

追加被ばく線量評価（案）について

平成30年3月29日
環境省

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）の薄青網掛部は、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	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					直接経口					
4		運搬作業		作業者	外部					
5				公衆（成人）	外部					
6		運搬経路周辺居住		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				公衆（子ども）	粉塵吸入					
12					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）	保全作業（草刈、伐採等作業）	埋戻材	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。				
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	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	

2

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（草本または木本植栽）	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	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。
19-1		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	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。
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上であるため、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プ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

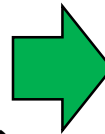
自然災害	検討結果	評価の必要性	備考
暴風・竜巻	暴風・竜巻による倒木で根返りが発生することが考えられるが、下記の理由から評価の対象から外した。 <草本植栽> 草本のみのため倒木は発生しない。 <木本植栽> 倒木による根返りの発生は考えられるが、覆土厚を1 mとしており露出の可能性は低いと想定される。倒れた樹木からの被ばくについては、伐採作業者に対する評価に代替される。 【参考】過去20年間の主な風倒木被害例(36) ・台風7号災(1998) - 大阪・奈良・和歌山、計4,552 ha ・台風18号災(1999) - 熊本・大分・鹿児島、計3,858 ha	×	
異常降雨 (豪雨)	草地や林地での侵食土深は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上であるため、既往の安全評価結果に含まれると考える。

被ばく線量評価パラメータ及び評価結果について

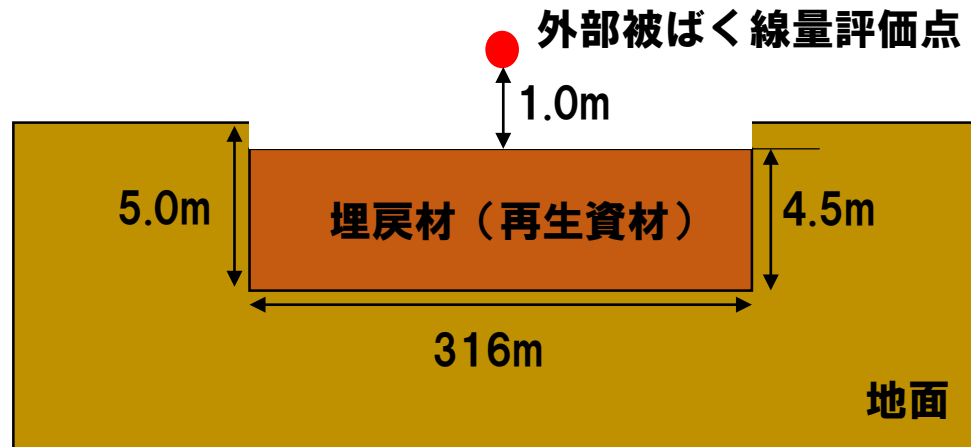
- 農地造成作業者の年間被ばく線量（決定経路）を評価し、農地において利用可能な再生資材濃度を評価
- 園芸作物と資源作物を栽培する農地において、農地造成作業者の外部被ばく線量評価は同様の評価体系となる

（1-1）農地造成作業者の外部被ばく線量

- ・ 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）
1.9E-01 [mSv/y] / [Bq/g]
- ・ 1年施工時の1mSv/y相当濃度
→5,225Bq/kg



農地造成作業者の外部被ばく線量評価体系

土地の嵩上げによる農地造成に係る被ばく線量評価について

- 農地造成の方法として、土地の嵩上げも想定されるため、再生資材濃度決定経路となる施工中の農地造成作業者と周辺居住者の年間被ばく線量も追加的に評価した。

(1-2) 農地造成作業者の外部被ばく線量

農地造成作業者

- ・ 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)
- ・ 外部被ばく線量換算係数 (¹³⁴Cs+¹³⁷Cs)
1.9E-01 [mSv/y] / [Bq/g]
- ・ 1年施工時の1mSv/y相当濃度
→5,100Bq/kg

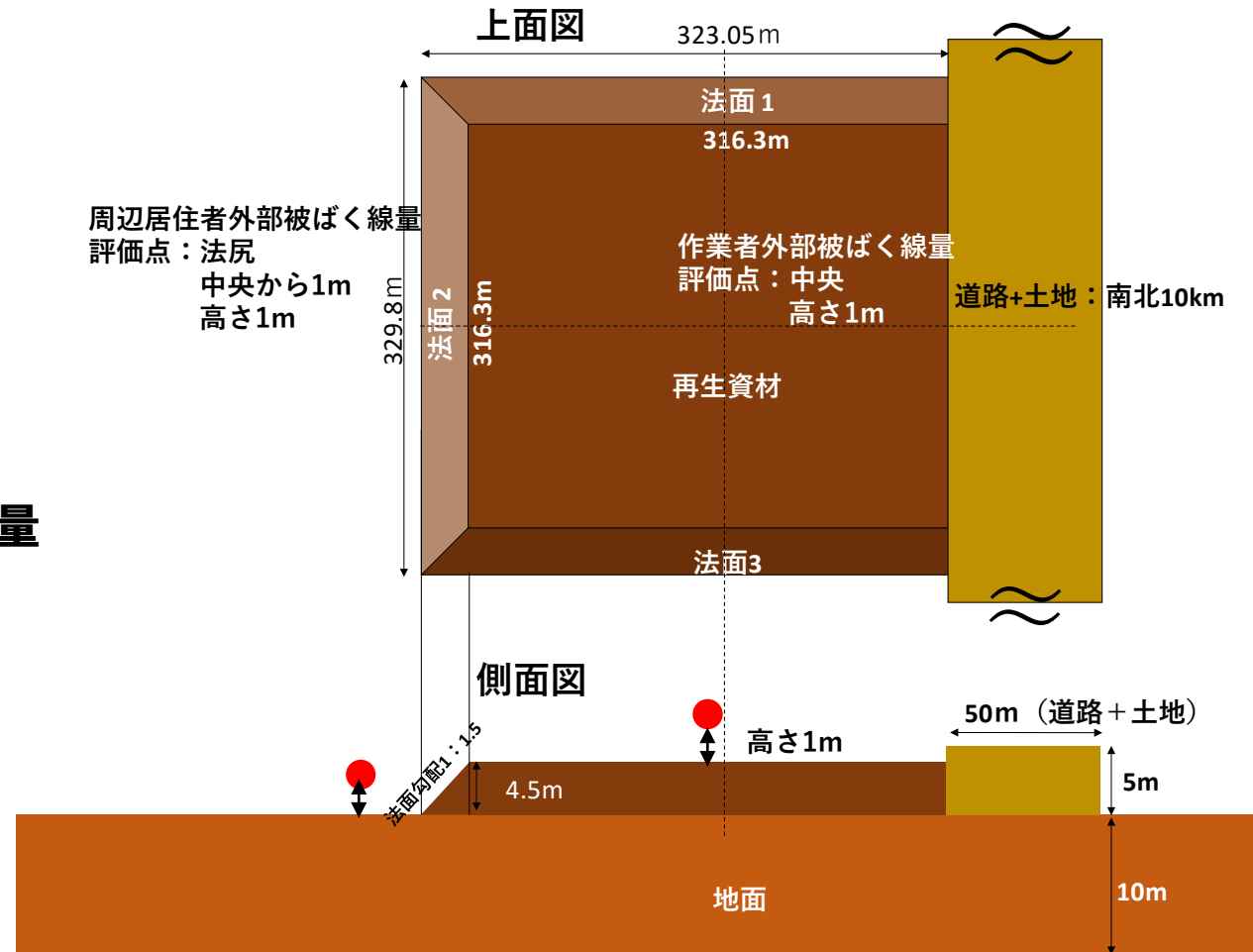
(1-3) 周辺居住者の外部被ばく線量

周辺居住者（成人）

- ・ 被ばく時間：8,760h/y
- ・ 遮蔽係数：0.2
- ・ 外部被ばく線量換算係数 (¹³⁴Cs+¹³⁷Cs)
1.3E-01 [mSv/y] / [Bq/g]
- ・ 1年施工時の1mSv/y相当濃度
→7,900Bq/kg

周辺居住者（子ども）

- ・ 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
→6,100Bq/kg



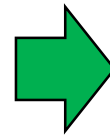
農地造成作業者の外部被ばく線量評価体系

被ばく線量評価パラメータ及び評価結果について

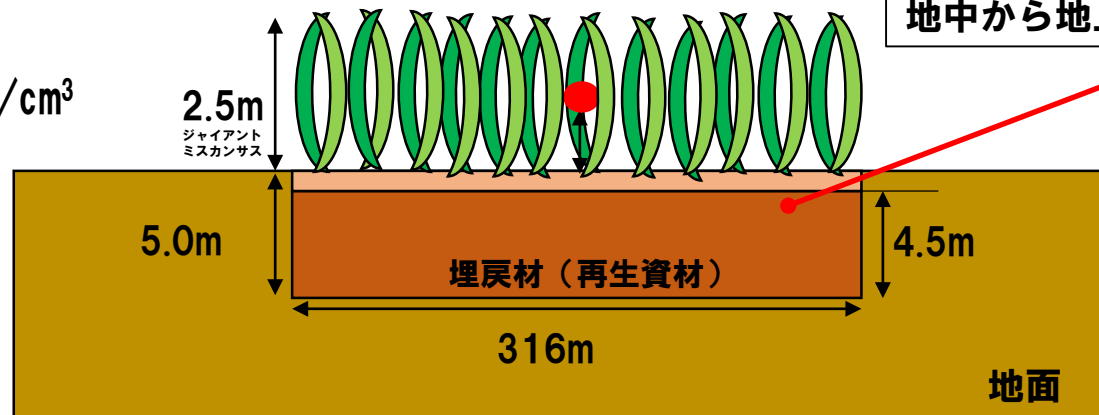
- 保全作業者の被ばく線量を評価
- 評価対象作物は移行係数、体系及び収量が多い資源作物（ジャイアント・ミスカンサス（GM））とした

（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は覆土中（Csを含まない土壌）であるため移行係数を0.5：2で按分
- ・ 移行係数 $5.4\text{E}-02$ を適用した。
- ・ 再生資材密度： $2.0\text{g}/\text{cm}^3$
- ・ 覆土密度： $1.5\text{g}/\text{cm}^3$



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



根の再生資材への到達によりCsが地中から地上へ移行することを想定

（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

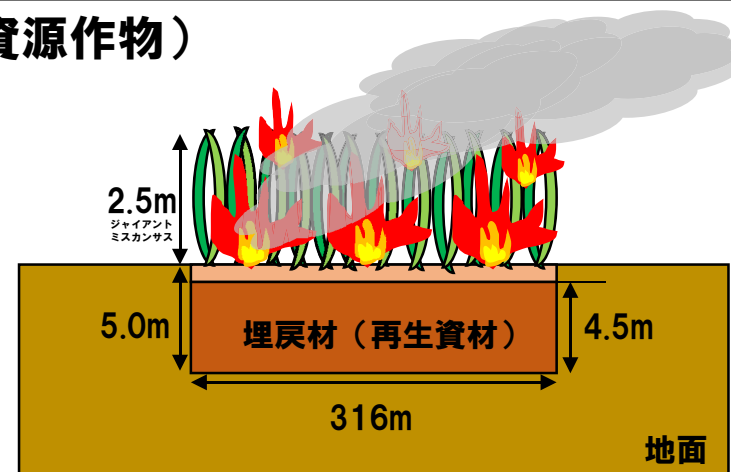
被ばく線量評価結果について（火災時）

➤ 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
- ・ プ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、公衆の被ばく線量は、いずれの被ばく経路においても1mSv/yを大きく下回った。



【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

火災時の被ばく評価モデル

- **消防士**：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。
- **一般公衆**：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。

○消防士

・外部被ばく線量（プルーム）： D_1 （ $\mu\text{Sv/y}$ ） ・外部被ばく線量（地表）： D_2 （ $\mu\text{Sv/y}$ ）

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

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

・内部被ばく線量（クラウド）： D_3 （ $\mu\text{Sv/y}$ ） ・内部被ばく線量（再浮遊）： D_4 （ $\mu\text{Sv/y}$ ）

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

$$D_4 = C_{surf} \cdot K_{in} \cdot F \cdot M \cdot T$$

C_{surf}	地表面のCs濃度(Bq/m ²)
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 ³)
T	被ばく時間(s)
DF_2	無限平板の線源に対する線量係数(Sv/s per Bq/m ²)
K_{in}	内部被ばく実効線量係数(成人)(mSv/Bq)
M	呼吸率(成人)(m ³ /s)
F	再浮遊率(m ⁻¹)

○一般公衆

・ $\chi(x, y, z)$ ：点 (x, y, z) における放射性物質の濃度（Bq/m³）

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

・外部被ばく線量（プルーム）： D_1 （ $\mu\text{Sv/y}$ ） ・外部被ばく線量（地表）： D_2 （ $\mu\text{Sv/y}$ ）

$$D_1 = K \cdot \frac{E_\gamma}{0.5} \cdot Q_{Cs} \cdot \frac{D}{Q} \cdot 1000$$

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

・内部被ばく線量（クラウド）： D_3 （ $\mu\text{Sv/y}$ ） ・内部被ばく線量（再浮遊）： D_4 （ $\mu\text{Sv/y}$ ）

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

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

Q	放出率(Bq/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(m/s)
λ	放射性物質の物理的崩壊定数(1/s)
H	放出源の高さ(m)
σ_y	濃度分布のy方向の拡がりのパラメータ(m)
σ_z	濃度分布のz方向の拡がりのパラメータ(m)
K	空気カーマから実効線量への換算係数(Sv/Gy)
E_γ	γ 線実効エネルギー(MeV)
Q_{Cs}	火災によるCsの大気放出量(Bq)
D/Q	相対線量(Gy/Bq)
K_{ex}	地表沈着による実効線量係数(成人)(Sv/s per Bq/m ³)
χ/Q	相対濃度(s/m ³)
V	沈着速度(m/s)
f	残存割合(－)

火災時の被ばく経路

< 火災時 >

経路	評価対象	線源	対象者	被ばく形態	備考
1	消火作業	プルームに含まれるCs	消防士	外部	資源作物（ジャイアント ミスカンサスの火災を想 定。 延焼面積は、農地10ha全 延焼を想定。
2		地表面沈着したCs		外部	
3		プルームに含まれるCs		粉塵吸入	
4		地表面沈着したCsの再浮遊		粉塵吸入	
5	周辺居住	プルームに含まれるCs	一般公衆	外部	
6		地表面沈着したCs		外部	
7		プルームに含まれるCs		粉塵吸入	
8		地表面沈着したCsの再浮遊		粉塵吸入	

覆土等の厚さによる追加被ばく線量の更なる低減

➤ 追加被ばく評価計算から算出される1mSv/y相当濃度は下表のとおりである。

用途先	覆土等	決定経路と1mSv/y相当の放射能濃度レベル					
		一般公衆	1年間の放射能濃度レベル (Bq/kg)	作業者	作業期間限定に応じた放射能濃度レベル (Bq/kg)		
農地 (資源作物・園芸作物)	埋戻し用途	埋戻し施工中周辺居住者成人－外部被ばく	10,400	埋戻し施工作業者－外部被ばく	6か月	9か月	1年
		埋戻し施工中周辺居住者子ども－外部被ばく	8,000		10,000	6,800	5,200
	嵩上げ用途	嵩上げ施工中周辺居住者成人－外部被ばく	7,900	嵩上げ施工作業者－外部被ばく	6か月	9か月	1年
		嵩上げ施工中周辺居住者子ども－外部被ばく	6,100		9,900	6,700	5,100

- 評価対象は、供用時における一般公衆の決定経路となる農地保全作業者とした。
- 1 mSv/y相当の放射能濃度レベル 5,000Bq/kg 及び 8,000Bq/kgとした結果を下表に示す。
- 供用時の一般公衆の被ばく線量低減のための覆土厚を検討し、覆土厚を50cm以上とすると、外部被ばく線量が0.01mSv/yを下回ることが確認できた。

経路	用途先	覆土等	再生資材の放射能濃度	覆土等の厚さに応じた一般公衆の追加被ばく線量 (外部被ばく) [mSv/y]			
			[Bq/kg]	30cm	40cm	50cm	100cm
一般公衆の外部被ばく	農地埋立材	草本類	5,000	0.025	0.010	<0.01	<0.01
			8,000	0.040	0.016	<0.01	<0.01