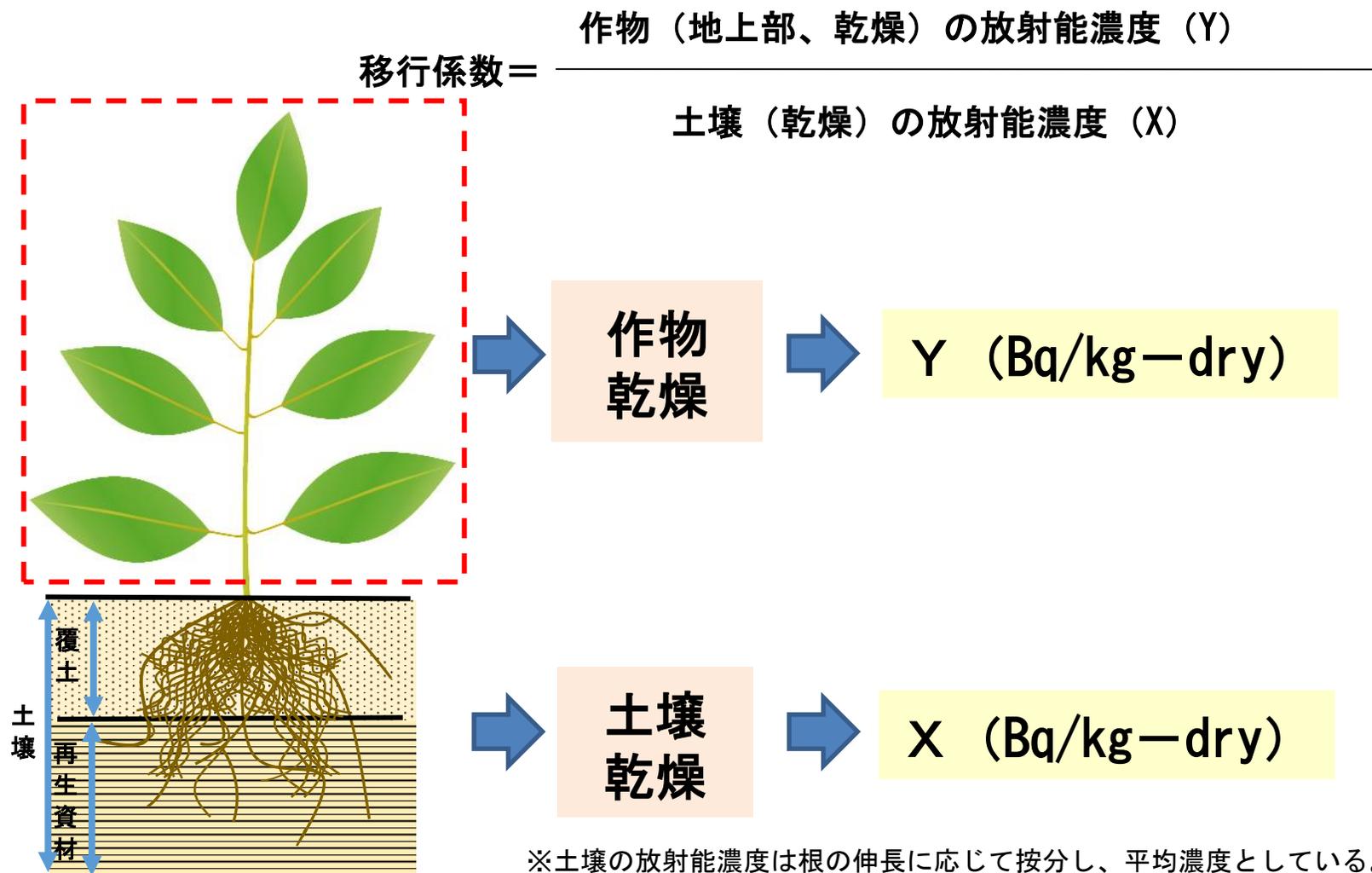
- ：根伸長調査パイプ(30°, 2.0m)
- ：土中水分計(10, 20, 40, 50cm)

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 <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> 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 <sup>2</sup>	0.192 kg/m <sup>2</sup>
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  $\mu$ 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  $\mu$ 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

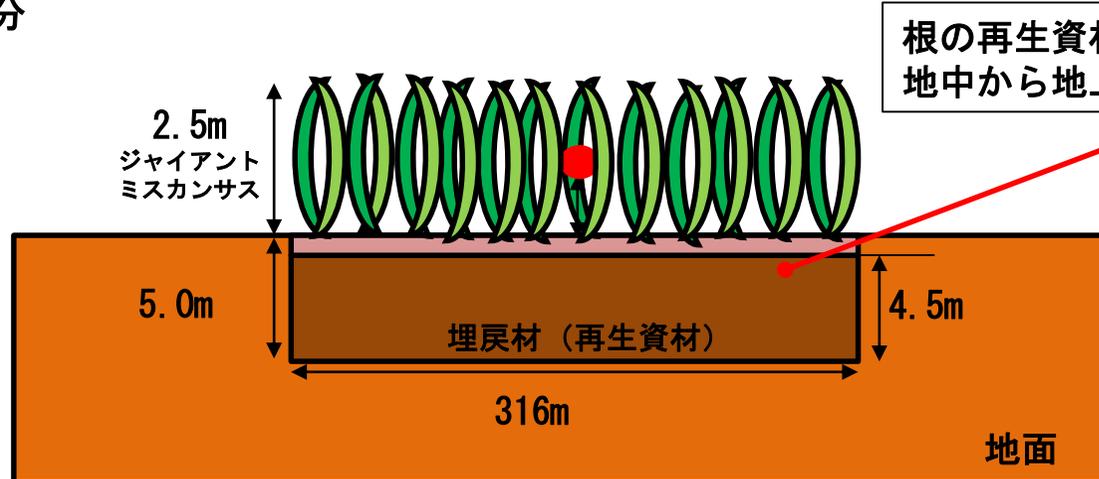
- 農地保全作業者の被ばく線量を評価
- 評価対象作物は移行係数、体系及び収量が大きい資源作物（ジャイアント・ミスカンサス）とした

## 【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
- ・  $1\text{m}^3$ （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

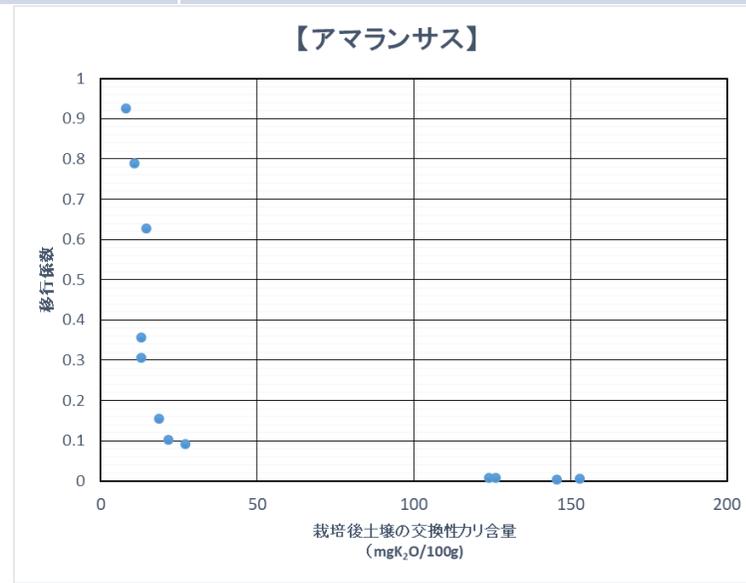
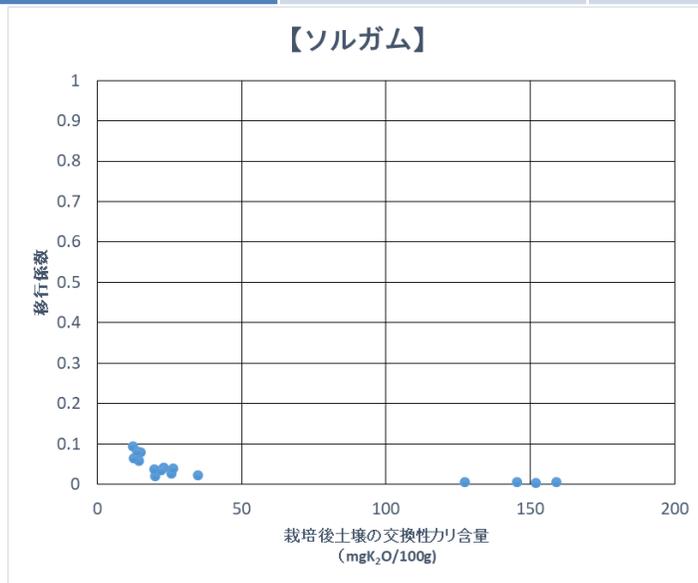
## 【農地保全作業者の外部被ばく線量（園芸作物）】

- ・ 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）



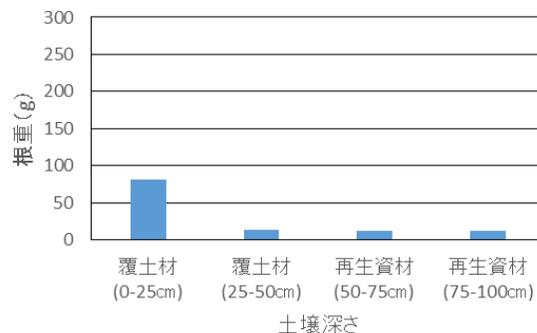
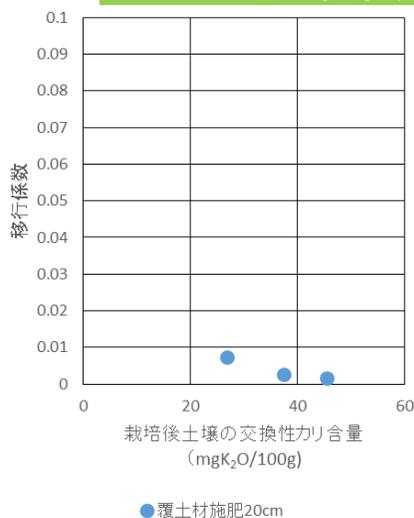
- ・ポット栽培では、様々な施肥等の条件の下での移行係数を測定し、カリ施肥による移行抑制効果が確認された。
- \* アマランサスのポット栽培では、土壌の交換性カリ含有量が少ない場合、移行係数が大きくなるケースもある。ワグネルポットでは閉鎖された空間での栽培となるため、ポット内で根が充満してカリウムの枯渇が加速され、移行係数が大きくなる傾向があると考えられる。

# 3. 栽培に関する試験について

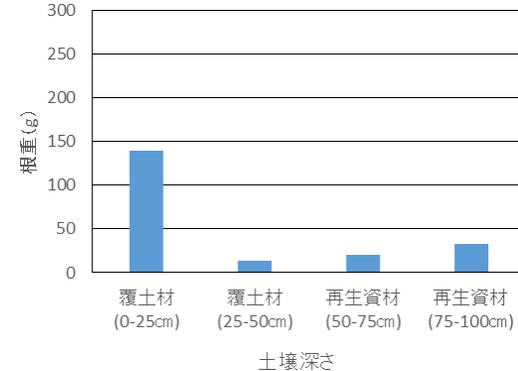
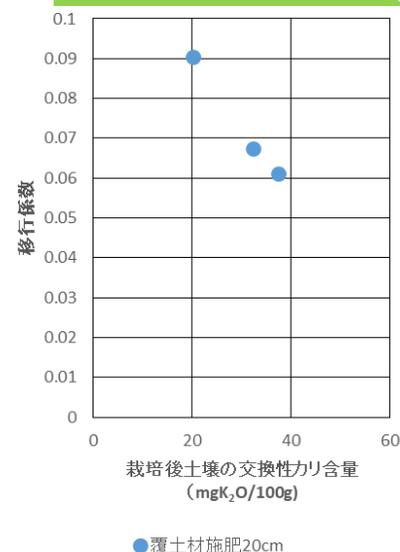
## 3-7. ポット栽培（二層構造モデル試験）移行係数一覧表

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 $0.053 \text{ mSv}$ 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）。

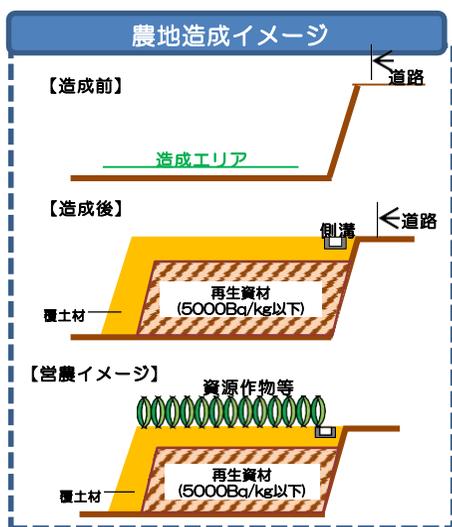
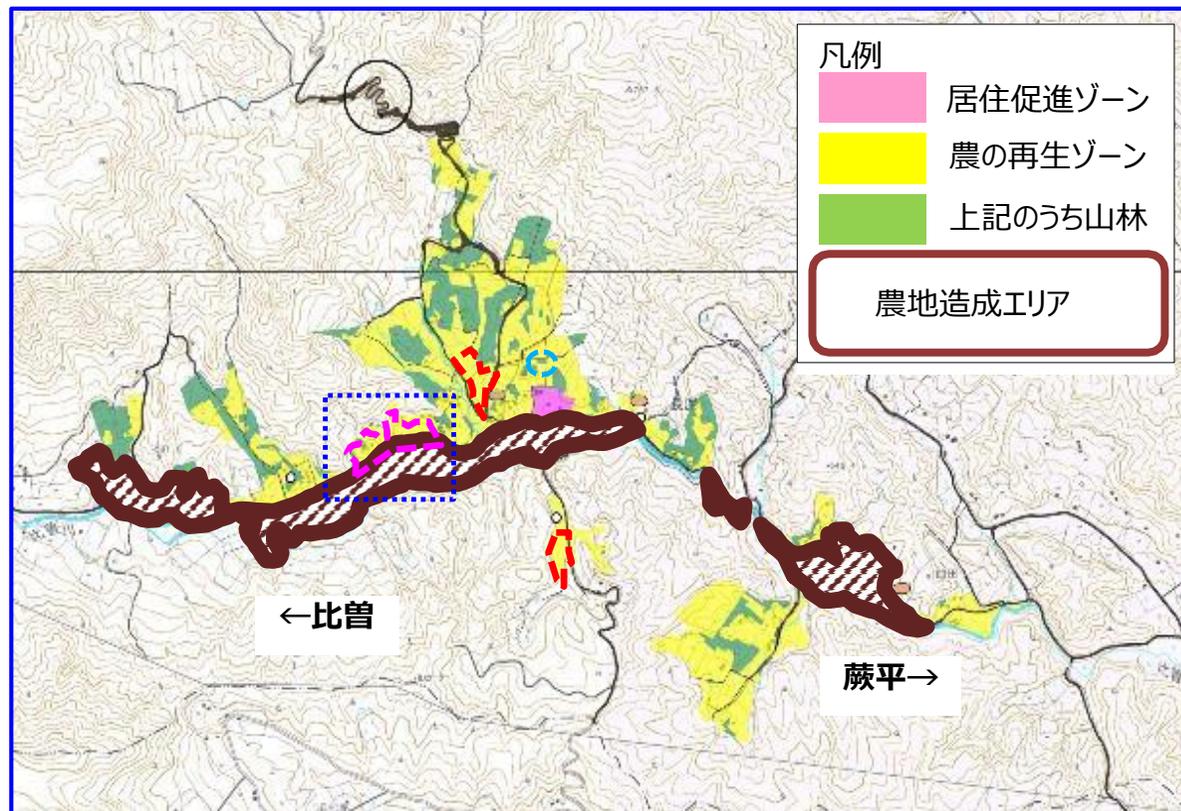
# 【補足資料】①飯舘村における除去土壌再生利用実証事業の概要（1）

## 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：3.4 ha（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	工事発注準備・手続き		■				
		※実証事業の結果を踏まえ実施			■			■
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	$\rho_s$	(g/cm <sup>3</sup> )	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	$\rho_{dmax}$	(g/cm <sup>3</sup> )	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 <sup>2</sup> )	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

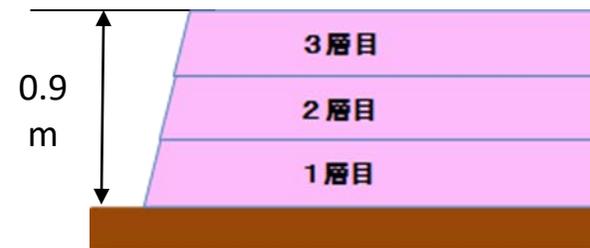
# 【補足資料】 ②再生資材・盛土に関する試験データ（2）

## 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

RI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 <sup>3</sup>	2.533~2.570	2.636~2.657
最大乾燥密度 g/cm <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>	1.40~1.45	1.99~2.12
乾燥密度 g/cm <sup>3</sup>	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。



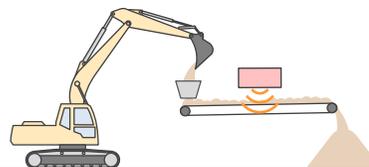
### ② 小さな異物の除去

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

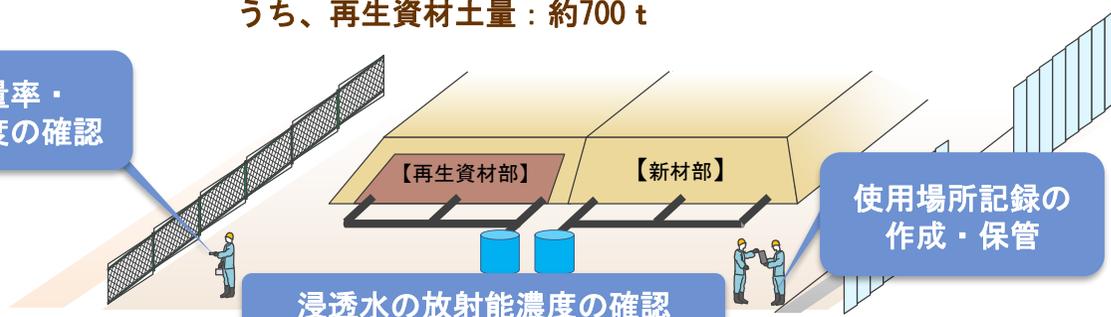
・ 平均放射能濃度771Bq/kg

うち、再生資材土量：約700t

空間線量率・  
放射能濃度の確認

浸透水の放射能濃度の確認

使用場所記録の  
作成・保管

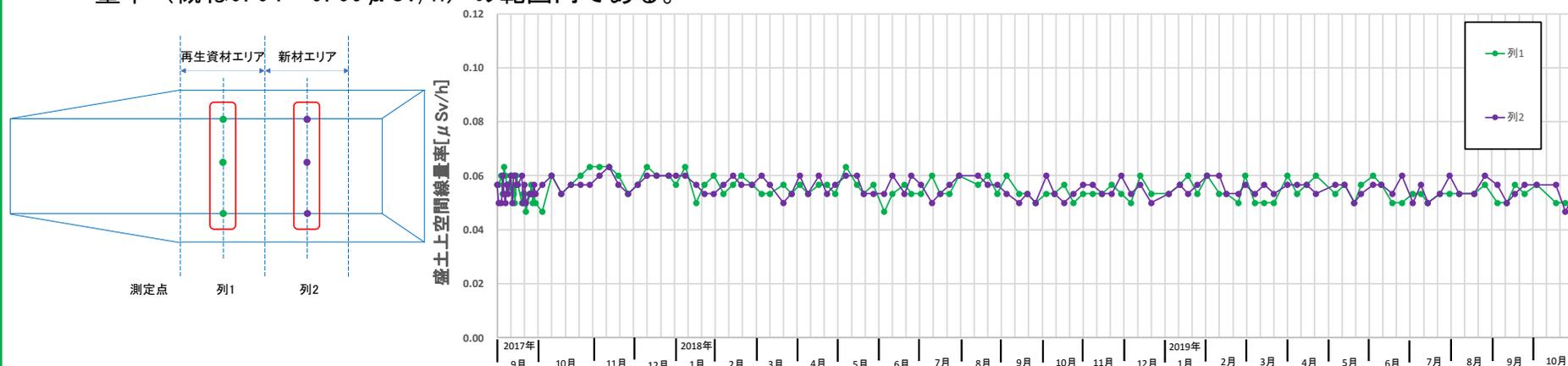


# 【参考資料】南相馬市における除去土壌再生利用実証事業のモニタリング状況 (3)

- 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

盛土上の空間線量率平均値の時系列  
(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 :  $0.2\sim 0.331\text{Bq/L}$ )

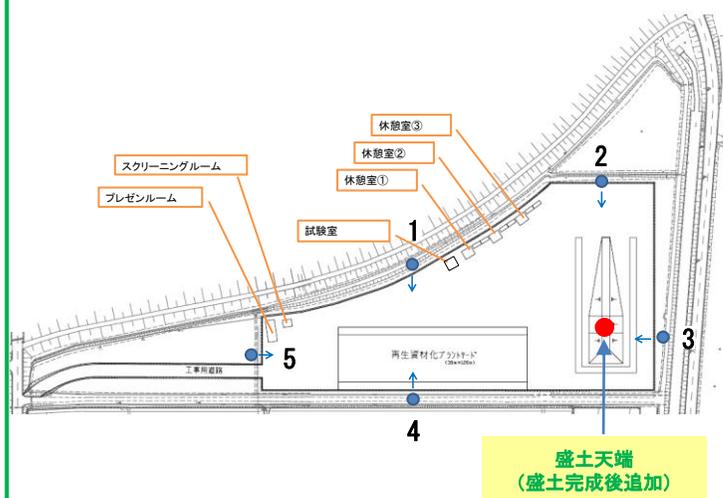


浸透水の集水設備の概観

# 【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）

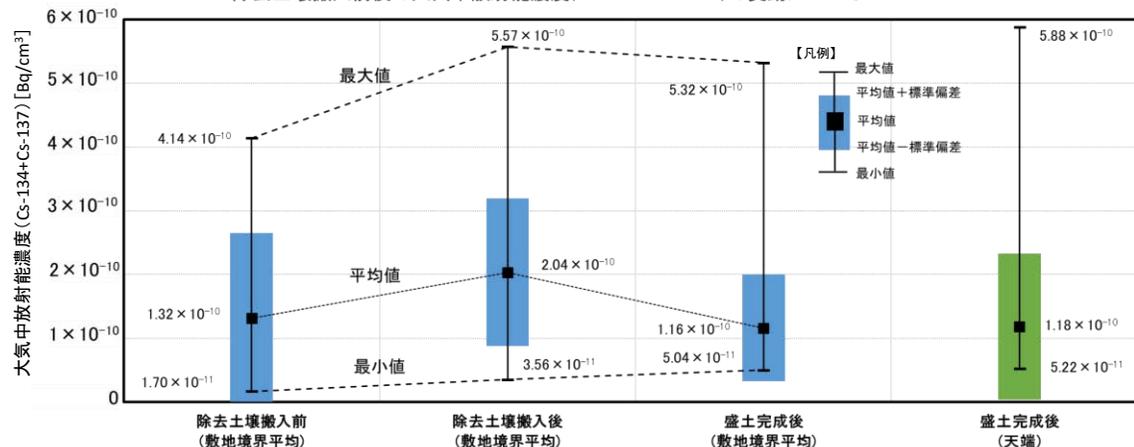
## 大気中放射能濃度

- 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)

除去土壌搬入前後の大気中放射能濃度(Cs-134 + Cs-137)の変動について



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 [Bq/cm³]	Cs-137濃度 [Bq/cm³]
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		$2.50\text{E}-11 \sim 4.52\text{E}-11$	$2.24\text{E}-11 \sim 5.43\text{E}-10$

## 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)