

## 土地造成事業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

本資料は、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（第 6 回）（平成 29 年 3 月 27 日）資料 2「追加被ばく線量評価について（土地造成）」及び参考資料 1「追加被ばく線量評価について（土地造成）」の算出評価資料である。

土地造成のために再生資材を利用した場合における作業員や周辺住民が受ける被ばく線量を評価するため、評価経路、パラメータを設定し、再生資材に含まれる Cs-134、Cs-137、全 Cs（=Cs-134+Cs-137）について、単位濃度（1 Bq/g）あたりの年間被ばく線量を計算した。

土地造成とは、陸上の山野や河川、湖沼や海域の一部に土木工事を施して新たに土地を作ることをさす。

なお、同種の行為には廃棄物を処分するために行われるものもあるが、これは最終処分場の土木構造物に対し既に評価されているため、ここでは対象外とした。また、造成の方法には、埋立てや干拓、斜面地での盛土切土等が存在するが、本件では再生資材の利用が考えられる埋立てによる造成を評価の対象とした。埋立てによる造成には、水面に資材を投入して陸地を造成する場合と、窪地等を埋戻して造成する場合があるが、前者については今後検討予定の水面埋立てで別途評価するためここでは対象外とした。

造成した土地（造成地）には、農地、住宅地、工業用地、空港用地、緑地などの用途がある。これらの用途のうち、管理主体や責任体制が明確で人為的な形質変更が発生しにくく、多量の土砂の利用が想定される再生資材での埋戻しを考え、「土取場の埋戻し・緑地化（環境回復）」を評価対象とした。なお、土取場とは、他事業所で使用するため、または売買等のために土を採取する場所のことをさし、また環境回復は、ここでは土地の埋戻し及び緑地化をさすものとする。

土取場に対しては、多くの地方自治体の条例で、土採取後に復元または土地の整備を行うことを定めている。土採取には平地を掘削して行う場合（床掘り）と斜面を掘削して行う場合（切土）があるが、切土の場合は整地のみで埋戻し等を行わないことが多く、再生資材が使用されないことから評価の対象外とし、床掘りにおける土取場の環境回復のための埋戻材として再生資材を使用することを想定した。また、跡地に対し草本類（芝生など）または木本類（樹木など）を植栽し、緑地として利用することを想定した。

被ばく線量評価にあたっては、各作業工程や施設利用の情報、既往の評価の際の設定を参照して現実的なシナリオやパラメータを設定し、不確実性の大きいパラメータは安全側に立った値を設定した。

線量評価には、クリアランスレベル評価コード PASCLR2 コード<sup>(1)</sup>を用いた。当該コードは、原子炉施設やウラン取扱施設等を対象に、クリアランス後の産業廃棄物としての埋設処分と再生材としての利用のシナリオに関する作業者と公衆の被ばく経路を網羅した線量評価が可能なコードであり、炉規法等のクリアランスレベル、特措法における濃度規準等を評価した実績を有する。また、当該評価に用いる外部被ばく線量換算係数は、原子力施設等の遮へい計算で実績のある QAD-CGGP2R コード<sup>(2)</sup>または MCNP5 コード<sup>(3)</sup>を使用して算出した。

また、再生資材の土取場の環境回復への利用に伴う被ばくは、施工時の被ばくと供用時の被ばく、災害時の被ばくに分けて整理した。

## 1. 施工時と供用時の被ばく評価

### (1) 評価経路

#### ●施工時の被ばく

土取場の環境回復時における主な作業工程、および、国土交通省の標準歩掛り<sup>(4)</sup>に基づく各工程の主な作業形態を表 1 に示す。

表 1 土取場の環境回復施工の主な作業工程

作業工程		作業形態
土取場の環境回復の施工	埋戻材の積み下ろし	重機
	建設現場への埋戻材の運搬	重機
	埋戻材の敷均し・締固め	重機・人力
	覆土の施工	重機・人力
	建設機械の洗浄	人力
植栽	草木の植付	人力

次に、表 1 に示した作業工程を踏まえ、環境回復のための施工時の作業者及び一般公衆に対する被ばく経路の選定を行った。なお、除染等により発生した除去土壌は、減容処理施設で減容処理が行われ、その一部が再生資材として利用されることを想定している。

#### ・埋戻材の積み下ろし

減容処理により生成した再生資材は減容処理施設等で仮置きされた後、トラック等で造成地まで運搬されることを想定した。この再生資材のトラックへの積み下ろし作業における作業者の被ばくを評価した。

なお、土地造成に用いる埋戻材を造成地まで運搬するトラック等へ積み下ろす作業は、バックホウ等の重機を用いて行うものとし、作業者は重機の内部にいる想定で外部被ばくを評価した。

・ 建設現場への埋戻材の運搬

減容処理施設等の仮置き場から土地造成地まではトラックで運搬されることを想定し、再生資材を運搬する運搬業者およびトラックが通行する道路周辺の居住者の被ばくを評価した。

なお、運搬業者はトラックの内部に、周辺居住者は住居の外部にいる想定で外部被ばくを評価した。

・ 埋戻材の敷均し・締固め

床掘りが再生資材により埋戻され、埋戻材の中央で敷均し・締固めが行われることを想定し、埋戻し作業を行う作業員および施工地の周辺居住者における被ばくを評価した。なお、覆土の施工は、埋戻しが終了するまでされないものとした。

造成地における埋戻材の敷均し・締固めは、タンパ等を用いて人力で、またはブルドーザー等の重機で行われるが、ここでは保守的に人力で行う想定とし、外部被ばくを評価した。

・ 覆土の施工

植物の生育を促すため、埋戻材の上を植生基盤となる客土で覆土することを想定し、この覆土を行う作業員の被ばくを想定した。

なお、植生基盤となる客土による覆土の施工は、タンパ等を用いて人力で、またはバックホウ等の重機で行われるが、ここでは人力で行う想定とした。

ただし、覆土は埋戻材の敷均し・締固めと同じく、埋戻材表面で施工されるが、この時には施工された覆土による遮へいが想定される。

よって、本評価では代表的に「埋戻材の敷均し・締固め」作業員を評価するものとし、覆土の施工を評価対象から除外した。

・ 建設機械の洗浄

使用された機械は造成地外への土砂拡散防止のために造成地入口等で洗浄されることが想定された。この洗浄により土砂に含まれる核種が排水とともに地面へ浸透し、帯水層まで到達して地下水が汚染され、この地下水の利用による被ばくが想定された。

しかし、地下水利用による被ばくについては、供用時の評価において線源（埋戻材）に対する年間を通した地下水への核種移行を想定しており、これは建設機械の洗浄によるものよりもはるかに大きいと考えられる。よって、地下水移行については造成地への雨水浸透で代表して評価するものとし、建設機械の洗浄を評価対象から除外した。

#### ・ 草木の植付

環境回復を目的として埋戻材の上に覆土した植生基盤に植栽が行われることを想定し、この時の植栽作業者の被ばくを評価した。植栽作業は、草本類の場合は吹付工等が、木本類の場合は植樹がすべて人力で行われるとした。草本類と木本類では必要とされる客土の厚さが異なることから、国土交通省都市局公園緑地・景観課の植栽基盤の整備手順(案)<sup>6)</sup>等を参考に、最も保守的となるよう、草本類の客土の厚さを 0.3m、木本類の客土の厚さを 1.0 m とした 2 つの場合に分けて評価した。

①草本植栽（客土の厚さ：0.3 m）

②木本植栽（客土の厚さ：1.0 m）

なお、木本植栽については、定期的な伐採の有無など管理状況等が大きく異なることが想定されるため、針葉樹と広葉樹に場合分けをし、さらに広葉樹については、植栽 49 年目に間伐を行った場合と行わなかった場合（無間伐）に分けて評価するものとした。詳細は供用時の項に記載する。

① 針葉樹

② 広葉樹（間伐）

③ 広葉樹（無間伐）

#### ● 供用時の被ばく

土取場の環境回復後の被ばくとして、周辺居住者、利用者および保全作業者の被ばくを想定した。なお、緑地化した環境回復地の利用については、草本植栽の場合はスポーツ等、木本植栽の場合は森林浴等の散策に利用することを想定した。また、雨水浸透による地下水移行についても評価した。ここでは、埋戻材から帯水層への放射性セシウムの移行による被ばく経路として井戸水の利用を設定した。

設定した評価経路を表 2 に示す。

表2 再生資材の土地造成への利用に係る評価経路（1 / 3）

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		
2					粉塵吸入		
3					直接経口		
4		運搬作業		作業者	外部		
5		運搬経路 周辺居住		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		
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)	草本の植付	埋戻材	作業者	外部		
14-2		木本の植付		作業者	外部		
15-1	土取場の環境 回復後 (草本または 木本植栽)		埋戻材	作業者	外部		
15-2				保全作業 (草刈、伐 採作業等)	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				
18-1		周辺居住 (草本植栽)	埋戻材	公衆 (成人)	外部		
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	針葉樹または 広葉樹を対象 とし、経年変化 を評価する。	
19-1		周辺居住 (草本植栽)	埋戻材	公衆 (子ども)	外部		

表2 再生資材の土地造成への利用に係る評価経路（2／3）

No	評価対象	線源	対象者	被ばく形態	備考	
19-2	土取場の環境回復後 (草本または木本植栽)	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	針葉樹または広葉樹を対象とし、経年変化を評価する。
20-1		環境回復地利用 (草本植栽)	埋戻材	公衆 (成人)	外部	
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	針葉樹または広葉樹を対象とし、経年変化を評価する。
21-2			樹木等由来の粉塵		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	
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	針葉樹または広葉樹を対象とし、経年変化を評価する。
23-2			樹木等由来の粉塵		吸入	
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
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	

表 2 再生資材の土地造成への利用に係る評価経路（3 / 3）

No	評価対象		線源	対象者	被ばく形態	備考
32	土取場の環境 回復後の 地下水移行 (井戸水利用)	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	

※ 経路 No.14～23 の経路番号は、草本植栽とした経路は○-1、木本植栽とした経路は○-2 とした。

※ 経路 No.15-2、18-2、19-2、20-2、22-2 は、針葉樹については植栽直後（0年・植栽後）、植栽後2年、および7年、12年、17年、22年、27年、32年、37年、42年、47年の伐採前・後における保全作業者と周辺居住者、利用者の外部被ばく線量を評価した。広葉樹については植栽後49年目（林齢50年）に間伐を行った場合と無間伐の場合について、植栽直後（0年・植栽後）、植栽後2年、および植栽後9年目から10年ごとに79年目までにおける保全作業者と周辺居住者、利用者の外部被ばく線量を評価した。

・保全作業・周辺居住・環境回復地利用

施工時の草木の植付に記載した通り、環境回復後はスポーツや散策等の利用を想定している。草本植栽と木本植栽では客土の厚さが異なることから2つの場合に分けて評価を行うものとした。

また、木本植栽については、針葉樹を植えた場合と広葉樹を植えた場合に分け、さらに広葉樹を植えた場合については、植栽49年目に間伐を行った場合と行わなかった場合（無間伐）に分けて評価するものとした。

- ① 針葉樹
- ② 広葉樹（間伐）
- ③ 広葉樹（無間伐）

以上のように緑地化の方法の違いを解析ケースとして整理すると、表3に示す4ケースとなる。

表3 解析ケース

ケース No.	緑地化方法	木本類の種類	植栽の保全方法
1	草本類	—	草刈※1
2	木本類	針葉樹	伐採※2・管理道保全
3	木本類	広葉樹	間伐※3・管理道保全
4	木本類	広葉樹	管理道保全（無間伐）

※1 年3回の草刈りを行うものとした。

※2 5年毎の伐採を行うものとした。

※3 49年目に1度のみ間伐を行うものとした。

また、作業や利用者がCsを取り込んだ樹木の伐採により出る切り粉やリターフォールなどを由来とする粉塵を吸入することで起こる内部被ばくも評価した。作業員については、直接経口についても評価した。このとき、樹木中の放射能濃度が最も高い2年目の濃度を用いて評価した。

## (2) 評価概要

土取場の環境回復については既往の評価が存在しないため、新たに評価体系を設定し評価する必要がある。土取場の規模に関する事例を表4に示す。復旧・復興事業のような大規模な土取場（表中 No.1）と、一般的に運用される土取場（表中 No.2,3,4）とで規模が異なり、調査した中で最大は49万m<sup>2</sup>、最小は1.3万m<sup>2</sup>であった。このほかに、「東日本大震災復旧・復興事業に伴う盛土材確保に係るガイドライン(案)」（宮城県）<sup>6)</sup>では、復旧・復興事業のために設置する公設土取場の面積を20万m<sup>2</sup>未満としていることなどを考慮し、本件では保守的に大規模な土取場に対する環境回復を行うことを想定し、幅500m×長さ500m×深さ5mの床掘りを行った土採場に一律に再生資材を埋戻材として利用した場合を想定して評価を行うこととした。なお、掘削深さについては、都道府県の条例の調査を行い（表5）、一般的な値と考えられる5mとすることにした。また、緑地化方法による線源体系の違いについては表6のように設定した。実際に床掘りを行う際には、崩落等を防ぐため法面に対し保安角度が取られるため直方体にはならないが、保守的に直方体として評価を行うものとした。また、深さは一律に5mとし、覆土の厚さに対応して再生資材の厚さも変わるものとした。



表4 土取場の規模に関する事例

No	場所	面積 (m <sup>2</sup> )	体積 (m <sup>3</sup> )	深さ (m)	出典
1	福島県	490,000	約 3,460,000	—	相双管内公設土取場(相馬)の運用を開始します(福島県土木部、2015.4.6) <sup>(7)</sup>
2	北海道	22,500	—	—	東亜建材工業株式会社 美沢土取場 面積は Google マップ <sup>(8)</sup> からの概算(150 m × 150 m と推定)
3	熊本県	13,000	140,000	15	大牟田地区(昭和開北部第二地区)農用地土壌汚染対策計画書(案) <sup>(9)</sup> 5 農用地土壌汚染対策計画の内容 (2) 昭和開北部第二地区に係る事業に関する事項 イ 事業の種類 (ウ)土取場採取可能量及び客土材の化学的性質
4	長野県 須坂市	17,500	180,000※	10	市長への公開質問状の回答に対する意見書(市へ提出) 「最終処分場建設候補地についての公開質問状」の回答に対する意見書 <sup>(10)</sup> 仁礼町旧土取場

※処分場容積

表5 土取場の掘削深さに関する条例

No	場所	掘削深さ	出典
1	千葉県	—	土採取計画認可申請書類作成要領マニュアル <sup>(11)</sup>
2	静岡県	原則 5 m 以下 最大 8 m	土採取に関する技術基準 <sup>(12)</sup>
3	奈良県	5 m	土石類採取の手引き <sup>(13)</sup>

表 6 緑地化方法による線源体系の違い

解析ケース No.	緑地化方法	覆土厚さ(m)※	線源厚さ(m)	体系
1	草本類	0.3	4.7	直方体
2,3,4	木本類	1.0	4.0	直方体

※ 国土交通省都市局公園緑地・景観課の植栽基盤の整備手順(案)<sup>(5)</sup>等を参考とした。

● 共通

- ・ 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) の存在割合を 1:1 と仮定した。
- ・ 全ての経路について、評価開始時期は保守的に 0 年からとする。
- ・ 土壌の密度は、「道路橋示方書 (I 共通編)・同解説」(日本道路協会)<sup>(14)</sup>に基づき設定した。埋戻材については礫および砂に対する密度: 2.0 g/cm<sup>3</sup>、再生資材については自然地盤での密度のおおよその平均値: 1.7 g/cm<sup>3</sup>、覆土については保守的に 1.5 g/cm<sup>3</sup> とした。

● 建設現場への運搬

- ・ 経路 No.1~4 (積み下ろし・運搬作業)  
積載量 10 t の大型トラックによる運搬を想定した。
- ・ 経路 No.5、6 (運搬経路周辺居住者)  
既往の評価と同様に、運搬トラックの走行台数のうち半分が赤信号により停車している時間 1 分の間に被ばくと想定した。

● 土取場の埋戻し (図 1 参照)

- ・ 経路 No.7~13 (土取場の環境回復に係る作業員および周辺居住者)
  - ・ 埋戻材からの核種の流出は考慮しない。
  - ・ 評価点は、表 7 の通りとした。

表 7 評価点の位置

評価対象	工程	評価点の位置
作業員	敷均し・締固め	回復地中央 高さ 1.0 m
周辺居住者	—	回復地端から 1.0 m 高さ 1.0 m

- ・ 埋戻材が露呈しているときの作業員および周辺居住者の被ばくを評価した。作業員

の被ばく時間は 1,000 h/y、周辺居住者の被ばく時間は 8,760 h/y とした。

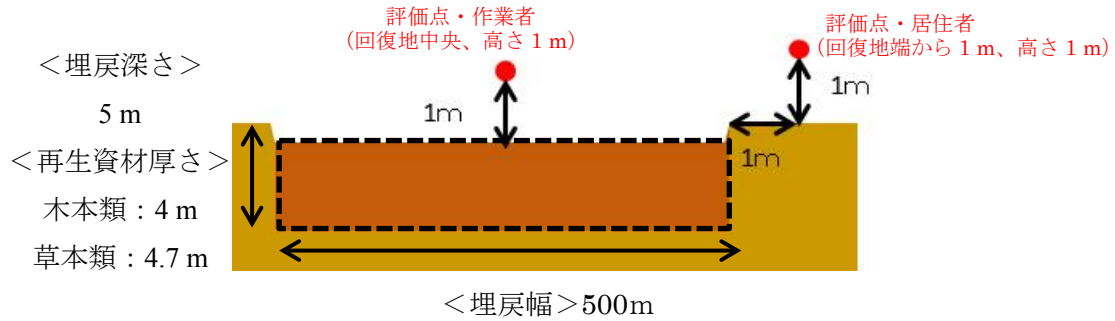


図 1 土取場の埋戻し時の作業者および周辺居住者の評価体系

●植栽作業(埋戻し・覆土後) (図 2 参照)

- ・経路 No.14 (土取場の環境回復に係る植栽等作業者)
  - ・埋戻材からの核種の流出は考慮しない。
  - ・草本植栽は、人力による吹付工が行われるものとし、木本植栽は、人力による植樹が行われるものとした。植樹は屈んだ状態で行うことを想定した。
  - ・評価点は、植栽の工法の違いを考慮し、草本植栽の場合は「埋戻部中央、高さ 1.0 m」、木本植栽の場合は「埋戻部中央、高さ 0.5 m」とした。
  - ・埋戻材の上に覆土がある状態での作業者の被ばくを評価した。被ばく時間は 1,000 h/y とした。

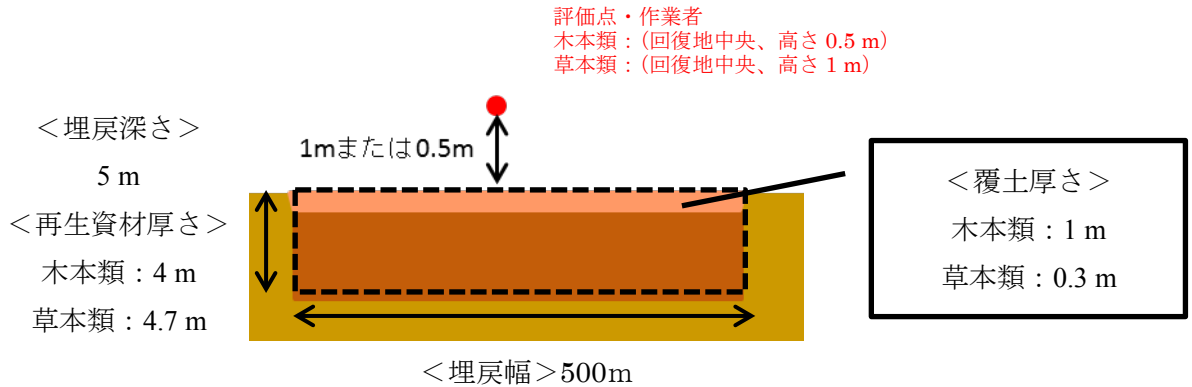


図 2 植栽作業時の作業者の評価体系

●土取場の環境回復後 (図 3 参照)

- ・経路 No.15～23 (環境回復地での草刈りおよび伐採等保全作業者、周辺居住者、環境回復地利用者)
  - ・埋戻材からの核種の流出は考慮しない。
  - ・評価点は、作業者および利用者は「回復地中央、高さ 1.0 m」、居住者は「回復地

の端から 1.0 m、高さ 1.0 m」とした。

- ・埋戻材の上に覆土がある状態で草刈り、伐採、管理道保全等を行う作業員および環境回復地周辺の居住者、環境回復地でスポーツ(草本植栽)や散歩(木本植栽)等をする利用者の被ばくを評価した。被ばく時間は、それぞれ 1,000 h/y、8,760 h/y、400 h/y とした。

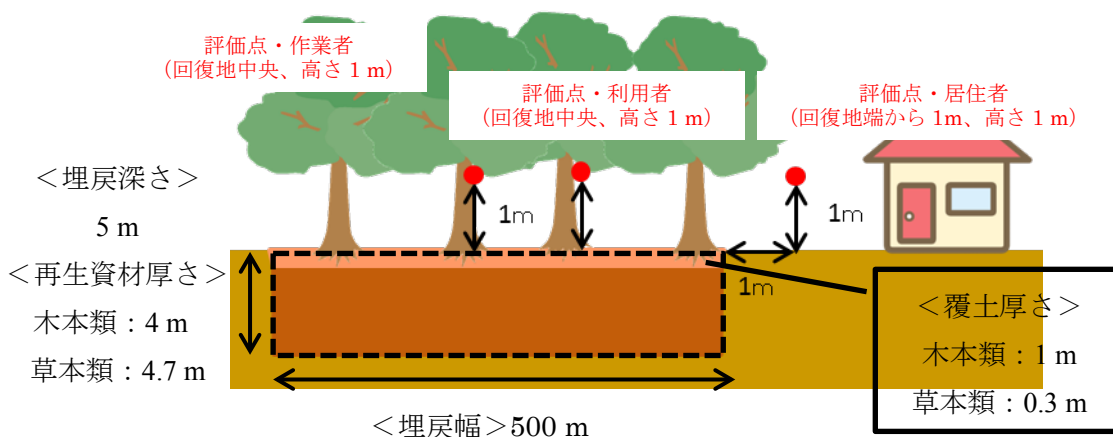


図3 土取場の環境回復後の作業員および居住者、利用者の評価体系

#### 1) 草本植栽

草本植栽は、前述のとおり人力による吹付工が行われるものとした。覆土厚は表 6 に示した通り 0.3 m とし、草本類の根はそれより下まで到達しない、すなわち埋戻しに使用した再生資材に到達しないものとし、放射性 Cs を取り込みは発生しないものとした。よって、本評価では特に草本類の種類を特定しない。再生資材の放射性 Cs 濃度は経年で低下していくことから、植栽直後のみを評価した。草刈り作業は公園の維持管理基準等(表 8)を参考に年 3 回、肩掛け式の刈払機を用いて行われるものとした。国土交通省土木工事積算基準<sup>(4)</sup>において、肩掛け式を用いた除草(機械除草 I)の日当たり作業量が 788 m<sup>2</sup>/日であることから、緑地面積 250,000 m<sup>2</sup>を一人の作業員ですべて刈るとすると 1 回の草刈りに約 1 年かかってしまい常識的にあり得ない。そこで、公園の草刈り等の整備期間に関する情報など(表 8、表 9)を参考に、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。

作業員および利用者の評価点は、環境回復地の中央、地面からの高さ 1.0 m の地点、周辺居住者の評価点は、環境回復地の端の一端の midpoint から 1.0 m、高さ 1.0 m の地点とした。

表 8 草刈り実行回数に関する事例

No	場所	回数	出典
1	境川遊水地公園	人の出入りの多い場所： 6回 その他：1～3回	境川遊水地公園維持管理基準書 <sup>(15)</sup>
2	県立座間谷戸山公園	1～3回	県立座間谷戸山公園 平成 24 年度事業計画書 <sup>(16)</sup>
3	柏市	4、5回	公園の維持と管理（柏市） <sup>(17)</sup>
4	川崎市	3回	公園緑地の維持管理（川崎市） <sup>(18)</sup>
5	塚山公園	3回	塚山公園維持管理基準 <sup>(19)</sup>
6	柏市	1～2回	柏市パークマネジメントプラン <sup>(20)</sup>

表 9 草刈り作業時間に関する事例

No	場所	期間	時間	公園面積 (m <sup>2</sup> )	出典
1	亀戸中央公園	3日	7.5時間	103,026	東京都東部 7 公園、草刈作業のお知らせ <sup>(21)</sup>
2	東京都立東京港野鳥公園	16日 ※1	7.5時間 ※2	249,000	環境管理作業のお知らせ <sup>(22)</sup> ※1 公園内の草刈り作業を複数回に分けて実施していたため、おおよその合計日数を記載。なお、1か所に対する作業期間の最長は 5 日。 ※2 実施箇所によって作業時間が異なったため、平均時間を記載。
3	宇喜田公園	6日	8.0時間	53,699	東京都東部 7 公園、草刈作業のお知らせ <sup>(23)</sup>

## 2) 木本植栽

木本植栽としては針葉樹と広葉樹の 2 つの植栽ケースを想定した。

針葉樹に対しては、東北森林局宮城南部森林計画区の第五次国有林野施業実施計画（第五次計画）<sup>(24)</sup>のアカマツの植栽林のデータを用いて評価した。針葉樹林では、植栽後 7 年目（林齢 8 年目）から 5 年ごとに伐採を行って森林を管理する設定とした。ここで、木の根が 1 か月につき 4 cm 伸びると仮定し、およそ 1 m に達する 2 年後をアカマツの根が埋戻材に到達する時間とし、その時点で放射性 Cs が移行係数に従って埋戻材から樹木に移行し、樹木全体に均一に分布すると設定した<sup>(25)</sup>。また、リターフォールにより Cs を取り込んだ枝や葉などが林床に移行して堆積有機物層を形

成することを想定し、この堆積有機物層からの被ばくについても評価した。この堆積有機物層の体積は、新たなリターフォールによる増加と分解による減少が平衡に達しており、一定であるとした。ここで、原子力機構が福島県南相馬市で行った除染効果の実証実験<sup>(26)</sup>において約 3 cm 腐葉土等の除去を行っていることから、この堆積有機物層の厚さは 3 cm とし、環境回復地の地面の上に一様に広がっている体系を設定した。一方、堆積有機物層に含まれる Cs の量は毎年のリターフォールにより増加していく設定とした。リターフォール量は場所によって大きく異なると考えられるが、ここでは井川原らのアカマツ林での実測値である  $580.09 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{y})$  を用いて評価した<sup>(27)</sup>。以上のことから、線源として、植栽直後は埋戻材のみ、植栽から 2 年後は埋戻材に加えて立木、植栽後 7 年の伐採前は埋戻材、立木に加えて堆積有機物層、植栽後 7 年の伐採後以降は埋戻材、立木、堆積有機物層に加えて伐採木を設定し、被ばく評価を行った。なお、埋戻材から樹木へ放射性 Cs が移行した場合、埋戻材中の放射性 Cs 濃度は減少するはずであるが、ここではその減少は考慮せず、埋戻材中の放射性 Cs 濃度は放射性壊変による減衰によってのみ低下する設定とした。

被ばく評価に必要な外部被ばく線量換算係数を計算するために、図 4 に示すような体系を設定した。埋戻材は上述の図 3 に示す体系と同じである。堆積有機物層は地面から高さ 3 cm までの層を設定し、植栽後 2 年以降のリターフォール量に応じて Cs 濃度が増加していく設定とした。伐採木は林床に均一に分布する設定とし、伐採時の体積と密度が維持されたまま、伐採の都度蓄積されていく設定とした。立木に対しては、評価点が環境回復地の中央である作業者と利用者に対しては、中央付近の  $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$  の空間は、各林齢における樹高を持った線線源が評価点を中心に各状況における密度で分布している体系を設定し、中央付近  $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$  を除く森林については、環境回復地の地面もしくは伐採木の上から樹高に相当する高さまでの空間を線源として体系を設定した。この時、保守的に遮蔽の効果が小さくなる空気を材質として設定した（空気線源）。一方、環境回復地の端の一辺の midpoint から 1 m 離れたところの高さ 1 m の地点が評価点となる周辺居住者に対しては、埋戻材と堆積有機物層、伐採木については同様であるが、立木に対しては環境回復地の地面もしくは伐採木の上から樹高相当の高さまでの空間の空気線源を設定した。ここで、各林齢における平均樹高や材積、伐採前後における 1 ha あたりの本数などはアカマツのデータを参照し<sup>(24)</sup>（別表 1-1）、上述のように年度ごとに伐採の前後で体系を設定してモンテカルロ計算を実施し、各評価点における埋戻材、堆積有機物層、立木、伐採木からの線量換算係数 ( $DF_{ext, reused, i}$ 、 $DF_{ext, deposit, i, t}$ 、 $DF_{ext, tree, i, t}$ 、 $DF_{ext, felled, i, t}$ ) を求めた。ここで、埋戻材や堆積有機物層、伐採木については AP 照射体系、立木については ISO 照射体系の実効線量率換算係数を用いて計算した。算出した線量換算係数は別表 2-1 に示す。また、被ばく線量の評価期間は 1 年間とした。年間外部被ばく線量 ( $D_{ext, i}$ ) は以下の式により算出した。

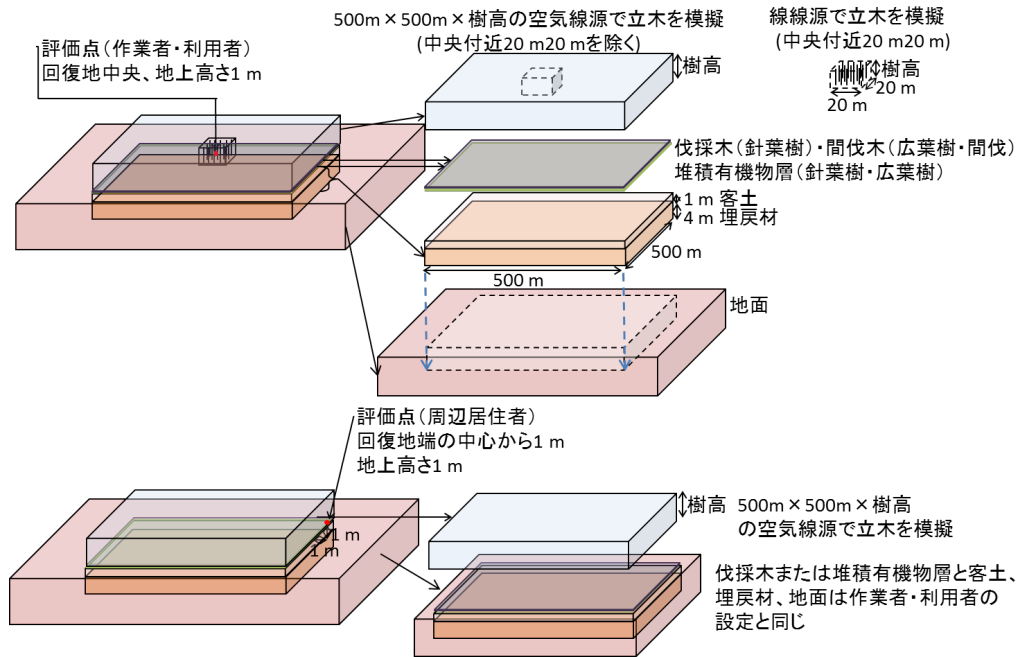


図 4 土取場の環境回復後（木本植栽）における作業員・利用者・周辺居住者の評価体系

$$D_{ext,i} = C_i \cdot 10^{-3} \cdot \exp(-\lambda_i \cdot t) \cdot t_e \cdot S \cdot [DF_{ext,reused,i} + T_{k,i} \cdot (DF_{ext,tree,i,t} + DF_{ext,deposit,i,t} + DF_{ext,felled,i,t})] \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_a)}{\lambda_i \cdot t_a}$$

(数式 1)

- $D_{ext,i}$  : 年間外部被ばく線量 (mSv/y)
- $C_i$  : 埋戻材中の核種  $i$  濃度 (Bq/g) (=1)
- $\lambda_i$  : 核種  $i$  の崩壊定数 (1/y)
- $t$  : 植栽後経過年数 (y)
- $t_e$  : 被ばく時間 (年間作業時間、居住時間) (h/y)
- $S$  : 遮へい係数 (-)
- $DF_{ext,reused,i}$  : 核種  $i$  を含む埋戻材からの外部被ばくに対する線量換算係数 ( $\mu$  Sv/h per Bq/g)
- $T_{k,i}$  : 土壌から樹木への移行係数 (-)
- $DF_{ext,tree,i,t}$  : 核種  $i$  を含む植栽後  $t$  年における立木からの外部被ばくに対する線量換算係数 ( $\mu$  Sv/h per Bq/g)
- $DF_{ext,deposit,i,t}$  : 核種  $i$  を含む植栽後  $t$  年における堆積有機物層からの外部被ばくに

- 対する線量換算係数  
( $\mu$  Sv/h per Bq/g)
- $DF_{ext,felled,i,t}$  : 核種  $i$  を含む植栽後  $t$  年における伐採木からの外部被ばくに対する線量換算係数  
( $\mu$  Sv/h per Bq/g)
- $t_a$  : 被ばく中の減衰期間 (y) (=1)

広葉樹に対しては、第五次計画(雄物川森林計画区)のブナの二次林のデータを用いて評価した<sup>(28)</sup>。広葉樹林では、植栽後 49 年(林齢 50 年)までは人の手を加えず、49 年目に間伐を行った場合と行わなかった場合を想定して評価した。間伐を行った場合、間伐木は林床に均一に分布するとした。針葉樹と同様に、ブナの根は植栽から 2 年後に埋戻材に到達し、放射性 Cs を取り込む設定とした<sup>(25)</sup>。また、リターフォールについては、栃木県のブナ天然林において 4 年間実測された結果から算出された 1 年間の平均リターフォール量である  $437.2\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{y})$  を用いて評価した<sup>(29)</sup>。

ブナの二次林に対しては林齢 30 年以降のデータしかなかったため、それ以前の林齢の評価については林齢 30 年~50 年のデータから内挿した値を用いて評価した。評価点と立木の体系については針葉樹と同様に設定した。なお、間伐木は堆積有機物の上層に、伐採木と同様の条件で設定した。線源として、植栽直後は埋戻材のみ、植栽から 2 年後は埋戻材と立木、それ以降は埋戻材、立木、堆積有機物層を設定し、間伐を行った場合には、埋戻材、立木、堆積有機物層、間伐木を設定した。評価年として、植栽直後と植栽後 2 年、植栽後 9 年以降は 10 年ごと 79 年までとした。各林齢における樹高等のデータは第 5 次計画のブナ二次林のデータを参照し<sup>(28)</sup>(別表 1-2)、年度ごとの体系を針葉樹と同様に設定してモンテカルロ計算を行い、埋戻材、立木、堆積有機物層、間伐木に対する線量換算係数( $DF_{ext,reused,i}$ 、 $DF_{ext,tree,i,t}$ 、 $DF_{ext,deposit,i,t}$ 、 $DF_{ext,felled,i,t}$ )を求めた。算出した線量換算係数は別表 2-2 に示す。年間外部被ばく線量( $D_{ext,i}$ )は以下の式により算出した。

$$D_{ext,i} = C_i \cdot 10^{-3} \cdot \exp(-\lambda_i \cdot t) \cdot t_e \cdot S \cdot \left[ DF_{ext,reused,i} + T_{ki} (DF_{ext,tree,i,t} + DF_{ext,felled,i,t} + DF_{ext,deposit,i,t}) \right] \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_a)}{\lambda_i \cdot t_a}$$

(数式 2)

- $D_{ext,i}$  : 年間外部被ばく線量 (mSv/y)
- $C_i$  : 埋戻材中の核種  $i$  濃度 (Bq/g) (=1)
- $\lambda_i$  : 核種  $i$  の崩壊定数 (1/y)
- $t$  : 植栽後経過年数 (y)



$t_e$	:	被ばく時間（年間作業時間、居住時間）（h/y）
$S$	:	遮へい係数（-）
$DF_{ext,reused,i}$	:	核種 $i$ を含む埋戻材からの外部被ばくに対する線量換算係数 （ $\mu$ Sv/h per Bq/g）
$T_{k,i}$	:	土壌から樹木への移行係数（-）
$DF_{ext,tree,i,t}$	:	核種 $i$ を含む植栽後 $t$ 年における立木からの外部被ばくに対する線量換算係数 （ $\mu$ Sv/h per Bq/g）
$DF_{ext,felled,i,t}$	:	核種 $i$ を含む植栽後 $t$ 年における間伐木からの外部被ばくに対する線量換算係数 （ $\mu$ Sv/h per Bq/g）
$DF_{ext,deposit,i,t}$	:	核種 $i$ を含む植栽後 $t$ 年における堆積有機物層からの外部被ばくに対する線量換算係数 （ $\mu$ Sv/h per Bq/g）
$t_a$	:	被ばく中の減衰期間（y）（=1）

また、伐採作業時に発生する樹木の切粉やリターフォールに由来する粉塵を作業員や利用者が吸入することで起こる内部被ばくについても評価した。ここで、林野庁が福島県広野町と本宮町で実施した皆伐や間伐、不要木除去、落葉等堆積有機物除去等の作業において計測された粉じん濃度の事例<sup>(30)</sup>における最大値  $0.17 \text{ mg/m}^3$  は、クリアランス評価で用いられた作業時の粉じん濃度  $0.5 \text{ mg/m}^3$  と同程度であったことなどから、クリアランス評価でのパラメータ等を踏襲して評価を行った。また、作業員に対しては直接経口による内部被ばくについても評価した。このとき、樹木中の放射能濃度が最も高い 2 年目の濃度を用いて評価した。

#### ●土取場の環境回復後の地下水移行（図 5 参照）

- ・埋戻材と帯水層の間には「地表土」や「不透水層」の存在が考えられるが、本評価ではこれらの影響は無視し、埋戻材の真下に帯水層があるとした。
- ・本評価では、埋戻材に使用される再生資材への Cs の収着を考慮した分配係数モデルを用い、地下水移行に係る全経路を評価した。
- ・分配係数モデルでは、再生資材層からの核種の溶出は分配平衡に基づいて起こると仮定し、埋戻材からの漏えい率  $\eta_i$  は、以下の式で算出した。

$$\eta = \frac{P}{H_w \cdot (\varepsilon_w + \rho_w \cdot Kd_w)} \quad (\text{数式 3})$$

ここで、

- $\eta$  : 埋戻材からの漏えい率 (1/y)
- $P$  : 埋戻材への降雨浸透水量 (m/y)
- $H_w$  : 埋戻材の厚さ (m)

$\varepsilon_w$  : 埋戻材の空隙率 (-)  
 $\rho_w$  : 埋戻材のかさ密度 ( $\text{g/cm}^3$ )  
 $Kd_w$  : 再生資材の分配係数 ( $\text{ml/g}$ )

である。

- 埋戻材の空隙率は、再生資材の真密度 ( $2.6\sim 2.7 \text{ g/cm}^3$ ) と当該埋戻材のかさ密度 ( $2.0 \text{ g/cm}^3$ ) から導出し、0.25 とした。また、再生資材の分配係数は  $270 \text{ ml/g}$  (IAEA TRS No.364、有機土壌) とした。

※上記パラメータから導出される放出係数 ( $=1/(\varepsilon + \rho Kd)$ ) は 0.001851 となり、既往のクリアランスレベル評価で設定された値 (0.01) より一桁小さくなる。

・ 経路 No.24～35 (井戸水利用)

- 埋戻材から核種が流出し、井戸水へ移行することを想定。
- 土取場の埋戻材の下端から井戸までの距離は保守的に 0 m とした。
- 浸透水量は、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  $0.4 \text{ m/y}$  を使用した。

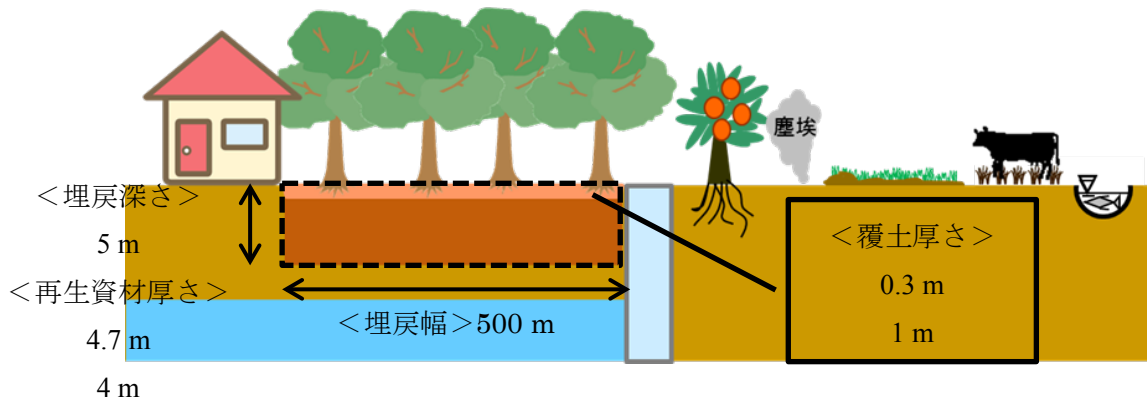


図5 土取場の環境回復後の地下水利用の評価体系

(3) 評価パラメータ

評価に用いるパラメータを表 10 に示す。内部被ばく線量係数については、別表 3 に示す。

表 10 土取場の環境回復への再生資材利用に係る評価経路パラメータ一覧 (1 / 11)

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 <sup>3</sup>	1.7	自然地盤でのおおよその平均値 1.7 g/cm <sup>3</sup> 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 <sup>3</sup>	2.0	土壌を締め固めた場合の密度の最大値 2.0 g/cm <sup>3</sup> 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 5m 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 5m 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 <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup> 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。

表 10 土取場の環境回復への再生資材利用に係る評価経路パラメータ一覧 (2 / 1 1)

経路 No.	名称	単位	選定値	選定根拠	
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 <sup>※1</sup> 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。	
1,4	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	μSv/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 <sup>3</sup> 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 <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup> /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。	

※1 災害廃棄物安全評価検討会 (第 9 回) 資料 11-1、平成 23 年 11 月 15 日

表 10 土取場の環境回復への再生資材利用に係る評価経路パラメータ一覧 (3 / 11)

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
4	運搬作業時の遮へい係数		—	0.9	車両による遮へい(鉄板 3mm 相当)を考慮する。災害廃棄物評価 <sup>※1</sup> 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	μSv/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 <sup>3</sup> 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(作業員)		—	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員)(草本類)	Cs-134	μSv/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 <sup>3</sup> 遮蔽体：なし 評価点：図 1 の評価点・作業員
		Cs-137		1.7E-01	
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員)(木本類)	Cs-134	μSv/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 <sup>3</sup> 遮蔽体：なし 評価点：図 1 の評価点・作業員
		Cs-137		1.7E-01	

※1 災害廃棄物安全評価検討会(第9回)資料 11-1、平成 23 年 11 月 15 日

表 10 土取場の環境回復への再生資材利用に係る評価経路パラメータ一覧（4 / 11）

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
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	μSv/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 <sup>3</sup> 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	μSv/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 <sup>3</sup> 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 <sup>3</sup> /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 2.3×10 <sup>4</sup> (L/d)を基に算定した。
13,23-2	居住者の呼吸量（子ど も）		m <sup>3</sup> /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 作業者）（草 本類）	Cs-134	μSv/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 <sup>3</sup> 遮蔽体：厚さ 0.3 m、かさ密度 1.5 g/cm <sup>3</sup> （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 作業者）（木 本類）	Cs-134	μSv/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 <sup>3</sup> 遮蔽体：厚さ 1.0 m、かさ密度 1.5 g/cm <sup>3</sup> （土 壌） 評価点：図 2 の評価点・作業者
		Cs-137		3.3E-06	

表 10 土取場の環境回復への再生資材利用に係る評価経路パラメータ一覧 (5 / 1 1)

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
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) <sup>※2</sup> 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 ( $3.3E-4 \sim 7.7E-2$ , 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。
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 (草刈り作業員・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： $2.0 \text{ g/cm}^3$ 遮蔽体：厚さ 0.3 m、かさ密度 $1.5 \text{ g/cm}^3$ (土壌) 評価点：図 3 の評価点・作業員
		Cs-137		5.5E-03	
15-2	外部被ばくに対する線量換算係数 (保全作業員・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： $2.0 \text{ g/cm}^3$ 遮蔽体：厚さ 1 m、かさ密度 $1.5 \text{ g/cm}^3$ (土壌) 評価点：図 3 の評価点・作業員
		Cs-137		3.1E-6	

※2 K. Tagami and S. Uchida, Radiation and Environmental Biophysics, 49, 583-590 (2010).

表 10 土取場の環境回復への再生資材利用に係る評価経路パラメータ一覧（6 / 11）

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 (保全作業員・利用者・周辺居住者) (木本類)	μSv/h per Bq/g	別表 2 参照	<p>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/cm<sup>3</sup> 遮蔽体：厚さ 1 m、かさ密度 1.5 g/cm<sup>3</sup>（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(m<sup>3</sup>/本)、高さ、1ha 当たりの樹木の本数（伐採による経時変化）、および樹木の密度（0.98 g/cm<sup>3</sup>）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、保全作業員と利用者に対しては、保全作業員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 当たりの本数、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/cm<sup>3</sup> の伐採木が一様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 ha 当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 当たりの間伐木の幹材積は 26 m<sup>3</sup> であることから、全材積は 1.5 倍して 39 m<sup>3</sup> 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）<sup>(26)</sup>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/cm<sup>3</sup> を設定した。</p> <p>評価点：図 3 の評価点・作業員・利用者・居住者</p> <p>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。</p>



表 10 土取場の環境回復への再生資材利用に係る評価経路パラメータ一覧 (7 / 11)

経路 No.	名称	単位	選定値	選定根拠	
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	μSv/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 <sup>3</sup> 遮蔽体：厚さ 0.3 m、かさ密度 1.5 g/cm <sup>3</sup> (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。	
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	μSv/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 <sup>3</sup> 遮蔽体：厚さ 0.3 m、かさ密度 1.5 g/cm <sup>3</sup> (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	μSv/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 <sup>3</sup> 遮蔽体：厚さ 1 m、かさ密度 1.5 g/cm <sup>3</sup> (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	

表 10 土取場の環境回復への再生資材利用に係る評価経路パラメータ一覧 (8 / 11)

経路 No.	名称	単位	選定値	選定根拠	
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 <sup>3</sup> ) と当該埋戻材のかさ密度 (2.0 g/cm <sup>3</sup> ) 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 荘毅、(株)古院書院、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 <sup>3</sup>	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 <sup>2</sup> /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 <sup>3</sup> /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 <sup>3</sup> /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%)、水稲 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。 248×0.544×2.92+248×(1-0.544)×0.56=457 (h/y)	
26	外部被ばくに対する線量換算係数 (農耕作業: 灌漑土壌からの外部被ばく)	Cs-134	μSv/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 <sup>3</sup> 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。	

表 10 土取場の環境回復への再生資材利用に係る評価経路パラメータ一覧（9 / 11）

経路 No.	名称	単位	選定値	選定根拠
27	農耕作業時の空气中ダスト濃度	g/m <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup> /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 <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /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 <sup>2</sup>	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 <sup>3</sup>	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 <sup>2</sup>	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 <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /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。

表 10 土取場の環境回復への再生資材利用に係る評価経路パラメータ一覧（10/11）

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
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	
29	農作物の年間摂取量（子ども）	米	kg/y	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	d/kg	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	d/L	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	kg-dry/d	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	

表 10 土取場の環境回復への再生資材利用に係る評価経路パラメータ一覧 (11 / 11)

経路 No.	名称	単位	選定値	選定根拠	
30,32	畜産物の年間摂取量 (成人)	牛肉	kg/y	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	L/y	44	
31,33	畜産物の年間摂取量 (子ども)	牛肉	kg/y	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	L/y	29	
32,33	家畜の飼育水摂取量	肉牛	L/d	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 トンを人口 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。	

別表 1-1 各評価年における単位面積当たりの樹木の本数、高さおよび伐採木の材積  
(針葉樹)

	評価年	0	2	7		12		17		22		27		32		37		42		47	
	林齢(年)	1	3	8		13		18		23		28		33		38		43		48	
				伐採前	伐採後	伐採前	伐採後	伐採前	伐採後	伐採前	伐採後	伐採前	伐採後	伐採前	伐採後	伐採前	伐採後	伐採前	伐採後	伐採前	伐採後
樹木	1ha当たりの樹木の本数(本/ha)	10,000	10,000	10,000	4,000	4,000	3,300	3,300	2,200	2,200	1,512	1,512	1,110	1,100	890	890	744	744	643	643	557
	樹木1本当たりの材積(m <sup>3</sup> /本)	4.0E-05	5.5E-04	5.3E-03		1.5E-02		3.7E-02		7.6E-02		1.4E-01		2.1E-01		3.0E-01		3.9E-01		5.0E-01	
	樹木の高さ(m)	0.5	1.2	3.1		5.2		7.1		9.0		10.6		12.2		13.4		14.6		15.6	
伐採木	1ha当たりの伐採木の材積(m <sup>3</sup> /ha)	-※1	-※1	-※1	32	32	42	42	83	83	135	135	190	190	236	236	279	279	319	319	361

※1 伐採作業開始前

※林野庁 東北森林管理局「第五次国有林野施業実施計画書（宮城南部森林計画区）（計画期間：平成28年4月1日-平成33年3月31日）

(24)のアカマツに対する収穫予想表より設定。

別表 1-2 各評価年における単位面積当たりの樹木の本数、高さおよび伐採木の材積  
(広葉樹)

評価年	0	2	9	19	29	39	49		59		69		79	
林齢(年)	1	3	10	20	30	40	50		60		70		80	
							無間伐	間伐	無間伐	間伐	無間伐	間伐	無間伐	間伐
1ha当たりの樹木の本数(本/ha)	2666	2615	2439	2187	1944	1674	1439	899	1234	784	1049	689	899	609
樹木1本当たりの材積(m <sup>3</sup> /本)	2.4E-04	1.2E-03	7.4E-03	2.3E-02	4.6E-02	8.1E-02	1.3E-01	1.7E-01	2.0E-01	2.6E-01	2.9E-01	3.8E-01	4.0E-01	5.1E-01
樹木の高さ(m)	0.2	0.6	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	11.7	11.8	13.3	13.4	14.6	14.8	15.7

※林野庁 東北森林管理局「第五次国有林野施業実施計画書（秋田県雄物川森林計画区）（計画期間：平成27年4月1日-平成32年3月31日）

(28)のブナに対する収穫予想表より設定。

別表 2-1 経路 No.15-2,18-2,19-2,20-2,22-2 で使用した樹木、伐採木からの外部被ばくに対する外部被ばく換算係数 (( $\mu$  Sv/y) / (Bq/g))

(針葉樹)

		評価年	2	7	12	17	22	27	32	37	42	47									
		林齢	3	8	13	18	23	28	33	38	43	48									
作業者	<sup>134</sup> Cs	樹木	8.0E-03	2.5E-02	1.0E-02	2.6E-02	2.0E-02	4.7E-02	3.1E-02	6.0E-02	4.2E-02	7.2E-02	5.6E-02	8.2E-02	6.2E-02	8.6E-02	7.0E-02	9.0E-02	7.5E-02	9.4E-02	9.1E-02
		伐採木			1.9E-02	1.9E-02	2.4E-02	2.4E-02	4.3E-02	4.3E-02	6.4E-02	6.4E-02	8.3E-02	8.3E-02	9.8E-02	9.8E-02	1.1E-01	1.1E-01	1.2E-01	1.2E-01	1.3E-01
		堆積有機物層		1.6E-02	1.6E-02	3.1E-02	3.1E-02	4.7E-02	4.7E-02	6.2E-02	6.2E-02	7.8E-02	7.8E-02	9.4E-02	9.4E-02	1.1E-01	1.1E-01	1.2E-01	1.2E-01	1.4E-01	1.4E-01
	<sup>137</sup> Cs	樹木	3.1E-03	9.7E-03	3.9E-03	1.0E-02	7.8E-03	1.8E-02	1.2E-02	2.3E-02	1.6E-02	2.8E-02	2.1E-02	3.1E-02	2.4E-02	3.3E-02	2.7E-02	3.4E-02	2.9E-02	3.6E-02	3.5E-02
		伐採木			7.2E-03	7.2E-03	9.3E-03	9.3E-03	1.7E-02	1.7E-02	2.5E-02	2.5E-02	3.2E-02	3.2E-02	3.8E-02	3.8E-02	4.3E-02	4.3E-02	4.7E-02	4.7E-02	5.2E-02
		堆積有機物層		6.0E-03	6.0E-03	1.2E-02	1.2E-02	1.8E-02	1.8E-02	2.4E-02	2.4E-02	3.0E-02	3.0E-02	3.6E-02	3.6E-02	4.2E-02	4.2E-02	4.8E-02	4.8E-02	5.4E-02	5.4E-02
周辺居住者	<sup>134</sup> Cs	樹木	3.0E-03	1.0E-02	4.0E-03	1.1E-02	9.0E-03	2.1E-02	1.4E-02	2.8E-02	1.9E-02	3.3E-02	2.4E-02	3.6E-02	2.9E-02	4.0E-02	3.4E-02	4.3E-02	3.7E-02	4.7E-02	4.1E-02
		伐採木			7.4E-03	7.4E-03	9.4E-03	9.4E-03	1.6E-02	1.6E-02	2.4E-02	2.4E-02	3.0E-02	3.0E-02	3.5E-02	3.5E-02	3.9E-02	3.9E-02	4.3E-02	4.3E-02	4.6E-02
		堆積有機物層		6.0E-03	6.0E-03	1.2E-02	1.2E-02	1.8E-02	1.8E-02	2.4E-02	2.4E-02	3.0E-02	3.0E-02	3.6E-02	3.6E-02	4.2E-02	4.2E-02	4.8E-02	4.8E-02	5.4E-02	5.4E-02
	<sup>137</sup> Cs	樹木	1.1E-03	3.9E-03	1.5E-03	4.2E-03	3.5E-03	8.1E-03	5.4E-03	1.1E-02	7.4E-03	1.3E-02	9.4E-03	1.4E-02	1.1E-02	1.5E-02	1.3E-02	1.7E-02	1.4E-02	1.8E-02	1.6E-02
		伐採木			2.8E-03	2.8E-03	3.6E-03	3.6E-03	6.3E-03	6.3E-03	9.1E-03	9.1E-03	1.2E-02	1.2E-02	1.4E-02	1.4E-02	1.5E-02	1.5E-02	1.6E-02	1.6E-02	1.8E-02
		堆積有機物層		2.3E-03	2.3E-03	4.6E-03	4.6E-03	6.9E-03	6.9E-03	9.2E-03	9.2E-03	1.2E-02	1.2E-02	1.4E-02	1.4E-02	1.6E-02	1.6E-02	1.8E-02	1.8E-02	2.1E-02	2.1E-02

別表 2-2 経路 No.15-2,18-2,19-2,20-2,22-2 で使用した樹木、伐採木からの外部被ばくに対する外部被ばく換算係数 (( $\mu$  Sv/y) / (Bq/g))

(広葉樹)

		評価年	2	9	19	29	39	49	59	69	79				
		林齢	3	10	20	30	40	50	60	70	80				
			無間伐	無間伐	無間伐	無間伐	無間伐	無間伐	間伐	無間伐	間伐				
作業者利用者	<sup>134</sup> Cs	樹木	1.5E-03	8.6E-03	2.1E-02	3.9E-02	5.2E-02	6.6E-02	5.1E-02	8.1E-02	6.5E-02	1.0E-01	7.9E-02	1.1E-01	1.0E-01
		堆積有機物層		1.6E-02	4.0E-02	6.4E-02	8.7E-02	1.1E-01	1.3E-01	1.3E-01	1.6E-01	1.6E-01	1.8E-01	1.8E-01	
		間伐木							2.3E-02	2.3E-02	2.3E-02	2.3E-02	2.3E-02		
	<sup>137</sup> Cs	樹木	5.8E-04	3.3E-03	8.0E-03	1.5E-02	2.0E-02	2.5E-02	1.9E-02	3.1E-02	2.5E-02	4.0E-02	3.0E-02	4.4E-02	4.0E-02
		堆積有機物層		6.4E-03	1.6E-02	2.5E-02	3.4E-02	4.3E-02	5.2E-02	5.2E-02	6.1E-02	6.1E-02	7.0E-02	7.0E-02	
		間伐木							8.8E-03	8.8E-03	8.8E-03	8.8E-03	8.8E-03		
周辺居住者	<sup>134</sup> Cs	樹木	6.0E-04	3.5E-03	9.3E-03	1.6E-02	2.3E-02	3.1E-02	2.4E-02	3.9E-02	3.1E-02	4.7E-02	3.9E-02	5.3E-02	4.6E-02
		堆積有機物層		6.3E-03	1.5E-02	2.4E-02	3.3E-02	4.3E-02	5.2E-02	5.2E-02	6.1E-02	6.1E-02	7.0E-02	7.0E-02	
		間伐木							8.8E-03	8.8E-03	8.8E-03	8.8E-03	8.8E-03		
	<sup>137</sup> Cs	樹木	2.3E-04	1.4E-03	3.5E-03	6.1E-03	8.8E-03	1.2E-02	9.0E-03	1.5E-02	1.2E-02	1.8E-02	1.5E-02	2.0E-02	1.8E-02
		堆積有機物層		2.4E-03	5.9E-03	9.4E-03	1.3E-02	1.6E-02	2.0E-02	2.0E-02	2.3E-02	2.3E-02	2.7E-02	2.7E-02	
		間伐木							3.4E-03	3.4E-03	3.4E-03	3.4E-03	3.4E-03		

別表 3 土取場の環境回復埋戻材への再生資材利用に係る評価経路パラメータ一覧  
(内部被ばく線量係数)

内部被ばく線量係数(Sv/Bq)						
	作業者(ICRP Publ.68)		一般公衆(ICRP Publ.72)			
	吸入	経口	吸入		経口	
			成人	子ども	成人	子ども
Cs-134	9.6E-09	1.9E-08	6.6E-09	7.3E-09	1.9E-08	1.6E-08
Cs-137	6.7E-09	1.3E-08	4.6E-09	5.4E-09	1.3E-08	1.2E-08

(4) 評価結果

表 11～表 14 に、各評価経路の Cs-134 および Cs-137 の単位濃度 (1 Bq/g) あたりの影響を評価した結果を示す。また、Cs-134 と Cs-137 の比は  $Cs-134/Cs-137=0.209$  と仮定<sup>※</sup>し、Cs-134 と Cs-137 の和 (全 Cs) による単位濃度 (1 Bq/g) あたりの線量に換算した値も併せて示す。

また、濃度レベル算出のための線量のめやす値 1 mSv/y を超えないことを条件として被ばく評価計算から誘導された濃度 (1mSv/y 相当濃度) も併せて示す。

草本植栽と木本植栽のすべての評価ケースにおいて、もっとも厳しい条件となった経路 (決定経路) は埋戻し施工作業者の 4,900 Bq/kg であった。また、一般公衆にとって最も厳しい条件となったのは、いずれの評価ケースにおいても埋戻し施工中の周辺居住者(子ども)の外部被ばくで、草本植栽の場合は 7,400 Bq/kg、木本植栽の場合は 7,600 Bq/kg であった。これらの濃度条件をクリアする 4,000 Bq/kg と 7,000 Bq/kg の再生資材を使用した場合の被ばく線量も併せて示す。

※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) の存在割合を 1:1 と仮定する。



表 11 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	積み下ろし作業者外部	2.0E-02	8.3E-03	1.0E-02	9.7E+04	4.1E-02	7.2E-02
2	積み下ろし作業者吸入	2.0E-05	1.6E-05	1.7E-05	6.0E+07	6.6E-05	1.2E-04
3	積み下ろし作業者直接経口摂取	3.2E-04	2.6E-04	2.7E-04	3.7E+06	1.1E-03	1.9E-03
4	運搬作業者外部	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

表 12-1 評価結果（土取場の埋め戻し）

（草本類：埋戻材厚さ 4.7 m）

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	建設作業者外部	3.8E-01	1.7E-01	2.1E-01	4.9E+03	8.2E-01	1.4E+00
8	建設作業者吸入	2.0E-05	1.6E-05	1.7E-05	6.0E+07	6.6E-05	1.2E-04
9	建設作業者直接経口摂取	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	植栽等作業者外部	1.3E-02	5.4E-03	6.8E-03	1.5E+05	2.7E-02	4.8E-02

表 12-2 評価結果（土取場の埋め戻し）

（木本類：埋戻材厚さ 4.0 m）

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	建設作業者外部	3.8E-01	1.7E-01	2.0E-01	4.9E+03	8.1E-01	1.4E+00
8	建設作業者吸入	2.0E-05	1.6E-05	1.7E-05	6.0E+07	6.6E-05	1.2E-04
9	建設作業者直接経口摂取	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	植栽等作業者外部	1.2E-05	3.2E-06	4.7E-06	2.1E+08	1.9E-05	3.3E-05

表 13-1 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

表 13-2 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

※経路 No.15、18、19、20、22 では、最も被ばく線量が高くなった経路（樹齢年数）のみを表に記載した。被ばく線量の経時変化については図 6～図 10 に示す。

表 13-3 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

※経路 No.15、18、19、20、22 では、最も被ばく線量が高くなった経路（植栽後年数）のみを表に記載した。被ばく線量の経時変化については図 6～図 10 に示す。

表 13-4 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

※経路 No.15、18、19、20、22 では、最も被ばく線量が高くなった経路（植栽後年数）のみを表に記載した。被ばく線量の経時変化については図 6～図 10 に示す。

表 14-1 評価結果（地下水移行）

（草本類：埋戻材厚さ 4.7 m）

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	飼料経由畜産物摂取(成人)	4.1E-06	1.0E-04	8.4E-05	1.2E+07	3.4E-04	5.9E-04
31	飼料経由畜産物摂取(子ども)	2.0E-06	5.3E-05	4.4E-05	2.3E+07	1.8E-04	3.1E-04
32	飼育水経由畜産物摂取(成人)	6.0E-07	5.9E-06	5.0E-06	2.0E+08	2.0E-05	3.5E-05
33	飼育水経由畜産物摂取(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

表 14-2 評価結果（地下水移行）  
（木本類：埋戻材厚さ 4.0 m）

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

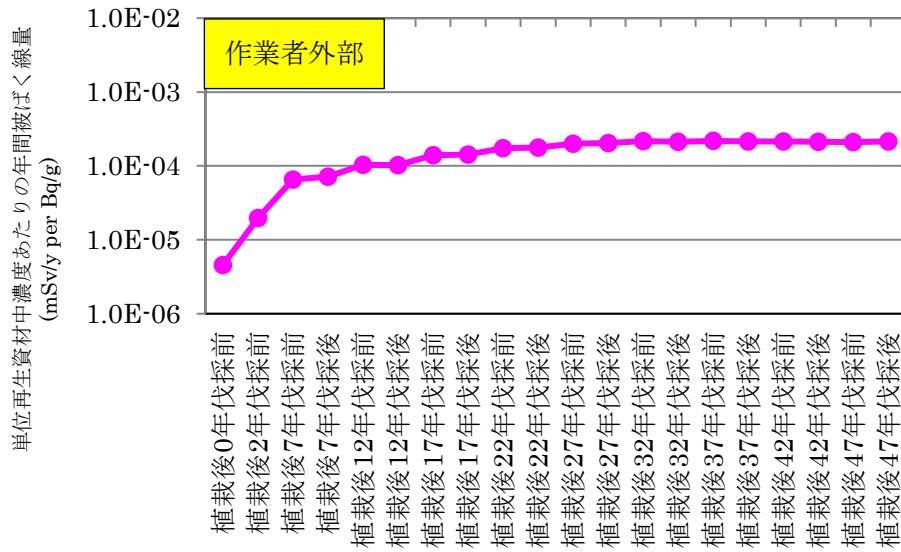


図 6-1 評価結果（土取場の環境回復後の伐採等作業）  
（針葉樹）

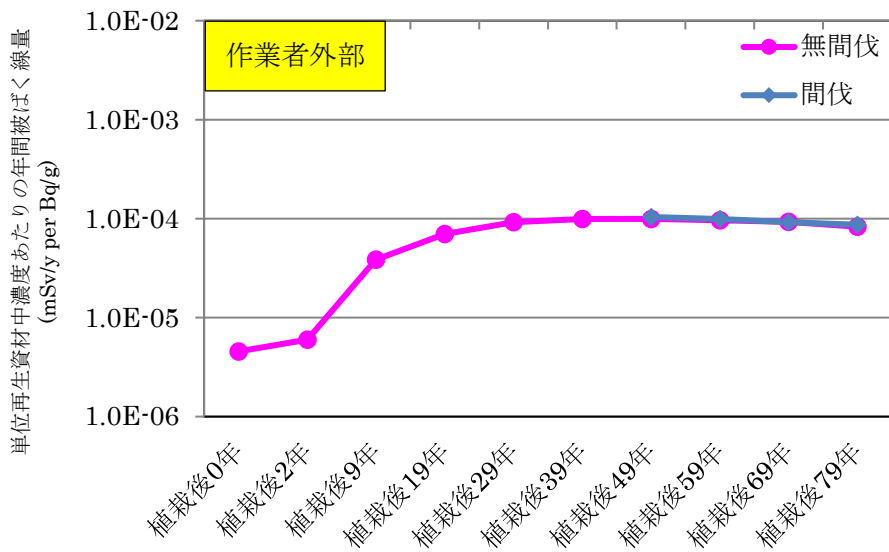


図 6-2 評価結果（土取場の環境回復後の伐採等作業）  
（広葉樹）

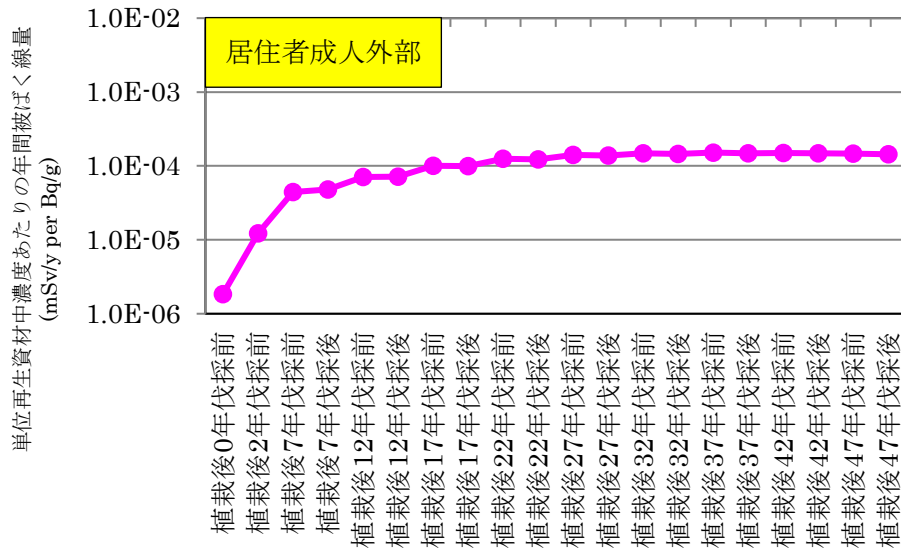


図 7-1 評価結果（土取場の環境回復後の周辺居住者・成人）  
（針葉樹）

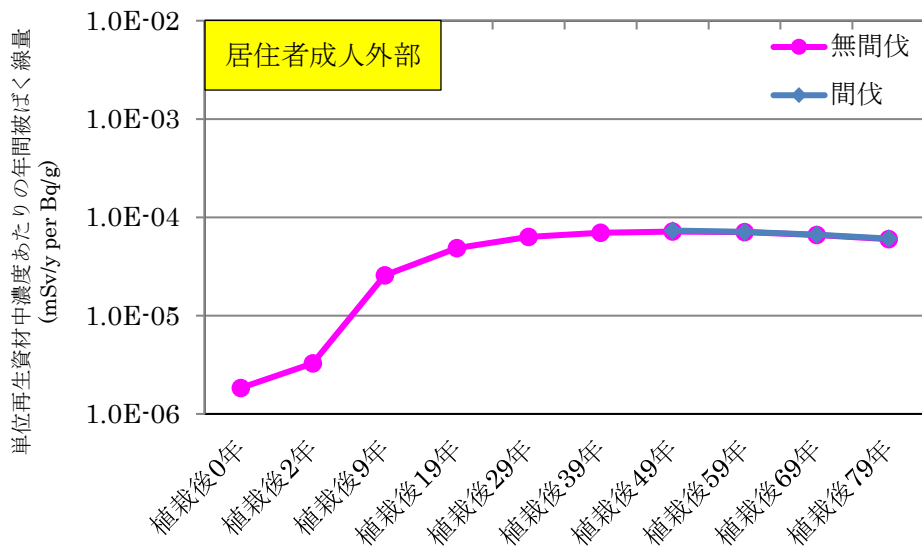


図 7-2 評価結果（土取場の環境回復後の周辺居住者・成人）  
（広葉樹）

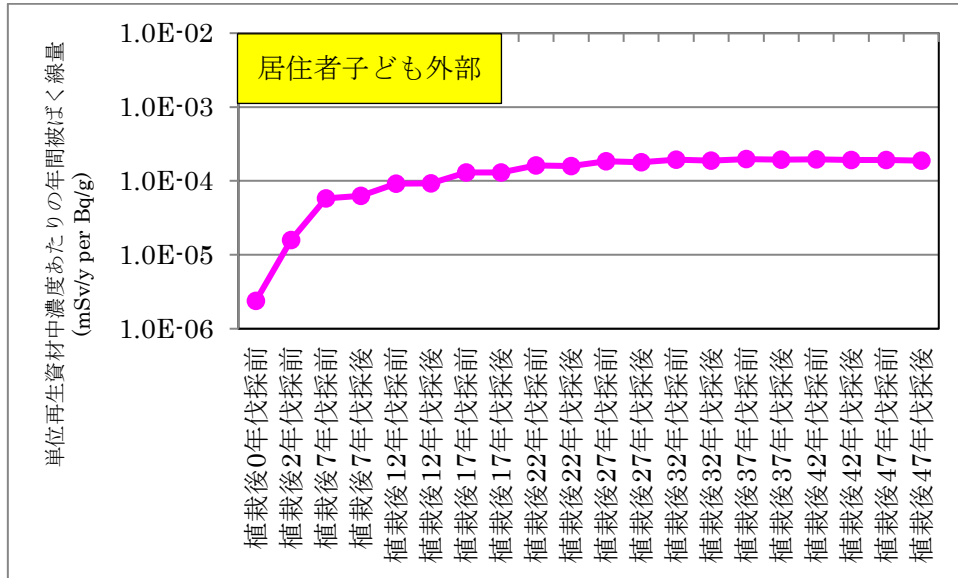


図 8-1 評価結果（土取場の環境回復後の周辺居住者・子ども）  
（針葉樹）

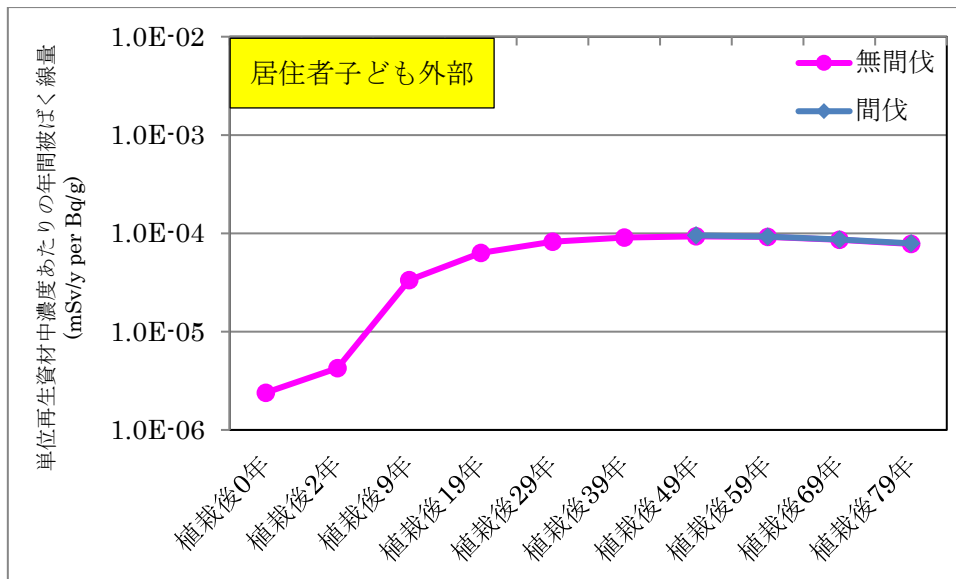


図 8-2 評価結果（土取場の環境回復後の周辺居住者・子ども）  
（広葉樹）

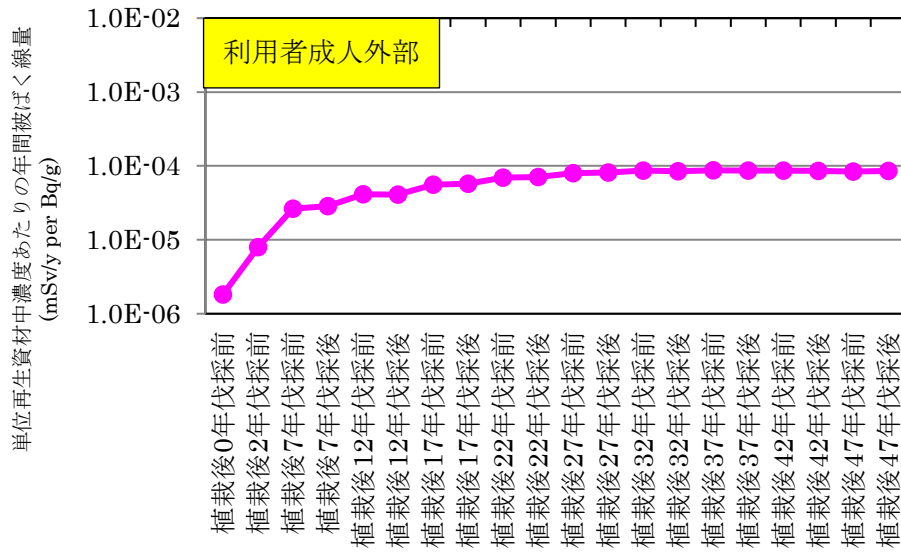


図 9-1 評価結果（土取場の環境回復後の利用者・成人）  
（針葉樹）

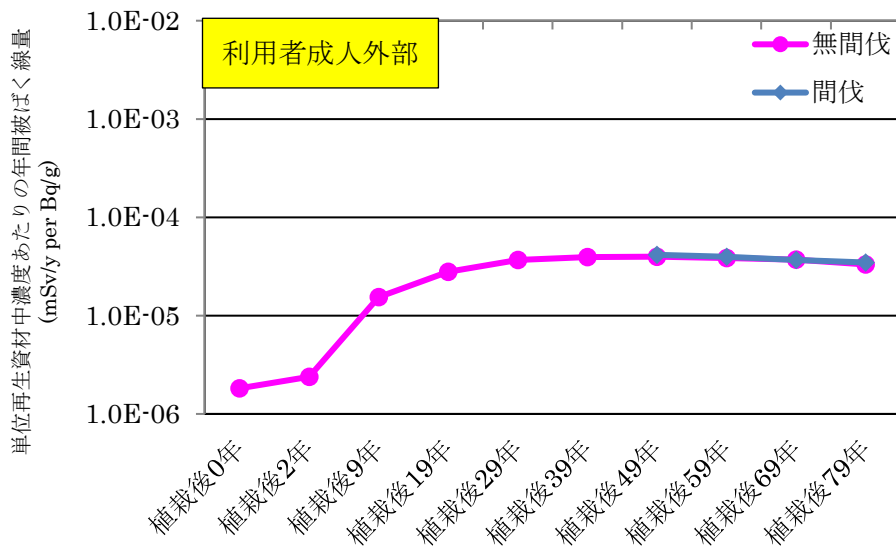


図 9-2 評価結果（土取場の環境回復後の利用者・成人）  
（広葉樹）



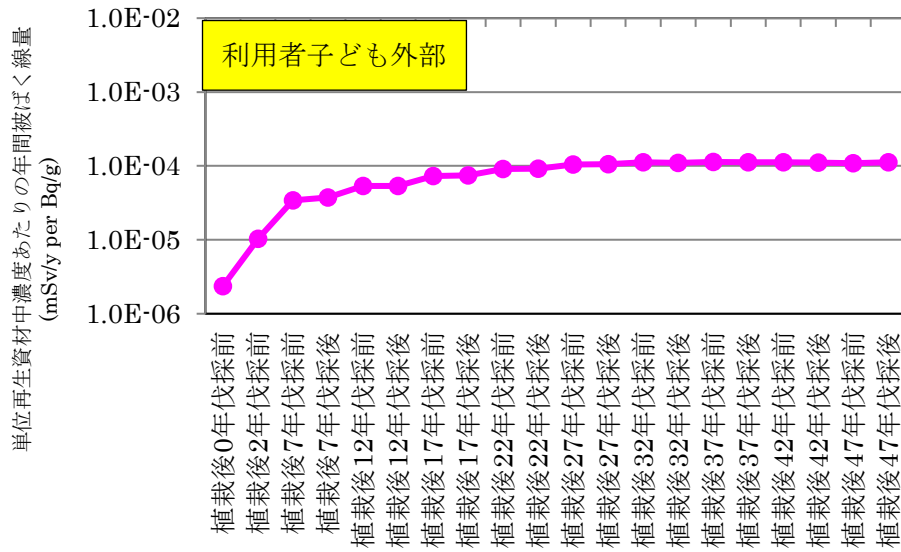


図 10-1 評価結果（土取場の環境回復後の利用者・子ども）  
（針葉樹）

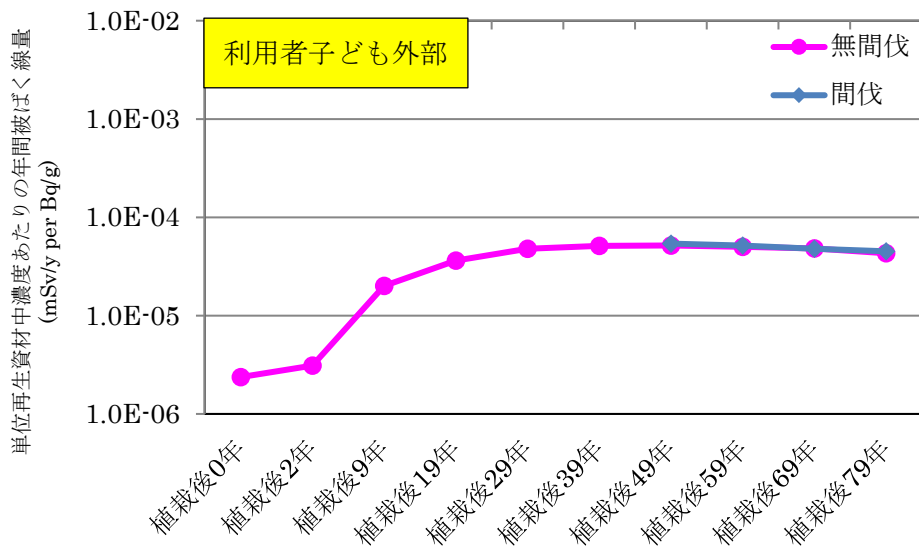


図 10-2 評価結果（土取場の環境回復後の利用者・子ども）  
（広葉樹）

主要な経路における、1 mSv/y 相当濃度を図 11 に、4,000 Bq/kg の再生資材を使用した場合の被ばく線量を図 12 に、7,000 Bq/kg の再生資材を使用した場合の被ばく線量を図 13 に整理した。各ケースに対する決定経路および 1 mSv/y 相当濃度は、表 15 の通りである。

図 12-1 や図 13-1 に示す通り、放射能濃度が 4,000 Bq/kg と 7,000Bq/kg の再生資材を埋戻材として用いた場合、草本植栽においては供用時の周辺居住者の子どもと利用者の子どもの被ばく線量が 10  $\mu$  Sv/y を上回る結果となった。これらの濃度の再生資材を埋戻材として用いる場合には、周辺居住者や利用者の被ばく線量が 10  $\mu$  Sv/y を下回るために必要な覆土厚さについては別途評価が必要である。

表 15 決定経路および 1m Sv/y 相当濃度 (Bq/kg)

決定経路			1mSv/y相当濃度 (Bq/kg)
ケースNo.*	経路番号	経路	
1	7	建設作業員外部	4,900
2	7	建設作業員外部	4,900
3	7	建設作業員外部	4,900
4	7	建設作業員外部	4,900

※ケース 1：草本類植栽、線源厚さ 4.7 m、客土厚さ 0.3 m

ケース 2：木本類植栽、針葉樹、線源厚さ 4.0 m、客土厚さ 1.0 m、5 年毎に伐採

ケース 3：木本類植栽、広葉樹（間伐）、線源厚さ 4.0 m、客土厚さ 1.0 m、49 年目に間伐

ケース 4：木本類植栽、広葉樹（無間伐）、線源厚さ 4.0 m、客土厚さ 1.0 m、間伐なし

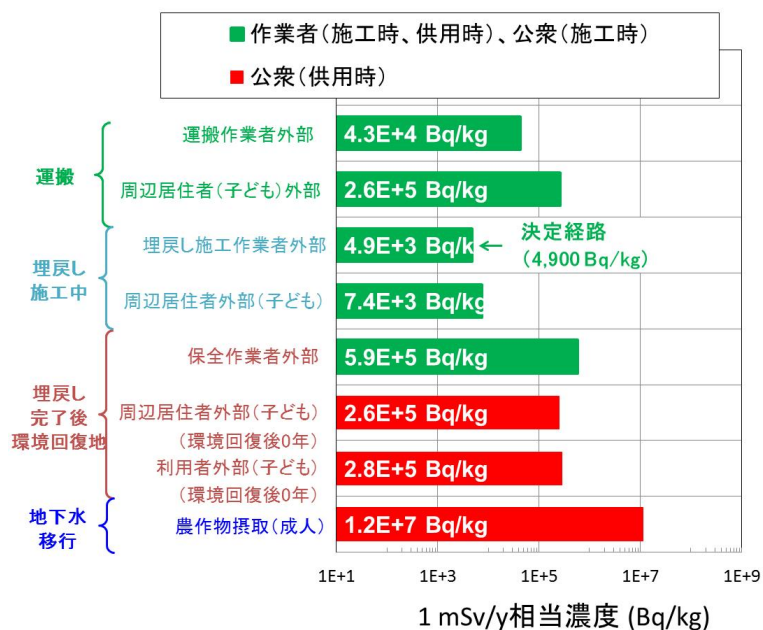


図 11-1 主要な経路の 1 mSv/y 相当濃度 (草本類)

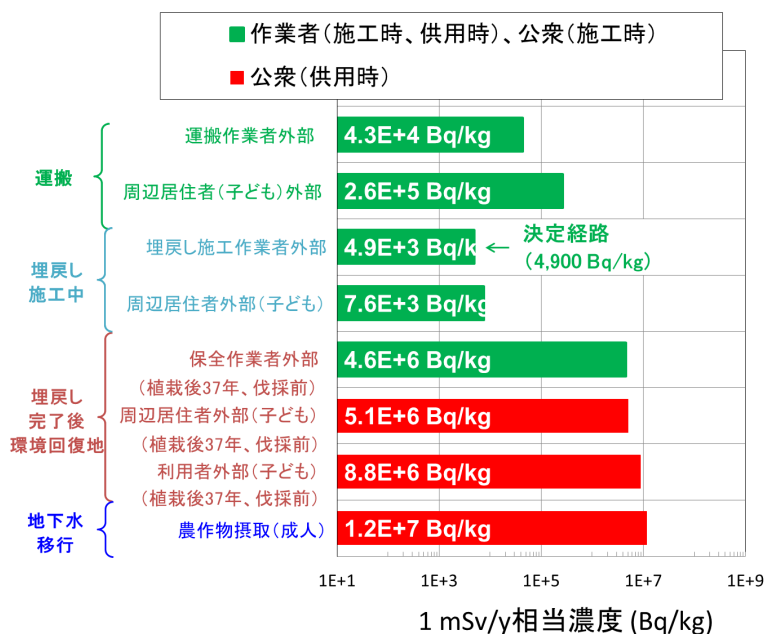


図 11-2 主要な経路の 1 mSv/y 相当濃度 (木本類・針葉樹)

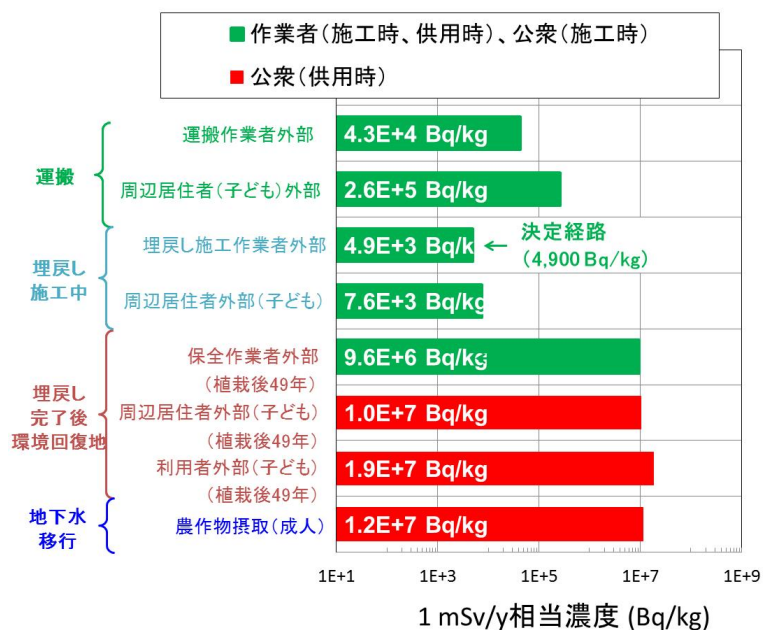


図 11-3 主要な経路の 1 mSv/y 相当濃度  
(木本類・広葉樹・間伐)

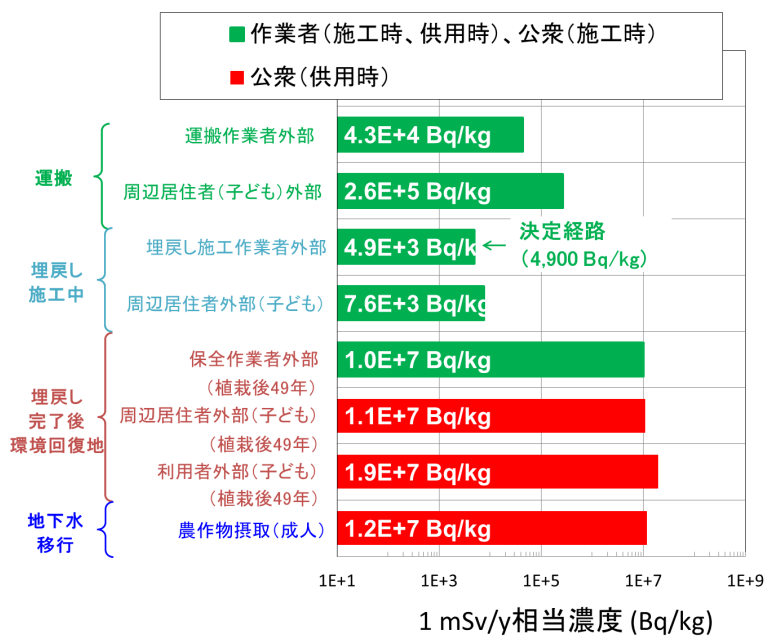


図 11-4 主要な経路の 1 mSv/y 相当濃度  
(木本類・広葉樹・無間伐)

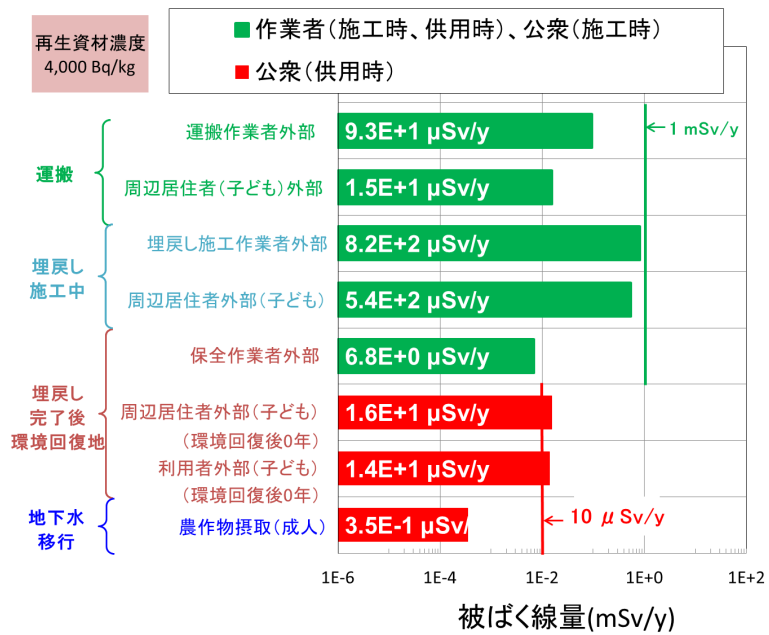


図 12-1 4,000 Bq/kg の再生資材を使用した場合の被ばく線量  
(草本類)

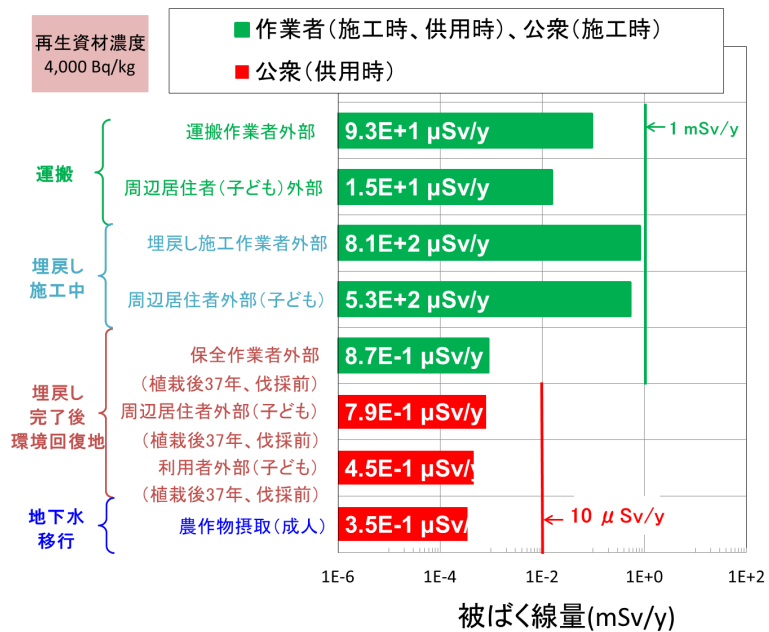


図 12-2 4,000 Bq/kg の再生資材を使用した場合の被ばく線量  
(木本類・針葉樹)

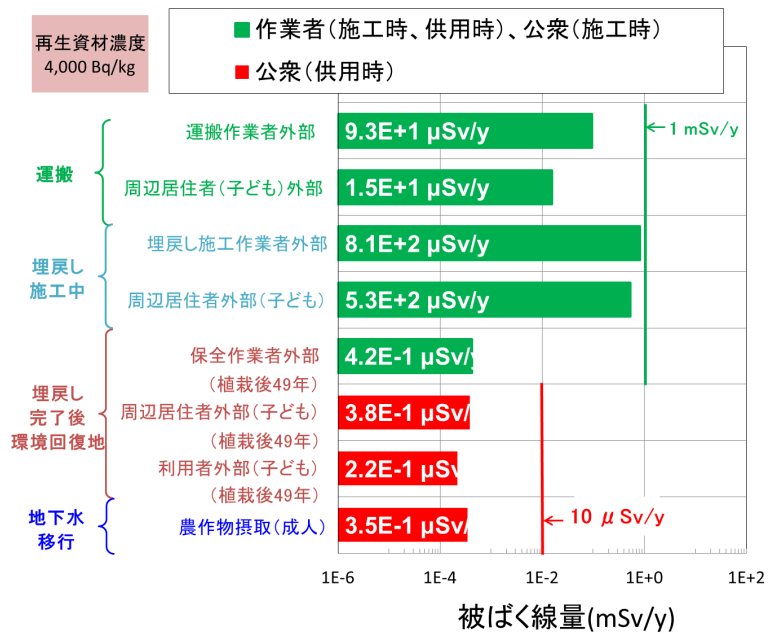


図 12-3 4,000 Bq/kg の再生資材を使用した場合の被ばく線量  
(木本類・広葉樹・間伐)

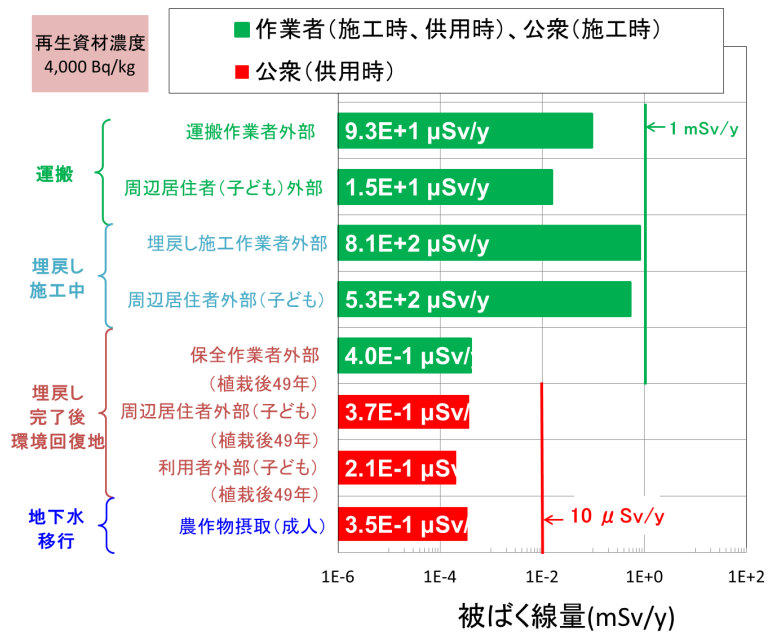


図 12-4 4,000 Bq/kg の再生資材を使用した場合の被ばく線量  
(木本類・広葉樹・無間伐)

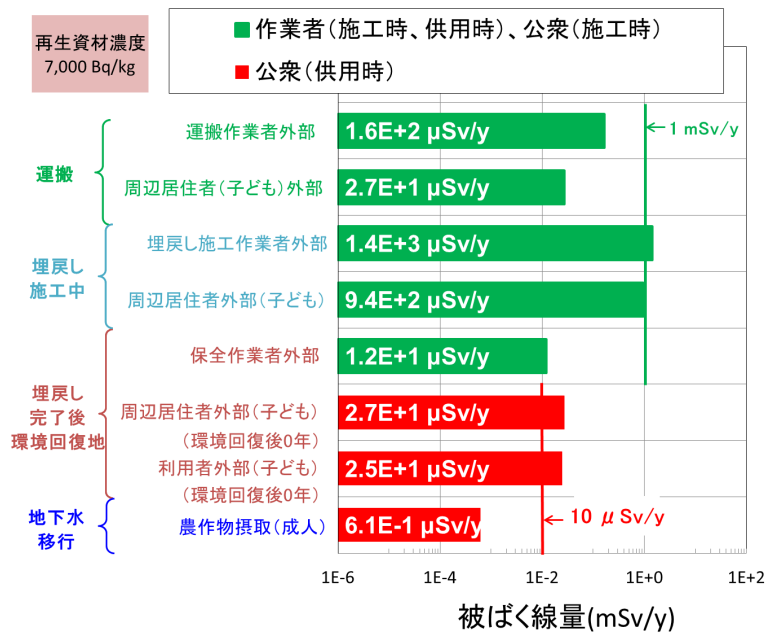


図 13-1 7,000 Bq/kg の再生資材を使用した場合の被ばく線量  
(草本類)

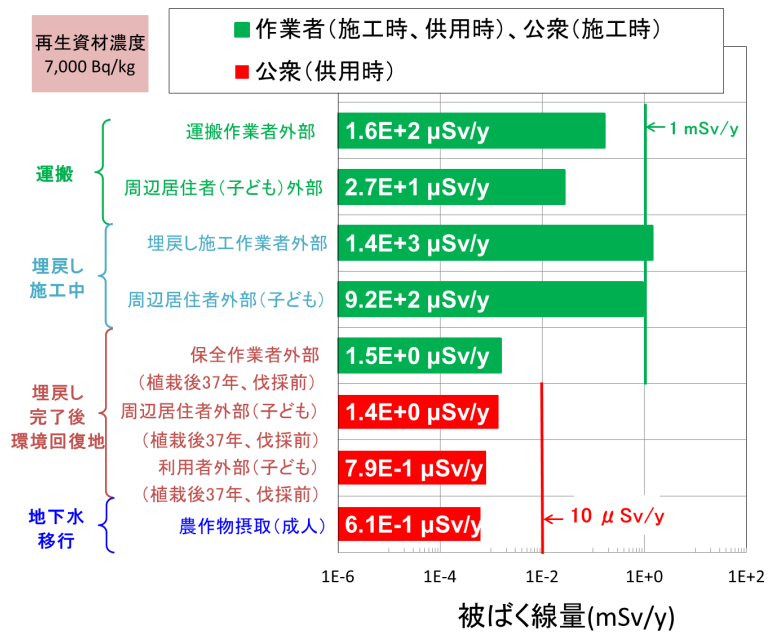


図 13-2 7,000 Bq/kg の再生資材を使用した場合の被ばく線量  
(木本類・針葉樹)

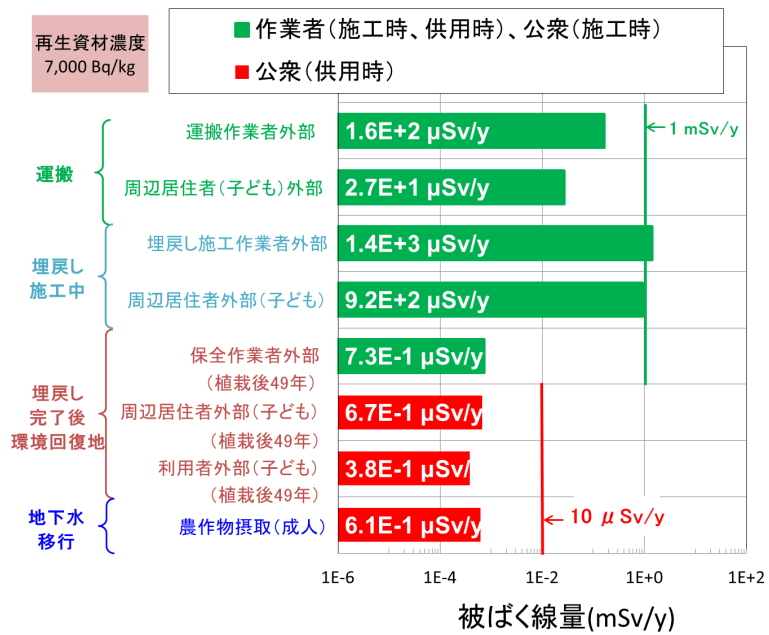


図 13-3 7,000 Bq/kg の再生資材を使用した場合の被ばく線量  
(木本類・広葉樹・間伐)

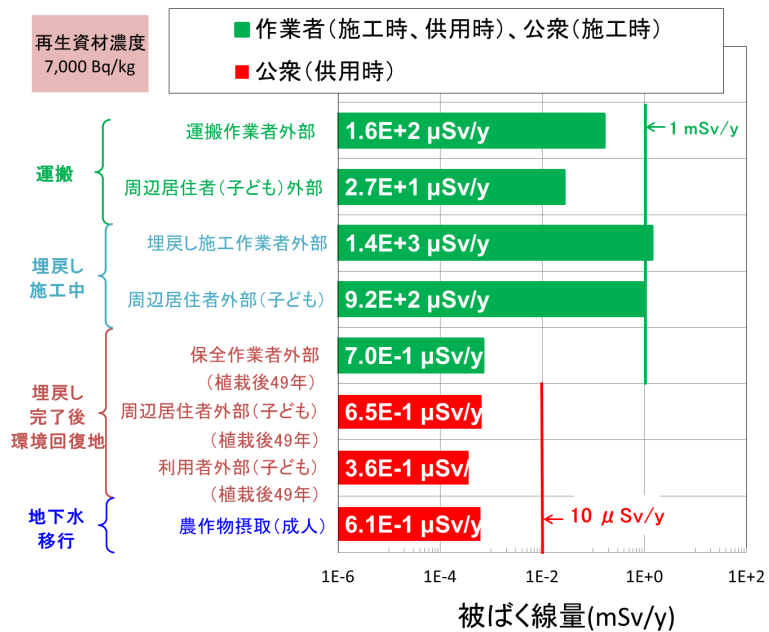


図 13-4 7,000 Bq/kg の再生資材を使用した場合の被ばく線量  
(木本類・広葉樹・無間伐)



## 2. 災害時の評価

再生資材を土地造成のための埋戻材に利用したときの、災害時における作業員や周辺住民に与える線量を評価するため、再生資材に含まれる Cs-134、Cs-137、全 Cs (=Cs-134 + Cs-137) について、単位濃度 (1 Bq/g) あたりの年間被ばく線量を評価した。

自然災害 (地震、津波、火災、暴風・竜巻、異常降雨 (豪雨)) に対し、災害事例に対する事例調査を行い、土地造成に用いた埋戻材に変状・崩壊をもたらす可能性のある自然災害を選定した (表 16)。

表 16 埋戻材に対し変状・崩壊をもたらす可能性のある自然災害の検討 (1 / 3)

自然災害	検討結果	評価の必要性
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 <sup>(31,32)</sup> 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 <sup>(31-33)</sup> 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。	○

表 16 埋戻材に対し変状・崩壊をもたらす可能性のある自然災害の検討（2 / 3）

自然災害	検討結果	評価の必要性
火災	<p>植栽した樹木の火災により発生したプルーム由来の被ばくが考えられる。</p> <p>&lt;草本植栽&gt; 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。</p> <p>&lt;木本植栽&gt; 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。</p> <p>【参考】一般の森林火災例<sup>(34)</sup></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・秋田県能代市（1943）：21 ha 消失<sup>(35)</sup></li> <li>・鹿島町（1977）、204.90 ha</li> <li>・川内村（1982）、63.00 ha</li> <li>・埴町、鮫川村（1987）、204.80 ha</li> <li>・船引町（1996）、78.99 ha</li> <li>・浪江町（1999）、24.80 ha</li> <li>・いわき市（2005）、36.40 ha</li> <li>・保原町（2005）、14.00 ha</li> </ul>	○ ただし、木本植栽の場合のみ
暴風・竜巻	<p>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。</p> <p>&lt;草本植栽&gt; 草本のみのため倒木は発生しない。</p> <p>&lt;木本植栽&gt; 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、伐採作業者に対する評価に代替される。</p> <p>【参考】過去20年間の主な風倒木被害例<sup>(36)</sup></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・台風7号災（1998） 大阪・奈良・和歌山、計4,552 ha</li> <li>・台風18号災（1999） 熊本・大分・鹿児島、計3,858 ha</li> </ul>	×

表 16 埋戻材に対し変状・崩壊をもたらす可能性のある自然災害の検討（3 / 3）

自然災害	検討結果	評価の必要性
異常降雨（豪雨）	<p>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<sup>(37)</sup>。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 m<sup>3</sup>/ha（1～3 mm相当）が報告されている<sup>(38)</sup>。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。</p> <p>&lt;草本植栽&gt; 浸透水量の増加による地下水移行への影響を評価する。</p> <p>&lt;木本植栽&gt; 浸透水量の増加による地下水移行への影響を評価する。</p> <p>【参考】一般の豪雨災害例<sup>(39)</sup></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・平成27年9月関東・東北豪雨（2015）</li> <li>・平成26年8月豪雨（2014）</li> <li>・平成24年7月九州豪雨（2012）</li> <li>・平成23年7月新潟・福島豪雨（2011）</li> <li>・平成21年7月中国・九州北部豪雨（2009）</li> <li>・平成20年8月末豪雨（2008）</li> <li>・平成18年7月豪雨（2006）</li> <li>・平成16年7月福井豪雨（2004）</li> <li>・平成16年7月新潟・福島豪雨（2004）</li> </ul>	<p style="text-align: center;">○</p> <p>ただし、草本植栽の場合のみ</p>

（1）津波

津波に対する検討結果を、以下に示す。

1) 評価経路

平地の土取場を埋戻した環境回復地が津波により土壌浸食された場合に、線源である埋戻材の上部に被覆した客土と同じ厚さの土砂が領域中の地面の表層から一様に取りさられ埋戻材が露出することで、復旧作業員及び公衆が被ばくすることを想定した。本評価では既往の評価を参考に、土壌侵食により露出した埋戻材に再度客土の被覆を行う復旧作業員及び公衆に対して、以下の被ばくを評価した（表 17）。

表 17 再生資材の土取場の環境回復材への利用に係る評価経路（災害時（津波））

No	評価対象	線源	対象者	被ばく形態
1	復旧作業	土壌侵食により露出した 埋戻材	作業者	外部
2				粉塵吸入
3				直接経口
4	周辺居住		公衆（成人）	外部
5			公衆（子ども）	外部

## 2) 評価概要

### ● 共通

- ・ Cs-134 と Cs-137 の存在割合は 0.209 : 1 とした。  
→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）の存在割合を 1:1 と仮定。
- ・ 全ての経路について、評価開始時期（＝災害発生時期）は保守的に 0 年からとした。
- ・ 仮復旧・応急復旧に要する期間については、既往の文献等が見つからなかったため、道路鉄道盛土等を参考に 3 ヶ月とするものとした。
- ・ 評価点は表 18 の通り、評価体系は図 14 の通りとした。
- ・ 埋戻材が露呈しているときの作業者および周辺居住者の被ばくを評価した。作業者の被ばく時間は、作業期間から一日 8 時間、60 日作業するとして 500 h/y とした。周辺居住者の被ばく時間は 3 か月間(1 月は 30 日として 90 日間)とし、一日の 20%を屋外で過ごすものとした。

表 18 評価点の位置

評価対象	評価点の位置
作業者	埋戻材中央、高さ 1 m
周辺居住者	埋戻材の端から 1 m、高さ 1 m

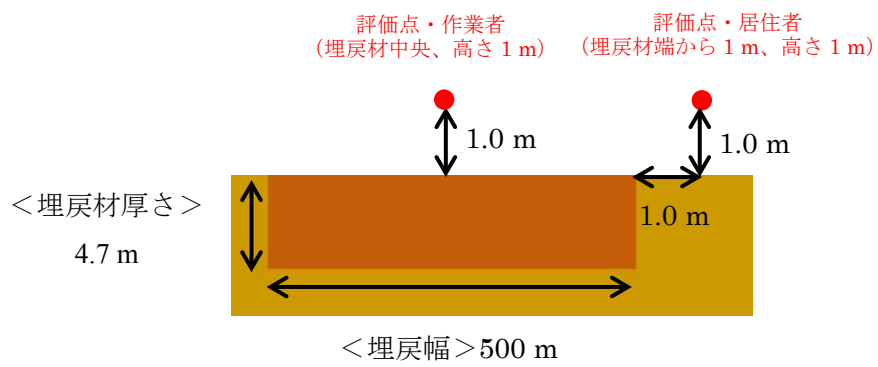


図 14 災害（津波）後の修復時における作業者および周辺居住者の評価体系

### 3) 評価パラメータ

評価に用いるパラメータを表 19 に示す。

表 19 環境回復地の補修への利用（災害時：津波）に係る評価経路パラメータ（1/2）

名称		単位	選定値	選定根拠
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。
復旧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、土取場の環境回復造成に使用された直後に災害が発生するものとした。
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。
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。
埋戻材の厚さ		m	4.7	草本類による緑地化を行った緑地公園で災害が発生した場合を想定し、埋戻材の厚さは4.7 mを埋戻材とした。
埋戻材のかさ密度		g/cm <sup>3</sup>	2.0	土壌を締め固めた場合の密度の最大値 2.0 g/cm <sup>3</sup> とした。
復旧作業時における遮へい係数（作業員）		—	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。
復旧作業に従事する年間作業時間		h/y	500	復旧期間3ヶ月のうち、1日8時間・60日の労働時間を、当該作業に従事すると480 h/yとなる。この結果から500 h/yと設定した。
外部被ばくに対する線量換算係数（復旧作業員）	Cs-134	$\mu$ Sv/h per Bq/g	4.4E-1	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 <sup>3</sup> 遮蔽体：なし 評価点：図14の評価点・作業員
	Cs-137		1.7E-1	
作業時の空气中ダスト濃度		g/m <sup>3</sup>	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。
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。
作業員の呼吸量		m <sup>3</sup> /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。
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。
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。
居住時の遮へい係数		—	0.2	1日のうちの20%を屋外で過ごすものとした。
居住者の年間被ばく時間		h/y	2,160	復旧期間の3か月間とした。なお、1か月は30日間として算出した。

表 19 環境回復地の補修への利用（災害時：津波）に係る評価経路パラメータ（2 / 2）

名称		単位	選定値	選定根拠
外部被ばくに対する線量換算係数（復旧作業地周辺居住者）	Cs-134	$\mu$ Sv/h per Bq/g	1.3E-1	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 <sup>3</sup> 遮蔽体：なし 評価点：図 14 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		5.1E-2	

#### 4) 評価結果

表 20 に、各評価経路の Cs-134、Cs-137 および全 Cs (=Cs-134+Cs-137) の単位濃度（1 Bq/g）あたりの影響を評価した結果を示す。また、4,000 Bq/kg と 7,000 Bq/kg の再生資材を使用した場合の被ばく線量も併せて示す。最も被ばく線量が高くなるのは、復旧作業者の外部被ばくであった。

評価の結果、7,000 Bq/kg の再生資材を使用した場合の年間被ばく線量でも最大で  $7.1 \times 10^{-1}$  mSv/y であり、濃度レベル算出のための線量のみやす値 1 mSv/y を下回った。

表 20 評価結果（土取場の環境回復（災害時：津波））

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	復旧作業者外部	1.9E-01	8.4E-02	1.0E-01	9.8E+03	4.1E-01	7.1E-01
2	復旧作業者吸入	9.8E-06	7.9E-06	8.3E-06	1.2E+08	3.3E-05	5.8E-05
3	復旧作業者直接経口摂取	1.6E-04	1.3E-04	1.3E-04	7.5E+06	5.4E-04	9.4E-04
4	周辺居住者(成人)外部	4.8E-02	2.2E-02	2.6E-02	3.8E+04	1.1E-01	1.8E-01
5	周辺居住者(子ども)外部	6.3E-02	2.8E-02	3.4E-02	2.9E+04	1.4E-01	2.4E-01

#### (2) 火災

JNES では、森林火災における消火に従事する消防士及び公衆の被ばく線量を、原子力施設の影響評価に使用されている安全評価指針・気象指針等に基づき評価している（以下、「既往の評価」）<sup>(34)</sup>。本評価では上記評価を参考に、再生資材を土地造成の埋戻材として使用した場合における、火災による作業員及び公衆への影響評価を実施した。

##### 1) 評価経路

土地造成で造成した森林で火災が起こった場合、線源である埋戻材から Cs が移行した樹木が延焼することで、Cs を含んだプルームが発生し、作業員及び公衆が被ばくすると想定される。既往の評価では、火災に伴い想定される被ばくの形態として、以下の 4 つを想定している。

- ・ プルームに含まれる Cs による外部被ばく
- ・ 地表沈着した Cs による外部被ばく
- ・ プルームに含まれる Cs の吸入による内部被ばく
- ・ 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

本評価では既往の評価と同様に、消火に従事する消防士及び公衆に対して、上記の 4 つの被ばくを評価する（表 21）。

表 21 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	プルームに含まれる 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		プルームに含まれる 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	プルームに含まれる 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		プルームに含まれる 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

## 2) 評価概要

既往の評価では、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プルームモデルを用いて、大気の状態に対する感度解析（大気安定度・火災プルーム上昇高さ）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。本評価でも同様の方法で被ばく線量を評価した。

### ● 共通

- ・ 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）の存在割合を 1:1 と仮定。
- ・ 全ての経路について、評価開始時期（＝災害発生時期）は保守的に 0 年からとする。
- ・ 火災による延焼面積は 20 ha とする（既往の評価での代表例。なお、本評価での環境回復地の面積は 25ha であり、80%が延焼した想定となる）。また延焼期間は、既往の評価において火災の事例調査から求められている延焼面積 20 ha に対応する値：1 日（24 時間）とする。
- ・ 風速は 1 m/s と仮定する。
- ・ 供用時の評価では伐採業者等に対して、評価時期を振った評価を行っている（針葉樹、広葉樹・間伐、広葉樹・無間伐）。本評価で想定する火災の発生時期は、その中



で土地造成後にできた森林に植栽された樹木中の放射性セシウム濃度が最も高くなる時期に発生したものとする（表 22）。樹木中の放射性セシウム濃度の経時変化の詳細は表 23～表 25 の通りである。なお、表 23～25 において、各項目の最大値を黄色で色付けして示す。

表 22 評価に使用した放射性セシウム濃度と評価年

	評価年（埋戻し後の経過年数）	樹木（20 ha）中に含まれる総 Bq 数	
		Cs-134	Cs-137
針葉樹	42 年	4.5E+01 Bq	2.3E+07 Bq
広葉樹・間伐	59 年	6.3E-02 Bq	6.7E+06 Bq
広葉樹・無間伐	59 年	6.5E-02 Bq	7.0E+06 Bq

※土壌から樹木への Cs の移行係数を  $5.5 \times 10^{-3}$  として算出)

表 23 埋戻材および樹木等（20 ha）に含まれる放射性セシウム濃度（針葉樹）

評価年	埋戻材濃度(Bq/g)		樹木(20ha)中に含まれる総Bq数			地表面濃度(Bq/m <sup>2</sup> )	
	Cs-134	Cs-137	Cs-134	Cs-137	全Cs	Cs-134	Cs-137
0	1.0E+00	1.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
2	5.1E-01	9.5E-01	8.4E+05	1.6E+06	2.4E+06	4.2E+00	7.9E+00
7	9.5E-02	8.5E-01	5.4E+05	4.8E+06	5.4E+06	2.7E+00	2.4E+01
12	1.8E-02	7.6E-01	1.7E+05	7.5E+06	7.6E+06	8.7E-01	3.7E+01
17	3.3E-03	6.8E-01	5.8E+04	1.2E+07	1.2E+07	2.9E-01	6.0E+01
22	6.1E-04	6.0E-01	1.6E+04	1.6E+07	1.6E+07	8.2E-02	8.1E+01
27	1.1E-04	5.4E-01	4.2E+03	2.0E+07	2.0E+07	2.1E-02	9.9E+01
32	2.1E-05	4.8E-01	9.6E+02	2.2E+07	2.2E+07	4.8E-03	1.1E+02
37	3.9E-06	4.3E-01	2.1E+02	2.3E+07	2.3E+07	1.1E-03	1.1E+02
42	7.3E-07	3.8E-01	4.5E+01	2.3E+07	2.3E+07	2.2E-04	1.2E+02
47	1.4E-07	3.4E-01	9.3E+00	2.3E+07	2.3E+07	4.7E-05	1.2E+02
52	2.5E-08	3.0E-01	1.9E+00	2.3E+07	2.3E+07	9.6E-06	1.1E+02

表 24 埋戻材および樹木等（20 ha）に含まれる放射性セシウム濃度（広葉樹・間伐）

評価年	埋戻材濃度(Bq/g)		樹木(20ha)中に含まれる総Bq数			地表面濃度(Bq/m <sup>2</sup> )	
	Cs-134	Cs-137	Cs-134	Cs-137	全Cs	Cs-134	Cs-137
0	1.0E+00	1.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
2	5.1E-01	9.5E-01	1.7E+05	3.2E+05	5.0E+05	8.7E-01	1.6E+00
9	4.8E-02	8.1E-01	9.4E+04	1.6E+06	1.7E+06	4.7E-01	7.9E+00
19	1.7E-03	6.4E-01	8.9E+03	3.4E+06	3.5E+06	4.5E-02	1.7E+01
29	5.8E-05	5.1E-01	5.6E+02	5.0E+06	5.0E+06	2.8E-03	2.5E+01
39	2.0E-06	4.1E-01	2.9E+01	5.9E+06	5.9E+06	1.5E-04	3.0E+01
49	6.9E-08	3.2E-01	1.4E+00	6.6E+06	6.6E+06	7.0E-06	3.3E+01
59	2.4E-09	2.6E-01	6.3E-02	6.7E+06	6.7E+06	3.1E-07	3.4E+01
69	8.3E-11	2.0E-01	2.7E-03	6.6E+06	6.6E+06	1.3E-08	3.3E+01
79	2.9E-12	1.6E-01	1.1E-04	6.1E+06	6.1E+06	5.4E-10	3.1E+01

表 25 埋戻材および樹木等 (20 ha) に含まれる放射性セシウム濃度 (広葉樹・無間伐)

評価年	埋戻材濃度(Bq/g)		樹木(20ha)中に含まれる総Bq数			地表面濃度(Bq/m <sup>2</sup> )	
	Cs-134	Cs-137	Cs-134	Cs-137	全Cs	Cs-134	Cs-137
0	1.0E+00	1.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
2	5.1E-01	9.5E-01	1.7E+05	3.2E+05	5.0E+05	8.7E-01	1.6E+00
9	4.8E-02	8.1E-01	9.4E+04	1.6E+06	1.7E+06	4.7E-01	7.9E+00
19	1.7E-03	6.4E-01	8.9E+03	3.4E+06	3.5E+06	4.5E-02	1.7E+01
29	5.8E-05	5.1E-01	5.6E+02	5.0E+06	5.0E+06	2.8E-03	2.5E+01
39	2.0E-06	4.1E-01	2.9E+01	5.9E+06	5.9E+06	1.5E-04	3.0E+01
49	6.9E-08	3.2E-01	1.4E+00	6.6E+06	6.6E+06	7.0E-06	3.3E+01
59	2.4E-09	2.6E-01	6.5E-02	7.0E+06	7.0E+06	3.2E-07	3.5E+01
69	8.3E-11	2.0E-01	2.7E-03	6.7E+06	6.7E+06	1.4E-08	3.4E+01
79	2.9E-12	1.6E-01	1.1E-04	6.2E+06	6.2E+06	5.5E-10	3.1E+01

●評価モデル (消防士)

消防士に対しては、火災 (線源) の近傍で被ばくと想定される。よって、プルームからの被ばくは半無限線源 (サブマージョンモデル)、地表からの被ばくは無有限平板線源からの被ばくと想定し、被ばく線量を評価した。評価に用いた式を以下に示す。

$$D_1 = \frac{C_{surf} \cdot r}{H} \cdot DF_1 \cdot T \cdot 1000$$

(数式 4)

- $D_1$  : プルーム中の Cs からの  $\gamma$  線による外部被ばく (mSv)  
 $C_{surf}$  : 地表面の Cs 濃度 (Bq/m<sup>2</sup>)  
 $r$  : 延焼速度と風速の比 (-)  
 $H$  : 線源の高さ方向の拡がり (m)  
 $DF_1$  : 半無限体積の線源に対する線量係数 (Sv/s per Bq/m<sup>3</sup>)  
 $T$  : 被ばく時間 (s)

$$D_2 = C_{surf} \cdot DF_2 \cdot T \cdot 1000$$

(数式 5)

- $D_2$  : 地表沈着した Cs からの  $\gamma$  線による外部被ばく (mSv)  
 $DF_2$  : 無有限平板の線源に対する線量係数 (Sv/s per Bq/m<sup>2</sup>)

$$D_3 = \frac{C_{surf} \cdot r}{H} \cdot K_{in} \cdot M \cdot T$$

(数式 6)

- $D_3$  : クラウド中の Cs の吸入摂取による内部被ばく (mSv)  
 $K_{in}$  : 内部被ばく実効線量係数 (成人) (mSv/Bq)  
 $M$  : 呼吸率 (作業) (m<sup>3</sup>/s)

$$D_4 = C_{surf} \cdot K_{in} \cdot F \cdot M \cdot T \quad (\text{数式 7})$$

- $D_4$  : 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 (mSv)
- $F$  : 再浮遊率 ( $\text{m}^{-1}$ )

●評価モデル (公衆)

公衆に対しては、火災によるプルームが大気条件に従ってガウスプルームモデルで拡散し、地表に至った濃度を用いて被ばく線量を評価した。ガウスプルームモデルでは大気の状態によって濃度分布が変化するため、以下のパラメータについては既往の評価と同様に感度解析を行い、最も被ばく線量が高くなる条件を求めた。

- ・大気安定度 : A 型 (不安定), D 型 (中立), F 型 (安定)
- ・火災プルーム上昇高さ : 100 m、200 m、500 m
- ・ガウスプルームモデル

$$\chi(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot U} \cdot \exp\left(-\lambda \frac{x}{U}\right) \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \left[ \exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] \quad (\text{数式 8})$$

- $\chi(x, y, z)$  : 点(x, y, z)における放射性物質の濃度 ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ )
- $Q$  : 放出率 ( $\text{Bq}/\text{s}$ ) (=汚染濃度×汚染飛散率×積算延焼面積÷延焼時間)
- $U$  : 放出源高さを代表する風速 ( $\text{m}/\text{s}$ )
- $\lambda$  : 放射性物質の物理的崩壊定数 ( $1/\text{s}$ )
- $H$  : 放出源の高さ (m)
- $\sigma_y$  : 濃度分布の y 方向の広がりのパラメータ (m)
- $\sigma_z$  : 濃度分布の z 方向の広がりのパラメータ (m)

評価に用いた式を以下に示す。

$$D_1 = K \cdot \frac{E_\gamma}{0.5} \cdot Q_{Cs} \cdot \frac{D}{Q} \cdot 1000 \quad (\text{数式 9})$$

- $D_1$  : プルーム中の Cs からの  $\gamma$  線による外部被ばく (mSv)

- $K$  : 空気カーマから実効線量への換算係数 (Sv/Gy)  
 $E_\gamma$  :  $\gamma$  線実効エネルギー (MeV)  
 $Q_{Cs}$  : 延焼期間 (=被ばく時間) 内に火災によって大気に放出される Cs 量 (Bq)  
 $D/Q$  : 相対線量 (Gy/Bq)

$$D_2 = K_{ex} \cdot Q_{Cs} \cdot \frac{\chi}{Q} \cdot V \cdot f \cdot T \cdot 1000$$

(数式 10)

- $D_2$  : 地表沈着した Cs からの  $\gamma$  線による外部被ばく (mSv)  
 $K_{ex}$  : 地表沈着による実効線量係数 (成人) (Sv/s per Bq/m<sup>3</sup>)  
 $\chi/Q$  : 相対濃度 (s/m<sup>3</sup>)  
 $V$  : 沈着速度 (m/s)  
 $f$  : 残存割合 (-)

$$D_3 = M \cdot K_{in} \cdot Q_{Cs} \cdot \frac{\chi}{Q}$$

(数式 11)

- $D_3$  : プルーム中の Cs の吸入摂取による内部被ばく (mSv)  
 $M$  : 呼吸率 (一般公衆・成人) (m<sup>3</sup>/s)

$$D_4 = M \cdot K_{in} \cdot F \cdot Q_{Cs} \cdot \frac{\chi}{Q} \cdot V \cdot f \cdot T$$

(数式 12)

- $D_4$  : 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 (mSv)

3) 評価パラメータ

評価に用いるパラメータを表 26 に示す。

表 26 再生資材の土地造成への利用（災害時：火災）に係る評価経路パラメータ

パラメータ	数値	出典
半無限体積に対する線量係数 (Sv/s per Bq/m <sup>3</sup> )	Cs-134 : 6.8E-14	FGR-12 (EPA-402-R-93-081) <sup>(40)</sup>
	Cs-137 : 2.4E-14	
無限平板に対する線量係数 (Sv/s per Bq/m <sup>2</sup> )	Cs-134 : 1.4E-15	
	Cs-137 : 5.3E-16	
内部被ばく線量換算係数 (成人) (mSv/Bq)	Cs-134 : 2.0E-05	環境放射線モニタリング指針 <sup>(41)</sup>
	Cs-137 : 3.9E-05	
呼吸率 (作業) (m <sup>3</sup> /s)	3.3E-4	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。
延焼速度と風速の比 (-)	0.1	
線源の拡がり	半径 252 m、 高さ 100 m、200 m、500 m	20 ha 相当の円の半径
空気カーマから実効線量への換算係数 (Sv/Gy)	1	
γ 線実効エネルギー (MeV)	Cs-134 : 1.56	一般公衆線量評価 <sup>(42)</sup>
	Cs-137 : 0.60	
地表沈着による実効線量係数 (成人) (Sv/s per Bq/m <sup>3</sup> )	Cs-134 : 1.4E-15	FGR-12(EPA-402-R-93-081)
	Cs-137 : 5.3E-16	
相対濃度 (s/m <sup>3</sup> )	評価位置に応じて設定	JAERI-M-90-206 <sup>(43)</sup>
沈着速度 (m/s)	0.01	一般公衆線量評価
残存割合 (-)	1.0	保守的に設定
呼吸率 (成人) (m <sup>3</sup> /s)	2.57E-4	安全評価指針 <sup>(44)</sup> で示されている一般公衆の呼吸率 22.2 m <sup>3</sup> /d を元に算出した。
再浮遊率 (m <sup>-1</sup> )	1.0E-06	一般公衆線量評価
プルーム中への Cs の飛散率	1	保守的に全ての Cs が飛散すると仮定した。
被ばく時間 (s)	86400	延焼期間 (1 日) と同じとした。

4) 評価結果

表 27～表 32 に、Cs-134 と Cs-137 の和（全 Cs）による単位濃度（1 Bq/g）あたりの被ばく線量を示す。最も被ばく線量が高くなるのは、消防士：線源の高さ方向の広がり 100 m、公衆：大気安定度 A、放出高さ 100 m の場合であった。

表 33～表 35 に、各評価経路の Cs-134、Cs-137 および全 Cs（=Cs-134+Cs-137）の単位濃度（1 Bq/g）あたりの被ばく線量を評価した結果を示す。また、4,000 Bq/kg と 7,000 Bq/kg の再生資材を使用した場合の被ばく線量も併せて示す。

評価の結果、7,000 Bq/kg の再生資材を使用した場合の年間被ばく線量でも最大で針葉樹で  $7.6 \times 10^{-4}$  mSv/y、広葉樹（間伐）で  $2.2 \times 10^{-4}$  mSv/y、広葉樹（無間伐）で  $2.3 \times 10^{-4}$  mSv/y であり、濃度レベル算出のための線量のみやす値 1 mSv/y を大きく下回った。

表 27 全 Cs に対する単位濃度あたりの被ばく線量、針葉樹（消防士）  
(mSv/y per Bq/g)

被ばく時間	経路No.	線源の高さ方向の広がり(m)			
		100	200	500	1000
1日 (24時間)	1	2.0E-07	1.0E-07	4.0E-08	2.0E-08
	2	4.4E-06	4.4E-06	4.4E-06	4.4E-06
	3	1.1E-04	5.4E-05	2.2E-05	1.1E-05
	4	1.1E-07	1.1E-07	1.1E-07	1.1E-07

表 28 全 Cs に対する単位濃度あたりの被ばく線量、広葉樹・間伐（消防士）  
(mSv/y per Bq/g)

被ばく時間	経路No.	線源の高さ方向の広がり(m)			
		100	200	500	1000
1日 (24時間)	1	5.7E-08	2.9E-08	1.1E-08	5.7E-09
	2	1.3E-06	1.3E-06	1.3E-06	1.3E-06
	3	3.1E-05	1.6E-05	6.2E-06	3.1E-06
	4	3.1E-08	3.1E-08	3.1E-08	3.1E-08

表 29 全 Cs に対する単位濃度あたりの被ばく線量、広葉樹・無間伐（消防士）  
(mSv/y per Bq/g)

被ばく時間	経路No.	線源の高さ方向の広がり(m)			
		100	200	500	1000
1日 (24時間)	1	6.0E-08	3.0E-08	1.2E-08	6.0E-09
	2	1.3E-06	1.3E-06	1.3E-06	1.3E-06
	3	3.2E-05	1.6E-05	6.5E-06	3.2E-06
	4	3.2E-08	3.2E-08	3.2E-08	3.2E-08

表 30 全 Cs に対する単位濃度あたりの被ばく線量、針葉樹（一般公衆）(mSv/y per Bq/g)

大気安定度A 最大濃度地点 (D2,D3,D4) H=100(@400m) H=200(@700m) H=500(@1km)	被ばく時間	経路No.	放出高さ H(m)		
			100	200	500
	1日 (24時間)	5※	1.4E-08	1.4E-08	1.4E-08
		6	1.9E-07	6.8E-08	1.7E-08
		7	4.2E-06	1.5E-06	3.8E-07
		8	3.7E-09	1.3E-09	3.3E-10
大気安定度D 最大濃度地点 (D2,D3,D4) H=100(@3km) H=200(@7km) H=500(@30km)	No.	放出高さ H(m)			
		100	200	500	
	1日 (24時間)	5※	1.2E-08	1.2E-08	1.2E-08
		6	7.8E-08	1.5E-08	1.2E-09
		7	1.7E-06	3.2E-07	2.7E-08
		8	1.5E-09	2.8E-10	2.3E-11
大気安定度F 最大濃度地点 (D2,D3,D4) H=100(@20km) H=200(@100km) H=500(@300km)	No.	放出高さ H(m)			
		100	200	500	
	1日 (24時間)	5※	1.2E-08	1.2E-08	1.2E-08
		6	2.4E-08	1.4E-09	5.1E-14
		7	5.3E-07	3.1E-08	1.1E-12
		8	4.6E-10	2.7E-11	9.7E-16

※ 経路No.5は、大気安定度A・放出高さ500mの条件では放出源から700m、大気安定度D・放出高さ500mの条件では放出源から7km、大気安定度Fの条件では放出源から7kmの地点で最大濃度をとる。

表 31 全 Cs に対する単位濃度あたりの被ばく線量、広葉樹・間伐（一般公衆）  
(mSv/y per Bq/g)

大気安定度A 最大濃度地点 (D2,D3,D4) H=100(@400m) H=200(@700m) H=500(@1km)	被ばく時間	経路No.	放出高さ H(m)		
			100	200	500
	1日 (24時間)	5※	4.1E-09	4.1E-09	4.1E-09
		6	5.6E-08	2.0E-08	5.0E-09
		7	1.2E-06	4.3E-07	1.1E-07
		8	1.1E-09	3.7E-10	9.5E-11
大気安定度D 最大濃度地点 (D2,D3,D4) H=100(@3km) H=200(@7km) H=500(@30km)	No.	放出高さ H(m)			
		100	200	500	
	1日 (24時間)	5※	3.6E-09	3.6E-09	3.6E-09
		6	2.3E-08	4.2E-09	3.5E-10
		7	4.9E-07	9.3E-08	7.7E-09
		8	4.3E-10	8.0E-11	6.7E-12
大気安定度F 最大濃度地点 (D2,D3,D4) H=100(@20km) H=200(@100km) H=500(@300km)	No.	放出高さ H(m)			
		100	200	500	
	1日 (24時間)	5※	3.6E-09	3.6E-09	3.6E-09
		6	7.0E-09	4.1E-10	1.5E-14
		7	1.5E-07	9.0E-09	3.2E-13
		8	1.3E-10	7.8E-12	2.8E-16

※ 経路No.5は、大気安定度A・放出高さ500mの条件では放出源から700m、大気安定度D・放出高さ500mの条件では放出源から7km、大気安定度Fの条件では放出源から7kmの地点で最大濃度をとる。

表 32 全 Cs に対する単位濃度あたりの被ばく線量、広葉樹・無間伐（一般公衆）  
(mSv/y per Bq/g)

大気安定度A 最大濃度地点 (D2,D3,D4) H=100(@400m) H=200(@700m) H=500(@1km)	被ばく時間	経路No.	放出高さ H(m)		
			100	200	500
大気安定度A 最大濃度地点 (D2,D3,D4) H=100(@400m) H=200(@700m) H=500(@1km)	1日 (24時間)	5※	4.3E-09	4.3E-09	4.3E-09
		6	5.8E-08	2.0E-08	5.2E-09
		7	1.3E-06	4.5E-07	1.1E-07
		8	1.1E-09	3.8E-10	9.8E-11
大気安定度D 最大濃度地点 (D2,D3,D4) H=100(@3km) H=200(@7km) H=500(@30km)	1日 (24時間)	No.	放出高さ H(m)		
			100	200	500
大気安定度D 最大濃度地点 (D2,D3,D4) H=100(@3km) H=200(@7km) H=500(@30km)	1日 (24時間)	5※	3.7E-09	3.7E-09	3.7E-09
		6	2.3E-08	4.4E-09	3.7E-10
		7	5.1E-07	9.6E-08	8.0E-09
		8	4.4E-10	8.3E-11	6.9E-12
大気安定度F 最大濃度地点 (D2,D3,D4) H=100(@20km) H=200(@100km) H=500(@300km)	1日 (24時間)	No.	放出高さ H(m)		
			100	200	500
大気安定度F 最大濃度地点 (D2,D3,D4) H=100(@20km) H=200(@100km) H=500(@300km)	1日 (24時間)	5※	3.7E-09	3.7E-09	3.7E-09
		6	7.2E-09	4.3E-10	1.5E-14
		7	1.6E-07	9.4E-09	3.4E-13
		8	1.4E-10	8.1E-12	2.9E-16

※ 経路No.5は、大気安定度A・放出高さ500mの条件では放出源から700m、大気安定度D・放出高さ500mの条件では放出源から7km、大気安定度Fの条件では放出源から7kmの地点で最大濃度をとる。

表 33 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 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	消防士(ブルーム)外部	1.3E-12	2.4E-07	2.0E-07	5.0E+09	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	2.3E+08	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	9.3E+06	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	9.3E+09	4.3E-07	7.6E-07
5	公衆(ブルーム)外部	8.6E-14	1.7E-08	1.4E-08	7.0E+10	5.7E-08	1.0E-07
6	公衆(地表沈着)外部	1.2E-12	2.3E-07	1.9E-07	5.2E+09	7.8E-07	1.4E-06
7	公衆(ブルーム)内部	5.1E-12	5.1E-06	4.2E-06	2.4E+08	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	2.7E+11	1.5E-08	2.6E-08



表 34 評価結果（土取場の環境回復、広葉樹・間伐（災害時：火災））

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	消防士(ブルーム)外部	1.8E-15	6.9E-08	5.7E-08	1.7E+10	2.3E-07	4.0E-07
2	消防士(地表沈着)外部	3.8E-14	1.5E-06	1.3E-06	7.9E+08	5.1E-06	8.9E-06
3	消防士(ブルーム)内部	1.8E-13	3.8E-05	3.1E-05	3.2E+07	1.2E-04	2.2E-04
4	消防士(沈着再浮遊)内部	1.8E-16	3.8E-08	3.1E-08	3.2E+10	1.2E-07	2.2E-07
5	公衆(ブルーム)外部	1.2E-16	5.0E-09	4.1E-09	2.4E+11	1.6E-08	2.9E-08
6	公衆(地表沈着)外部	1.7E-15	6.8E-08	5.6E-08	1.8E+10	2.2E-07	3.9E-07
7	公衆(ブルーム)内部	7.1E-15	1.5E-06	1.2E-06	8.2E+08	4.9E-06	8.6E-06
8	公衆(沈着再浮遊)内部	6.1E-18	1.3E-09	1.1E-09	9.5E+11	4.2E-09	7.4E-09

表 35 評価結果（土取場の環境回復、広葉樹・無間伐（災害時：火災））

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	消防士(ブルーム)外部	1.9E-15	7.2E-08	6.0E-08	1.7E+10	2.4E-07	4.2E-07
2	消防士(地表沈着)外部	3.9E-14	1.6E-06	1.3E-06	7.6E+08	5.3E-06	9.2E-06
3	消防士(ブルーム)内部	1.9E-13	3.9E-05	3.2E-05	3.1E+07	1.3E-04	2.3E-04
4	消防士(沈着再浮遊)内部	1.9E-16	3.9E-08	3.2E-08	3.1E+10	1.3E-07	2.3E-07
5	公衆(ブルーム)外部	1.3E-16	5.1E-09	4.3E-09	2.3E+11	1.7E-08	3.0E-08
6	公衆(地表沈着)外部	1.7E-15	7.0E-08	5.8E-08	1.7E+10	2.3E-07	4.1E-07
7	公衆(ブルーム)内部	7.4E-15	1.5E-06	1.3E-06	7.9E+08	5.1E-06	8.9E-06
8	公衆(沈着再浮遊)内部	6.4E-18	1.3E-09	1.1E-09	9.1E+11	4.4E-09	7.7E-09

### (3) 異常降雨（豪雨）

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。評価経路は供用時と同じ想定であるが、浸透水量として、クリアランス評価のパラメータ設定において最大値とされている 1 m/y を用いて評価した。

表 36 と表 37 に地下水移行の評価結果を示す。浸透水量が増加したことにより、供用時と比べて、1 mSv/y 相当濃度はおよそ 1/2.5、4,000Bq/kg または 7,000Bq/kg の再生資材を使用した場合の被ばく線量はおおよそ 2.5 倍となった。しかし、最大値となった農作物摂取(成人)においても、7,000Bq/kg の再生資材を使用した場合の被ばく線量が  $1.5 \times 10^{-3}$  mSv/y であり、目安線量である 1 mSv/y を大きく下回った。また、草本植栽と木本植栽で有意な差はみられなかった。

表 36 評価結果 (地下水移行、草本植栽、(災害時：異常降雨(豪雨)))

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	飲料水摂取(成人)	1.1E-05	1.1E-04	8.9E-05	1.1E+07	3.6E-04	6.2E-04
2	飲料水摂取(子ども)	1.5E-06	1.6E-05	1.3E-05	7.4E+07	5.4E-05	9.4E-05
3	地下水利用農耕作業外部	2.3E-06	1.1E-04	9.2E-05	1.1E+07	3.7E-04	6.4E-04
4	地下水利用農耕作業吸入	1.1E-10	1.0E-08	8.7E-09	1.2E+11	3.5E-08	6.1E-08
5	地下水利用農作物摂取(成人)	7.7E-06	2.6E-04	2.2E-04	4.7E+06	8.6E-04	1.5E-03
6	地下水利用農作物摂取(子ども)	2.8E-06	1.1E-04	8.9E-05	1.1E+07	3.5E-04	6.2E-04
7	飼料經由畜産物摂取(成人)	1.0E-05	2.5E-04	2.1E-04	4.8E+06	8.4E-04	1.5E-03
8	飼料經由畜産物摂取(子ども)	5.0E-06	1.3E-04	1.1E-04	9.1E+06	4.4E-04	7.7E-04
9	飼育水經由畜産物摂取(成人)	1.5E-06	1.5E-05	1.2E-05	8.0E+07	5.0E-05	8.7E-05
10	飼育水經由畜産物摂取(子ども)	7.0E-07	7.5E-06	6.3E-06	1.6E+08	2.5E-05	4.4E-05
11	養殖淡水産物摂取(成人)	6.2E-06	6.0E-05	5.1E-05	2.0E+07	2.0E-04	3.6E-04
12	養殖淡水産物摂取(子ども)	2.5E-06	2.6E-05	2.2E-05	4.5E+07	8.9E-05	1.6E-04

表 37 評価結果 (地下水移行、木本植栽、(災害時：異常降雨(豪雨)))

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	飲料水摂取(成人)	1.1E-05	1.1E-04	8.9E-05	1.1E+07	3.6E-04	6.2E-04
2	飲料水摂取(子ども)	1.5E-06	1.6E-05	1.3E-05	7.5E+07	5.4E-05	9.4E-05
3	地下水利用農耕作業外部	2.3E-06	1.1E-04	9.1E-05	1.1E+07	3.7E-04	6.4E-04
4	地下水利用農耕作業吸入	1.1E-10	1.0E-08	8.6E-09	1.2E+11	3.5E-08	6.0E-08
5	地下水利用農作物摂取(成人)	7.7E-06	2.6E-04	2.1E-04	4.7E+06	8.6E-04	1.5E-03
6	地下水利用農作物摂取(子ども)	2.8E-06	1.1E-04	8.8E-05	1.1E+07	3.5E-04	6.2E-04
7	飼料經由畜産物摂取(成人)	1.0E-05	2.5E-04	2.1E-04	4.8E+06	8.3E-04	1.5E-03
8	飼料經由畜産物摂取(子ども)	5.0E-06	1.3E-04	1.1E-04	9.1E+06	4.4E-04	7.7E-04
9	飼育水經由畜産物摂取(成人)	1.5E-06	1.5E-05	1.2E-05	8.0E+07	5.0E-05	8.7E-05
10	飼育水經由畜産物摂取(子ども)	7.0E-07	7.5E-06	6.3E-06	1.6E+08	2.5E-05	4.4E-05
11	養殖淡水産物摂取(成人)	6.2E-06	6.0E-05	5.1E-05	2.0E+07	2.0E-04	3.6E-04
12	養殖淡水産物摂取(子ども)	2.5E-06	2.6E-05	2.2E-05	4.5E+07	8.9E-05	1.6E-04

<参考文献>

- (1) 武田聖司、菅野光大、佐々木利久、水無瀬直史、木村英雄. “ウラン及び TRU 核種を含む放射性廃棄物に対するクリアランスレベル評価コードシステム PASCLR 第 2 版の開発”. JAEA-Data/Code2006-003(2006)
- (2) Yukio SAKAMOTO and Shun-ichi TANAKA. “QAD-CGGP2 and G33-GP2: Revised Versions of QAD-CGGP AND G33-GP”. JAERI-M90-110(1990)
- (3) X-5 Monte Carlo Team, MCNP-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5, LA-UR-03-1987
- (4) 建設物価調査会、国土交通省土木工事積算基準、平成 28 年度版
- (5) 国土交通省都市局公園緑地・景観課の植栽基盤の整備手順(案)等
- (6) 東日本大震災復旧・復興事業に伴う盛土材確保に係るガイドライン(案) (宮城県)、  
(<https://www.pref.miyagi.jp/uploaded/attachment/118000.pdf>)
- (7) 相双管内公設土取場(相馬)の運用を開始します (福島県土木部、2015.4.6)、  
(<https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/110415.pdf>)
- (8) 東亜建材工業株式会社 美沢土取場、Google マップから、  
(<http://toakenzai.com/profile/map.html>)
- (9) 大牟田地区(昭和開北部第二地区)農用地土壌汚染対策計画書(案)、  
([http://www.pref.fukuoka.lg.jp/uploaded/life/226333\\_52014222\\_misc.pdf](http://www.pref.fukuoka.lg.jp/uploaded/life/226333_52014222_misc.pdf))
- (10) 市長への公開質問状の回答に対する意見書(市へ提出)、「最終処分場建設候補地についての公開質問状」の回答に対する意見書、  
(<http://suzaka-gomikangaeru.jimdo.com/>「市長への公開質問状の回答に対する意見書(市へ提出).pdf」)
- (11) 土採取計画認可申請書類作成要領マニュアル、  
(<https://www.pref.chiba.lg.jp/sanshin/tetsuzuki/documents/tuchisakuseimannual-1.pdf>)
- (12) 土採取に関する技術基準、  
(<https://www.pref.shizuoka.jp/kensetsu/ke-520/documents/tutisaisyugijutukijun.pdf>)
- (13) 土石類採取の手引き、(<http://www.pref.nara.jp/13015.htm>)
- (14) 日本道路協会、「道路橋示方書 (I 共通編)・同解説」、平成 2 年
- (15) 境川遊水地公園維持管理基準書、  
(<http://www.pref.kanagawa.jp/uploaded/attachment/682318.pdf>)
- (16) 県立座間谷戸山公園 平成 24 年度事業計画書、  
(<http://www.kanagawa-park.or.jp/pdf/h24/zamayato.pdf>)
- (17) 公園の維持と管理 (柏市)、

- ([http://www.city.kashiwa.lg.jp/soshiki/020300/p007263\\_d/fil/220815-45.pdf](http://www.city.kashiwa.lg.jp/soshiki/020300/p007263_d/fil/220815-45.pdf))
- (18) 公園緑地の維持管理 (川崎市)、  
(<http://www.city.kawasaki.jp/530/cmsfiles/contents/0000021/21486/ijikanri.pdf>)
- (19) 塚山公園維持管理基準、  
(<http://www.pref.kanagawa.jp/uploaded/attachment/682135.pdf>)
- (20) 柏市パークマネジメントプラン、  
([http://www.city.kashiwa.lg.jp/soshiki/110900/p010591\\_d/fil/kashiwa-pmp-kanrimanual.pdf](http://www.city.kashiwa.lg.jp/soshiki/110900/p010591_d/fil/kashiwa-pmp-kanrimanual.pdf))
- (21) 亀戸中央公園、東京都東部7公園、草刈作業のお知らせ、  
(<http://tokyo-eastpark.com/kameido/%E8%8D%89%E5%88%88%E4%BD%9C%E6%A5%AD%E3%81%AE%E3%81%8A%E7%9F%A5%E3%82%89%E3%81%9B-2/>)
- (22) 東京都立東京港野鳥公園、環境管理作業のお知らせ、  
(<http://www.wildbirdpark.jp/information.html>)
- (23) 宇喜田公園、東京都東部7公園、草刈作業のお知らせ、  
(<http://tokyo-eastpark.com/ukita/%E8%8D%89%E5%88%88%E3%82%8A%E4%BD%9C%E6%A5%AD%E3%81%AE%E3%81%8A%E7%9F%A5%E3%82%89%E3%81%9B/>)
- (24) 東北森林局(宮城南部森林計画区) 第五次国有林野施業実施計画書(計画期間 自平成27年4月1日 至 平成32年3月31日) 別表 収穫予想表 施業群:アカマツ施業群
- (25) 澤口拓磨、武田聖司、木村英雄、田中 忠夫、「汚染された災害廃棄物等の再利用に向けた取り組み,1; 海岸防災林の盛土材への再利用にかかわる線量評価」、日本原子力学会バックエンド部会第29回バックエンド夏期セミナー資料集、H25年8月7-8日
- (26) 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)、  
([https://www.jaea.go.jp/fukushima/kankyoanzen/guideline\\_report.html](https://www.jaea.go.jp/fukushima/kankyoanzen/guideline_report.html))
- (27) 井川原 弘一、中川 一、「針葉樹人工林のリターフォール量と含有炭素量・窒素量」岐阜県森林研研報、31 (2002) 7-12
- (28) 東北森林局(雄物川森林計画区) 第五次国有林野施業実施計画書 (計画期間 自平成27年4月1日 至 平成32年3月31日) 別表 「参考」施業群:ブナ二次林収穫予想表(ブナ成立本数50%以上の林分に適用)
- (29) 河原輝彦、森林生態系における炭素の循環 - リターフォール量とその分解速度を中心として - 、林試研報 Bull. For. & For. Prod. Res. Inst. No.334, 1985
- (30) 林野庁 \*27 林内作業に伴う粉じんの発生状況等

- (<http://www.rinya.maff.go.jp/j/press/kenho/pdf/120427-08.pdf>)
- (3 1) 南條正巳、農地土壌に対する東日本大震災の影響と対策、  
(<http://www.agri.tohoku.ac.jp/agri-revival/ocu6bi00000002cz-att/a1322803240058.pdf>)
- (3 2) 東北大学、東日本大震災：仙台市南東部における津波被災農地の視察、  
(<http://www.agri.tohoku.ac.jp/soil/jpn/2011/04/arahama.html>)
- (3 3) 大久保陽介 他、津波越流時における海岸堤防の洗掘に関する数値解析モデルの構築、土木学会論文集（海岸工学）、70(2) pp.I\_991-I\_995 (2014)
- (3 4) 独立行政法人原子力安全基盤機構、「警戒区域及び計画的避難区域内での大規模火災の影響評価に関する調査報告書」、JNES-RE-2011-0004、平成 24 年 2 月
- (3 5) 林野庁東北森林管理局、「別紙 能代の街を飛砂から守る海岸防災林造成事業(風の松原)」
- (3 6) 消防防災博物館ホームページ、「2 風水害の種類別の基礎知識 風倒木被害」、  
([http://www.bousaihaku.com/cgi-bin/hp/index2.cgi?ac1=B102&ac2=&ac3=4938&Page=hpd2\\_view](http://www.bousaihaku.com/cgi-bin/hp/index2.cgi?ac1=B102&ac2=&ac3=4938&Page=hpd2_view))
- (3 7) 北原曜、植生の表面侵食防止機能、砂防学会誌 54(5) pp.92-101 (2002)
- (3 8) 早川博、圃場の耕起方法の違いによる地表面流発生メカニズムの解明、  
([http://www.ric.or.jp/profile/works/kiyou/H25\\_3.pdf](http://www.ric.or.jp/profile/works/kiyou/H25_3.pdf))
- (3 9) 気象庁ホームページ、「災害をもたらした気象事例（平成元年～本年）」、  
([http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/index\\_1989.html](http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/index_1989.html))
- (4 0) Environmental Protection Agency, “External Exposure to Radionuclides in Air, Water and Soil”, Federal Guidance Report No.12, EPA 402-R-93-001, 1993
- (4 1) 原子力安全委員会、「環境放射線モニタリング指針」、平成 20 年 3 月、平成 22 年 4 月一部改訂
- (4 2) 原子力安全委員会、一般公衆線量評価「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」、平成元年 3 月 27 日了承、平成 13 年 3 月 29 日一部改訂
- (4 3) 滝光成、小林英雄、鈴木隆、清水勇、「排気筒から放出される放射性雲の等濃度分布図および放射性雲からの等 $\gamma$ 線量率分布図（II）」、JAERI-M-90-206、平成 2 年 11 月、  
(<http://jolissrch-inter.tokai-sc.jaea.go.jp/pdfdata/JAERI-M-90-206.pdf>)
- (4 4) 原子力安全委員会、「発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針」、昭和 56 年 7 月 20 日決定、平成 13 年 3 月 29 日一部改訂

土地造成事業における再生資材の利用に係る線量評価について  
- 追加被ばく線量が 0.01 mSv/y を超えないための覆土の厚さに係る検討 -

平成 29 年 4 月 26 日  
日本原子力研究開発機構

「土地造成事業における再生資材の利用に係る線量評価について」<sup>(1)</sup>での評価結果に対し、覆土等の厚さなどの施設設計による追加被ばく線量の低減について試算した。

「土地造成事業における再生資材の利用に係る線量評価について」<sup>(1)</sup>において、床堀型の土取場等(500m×500m×5m)の環境回復のために再生資材を埋戻材として利用し、植生に合わせた客土で被覆(覆土厚；草本類：30 cm、木本類：100 cm)後、植栽による緑地化を行った場合を想定し、被ばく経路を設定して被ばく線量を評価した。ここで、木本植栽においては、針葉樹と広葉樹(間伐)、広葉樹(無間伐)とに場合分けをして評価した。各評価ケースにおいて最も影響が大きい被ばく経路(決定経路)は埋戻し施工中の作業者の外部被ばくであり、1 mSv/y 相当となる放射能濃度レベルは 4,900 Bq/kg であった。また、一般公衆に対する決定経路は埋戻し施工中の周辺居住者(子ども)の外部被ばくであり、1 mSv/y 相当となる放射能濃度レベルは草本植栽において 7,400 Bq/kg、木本植栽において 7,600 Bq/kg であった。ここで、周辺居住者の被ばく線量は覆土厚さに影響されることから、草本植栽と木本植栽の各評価ケースにおいて覆土厚さを変化させた場合の被ばく線量を評価した。

草本植栽においては、埋戻材のみが線源となることを想定し、最も放射能濃度が高くなる植栽後 0 年のみで評価した。

木本植栽においては、覆土厚さが 100 cm の場合は「土地造成事業における再生資材の利用に係る線量評価について」の評価と同様に植栽後 2 年で根が再生資材に到達し、樹木が放射性 Cs を取り込む設定とした。一方、覆土厚さが 30 cm、40 cm、50 cm の評価においては、保守的に植栽後 0 年で樹木が放射性 Cs を取り込む設定とした。そのため、植栽後 0 年に対して、埋戻材に加え樹木も線源として設定した。加えて、放射性 Cs を含むリターフオールも植栽後 0 年から林床に移行し始めるとして堆積有機物層中の放射性 Cs 量を算出した。その他の条件については「土地造成事業における再生資材の利用に係る線量評価について」に準じて設定し、被ばく評価を行った。

図 1 に針葉樹、図 2 に広葉樹のケースにおいて覆土厚さを 30 cm、40 cm、50 cm、100 cm としたときの単位再生資材中濃度当たりの年間被ばく線量(周辺居住者(子ども))の経年変化を示す。いずれの木本植栽のケースにおいても、覆土厚さが 30 cm、40 cm、50 cm の場合は、放射性 Cs を取り込んだ樹木に起因する被ばくよりも埋戻材に起因する被ばくの影響が大きく、その結果植栽後 0 年での被ばく線量が最大値となった。一方、覆土厚さが 100 cm の場合は埋戻材からの放射線は十分遮蔽されて小さくなるため、樹木に起因する被ばく

の影響が大きくなり、針葉樹では 37 年・伐採前、広葉樹・間伐と広葉樹・無間伐では植栽後 49 年で最大値となった。

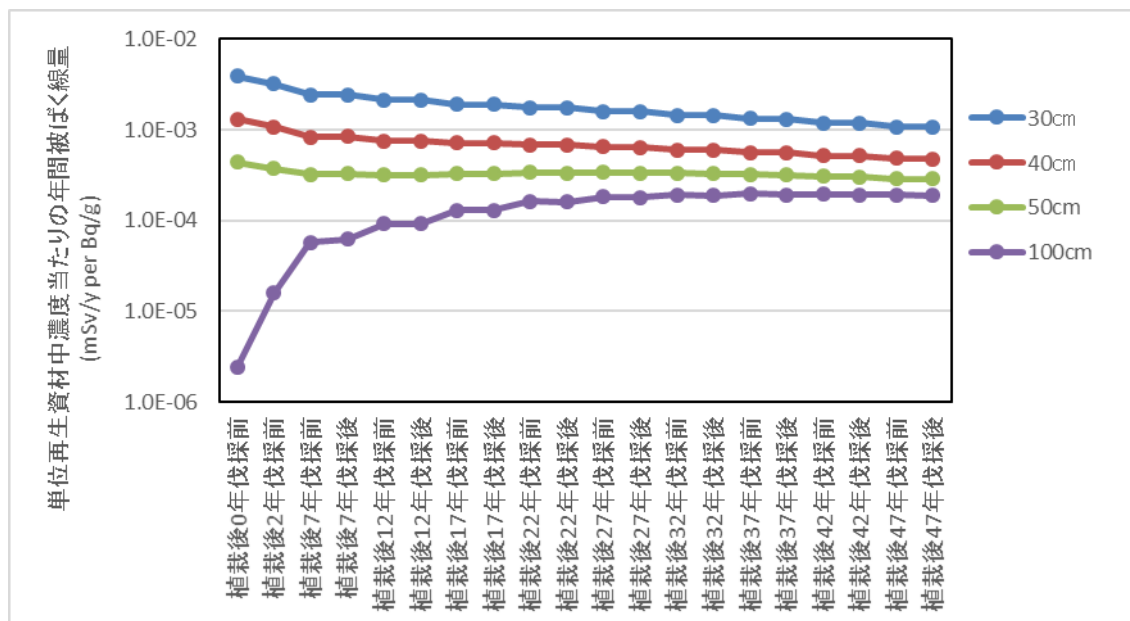


図 1 単位再生資材中濃度当たりの年間被ばく線量の経年変化(針葉樹)

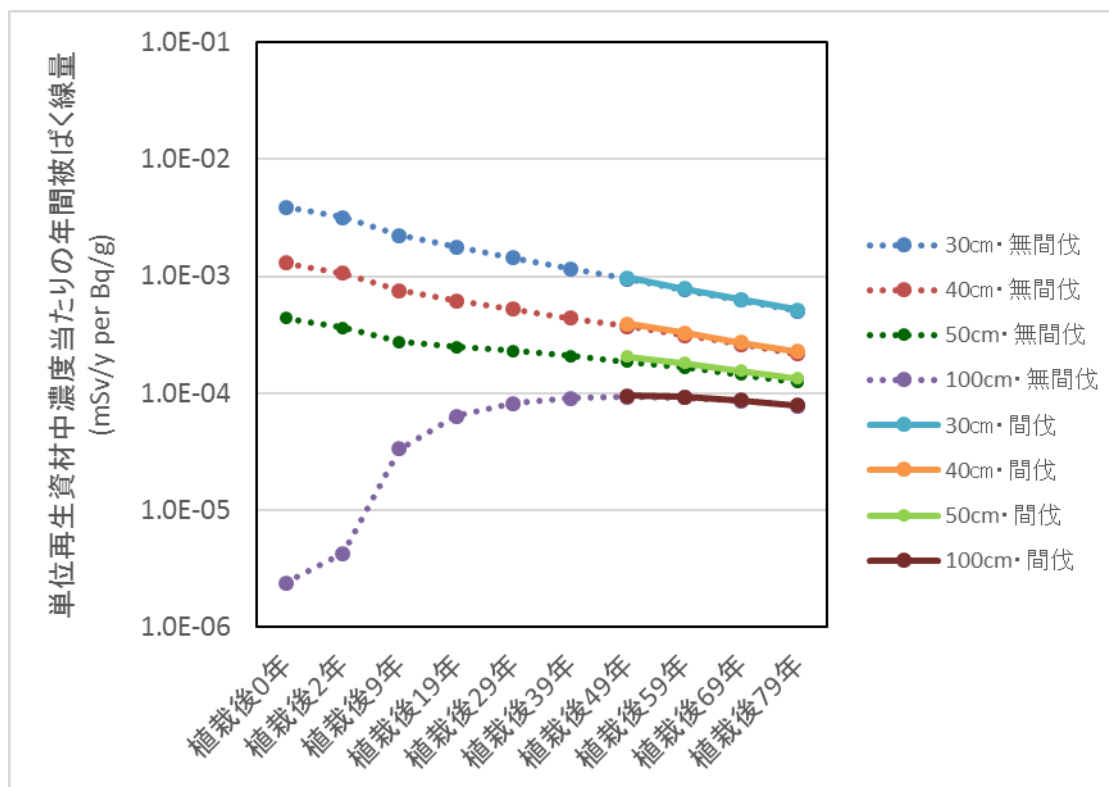


図 2 単位再生資材中濃度当たりの年間被ばく線量の経年変化(広葉樹(間伐・無間伐))

また、既往の評価で作業者の決定経路となった 4,900 Bq/kg と一般公衆の決定経路となった 7,400 Bq/kg(草本類)と 7,600 Bq/kg(木本類)に対して、埋戻しする再生資材の放射能濃度をより制限する設定とすることとして、4,000 Bq/kg と 7,000Bq/kg を再生資材の放射能濃度とした場合の一般公衆(子ども)の追加被ばく線量を表 1 に示す。なお、30 cm、40 cm、50 cm は植栽後 0 年、100 cm の針葉樹は植栽後 37 年・伐採前、広葉樹・間伐と広葉樹・無間伐は植栽後 49 年における評価結果である。

いずれのケースにおいても、覆土の厚さが 30 cm の場合は追加被ばく線量が 10  $\mu$  Sv/y を超えるが、覆土厚さが 40 cm 以上では 10  $\mu$  Sv/y を下回った。以上のことから、周辺居住者の追加被ばく線量を十分低減するためには 40 cm 以上の覆土が必要となることが分かった。

ただし、国土交通省都市局公園緑地・景観課の植栽基盤の整備手順(案)<sup>(2)</sup>によると、木本類を植栽するためには 100 cm 以上の植生基盤が必要であることから、こうした植生基盤としての条件も考慮しつつ土地造成における覆土等の厚さの設計を決める必要があると考えられる。

なお、7,000 Bq/kg の再生資材を利用する場合、覆土厚さに関わらず作業者の追加被ばく線量は 1 mSv/y を超える結果となった。そのため、当該用途に係る作業者に対しては被ばく管理を行う必要性が示唆された。

表 1 覆土等の厚さに応じた一般公衆(子ども)の追加被ばく線量

評価ケース	再生資材の放射能濃度 [Bq/kg]	覆土等の厚さに応じた一般公衆(子ども)の追加被ばく線量 (外部被ばく) [mSv/y]			
		30 cm	40 cm	50 cm	100 cm
草本類	4,000	0.016	0.0052	0.0018	—
	7,000	0.027	0.0091	0.0031	—
木本類 (針葉樹)	4,000	0.016	0.0052	0.0018	0.00079
	7,000	0.027	0.0091	0.0031	0.00140
木本類 (広葉樹・間伐)	4,000	0.016	0.0052	0.0018	0.00038
	7,000	0.027	0.0091	0.0031	0.00067
木本類 (広葉樹・無間伐)	4,000	0.016	0.0052	0.0018	0.00037
	7,000	0.027	0.0091	0.0031	0.00065

参考文献

- (1) 土地造成事業における再生資材の利用に係る線量評価について、日本原子力研究開発機構 2017年4月
- (2) 国土交通省都市局公園緑地・景観課の植栽基盤の整備手順(案)



土地造成事業における再生資材の利用に係る線量評価について  
- 火災評価における伐採木考慮の有無による評価結果比較 -

平成 29 年 4 月 26 日  
日本原子力研究開発機構

既往の海岸防災林の火災評価<sup>(1)</sup>では、立木の燃焼のみを想定し、伐採木の燃焼は考慮していない。しかし、伐採木の利用については想定しておらず、持ち出し等は行わず林床で保管する場合、火災発生時には立木に加えて伐採木も燃焼することが想定される。そこで、「土地造成事業における再生資材の利用に係る線量評価について」<sup>(2)</sup>では、立木に加え伐採木も燃焼したとして評価を行った。ここでは、伐採木の材積が多い針葉樹に対して、立木のみの燃焼を考慮する場合と立木と伐採木の燃焼を考慮する場合のそれぞれの評価結果を示し、その比較から伐採木を考慮した影響の程度について見積もった。

「土地造成事業における再生資材の利用に係る線量評価について」<sup>(2)</sup>では、針葉樹は植栽後 7 年目から 5 年毎に伐採を行うと想定し、各年度における 1ha 当たりの材積や本数、伐採木の材積などは東北森林局(宮城南部森林計画区)第五次国有林野施業実施計画書<sup>(3)</sup>のアカマツのデータをもとに設定した。また、植栽後 2 年で根が埋戻材に到達し<sup>(4)</sup>、移行係数<sup>(5)</sup>に従って埋戻材から樹木へ放射性 Cs が移行するとした。JENS が行った森林火災の評価<sup>(6)</sup>を参考に、延焼面積は 20 ha とした。立木に含まれる放射エネルギーと立木と伐採木に含まれる放射エネルギーはそれぞれ数式 (1) と数式 (2) に従って算出した。

立木に含まれる放射エネルギー = 1ha 当たりの立木の材積 × 20ha × 埋戻材濃度 × 移行係数 × 比重

数式 (1)

立木と伐採木に含まれる放射エネルギー = (1ha 当たりの立木の材積 +

1ha 当たりの伐採木の材積) × 20ha × 埋戻材濃度 × 移行係数 × 比重 数式 (2)

ここで、評価年 0 年における再生資材中の Cs-134 と Cs-137 の放射能濃度を 1 Bq/g とし、各年度における放射エネルギーを算出した。全 Cs 濃度は、評価年 0 年において、Cs-134 と Cs-137 の比が 0.209 : 1 であり、合計 1Bq/g であるとして算出した。本来、埋戻材から樹木へ Cs が移行すると埋戻材濃度は減少するが、この減少は考慮せず、埋戻材濃度は放射能の減衰のみによって変化するものとした。表 1 に各年度における燃焼面積内の立木に含まれる総放射エネルギーと立木と伐採木に含まれる総放射エネルギーの計算結果を示す。

表1 立木のみと立木と伐採木に含まれる総放射エネルギーの比較

評価年	埋戻材濃度(Bq/g)		立木に含まれる総放射エネルギー(Bq)			立木と伐採木に含まれる総放射エネルギー(Bq)		
	Cs-134	Cs-137	Cs-134	Cs-137	全Cs	Cs-134	Cs-137	全Cs
0	1.0E+00	1.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
2	5.1E-01	9.5E-01	8.4E+05	1.6E+06	2.4E+06	8.4E+05	1.6E+06	2.4E+06
7	9.5E-02	8.5E-01	5.4E+05	4.8E+06	5.4E+06	5.4E+05	4.8E+06	5.4E+06
12	1.8E-02	7.6E-01	1.1E+05	4.9E+06	5.0E+06	1.7E+05	7.5E+06	7.6E+06
17	3.3E-03	6.8E-01	4.3E+04	8.8E+06	8.9E+06	5.8E+04	1.2E+07	1.2E+07
22	6.1E-04	6.0E-01	1.1E+04	1.1E+07	1.1E+07	1.6E+04	1.6E+07	1.6E+07
27	1.1E-04	5.4E-01	2.5E+03	1.2E+07	1.2E+07	4.2E+03	2.0E+07	2.0E+07
32	2.1E-05	4.8E-01	5.3E+02	1.2E+07	1.2E+07	9.6E+02	2.2E+07	2.2E+07
37	3.9E-06	4.3E-01	1.1E+02	1.2E+07	1.2E+07	2.1E+02	2.3E+07	2.3E+07
42	7.3E-07	3.8E-01	2.3E+01	1.2E+07	1.2E+07	4.5E+01	2.3E+07	2.3E+07
47	1.4E-07	3.4E-01	4.7E+00	1.2E+07	1.2E+07	9.3E+00	2.3E+07	2.3E+07
52	2.5E-08	3.0E-01	9.4E-01	1.1E+07	1.1E+07	1.9E+00	2.3E+07	2.3E+07

(単位再生資材中濃度当たり)

表1に示す通り、立木のみを考慮した場合には最大の総放射エネルギーは37年後の1.2E+07 Bqであるのに対し、立木に加えて伐採木を考慮した場合には42年後の2.3E+07 Bqとなった。

そこで、対象とする樹木中の総放射エネルギーが最大となる時期に火災が発生するとして、消防士や周辺居住者の被ばく線量を評価した。評価方法は「土地造成事業における再生資材の利用に係る線量評価について」<sup>(2)</sup>に示す。再生資材中の放射能濃度が7,000 Bq/kgであった時の評価結果を図1(立木のみ)と図2(立木と伐採木)に示す。

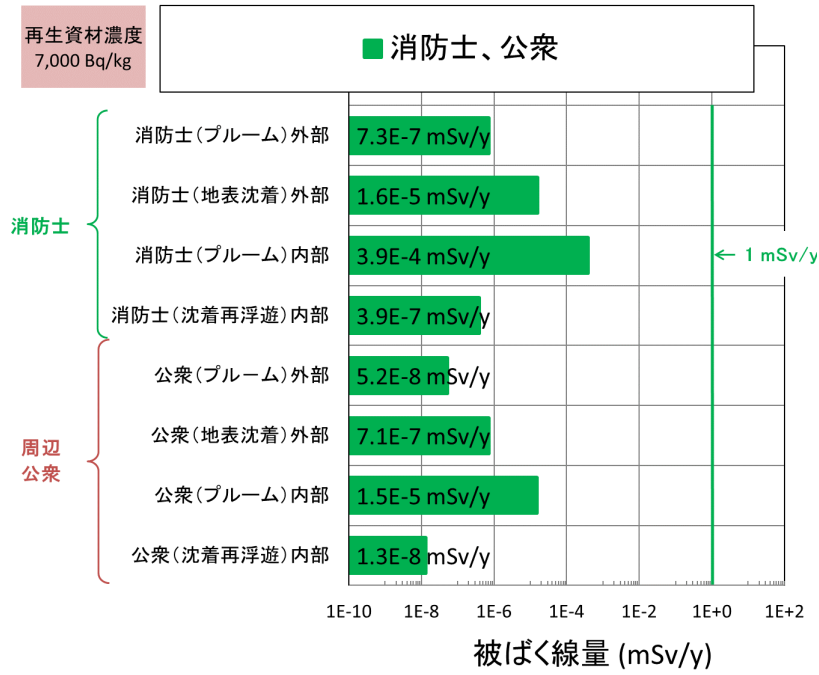


図1 立木のみを考慮した場合の火災時の消防士と公衆の被ばく線量結果

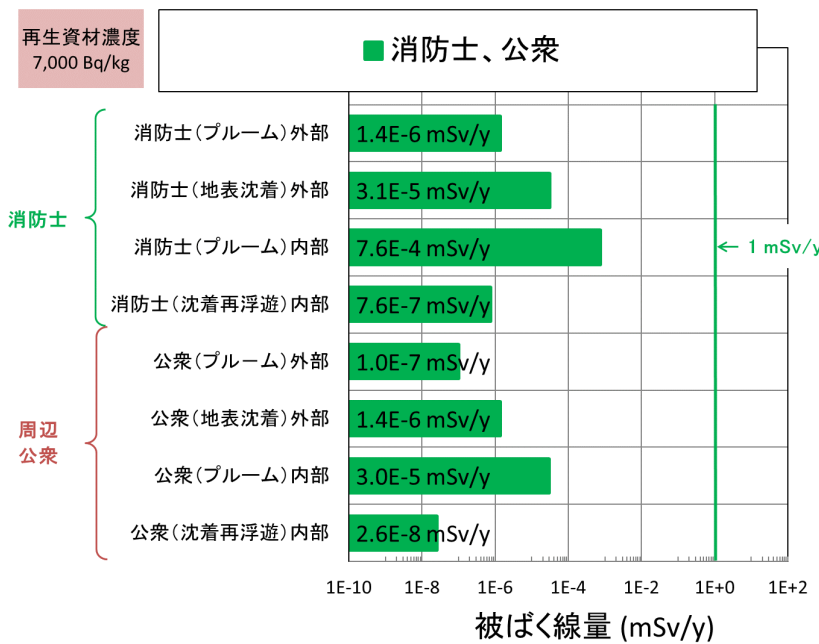


図2 立木と伐採木を考慮した場合の火災時の消防士と公衆の被ばく線量結果

より保守的に伐採木の燃焼も考慮したケースの被ばく線量は立木のみケースに比べて約2倍高くなる結果となった。しかし、どちらのケースにおいても、最大となる消防士のブルームによる内部被ばく線量は、1 mSv/y を十分下回ることが確認できた。

#### 参考文献

- (1) 植栽された土砂で被覆された盛土（例：海岸防災林）への再生資材の利用に係る線量評価について（災害時）、日本原子力研究開発機構、平成28年6月
- (2) 土地造成事業における再生資材の利用に係る線量評価について、日本原子力研究開発機構、平成29年4月
- (3) 東北森林局(宮城南部森林計画区)第五次国有林野施業実施計画書(計画期間 自平成27年4月1日至平成32年3月31日)別表 収獲予想表 施業群：アカマツ施業群
- (4) 澤口拓磨、武田聖司、木村英雄、田中 忠夫、「汚染された災害廃棄物等の再利用に向けた取り組み,1; 海岸防災林の盛土材への再利用にかかわる線量評価」、日本原子力学会バックエンド部会第29回バックエンド夏期セミナー資料集、H25年8月7-8日
- (5) K. Tagami and S. Uchida, Radiation and Environmental Biophysics,49, 583-590 (2010).
- (6) 独立行政法人原子力安全基盤機構、「警戒区域及び計画的避難区域内での大規模火災の影響評価に関する調査報告書」、JNES-RE-2011-0004、平成24年2月