

**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（平成 29 年度第 1 回）**

平成 30 年 3 月 7 日（水）
9 : 30 ~ 11 : 30
於：東京富山会館ビル 4 階

議事次第

1. 開会
2. 議題
 - (1) 農地造成に係る追加被ばく線量評価について
 - (2) 再生利用の手引き骨子（案）について
 - (3) その他
3. 閉会

配付資料一覧

- 放安 WG1-1 「平成 29 年度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」の設置について（案）
- 放安 WG1-2 農地造成への再生資材利用に関する被ばく線量評価【概要（案）】
- 放安 WG1-3 ジャイアント・ミスカンサスの根の腐植に伴う土壌中 Cs の溶出への影響推定
- 放安 WG1-4 再生利用の手引き骨子（案）
- 放安 WG1-5 再生資材の溶出試験について
- 参考資料 1 農地造成への再生資材利用に関する被ばく線量評価について（案）
- 参考資料 2 南相馬実証事業における環境モニタリングの結果

**「平成 29 年度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」の設置について（案）**

1. 目的

中間貯蔵開始後 30 年以内の県外最終処分の実現に向け、再生資材化した除去土壌の土木資材としての用途先や要求品質等の検討に加え、再生利用した際の放射線安全に関する評価・検討が必要不可欠である。

除去土壌等の再生利用における追加被ばく線量の基準等について、放射線安全に関する評価・検討を客観的かつ専門的な視点から検討を行うため、「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」（以下「検討会」という。）設置要綱 3（5）号※に基づき、「平成 29 年度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」（以下「安全性評価WG」という。）を設置する。

2. 検討事項等

安全性評価WGの検討事項は次のとおりとする。

- （1）国際的な放射線防護の基準や考え方及び放射線防護に係る国内法令等の基準や考え方を参照し、除去土壌等の再生利用における追加被ばく線量基準の検討を行う。
- （2）上記線量基準を基に、再生利用における追加被ばく線量評価の考え方（評価シナリオの分類等）を整理し、用途ごとの評価シナリオによる線量評価の検討を行うとともに、当該線量評価を基に再生資材の放射能濃度の検討を行う。
- （3）安全な再生利用のため、利用者側の実態等も踏まえた管理方策等について検討を行う。

3. 事務

安全性評価WGの事務は、環境省から受託した公益財団法人原子力安全技術センターが行う。

4. その他

- ・安全性評価WGにおいて取りまとめた結果は、検討会に報告し、その検討に資するものとする。
- ・安全性評価WGは必要に応じ関係者から意見聴取を行うことができる。

※ 「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」設置要綱

3 検討会の構成

- （5）専門の事項を検討するため必要があるときは、検討会にワーキンググループ又は臨時委員を置くことができる。

以 上

(別表) 放射線影響安全性評価検討WG委員名簿

(五十音順 敬称略)

	氏 名	機関・所属・役職	3/7 出席 (予定)
委員	あかし まこと 明石 真言	国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構 執行役	出席
〃	いいもと たけし 飯本 武志	国立大学法人 東京大学 環境安全本部 教授	
〃	きむら ひでお 木村 英雄	国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 安全研究センター 環境安全研究ディビジョン 環境影響評価研究グループ	出席
委員長	さとう つとむ 佐藤 努	国立大学法人 北海道大学 大学院工学研究院 環境循環システム部門 資源循環工学分野 教授	出席
委員	たがみ けいこ 田上 恵子	国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構 放射線医学総合研究所 福島再生支援本部 環境移行パラメータ研究チーム チームリーダー	出席
〃	にいぼり ゆういち 新堀 雄一	国立大学法人 東北大学大学院 工学研究科量子エネルギー工学専攻 教授	出席
〃	ひさだ まこと 久田 真	国立大学法人 東北大学 大学院工学研究科 土木工学専攻 教授	

農地造成への再生資材利用に関する被ばく線量評価 【概要（案）】

平成30年3月7日
環境省

追加被ばく線量評価の概要

目的

- 再生資材化した除去土壌の利用においては、周辺住民、施設利用者、作業における追加被ばく線量を制限するため、用途先の限定、再生資材の放射能濃度の制限、適切な覆土厚の確保等の措置を講じる。
- 本追加被ばく線量評価を通じて、
 - ・ 一般公衆及び作業に対する追加被ばく線量が1 mSv/yを超えないことを条件として、再生資材中の放射性セシウム ($^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$) の放射能濃度レベルを算出する。
 - ・ 算出した濃度レベルに基づき、供用時の一般公衆に対する追加的な被ばく線量の更なる低減のための遮へい厚等の施設の設計に関する条件の検討を行う。

追加被ばく線量評価の流れ

① 用途先の設定

- ・ 管理主体や責任体制が明確
- ・ 人為的な形質変更が想定されない

② 被ばく経路の想定

- ・ 用途に応じた施工時、供用時の被ばく経路の想定
- ・ 作業工程及び施設利用の情報に基づき、現実的なシナリオ・パラメータの設定

③ 1mSv/y相当濃度の算出

- ・ 評価モデルにより、施工時、供用時の各被ばく経路で1mSv/yを超えない放射能濃度レベルを算出
- ・ 最も影響が大きい被ばく経路を確認

④ 追加被ばく線量の更なる低減

- ・ 供用時における一般公衆に対する被ばく線量が0.01mSv/yに低減する覆土等の厚さを評価

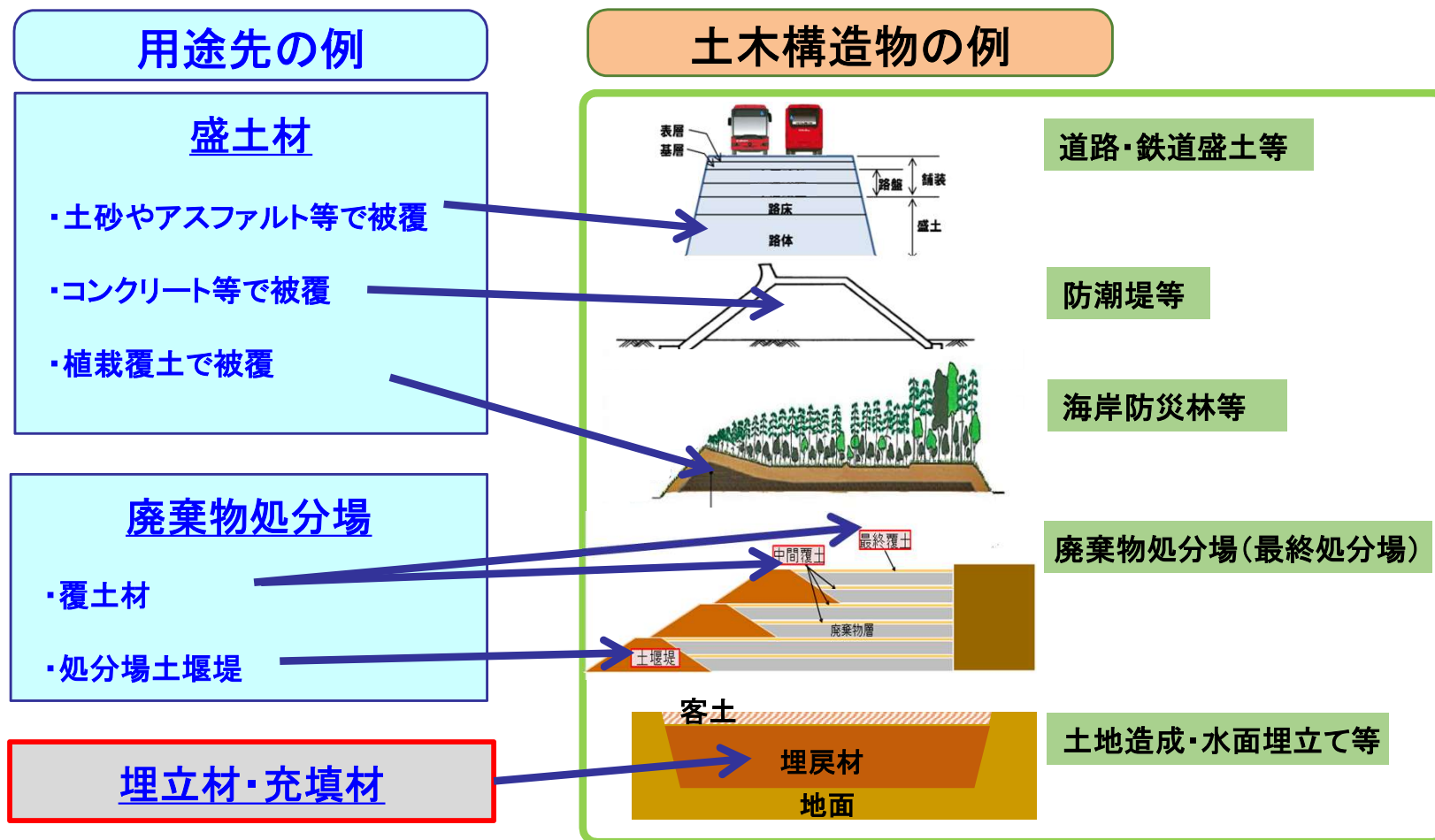
⑤ 災害・復旧時の評価

- ・ 用途に応じて想定される災害・被ばく経路を想定
- ・ 災害、復旧時における被ばく線量が1mSv/yを超えないことを確認

基本的な方針

- 利用先を管理主体や責任体制が明確となっている公共事業等における人為的な形質変更が想定されない盛土材等の構造基盤の部材に限定した上で、追加被ばく線量を制限するための放射能濃度の設定、覆土等の遮へい、飛散・流出の防止、記録の作成・保管等の適切な管理の下で再生資材を限定的に利用する。

(再生資材化した除去土壌の安全な利用に係る基本的考え方について(抜粋))



農地造成において想定する追加被ばく評価

- 平成28年度に行った「土地造成における再生資材の利用に係る線量評価について」をベースとして、資源作物・園芸作物の栽培用地への再生資材利用に係る線量評価を行う。
- 既往の評価結果が利用できる部分はその評価結果を用いて、新たに評価が必要な項目を抽出し、評価方法、評価パラメータ等を検討したうえで被ばく評価を行う。

再評価項目 農地造成作業者の外部被ばく線量

(理由)造成面積については、既往評価を下回るが、既往評価の再生資材の放射能濃度の決定経路であるため、再評価を行う。

追加評価項目 農地保全作業者の外部被ばく線量

(理由)資源作物(ジャイアント・ミスカンサス)の場合、覆土以深に根が到達することが考えられるため、移行係数、丈、栽培密度によっては、決定経路となる可能性を排除できないことから追加評価を行う。

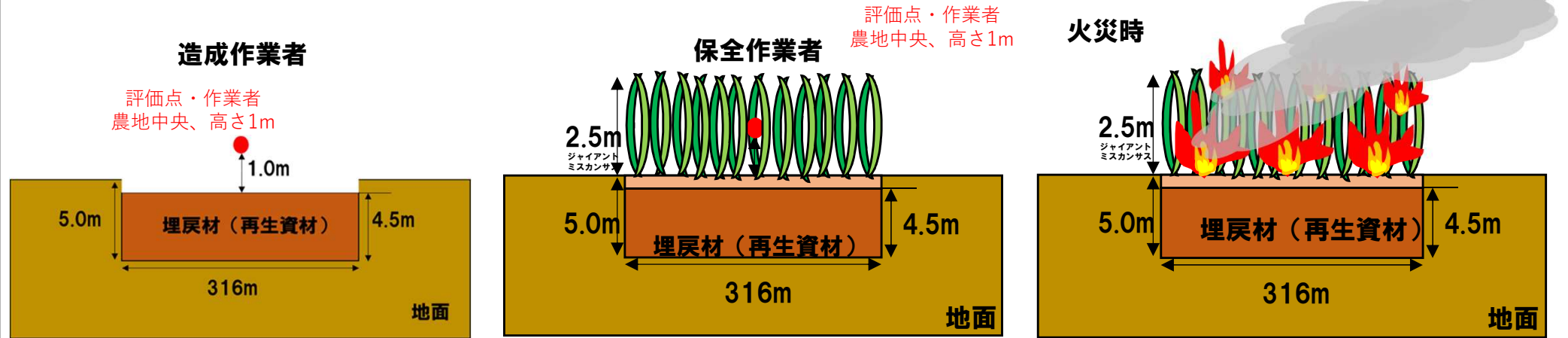
追加評価項目 火災時における被ばく線量(消防士・公衆)

(理由)植栽する草本類の根の到達深度、移行係数、丈、栽培密度等が既往評価(樹木)と異なるため、追加評価を行う

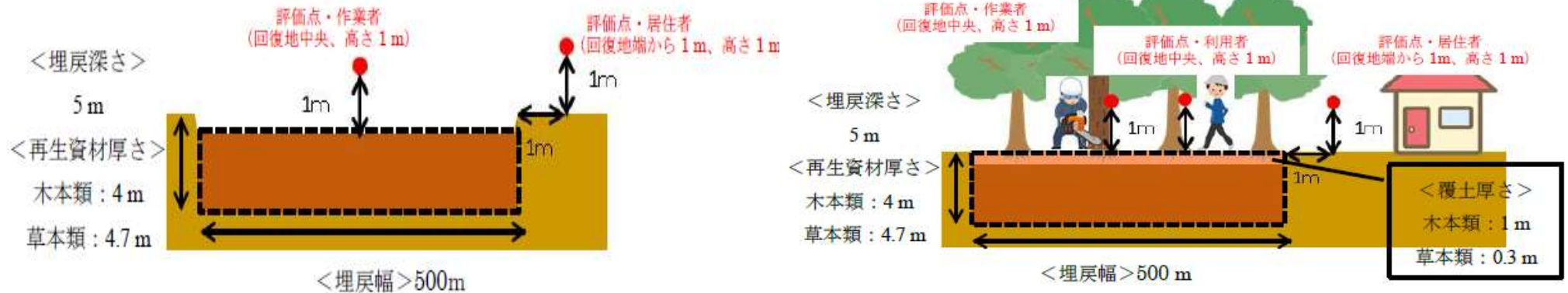
農地造成と土地造成の違い

- **農地造成における再生資材の用途は、土地造成同様、埋戻材の用途であるが、以下が異なる。**
- ①**造成面積、②使用する再生資材量（いずれも、土地造成＞農地造成）、**
 - ③**覆土表面の用途（農地は作土層として資源作物・園芸作物を栽培、土地造成は、森林浴等散策）**

農地造成作業者、保全作業者、火災時の評価体系



（参考）土地造成における評価体系



農地造成における評価における前提条件の検討

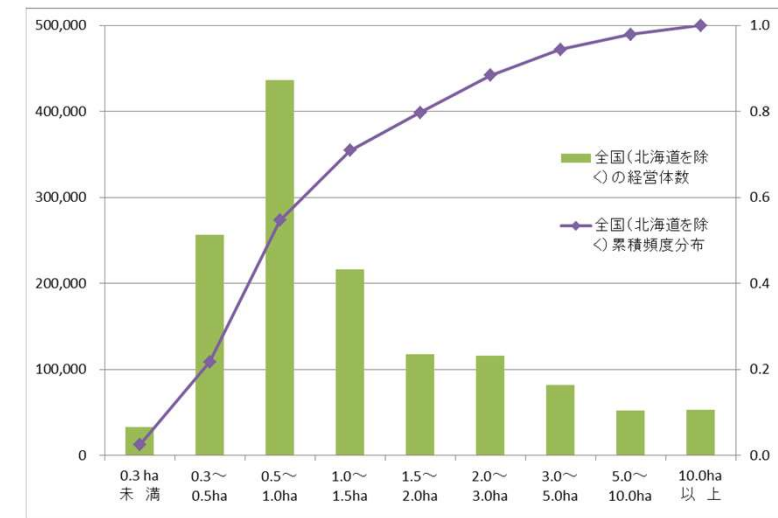
- 既往の安全性評価（土地造成に係る被ばく経路）を利用
- 農地特有の評価パラメータについて検討・整理

(1) 評価対象とする農地の造成面積
一経営体当たりの経営耕地面積の分布に
基づき検討。（北海道除く）

2ha以下：79.8%
10ha以下：97.9% ➡ 大半が10ha以下

(2) 埋立・充填材として使用する再生資材量
農地造成：面積100,000m²（10ha）
再生資材厚4.5m（仮設定）
再生資材量450,000m³
（参考）土地造成：面積250,000m²（25ha）
再生資材厚4.7m
再生資材量1,175,000m³

(3) 栽培が想定される農作物
資源作物（ジャイアント・ミスカンサス）及び
園芸作物



一経営体当たりの耕地面積

出典：平成29年度耕地面積（7月15日現在）、農林水産省より作成

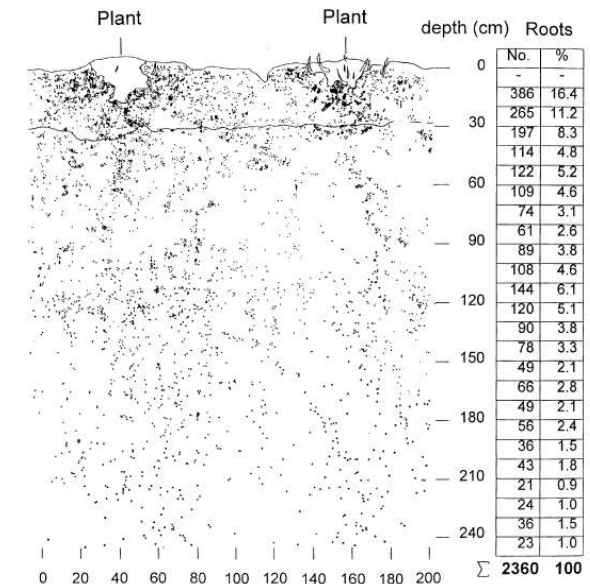


Fig. 2. Spatial distribution of the roots obtained with the trench profile method in May 1992.

資源作物（ジャイアント・ミスカンサス）の根到達深度

出典：Spatial and temporal distribution of the root system and root nutrient content of an established Miscanthus crop, D. Neukirchen et al., European Journal of Agronomy 11 (1999) 301-309

農地造成における被ばく経路の検討

➤ 被ばく経路の評価（下表の網掛部）は、既往の土地造成の評価結果に包含されるとして本評価では再評価は行わない

農地造成において再評価、追加評価すべき被ばく経路（平常時）

No.	評価対象	経路	対象者	被ばく形態	備考
1	建設現場への運搬	積み下ろし作業	作業者	外部	建設現場への運搬については、埋設可能再生資材量の試算結果から安全評価時の約2分の1である、すなわち運搬作業にかかる時間も約2分の1程度と考えられるため、既往の安全評価結果に包含される。
2				粉塵吸入	
3		運搬作業	作業者	直接経口	
4				外部	
5		運搬経路周辺居住	公衆（成人）	外部	
6				外部	
7	土取場の埋戻し	敷均し・締固め作業	作業者	外部	土地造成面積については、既往の安全評価における造成面積を下回るが、再生資材濃度の決定経路となり得るため、再評価を行う。粉塵吸入及び直接経口については、既往の評価結果から、外部被ばくに比べ、3～4桁小さい評価結果であり、外部被ばく線量を上回る可能性はないため、再評価は行わない。
8				粉塵吸入	
9				直接経口	
10		周辺居住（埋戻し中）	公衆（成人）	外部	
11				粉塵吸入	
12			公衆（子ども）	外部	
13				粉塵吸入	
14-1	植栽作業（埋戻し後）	草本の植え付け	作業者	外部	覆土後の作業であるため、土地造成作業の評価結果を上回る可能性はなく、決定経路となり得ないため、再評価は行わない。
14-2		木本の植え付け	作業者	外部	
15-1	土取場の環境回復後（草本又は木本植栽）	埋戻し材	作業者	外部	既往の安全評価では、草本類は、覆土以深への根の到達はないとされ、木本類の評価のみ。ジャイアント・ミスカンサスの場合、覆土以深に根が到達することが考えられるため、移行係数、丈、栽培密度によっては、決定経路となる可能性を排除できないことから追加評価を行う。
15-2				外部	
16-2		埋戻し材、樹木、伐採木（伐採前・後）、堆積有機物層	作業者	粉塵吸入	草本類であるため、伐採等に伴う粉塵の発生はないものと考えられるため、追加評価は行わない。
17-2				直接経口	

農地造成における被ばく経路の検討

No.	評価対象		線源	対象者	被ばく形態	備考
18-1	土取場の環境回復後（草本又は木本植栽）	周辺居住（草本植栽）	埋戻材	公衆（成人）	外部	覆土後の外部被ばくであるため、決定経路となり得ないため、再評価は行わない。
18-2		周辺居住（木本植栽）	埋戻材、樹木、伐採木（伐採前・後）、堆積有機物層	公衆（成人）	外部	経路15-2の再評価結果を以て、再評価の可否を判断する。
19-1		周辺居住（草本植栽）	埋戻材	公衆（子ども）	外部	覆土後の外部被ばくであるため、決定経路となり得ないため、再評価は行わない。
19-2		周辺居住（木本植栽）	埋戻材、樹木、伐採木（伐採前・後）、堆積有機物層	公衆（子ども）	外部	経路15-2の再評価結果を以て、再評価の可否を判断する。
20-1		環境回復地利用（草本植栽）	埋戻材	公衆（成人）	外部	土地造成の既往の評価のような緑地公園利用は想定されないため、再評価は行わない。
20-2		環境回復地利用（木本植栽）	埋戻材、樹木、伐採木（伐採前・後）、堆積有機物層	公衆（成人）	外部	
21-2			樹木由来の粉塵		吸入	
22-1		環境回復地利用（草本植栽）	埋戻材	公衆（子ども）	外部	覆土後の外部被ばくであるため、決定経路となり得ないため、再評価は行わない。
22-2		環境回復地利用（木本植栽）	埋戻材、樹木、伐採木（伐採前・後）、堆積有機物層	公衆（子ども）	外部	覆土後の外部被ばくであるため、決定経路となり得ないため、再評価は行わない。
23-2			樹木由来の粉塵		吸入	草本類であるため、伐採等に伴う粉塵の発生はないものと考えられるため、追加評価は行わない。
24	土取場の環境回復後の地下水移行（井戸水利用）	飲料水摂取	井戸水	公衆（成人）	経口	埋設される再生資材量が既往の安全評価の半分以下であることから、地下水移行の総量も既往の評価以下と考えられるため、再評価は行わない。 ※分配係数が既往の評価パラメータ2.7E+02の半分以下となることは考えにくい。
25				公衆（子ども）	経口	
26		農耕作業	井戸水で灌漑した土壌	作業者	外部	
27					粉塵吸入	
28		農作物摂取	灌漑した土壌で生産された農作物	公衆（成人）	経口	
29				公衆（子ども）	経口	
30		畜産物摂取	灌漑土壌した土壌で生産された畜産物	公衆（成人）	経口	
31				公衆（子ども）	経口	
32		畜産物摂取	井戸水で飼育された畜産物	公衆（成人）	経口	
33				公衆（子ども）	経口	
34		淡水産物摂取	井戸水で養殖された淡水産物	公衆（成人）	経口	
35				公衆（子ども）	経口	

農地造成における被ばく経路の検討

農地造成において再評価、追加評価すべき被ばく経路（災害時）

自然災害	検討結果	評価の必要性	備考
地震	遮へい材としての機能する覆土（草本植栽：厚さ30 cm、木本植栽：厚さ1 m）について、液状化等により部分的な覆土厚さの減少等の形状変化が生じる可能性が考えられるが、そのケースの評価は、より保守的な評価となる下記の津波による埋戻材の露出を想定したケースの評価で代替する。	×	
津波	東日本大震災の被災地の視察結果（31, 32）によると水田において津波により影響を受けたのは表層2～3 cmであったことから、平場の土地造成地における津波による影響は小さいと考えられる。一方で、面積はわずかであるが20～30 cmほどの深さの陥没様箇所が確認されたことや、倒木が認められたこと、堤防裏法尻背後で洗堀があったこと（31-33）などから、部分的に覆土厚さが減少し、埋戻材が露出する可能性はある。そこで、被ばく線量が最大となる埋戻材がすべて露出する条件を用いて評価を行った。 ＜草本植栽＞ 覆土がすべて津波で流され、埋戻材が露出した条件で被ばく線量評価を行った。 ＜木本植栽＞ 埋戻材の規模がより大きい草本植栽のケースで代替した。	○	農地造成における再生資材量は既往の評価の半分以下であるため、既往の安全評価結果に包含され则认为る。
火災	植栽した樹木の火災により発生したブルーム由来の被ばくが考えられる。 ＜草本植栽＞ 草本への放射性セシウムの移行量は木本と比べ小さいため、より保守的な評価となる木本の火災に対する評価で代替する。 ＜木本植栽＞ 放射性セシウムが移行した木本の火災により、放射性セシウムが拡散することを想定した被ばくを評価する。 【参考】一般の森林火災例（34） ・秋田県能代市（1943）：21 ha消失（35） ・鹿島町（1977）、204.90 ha ・川内村（1982）、63.00 ha ・塙町、鮫川村（1987）、204.80 ha ・船引町（1996）、78.99 ha ・浪江町（1999）、24.80 ha ・いわき市（2005）、36.40 ha ・保原町（2005）、14.00 ha	○	植栽する草本類の根の到達深度、移行係数、丈、栽培密度等によっては、リスクを排除できないため、追加評価を行う。

農地造成における被ばく経路の検討

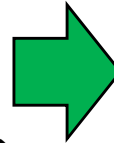
自然災害	検討結果	評価の必要性	備考
暴風・竜巻	暴風・竜巻による倒木で根返りが発生することが考えられるが、下記の理由から評価の対象から外した。 ＜草本植栽＞ 草本のみのため倒木は発生しない。 ＜木本植栽＞ 倒木による根返りの発生は考えられるが、覆土厚を1 mとしており露出の可能性は低いと想定される。倒れた樹木からの被ばくについては、伐採作業者に対する評価に代替される。 【参考】過去20年間の主な風倒木被害例(36) ・台風7号災(1998) - 大阪・奈良・和歌山、計4,552 ha ・台風18号災(1999) - 熊本・大分・鹿児島、計3,858 ha	×	
異常降雨 (豪雨)	草地や林地での侵食土深は0.1～0.01 mm/yであり、豪雨により100倍となった場合でも1～10 mmほどである(37)。また、一降雨により年間の土砂流出量を上回った事例として10～30 m³/ha(1～3 mm相当)が報告されている(38)。これらから、豪雨による覆土厚さの減少は津波の場合より少ないと考えられるため、より保守的な評価となる津波による埋戻材の露出を想定したケースの評価で代替する。一方、異常降雨の発生に伴う年間の浸透水量の増加が考えられ、その地下水移行への影響を評価した。 ＜草本植栽＞ 浸透水量の増加による地下水移行への影響を評価する。 ＜木本植栽＞ 浸透水量の増加による地下水移行への影響を評価する。 【参考】一般の豪雨災害例(39) ・平成27年9月関東・東北豪雨(2015) ・平成26年8月豪雨(2014) ・平成24年7月九州豪雨(2012) ・平成23年7月新潟・福島豪雨(2011) ・平成21年7月中国・九州北部豪雨(2009) ・平成20年8月末豪雨(2008) ・平成18年7月豪雨(2006) ・平成16年7月福井豪雨(2004) ・平成16年7月新潟・福島豪雨(2004)	○ ただし、草本植栽の場合のみ	農地造成における再生資材量は既往の評価の半分以下であるため、既往の安全評価結果に包含され则认为。

被ばく線量評価パラメータ及び評価結果について

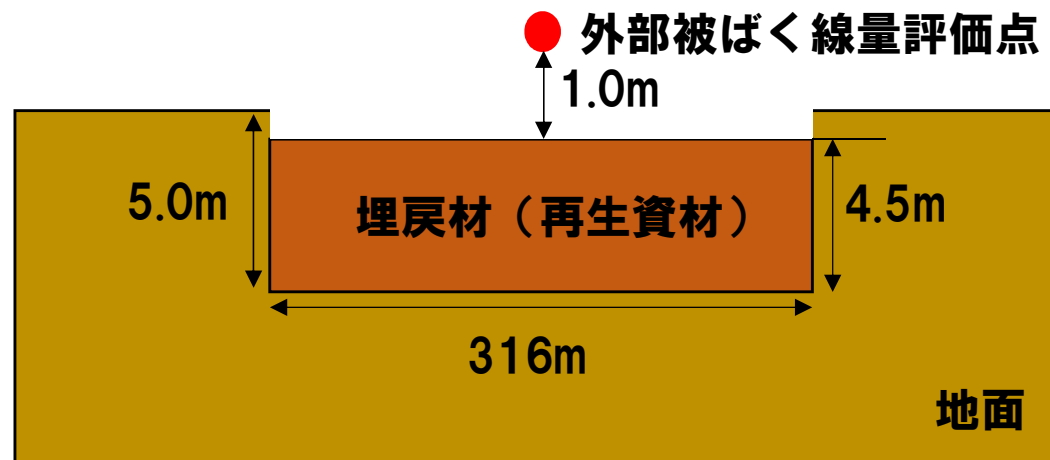
- 農地造成作業者の年間被ばく線量（決定経路）を評価し、農地において利用可能な再生資材濃度を評価

（1-1）農地造成作業者の外部被ばく線量（資源作物）

- ・ 敷均し、締固め作業
- ・ 被ばく時間1,000h/y
- ・ 遮蔽係数1.0
- ・ かさ密度2.0g/cm³
- ・ Cs存在比：¹³⁴Cs：¹³⁷Cs=0.209:1（H28.3月時点）
既往の安全評価同（以下、同じ）



- ・ 外部被ばく線量換算係数（¹³⁴Cs+¹³⁷Cs）
1.6E-01 [mSv/y] / [Bq/g]
- ・ 1年施工時の1mSv/y相当濃度
→6,300Bq/kg
- ・ 放射能濃度の上限を6,000Bq/kgとする
- ・ 6,000Bq/kg=6Bq/gの再生資材使用時の
外部被ばく線量は、0.96mSv/yとなる。



農地造成作業者の外部被ばく線量評価体系

（1-2）農地造成作業者の外部被ばく線量（園芸作物）

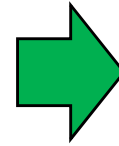
- ・ 資源作物と同様の線量評価体系とし、再生資材濃度も同様

被ばく線量評価パラメータ及び評価結果について

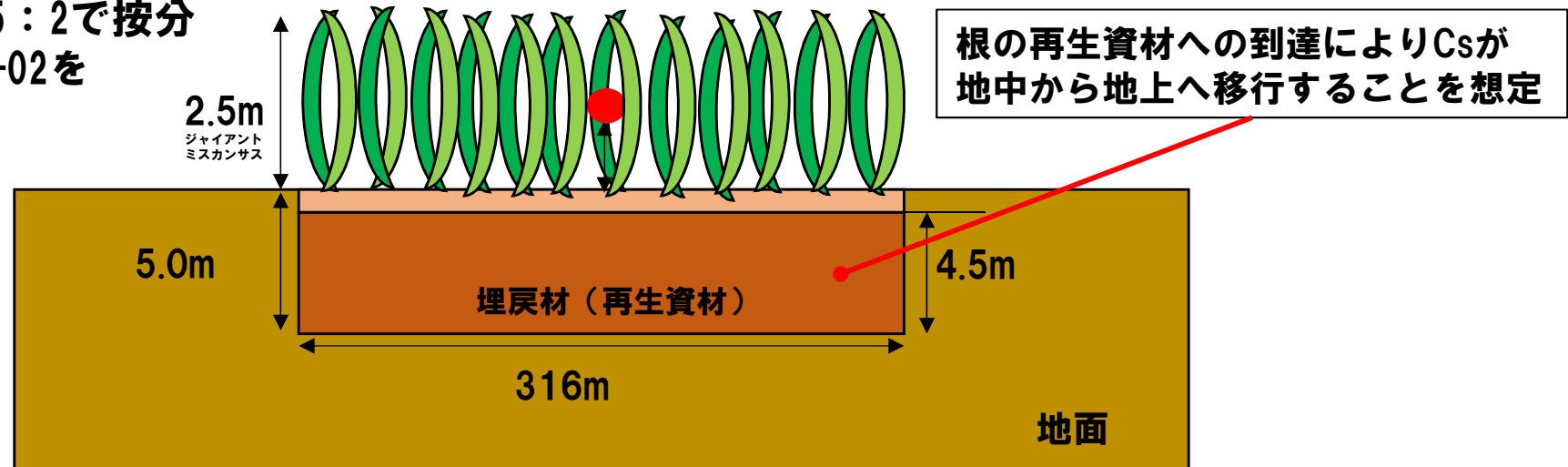
- 保全作業作業者の被ばく線量を評価
- 評価対象作物は移行係数、体系及び収量が多い資源作物（ジャイアント・ミスカンサス）とした

（2-1）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以上、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。



- ・ 外部被ばく線量換算係数（ $^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$ ）
 $6.4\text{E}-04 [\text{mSv}/\text{y}] / [\text{Bq}/\text{g}]$
- ・ 埋戻材として $6,000\text{Bq}/\text{kg}=6\text{Bq}/\text{g}$ を使用した場合、作物中濃度は、 $0.324\text{Bq}/\text{g}$ となる。
- ・ 保全作業者の被ばく線量は
 $0.00021\text{mSv}/\text{y}=\underline{0.21\mu\text{Sv}/\text{y}}$ となる。



（2-2）農地保全作業者の外部被ばく線量（園芸作物）

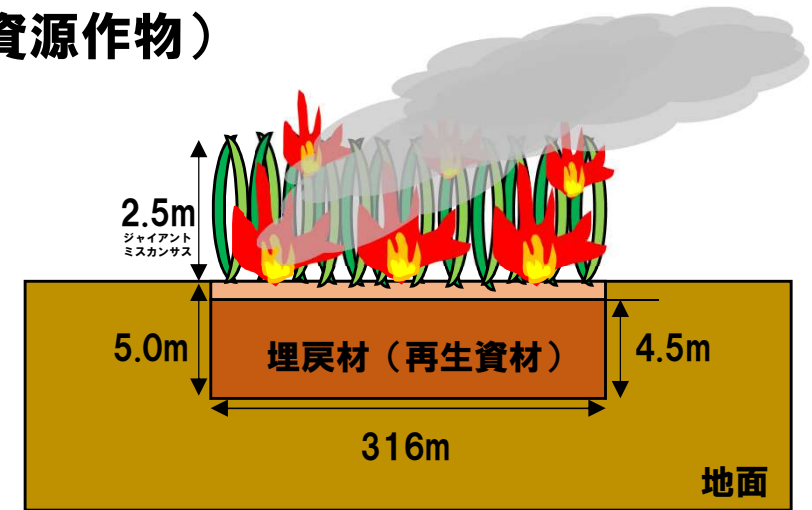
- ・ 体系及び収量が小さいため、資源作物の評価結果に包含されるものと考えられる

被ばく線量評価結果について（火災時）

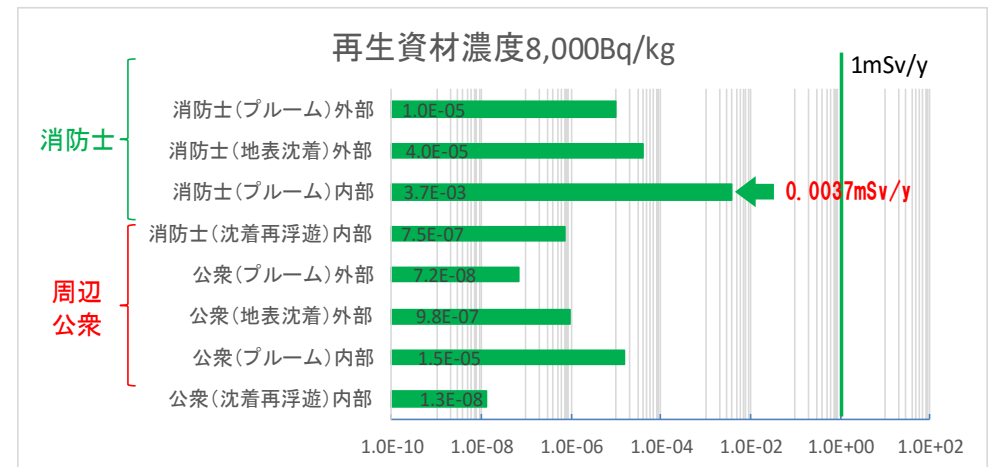
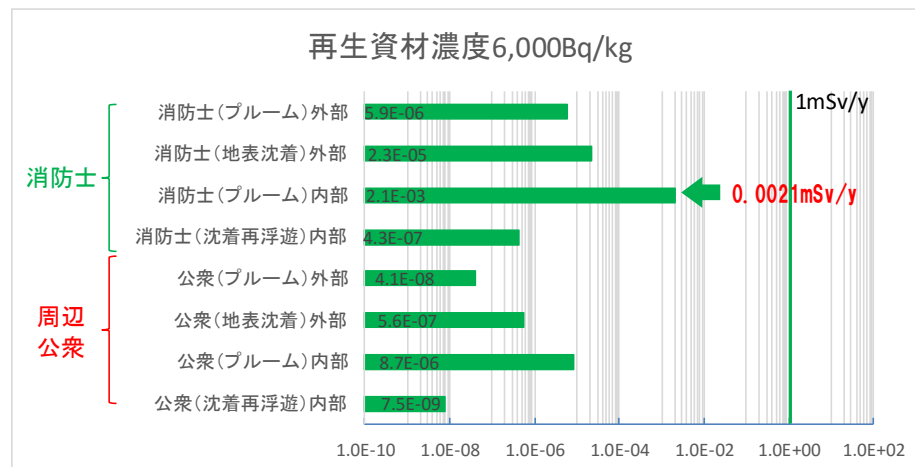
➤ 再生資材中Csの作物移行に伴い、火災時の消防士及び周辺公衆に及ぼす影響を評価

（3-1）火災時における消防士、公衆の被ばく線量評価（資源作物）

- ・作物が全焼した場合を想定
延焼面積：10ha、風速1m/s（土地造成同）
延焼速度は木本類の5倍を想定
 - ・被ばく形態
消防士：外部・吸入、周辺公衆：外部・吸入
 - ・ブルームからの被ばく：半無限線源
 - ・地表沈着による被ばく：無限平板線源
 - ・被ばく時間：24h
- 消防士の被ばく経路においては、既往の土地造成に係る安全評価結果を上回るものの1mSv/yを大きく下回る結果となった。
- 周辺公衆の被ばく経路においては、既往の土地造成に係る安全評価結果を下回り、消防士同様1mSv/yを大きく下回る結果となった。



【ジャイアントミスカンサス栽培初年度火災時被ばく線量】



（3-2）火災時における消防士、公衆の被ばく線量評価（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

覆土厚の考え方について

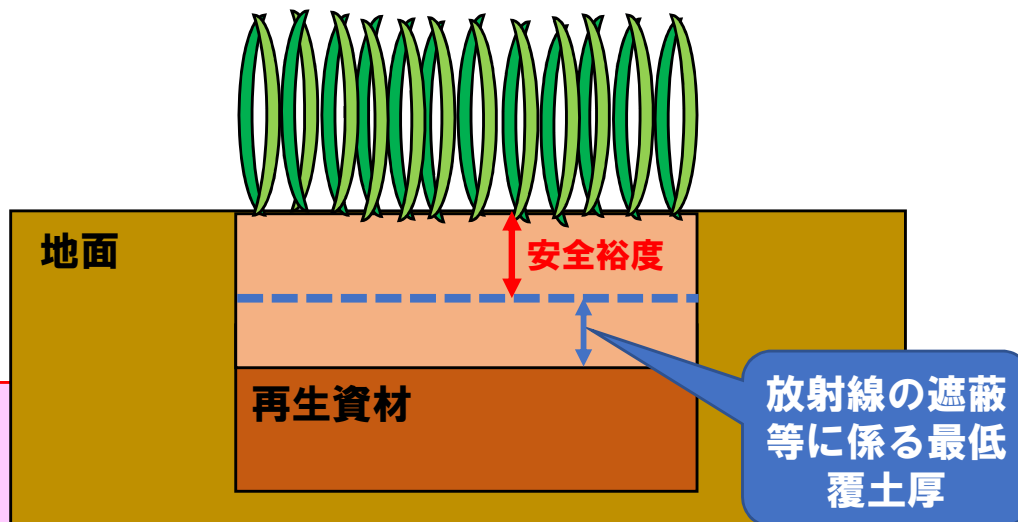
- 農地造成における覆土厚については、放射線の遮蔽及び作土厚を踏まえ、覆土厚を50cmとする
- これに加え、必要な安全裕度を考慮する

【放射線遮蔽の観点】

- ・土地造成（木本類・草本類）における安全評価では、放射線遮蔽の観点から必要となる覆土厚として40cmとしており、農地造成においても同様

【作土深さの観点】

- ・農地における作度深さを考慮し、必要な覆土厚を50cmとする



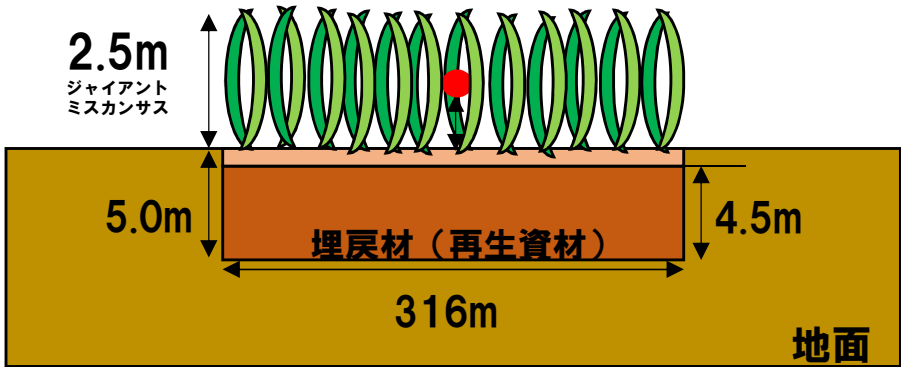
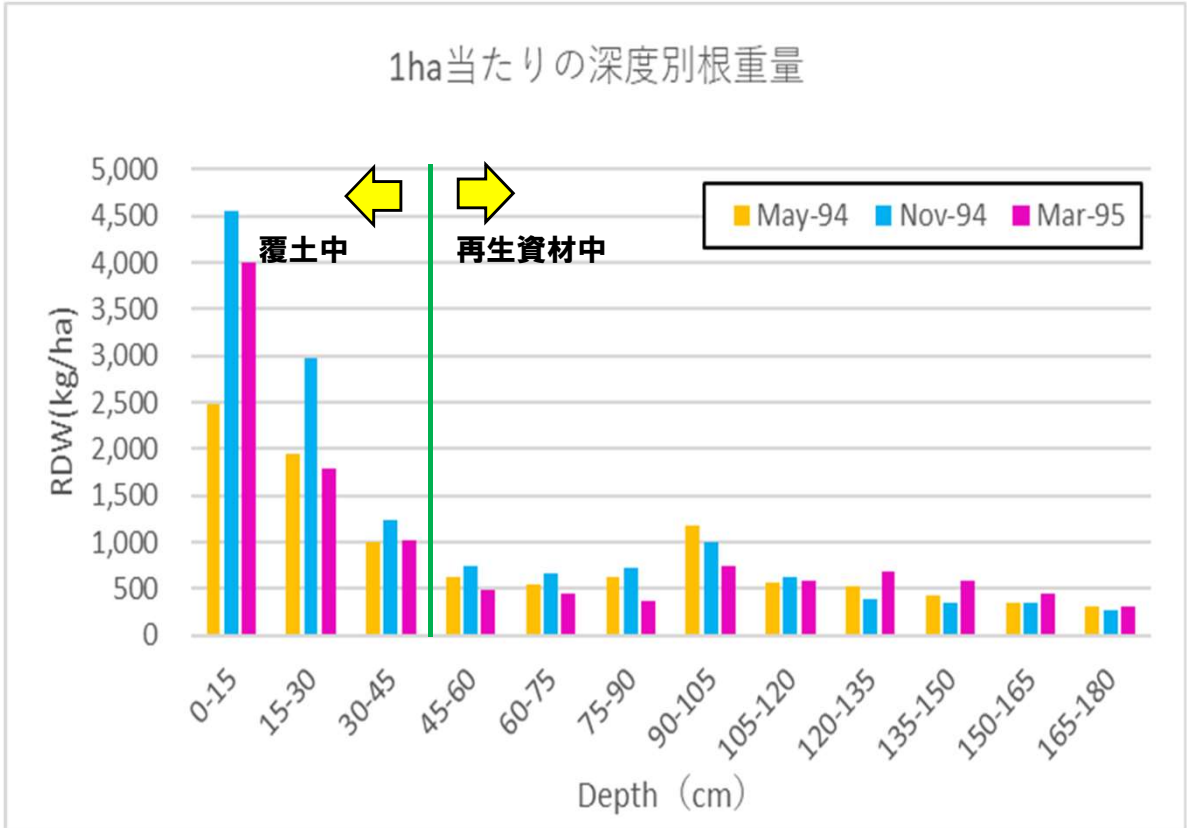
覆土厚は、農地として耕起等を考慮し設定する

品種	各農作物の耕起の深さと根の深さ
	改良深度 作土の深さ (cm)
キク	20-30
バラ	30-40
トルコ桔梗	20-40
リンドウ	30-40
カーネーション	20-30
アルストロメリア	20-40
宿根カスミソウ	20-40

青森県「土壌及び作物体分析の手引」（平成4年編）

移行係数に関する検討

- ・ ジャイアント・ミスカンサスを例とすると、根の密度は表層から45cm程度が高い
 - ・ 覆土厚50cmの場合、根の大部分は放射性物質を含まない土壤中に存在することとなる。
- 現状の評価は、過大となっている可能性



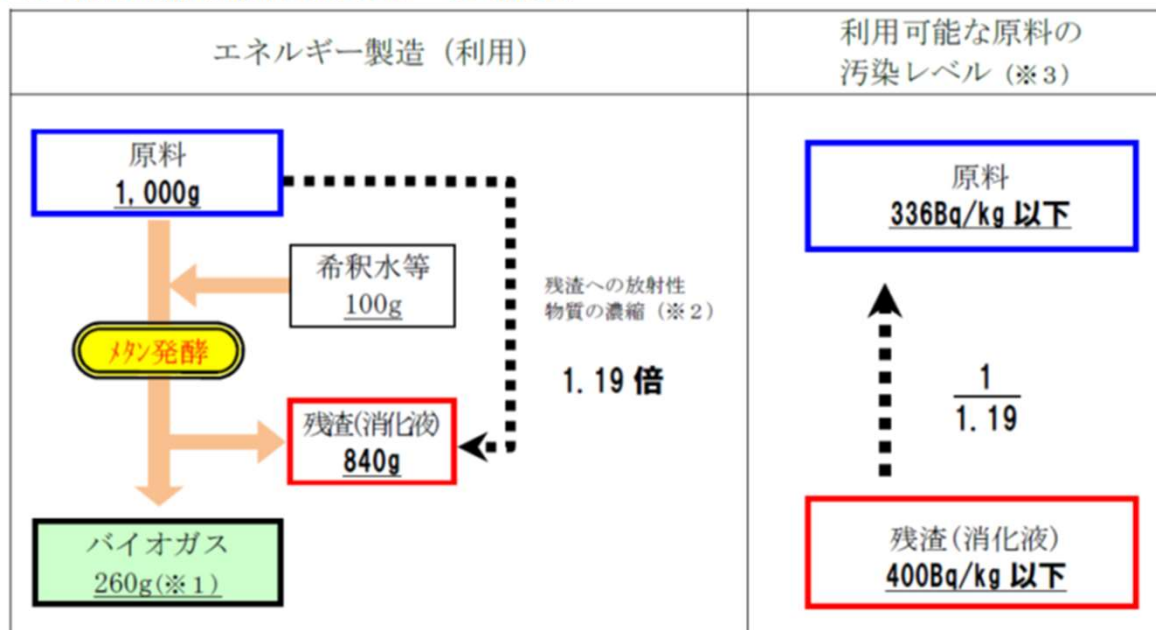
0-45cm合計 乾燥根重量(kg ha-1)		
May-94	Nov-94	Mar-95
5,417	8,761	6,819
0-45cm域の根重量の割合		
51%	63%	59%
45-180cm合計乾燥根重量(kg ha-1)		
5,161	5,138	4,652
45-180cm域の根重量の割合		
49%	37%	41%

【参考】 上記のグラフ及び表は、「Spatial and temporal distribution of the root system and root nutrient content of an established Miscanthus crop, D. Neukirchen et al., European Journal of Agronomy 11」,D. Neukirchen et.al.から作成

資源作物のバイオマス利用について

- 資源作物（ジャイアントミスカンサス）由来の原料の放射能濃度は324Bq/kgであり、メタン発酵による利用可能な原料の汚染レベル（336Bq/kg）を下回る結果となった。（資源作物の濃度は、再生資材6,000Bq/kg、移行係数0.054として評価）

（４）利用可能な原料の汚染レベル（試算）



※１：1kg から 0.2 m³のバイオガス発生を想定

バイオガス成分としてメタン 55% (0.717kg/m³)、二酸化炭素 45% (1.976kg/m³) を想定

※２：バイオガスには放射性物質は移行しないことから、すべて残渣に濃縮するとして試算

※３：残渣を肥料として使用するための原料の汚染レベル

出典：避難指示区域における資源作物の生産及びエネルギー化に関する方針
平成25年12月 福島県農林水産部

農地造成

ジャイアント・ミスカンサスの根の腐植に伴う土壌中 Cs の溶出への影響推定

1. 目的

ジャイアント・ミスカンサスの栽培は、栽培後の根の抜根無しに 7 年程度栽培が行われる。同植物の根は、2.5m 程度まで達することが文献等で示されており、栽培後、残置された根の腐植等の影響により発生すると考えられる NH_4^+ により、再生資材中の Cs が溶出し易くなる可能性が考えられる。

本評価では、ジャイアント・ミスカンサスの根の腐植により、有意な Cs の溶出が起これるか否かについて検討・考察する。

2. 評価パラメータ

本評価に当たり、使用したパラメータを表 1 に示す。

表 1 本評価に用いたパラメータ

項目	パラメータ	備考
土壌湿潤密度	1.7t/m ³	一般的な地山の土壌密度
土粒子密度	2.6t/m ³	無機質な土の土粒子密度
NH_4^+ の mol 質量	18g/mol	N : 14g/mol H ₄ : 4g/mol
ジャイアント・ミスカンサスの根到達深度	1.8m	参考文献 1 ¹ より 最大で 2.5m に達する場合があることも示されている。
ジャイアント・ミスカンサスの根乾燥重量	13,898kg/ha	参考文献 1 より
ジャイアント・ミスカンサスの根中に含まれる窒素量	124.6kg/ha	参考文献 1 より

3. 検討・考察

3.1 ジャイアント・ミスカンサスの根重量からの推定

ジャイアント・ミスカンサスの乾燥根重量は、参考文献 1 の Table2 に以下が示されている。

¹ Spatial and temporal distribution of the root system and root nutrient content of an established Miscanthus crop, D. Neukirchen et.al., European Journal of Agronomy 11 (1999) 301–309

Table 2
Root dry weight (RDW) in different soil layers during the
1994/1995 growing period^a

Depth (cm)	Samplings RDW			LSD ^b
	May 1994	November 1994	March 1995	
	RDW (kg ha ⁻¹)			
0–15	2475	4550	4008	ns ^c
15–30	1947	2967	1787	ns
30–45	995	1244	1024	ns
45–60	636 ab	737b	482 a	239
60–75	558	667	454	ns
75–90	620 b	724 b	370 a	182
90–105	1173	1010	741	ns
105–120	573	631	590	ns
120–135	520	386	681	243
135–150	421	360	585	ns
150–165	343	342	445	ns
165–180	317	281	304	ns
Total	10 579	13 898	11 471	

^a Figures within a line followed by different letters are significantly different, based on a Tukey HSD test.

^b Least significant difference ($p < 0.05$).

^c Not significant.

根乾燥重量については、栽培時期によりばらつきがあるものの、本検討では、保守的に本 Table 中最大値となる 13,898kg/ha を用いることとした。

1ha の土壌重量は、上記の Table2 より、土壌深さを 1.8m とした場合、以下となる。

○ジャイアント・ミスカンサス栽培地の単位面積 (ha) 当たりの土壌重量

$$1.7\text{t/m}^3 \times 100\text{m} \times 100\text{m} \times 1.8\text{m} = 30,600\text{t} = 30,600,000\text{kg}$$

ジャイアント・ミスカンサス根重量との重量比は以下となる。

$$13,898\text{kg} / 30,600,000\text{kg} = 4.5\text{E-}04 = \underline{0.045\%}$$

参考文献 2²⁾によると、土壌+雑草 20%の存在形態においても NH_4^+ 濃度は $6.0\text{E-}04\text{mol/L}$ 以下となることが報告されている。

6: 環境条件によって溶出・吸着性能は変わるのか？

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

図6-1 NH_4^+ と K^+ の濃度が溶出率に及ぼす影響¹⁾

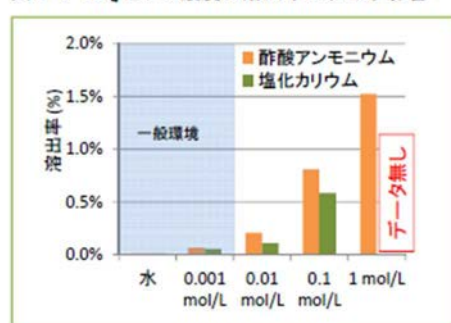
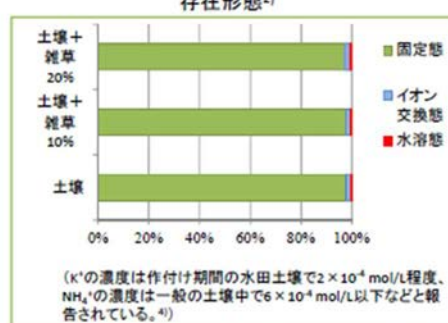


図6-2 土壌・雑草混合物中の放射性Csの存在形態²⁾



(出典) 1) 保素ら: 未発表資料。 2) 保素ら(2014): 環境放射能汚染学会 第3回研究発表会 講演要旨集および発表スライド。 3) 田中ら(1991): 日本原子力学会誌, 33(4), 373-380。 4) 岡島ら(1983): 土壌肥沃度論, 農山漁村文化協会。

15

図1 土壌中の放射性セシウムの挙動に関するレビューの抜粋

ジャイアント・ミスカンサスの根重量と土壌の重量比は、前記のとおり、0.045%程度であることから、Csの溶出に有意な影響を及ぼすとは考えられない。

3.2 ジャイアント・ミスカンサスの根に含まれる窒素量からの推定

ジャイアント・ミスカンサスの根に含まれる窒素量は、参考文献 1 の Table3 に以下が示されている。

Table 3
Nutrient contents (N, P and K) in total root dry matter of
Miscanthus

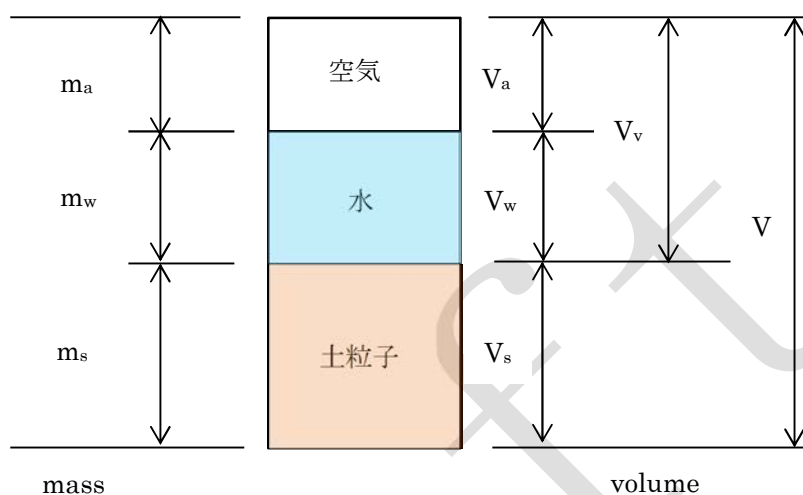
	Samplings			Mean
	May	November	March	
	Nutrient content (kg ha ⁻¹)			
N	94.0	124.6	108.9	109.2
P	7.6	13.2	11.0	10.6
K	75.0	116.5	85.9	92.5

²⁾ 土壌中の放射性セシウムの挙動に関するレビュー, 土壌中の放射性セシウムの挙動に関するレビュー作成検討委員会

本検討では、保守的に 124.6kg/ha を用いることとした。

土壌中の水分については、湿潤密度を 1.7t/m³、含水比を 20%と仮定して、以下のとおり算出した。

【土壌中水分量の算出】



- m_a : 土壌中の空気の質量
 m_w : 土壌中の水の質量
 m_s : 土粒子質量
 V_a : 土壌中の空気体積
 V_w : 土壌中の水体積
 V_s : 土粒子体積
 V_v : 土壌中の土粒子以外の体積
 V : 土壌体積

1ha 当たりの土壌の体積は、深さ 1.8m とすると

$$\bullet V = 100\text{m} \times 100\text{m} \times 1.8\text{m} = 18,000\text{m}^3$$

含水比を 20%と仮定した場合、

$$\bullet \text{含水比 } W_n = m_w / m_s \times 100\% = 20\%$$

土壌乾燥密度を ρ_d 、湿潤密度を ρ_t とすると、

$$\bullet \rho_d = \frac{m_s}{V} = \frac{\rho_t}{1 + \frac{W_n}{100}} = 1.417\text{g/cm}^3$$

間隙比を e 、土粒子密度を ρ_s とすると

$$\bullet e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1 = \frac{2.6}{1.417} - 1 = 0.835$$

このときの飽和度は S_r とすると

$$\cdot S_r = \frac{V_w}{V_v} = \frac{W_n \cdot \rho_s}{e} = \frac{20 \times 2.6}{0.835} = 62.3\%$$

間隙率を n とすると

$$\cdot n = \frac{V_v}{V} \times 100\% = \frac{e}{1+e} \times 100\% = \frac{0.835}{1+0.835} \times 100\% = 45.5\%$$

よって、 $V_w = V_v \times 0.623 = 0.455 \times 18,000 \text{ m}^3 \times 0.623 = 5,102 \text{ m}^3$

水の密度を 1.0 g/m^3 とすると

$$\cdot 5,102 \text{ m}^3/\text{ha} = 5,102,000 \text{ l/ha}$$

単位面積 (ha) 当たり、 124.6 kg の窒素が全て反応し、 NH_4^+ となった場合、土壤中水分量当たりの mol 数は以下となる。

$$\frac{124.6 \text{ kg/ha}}{0.018 \text{ kg/mol}} \cdot \frac{1}{5,102,000 \text{ l/ha}} = 1.36 \text{ E-}03 \text{ mol/l}$$

本計算結果から単位面積 (ha) 当たり、ジャイアント・ミスカンサスの根寄与の窒素が全て反応し、 NH_4^+ となった場合においても、図 1 に示される一般環境のアンモニウムイオン濃度と同程度であると考えられる。

また、土壤各層の含水量が均一と仮定した場合、各層におけるアンモニウムイオン量 (ジャイアント・ミスカンサスの根中窒素が全反応した場合) 以下の分布となることが考えられる。

表 1 土壌の層別アンモニウムイオン濃度等の試算結果

深さ (cm)	乾燥根の 重量 (kg/ha)	根に含まれる 窒素量 (kg/ha)	全反応時 mol数 (mol/h a)	全反応時 各層のmol濃度 mol/ ℓ	各層を構成する土壌
0-15	4,550	40.8	2266	5.33E-03	覆土材(新材)
15-30	2,967	26.6	1478	3.48E-03	
30-45	1,244	11.2	620	1.46E-03	
45-60	737	6.6	367	8.63E-04	再生資材
60-75	667	6.0	332	7.81E-04	
75-90	724	6.5	361	8.48E-04	
90-105	1,010	9.1	503	1.18E-03	
105-120	631	5.7	314	7.39E-04	
120-135	386	3.5	192	4.52E-04	
135-150	360	3.2	179	4.22E-04	
150-165	342	3.1	170	4.01E-04	
165-180	281	2.5	140	3.29E-04	
Total	13,899	124.6	6922	1.36E-03	

本試算の結果からアンモニウムイオン濃度の分布は、図 1 の既往の評価により、Cs の溶出率に大きな影響を及ぼさないと考えられる 10^{-3}mol/L オーダーを大きく超えることはないと考えられる。また、比較的アンモニウムイオン濃度が高くなる層は、覆土材³ (新材) が用いられる層であり、再生資材が用いられる層におけるアンモニウムイオン濃度は、 10^{-3}mol/L オーダーより 1 桁程度低くなると考えられる。

³ 本評価における覆土厚は 50cm を仮定した。

再生利用の手引き 骨子（案）

平成30年3月7日
環境省

目 次

1.再生利用に手引きの前提条件について

- (1) 再生資材の利用に係る関係者の責任分担
- (2) 再生利用の手引きの構成等
- (3) 管理項目（案）

2. 再生利用の手引き骨子（案）

1.再生利用に手引きの前提条件について

(1) 再生資材の利用に係る関係者間の責任分担について

➤ 責任分担に係る基本的な考え方

環境省の責任（再生資材中の放射性物質及び再生資材の品質に係る責任全般を負う）

- 再生資材の利用方法
- 再生資材の利用に係る説明（対関係省庁、自治体、地元住民）
- 再生資材の製造、品質管理
 - ・放射能濃度検査、土質試験、特定有害物質試験、運搬等
- 再生資材の流出等の災害時の対応
- 再生資材の利用に係る情報共有及び開示
 - ・埋設場所、点検結果等の情報の共有及び開示

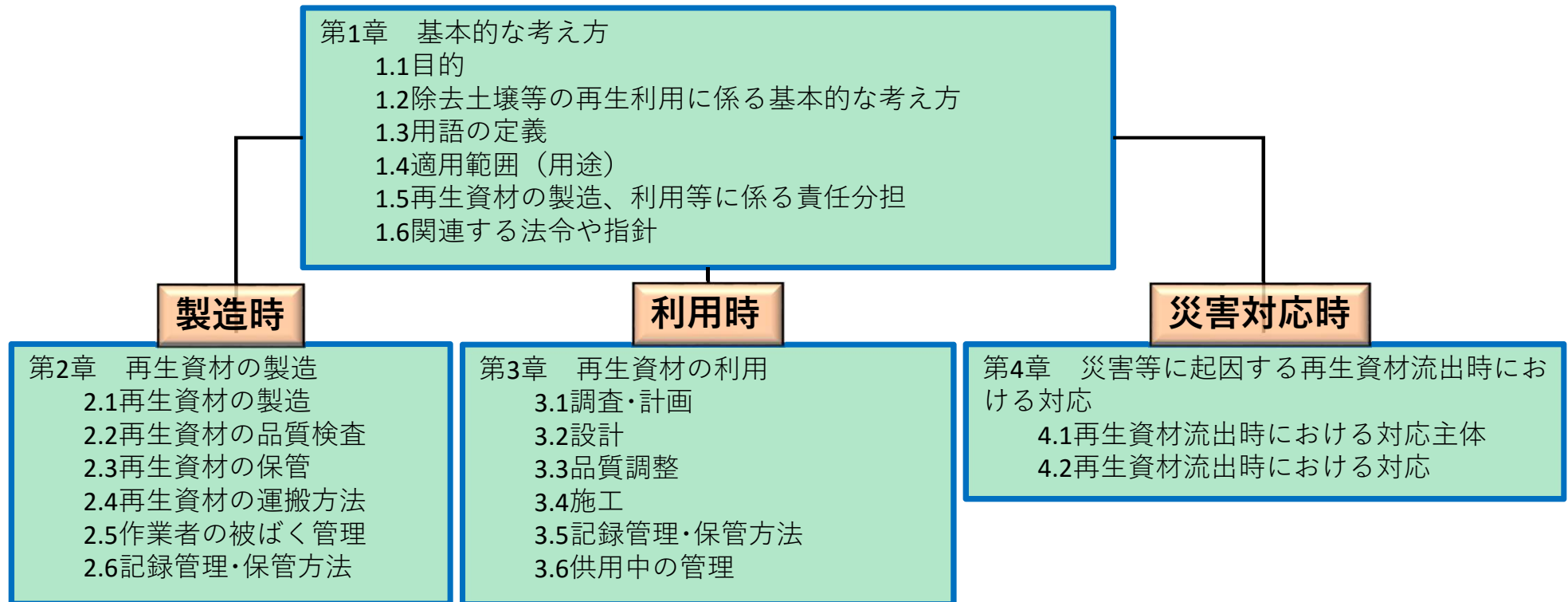
関係省庁、自治体等の責任（公共工事に係る責任全般を負う）

- 公共事業に係る計画（都市計画等）
- 公共事業に係る説明（対関係省庁、自治体、地元住民）
- 供用中の管理（日常、定期、災害時点検等の実施）
- 災害時の対応
- 環境省への情報提供（再生資材の利用に係る情報等）

1.再生利用に手引きの前提条件について

(2) 再生利用の手引きの構成等

- ・再生利用の手引きの記載内容は、資材中に放射性物質を含むことによる取扱い時の留意事項とする。
- ・土工一般の留意事項等は、既存のガイドライン、専門書等の参照を促すこととする。（各項目について1～2頁程度の記載量：全体40頁前後）



参考資料（別冊資料）

除去土壌等の再生利用に係り実施した安全評価の概要、実証事業の事例等について、適宜追加する。
（安全評価_例）道路盛土、海岸防災林、防潮堤、土地造成等に係る安全評価の概要。今後、新たに検討したものを適宜追加する。
（実証事業_例）南相馬実証事業。今後、飯舘村農地造成、二本松道路舗装、大熊分級実証等の例を追加。

1.再生利用に手引きの前提条件について

(3) 管理項目（案）

管理目的	管理要件	安全の観点			管理項目案
		出荷	施工	供用	
使用の限定	保管場所・使用場所・持ち出し管理	—	○	—	・使用場所は、人為的形質変更がなされるおそれのない場所とする。
		—	○	—	・地域の周辺地形、地質、気象、その他状況を勘案し、破損の可能性が高いと考えられる場所は避ける。
		○	○	○	・再生資材の保管場所、使用場所、持ち出しを管理するとともに記録を作成・保管する。
追加被ばくの制限	放射能濃度管理	○	×	×	・線量評価に基づき、用途別に設定した放射能濃度を出荷時に確認し、安全を担保する。
	遮へい管理	—	○	—	（施工） ・出来形検査により、設定した遮へい厚以上であることを確認する。
		—	—	○	（供用） ・土工構造物の巡視等により、遮へい厚が損なわれるような異常がないことを確認する。
	空間線量率等の測定	○	×	×	・出荷側においては、取扱う原料土等の放射能濃度により電離則に基づく被ばく管理が必要であるため、空間線量率等の測定を行う。
	飛散、流出管理	○	○	—	・飛散、流出管理については、保管基準（現場保管等）に準拠し、管理する。
	溶出量管理	検討中	検討中	検討中	・Cs溶出量の管理 ※溶出が懸念される条件について要精査
	浸透水管理	—	×	×	

再生資材製造時等の作業環境においては、電離則、労働安全衛生法等、関係法令を遵守し、必要な管理を行う。

2. 再生利用の手引き 骨子（案）

第1章 基本的な考え方

○現行の「再生資材化した除去土壌の安全な利用に係る基本的考え方（平成28年6月、平成29年4月一部追加）」を「再生利用の手引き」に統合する。

○広く一般に公開されることを考慮し、理解のために必要な内容については、解説を加える。

➤ 基本的考え方（「再生資材化した除去土壌の安全な利用に係る基本的な考え方について（平成28年6月30日（平成29年4月26日一部追加）より）

- (1) 施設の構造形式、設置される地域の周辺の地形、地質、気象その他の状況を勘案し、施設に影響する作用及びこれらの組合せに対して十分安全なものとなるよう計画
- (2) 管理主体や責任体制が明確となっている公共事業等における人為的な形質変更が想定されない土工構造物の部材に限定
- (3) 通常の土木構造物に求められる品質（構造上、耐力上の安全性）、環境安全性等（特定有害物質等）
- (4) 用途に応じた追加被ばく線量を制限するための放射能濃度に設定
 施工中：作業中、作業中、周辺住民・施設利用者 1mSv/年以下
 供用中（更に低減）：周辺住民・施設利用者 0.01mSv/年
- (5) 施工中及び供用中に一定の管理を行いつつ、放射線防護のための特別な管理を講ずる必要がないよう製造者の責任において、放射能濃度等の品質を管理及び保証

2. 再生利用の手引き 骨子（案）

第2章 再生資材の製造

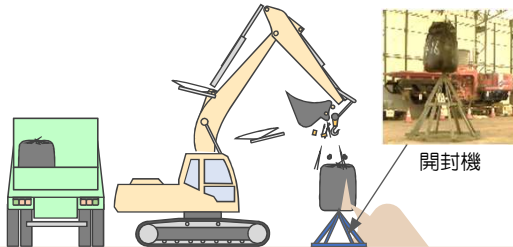
再生資材の保管、運搬、受入、分別、品質管理等の工程毎に留意事項を記載

- ・ 作業員の被ばくに係る留意事項
- ・ 再生資材として品質を管理するために必要な放射能濃度検査
- ・ 再生資材製造時の記録の管理・保管方法 等

再生資材化実証工程（南相馬実証事業の例）

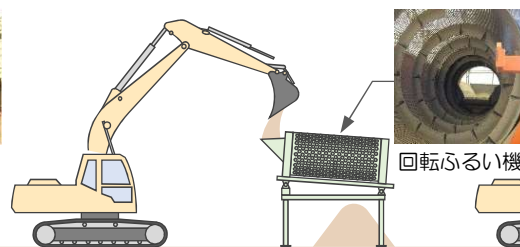
① 土のう袋の開封・ 大きい異物の除去

大型土のう袋を開封し、大きな異物を分別・除去します。



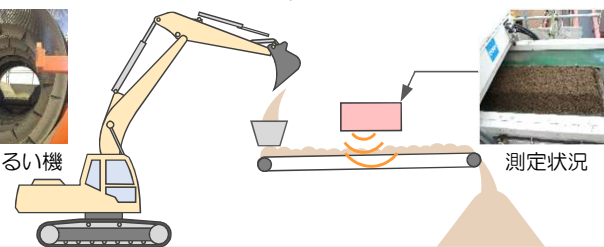
② 小さな異物の除去

ふるいでより小さな異物を分別・除去します。



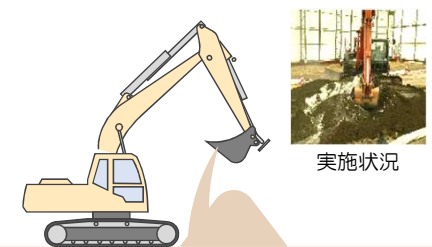
③ 濃度分別

放射能濃度を測定し、土壌を分別します(3000Bq/kg以下)。



④ 品質調整

盛土に利用する土壌の品質を調整します(水分、粒度など)。



2. 再生利用の手引き骨子（案）

第3章 再生資材の利用

再生資材の利用に係る関係者間の責任分担に基づき、必要な情報等の共有を図る

➤ 調査・計画

- ・ 事業決定前

関係省庁、自治体等
事業計画等



環境省

再生資材利用時の留意点等

➤ 設計

- ・ 事業決定後

関係省庁、自治体等
設計、施工等に関する情報等



環境省

災害時に係る事前調整

➤ 施工

関係省庁、自治体等
施工・品質管理、検査に関する情報等



環境省

再生資材の品質等
災害時の空間線量等

➤ 供用・管理

関係省庁、自治体等
日常点検、定期点検等結果
災害時被災状況



環境省

異常・災害時における
空間線量率等測定結果

2. 再生利用の手引き 骨子（案）

第3章 再生資材の利用

➤ 設計

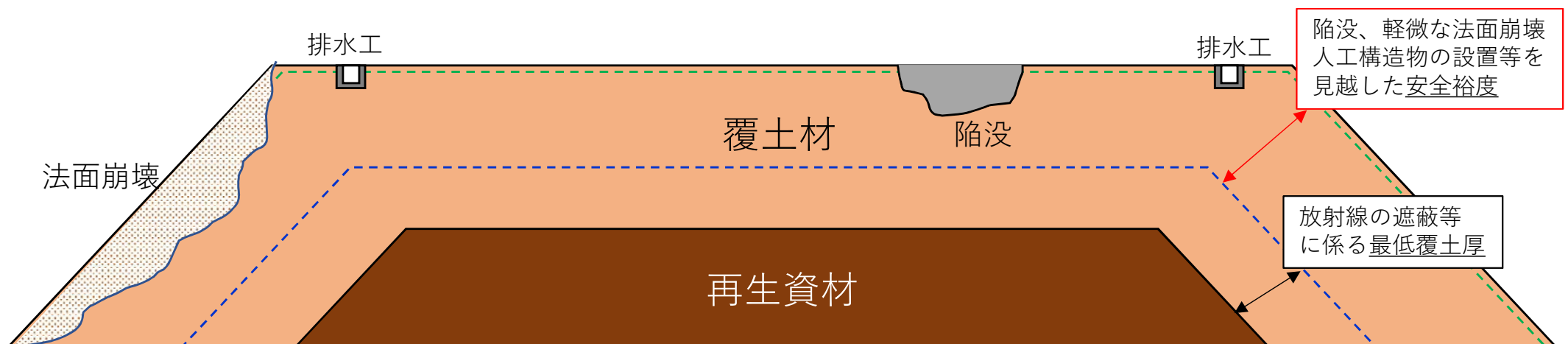
資材中に放射性物質を含むことにより、設計時において留意すべき事項を記載

【破損の観点】

- ・ 陥没、法面崩壊（軽微なもの）が生じても最低限の遮蔽厚を確保できること

【人工構造物等の設置の観点】

- ・ 排水溝等人工構造物を設置した場合においても最低限の遮蔽厚を確保できること



2. 再生利用の手引き 骨子（案）

第3章 再生資材の利用

➤ 品質調整

現場で行われる品質調整を考慮し、溶出が懸念される条件について要精査

➤ 施工

放射性物質を含む再生資材が露出している施工段階においては、資材自体を流出させることがないように留意する。

（参考）再生資材からの放射性物質の溶出について

・浸出水については、実証試験においてND

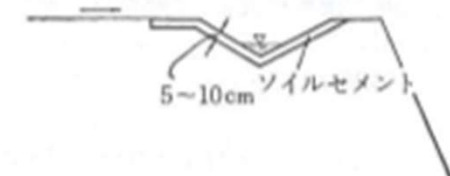
（Cs-134 : 0.110Bq/L未満、 Cs-137 : 0.143Bq/L未満）

【例】大規模土工で取られる一般的な降雨対策



(b)のり面に雨水を出せない場合

解図 5-5-1 施工中の表面水の処理



解図 5-5-2 施工中の表面水の処理

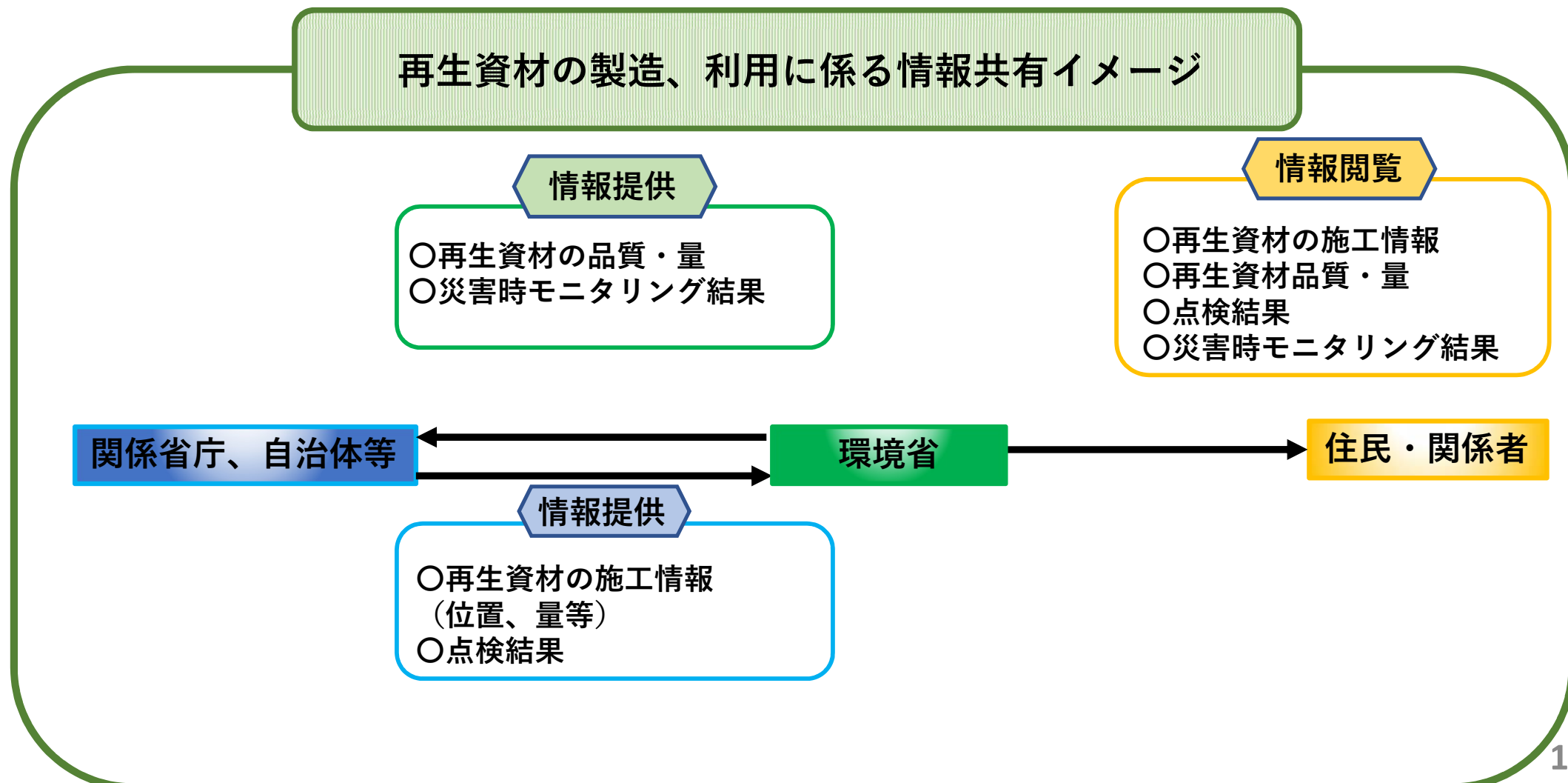
出典：道路土工,盛土工指針
(平成22年度版,日本道路協会)

2. 再生利用の手引き 骨子（案）

第3章 再生資材の利用

➤ 記録管理・保管方法

- ・ 再生資材のトレーサビリティ確保
- ・ 将来に渡り、再生資材を使用した箇所、量等が確認できるよう広く一般に公開



2. 再生利用の手引き 骨子（案）

第3章 再生資材の利用

➤ 供用中の管理

- ・ 日常の管理

既存の法令、指針、ガイドライン等に定められている点検内容及び頻度により実施

- ・ 従前の管理において実施される点検内容に不足が生じる場合にあっては、必要に応じ環境省において点検等を実施

【直轄国道における点検内容の例】

（変状把握）

- ① 日常、定期、異常時の巡視、住民からの通報などによる変状の把握
- ② 第三者被害、自然災害などの観点からの危険度調査等

（点検）

- ・ 上記の巡視、危険度調査等により変状を把握した場合
- ・ 重要度等を踏まえて社会的影響の高い道路土工構造物
→ 近接目視による点検を実施(5年に一回程度)

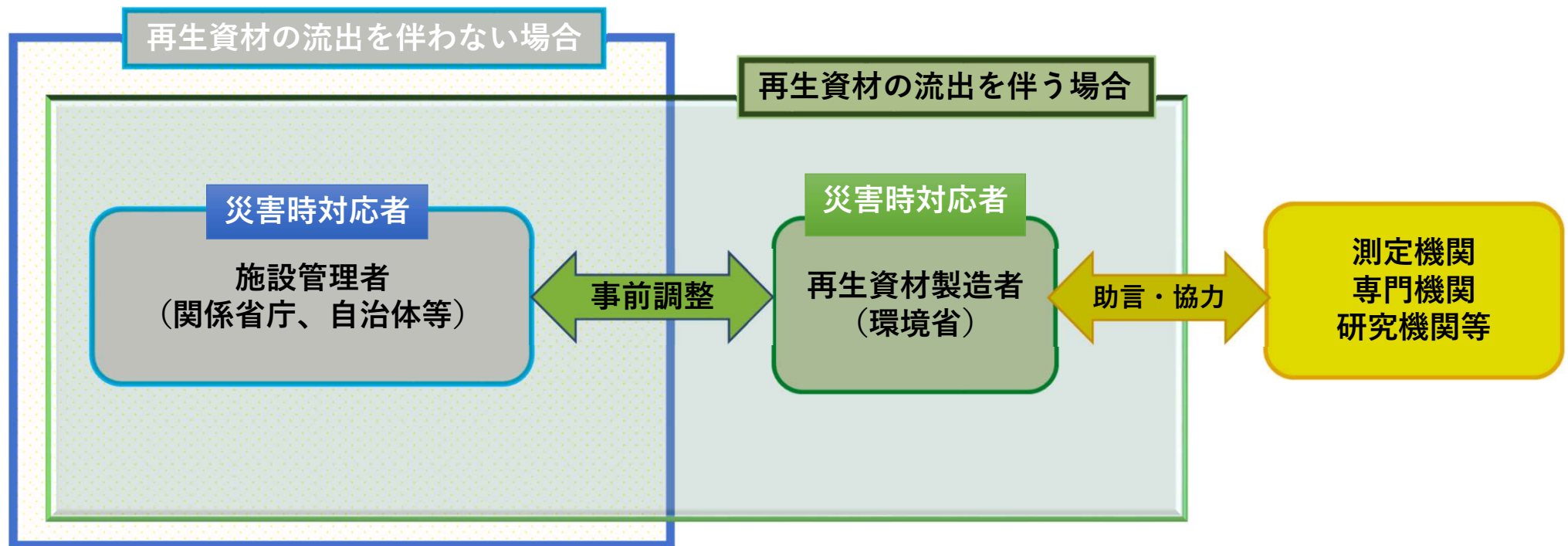
（参考）道路土工構造物点検要領（案）,国土交通省道路局

2. 再生利用の手引き 骨子（案）

第4章 災害等に起因する再生資材流出時における対応

➤ 再生資材流出時における対応主体

- ・ 再生資材流出以外の災害対応は、従前のとおり、施設管理者
- ・ 再生資材流出時の対応主体は、再生資材製造者、施設管理者間において、事前調整（協定の締結等）を図る
- ・ 測定機関等と事前に調整した上で、災害時等に助言、協力を得ることができるよう備える



➤ 再生資材流出時における対応

- ・ 対応が必要な損傷の程度、工事内容（対応の優先順位を含む）の明確化、費用分担等を協定等において事前に調整する

再生資材の溶出試験について

1. 中間貯蔵施設における検討結果

中間貯蔵施設に関する専門家会議及び中間貯蔵施設安全対策検討会において既に検討されている土壤中 Cs の溶出に関するパラメータとその評価結果について下表に示す。

表 1 中間貯蔵施設に関する過去の検討において既に検討されている土壤中 Cs の溶出に関するパラメータとその評価結果について¹

土壤中 Cs の溶出に影響するパラメータ等	評価結果																																																																																					
(1) 有機物による影響（アンモニウムイオン）	アンモニウムイオン濃度が上昇することによりセシウムが溶出しやすくなることが考えられるが、実際の環境中で想定される濃度水準（作付水田土壤溶液中の濃度は、2～6 ×10^-4。）と考えられる、10^-3 mol/l が共存する環境での溶出量の上昇を見込んだとしても、安全上問題ないとの結論が国の検討会で出されている。																																																																																					
(2) 有機物による影響（フミン酸（腐植酸））	フミン酸は植物の分解に伴い発生する物質であるが、現実の環境中での最大値と考えられる 100ppm 程度の濃度（専門家に意見聴取）であれば、当該環境での溶出量の上昇を見込んだとしても、安全上問題ないとの結論が国の検討会で出されている。																																																																																					
(3) 有機物による影響（フルボ酸）	フルボ酸もフミン酸と同様に、植物の分解に伴い、発生する物質であるが、セシウム溶出に悪影響を与える一分子当たりの官能基の数がフミン酸の方がフルボ酸より大きいこと、及び通常の腐食物質においては、フミン酸の方がフルボ酸より重量パーセント濃度として高いことから、セシウム溶出への影響力はフミン酸の方が大きいため、フルボ酸の試験を行わなくても植物の腐食がセシウムの溶出性に与える傾向は把握できると専門家から指摘を受けたことにより、フルボ酸については、試験を未実施。																																																																																					
(4) 中間貯蔵施設の現地調査における Cs 溶出試験	土壤中 Cs 合計濃度：1,994Bq/kg～539,076Bq/kg の土壤について溶出試験を実施。Ge 半導体検出器により、2,000 秒の測定を実施（検出下限値 11.1～12.5Bq/L）Cs 合計濃度が 539,076Bq/kg 以外の試料溶出液は全て ND であった。539,076Bq/kg の試料溶出液濃度は、Cs-134 は ND、Cs-137 は 23Bq/L であった。																																																																																					
(5) 環境影響を考慮した土壤中の放射性セシウムの溶出特性試験	陽イオン（NH4⁺、K⁺、Na⁺）濃度が Cs の溶出特性に影響を与える。その影響度合いは、NH4⁺が最大の影響因子であること。NH4⁺濃度を 0.01mol/L の条件とした場合の放射性 Cs の溶出試験を実施。試料濃度は、11,614～539,076Bq/kg の範囲、溶出試験の結果は右表のとおり。 <table><tr><th colspan="7">共存アンモニウムイオンが溶出特性に及ぼす影響</th></tr><tr><th rowspan="3">土壌</th><th rowspan="3">土壌分類（農地） 土質分類（宅地）</th><th rowspan="3">Cs-134 (Bq/kg乾土)</th><th rowspan="3">Cs-137 (Bq/kg乾土)</th><th rowspan="3">Cs合計 (Bq/kg乾土)</th><th colspan="3">NH4⁺濃度 1×10⁻³(mol/L)</th></tr><tr><th>溶出液</th><th>溶出液</th><th>溶出液</th></tr><tr><th>Cs-134*(Bq/L)</th><th>Cs-137*(Bq/L)</th><th>Cs合計*(Bq/L)</th></tr><tr><td>宅地土壌－6</td><td>砂質細粒土</td><td>4,018</td><td>7,596</td><td>11,614</td><td>ND</td><td>ND</td><td>ND</td></tr><tr><td>農地土壌－3</td><td>灰色低地土（水田）</td><td>10,104</td><td>20,690</td><td>30,794</td><td>ND</td><td>ND</td><td>ND</td></tr><tr><td>宅地土壌－7</td><td>礫まじり砂質細粒土</td><td>12,709</td><td>25,899</td><td>38,608</td><td>18(1.6)</td><td>27(1.1)</td><td>45(1.3)</td></tr><tr><td>農地土壌－4</td><td>多量黒ボク土（水田）</td><td>19,235</td><td>33,834</td><td>53,069</td><td>ND</td><td>26(1.4)</td><td><37(<1.2)</td></tr><tr><td>農地土壌－5</td><td>灰色低地土（水田）</td><td>22,666</td><td>46,601</td><td>69,267</td><td>ND</td><td>ND</td><td>ND</td></tr><tr><td>農地土壌－7</td><td>褐色森林土（樹園地）</td><td>59,525</td><td>104,762</td><td>164,287</td><td>27(0.6)</td><td>53(0.7)</td><td>80(0.7)</td></tr><tr><td>宅地土壌－8</td><td>礫まじり砂質細粒土</td><td>103,731</td><td>209,803</td><td>313,534</td><td>27(0.3)</td><td>49(0.2)</td><td>76(0.3)</td></tr><tr><td>農地土壌－8</td><td>褐色低地土（水田）</td><td>177,848</td><td>361,227</td><td>539,076</td><td>41(0.3)</td><td>93(0.3)</td><td>135(0.3)</td></tr></table>	共存アンモニウムイオンが溶出特性に及ぼす影響							土壌	土壌分類（農地） 土質分類（宅地）	Cs-134 (Bq/kg乾土)	Cs-137 (Bq/kg乾土)	Cs合計 (Bq/kg乾土)	NH4 ⁺ 濃度 1×10 ⁻³ (mol/L)			溶出液	溶出液	溶出液	Cs-134*(Bq/L)	Cs-137*(Bq/L)	Cs合計*(Bq/L)	宅地土壌－6	砂質細粒土	4,018	7,596	11,614	ND	ND	ND	農地土壌－3	灰色低地土（水田）	10,104	20,690	30,794	ND	ND	ND	宅地土壌－7	礫まじり砂質細粒土	12,709	25,899	38,608	18(1.6)	27(1.1)	45(1.3)	農地土壌－4	多量黒ボク土（水田）	19,235	33,834	53,069	ND	26(1.4)	<37(<1.2)	農地土壌－5	灰色低地土（水田）	22,666	46,601	69,267	ND	ND	ND	農地土壌－7	褐色森林土（樹園地）	59,525	104,762	164,287	27(0.6)	53(0.7)	80(0.7)	宅地土壌－8	礫まじり砂質細粒土	103,731	209,803	313,534	27(0.3)	49(0.2)	76(0.3)	農地土壌－8	褐色低地土（水田）	177,848	361,227	539,076	41(0.3)	93(0.3)	135(0.3)
共存アンモニウムイオンが溶出特性に及ぼす影響																																																																																						
土壌	土壌分類（農地） 土質分類（宅地）	Cs-134 (Bq/kg乾土)	Cs-137 (Bq/kg乾土)	Cs合計 (Bq/kg乾土)	NH4 ⁺ 濃度 1×10 ⁻³ (mol/L)																																																																																	
					溶出液	溶出液	溶出液																																																																															
					Cs-134*(Bq/L)	Cs-137*(Bq/L)	Cs合計*(Bq/L)																																																																															
宅地土壌－6	砂質細粒土	4,018	7,596	11,614	ND	ND	ND																																																																															
農地土壌－3	灰色低地土（水田）	10,104	20,690	30,794	ND	ND	ND																																																																															
宅地土壌－7	礫まじり砂質細粒土	12,709	25,899	38,608	18(1.6)	27(1.1)	45(1.3)																																																																															
農地土壌－4	多量黒ボク土（水田）	19,235	33,834	53,069	ND	26(1.4)	<37(<1.2)																																																																															
農地土壌－5	灰色低地土（水田）	22,666	46,601	69,267	ND	ND	ND																																																																															
農地土壌－7	褐色森林土（樹園地）	59,525	104,762	164,287	27(0.6)	53(0.7)	80(0.7)																																																																															
宅地土壌－8	礫まじり砂質細粒土	103,731	209,803	313,534	27(0.3)	49(0.2)	76(0.3)																																																																															
農地土壌－8	褐色低地土（水田）	177,848	361,227	539,076	41(0.3)	93(0.3)	135(0.3)																																																																															
(6) 土壤の放射性 Cs の収着特性	中間貯蔵施設における貯蔵方式の検討や安全評価解析に活用するため、これまでに実施しているボーリング調査により採取された土壤を試料として収着特性試験を実施。収着特性試験結果は右表のとおり。分配係数は、820～7,000mL/g の範囲であった。 <table><tr><th>No.</th><th>採取深度 (m)</th><th>地質</th><th>性状</th><th>収着分配係数* (mL/g)</th><th>備考</th></tr><tr><td>1</td><td>5.35 ～ 5.45</td><td rowspan="2">砂質シルト岩</td><td>風化部</td><td>3,800</td><td rowspan="8">大年寺層の代表的岩種</td></tr><tr><td>2</td><td>6.50 ～ 6.90</td><td>未風化部</td><td>1,100</td></tr><tr><td>3</td><td>4.90 ～ 5.45</td><td rowspan="2">シルト質極細粒砂岩</td><td>風化部</td><td>2,800</td></tr><tr><td>4</td><td>5.60 ～ 6.00</td><td>未風化部</td><td>1,400</td></tr><tr><td>5</td><td>6.80 ～ 7.22</td><td rowspan="2">シルト岩</td><td>風化部</td><td>7,000</td></tr><tr><td>6</td><td>9.45 ～ 9.93</td><td>未風化部</td><td>3,100</td></tr><tr><td>7</td><td>3.55 ～ 3.87</td><td rowspan="2">シルト岩</td><td>風化部</td><td>3,800</td></tr><tr><td>8</td><td>6.42 ～ 7.45</td><td>未風化部</td><td>1,500</td></tr><tr><td>9</td><td>4.61 ～ 5.00</td><td>シルト岩</td><td>未風化部</td><td>1,300</td><td rowspan="3">中位段丘堆積物</td></tr><tr><td>10</td><td>3.65 ～ 4.00</td><td>中粒砂</td><td>未風化部</td><td>820</td></tr><tr><td>11</td><td>2.85 ～ 3.00 3.80 ～ 4.00</td><td>砂礫</td><td>未風化部</td><td>1,300</td></tr></table> *:試験期間は7日間。	No.	採取深度 (m)	地質	性状	収着分配係数* (mL/g)	備考	1	5.35 ～ 5.45	砂質シルト岩	風化部	3,800	大年寺層の代表的岩種	2	6.50 ～ 6.90	未風化部	1,100	3	4.90 ～ 5.45	シルト質極細粒砂岩	風化部	2,800	4	5.60 ～ 6.00	未風化部	1,400	5	6.80 ～ 7.22	シルト岩	風化部	7,000	6	9.45 ～ 9.93	未風化部	3,100	7	3.55 ～ 3.87	シルト岩	風化部	3,800	8	6.42 ～ 7.45	未風化部	1,500	9	4.61 ～ 5.00	シルト岩	未風化部	1,300	中位段丘堆積物	10	3.65 ～ 4.00	中粒砂	未風化部	820	11	2.85 ～ 3.00 3.80 ～ 4.00	砂礫	未風化部	1,300																										
No.	採取深度 (m)	地質	性状	収着分配係数* (mL/g)	備考																																																																																	
1	5.35 ～ 5.45	砂質シルト岩	風化部	3,800	大年寺層の代表的岩種																																																																																	
2	6.50 ～ 6.90		未風化部	1,100																																																																																		
3	4.90 ～ 5.45	シルト質極細粒砂岩	風化部	2,800																																																																																		
4	5.60 ～ 6.00		未風化部	1,400																																																																																		
5	6.80 ～ 7.22	シルト岩	風化部	7,000																																																																																		
6	9.45 ～ 9.93		未風化部	3,100																																																																																		
7	3.55 ～ 3.87	シルト岩	風化部	3,800																																																																																		
8	6.42 ～ 7.45		未風化部	1,500																																																																																		
9	4.61 ～ 5.00	シルト岩	未風化部	1,300	中位段丘堆積物																																																																																	
10	3.65 ～ 4.00	中粒砂	未風化部	820																																																																																		
11	2.85 ～ 3.00 3.80 ～ 4.00	砂礫	未風化部	1,300																																																																																		
(7) 仮置場における除去土壤からの浸出水の分析結果	仮置きからの経過期間 3 か月の除去土壤からの浸出水について NH4⁺、K⁺、Na⁺濃度を測定（2 種類の試料）。NH4⁺濃度については、いずれも 1.0E-03mol/L 以下であった。 試料 A NH4⁺：3.5E-04mol/L、K⁺：9.0E-04mol/L、Na⁺：5.4E-04mol/L 試料 B NH4⁺：9.7E-05mol/L、K⁺：5.4E-04mol/L、Na⁺：5.2E-04mol/L																																																																																					
(8) pH の影響	pH4.8～9 の範囲では、無機土壤上のセシウムの収着にわずかな影響しか及ぼさない。高 pH については別途検討要。																																																																																					

¹ 参考文献 1_平成 26 年 5 月第 5 回中間貯蔵施設に関する専門家会議,資料 2_これまでの中間貯蔵施設に関する専門家会議における意見に対する環境省の対応状況
参考文献 2_平成 25 年 9 月第 3 回中間貯蔵施設安全対策検討会,資料 2_土壤中の放射性セシウムの挙動特性の把握について（その 3）他

2. 高 pH 土壌中における粘土成分の溶解に伴う Cs の土中移行に係る安全評価について
今後の評価について以下のステップで対応を検討中。

ステップ 1

pH と粘土溶解速度の相関調査

溶解速度（モンモリロナイト）と pH の相関に及ぼす温度の影響（例）

温度	溶解速度 (mol/m ² /sec)
15℃	$Rate = 10^{-12.78} aH_+^{-0.05}$
30℃	$Rate = 10^{-13.58} aH_+^{-0.15}$
50℃	$Rate = 10^{-13.84} aH_+^{-0.24}$
70℃	$Rate = 10^{-13.52} aH_+^{-0.27}$

【出典】低レベル放射性廃棄物処分施設における人工バリアの耐久性評価-アルカリ環境下でのベントナイト系材料中のモンモリロナイト溶解に関する研究-横山信吾、佐藤努 et.al.,電力中央研究所報告

ステップ 2

粘土の溶解速度は、上記のとおり温度依存性があるため、盛土内の温度が年間を通じてどの程度の範囲で変化することがあるか調査・整理する。

盛土内温度パラメータの調査（例）

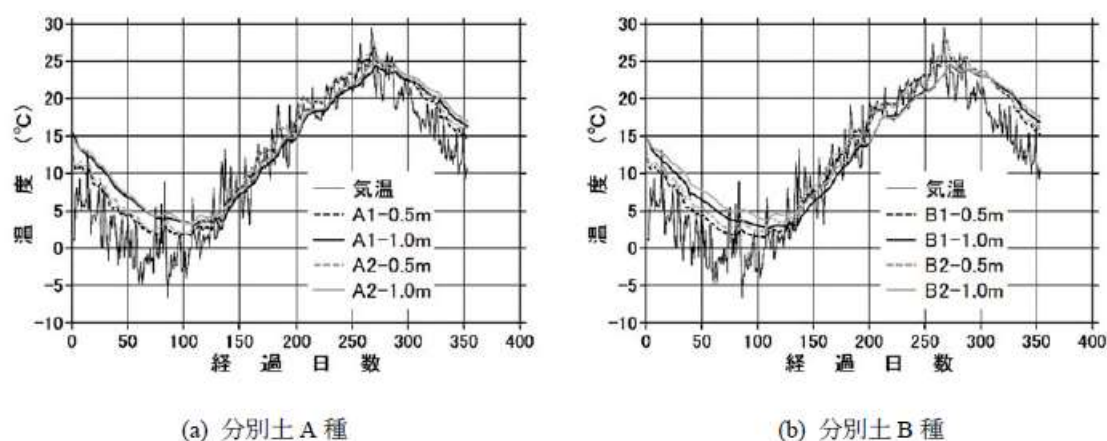


図 31 盛土の内部温度と外気温の変化

【出典】環境省研究総合推進費補助金循環型社会形成推進研究事業,災害廃棄物分別土砂・篩下残渣の物性評価と、戦略的有効利用に向けた基準化,勝見武（京都大学）,遠藤和人（国立環境研究所）,保高徹生（産業技術総合研究所） et.al.

ステップ 3

盛土中の粘土鉱物の反応表面積の検討
パラメータ調査中

ステップ 4

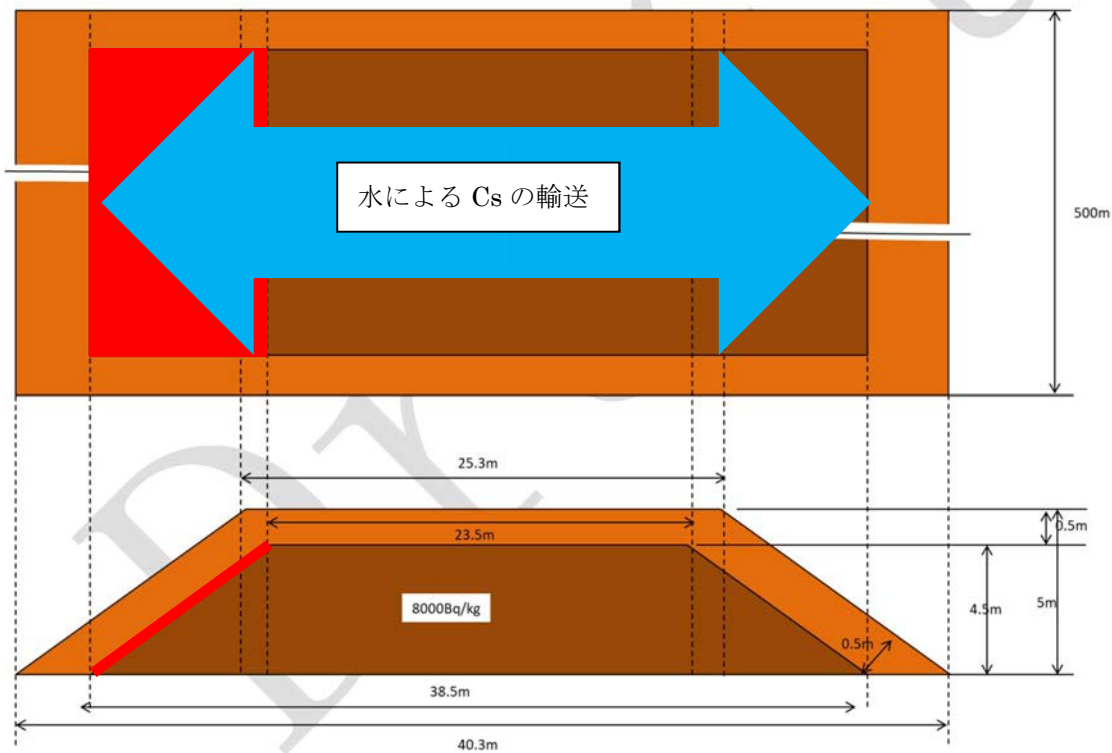
粘土の溶解に伴う Cs の移行評価体系を検討する。

下図は道路盛土（高速道路）の安全評価体系

再生資材中粘土含有量は、4.1～7.1%（南相馬実証事業の結果）

上記の量の粘土に盛土中の Cs が含まれていると仮定し、粘土溶解速度と盛土間隙水の流速から単位時間当たりの移行量を算出する。

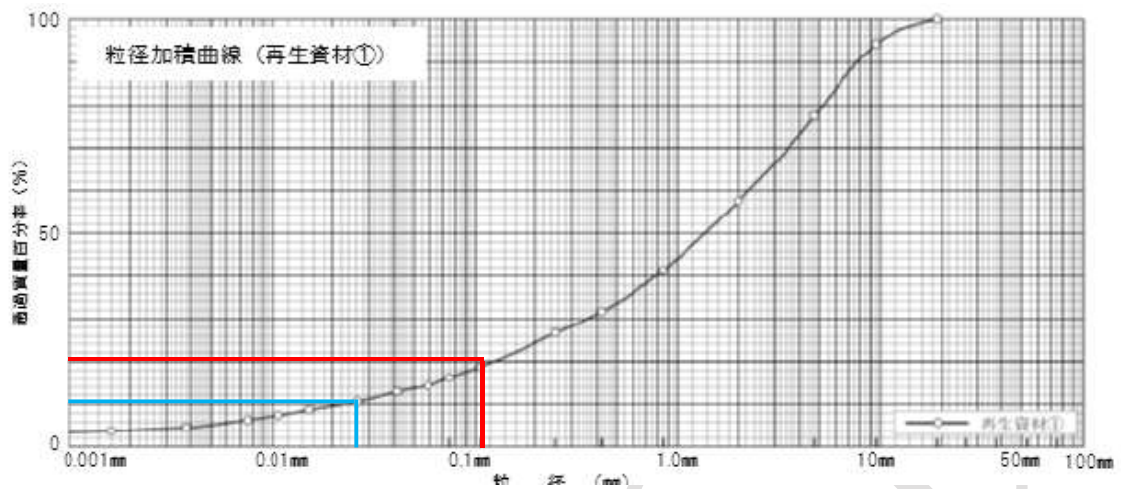
再生資材中の移行は、上記の流速により移行することとし、覆土内側で面線源状にトラップされることを想定する。

ステップ 5

溶解した粘土を輸送する盛土間隙水の流速検討

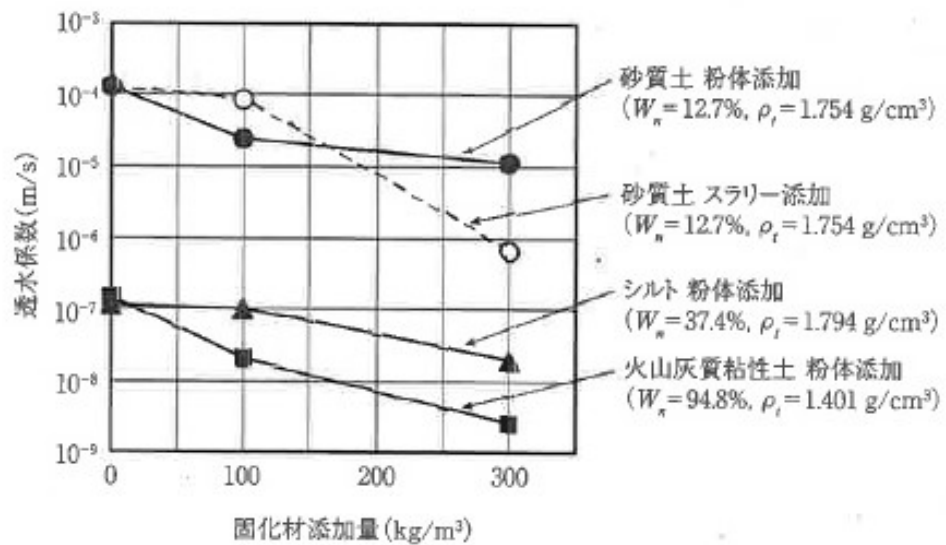
以下のデータを参考に、間隙水の流速を検討する。

【南相馬実証事業_再生資材粒径加積曲線】



- ・ 20%粒径 (通過百分率が 20%の時の粒径) $D_{20}=0.13\text{mm}$
- 10%粒径 $D_{10}=0.02\text{mm}$

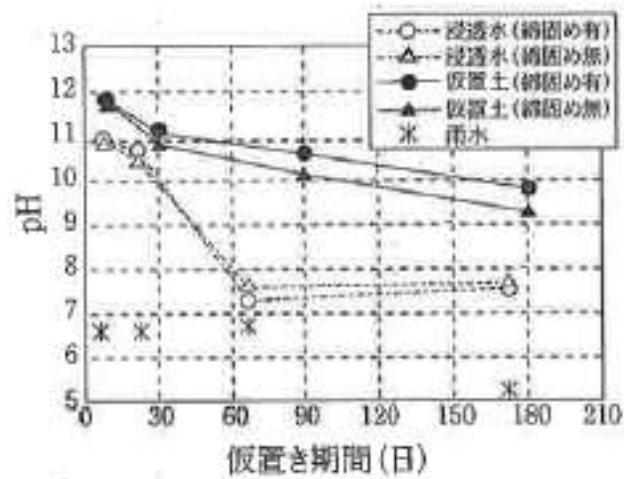
【固化材添加量と透水係数の関係】



出典：セメント系固化剤による地盤改良マニュアル第4版, 社団法人セメント協会

【仮置き土浸透水の pH】

セメント系固化剤 60kg/t を添加



出典：建設汚泥再生利用マニュアル, 独立行政法人土木研究所

ステップ 6

単位時間当たりの特定領域内への Cs 流入量と流入時間及び半減期による減少量を算出し、流入量が最大となる数量 (Bq) にて計算コードによる被ばく線量評価を行う。

以上

農地造成への再生資材利用に関する被ばく線量評価について（案）

1. 前提条件

農地造成における再生資材の利用用途としては、造成地の埋立・充填材が考えられる。

本用途での利用は、平成28年度に行われた「土地造成における再生資材の利用に係る線量評価について」（緑地）と同じ使用方法であるため、基本的に同線量評価結果を用いることが可能と考えられる。

既往の評価結果が利用できる部分はそのままの評価結果とし、新たに評価が必要な部分を抽出し、評価方法、評価パラメータ等を検討したうえで被ばく評価を行う。

土地造成と農地造成の相違点としては以下が考えられる。

- (1) 造成面積
- (2) 再生資材量
- (3) 覆土表面の用途（農地は覆土を作土層として農作物栽培を栽培）

以上の項目について、次項以降に条件を整理した。

2. 農作物の栽培条件

- (1) 農地の面積

再生資材を用いた農地造成における被ばく線量評価に当たり、農地造成の面積(ha)について調査を行った。

農林水産省における一経営体当たりの経営耕地面積ⁱⁱ（地域別の面積規模ごと経営体数）の調査結果を下表に示す。

表1 一経営体当たりの経営耕地面積（地域別の面積規模ごと経営体数）

全国農業地域	0.3 ha 未 満	0.3～ 0.5ha	0.5～ 1.0ha	1.0～ 1.5ha	1.5～ 2.0ha	2.0～ 3.0ha	3.0～ 5.0ha	5.0～ 10.0ha	10.0ha 以 上	計	2.0ha 以下の 割合	5.0ha 以下の 割合	10.0ha 以下の 割合
全 国	32,919	256,106	436,249	215,883	117,486	115,983	81,538	52,229	52,784	1,361,177	0.778	0.923	0.961
全国（北海道を除く）	32,577	255,120	434,767	214,772	116,660	114,412	78,755	46,995	27,499	1,321,557	0.797	0.944	0.979
道													
北海道	342	986	1,482	1,111	826	1,571	2,783	5,234	25,285	39,620	0.120	0.230	0.362
北 海 道	3,711	29,041	59,788	40,470	28,084	32,854	25,123	16,344	9,359	244,774	0.658	0.895	0.962
北 陸	771	13,567	27,827	18,145	11,588	12,047	8,899	5,694	3,995	102,533	0.701	0.906	0.961
関 東 ・ 東 山	7,989	53,216	96,700	51,102	28,433	27,059	17,027	9,551	4,903	295,980	0.802	0.951	0.983
東 海	4,680	33,452	47,087	17,800	7,391	5,989	3,818	1,945	1,664	123,826	0.892	0.971	0.987
近 畿	2,920	34,657	51,829	19,414	7,848	6,027	3,348	1,856	1,372	129,271	0.903	0.975	0.989
中 国	3,552	32,130	50,816	19,496	7,704	5,262	2,966	1,854	1,507	125,287	0.908	0.973	0.988
四 国	3,132	20,519	32,841	12,256	5,126	4,172	2,205	799	402	81,452	0.907	0.985	0.995
九 州	4,962	35,856	63,680	33,888	19,122	19,486	14,212	8,298	4,077	203,581	0.774	0.939	0.980
沖 縄	860	2,682	4,199	2,201	1,364	1,516	1,157	654	220	14,853	0.761	0.941	0.985

ⁱ 土地造成における再生資材の利用に係る線量評価について、平成29年4月26日、日本原子力研究開発機構、http://josen.env.go.jp/chukanchozou/facility/effort/investigative_commission/pdf/proceedings_170327_08.pdf

ⁱⁱ 平成29年度耕地面積（7月15日現在）、農林水産省、<http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/menseki/index.html#r>

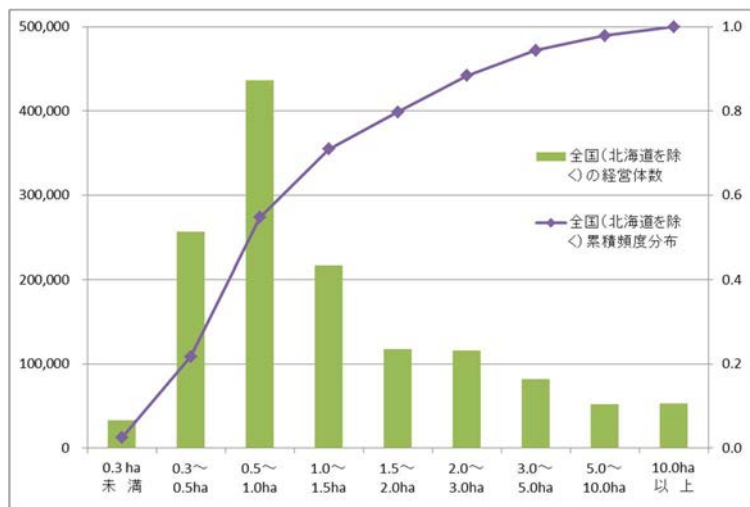


図1 一経営体当たりの経営耕地面積グラフ（地域別の面積規模ごとと経営体数）

全国（北海道を除く）における2ha以下の農地の割合：79.8%

// 10ha以下の農地の割合：97.9%

北海道は、10ha以上の農地面積が北海道全体の63.8%、20ha以上の農地面積でも北海道全体の43.7%を占めるため、本評価では計算対象外とした。（北海道の農地における再生資材の利用に伴う外部被ばく線量の評価は、既往の土地造成における安全評価を使用可能と考える。）

上記より、全国（北海道を除く）の農地面積の約9割以上を占める「10ha」を、再生資材を用いた農地造成の被ばく線量評価対象面積とした。

(2) 土地造成における再生資材量（想定量）と農地造成における再生資材量（想定量）の比較

既往の土地造成における安全評価において、造成面積は25ha、再生資材厚は4.7m（草本類植栽）が想定されている。農地造成では、(1)の検討結果を基に造成面積を10ha、再生資材厚は4.5m（仮設定）とし、使用する再生資材量の比較を行った。

表2 土地造成安全評価における再生資材埋設量

項目	値	単位
造成面積	25	ha
	250,000	m ²
再生資材厚（草本類）	4.7	m
再生資材埋設量	1,175,000	m ³

表3 農地造成安全評価における再生資材埋設量

項目	値	単位
造成面積	10	ha
	100,000	m ²
再生資材厚	4.5	m
再生資材埋設量	450,000	m ³

(3) 農作物栽培品種 (例)

既往の土地造成における再生資材の利用に係る線量評価においては、緑地等における植栽のみの想定であるため、作土の耕起による掘り起こし等は想定されていない。また、植栽する草本類の根到達深度が 30cm 以下であるとの調査結果から、草本類への Cs の移行に伴う被ばくは、評価されていない。

農地造成における再生資材の利用に係る被ばく線量評価では、既往の評価では考慮されていない農地の耕起による掘り起こし、農作物等の根到達深度について調査を行い、必要な覆土厚等の検討を行った。

表 4 に土壌改良基準一覧ⁱⁱⁱ (抜粋) を示す。

表 4 土壌改良基準一覧 (抜粋)

項目	水稲	野菜												
		小麦	はとむぎ	なたね	そば	ばれいしょ	大豆・小豆	すいか メロン	きゅうり	スイートコーン	だいこん にんじん	ながいも ごぼう	にんにく	はくさい キャベツ レタス
改良深度、表 (作) 土の深さ (cm)	15~20	25		25		25	25	20~30	20~30	20~30	30~40	30~40	20~30	20~30
主要根群域の深さ (cm)		25		30		25	25	30	30	30	40	50	30	30
有効根群域の深さ (cm)		60		60		40	40	50	50	50	50~100	50~100	50	50

項目	花き							
	キク	バラ	トルコギキョウ	リンドウ	カーネーション	アルストロメリア	宿根カスミウ	サクラ 花木類
改良深度、表 (作) 土の深さ (cm)	20~30	30~40	20~40	30~40	20~30	20~40	20~40	-
主要根群域の深さ (cm)	30	50	40	50	30	50	50	60
有効根群域の深さ (cm)	40	80~100	60	80~100	40	80~100	100	100

※表 (作) 土の深さ：表土は養水分の吸収のため作物根が容易に伸長できる土層であり、次層に比べて土色の明度が明らかに低く、また密度がやや粗である土層を指す。水田や普通畑の場合、耕耘機のツメの深さ即ち耕深部位と考えてよい。

※主要根群域の深さ：根群の大部分 (約 90%以上) が分布する土層とする。

※有効根群域の深さ：根が伸長できる土層である。地力保全土壌調査という有効土層にほぼ相当し、基岩、盤層、ち密層などの出現しないことを基準とする。

表 4 の調査結果から、農作物の種類により異なるが、耕起による掘り起こしについては、改良深度、表 (作) 土の深さ 15cm~40cm の範囲、根の到達深度については、有効根群域の深さ 40cm~100cm を想定することとした。

(4) 資源作物栽培品種 (例)

資源作物の栽培については、最大となり得るジャイアント・ミスカンサスの栽培を想定した。

ジャイアント・ミスカンサスの根到達深度は、D. Neukirchen 等の論文で約 250cm^{iv}に達することが示されている。

ⁱⁱⁱ 出典：健康な土づくり技術マニュアル, 平成 20 年 12 月, 青森県

^{iv} 出典：Spatial and temporal distribution of the root system and root nutrient content of an established Miscanthus crop, D. Neukirchen et al., European Journal of Agronomy 11 (1999) 301-309

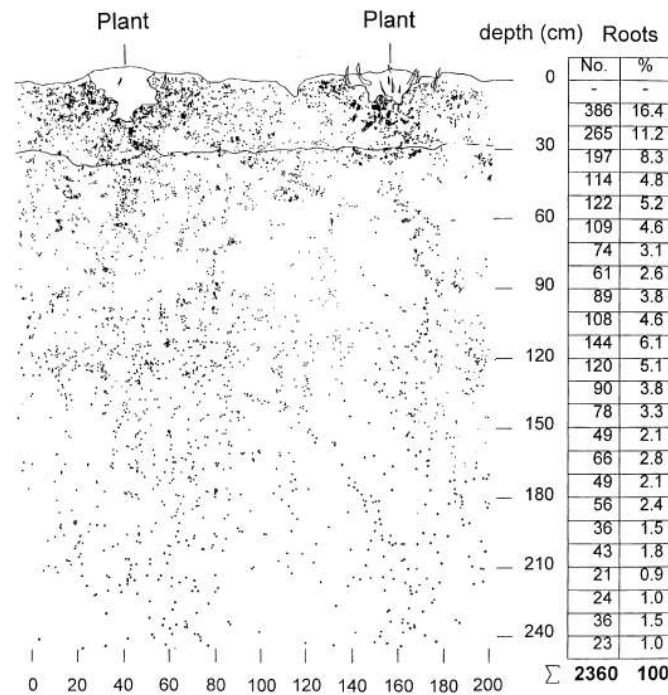


Fig. 2. Spatial distribution of the roots obtained with the trench profile method in May 1992.

図 2 ジャイアント・ミスカンサスの根到達深度及び密度

(5) 土地造成に係る既往の安全評価における被ばく経路

既往の安全評価では、表 5 に示す被ばく経路及び表 6 に示す災害時における安全性が評価されている。

本事業における安全評価においては、上記 (1) ～ (4) の条件に基づき、再評価をすべき被ばく経路、追加して評価すべき被ばく経路を整理した。

※灰色網掛け部は既往の安全評価の結果に包含されと考えられる被ばく経路

表 5 土地造成に係る既往の安全評価における被ばく経路（平常時）

No.	評価対象		線源	対象者	被ばく形態	備考		
1	建設現場への 運搬	積み下ろし作業	再生資材	作業者	外部	建設現場への運搬については、埋設可能再生資材量の試算結果から安全評価時の約 5 分の 1 である、すなわち運搬作業にかかる時間も 5 分の 1 程度と考えられるため、既往の安全評価結果に包含される。		
2					粉塵吸入			
3					直接経口			
4		運搬作業		作業者	外部			
5				公衆（成人）	外部			
6				公衆（子ども）	外部			
7	土取場の埋戻し	敷均し・締固め作業	埋戻材	作業者	外部	土地造成面積については、既往の安全評価における造成面積を下回るが、再生資材濃度の決定経路となり得るため、 再評価 を行う。 粉塵吸入及び直接経口については、既往の評価結果から、外部被ばくに比べ、3～4 桁小さい評価結果であり、外部被ばく線量を上回る可能性はないため、再評価は行わない。		
8					粉塵吸入			
9					直接経口			
10		周辺居住（埋戻し中）		公衆（成人）	外部			
11					粉塵吸入			
12				公衆（子ども）	外部			
13					粉塵吸入			
14-1	植栽作業 （埋戻し後）	草本の植え付け	埋戻し材	作業者	外部	覆土後の作業であるため、土地造成作業の評価結果を上回る可能性はなく、決定経路となり得ないため、再評価は行わない。		
14-2		木本の植え付け		作業者	外部			
15-1	土取場の環境回復後（草本又は木本植栽）	保全作業（草刈、伐採等作業）	埋戻材	作業者	外部	既往の安全評価では、草本類は、覆土以深への根の到達はないとされ、木本類の評価のみ。ジャイアント・ミスカンサスの場合、覆土以深に根が到達することが考えられるため、移行係数、丈、栽培密度によっては、決定経路となる可能性を排除できないことから 追加評価 を行う。		
15-2			埋戻材、樹木、伐採木（伐採前・後）、堆積有機物層	作業者	外部			
16-2							樹木等由来の粉塵	粉塵吸入
17-2								直接経口

No.	評価対象		線源	対象者	被ばく形態	備考
18-1	土取場の環境回復後（草本又は木本植栽）	周辺居住（草本植栽）	埋戻材	公衆（成人）	外部	覆土後の外部被ばくであるため、決定経路となり得ないため、再評価は行わない。
18-2		周辺居住（木本植栽）	埋戻材、樹木、伐採木（伐採前・後）、堆積有機物層	公衆（成人）	外部	経路 15-2 の再評価結果を以て、再評価の要否を判断する。
19-1		周辺居住（草本植栽）	埋戻材	公衆（子ども）	外部	覆土後の外部被ばくであるため、決定経路となり得ないため、再評価は行わない。
19-2		周辺居住（木本植栽）	埋戻材、樹木、伐採木（伐採前・後）、堆積有機物層	公衆（子ども）	外部	経路 15-2 の再評価結果を以て、再評価の要否を判断する。
20-1		環境回復地利用（草本植栽）	埋戻材	公衆（成人）	外部	土地造成の既往の評価のような緑地公園利用は想定されないため、再評価は行わない。
20-2		環境回復地利用（木本植栽）	埋戻材、樹木、伐採木（伐採前・後）、堆積有機物層	公衆（成人）	外部	
21-2			樹木由来の粉塵		吸入	
22-1		環境回復地利用（草本植栽）	埋戻材	公衆（子ども）	外部	覆土後の外部被ばくであるため、決定経路となり得ないため、再評価は行わない。
22-2		環境回復地利用（木本植栽）	埋戻材、樹木、伐採木（伐採前・後）、堆積有機物層	公衆（子ども）	外部	覆土後の外部被ばくであるため、決定経路となり得ないため、再評価は行わない。
23-2			樹木由来の粉塵		吸入	草本類であるため、伐採等に伴う粉塵の発生はないものと考えられるため、追加評価は行わない。
24	土取場の環境回復後の地下水移行（井戸水利用）	飲料水摂取	井戸水	公衆（成人）	経口	埋設される再生資材量が既往の安全評価の半分以下であることから、地下水移行の総量も既往の評価以下と考えられるため、再評価は行わない。 ※分配係数が既往の評価パラメータ 2.7E+02 の半分以下となることは考えにくい。
25				公衆（子ども）	経口	
26		農耕作業	井戸水で灌漑した土壌	作業者	外部	
27					粉塵吸入	
28		農作物摂取	灌漑した土壌で生産された農作物	公衆（成人）	経口	
29				公衆（子ども）	経口	
30		畜産物摂取	灌漑土壌した土壌で生産された畜産物	公衆（成人）	経口	
31				公衆（子ども）	経口	
32		畜産物摂取	井戸水で飼育された畜産物	公衆（成人）	経口	
33				公衆（子ども）	経口	
34		淡水産物摂取	井戸水で養殖された淡水産物	公衆（成人）	経口	
35				公衆（子ども）	経口	

表 6 土地造成に係る既往の安全評価における被ばく経路（災害時）

自然 災害	検討結果	評価 の必 要性	備考
地震	遮へい材としての機能する覆土（草本植栽：厚さ 30 cm、木本植栽：厚さ 1 m）について、液状化等により部分的な覆土厚さの減少等の形状変化が生じる可能性が考えられるが、そのケースの評価は、より保守的な評価となる下記の津波による埋戻材の露出を想定したケースの評価で代替する。	×	
津波	東日本大震災の被災地の視察結果(31,32)によると水田において津波により影響を受けたのは表層 2～3 cmであったことから、平場の土地造成地における津波による影響は小さいと考えられる。一方で、面積はわずかであるが 20～30 cmほどの深さの陥没様箇所が確認されたことや、倒木が認められたこと、堤防裏法尻背後で洗堀があったこと(31-33)などから、部分的に覆土厚さが減少し、埋戻材が露出する可能性はある。そこで、被ばく線量が最大となる埋戻材がすべて露出する条件を用いて評価を行った。 ＜草本植栽＞ 覆土がすべて津波で流され、埋戻材が露出した条件で被ばく線量評価を行った。 ＜木本植栽＞ 埋戻材の規模がより大きい草本植栽のケースで代替した。	○	農地造成における再生資材量は既往の評価の半分以下であるため、既往の安全評価結果に包含され则认为る。
火災	植栽した樹木の火災により発生したブルーム由来の被ばくが考えられる。 ＜草本植栽＞ 草本への放射性セシウムの移行量は木本と比べ小さいため、より保守的な評価となる木本の火災に対する評価で代替する。 ＜木本植栽＞ 放射性セシウムが移行した木本の火災により、放射性セシウムが拡散することを想定した被ばくを評価する。 【参考】一般の森林火災例(34) ・秋田県能代市（1943）：21 ha 消失(35) ・鹿島町（1977）、204.90 ha ・川内村（1982）、63.00 ha ・埴町、鮫川村（1987）、204.80 ha ・船引町（1996）、78.99 ha ・浪江町（1999）、24.80 ha ・いわき市（2005）、36.40 ha ・保原町（2005）、14.00 ha	○	植栽する草本類の根の到達深度、移行係数、丈、栽培密度等によっては、リスクを排除できないため、追加評価を行う。

自然 災害	検討結果	評価 の必 要性	備考
暴風・ 竜巻	暴風・竜巻による倒木で根返りが発生することが考えられるが、下記の理由から評価の対象から外した。 <草本植栽> 草本のみのため倒木は発生しない。 <木本植栽> 倒木による根返りの発生は考えられるが、覆土厚を1mとしており露出の可能性は低いと想定される。倒れた樹木からの被ばくについては、伐採作業者に對する評価に代替される。 【参考】過去20年間の主な風倒木被害例(36) ・台風7号災（1998） 大阪・奈良・和歌山、計4,552ha ・台風18号災（1999） 熊本・大分・鹿児島、計3,858ha	×	
異常 降雨 （豪 雨）	草地や林地での侵食土深は0.1～0.01mm/yであり、豪雨により100倍となった場合でも1～10mmほどである(37)。また、一降雨により年間の土砂流出量を上回った事例として10～30m³/ha（1～3mm相当）が報告されている(38)。これらから、豪雨による覆土厚さの減少は津波の場合より少ないと考えられるため、より保守的な評価となる津波による埋戻材の露出を想定したケースの評価で代替する。一方、異常降雨の発生に伴う年間の浸透水量の増加が考えられ、その地下水移行への影響を評価した。 <草本植栽> 浸透水量の増加による地下水移行への影響を評価する。 <木本植栽> 浸透水量の増加による地下水移行への影響を評価する。 【参考】一般の豪雨災害例(39) ・平成27年9月関東・東北豪雨（2015） ・平成26年8月豪雨（2014） ・平成24年7月九州豪雨（2012） ・平成23年7月新潟・福島豪雨（2011） ・平成21年7月中国・九州北部豪雨（2009） ・平成20年8月末豪雨（2008） ・平成18年7月豪雨（2006） ・平成16年7月福井豪雨（2004） ・平成16年7月新潟・福島豪雨（2004）	○ た だ し、 草 本 植 栽 の 場 合 の み	農地造成における再生資材量は既往の評価の半分以下であるため、既往の安全評価結果に包含され则认为。

3. 再評価・追加評価項目について

3.1.再評価項目

(1) 農地造成作業者の外部被ばく線量（草本類）

農地造成のために再生資材を利用した場合において、土壤に含まれる Cs 濃度の制限値を算出するため、作業者の外部被ばく線量を評価した。

農地造成における、再生資材厚は土地ごとの状況に応じ変動することが考えられるが、30cm 以上となる場合は、土地中央部 1m 高さにおける線量率は、再生資材厚さの観点からは平衡状態となると考えられるため（図3参照）、本評価では、4.5m（覆土厚 0.5m を仮に設定し、合計で既往の土地造成同様に 5m とした。）の再生資材厚として評価を行った。

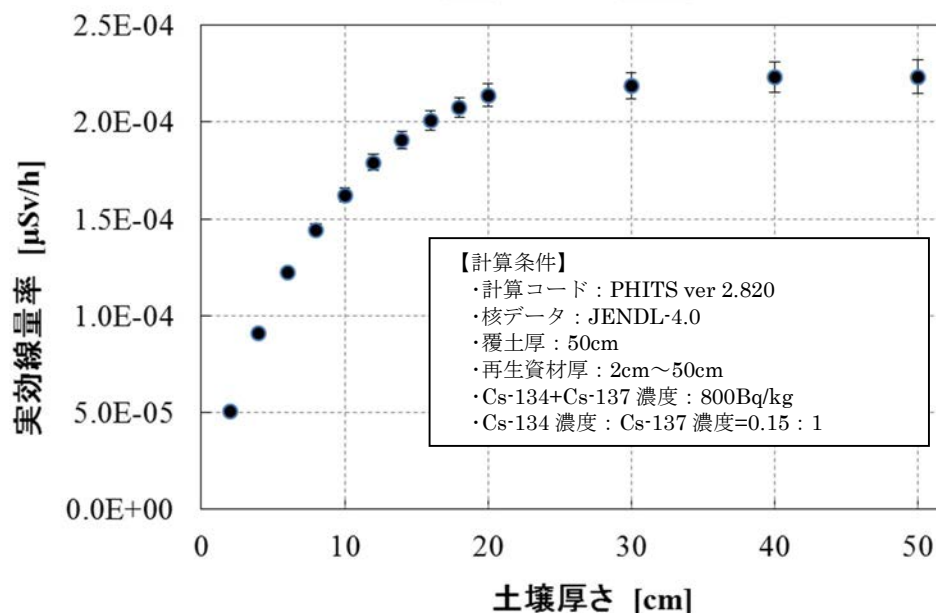


図3 再生資材厚さと天端中央 1m 高さにおける線量率の関係

農地造成作業者の外部被ばく線量評価に当たり、2.農作物の栽培条件を踏まえ、以下のパラメータを設定した。

【条件】

- ・農地造成面積：約 10ha（縦 316.3m×横 316.3m）
- ・再生資材の厚さ：4.5m（覆土厚 0.5m を仮設定し、既往の評価同様に再生資材厚+覆土厚=5m に設定）
- ・Cs-134 と Cs-137 の存在割合：0.209：1 とした。（平成 28 年 3 月時点※既往の安全評価同）
再生資材の利用開始時期は福島第一原子力発電所事故から 5 年後、事故直後の Cs-134（半減期：2.06 年）と Cs-137（半減期：30.0 年）
- ・土壌密度：2.0g/cm³
- ・作業期間：1 年（年間 250 日従事、8 時間/日のうち半分の 4 時間/日を再生資材を用いた造成作

業に従事（1000時間/年従事との想定））

- ・計算に用いたコード：MCNP5
- ・計算体系は図4のとおり。

● 評価点：造成地中央高さ1m

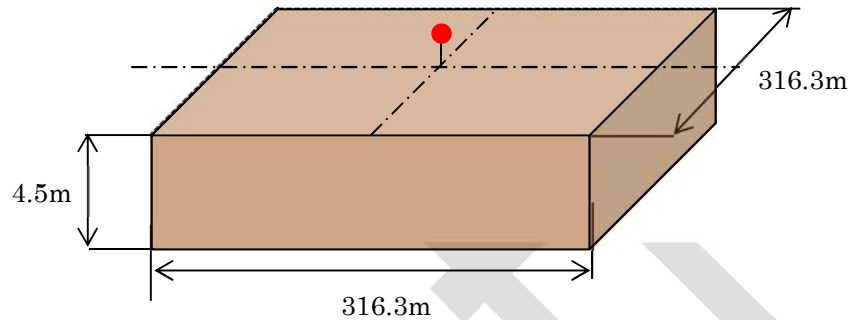


図4 農地造成作業における作業者の外部被ばく線量評価体系

【計算結果】

- ・単位再生資材中濃度当たりの年間被ばく線量（農地造成作業者）

Cs-134：3.3E-01[mSv/y]/[Bq/g]

Cs-137：1.3E-01[mSv/y]/[Bq/g]

Cs-134+ Cs-137：1.7E-01[mSv/y]/[Bq/g]

- ・1年施工時の1mSv/y相当濃度：6.1E+03[Bq/kg]⇒制限濃度を6,000Bq/kgとする。

本結果から、再生資材中Cs濃度の制限値は、既往の評価同様、保守的に100Bq/kg以下を切り捨て6,000Bq/kgを上限とした。（施工期間が6ヶ月及び9ヶ月の場合は、1mSv/年相当濃度が8,000Bq/kg以上となるため、電離則又は除染電離則の適用対象外となる濃度として、8,000Bq/kgを上限とした。）

3.2.追加評価項目

(1) 保全作業（草刈り等作業）（草本類）の外部被ばく線量

既往の評価では、草本類の根到達深度は30cm未満（覆土厚30cm）と評価されているため、草本類への移行に伴う外部被ばく線量は評価されていない。

造成した土地を農地として使用する場合は、2. 農作物の栽培条件の(3) 農作物栽培品種（例）表4 土壌改良基準一覧（抜粋）に示したとおり、有効根群域の深さが30cm以上となる農作物が存在するため、Csの農作物への移行に伴う外部被ばく線量を追加評価した。

外部被ばく線量は、Csの移行先となる農作物中に含まれるCsの総量、体系の大きさ等に応じ大きくなるため、本評価では、移行係数及び体系が大きく外部被ばく線量評価結果として最も保守的な評価となるよう、ジャイアント・ミスカンサスの栽培を想定した。

・ジャイアント・ミスカンサスの平均乾物収量、移行係数等について

ジャイアント・ミスカンサスの平均乾物収量、移行係数等については、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構（以下、「農研機構」という。）HP以下のデータが示されている。（表7参照）（植物乾物中Cs/乾土中Cs=9.0E-02）（2011年度データ）

移行係数については、福島第一原子力事故発生後から毎年試験が行われており、2014年度の試験においては、農研機構HPに以下のデータが示されている。

（植物乾物中Cs/乾土中Cs=6.7E-02）（2014年度データ^v）

2011年度のデータは、福島第一原子力事故直後であるため、現時点に比べ、Csが粘土質等に比較的トラップされておらず、移行しやすい状態にあった可能性も考えられる。（既往の評価では、木本類の移行係数は、5.5E-03が用いられている。）また、農研機構の発表においても、以下が留意点として述べられている。

- ・放射性降下物による土壌汚染地帯でバイオマス資源作物を栽培するに当たり、収穫物に含有される放射性物質の参考情報として活用できる。
- ・放射性物質含有量や移行係数は、放射性降下物沈着後の時間、土壌の性質、栽植前の耕耘の有無、施肥条件、植物体の表面洗浄の有無等によって大きく変動するため、条件設定に留意すべきである。
- ・本成果では刈取後の植物体の表面洗浄をしていないため、放射能・移行係数には根からの移行の他に表面付着も含む可能性がある。

よって、本評価では、移行係数として直近の2014年度のデータ（植物乾物中Cs/乾土中Cs=6.7E-02）を用いることとした。

ジャイアント・ミスカンサスの移行係数（6.7E-02）は、既往の評価で用いられた移行係数と比

^v 多年生バイオマス作物における放射性セシウム濃度とガス化時のセシウムの回収，小林真、松本啓吾（三菱重工）、武野計二（豊田工業大）、松波寿弥、霍田真一、佐藤広子、安藤象太郎、大島義人（東京大）、国立研究開発法人農業・食品技術総合研究機構

べ10倍程度大きな値であるが、保全作業（環境回復後の草刈り・伐採等）（木本類）の外部被ばく線量換算係数は、既往の評価で $2.2\text{E-}04[\text{mSv/y per Bq/g}]$ (37年目・伐採前) (Cs-134+Cs-137) であり、再生資材濃度の決定経路となった建設作業外部被ばく線量換算係数 $2.1\text{E-}01[\text{mSv/y per Bq/g}]$ と比べ3桁程度小さな値となるため、再生資材濃度の決定経路となり得ないものと推測する。

ただし、既往の評価では、再生資材から植栽への移行は木本類のみであるため、単位面積当たりの樹木の本数は、860本/ha（37年目・伐採前）である。ジャイアント・ミスカンサス植栽の場合は、これを上回ることが想定されるため、植栽密度によっては、既往の評価 ($2.2\text{E-}04[\text{mSv/y per Bq/g}]$) を上回る外部被ばく線量換算係数となる可能性も考えられる。

なお、既往の評価では、樹木の高さが13.4m（37年目、植栽密度：860本/ha）で評価されており、一方、ジャイアント・ミスカンサスは草丈が2.5m程度と考えられるため、線源（この場合は植栽物）高さの差により外部被ばく線量換算係数が小さくなる方向になることも考えられる。

評価に当たり、図5に示す既往の評価体系を参考に以下の方法で外部被ばく線量評価を行った。

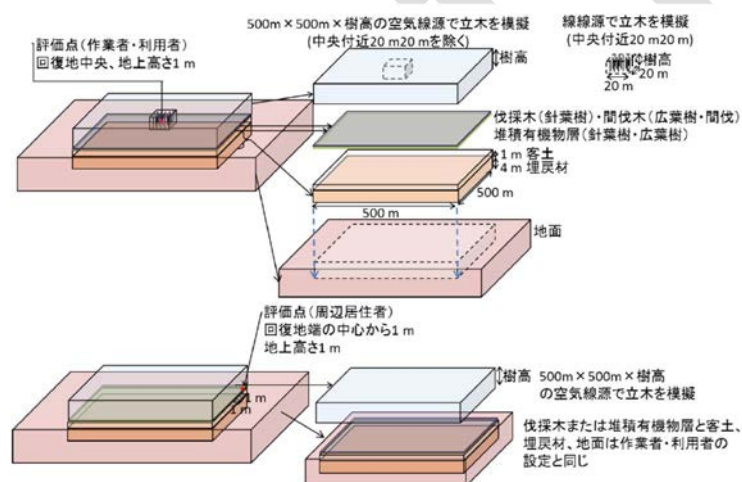


図5 既往の評価における環境回復後（木本植栽）における作業員・利用者・周辺居住者の評価体系

● 評価点：高さ1m

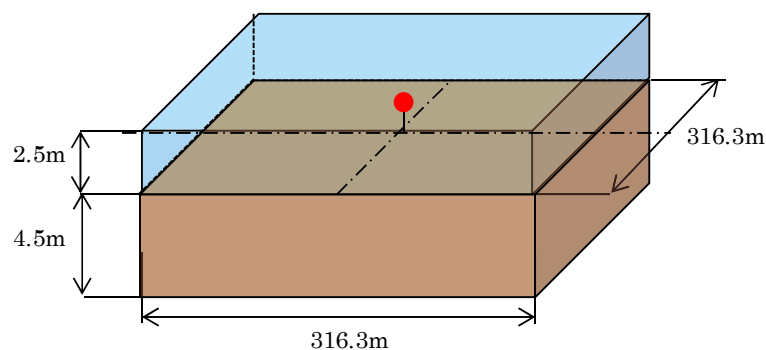


図6 草本類_保全作業員_Csの移行に伴う外部被ばく線量評価の計算体系

草本類に移行した Cs-134 及び Cs-137 寄与の外部被ばく線量率について、造成区画の midpoint (225m×225m の midpoint)、高さ 1m 地点における外部被ばく線量率換算係数を算出した。

外部被ばく線量換算係数の算出に当たり、線源として、316.3m×316.3m×草丈 (2.5m) の空気線源でジャイアント・ミスカンサスを模擬した。

なお、保全作業時においては、再生資材は覆土されており、外部被ばくにほぼ寄与しないため、本計算においては、土壌は Cs を含まない一般的な土壌とした。

本評価で使用したパラメータは以下のとおり。

【評価パラメータ】

- ・ジャイアント・ミスカンサスの移行係数については、根の最大到達深度である 2.5m 中 0.5m は覆土中 (Cs を含んでいない土壌) であるため、0.5 : 2.0 で分配されると仮定し、 $6.7E-02$ の 80% を適用することとした。

$$\frac{\text{植物乾物中 Cs 濃度}}{\text{乾土中 Cs 濃度}} = 6.7E-02 \times 0.8 = 5.4E-02$$

文献「Spatial and temporal distribution of the root system and root nutrient content of an established Miscanthus crop」より、土壌の深さによる根の重量比により、1 : 1 での分配も想定されるが、ここでは、保守的に根が存在する覆土厚と再生資材厚の比で分配することとした。

- ・平成 28 年 3 月 15 日における Cs-134 濃度 : Cs-137=0.209:1 (既往の安全評価同)
- ・ジャイアント・ミスカンサスの平均乾物収量 : 2.01kg/m²
 ※ジャイアント・ミスカンサスの平均乾燥物収量は、0.83 kg/m² であるが、保守的にエリアンサスの平均乾燥物収量を本評価では使用した。
- ・ジャイアント・ミスカンサスの草丈:2.5m
- ・1m³ (空間) 当たりの重量 : 2.01 kg/m²/2.5m=0.804kg/m³

【確認結果】

- ・単位再生資材中濃度当たりの年間被ばく線量 (保全業者)

Cs-134 : $1.4E-03$ [mSv/y]/[Bq/g]

Cs-137 : $5.3E-04$ [mSv/y]/[Bq/g]

Cs-134+ Cs-137 : $6.4E-04$ [mSv/y]/[Bq/g]

- ・ジャイアント・ミスカンサス中の濃度は、6,000Bq/kg の再生資材を使用した場合、0.324Bq/g となる。
- ・本濃度の場合、年間被ばく線量は、 $0.21 \mu\text{Sv}$ となる。

参考として、図7に示す空気線源でジャイアント・ミスカンサスを模擬した体系から放出される放射線の強度分布を視覚化した結果を示す。図8の放射線強度分布計算結果から公衆が居住する区域の放射線強度は、保全作業（草刈り等作業）（草本類）の作業空間の40%程度となることが分かる。

本参考計算及び放射線強度分布の視覚化は、国産の計算コード「Particle and Heavy Ion Transport code System」（略称：PHITS）^{vi}を用い、行った結果である。

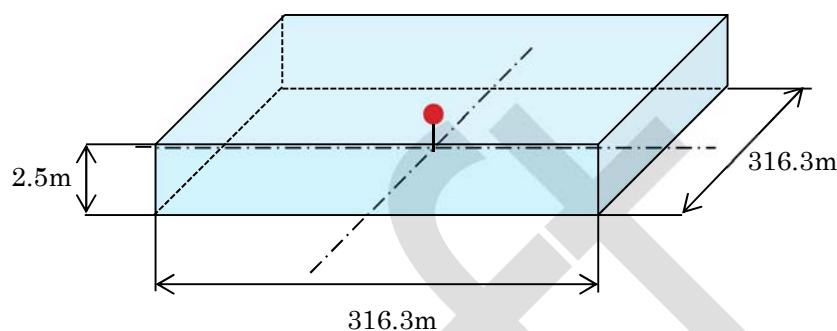


図7 草本類（ジャイアント・ミスカンサス）へ移行したCs 寄与の放射線強度分布計算体系

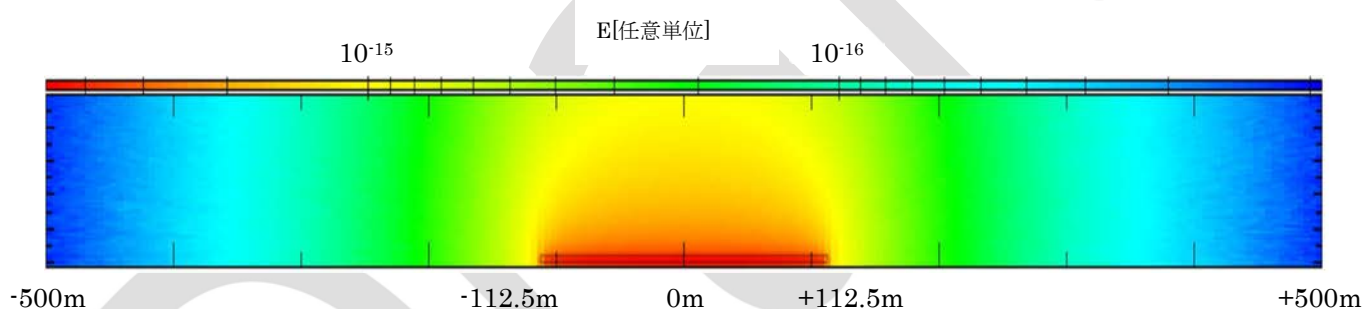


図8 草本類（ジャイアント・ミスカンサス）へ移行したCs-137 寄与の放射線の相対強度分布計算結果

上記の図はCs-137がジャイアント・ミスカンサス中に存在した場合の放射線の相対強度分布を表すものである。

(2) 火災時における被ばく線量（消防士・公衆）

既往の評価では、草本類の根到達深度は30cmに達しないとされており、火災時における被ばく線量は木本植栽のみ評価されている。

^{vi} PHITSとは? (※以下、PHITS ホームページ (<https://phits.jaea.go.jp/indexj.html>) 掲載情報を抜粋)

あらゆる物質中での様々な放射線挙動を核反応モデルや核データなどを用いて模擬するモンテカルロ計算コードです。原子力分野で培った数多くの基盤技術を集結し、その技術を原子力のみならず放射線に関連する多様な研究分野に応用することを目的に、原子力機構が中心となって開発を進めています。放射線施設の設計、医学物理計算、放射線防護研究、宇宙線・地球惑星科学など、工学、医学、理学の様々な分野で国内外2000名以上の研究者・技術者に利用されています。

【開発体制】

PHITSの開発は、日本原子力研究開発機構、高度情報科学技術研究機構、高エネルギー加速器研究機構の三者共同契約を中心に進められています。それ以外にも、九州大学、理化学研究所、宇宙航空研究開発機構、Chalmers工科大、CEA（フランス）（順不同）とPHITS開発に関わる共同研究を実施しました。原子力機構内では、原子力基礎工学研究センターが中心となり、システム計算科学センター、先端基礎研究センター、J-PARCセンターと協力して開発を進めています。

農作物については、2.農作物の栽培条件(3) 農作物栽培品種(例)に示した表 4 土壤改良基準一覧(抜粋)のとおり、根到達深度が 30cm 以上に達する農作物も含まれており、農地火災時には、再生資材から移行した Cs による外部被ばく及び内部被ばくを評価する必要がある。

本評価では、Cs の移行量が最も大きくなる(移行係数が大きく、作物自体の体系、収量も大きい)と考えられるジャイアント・ミスカンサスの栽培を想定し、評価を行った。

ジャイアント・ミスカンサスについては、根到達深度が約 250cm に達することが前記の文献により示されている。

草丈は、文献「東日本大震災による被災水田におけるエネルギー作物の栽培試験・初年目の生育」によると、約 6 ヶ月で 250cm に達するとされており、根到達深度も 6 ヶ月で 250cm に達すると仮定すると、1 ヶ月当たり約 42cm 生育すると考えられる。(草丈同様、期間に比例すると仮定して。)

仮に覆土厚が 50cm の場合は、栽培開始から 36 日目に再生資材部に根が到達すると考えられ、以降、移行係数に従い、再生資材中 Cs が移行するものと考えられる。また、覆土厚が 1m の場合は、約 2.4 ヶ月で根が再生資材に達するものと考えられる。

火災時における被ばく線量評価においては、これらを考慮し、被ばく線量を評価する必要がある。(既往の評価では、木本類の根の成長速度を 4cm/月と過程して、2 年目以降に樹木へ移行するとの想定で評価を実施)

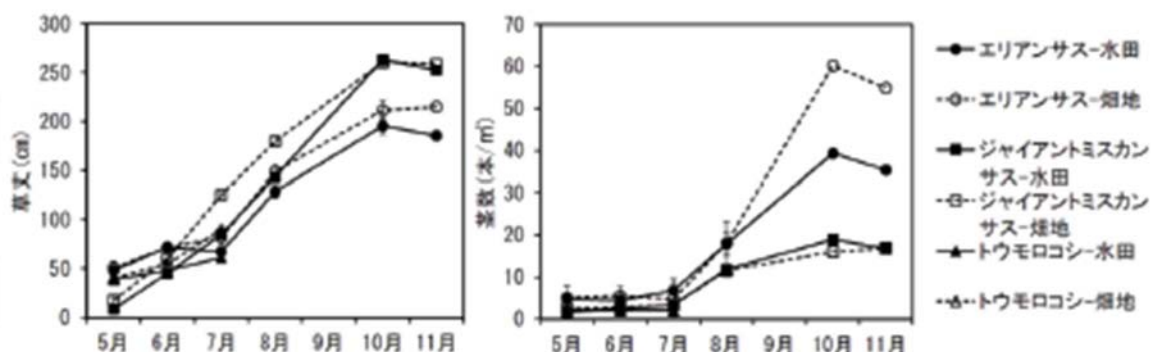


図 9 草丈(左)と茎数(右)の推移^{vii}

火災時における被ばく線量評価経路は、既往の評価と同様に表 7 のとおりとした。

なお、既往の安全評価では、消防士に対してはサブマージョンモデル、公衆に対してはガウスブルームモデルを用いて、大気の状態に対する解析感度(大気安定度・火災ブルーム上昇高さ)を行った上で、最も被ばく線量が高くなる条件を求めている。本評価でも同様のパラメータを用い被ばく線量を評価した。

^{vii} 出典: 東日本大震災による被災水田におけるエネルギー作物の栽培試験・初年目の生育, 土肥哲哉*1・阿部淳 1・我有満 2・山田敏彦 3・森田茂紀 1, (1 東京大学, 2 九州沖縄農業研究センター, 3 北海道大学)

表 7 再生資材の土地造成への利用に係る評価経路（災害時（火災））

No.	評価対象	被ばく形態
1	消防士	ブルームに含まれる Cs による外部被ばく
2		地表沈着した Cs による外部被ばく
3		ブルームに含まれる Cs の吸入による内部被ばく
4		地表沈着した Cs の再浮遊による Cs の吸入による内部被ばく
5	公衆	ブルームに含まれる Cs による外部被ばく
6		地表沈着した Cs による外部被ばく
7		ブルームに含まれる Cs の吸入による内部被ばく
8		地表沈着した Cs の再浮遊による Cs の吸入による内部被ばく

【条件】

- ・ Cs-134 と Cs-137 の存在割合は、0.209:1 とする。
再生資材の利用開始時期は、既往の評価同様、平成 28 年 3 月 15 日として、福島第一原子力発電所事故直後の Cs-134 と Cs-137 の存在割合を 1:1 と仮定。
- ・ 火災による延焼面積は約 5ha（（1）保全作業（草刈り等作業）（草本類）の外部被ばく線量）評価体系同様 $316.3\text{m} \times 316.3\text{m} = 100,046\text{m}^2$ とする。（100%延焼を想定）
- ・ 延焼速度は既往の評価における木本類の 5 倍をパラメータとして使用
- ・ 延焼期間は、24h と仮定する。（既往の評価では、20ha の延焼を想定し、燃焼期間は 24 時間を仮定。本評価では、延焼面積が 10ha で既往の評価の 2 分の 1、燃焼速度が既往の評価の 5 倍であるため、10 分の 1 の時間で可燃部分が焼失するとの想定で、延焼期間は 2.4 時間が考えられるが、不確定であるためここでは、保守的に既往の評価同様 24 時間と仮定した。）
- ・ 風速は 1m/s と仮定する。（既往の評価同様）
- ・ 評価年は 0 年とし、収穫時期までの期間（6 ヶ月）の物理的減衰は保守的に考慮しないこととした。

本評価において使用した共通パラメータを表 8 に示す。また、表 7 に示した、各被ばく経路における評価結果を表 9 以降に示す。

表8 埋戻材及び草本類（ジャイアント・ミスカンサス）に含まれる放射性セシウム濃度

共通パラメータ

延焼面積	10 ha	
	100,046 m ²	(316.3m×316.3m)
ジャイアント・ミスカンサス草丈	2.5 m	
平均乾物収量	2.01 kg/m ²	保守的にエリアンサスの収量を用いた
1m ³ （空間）当たりの重量	0.804 kg/m ³	
10ha中のジャイアント・ミスカンサスの重量	201,092 kg	
移行係数 0.067×0.8	5.4E-02	根到達深度の比率により按分（覆土中0.5m、再生資材中2.0m）

埋戻材及び草本類（ジャイアント・ミスカンサス）に含まれる放射性セシウム濃度

	埋戻材濃度 (Bq/g)		草本（5ha）中に含まれる総Bq数			地表面濃度	
評価年	Cs-134	Cs-137	Cs-134	Cs-137	全Cs	Cs-134	Cs-137
0	1.0E+00	1.0E+00	1.1E+07	1.1E+07	2.2E+07	1.1E+02	1.1E+02

※全Csに対する単位濃度当たりの被ばく線量評価に当たっては、Cs-134とCs-137の存在割合は既往の評価と同様
0.209 : 1（平成28年3月現在）とする。

【確認結果】

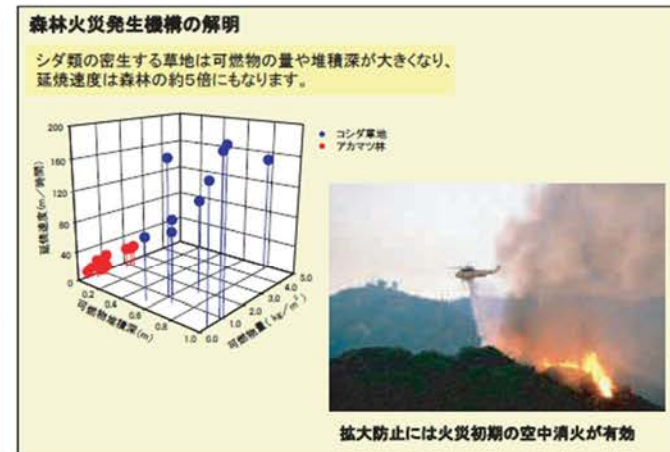
以下、各被ばく経路における評価結果を示す。

消防士被ばく線量評価

ブルーム中Csからのガンマ線による外部被ばく評価モデル（評価モデル）
$$D1 = \frac{C_{surf} \cdot r}{H} \cdot DF1 \cdot T \cdot 1000$$

表9 プルーム中Csからのγ線による外部被ばく評価パラメータ

パラメータ		説明
D1	-	ブルーム中のCsからのγ線による外部被ばく (mSv)
Csurf		地表面のCs濃度 (Bq/m ²)
Cs-134	共通パラメータ参照	
Cs-137	共通パラメータ参照	
r	0.5	延焼速度と風速の比 (-) ※既往の評価では0.1
H	100	線源の高さ方向の拡がり(m)
	200	
	500	
DF1		半無限体積の線源に対する線量係数 (Sv/s per Bq/m ³)
Cs-134	6.80E-14	FGR-12(EPA-402-R-93-081) を参照
Cs-137	2.40E-14	
T	86400	被ばく時間 (s) ※既往の評価では24時間 (24×3600=86400)



出典：森林に対する生物被害、気象災害等の回避・防除技術に関する研究（森林総合研究所）

表10 プルーム中Cs-134からのγ線による外部被ばく線量

Cs-134

評価年	D1 (H=100m)	D1 (H=200m)	D1 (H=500m)	Csurf (Bq/m ²)	r	H(m)			DF1 (Sv/s per Bq/m ³)	T(s)
0	3.2E-06	1.6E-06	6.3E-07	1.1E+02	5.0E-01	100	200	500	6.8E-14	86400

表11 プルーム中Cs-137からのγ線による外部被ばく線量

Cs-137

評価年	D1 (H=100m)	D1 (H=200m)	D1 (H=500m)	Csurf (Bq/m ²)	r	H(m)			DF1 (Sv/s per Bq/m ³)	T(s)
0	1.1E-06	5.6E-07	2.2E-07	1.1E+02	5.0E-01	100	200	500	2.4E-14	86400

表12 全Csに対する単位濃度当たりの被ばく線量、草本類（ジャイアント・ミスカンサス）（消防士）
mSv/event per Bq/g

被ばく時間	線源の高さ方向の拡がり (m)								
1日 (2時間)	100			200			500		
	Cs-134	Cs-137	全Cs	Cs-134	Cs-137	全Cs	Cs-134	Cs-137	全Cs
	3.2E-06	1.1E-06	1.5E-06	1.6E-06	5.6E-07	7.4E-07	6.3E-07	2.2E-07	2.9E-07

6000Bq/kg及び8000Bq/kgの再生資材を使用した場合の被ばく線量

6000Bq/kgの再生資材使用時の1event当たりの被ばく線量 (mSv/event)			8000Bq/kgの再生資材使用時の1event当たりの被ばく線量 (mSv/event)			※線源高さ方向の拡がり (m)
100	200	500	100	200	500	
8.8E-06	4.4E-06	1.8E-06	1.2E-05	5.9E-06	2.4E-06	

【参考】JAEAの計算結果（木本類(針葉樹)） Cs-134

評価年	D1 (H=100m)	D1 (H=200m)	D1 (H=500m)	Csurf (Bq/m ²)	r	H(m)			DF1 (Sv/s per Bq/m ³)	T(s)
42	1.3E-12	6.5E-13	2.6E-13	2.2E-04	1.0E-01	100	200	500	6.8E-14	86400

【参考】JAEAの計算結果（木本類(針葉樹)） Cs-137

評価年	D1 (H=100)	D1 (H=200)	D1 (H=500)	Csurf (Bq/m ²)	r	H(m)			DF1 (Sv/s per Bq/m ³)	T(s)
42	2.5E-07	1.2E-07	5.0E-08	1.2E+02	1.0E-01	100	200	500	2.4E-14	86400

【参考】JAEAの計算結果 全Csに対する単位濃度当たりの被ばく線量、針葉樹（消防士）

被ばく時間	線源の高さ方向の拡がり (m)		
1日 (24時間)	100	200	500
	2.0E-07	1.0E-07	4.0E-08

※D1を埋戻材投入初年度の全Cs濃度で除す（Cs-134：Cs-137=0.209:1）

消防士被ばく線量評価

地表沈着したCsからのγ線による外部被ばく評価モデル

$$D2 = C_{surf} \cdot DF2 \cdot T \cdot 1000$$

表 13 地表沈着した Cs からの γ 線による外部被ばく評価パラメータ

パラメータ		説明
D2	-	地表沈着したCsからのγ線による外部被ばく (mSv)
Csurf		地表面のCs濃度 (Bq/m ²)
Cs-134	共通パラメータ参照	
Cs-137	共通パラメータ参照	
DF2		無限平板の線源に対する線量係数 (Sv/s per Bq/m ³)
Cs-134	1.40E-15	FGR-12(EPA-402-R-93-081) を参照
Cs-137	5.30E-16	
T	86400	外部被ばく時間 (s)

表 14 地表沈着した Cs-134 からの γ 線による外部被ばく評価結果

評価年	D2 (mSv)	Csurf (Bq/m ²)	DF2 (Sv/s per Bq/m ³)	T (s)
0	1.3E-05	1.1E+02	1.4E-15	86400

表 15 地表沈着した Cs-137 からの γ 線による外部被ばく評価結果

評価年	D2 (mSv)	Csurf (Bq/m ²)	DF2 (Sv/s per Bq/m ³)	T (s)
0	4.9E-06	1.1E+02	5.3E-16	86400

表 16 Cs に対する単位濃度当たりの被ばく線量 (ジャイアント・ミスカンサス) (消防士)
mSv/event per Bq/g

被ばく時間	Cs-134	Cs-137	全Cs
1日 (24時間)	1.3E-05	4.9E-06	5.7E-06

【参考】JAEAの計算結果 (木本類, 針葉樹)

Csに対する単位濃度当たりの被ばく線量、木本類 (針葉樹) (公衆)

mSv/ y per Bq/g

被ばく時間	Cs-134	Cs-137	全Cs
1日 (24時間)	2.7E-11	5.3E-06	4.4E-06

消防士被ばく線量評価

クラウド中のCsの吸入摂取による内部被ばく評価モデル

$$D3 = \frac{C_{surf} \cdot r}{H} \cdot K_{in} \cdot M \cdot T$$

表 17 クラウド中の Cs の吸入摂取による内部被ばく評価パラメータ

パラメータ		説明
D3		クラウド中のCsの吸入摂取による内部被ばく (mSv)
Csurf		地表面のCs濃度 (Bq/m ²)
Cs-134	共通パラメータ参照	
Cs-137	共通パラメータ参照	
r	0.5	延焼速度と風速の比 (-)
H	100	線源の高さ方向の拡がり (m)
	200	
	500	
Kin		内部被ばく線量実効線量係数 (成人) (mSv/Bq)
Cs-134	2.00E-05	環境モニタリング指針
Cs-137	3.90E-05	
M	3.30E-04	呼吸率 (作業者) (m ³ /s) ICRP.Publ23
T	86400	被ばく時間 (s)

Cs-134

表 18 クラウド中の Cs-134 の吸入摂取による内部被ばく評価結果

評価年	D3 (mSv)	Csurf (Bq/m ²)	r	H (m)			Kin (mSv/Bq)	M (m ³ /s)	T (s)
0	3.1E-04	1.1E+02	0.5	100	200	500	2.00E-05	3.30E-04	86400

Cs-137

表 19 クラウド中の Cs-137 の吸入摂取による内部被ばく評価結果

評価年	D3 (mSv)	Csurf (Bq/m ²)	r	H (m)			Kin (mSv/Bq)	M (m ³ /s)	T (s)
0	6.0E-04	1.1E+02	0.5	100	200	500	3.90E-05	3.30E-04	86400

表 20 Cs に対する単位濃度当たりの被ばく線量、草本類 (ジャイアント・ミスカンサス) (消防士)
mSv/event per Bq/g

被ばく時間	Cs-134	Cs-137	全Cs
1日 (24時間)	3.1E-04	6.0E-04	5.3E-04

【参考】JAEAの計算結果 (木本類, 針葉樹)

Csに対する単位濃度当たりの被ばく線量、木本類 (針葉樹) (公衆)

mSv/y per Bq/g

被ばく時間	Cs-134	Cs-137	全Cs
1日 (24時間)	1.3E-10	1.3E-04	1.1E-04

※植栽から42年後

消防士被ばく線量評価

地表沈着したCsの再浮遊によるCsの吸入摂取による内部被ばく評価モデル

$$D4 = C_{surf} \cdot K_{in} \cdot F \cdot M \cdot T$$

表21 地表沈着したCsの再浮遊によるCsの吸入摂取による内部被ばく評価パラメータ

パラメータ		説明
D4		地表沈着したCsの再浮遊、吸入摂取による内部被ばく (mSv)
Csurf		地表面のCs濃度 (Bq/m ²)
Cs-134	共通パラメータ参照	
Cs-137	共通パラメータ参照	
Kin		内部被ばく実効線量係数 (成人) (mSv/Bq)
Cs-134	2.00E-05	環境放射線モニタリング指針
Cs-137	3.90E-05	
F	1.00E-06	再浮遊率 (m ⁻¹), 一般公衆線量評価
M	3.30E-04	呼吸率 (作業者) (m ³ /s) ICRP Publ.23
T	86400	被ばく時間(s)

表22 地表沈着したCsの再浮遊によるCs-134の吸入摂取による内部被ばく評価結果

評価年	D4 (mSv)	Csurf (Bq/m ²)	Kin (mSv/Bq)	F (m ⁻¹)	M (m ³ /s)	T(s)
0	6.1E-08	1.1E+02	2.0E-05	1.00E-06	3.30E-04	86400

表23 地表沈着したCsの再浮遊によるCs-137の吸入摂取による内部被ばく評価結果

評価年	D4 (mSv)	Csurf (Bq/m ²)	Kin (mSv/Bq)	F (m ⁻¹)	M (m ³ /s)	T(s)
0	1.2E-07	1.1E+02	3.9E-05	1.00E-06	3.30E-04	86400

表24 Csに対する単位濃度当たりの被ばく線量、草本類 (ジャイアント・ミスカンサス) (消防士)
mSv/event per Bq/g

被ばく時間	Cs-134	Cs-137	全Cs
1日 (24時間)	6.1E-08	1.2E-07	1.1E-07

【参考】JAEAの計算結果 (木本類, 針葉樹)

Csに対する単位濃度当たりの被ばく線量、木本類 (針葉樹) (消防士)

mSv/ y per Bq/g

被ばく時間	Cs-134	Cs-137	全Cs
1日 (24時間)	1.3E-13	1.3E-07	1.1E-07

※植栽から42年後

公衆被ばく線量評価

プルーム中のCsからの γ 線による外部被ばく線量評価モデル

$$D1 = K \cdot \frac{E_{\gamma}}{0.5} \cdot Q_{cs} \cdot \frac{D}{Q}$$

表 25 プルーム中のCsからの γ 線による外部被ばく線量評価パラメータ

パラメータ	説明
D1	- プルーム中のCsからの γ 線による外部被ばく (mSv)
K	1 空気カーマからの実効線量への換算係数 (Sv/Gy)
E $_{\gamma}$	γ 線実効エネルギー (MeV)
Cs-134	1.56
Cs-137	0.6
Q $_{cs}$	火災によるCsの大気放出量 (Bq)
Cs-134	共通パラメータ参照
Cs-137	共通パラメータ参照
D/Q	6.2E-19 相対線量 (Gy/Bq) ※既往の評価同

表 26 プルーム中のCs-134からの γ 線による外部被ばく線量評価パラメータ
放出高さ 100m, 大気安定度 A, 最大濃度地点@400m

評価年	D1(mSv)	K(Sv/Gy)	E $_{\gamma}$ (MeV)	Q $_{cs}$ (Bq)	D/Q (Gy/Bq)
0	2.1E-08	1	1.56	1.1E+07	6.2E-19

表 27 プルーム中のCs-137からの γ 線による外部被ばく線量評価パラメータ
放出高さ 100m, 大気安定度 A, 最大濃度地点@400m

評価年	D1(mSv)	K(Sv/Gy)	E $_{\gamma}$ (MeV)	Q $_{cs}$ (Bq)	D/Q (Gy/Bq)
0	8.0E-09	1	0.6	1.1E+07	6.2E-19

表 28 Csに対する単位濃度当たりの被ばく線量、草本類（ジャイアント・ミスカンサス）（公衆）
mSv/event per Bq/g

被ばく時間1日 (24時間)	Cs-134	Cs-137	全Cs
	2.1E-08	8.0E-09	1.0E-08

【参考】JAEAの計算結果（木本類, 針葉樹）

Csに対する単位濃度当たりの被ばく線量、木本類（針葉樹）（公衆）

mSv/ y per Bq/g

被ばく時間 1日 (24時間)	Cs-134	Cs-137	全Cs
	8.6E-14	1.7E-08	1.4E-08

植栽から42年後

公衆被ばく線量評価

地表沈着したCsからのγ線による外部被ばく評価モデル

$$D2 = K_{ex} \cdot Q_{cs} \cdot \frac{x}{Q} \cdot V \cdot f \cdot T$$

表 29 地表沈着した Cs からの γ 線による外部被ばく評価モデル

パラメータ	説明
D2	-
Kex	地表沈着したCsからのγ線による外部被ばく (mSv)
Cs-134	1.40E-15
Cs-137	5.30E-16
Qcs	FGR-12(EPA-402-R-93-081)
Cs-134	共通パラメータ参照
Cs-137	共通パラメータ参照
x/Q	評価位置に応じ設定
V	1.0E-02
f	1.0E+00
T	86400

表 30 地表沈着した Cs-134 からの γ 線による外部被ばく評価結果, 放出高さ 100m, 大気安定度 A, 最大濃度地点@400m

評価年	D2	Kex	Qcs	x/Q	V	f	T
0	2.9E-07	1.40E-15	1.1E+07	2.2E-05	1.0E-02	1.0E+00	86400

表 31 地表沈着した Cs-137 からの γ 線による外部被ばく評価結果, 放出高さ 100m, 大気安定度 A, 最大濃度地点@400m

評価年	D2	Kex	Qcs	x/Q	V	f	T
0	1.1E-07	5.30E-16	1.1E+07	2.2E-05	1.0E-02	1.0E+00	86400

表 32 Cs に対する単位濃度当たりの被ばく線量、草本類（ジャイアント・ミスカンサス）（公衆）
mSv/event per Bq/g

被ばく時間	Cs-134	Cs-137	全Cs
1日 (24時間)	2.9E-07	1.1E-07	1.4E-07

【参考】JAEAの計算結果（木本類, 針葉樹）

Csに対する単位濃度当たりの被ばく線量、木本類（針葉樹）（公衆）

mSv/y per Bq/g

被ばく時間	Cs-134	Cs-137	全Cs
1日 (24時間)	1.2E-12	2.3E-07	1.9E-07

植栽から42年後

公衆被ばく線量評価

プルーム中のCsの吸入摂取による内部被ばく評価モデル

$$D3 = M \cdot K_{in} \cdot Q_{cs} \cdot \frac{x}{Q}$$

表 33 プルーム中の Cs の吸入摂取による内部被ばく評価パラメータ

パラメータ	説明
D3	- プルーム中のCsの吸入摂取による内部被ばく (mSv)
M	2.57E-04 呼吸率 (一般公衆・成人) (m3/s)
Kin	内部被ばく実効線量係数 (成人) (mSv/Bq)
Cs-134	2.0E-05 環境放射線モニタリング指針
Cs-137	3.9E-05
Qcs	火災によるCsの大気放出量 (Bq)
Cs-134	共通パラメータ参照
Cs-137	共通パラメータ参照
x/Q	評価位置に応じ設定 相対濃度 (s/m3) 、JAERI-M-90-206

表 34 プルーム中の Cs-134 の吸入摂取による内部被ばく評価結果, 放出高さ 100m, 大気安定度 A, 最大濃度地点@400m

評価年	D3	M	Kin	Qcs	x/Q
0	1.2E-06	2.57E-04	2.0E-05	1.1E+07	2.2E-05

表 35 プルーム中の Cs-137 の吸入摂取による内部被ばく評価結果, 放出高さ 100m, 大気安定度 A, 最大濃度地点@400m

評価年	D3	M	Kin	Qcs	x/Q
0	2.4E-06	2.57E-04	3.9E-05	1.1E+07	2.2E-05

表 36 Cs に対する単位濃度当たりの被ばく線量、草本類 (ジャイアント・ミスカンサス) (公衆)
mSv/event per Bq/g

被ばく時間	Cs-134	Cs-137	全Cs
1日 (24時間)	1.2E-06	2.4E-06	2.2E-06

【参考】JAEAの計算結果 (木本類, 針葉樹)

Csに対する単位濃度当たりの被ばく線量、木本類 (針葉樹) (公衆)

mSv/y per Bq/g

被ばく時間	Cs-134	Cs-137	全Cs
1日 (24時間)	5.1E-12	5.1E-06	4.2E-06

植栽から42年後

公衆被ばく線量評価

地表沈着したCsの再浮遊によるCsの吸入摂取による内部被ばく評価モデル

$$D4 = M \cdot K_{in} \cdot F \cdot Q_{cs} \cdot \frac{x}{Q} \cdot V \cdot f$$

表37 地表面沈着したCsの再浮遊によるCsの吸入摂取による内部被ばく評価パラメータ

パラメータ	説明
D4	-
M	2.57E-04
Kin	2.0E-05
Cs-134	3.9E-05
Cs-137	1.0E-06
F	環境放射線モニタリング指針
Qcs	再浮遊率 (m-1)
Cs-134	火災によるCsの大気放出量 (Bq)
Cs-137	保守的に全てのCsが飛散する仮定とした
x/Q	共通パラメータ参照
V	共通パラメータ参照
f	評価位置に応じ設定
T	相対濃度 (s/m3) 、JAERI-M-90-206
	沈着速度 (m/s)
	残存割合 (-)
	被ばく時間 (s)

表38 プルーム中のCs-134の吸入摂取による内部被ばく評価結果、放出高さ100m、大気安定度A、最大濃度地点@400m

評価年	D4	M	Kin	F	Qcs	x/Q	V	f	T
0	1.1E-09	2.57E-04	2.0E-05	1.0E-06	1.1E+07	2.2E-05	1.0E-02	1.0E+00	86400

表39 プルーム中のCs-137の吸入摂取による内部被ばく評価結果、放出高さ100m、大気安定度A、最大濃度地点@400m

評価年	D4	M	Kin	F	Qcs	x/Q	V	f	T
0	2.1E-09	2.57E-04	3.9E-05	1.0E-06	1.1E+07	2.2E-05	1.0E-02	1.0E+00	86400

表40 Csに対する単位濃度当たりの被ばく線量、草本類（ジャイアント・ミスカンサス）（公衆）
mSv/event per Bq/g

被ばく時間 1日 (24時間)	Cs-134	Cs-137	全Cs
	1.1E-09	2.1E-09	1.9E-09

【参考】JAEAの計算結果（木本類、針葉樹）

Csに対する単位濃度当たりの被ばく線量、木本類（針葉樹）（公衆）

mSv/y per Bq/g

被ばく時間 1日 (24時間)	Cs-134	Cs-137	全Cs
	4.4E-15	4.4E-09	3.7E-09

植栽から42年後

表 41 評価結果（消防士、公衆）草本類（ジャイアント・ミスカンサス）（災害時：火災）

評価結果（消防士、公衆）（ジャイアント・ミスカンサス（災害時：火災）

No	経路略称	単位再生資材中濃度当たりのevent毎被ばく線量 (mSv/event per Bq/g)			6000Bq/kgの再生資材を 使用した場合の被ばく線量 (mSv/event)	8000Bq/kgの再生資材を 使用した場合の被ばく線量 (mSv/event)
		Cs-134	Cs-137	Cs-134+Cs-137 ※H28.3現在		
1	消防士（ブルーム）外部	3.2E-06	1.1E-06	1.5E-06	5.9E-06	1.0E-05
2	消防士（地表沈着）外部	1.3E-05	4.9E-06	5.7E-06	2.3E-05	4.0E-05
3	消防士（ブルーム）内部	3.1E-04	6.0E-04	5.3E-04	2.1E-03	3.7E-03
4	消防士（沈着再浮遊）内部	6.1E-08	1.2E-07	1.1E-07	4.3E-07	7.5E-07
5	公衆（ブルーム）外部	2.1E-08	8.0E-09	1.0E-08	4.1E-08	7.2E-08
6	公衆（地表沈着）外部	2.9E-07	1.1E-07	1.4E-07	5.6E-07	9.8E-07
7	公衆（ブルーム）内部	1.2E-06	2.4E-06	2.2E-06	8.7E-06	1.5E-05
8	公衆（沈着再浮遊）内部	1.1E-09	2.1E-09	1.9E-09	7.5E-09	1.3E-08

【参考】評価結果（土取場の環境回復、針葉樹（災害時：火災）

No	経路略称	単位再生資材中濃度当たりのevent毎被ばく線量 (mSv/event per Bq/g)			4000Bq/kgの再生資材を 使用した場合の被ばく線量 (mSv/ y)	7000Bq/kgの再生資材を 使用した場合の被ばく線量 (mSv/ y)
		Cs-134	Cs-137	Cs-134+Cs-137 ※H28.3現在		
1	消防士（ブルーム）外部	1.3E-12	2.4E-07	2.0E-07	8.0E-07	1.4E-06
2	消防士（地表沈着）外部	2.7E-11	5.3E-06	4.4E-06	1.8E-05	3.1E-05
3	消防士（ブルーム）内部	1.3E-10	1.3E-04	1.1E-04	4.3E-04	7.6E-04
4	消防士（沈着再浮遊）内部	1.3E-13	1.3E-07	1.1E-07	4.3E-07	7.6E-07
5	公衆（ブルーム）外部	8.6E-14	1.7E-08	1.4E-08	5.7E-08	1.0E-07
6	公衆（地表沈着）外部	1.2E-12	2.3E-07	1.9E-07	7.8E-07	1.4E-06
7	公衆（ブルーム）内部	5.1E-12	5.1E-06	4.2E-06	1.7E-05	3.0E-05
8	公衆（沈着再浮遊）内部	4.4E-15	4.4E-09	3.7E-09	1.5E-08	2.6E-08

【確認結果】

消防士の被ばくに係る経路においては、既往の土地造成に係る安全評価結果を全て上回るものの、1mSv/yを大きく下回る結果であった。

公衆の被ばくに係る経路においては、既往の土地造成に係る安全評価結果を全て下回り、同様に 1mSv/yを大きく下回る結果であった。

参考資料

参考表 1～9 土地造成事業における再生資材の利用に係る線量評価結果の一覧

参考表 10 土取場の環境回復への再生資材の利用に係る評価経路パラメーター一覧

参考表 1 評価結果（建設現場への運搬）

No.	経路略称	単位再生資材中濃度 あたりの年間被ばく線量 (mSv/y per Bq/g)			1mSv/y相当濃度 (Bq/kg)	4,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)	7,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)
		Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)			
1	積み下ろし作業員外部	2.0E-02	8.3E-03	1.0E-02	9.7E+04	4.1E-02	7.2E-02
2	積み下ろし作業員吸入	2.0E-05	1.6E-05	1.7E-05	6.0E+07	6.6E-05	1.2E-04
3	積み下ろし作業員直接経口摂取	3.2E-04	2.6E-04	2.7E-04	3.7E+06	1.1E-03	1.9E-03
4	運搬作業員外部	4.5E-02	1.9E-02	2.3E-02	4.3E+04	9.3E-02	1.6E-01
5	運搬経路周辺居住者(成人)外部	5.9E-03	2.3E-03	2.9E-03	3.4E+05	1.2E-02	2.1E-02
6	運搬経路周辺居住者(子ども)外部	7.6E-03	3.0E-03	3.8E-03	2.6E+05	1.5E-02	2.7E-02

参考表 2 評価結果（土取場の埋め戻し）（草本類：埋戻材厚さ 4.7m）

No.	経路略称	単位再生資材中濃度 あたりの年間被ばく線量 (mSv/y per Bq/g)			1mSv/y相当濃度 (Bq/kg)	4,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)	7,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)
		Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)			
7	建設作業員外部	3.8E-01	1.7E-01	2.1E-01	4.9E+03	8.2E-01	1.4E+00
8	建設作業員吸入	2.0E-05	1.6E-05	1.7E-05	6.0E+07	6.6E-05	1.2E-04
9	建設作業員直接経口摂取	3.2E-04	2.6E-04	2.7E-04	3.7E+06	1.1E-03	1.9E-03
10	周辺居住者外部(成人)	1.9E-01	8.5E-02	1.0E-01	9.7E+03	4.1E-01	7.2E-01
11	周辺居住者吸入(成人)	9.4E-05	7.6E-05	8.0E-05	1.3E+07	3.2E-04	5.6E-04
12	周辺居住者外部(子ども)	2.5E-01	1.1E-01	1.3E-01	7.4E+03	5.4E-01	9.4E-01
13	周辺居住者吸入(子ども)	2.4E-05	2.1E-05	2.1E-05	4.7E+07	8.5E-05	1.5E-04
14-1	植栽等作業員外部	1.3E-02	5.4E-03	6.8E-03	1.5E+05	2.7E-02	4.8E-02

参考表 3 評価結果（土取場の埋め戻し）（木本類：埋戻材厚さ 4.0m）

No.	経路略称	単位再生資材中濃度 あたりの年間被ばく線量 (mSv/y per Bq/g)			1mSv/y相当濃度 (Bq/kg)	4,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)	7,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)
		Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)			
7	建設作業員外部	3.8E-01	1.7E-01	2.0E-01	4.9E+03	8.1E-01	1.4E+00
8	建設作業員吸入	2.0E-05	1.6E-05	1.7E-05	6.0E+07	6.6E-05	1.2E-04
9	建設作業員直接経口摂取	3.2E-04	2.6E-04	2.7E-04	3.7E+06	1.1E-03	1.9E-03
10	周辺居住者外部(成人)	1.9E-01	8.4E-02	1.0E-01	9.8E+03	4.1E-01	7.1E-01
11	周辺居住者吸入(成人)	9.4E-05	7.6E-05	8.0E-05	1.3E+07	3.2E-04	5.6E-04
12	周辺居住者外部(子ども)	2.4E-01	1.1E-01	1.3E-01	7.6E+03	5.3E-01	9.2E-01
13	周辺居住者吸入(子ども)	2.4E-05	2.1E-05	2.1E-05	4.7E+07	8.5E-05	1.5E-04
14-2	植栽等作業員外部	1.2E-05	3.2E-06	4.7E-06	2.1E+08	1.9E-05	3.3E-05

参考表 4 評価結果（土取場の環境回復後）（草本類）

No.	経路略称	単位再生資材中濃度 あたりの年間被ばく線量 (mSv/y per Bq/g)			1mSv/y相当濃度 (Bq/kg)	4,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)	7,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)
		Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)			
15-1	保全作業員外部	3.3E-03	1.4E-03	1.7E-03	5.9E+05	6.8E-03	1.2E-02
18-1	居住者・成人外部	5.7E-03	2.5E-03	3.0E-03	3.3E+05	1.2E-02	2.1E-02
19-1	居住者・子ども外部	7.4E-03	3.2E-03	3.9E-03	2.6E+05	1.6E-02	2.7E-02
20-1	利用者・成人外部	5.4E-03	2.2E-03	2.7E-03	3.7E+05	1.1E-02	1.9E-02
22-1	利用者・子ども外部	7.0E-03	2.8E-03	3.5E-03	2.8E+05	1.4E-02	2.5E-02

参考表 5 評価結果（土取場の環境回復後）（木本類：針葉樹）

No.	経路略称	単位再生資材中濃度 あたりの年間被ばく線量 (mSv/y per Bq/g)			1mSv/y相当濃度 (Bq/kg)	4,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)	7,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)
		Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)			
15-2	保全作業者外部(37年目・伐採前)	5.4E-09	2.6E-04	2.2E-04	4.6E+06	8.7E-04	1.5E-03
16-2	保全作業者粉塵吸入	5.5E-08	8.3E-08	7.9E-08	1.3E+10	3.1E-07	5.5E-07
17-2	保全作業者直接経口	9.1E-07	1.3E-06	1.3E-06	7.9E+08	5.1E-06	8.9E-06
18-2	周辺居住者外部(成人)(37年目・伐採前)	3.8E-09	1.8E-04	1.5E-04	6.6E+06	6.1E-04	1.1E-03
19-2	周辺居住者外部(子ども)(37年目・伐採前)	4.9E-09	2.4E-04	2.0E-04	5.1E+06	7.9E-04	1.4E-03
20-2	利用者外部(成人)(37年目・伐採前)	2.2E-09	1.1E-04	8.7E-05	1.1E+07	3.5E-04	6.1E-04
21-2	利用者・成人吸入	1.2E-08	1.8E-08	1.7E-08	5.8E+10	6.9E-08	1.2E-07
22-2	利用者外部(子ども)(37年目・伐採前)	2.8E-09	1.4E-04	1.1E-04	8.8E+06	4.5E-04	7.9E-04
23-2	利用者・子ども吸入	3.1E-09	4.9E-09	4.6E-09	2.2E+11	1.8E-08	3.2E-08

参考表 6 評価結果（土取場の環境回復後）（木本類：広葉樹（間伐））

No.	経路略称	単位再生資材中濃度 あたりの年間被ばく線量 (mSv/y per Bq/g)			1mSv/y相当濃度 (Bq/kg)	4,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)	7,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)
		Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)			
15-2	保全作業者外部(49年目)	6.0E-11	1.3E-04	1.0E-04	9.6E+06	4.2E-04	7.3E-04
16-2	保全作業者粉塵吸入	5.5E-08	8.3E-08	7.9E-08	1.3E+10	3.1E-07	5.5E-07
17-2	保全作業者直接経口	9.1E-07	1.3E-06	1.3E-06	7.9E+08	5.1E-06	8.9E-06
18-2	周辺居住者外部(成人)(49年目)	4.3E-11	8.9E-05	7.3E-05	1.4E+07	2.9E-04	5.1E-04
19-2	周辺居住者外部(子ども)(49年目)	5.5E-11	1.2E-04	9.5E-05	1.0E+07	3.8E-04	6.7E-04
20-2	利用者外部(成人)(49年目)	2.4E-11	5.0E-05	4.2E-05	2.4E+07	1.7E-04	2.9E-04
21-2	利用者・成人吸入	1.2E-08	1.8E-08	1.7E-08	5.8E+10	6.9E-08	1.2E-07
22-2	利用者外部(子ども)(49年目)	3.1E-11	6.5E-05	5.4E-05	1.9E+07	2.2E-04	3.8E-04
23-2	利用者・子ども吸入	3.1E-09	4.9E-09	4.6E-09	2.2E+11	1.8E-08	3.2E-08

参考表 7 評価結果（土取場の環境回復後）（木本類：広葉樹（無間伐））

No.	経路略称	単位再生資材中濃度 あたりの年間被ばく線量 (mSv/y per Bq/g)			1mSv/y相当濃度 (Bq/kg)	4,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)	7,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)
		Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)			
15-2	保全作業者外部(49年目)	5.8E-11	1.2E-04	9.9E-05	1.0E+07	4.0E-04	7.0E-04
16-2	保全作業者粉塵吸入	5.5E-08	8.3E-08	7.9E-08	1.3E+10	3.1E-07	5.5E-07
17-2	保全作業者直接経口	9.1E-07	1.3E-06	1.3E-06	7.9E+08	5.1E-06	8.9E-06
18-2	周辺居住者外部(成人)(49年目)	4.2E-11	8.7E-05	7.2E-05	1.4E+07	2.9E-04	5.0E-04
19-2	周辺居住者外部(子ども)(49年目)	5.4E-11	1.1E-04	9.3E-05	1.1E+07	3.7E-04	6.5E-04
20-2	利用者外部(成人)(49年目)	2.3E-11	4.8E-05	4.0E-05	2.5E+07	1.6E-04	2.8E-04
21-2	利用者・成人吸入	1.2E-08	1.8E-08	1.7E-08	5.8E+10	6.9E-08	1.2E-07
22-2	利用者外部(子ども)(49年目)	3.0E-11	6.3E-05	5.2E-05	1.9E+07	2.1E-04	3.6E-04
23-2	利用者・子ども吸入	3.1E-09	4.9E-09	4.6E-09	2.2E+11	1.8E-08	3.2E-08

参考表 8 評価結果（地下水移行）（草本類：埋戻材厚さ 4.7m）

No.	経路略称	単位再生資材中濃度 あたりの年間被ばく線量 (mSv/y per Bq/g)			1mSv/y相当濃度 (Bq/kg)	4,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)	7,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)
		Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)			
24	飲料水摂取(成人)	4.3E-06	4.2E-05	3.6E-05	2.8E+07	1.4E-04	2.5E-04
25	飲料水摂取(子ども)	6.0E-07	6.4E-06	5.4E-06	1.9E+08	2.2E-05	3.8E-05
26	地下水利用農耕作業外部	9.2E-07	4.4E-05	3.7E-05	2.7E+07	1.5E-04	2.6E-04
27	地下水利用農耕作業吸入	4.5E-11	4.2E-09	3.5E-09	2.9E+11	1.4E-08	2.4E-08
28	地下水利用農作物摂取(成人)	3.1E-06	1.0E-04	8.7E-05	1.2E+07	3.5E-04	6.1E-04
29	地下水利用農作物摂取(子ども)	1.1E-06	4.3E-05	3.6E-05	2.8E+07	1.4E-04	2.5E-04
30	飼料經由畜産物摂取(成人)	4.1E-06	1.0E-04	8.4E-05	1.2E+07	3.4E-04	5.9E-04
31	飼料經由畜産物摂取(子ども)	2.0E-06	5.3E-05	4.4E-05	2.3E+07	1.8E-04	3.1E-04
32	飼育水經由畜産物摂取(成人)	6.0E-07	5.9E-06	5.0E-06	2.0E+08	2.0E-05	3.5E-05
33	飼育水經由畜産物摂取(子ども)	2.8E-07	3.0E-06	2.5E-06	3.9E+08	1.0E-05	1.8E-05
34	養殖淡水産物摂取(成人)	2.5E-06	2.4E-05	2.1E-05	4.9E+07	8.2E-05	1.4E-04
35	養殖淡水産物摂取(子ども)	9.8E-07	1.1E-05	8.9E-06	1.1E+08	3.6E-05	6.2E-05

参考表 9 評価結果（木本類：埋戻材厚さ 4.0m）

No.	経路略称	単位再生資材中濃度 あたりの年間被ばく線量 (mSv/y per Bq/g)			1mSv/y相当濃度 (Bq/kg)	4,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)	7,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)
		Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)			
24	飲料水摂取(成人)	4.3E-06	4.2E-05	3.6E-05	2.8E+07	1.4E-04	2.5E-04
25	飲料水摂取(子ども)	6.0E-07	6.4E-06	5.4E-06	1.9E+08	2.2E-05	3.8E-05
26	地下水利用農耕作業外部	9.2E-07	4.4E-05	3.7E-05	2.7E+07	1.5E-04	2.6E-04
27	地下水利用農耕作業吸入	4.5E-11	4.2E-09	3.5E-09	2.9E+11	1.4E-08	2.4E-08
28	地下水利用農作物摂取(成人)	3.1E-06	1.0E-04	8.6E-05	1.2E+07	3.5E-04	6.1E-04
29	地下水利用農作物摂取(子ども)	1.1E-06	4.3E-05	3.6E-05	2.8E+07	1.4E-04	2.5E-04
30	飼料經由畜産物摂取(成人)	4.1E-06	1.0E-04	8.4E-05	1.2E+07	3.4E-04	5.9E-04
31	飼料經由畜産物摂取(子ども)	2.0E-06	5.3E-05	4.4E-05	2.3E+07	1.8E-04	3.1E-04
32	飼育水經由畜産物摂取(成人)	6.0E-07	5.9E-06	5.0E-06	2.0E+08	2.0E-05	3.5E-05
33	飼育水經由畜産物摂取(子ども)	2.8E-07	3.0E-06	2.5E-06	3.9E+08	1.0E-05	1.8E-05
34	養殖淡水産物摂取(成人)	2.5E-06	2.4E-05	2.1E-05	4.9E+07	8.2E-05	1.4E-04
35	養殖淡水産物摂取(子ども)	9.8E-07	1.1E-05	8.9E-06	1.1E+08	3.6E-05	6.2E-05

参考表 10 既往の安全評価（土地造成）における評価パラメータ及び評価値

経路No.	名称	単位	選定値	選定根拠
1~35	被ばく中の減衰期間	y	1	IAEA RS-G-1.7では、各評価経路について被ばく期間（1年）の減衰を考慮しており、本試算でも被ばく期間（1年）中の放射能の減衰を考慮することとした。
1~13	土取場の環境回復作業が開始されるまでの期間	y	0	保守的に、再生資材が事故5年後すぐに再生資源化され、土取場の環境回復に使用されるものとした。
1~35	線源に対する希釈係数	—	1.0	土取場の埋戻材として利用されるものは、すべて再生資材であるとした。
1~6	再生資材幅	m	2.0	大型トラックの荷台の寸法をもとに選定した。
1~6	再生資材長さ	m	5.0	大型トラックの荷台の寸法をもとに選定した。
1~6	再生資材厚さ	m	0.6	大型トラックの荷台の寸法をもとに選定した。
1~6	再生資材のかさ密度	g/cm ³	1.7	自然地盤でのおおよその平均値1.7 g/cm ³ とした。
1~35	埋戻し幅	m	500	大規模な土採取場を想定し、500 m×500 mの床掘り部に対し、一様に再生資材を埋戻材として利用した場合を想定した。
1~35	埋戻し長さ	m	500	大規模な土採取場を想定し、500 m×500 mの床掘り部に対し、一様に再生資材を埋戻材として利用した場合を想定した。
7-1~35-1	埋戻材の厚さ（草本類）	m	4.7	図2に示した通り、草本植栽を行う場合は掘削深度5mのうち、0.3 mを覆土、4.7 mを埋戻材とした。
7-2~35-2	埋戻材の厚さ（木本類）	m	4.0	図2に示した通り、木本植栽を行う場合は掘削深度5mのうち、1.0 mを覆土、4.0 mを埋戻材とした。
7~35	埋戻材のかさ密度	g/cm ³	2.0	土壌を締め固めた場合の密度の最大値2.0 g/cm ³ とした。
14-1~22-1	覆土の厚さ（草本類）	m	0.3	図2に示した通り、草本植栽を行う場合は掘削深度5 mのうち、0.3 mを覆土、4.7 mを埋戻材とした。
14-2~22-2	覆土の厚さ（木本類）	m	1.0	図2に示した通り、木本植栽を行う場合は掘削深度5 mのうち、1.0 mを覆土、4.0 mを埋戻材とした。
14~22	覆土のかさ密度	g/cm ³	1.5	日本道路公団 設計要領 第一集(1983)に示されている道路の盛土材の単位体積重量を参考に、保守的な値1.5 g/cm ³ を設定した。
14~35	土取場の環境回復が終了するまでの期間	y	0	保守的な設定とした。
1~4	積み下ろし、運搬作業時における線源に対する希釈係数	—	1	作業者は、再生資材のみを取り扱うものとし、線源に対する希釈は保守的に1とした。
1	積み下ろし作業時の遮へい係数	—	0.4	重機を使用した際の遮へい（鉄板2 cm相当）を考慮する。災害廃棄物評価※1で埋設作業時の重機を使用したCs-134およびCs-137に対する遮へい係数はQAD-CGGP2Rより0.4と計算され、積み下ろし作業時の遮へい係数も同様に設定した。
1~4	再生資材の積み下ろし、運搬の年間作業時間	h/y	1,000	1日8時間、年間250日の労働時間のうち半分の時間を再生資材のそばで作業するとした。 ここでは、再生資材を造成地へ運搬するための積み下ろし、運搬の作業が対象である。
1	積み下ろし作業時の遮へい係数	—	0.4	重機を使用した際の遮へい（鉄板2 cm相当）を考慮する。災害廃棄物評価※1で埋設作業時の重機を使用したCs-134およびCs-137に対する遮へい係数はQAD-CGGP2Rより0.4と計算され、積み下ろし作業時の遮へい係数も同様に設定した。

経路No.	名称		単位	選定値	選定根拠
1~4	再生資材の積み下ろし、運搬の年間作業時間		h/y	1,000	1日8時間、年間250日の労働時間のうち半分の時間を再生資材のそばで作業とした。 ここでは、再生資材を造成地へ運搬するための積み下ろし、運搬の作業が対象である。
1,4	外部被ばくに対する線量換算係数 (積み下ろし作業、運搬作業)	Cs-134	$\mu\text{Sv/h per Bq/g}$	5.9E-02	以下の条件で、QAD-CGGP2Rコードにより算出した。 線源の形状：高さ0.6 m、幅2 m、長さ5 mの直方体 線源のかさ密度：1.7 g/cm ³ 評価点：0.6 m×5.0 mの中心から1.0 m
		Cs-137		2.1E-02	
2,8,11,13,16-2,21-2,23-2	作業時の空气中ダスト濃度		g/m ³	5E-04	NUREG/CR-3585に示されたOPEN DUMP時及びIAEA-TECDOC-401に示された埋設処分場での埋め立て作業時における空气中ダスト濃度を採用した。
2,8,11,13,16-2,21-2,23-2	微粒子への放射性物質の濃縮係数（吸入摂取）		—	4	IAEA Safety Reports Series No.44に示された吸入可能な粒子の濃縮係数を使用した。
2,8,16-2	作業者の呼吸量		m ³ /h	1.2	ICRP Publ.23で示されている標準人の労働（軽作業）時の呼吸量の数値20 L/minを基に算定した。
3,9,17-2	微粒子への放射性物質の濃縮係数（経口摂取）		—	2	IAEA Safety Reports Series No.44に示された経口摂取被ばくに関する粒子の濃縮係数を使用した。
3,9,17-2	ダストの経口摂取率		g/h	0.01	IAEA S.S. No.111-P-1.1に示された値を用いた。
4	運搬作業時の遮へい係数		—	0.9	車両による遮へい（鉄板3 mm相当）を考慮する。災害廃棄物評価※1で埋設作業時のCs-134及びCs-137に対する車両による遮へい係数はQAD-CGGP2Rより0.9と計算され、運搬作業時の遮へい係数も同様に設定した。
5,6	運搬経路沿いの居住における線源に対する希釈係数		—	1	運搬の大型トラックには、再生資材のみが積み込まれているものとし、線源に対する希釈は保守的に1とした。
5,6	運搬経路周辺居住時の遮へい係数		—	1	保守的に1と設定した。
5,6	運搬経路沿いの居住者の被ばく時間		h/y	450	災害廃棄物安全評価検討会（第9回）資料11-2「災害廃棄物等の処理・処分のシナリオに対する線量評価結果の整理」に示された値を踏襲した。当該資料では、運搬トラックが月に4,500台走行し、そのうちの半分のトラックが赤信号により停車している時間1分の間に被ばくとすると仮定し、450 h/yとしている。
5,6	外部被ばくに対する線量換算係数 (運搬経路周辺居住、成人)	Cs-134	$\mu\text{Sv/h per Bq/g}$	1.5E-2	以下の条件で、QAD-CGGP2Rコードにより算出した。 線源の形状：高さ0.6 m、幅2 m、長さ5 mの直方体 線源のかさ密度：1.7 g/cm ³ 評価点：0.6 m×5.0 mの底辺中央から3.0 m なお、子どもの外部被ばく線量換算係数は成人の計算値を1.3倍した。
		Cs-137		5.2E-3	
7	土取場の環境回復時における遮へい係数（作業者）		—	1.0	重機を使用した作業を想定せず、保守的な設定とした。
7-9,14	土取場の環境回復作業（建設作業、植栽等作業）に従事する年間作業時間		h/y	1,000	1日8時間、年間250日の労働時間のうち半分の時間を土取場の環境回復作業に従事するものとした。
7-1	外部被ばくに対する線量換算係数 (土取場の環境回復作業)（草本類）	Cs-134	$\mu\text{Sv/h per Bq/g}$	4.5E-01	以下の条件で、MCNP5コードにより算出した。 線源の形状：厚さ4.7 m、幅500 m、長さ500 mの直方体（土壌） 線源のかさ密度：2.0 g/cm ³ 遮蔽体：なし 評価点：図1の評価点・作業者
		Cs-137		1.7E-01	

経路No.	名称		単位	選定値	選定根拠
7-2	外部被ばくに対する線量換算係数 (土取場の環境回復作業) (木本類)	Cs-134	$\mu\text{Sv/h}$ per Bq/g	4.4E-01	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源の形状：厚さ 4 m、幅 500 m、長さ 500 m の直方体 (土壌) 線源のかさ密度：2.0 g/cm ³ 遮蔽体：なし 評価点：図 1 の評価点・作業者
		Cs-137		1.7E-01	
10,12	居住時の遮へい係数		—	0.2	IAEA-TECDOC-401から、居住時間の20%を戸外で過ごすとして仮定した。
10~13	年間居住時間		h/y	8,760	保守的に、1年間絶えず環境回復を行った土取場周辺に居住しているとした。
10-1,12-1	外部被ばくに対する線量換算係数 (土取場の環境回復現場周辺居住者) (草本類)	Cs-134	$\mu\text{Sv/h}$ per Bq/g	1.3E-01	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源の形状：厚さ 4.7 m、幅 500 m、長さ 500 m の直方体 (土壌) 線源のかさ密度：2.0 g/cm ³ 遮蔽体：なし 評価点：図 1 の評価点・居住者 なお、子どもの外部被ばく線量換算係数は成人の計算値を 1.3 倍した。
		Cs-137		4.9E-02	
10-2,12-2	外部被ばくに対する線量換算係数 (土取場の環境回復現場周辺居住者) (木本類)	Cs-134	$\mu\text{Sv/h}$ per Bq/g	1.2E-01	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源の形状：厚さ 4 m、幅 500 m、長さ 500 m の直方体 (土壌) 線源のかさ密度：2.0 g/cm ³ 遮蔽体：なし 評価点：図 1 の評価点・居住者 なお、子どもの外部被ばく線量換算係数は成人の計算値を 1.3 倍した。
		Cs-137		4.9E-02	
11,21-2	居住者の呼吸量 (成人)		m ³ /h	0.96	ICRP Publ.23で示されている標準人の1日の呼吸量の数値 2.3×104(L/d)を基に算定した。
13,23-2	居住者の呼吸量 (子ども)		m ³ /h	0.22	IAEA Safety Reports Series No.44に示されていた1~2歳の居住者の呼吸率として示されている値を採用した。
14	植栽作業時における遮へい係数		—	1.0	保守的な設定とした。
14-1	外部被ばくに対する線量換算係数 (植栽作業) (草本類)	Cs-134	$\mu\text{Sv/h}$ per Bq/g	1.6E-02	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源の形状：厚さ 4.7 m、幅 500 m、長さ 500 m の直方体 (土壌) 線源のかさ密度：2.0 g/cm ³ 遮蔽体：厚さ 0.3 m、かさ密度 1.5 g/cm ³ (土壌) 評価点：図 2 の評価点・作業者
		Cs-137		5.5E-03	
14-2	外部被ばくに対する線量換算係数 (植栽作業) (木本類)	Cs-134	$\mu\text{Sv/h}$ per Bq/g	1.4E-05	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源の形状：厚さ 4.0 m、幅 500 m、長さ 500 m の直方体 (土壌) 線源のかさ密度：2.0 g/cm ³ 遮蔽体：厚さ 1.0 m、かさ密度 1.5 g/cm ³ (土壌) 評価点：図 2 の評価点・作業者
		Cs-137		3.3E-06	
15-2~23-2	土壌から樹木への移行係数 (木本類)		—	5.5E-03	Tagami & Uchida(2010)※2は、葉菜類中と樹葉 (アカマツ、スギ、ヒノキ等) 中の元素濃度の相関係数は高いこと ($R>0.90$ 、 $p<0.001$)、また、樹葉中の元素濃度の幾何平均値のほとんどは葉菜類中のデータ範囲内にあることから、葉菜類中の濃度データに由来する移行係数は、樹葉中の移行係数にも適用できる可能性を示している。さらに葉菜類に対するセシウムの移行係数 (3.3E-4~7.7E-2、18データ) を整理し、幾何平均値5.5E-3を導出している。本評価では、この値を採用した。
15	保全作業時 (草刈り・伐採等) における遮へい係数		—	1.0	保守的な設定とした。

経路No.	名称		単位	選定値	選定根拠
15・1	土取場の環境回復後の保全作業（草刈り）に従事する年間作業時時間（草本類）		h/y	250	1回の草刈りの期間を10日、1日8時間、年3回として設定するものとした。草刈り作業者の年間作業時間は、250 h/yとした。
15・2	土取場の環境回復後の保全作業（伐採等）に従事する年間作業時時間（木本類）		h/y	1,000	1日8時間、年間250日の労働時間のうち半分の時間を伐採作業するものとした。
15・1	外部被ばくに対する線量換算係数（草刈り作業・跡地利用者）（草本類）	Cs-134	$\mu\text{Sv/h}$ per Bq/g	1.6E-02	以下の条件で、MCNP5コードにより算出した。 線源の形状：厚さ 4.7 m、幅 500 m、長さ 500 m の直方体（土壌） 線源のかさ密度：2.0 g/cm ³ 遮蔽体：厚さ 0.3 m、かさ密度 1.5 g/cm ³ （土壌） 評価点：図 3 の評価点・作業者
		Cs-137		5.5E-03	
15・2	外部被ばくに対する線量換算係数（保全作業・跡地利用者）（木本類）	Cs-134	$\mu\text{Sv/h}$ per Bq/g	1.4E-5	以下の条件で、MCNP5コードにより算出した。 線源の形状：厚さ 4 m、幅 500 m、長さ 500 m の直方体（土壌） 線源のかさ密度：2.0 g/cm ³ 遮蔽体：厚さ 1 m、かさ密度 1.5 g/cm ³ （土壌） 評価点：図 3 の評価点・作業者
		Cs-137		3.1E-6	

経路No.	名称		単位	選定値	選定根拠
15-2, 18-2, 19-2, 20-2, 22-2,	樹木、伐採木からの外部被ばくに対する線量換算係数 (保全作業・利用者・周辺居住者) (木本類)		$\mu\text{Sv/h}$ per Bq/g	別表2 参照	以下の条件で、MCNP5コードにより算出した。 線源の形状： (埋戻材) 厚さ4 m、幅500 m、長さ500 mの直方体（土壌） 線源のかさ密度：2.0 g/cm³ 遮蔽体：厚さ1 m、かさ密度1.5 g/cm³（土壌） (樹木) 樹木の高さからなる直方体の線源とし、別表1に示した各評価時期における樹木1本あたりの材積(m³/本)、高さ、1haあたりの樹木の本数（伐採による経時変化）、および樹木の密度（0.98 g/cm³）から、樹木中の単位濃度1 Bq/gに相当する直方体線源の総Bq数を設定した。直方体線源の材質は、保守的に遮へい効果が小さくなる空気とした。但し、保全作業者と利用者に対しては、保全作業者と利用者を中心とした20 m×20 mの範囲に対しては、樹木を線源として別途模擬した。この時、この範囲に植生する樹木の本数及び高さは、各評価年に対する1haあたりの本数、高さから設定した。 (伐採木・針葉樹林の場合) 林帯に密度0.98 g/cm³の伐採木が一樣に分布するものとした。伐採木の厚さは、別表1に示した各評価年に対する1haあたりの伐採木の材積から算出した。 (間伐木・広葉樹林の場合) 1haあたりの間伐木の幹材積は26 m³であることから、全材積は1.5倍して39 m³であるとし、高さ0.39 cmを算出した。これが環境回復地の地面に均一に存在すると設定した。 (堆積有機物層) 除染の効果の実証実験（日本原子力研究開発機構：平成23年度 福島第一原子力発電所事故に係る福島県除染ガイドライン作成調査業務 報告書（2012））(26)より、約3 cmの腐葉土等の除去を行っていることから、堆積有機物層の厚さは3 cmとし、環境回復地林床に均一に存在すると設定した。また、密度については枯死木の分解による材密度関係式（酒井佳美 他：材密度変化による主要な針葉樹人工林における枯死木の分解速度推定. Jpn. J. For. Environment, 50(2), 153-165 (2008)) から経過年数15年の倒木と根株と25年の立枯木の材密度を算出した平均値である0.24 g/cm³を設定した。 評価点：図3の評価点・作業・利用者・居住者 なお、子どもの外部被ばく線量換算係数は成人の計算値を1.3倍した。
18,19	居住時の遮へい係数		—	0.2	IAEA-TECDOC-401から、居住時間の20%を戸外で過ごすとして仮定した。
18,19	年間居住時間		h/y	8,760	保守的に、1年間絶えず環境回復を行った土取場周辺に居住しているとした。
18-1, 19-1	埋戻材からの外部被ばくに対する線量換算係数（環境回復地周辺居住者）（草本類）	Cs-134	$\mu\text{Sv/h}$ per Bq/g	3.8E-03	以下の条件で、MCNP5コードにより算出した。 線源の形状：厚さ4.7 m、幅500 m、長さ500 mの直方体（土壌） 線源のかさ密度：2.0 g/cm ³ 遮蔽体：厚さ0.3 m、かさ密度1.5 g/cm ³ （土壌） 評価点：図3に示す評価点・居住者 なお、子どもの外部被ばく線量換算係数は成人の計算値を1.3倍した。
		Cs-137		1.4E-03	
20,22	環境回復地利用時の遮へい係数		—	1.0	保守的な設定とした。
20,22	環境回復地の年間利用時間		h/y	400	毎日1時間、年間で400時間とした。

経路No.	名称		単位	選定値	選定根拠
20-1, 22-1	埋戻材からの外部被ばくに対する線量換算係数（利用者） （草本類）	Cs-134	$\mu\text{Sv/h}$ per Bq/g	1.6E-02	以下の条件で、MCNP5コードにより算出した。 線源の形状：厚さ4.7 m、幅500 m、長さ500 mの直方体（土壌） 線源のかさ密度：2.0 g/cm ³ 遮蔽体：厚さ0.3 m、かさ密度1.5 g/cm ³ （土壌） 評価点：図3の評価点・利用者 なお、子どもの外部被ばく線量換算係数は成人の計算値を1.3倍した。
		Cs-137		5.5E-03	
20-2, 22-2	埋戻材からの外部被ばくに対する線量換算係数（利用者） （木本類）	Cs-134	$\mu\text{Sv/h}$ per Bq/g	1.4E-5	以下の条件で、MCNP5コードにより算出した。 線源の形状：厚さ4 m、幅500 m、長さ500 mの直方体（土壌） 線源のかさ密度：2.0 g/cm ³ 遮蔽体：厚さ1 m、かさ密度1.5 g/cm ³ （土壌） 評価点：図3の評価点・利用者 なお、子どもの外部被ばく線量換算係数は成人の計算値を1.3倍した。
		Cs-137		3.1E-6	
24~35	埋戻材の空隙率		—	0.25	再生資材の真密度（2.6~2.7 g/cm ³ ）と当該埋戻材のかさ密度（2.0 g/cm ³ ）から導出し、0.25とした。
24~35	Csの埋戻材の分配係数		mL/g	2.7E+02	IAEA TRS No.364（有機土壌、砂）
24~35	浸透水量		m/y	0.4	クリアランスレベル評価で使用している、日本の浸透水量の平均値である0.4とした。
24~35	Csの帯水層土壌の分配係数		mL/g	2.7E+02	IAEA TRS No.364（砂）
24~35	帯水層厚さ		m	3	IAEA-TECDOC-401に示された値を用いた。
24~35	地下水流速（ダルシー流速）		m/d	1	「新版地下水調査法」（山本 莊毅、(株)吉院書院、1983年）
24~35	帯水層空隙率		—	0.3	「水理公式集」（土木学会水理公式集改訂委員会、土木学会、1971年）
24~35	帯水層土壌密度		g/cm ³	2.6	「土質工学ハンドブック」（土質工学会編、1982年）
24~35	地下水流方向の分散長		m	0	保守的に選定した。
24~35	地下水流方向の分散係数		m ² /y	0	保守的に選定した。
24~35	環境回復した土取場（埋戻材）の上端から井戸までの距離		m	0	保守的に選定した。
24~35	井戸水の混合割合		—	0.33	「地下水ハンドブック」（地下水ハンドブック編集委員会編、(株)建設産業調査会、1979年）
24	人の年間飲料水摂取量（成人）		m ³ /y	0.61	ICRP Publ.23の標準人の値を参考に、1日の摂取量を1.65 Lとして算定した。
25	人の年間飲料水摂取量（子ども）		m ³ /y	0.1	IAEA Safety Reports Series No.44に示された値を用いた。
26~27	Csの農耕土壌の分配係数		mL/g	2.7E+02	IAEA TRS No.364（有機土壌）
26~27	農耕作業による年間作業時間		h/y	500	「日本の統計2009 年版」（総務庁統計局編、2009 年）に記載されている平成18年度の1戸当たりの平均経営耕地面積 248 a（水田率54.4%）、水稻10 a 当たりの労働時間29.2 時間、小麦10 a 当たりの労働時間5.6 時間を基に算出し、値に裕度を持って選定した。 $248 \times 0.544 \times 2.92 + 248 \times (1 - 0.544) \times 0.56 = 457 \text{ (h/y)}$

経路No.	名称		単位	選定値	選定根拠
26	外部被ばくに対する線量換算係数（農耕作業者：灌漑土壌からの外部被ばく）	Cs-134	$\mu\text{Sv/h}$ per Bq/g	4.7E-01	従来のクリアランスレベル評価で設定されている換算係数を設定した。 条件は以下の通りである。 線源の形状：高さ10 m、半径500 mの円柱 線源のかさ密度：2.0 g/cm ³ 以上の条件でQAD-CGGP2Rコードにより算出されている。
		Cs-137		1.7E-01	
26	農耕作業時の遮へい係数		—	1	保守的に遮へいを考慮しない。
27	農耕作業時の空气中ダスト濃度		g/m ³	5.0E-04	NUREG/CR-3585に示されたOPEN DUMP時及びIAEA-TECDOC-401に示された埋設処分場での埋め立て作業時における空气中ダスト濃度を採用した。
27	農耕作業者の呼吸量		m ³ /h	1.2	ICRP Publ.23で示されている標準人の労働（軽作業）時の呼吸量の数値20 L/minを算定した。
27	微粒子への放射性物質の濃縮係数（吸入摂取）		—	4	IAEA Safety Reports Series No.44に示された吸入可能な粒子の濃縮係数を使用した。
28~31	灌漑水量（畑、牧草地）		m ³ /m ² /y	1.2	「日本の農業用水」（農業水利研究会編、(株)地球社、1980年）に示された畑地に対する平均単位用水量4 mm/dと年間灌漑日数300日程度に基づいて選定した。
28~33	土壌水分飽和度（畑、牧草地）		—	0.2	JAEA原科研敷地内（砂層）における測定結果より選定した。
28~33	土壌実効表面密度		kg/m ²	240	U.S.NRC Regulatory Guide 1.109に示された値を用いた。
28~33	灌漑土壌真密度		g/cm ³	2.60	「土質工学ハンドブック」（土質工学会編、1982年）に示された砂の粒子密度を基に選定した。
28~33	実効土壌深さ		cm	15	U.S.NRC Regulatory Guide 1.109に示された値を用いた。
28~33	放射性核種の土壌残留係数		—	1	保守的に、全ての灌漑水中の放射性核種が土壌に残留するものとした。
28~33	灌漑土壌空隙率		—	0.3	「水理公式集」（土木学会水理公式集改訂委員会、土木学会、1971年）
28~31	灌漑水年間生育期間		d	60	「発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般公衆の線量評価について」に示された葉菜に関する栽培期間の値(60 d/y)を使用した。
28~31	農作物（葉菜、牧草）の栽培密度		kg/m ²	2.3	「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針」（原子力安全委員会、平成元年3月27日）
28~31	放射性核種の農作物（葉菜、牧草）表面への沈着割合		—	1	保守的に全ての放射性核種が、農作物表面へ沈着するものとした。
28~31	weathering効果による植物表面沈着放射性核種の除去係数		1/y	18.08	「発電用軽水型原子炉施設の安全評価における一般公衆の線量評価について」に基づき、weathering half-lifeを14日として計算した。
28,29	農作物の市場係数		—	1	自給自足を考慮して、最も保守的に選定した。
28,29	農作物の輸送時間		d	0	保守的に、生産された農作物を直ちに消費する人を評価対象とした。
28,29	灌漑水量（田）		m ³ /m ² /y	2.4	「日本の農業用水」（農業水利研究会、(株)地球社、1980年）に示された水田に対する平均単位用水量24mm/dと水田の年間湛水期間100日程度に基づいて選定した。
28,29	土壌水分飽和度（田）		—	1	田の土壌水分飽和度は、水田を想定しており、1と選定した。
28,29	Csの米への移行係数		Bq/g-wet per Bq/g	7.1E-02	IAEA TRS No.364（シリアル）
28,29	Csの葉菜、非葉菜、果実への移行係数		Bq/g-wet per Bq/g	5.7E-02	IAEA TRS No.364（ジャガイモ）
28	農作物の年間摂取量（成人）	米	kg/y	71	「平成8年版国民栄養の現状」（厚生省保健医療局健康増進栄養課監修、第一出版(株)、1996年）
		葉菜		12	
		非葉菜		45	
		果実		22	

経路No.	名称	単位	選定値	選定根拠
29	農作物の年間 摂取量（子ども）	米	25	「平成9年版国民栄養の現状」（厚生省保健医療局健康増進栄養課監修、第一出版(株)、1997年）
		葉菜	5	
		非葉菜	23	
		果実	22	
30～33	Csの畜産物への移行係数	牛肉	5.0E-02	IAEA TRS No.364 に示された値を用いた。
		豚肉	2.4E-01	
		鶏肉	1.0E+01	
		鶏卵	4.0E-01	
		牛乳	7.9E-03	
30～33	畜産物の市場係数	—	1	自給自足を考慮して、最も保守的に選定した。
30～33	畜産物の輸送時間	d	0	保守的に、生産された畜産物を直ちに消費する人を評価対象とした。
30,31	放射性核種を含む飼料の混合割合	—	1	保守的に、放射性核種を含む飼料のみで家畜を飼育するとした。
30,31	Csの飼料への移行係数	Bq/g-dry per Bq/g	5.3E-01	IAEA TRS No.364（牧草）
30,31	家畜の飼料摂取量	肉牛	7.2	IAEA-TRS-No.364 において示された値を使用した。
		乳牛	16.1	
		豚	2.4	
		鶏	0.07	
30,32	畜産物の年間 摂取量（成人）	牛肉	8	「平成8年版国民栄養の現状」（厚生省保健医療局健康増進栄養課監修、第一出版(株)、1996年）
		豚肉	9	
		鶏肉	7	
		鶏卵	16	
		牛乳	44	
31,33	畜産物の年間 摂取量（子ども）	牛肉	3	「平成9年版国民栄養の現状」（厚生省保健医療局健康増進栄養課監修、第一出版(株)、1997年）
		豚肉	4	
		鶏肉	5	
		鶏卵	10	
		牛乳	29	
32,33	家畜の飼育水 摂取量	肉牛	50	PNL-3209 に示された値を用いた。
		乳牛	60	
		豚	10	
		鶏	0.3	
34,35	養殖淡水産物の地下水利 用率	—	0.25	「日本の水資源（平成19年版）」（国土庁長官官房水資源部編、大蔵省印刷局、2008年）より選定した。
34,35	Csの魚類への濃縮係数	L/kg	2.0E+03	IAEA TRS No.364 に示された値を用いた。
34,35	養殖淡水産物の市場係数	—	1	自給自足を考慮して、最も保守的に選定した。
34,35	養殖淡水産物の輸送時間	d	0	保守的に、養殖された淡水産物を直ちに消費する人を評価対象とした。
34	養殖淡水産物（魚類）の年 間摂取量（成人）	kg/y	0.7	「日本の統計1997年版」に記載されている平成6年の内水面養殖業の生産量の内、魚類の生産量の合計値76,579トンを入力1億2千万人で除して算出した。
35	養殖淡水産物（魚類）の年 間摂取量（子ども）	kg/y	0.33	全年齢の魚介類合計摂取量の平均値(96.9 g/日)と1・6歳の平均値(45.7 g/日)の比(0.47)を成人の年間摂取量0.7 kg/年に乗じた0.33 kg/年を算出した。

除去土壌再生利用実証事業 南相馬実証事業における環境モニタリングの結果

平成30年3月7日
環境省

目 次

1.南相馬市における盛土実証試験の概要

2.環境モニタリング結果について

2.1.周辺環境モニタリング結果

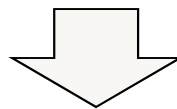
2.2.作業環境モニタリング結果

3.再生利用の手引き(仮称)への反映項目(管理項目)について

1.南相馬市における盛土実証試験の概要

【目的】

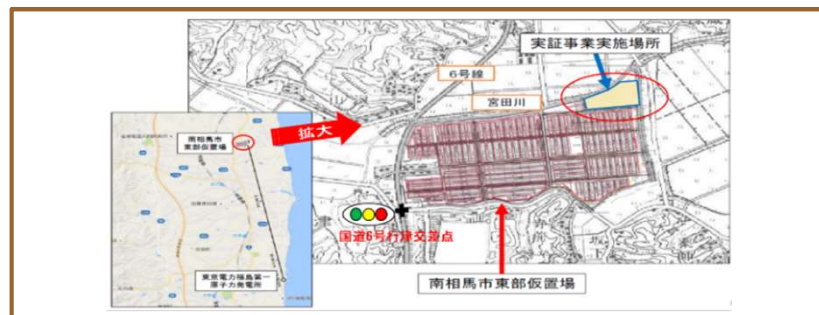
中間貯蔵開始後30年以内の県外での最終処分に向けて、再生資材化した除去土壌の安全な利用を段階的に進めるため、再生資材化を行う工程上の具体的な放射線に関する取扱方法及び土木資材としての品質を確保するためのあり方の検討を進めることを目的とする。



実証事業で得られた知見を「再生利用の手引き(仮称)」の作成等に活かす

【盛土実証試験概要】

- 業務名称:平成28年度除去土壌再生利用実証事業
- 発注者:環境省 福島地方環境事務所
- 受託者:除去土壌等減容化・再生利用技術研究組合
- 業務期間:平成28年12月2日～
- 実施場所:南相馬市小高区耳谷字南谷地120～129-3地内(東部仮置場内)
- 概要:
 - ・福島県南相馬市の仮置場内で、再生資源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、再生資源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(なお、盛土構造物はモニタリング終了後、撤去)



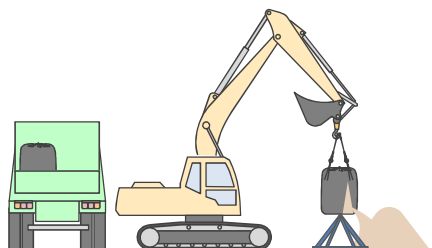
実証試験実施場所

1.南相馬市における盛土実証試験の概要

1. 再生資材化の実証(平成29年4月～)

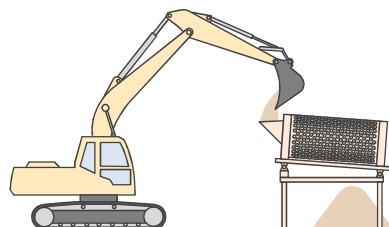
① 土のう袋の開封・ 大きい異物の除去

大型土のう袋を開封し、
大きな異物を分別・除去。



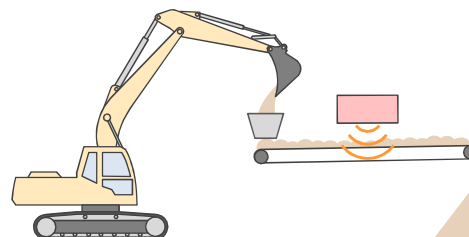
② 小さな異物の除去

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(平成29年5月～)

⑤ 試験盛土の施工・ 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。

空間線量率・
放射能濃度の確認

【再生資材部】

【新材部】

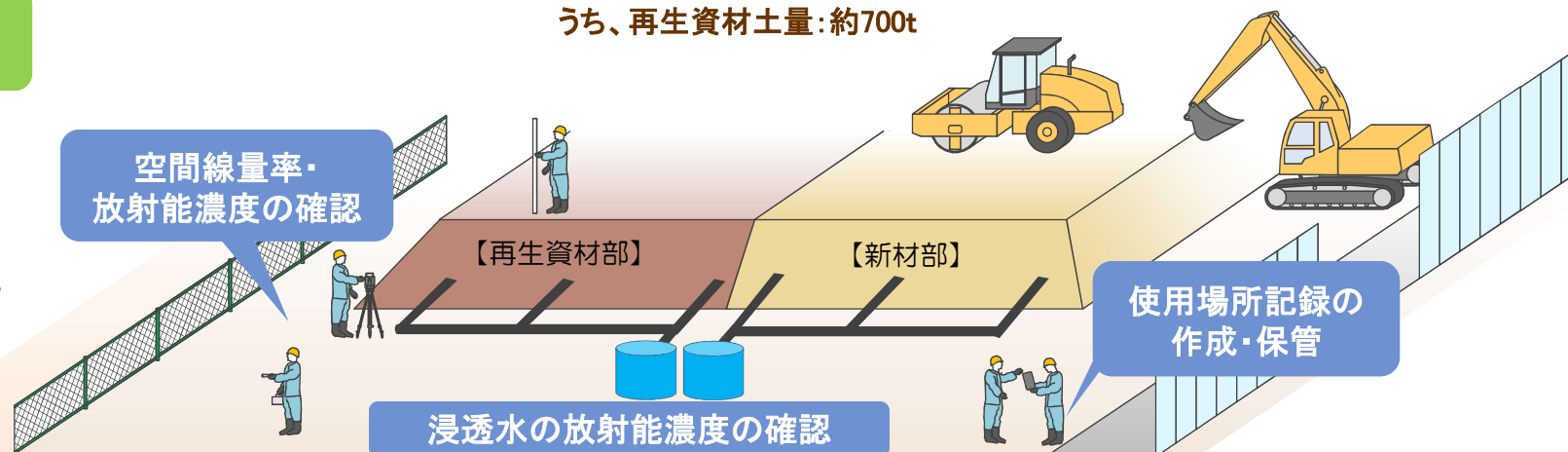
浸透水の放射能濃度の確認

使用場所記録の
作成・保管

・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



実証試験概要図

1.南相馬市における盛土実証試験の概要

実証事業工程 技術的確認項目			再生資材化処理 (前処理、品質調整)工程				試験盛土工程		評価内容 (手引きへ活用)
確認項目		確認方法	受入れ	破袋	分別処理	品質調整	造成中	造成後	
再生資材化試験	スクリーニング方法 (受入時)	- 表面線量測定 (タグ情報と比較) - 放射能濃度測定 (タグ情報と比較)	●	—	—	—	—	—	有効な受入時のスクリーニング方法
	スクリーニング方法 (分別・品質調整後)	放射能濃度連続測定	—	—	●	●	—	—	妥当性のある検査ロット、頻度、手法
	土木資材としての品質・適用性	- 土質試験 - 溶出試験(各種添加剤によるCs等溶出への影響)	—	● 土質	● 土質、溶出	● 土質、溶出	—	—	要求品質の確認方法
	設備等の処理性能	- 稼動状況の記録 (トラブル事例含む) - 添加剤投入前後の変化を目視	—	●	● 添加剤等性能	● 添加剤等濃度分別機性能	—	—	大規模化の際の必要事項等

 本WGにおける検討対象項目

1.南相馬市における盛土実証試験の概要

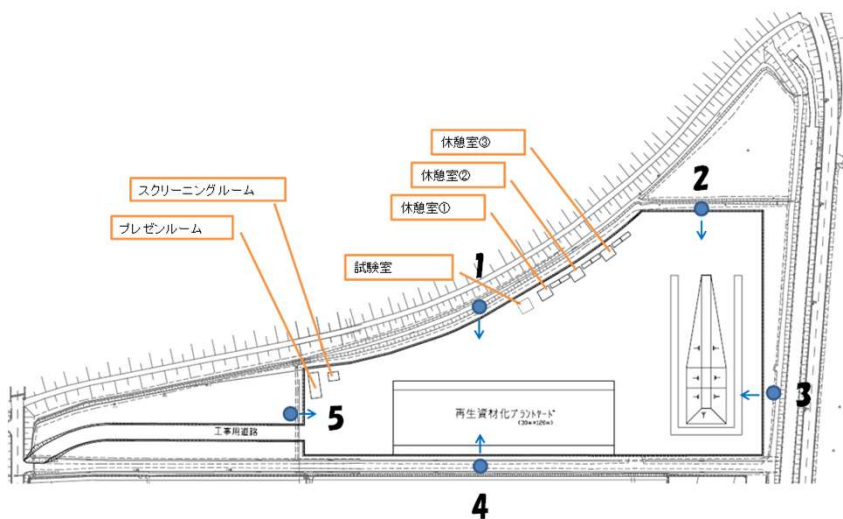
技術的確認項目		実証事業工程	再生資材化処理 (前処理、品質調整)工程				試験盛土工程		評価内容 (手引きへ活用)
確認項目		確認方法	受入れ	破袋	分別処理	品質調整	造成中	造成後	
	土質性状判断	・目視確認 (タグ情報と封入物) ・表面線量測定 (タグ情報と対比)	—	●	—	—	—	—	実測値とタグ情報の差異
試験盛土	再生資材のトレーサビリティ	・施工情報の記録	—	—	—	—	●	●	再生資材利用の記録・保存方法
	盛土の出来形	・造成計画・実績確認 ・目視確認 (形質変更有無) ・測量 (盛土安定性等)	—	—	—	—	●	●	施設管理方法
放射線管理	放射能収支	・放射能量測定	●	●	●	●	●	●	放射能収支
	作業上の放射線安全	・個人被ばく線量測定 ・作業場所の放射能濃度、雰囲気測定	●	●	●	●	●	●	作業者の安全性被ばく管理のあり方
	周辺環境の安全	・空間線量率測定 ・粉じん測定 ・浸出水等放射能濃度測定	●	●	●	●	●	●	再生利用の安全性

 本WGにおける検討対象項目

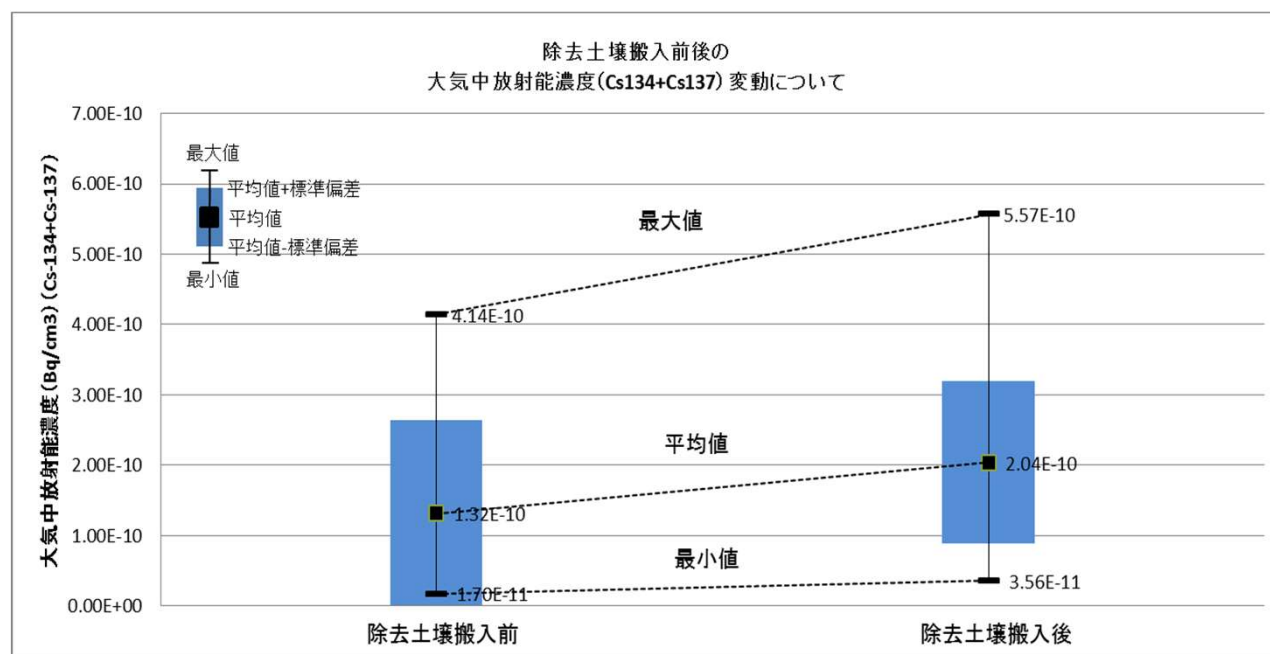
2.環境モニタリング結果について>2.1.周辺環境モニタリング結果

【周辺環境における大気中放射能濃度】

- ・ 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 $5\text{E}-11\text{Bq}/\text{cm}^3$ 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。
- ・ 大気中放射能濃度は除去土壌搬入・破袋開始前から大きくは変動していない。



大気中放射能濃度用ダスト採取位置及び吸引方向



除去土壌	Cs134濃度 (Bq/cm ³)	Cs137濃度 (Bq/cm ³)
搬入前 (H29年4月以前)	2.25E-11 ~ 4.70E-11	1.70E-11 ~ 3.67E-10
搬入後 (H29年4月以降)	2.80E-11 ~ 6.27E-11	3.56E-11 ~ 4.98E-10

大気中放射能濃度の測定結果

2.環境モニタリング結果について>2.1.周辺環境モニタリング結果

【実証試験結果】

保守的に盛土着工前の最小濃度と盛土着工中の最大濃度を再生資材寄与の上昇と考えた場合の内部被ばく線量計算結果を示す。

盛土着工前後の大気中放射能濃度の測定結果

	測定地点	Cs-134濃度	Cs-137 濃度
盛土着工前の最小濃度	測定地点1	ND (2.55E-12Bq/cm3※)	1.70E-11Bq/cm3
盛土着工中の最大濃度	測定地点5	5.90E-11Bq/cm3	4.98E-10Bq/cm3
着工前と着工中の差		5.65E-11Bq/cm3	4.81E-10Bq/cm3

【結論】

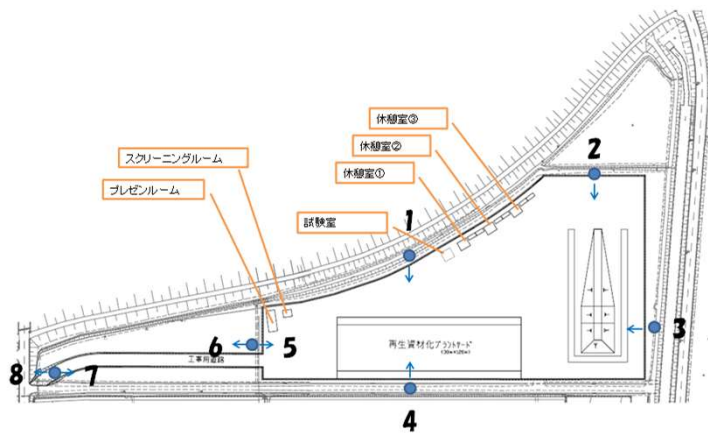
仮に盛土着工前の最小濃度と盛土着工中の最大濃度の差を再生資材寄与の上昇と考えた場合、作業員、成人及び子どもの吸入による内部被ばく線量は、 $10^{-3} \sim 10^{-2} \mu\text{Sv}/\text{年}$ オーダーとなり、施工中の作業員及び公衆被ばく限度となる $1\text{mSv}/\text{年}$ と比べ、十分低いと評価される。

※現時点の濃度比を $^{137}\text{Cs}:^{134}\text{Cs}=1:0.15$ (事故後6年)と仮定した場合、Cs-137濃度より算出

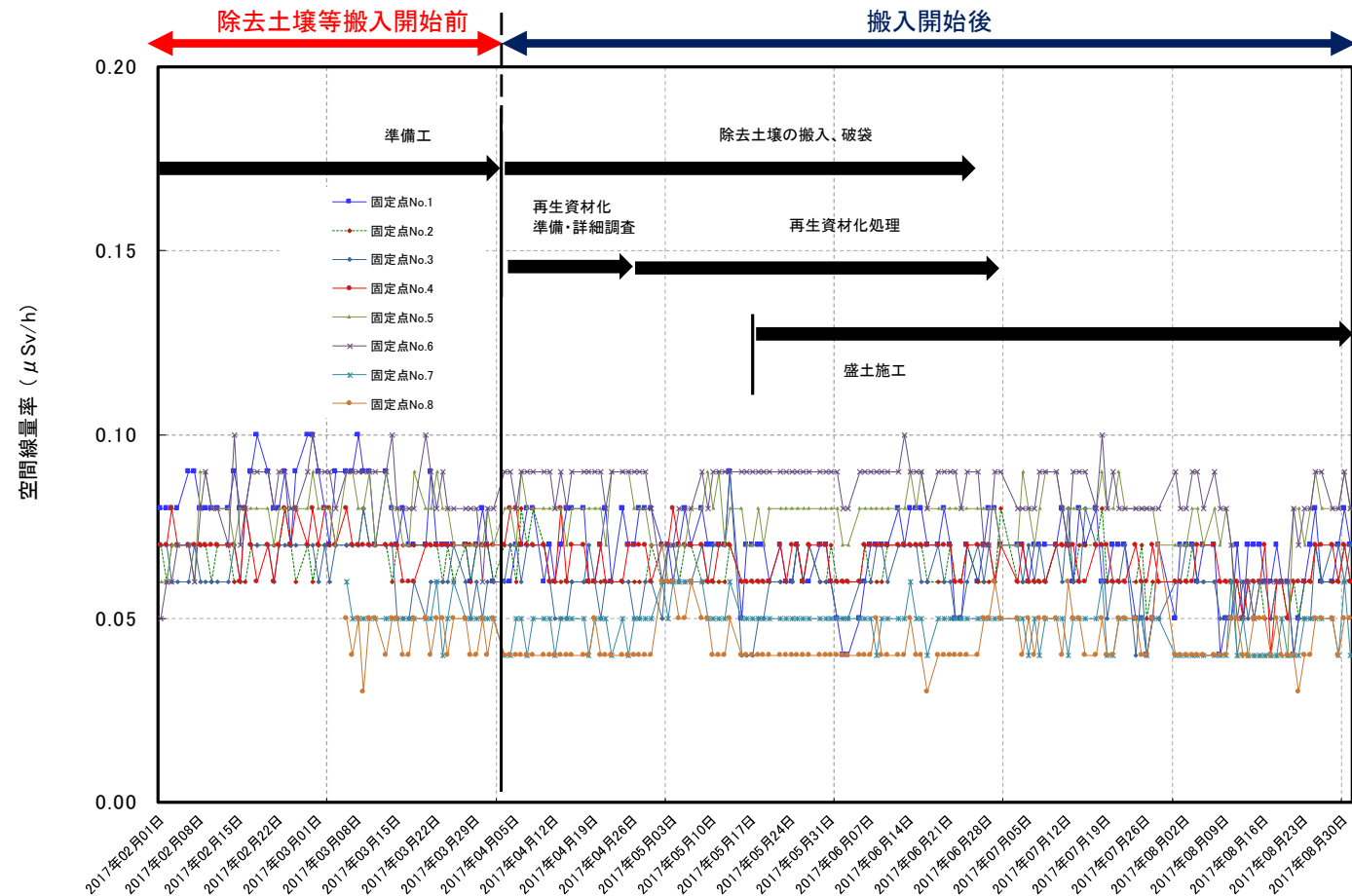
2.環境モニタリング結果について>2.1.周辺環境モニタリング結果

【空間線量率】

- NaIシンチサーベイメータにより、6地点(のべ8方向)での測定を実施。
- 除去土壌搬入・破袋開始前から、空間線量率は概ね0.04～0.09 $\mu\text{Sv/h}$ 程度であり、大きくは変動していない。



空間線量率の測定位置及び測定方向



空間線量率の測定結果

2.環境モニタリング結果について>2.1.周辺環境モニタリング結果

【敷地排水中放射能濃度】

- 降雨等により発生した水等の排水を処理するため、排水処理設備を設置。
- 凝縮沈殿処理、pH調整及び砂ろ過を実施後、南相馬市関連の排水基準に従い、公共水域へ放流。



計測管理項目	単位	管理値	計測機器・方法	備考
1 放射能濃度 (セシウム 134)	Bq/L	60 以下	Ge 半導体検出器 (月 1 回以上)、NaI シンチレーション検出器内臓 γ 線放射線モニタ (放流の都度)	環境省発行「第五部 放射能濃度測定方法ガイドライン」平成 25 年 3 月第 2 版第 5 章に準じる。 セシウム 134 及びセシウム 137 の合計割合 (Cs134/60+ Cs137/90) が3か月の平均で1以下となるよう管理する
放射能濃度 (セシウム 137)	Bq/L	90 以下*		
2 水素イオン濃度 (pH)	—	5.8～8.6	ガラス電極法	ポータブル pH 計を使用 南相馬市排水基準を準用
3 浮遊物質 (SS 量)	mg/L	50 以下	90 度散乱光測定方式による濁度測定より換算	ポータブル濁度計を使用 南相馬市排水基準を準用

2.環境モニタリング結果について>2.1.周辺環境モニタリング結果

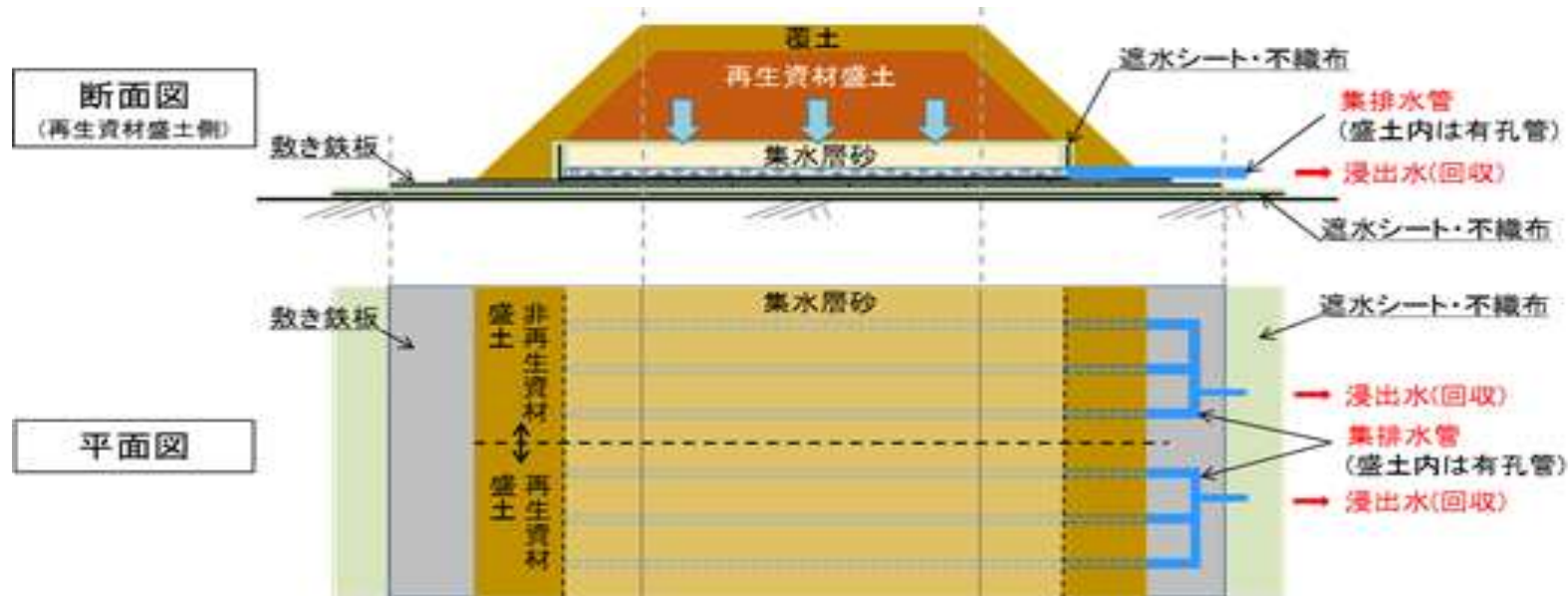
【敷地排水中放射能濃度】

項目		4月					5月				
		7日	14日	19日	26日	28日	13日	15日	16日	25日	30日
放射能濃度(Bq/L)		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	検出下限値	4.97	5.44	5.55	5.3	5.43	6.76	7.13	6.62	8.47	5.63
水素イオン濃度(pH)		7.69	7.94	7.99	7.85	8.02	7.83	8.56	8.28	7.45	7.29
浮遊物重量(SS量)		10.2	8.7	4.6	0.7	3.0	1.6	5.5	4.9	4.4	1.3

項目		6月									
		1日	2日	7日	12日	14日	19日	20日	22日	23日	28日
放射能濃度(Bq/L)		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	検出下限値	5.57	5.93	5.46	5.5	5.5	5.5	5.57	5.36	5.36	5.63
水素イオン濃度(pH)		7.66	8.15	7.56	7.7	7.66	7.86	8.38	8.26	7.92	7.59
浮遊物重量(SS量)		7.0	17.9	0.2	0.0	7.4	7.9	11.4	11.4	13.3	3.7

項目		7月										8月				
		3日	4日	5日	18日	19日	24日	25日	26日	28日	31日	2日	8日	9日	21日	31日
放射能濃度(Bq/L)		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	検出下限値	5.53	5.32	5.53	5.99	5.46	5.77	5.57	5.54	5.39	4.48	5.48	5.79	6.48	5.92	5.86
水素イオン濃度(pH)		7.46	7.18	7.29	7.74	7.53	7.67	7.52	7.47	8.04	7.64	7.17	7.51	7.30	7.70	7.70
浮遊物重量(SS量)		6.8	8.9	14.3	5.7	4.7	3.6	3.7	4.4	0.8	4.4	0.4	6.8	10.5	4.9	1.0

2.環境モニタリング結果について>2.1.周辺環境モニタリング結果



盛土浸透水中Cs濃度のモニタリングの体系

【盛土中再生資材のCs濃度】

- ・平均771Bq/kg

【盛土浸透水の集水方法】

- ・ 浸透水集水設備により、試験盛土の内部を浸透する雨水等を、再生資材部分と新材部分に分けて盛土底部で集水
- ・ 集水層に溜まった浸透水を、ポンプを用いてタンクに集水・採取

【浸透水の放射能濃度(概要)】

- ・ 浸透水の放射能濃度の測定結果は、浸透水の採取を開始した平成29年5月15日から、すべて検出下限値未満
- ・ 今回の検出下限値は通常的环境放出管理値よりも高精度の測定を行った結果、以下のとおりであった。

Cs-134 : 0.110Bq/L

Cs-137 : 0.143Bq/L

- ・ 再生資材を利用した盛土の浸透水中に含まれる放射性物質の濃度が、検出下限値未満であることを確認した。

2.環境モニタリング結果について>2.2.作業環境モニタリング結果

【盛土施工に係る作業者及び建設現場周辺居住に係る外部被ばく線量換算係数評価結果】

基本的考え方に示す再生利用可能濃度限度を遵守することで、施工中の追加被ばく線量を1mSv/年以下に抑えられることを確認

外部被ばく線量換算係数に係る実証試験結果と計算評価の比較結果【暫定】

実証試験における確認項目	単位	実証試験結果	計算評価結果			実証/計算
			評価体系		計算結果	
盛土施工作業に係る外部被ばく線量換算係数	Cs-134 $\mu\text{Sv/h per Bq/g}$	3.41E-01※1	安全評価体系	線源形状:高さ5m、底面25.8m×500m、上面10.8m×500m 線源のかさ密度:2.0g/cm ³ 評価点:上面中点から高さ1m	4.05E-01※2	0.84
			実証体系	線源形状:高さ1.5m、底面16.7m×11m、上面12.2m×11m 線源のかさ密度:1.964g/cm ³ 評価点:上面中点から高さ1m	3.70E-01※3	0.92
	Cs-137 $\mu\text{Sv/h per Bq/g}$	1.26E-01※1	安全評価体系	線源体系等は、上記の安全評価体系と同じ 評価点:上面中点から高さ1m	1.45E-01※2	0.87
			実証体系	線源体系等は、上記の実証体系と同じ 評価点:上面中点から高さ1m	1.33E-01※3	0.95
保護作業に係る外部被ばく線量換算係数	Cs-134 $\mu\text{Sv/h per Bq/g}$	2.16E-01※1	安全評価体系	線源体系等は、上記の安全評価体系と同じ 評価点:法面中央から高さ1m	3.94E-01※2	0.55
			実証体系	線源体系等は、上記の実証体系と同じ 評価点:法面中央から高さ1m	2.86E-01※3	0.76
	Cs-137 $\mu\text{Sv/h per Bq/g}$	7.99E-02※1	安全評価体系	線源体系等は、上記の安全評価体系と同じ 評価点:法面中央から高さ1m	1.41E-01※2	0.57
			実証体系	線源体系等は、上記の実証体系と同じ 評価点:法面中央から高さ1m	1.03E-01※3	0.78
建設現場周辺居住に係る外部被ばく線量換算係数	Cs-134 $\mu\text{Sv/h per Bq/g}$	3.53E-02※1	安全評価体系	線源体系等は、上記の安全評価体系と同じ 評価点:底面500mの辺の中点から1m、高さ1m	1.74E-01※2	0.20
			実証体系	線源体系等は、上記の実証体系と同じ 評価点:底面11mの辺の中点から1m、高さ1m	1.19E-01※3	0.30
	Cs-137 $\mu\text{Sv/h per Bq/g}$	1.31E-02※1	安全評価体系	線源体系等は、上記の安全評価体系と同じ 評価点:底面500mの辺の中点から1m、高さ1m	6.17E-02※2	0.21
			実証体系	線源体系等は、上記の実証体系と同じ 評価点:底面11mの辺の中点から1m、高さ1m	4.27E-02※3	0.31

※1:実証試験結果は、1cm線量当量により測定・評価

※2:安全評価は、実効線量により実施(MCNP5により計算)

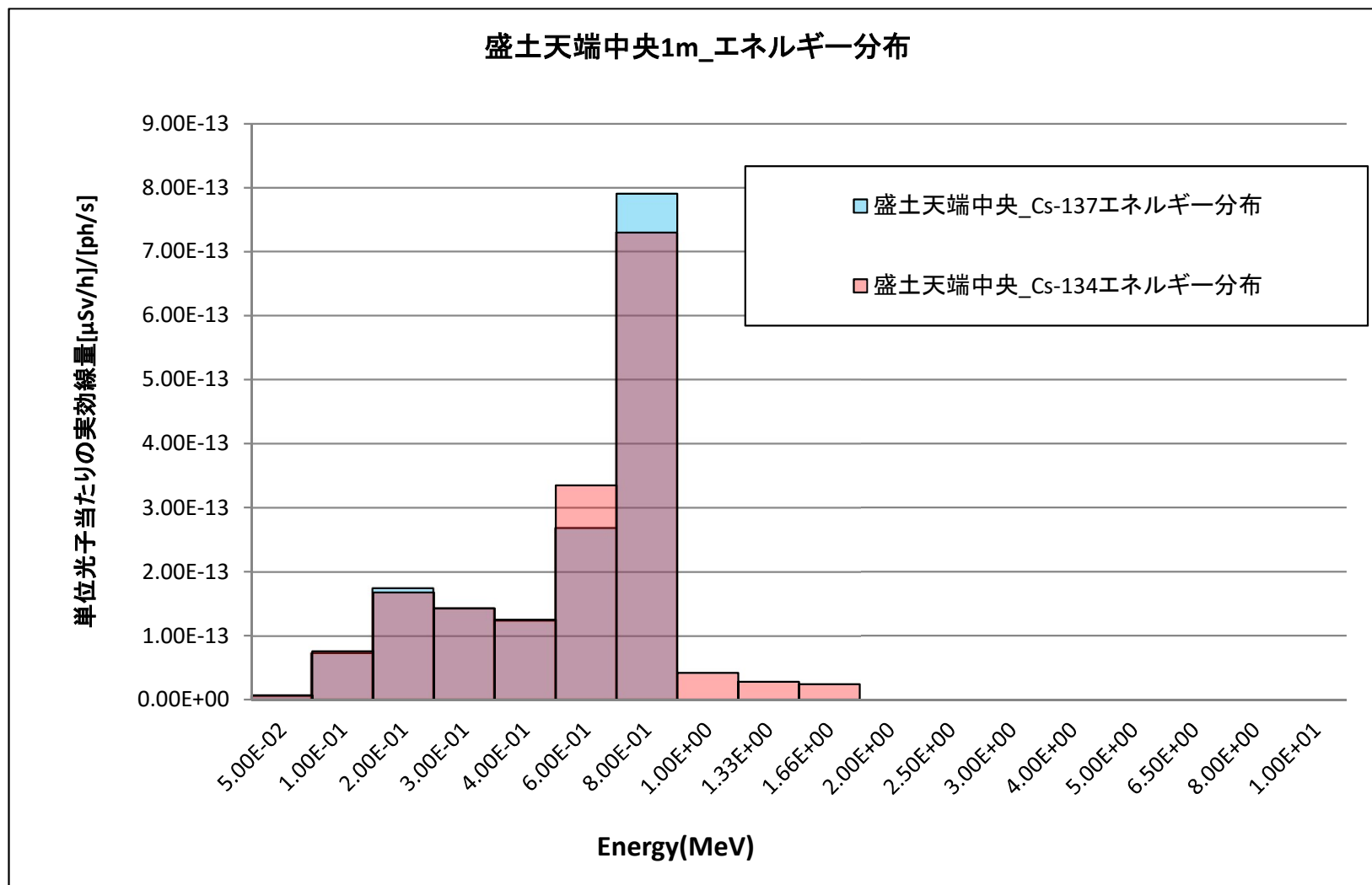
実証試験結果との比較のため上表では既往の安全評価結果に

エネルギー分布に応じたAP照射(前方照射)条件又はISO照射(等方照射)条件による換算係数を乗じ、1cm線量当量による外部被ばく線量換算係数に換算し、比較した。次頁参照。

※3:実証体系での計算評価は、1cm線量当量により実施

2.環境モニタリング結果について>2.2.作業環境モニタリング結果

MCNP5による計算評価結果



2.環境モニタリング結果について>2.2.作業環境モニタリング結果

【盛土施工に係る作業員及び建設現場周辺居住に係る外部被ばく線量評価結果】

既往の安全評価結果に基づく外部被ばく線量と実測に基づく外部被ばく線量の比較結果

実証試験における確認項目	外部被ばく線量(mSv) (1cm線量当量)	外部被ばく線量(mSv) (実効線量)
実測値に基づく外部被ばく線量換算係数より 計算した盛土施工作業員の外部被ばく線量 年間作業時間:1,000時間 濃度比:Cs-134:Cs-137=0.14:1 (平成29年5月1日時点) Cs-134+Cs-137放射能濃度:6,000Bq/kg	約8.7E-01	約7.4E-01
安全評価結果に基づく盛土施工作業員の外 部被ばく線量 年間作業時間:1000時間 濃度比:Cs-134:Cs-137=0.14:1 (平成29年5月1日時点) Cs-134+Cs-137放射能濃度:6,000Bq/kg	約9.9E-01	約8.4E-01

【確認結果】

基本的考え方に示される放射能濃度制限値を遵守することで、盛土施工中の外部被ばく線量を年間1mSV以下に抑えられることを確認

2.環境モニタリング結果について>2.2.作業環境モニタリング結果

【盛土施工に係る作業者の外部被ばく線量_実測値について(暫定)】

以下の表の被ばく線量は、自然由来の放射線による外部被ばく線量を含む

5月 場内整備・盛土業務被ばく線量(自然由来含む)

6月 場内整備・盛土業務被ばく線量(自然由来含む)

順位	No.	被ばく線量μSv
1	作業員C	13.9
2	作業員F	13.7
3	作業員G	13.7
4	作業員H	13.6
5	作業員I	13.6

順位	No.	被ばく線量μSv
1	作業員Q	16.1
2	作業員R	15.7
3	作業員F	15.5
4	作業員G	15.2
5	作業員I	15.1

【参考】日本国内における年間の自然放射線

種別	被ばく線量	被ばくの種類
宇宙線から	0.30mSv	外部被ばく
大地から	0.33mSv	外部被ばく
空気中ラドンから	0.48mSv	内部被ばく
食物から	0.99mSv	内部被ばく
合計	2.10mSv	—

- 自然放射線による被ばくのうち外部被ばく分は年間0.63mSv
- 典型的な作業時間を1日8時間とすると1日あたり0.575μSv
- これを差し引いたものが再生資材中のCsからの追加被ばく線量

2.環境モニタリング結果について>2.2.作業環境モニタリング結果

- 以下の表は、自然由来の放射線からの外部被ばく線量を差し引いた被ばく線量及び安全評価によりシミュレーション計算から算出した外部被ばく線量との比較結果である。
- 5月、6月の作業日数はそれぞれ21日間、26日間である。
- 計算による被ばく線量評価は、以下の条件で行った。
 - ・盛土土壌の放射能濃度：771Bq/kg(盛土サンプリング測定結果の平均値)
 - ・Cs-134：Cs-137の存在比は、0.14:1(盛土施工時の存在比)
 - ・外部被ばく線量換算係数は、
Cs-134：0.405[μSv/h per Bq/g]
Cs-137：0.145[μSv/h per Bq/g]

5月 場内整備・盛土業務被ばく線量

順位	No.	被ばく線量μSv	計算値	実測/計算値
1	作業員C	1.82	11.4	<u>0.16</u>
2	作業員F	1.62		
3	作業員G	1.62		
4	作業員H	1.52		
5	作業員I	1.52		

6月 場内整備・盛土業務被ばく線量

順位	No.	被ばく線量μSv	計算値	実測/計算値
1	作業員Q	1.14	14.0	<u>0.08</u>
2	作業員R	0.74		
3	作業員F	0.54		
4	作業員G	0.24		
5	作業員I	0.14		

以上の結果から、安全評価における被ばく線量評価結果は、充分保守的であると考えられる。

3.再生利用の手引き(仮称)への反映項目(管理項目)について

管理項目(案)

管理目的	管理要件	安全の観点			管理項目案
		出荷	施工	供用	
使用の限定	保管場所・使用場所・持ち出し管理	—	○	—	・使用場所は、人為的形質変更がなされるおそれのない場所とする。
		—	○	—	・地域の周辺地形、地質、気象、その他状況を勘案し、破損の可能性が高いと考えられる場所は避ける。
		○	○	○	・再生資材の保管場所、使用場所、持ち出しを管理するとともに記録を作成・保管する。
追加被ばくの制限	放射能濃度管理	○	×	×	・線量評価に基づき、用途別に設定した放射能濃度を出荷時に確認し、安全を担保する。
	遮へい管理	—	○	—	(施工) ・出来形検査により、設定した遮へい厚以上であることを確認する。
		—	—	○	(供用) ・土工構造物の巡視等により、遮へい厚が損なわれるような異常がないことを確認する。
	空間線量率等の測定	○	×	×	・出荷側においては、取扱う原料土等の放射能濃度により電離則に基づく被ばく管理が必要であるため、空間線量率等の測定を行う。
	飛散、流出管理	○	○	—	・飛散、流出管理については、保管基準(現場保管等)に準拠し、管理する。
	溶出量管理	検討中	検討中	検討中	・Cs溶出量の管理 ※溶出が懸念される条件について要精査
	浸透水管理	—	×	×	・周辺地下水中Cs濃度の測定

再生資材製造時等の作業環境においては、電離則、労働安全衛生法等、関係法令を遵守し、必要な管理を行う。