

東海低レベル放射性廃棄物埋設事業所

第二種廃棄物埋設事業許可申請

廃棄物埋設施設への

グレーデッドアプローチの適用について

平成 30 年 1 月

日本原子力発電株式会社

本資料のうち□は商業機密又は核物質防護上の観点から公開できません。

目 次

1. はじめに	1
2. 基本的考え方	3
3. 機能又は措置の喪失時の影響評価	3
3.1 移行抑制の機能喪失時の評価	3
3.2 遮蔽の機能喪失時の評価	24
3.3 飛散防止の措置喪失時の評価	34
3.4 参考文献	52
4. 機能又は措置の喪失時の影響評価結果	54
5. 廃棄物埋設施設の設計の考え方	55

1. はじめに

東海低レベル放射性廃棄物埋設事業所 第二種廃棄物埋設事業許可申請における第二種廃棄物埋設施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則（以下「第二種埋設許可基準規則」という。）及び第二種廃棄物埋設施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈（以下「第二種埋設許可基準解釈」という。）への適合性については，実用発電用原子炉に対するガイド類及び新規制基準適合性審査を，適宜参考として行っている。

その中で，津波や地震の想定規模については，埋設施設のリスクの程度を踏まえ，第二種埋設許可基準規則及び第二種埋設許可基準解釈に明示されるグレード分けをした設定としている。

第二種埋設許可基準規則及び第二種埋設許可基準解釈への適合性評価に当たり，廃棄物埋設施設のリスクの程度を踏まえた合理的な設計とするため，試験研究用原子炉等に適用されている考え方^{※1}を参考とし，廃棄物埋設施設へのグレーデッドアプローチ^{※2}の適用について検討する。

※1：・試験研究用等原子炉施設への新規制基準の審査を踏まえたグレーデッドアプローチ対応について（案）（平成 28 年 6 月 15 日 原子力規制委員会）

・核燃料施設等における竜巻・外部火災の影響による損傷の防止に関する影響評価に係る審査ガイド（平成 28 年 11 月 30 日 原子力規制委員会）

※2：「Fundamental Safety Principles, Safety Standards Series No. SF-1 (IAEA)」によれば，防護の最適化として「安全のため

に投入する資源及び規制の範囲と厳格さ並びにその適用は、放射線リスクの程度及びそれらの実用的な管理のしやすさに見合ったものでなければならない」とされており¹⁾、施設のリスクに応じた設計及び評価等を実施することである。

2. 基本的考え方

第二種埋設許可基準規則及び第二種埋設許可基準解釈では、廃棄物埋設施設としての「安全上重要な施設」は定義されていない。

そのため、廃棄物埋設施設のリスク評価を行い、公衆が受ける線量の評価値が、リスク評価につき 5mSv を超えないものを「安全上重要な施設を有しない施設」相当であると位置づけ、グレーデッドアプローチの適用対象施設と判断する。

3. 機能又は措置の喪失時の影響評価

廃棄物埋設施設のリスク評価として、廃棄物埋設施設に期待する機能又は廃棄物埋設施設に施す措置が喪失する状態を仮定する。

廃棄物埋設施設に期待する機能として、「移行抑制の機能」又は「遮蔽の機能」が喪失した場合のリスク評価を実施する。

また、廃棄物埋設施設に施す措置として、「放射性物質の飛散防止の措置」が喪失した場合のリスク評価を実施する。

3.1 移行抑制の機能喪失時の評価

移行抑制の機能とは、埋設された放射性廃棄物から漏出した放射性物質の生活圏への移行を抑制することで、放射性物質の移行を抑制することによる放射性物質の減衰を期待し、公衆が受ける線量を低くする機能である。

リスク評価として、放射性物質が地下水を經由して海に移行する被ばく経路において、移行抑制の機能が喪失した場合の評価を実施する。

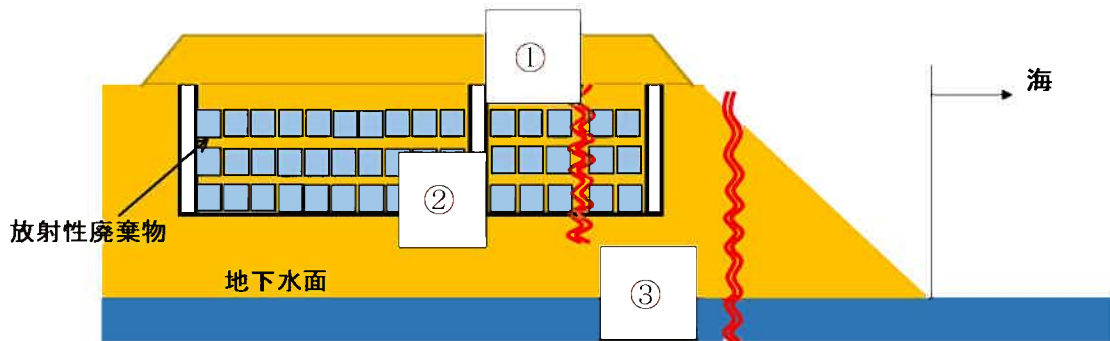
(1) 廃棄物埋設地の状態

廃棄物埋設地は 55 区画全ての埋設作業が終了した状態を想定する。

放射エネルギーは、評価開始まで漏出及び移行せずに、また、減衰しないものとして評価する。

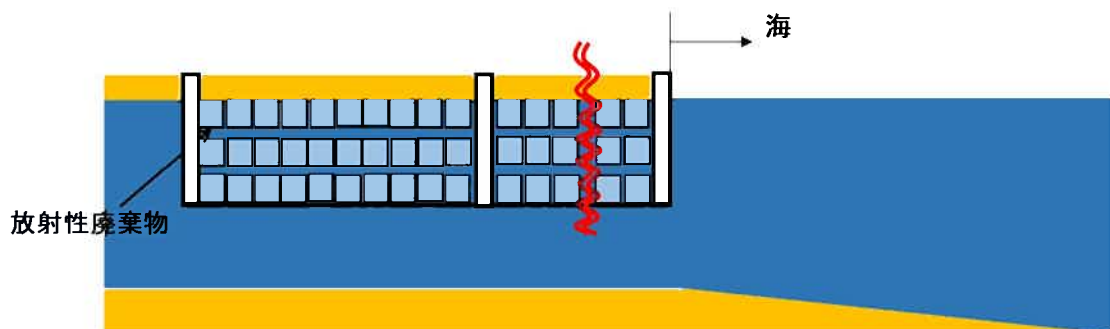
リスク評価の評価イメージを第 1 図に示す。

○ 管理期間終了後の評価概略図



部位	移行抑制の機能を期待する内容
①	降雨等による土砂の浸透水量の低減による放射性物質の移行量の減少
②	土砂への放射性物質の収着による移行遅延及び放射性物質の減衰
③	土壌への放射性物質の収着による移行遅延及び放射性物質の減衰
	地下水の移行による放射性物質の減衰
	土壌中での放射性物質の分子拡散による放射性物質濃度の変化

○ リスク評価概略図



No.	リスク評価における条件の変更
1	最上段の放射性廃棄物の上面まで地下水で浸漬した状態を想定し、常に放射性廃棄物が水に接する想定とする。
2	土砂及び土壌への放射性物質の収着を考慮しない想定とする。
3	廃棄物埋設地から海までは距離がない想定とする。
4	分子拡散を考慮しない想定とする。

第 1 図 リスク評価イメージ

(2) 評価式

被ばく線量評価については、東海低レベル放射性廃棄物埋設事業所 第二種廃棄物埋設事業許可申請書（以下「事業許可申請書」という。）に記載した廃棄物埋設施設の廃止措置の開始以後（以下「管理期間終了後」という。）の評価と同様の評価式を用い、移行抑制の機能を期待する部位のパラメータを変更することで公衆が受ける線量を評価する。

廃棄物埋設地から移行する放射性物質の量、帯水層に移行する放射性物質の量及び海産物摂取による内部被ばくの量に分けて順次評価を行う。

a. 廃棄物埋設地から移行する放射性物質の量

放射性廃棄物に地下水が接触することにより、放射性廃棄物中の放射性物質が漏出する。漏出した放射性物質は、施設内の土砂に収着及び脱着されながら廃棄物埋設地外に移行していくことから以下により計算する。

時間 t における放射性核種 i の漏出量は、次式を用いて計算する。

$$A_D(t,i) = S_D \cdot V_D \cdot C_D(t,i) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$A_D(t,i)$: 時間 t における放射性核種 i の漏出量 (Bq/y)

t : 廃棄物埋設後の経過時間 (y)

S_D : 廃棄物埋設地平面積 (m^2)

V_D : 年間浸透水量 ($\text{m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{y})$)

$C_D(t,i)$: 時間 t における放射性核種 i の廃棄物埋設地内間隙水中濃度 (Bq/ m^3)

時間 t における放射性核種 i の廃棄物埋設地内間隙水中濃度は、次式を

用いて計算する。

$$S_D \cdot H_D \cdot R_D(i) \cdot \frac{dC_D(t,i)}{dt} = -S_D \cdot V_D \cdot C_D(t,i) + \eta(i) \cdot A_W(i) \cdot \exp(-(\lambda(i) + \eta(i)) \cdot t) - \lambda(i) \cdot S_D \cdot H_D \cdot R_D(i) \cdot C_D(t,i) \quad \dots\dots\dots (2)$$

H_D : 廃棄物層深さ (m)

$R_D(i)$: 廃棄物埋設地内の放射性核種 i の平均収着係数 (—)

$\eta(i)$: 放射性核種 i の廃棄物からの溶出率 (1/y)

$\lambda(i)$: 放射性核種 i の崩壊定数 (1/y) ; $=\ln 2/T_{1/2}(i)$

$T_{1/2}(i)$: 放射性核種 i の半減期 (y)

$A_W(i)$: 廃棄物受入れ時の放射性核種 i の総放射能量 (Bq)

廃棄物埋設地内の放射性核種 i の平均収着係数は、次式を用いて計算する。

$$R_D(i) = \sum_j P_D(j) \cdot (\varepsilon_D(j) + (1 - \varepsilon_D(j)) \cdot \rho_D(j) \cdot K_D(j,i)) \quad \dots\dots\dots (3)$$

$P_D(j)$: 廃棄物埋設地内の媒体 j の体積割合 (—)

$\varepsilon_D(j)$: 廃棄物埋設地内の媒体 j の間隙率 (—)

$\rho_D(j)$: 廃棄物埋設地内の媒体 j の粒子密度 (kg/m³)

$K_D(j,i)$: 廃棄物埋設地内の媒体 j の放射性核種 i の
収着分配係数 (m³/kg)

b. 帯水層に移行する放射性物質の量

本施設から漏出した放射性核種は、本施設の直下にある帯水層に流入し、帯水層内の土砂に収着及び脱着されながら地下水中を下流側へ移行していく。

帯水層に流れ込む面積は廃棄物埋設地の平面積と同一とし、帯水層の厚さは一定、土壌の間隙率及び密度は一樣と仮定する。また、地下水の流向

は東西方向に一樣なので、東西方向の 1 次元（以下「x 方向」とする。）の方向にのみ一定速度で流れているとし、x 方向の分散係数においては、分散を考慮せず分子拡散係数のみで設定する。

以上より、以下のように計算する。

地下水中の時間 t における放射性核種 i の濃度は、次式を用いて計算する。

$$\begin{aligned} \varepsilon_{GW} \cdot R_{GW}(i) \cdot \frac{\partial C_{GW}(x, t, i)}{\partial t} = & \varepsilon_{GW} \cdot D_X \cdot \frac{\partial^2 C_{GW}(x, t, i)}{\partial x^2} - V_{GW} \cdot \frac{\partial C_{GW}(x, t, i)}{\partial x} \\ & - \varepsilon_{GW} \cdot R_{GW}(i) \cdot \lambda(i) \cdot C_{GW}(x, t, i) + \frac{A_{GW}(x, t, i)}{L_D \cdot W_D \cdot H_{GW}} \end{aligned} \quad (4)$$

$C_{GW}(x, t, i)$: 時間 t , 位置 x における地下水中の放射性核種 i の濃度 (Bq / m³)

$R_{GW}(i)$: 放射性核種 i の帯水層遅延係数 (—)

ε_{GW} : 帯水層土壌の間隙率 (—)

D_X : x 方向の分散係数 (m² / y)

V_{GW} : 地下水流速 (ダルシー流速) (m / y)

$A_{GW}(x, t, i)$: 時間 t , 位置 x における帯水層への放射性核種 i の年間流入量 (Bq / y)

L_D : 廃棄物埋設地の長さ (m)

W_D : 廃棄物埋設地の幅 (m)

H_{GW} : 帯水層の厚さ (m)

帯水層の遅延係数は、次式を用いて計算する。

$$R_{GW}(i) = 1 + \frac{1 - \varepsilon_{GW}}{\varepsilon_{GW}} \cdot \rho_{GW} \cdot K_{GW}(i) \dots\dots\dots (5)$$

ρ_{GW} : 帯水層土壌の粒子密度 (kg / m³)

$K_{GW}(i)$: 帯水層土壌における放射性核種 i の収着分配係数 (m^3/kg)

x 方向の分散係数は、次式を用いて計算する。

$$D_X = D_{GW} \dots\dots\dots (6)$$

D_{GW} : 帯水層の分子拡散係数 (m^2/y)

帯水層への時間 t における放射性核種 i の年間流入量は、次式を用いて計算する。

$$A_{GW}(x, t, i) = \begin{cases} A_D(t, i) & (-L_D \leq x \leq 0) \\ 0 & (x < -L_D, 0 < x) \dots\dots\dots \end{cases} \quad (7)$$

c. 海産物摂取による内部被ばくの量

放射性物質は、帯水層から地下水を経由して海に移行し、海に移行した放射性物質は海産物に取り込まれると仮定する。放射性物質を取り込んだ海産物を摂取した場合に内部被ばくする可能性があるため、放射性物質ごとの海産物への濃縮割合や一般的な海産物の摂取量などをパラメータとして、以下のように計算する。

時間 t における海への放射性核種 i の移行量は、次式を用いて計算する。

$$A_{SW}(t, i) = W_D \cdot H_{GW} \cdot \left\{ V_{GW} \cdot C_{GW}(X_{SW}, t, i) - \varepsilon_{GW} \cdot D_X \cdot \frac{\partial C_{GW}(x, t, i)}{\partial x} \Big|_{x=X_{SW}} \right\} \cdot (8)$$

$A_{SW}(t, i)$: 時間 t における海への放射性核種 i の移行量
(Bq/y)

X_{SW} : 廃棄物埋設地下流端から海までの距離 (m)

時間 t における海水中の放射性核種 i の濃度は、次式を用いて計算する。

$$C_{SW}(t, i) = \frac{A_{SW}(t, i)}{V_{SW}} \dots\dots\dots (9)$$

$C_{SW}(t, i)$: 時間 t における海水中の放射性核種 i の濃度
(Bq/ m^3)

V_{SW} : 評価海域の海水交換水量 (m^3/y)

時間 t における海産物摂取による公衆の内部被ばく線量は、次式を用いて計算する。

$$D_{SWING}(t) = \sum_i \sum_m C_{SW}(t, i) \cdot R_{SW}(m, i) \cdot Q_{SW}(m) \cdot G_{SW}(m) \cdot D_{CFING}(i) \quad \cdot (10)$$

$D_{SWING}(t)$: 時間 t における海産物摂取に伴う内部被ばく線量 (Sv/y)

$R_{SW}(m, i)$: 放射性核種 i の海産物 m への濃縮係数 (m^3/kg)

$Q_{SW}(m)$: 海産物 m の年間摂取量 (kg/y)

$G_{SW}(m)$: 評価海域における海産物 m の市場係数 (—)

$D_{CFING}(i)$: 放射性核種 i の経口摂取内部被ばく線量換算係数 (Sv/Bq)

(3) 評価パラメータ

廃棄物埋設地に埋設した放射性廃棄物の放射エネルギーとして、事業許可申請書に記載した総放射エネルギーを用いて評価を行う。第1表に評価に使用する総放射エネルギーを示す。

リスク評価に使用するパラメータを第2表に示す。下線部で示すパラメータは、事業許可申請書の管理期間終了後の評価で用いるパラメータから変更した箇所を示す。

第 1 表 総放射能量

放射性物質の種類	総放射能量 (Bq)
H - 3	1.4×10^{12}
C - 14	1.2×10^{10}
C l - 36	4.6×10^{10}
C a - 41	3.4×10^9
C o - 60	1.3×10^{11}
N i - 63	6.6×10^{10}
S r - 90	1.7×10^9
C s - 137	9.1×10^8
E u - 152	5.6×10^{10}
E u - 154	2.5×10^9
全 α	1.4×10^8

第 2 表 リスク評価における評価パラメータ

記号	パラメータ	数値	設定根拠等
S_D	廃棄物埋設地平面積 (m ²)		
V_D	年間浸透水量 (m ³ / (m ² ・y))		
H_D	廃棄物層深さ (m)		
$\eta(i)$	放射性核種 i の廃棄物からの溶出率 (1/y)		
$T_{1/2}(i)$	放射性核種 i の半減期 (y)		
$P_D(j)$	廃棄物埋設地内の媒体 j の体積割合 (—)		

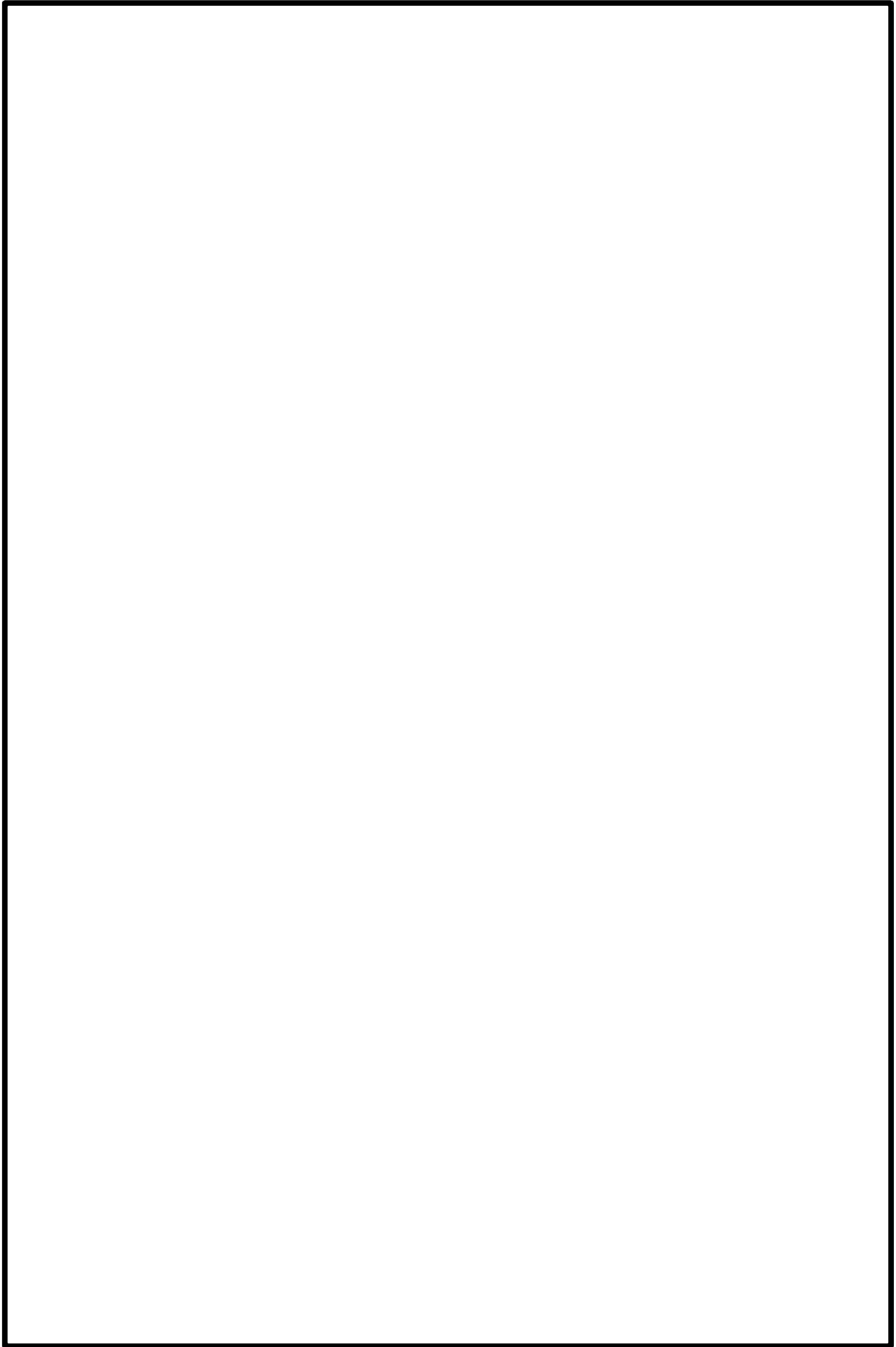
記号	パラメータ	数値	設定根拠等
$\varepsilon_D(j)$	廃棄物埋設地内の 媒体 j の間隙率 (－)		
$\rho_D(j)$	廃棄物埋設地内の 媒体 j の粒子密度 (kg/m^3)		
$K_D(j,i)$	廃棄物埋設地内の 媒体 j の放射性核 種 i の収着分配係 数 (m^3/kg)		
ε_{GW}	帯水層土壌の間隙 率 (－)		
V_{GW}	地下水流速 (ダル シー流速) (m/y)		
L_D	廃棄物埋設地の長 さ (m)		
W_D	廃棄物埋設地の幅 (m)		
H_{GW}	帯水層の厚さ (m)		

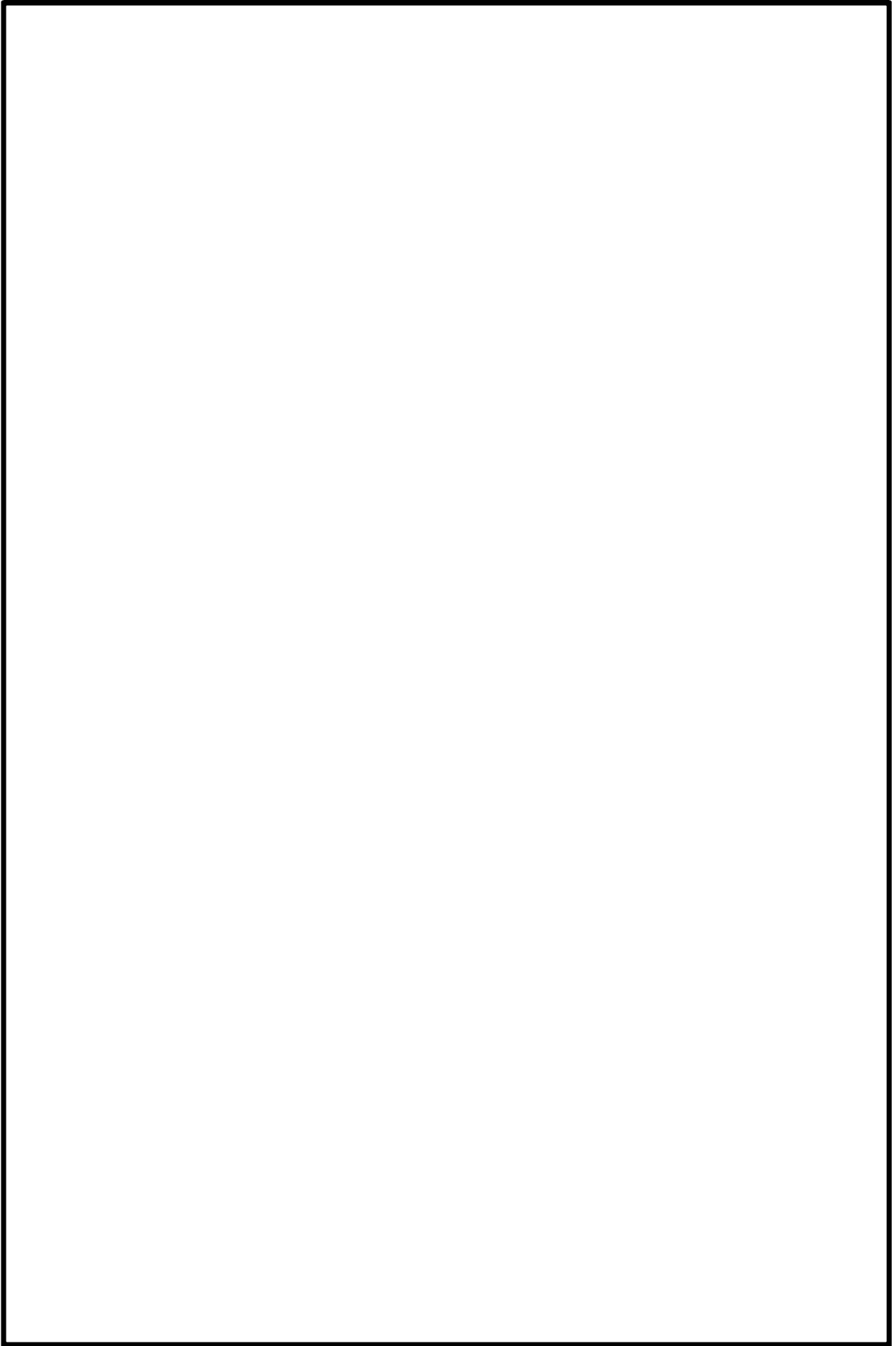
記号	パラメータ	数値	設定根拠等
ρ_{GW}	帯水層土壌の粒子密度 (kg/m^3)		
$K_{GW}(i)$	帯水層土壌における放射性核種 i の収着分配係数 (m^3/kg)		
D_{GW}	帯水層の分子拡散係数 (m^2/y)		
X_{SW}	廃棄物埋設地下流端から海までの距離 (m)		
V_{SW}	評価海域の海水交換水量 (m^3/y)		

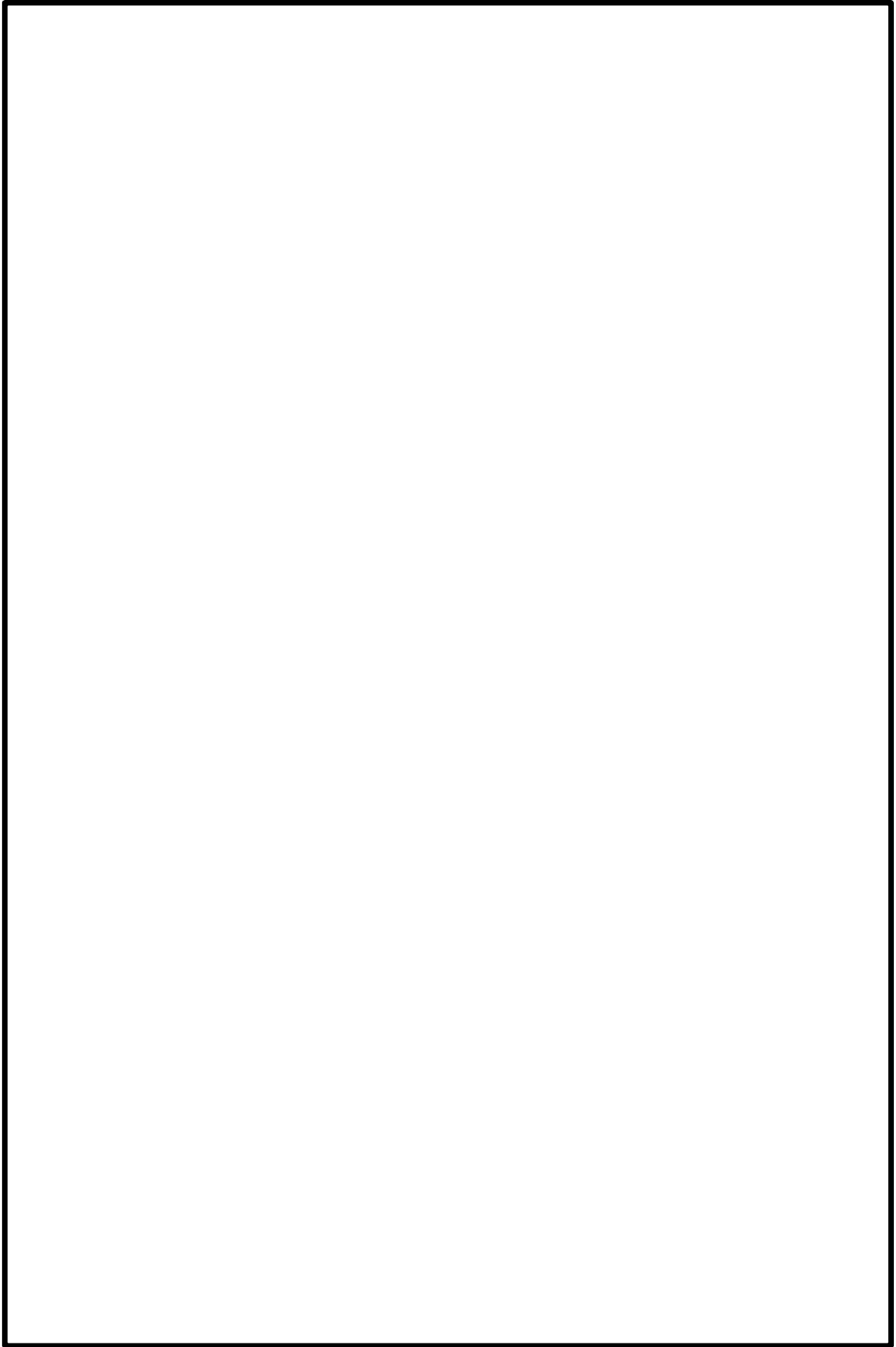
記号	パラメータ	数値	設定根拠等
$R_{SW}(m,i)$	放射性核種 i の 海産物 m への濃 縮係数 (m^3/kg)		

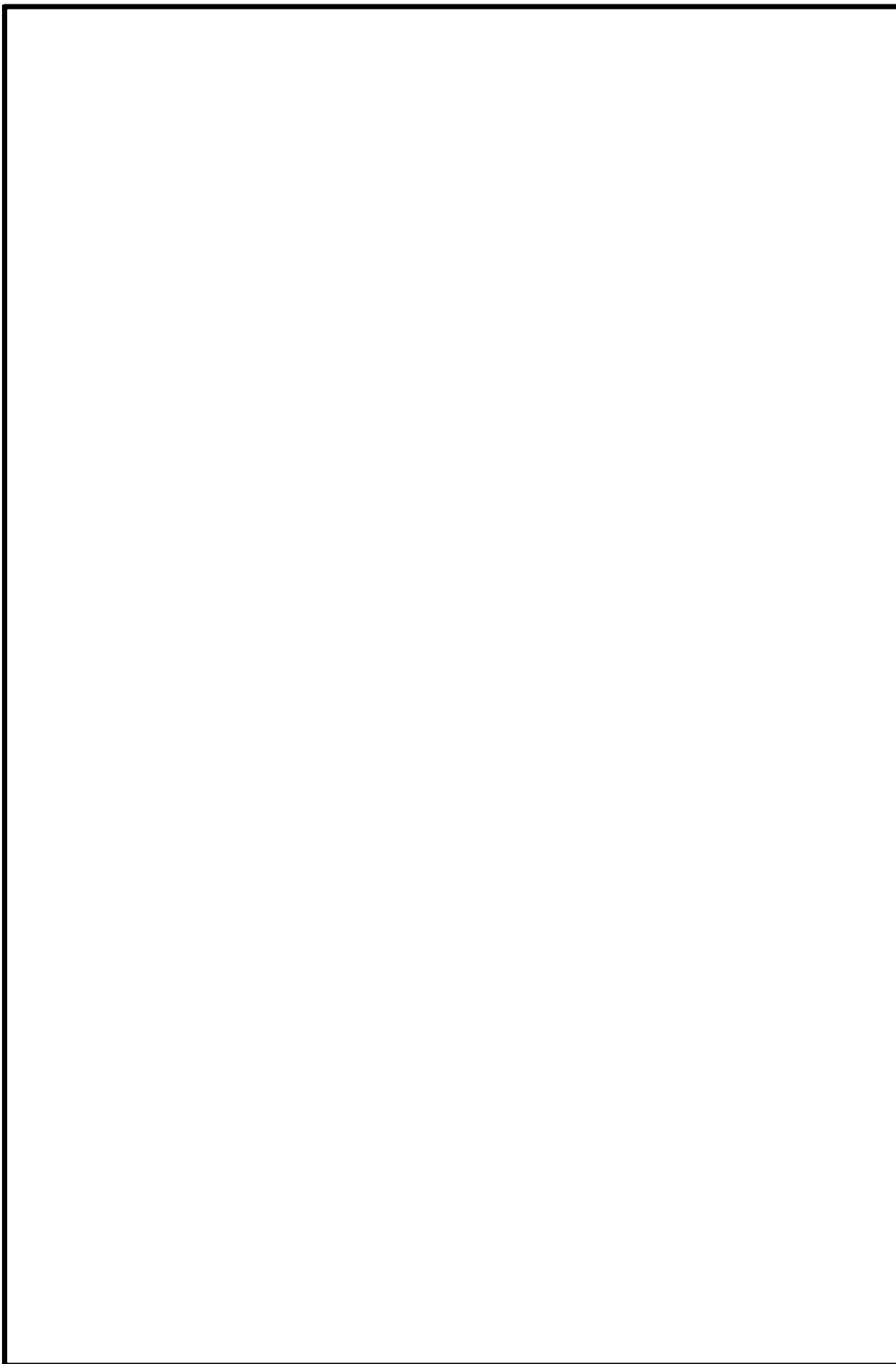
記号	パラメータ	数値	設定根拠等
$Q_{SW}(m)$	海産物 m の年間 摂取量 (kg/y)		
$G_{SW}(m)$	評価海域におけ る海産物 m の市 場係数 (－)		
$D_{CFING}(i)$	放射性核種 i の 経口摂取内部被 ばく線量換算係 数 (Sv/Bq)		

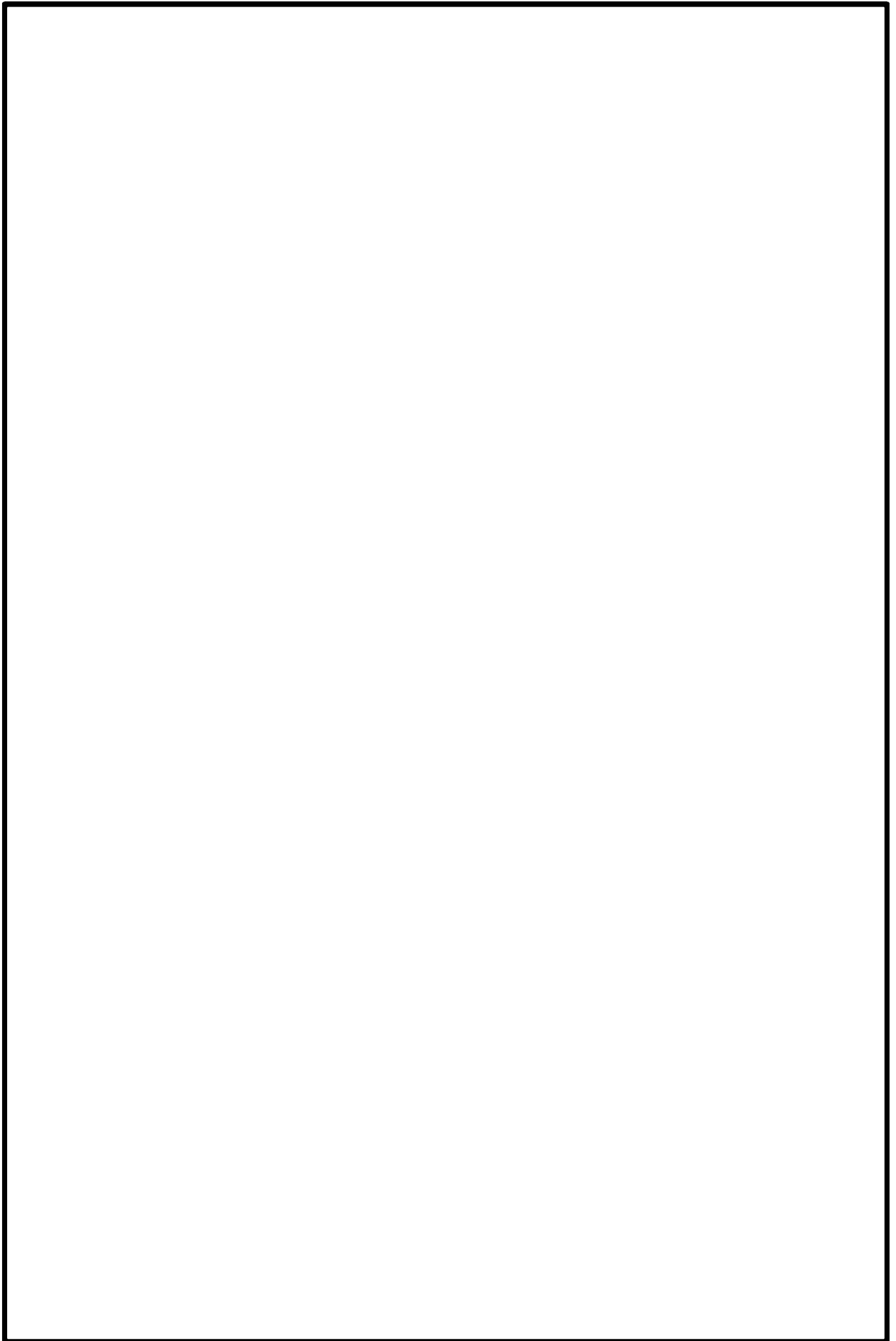
--

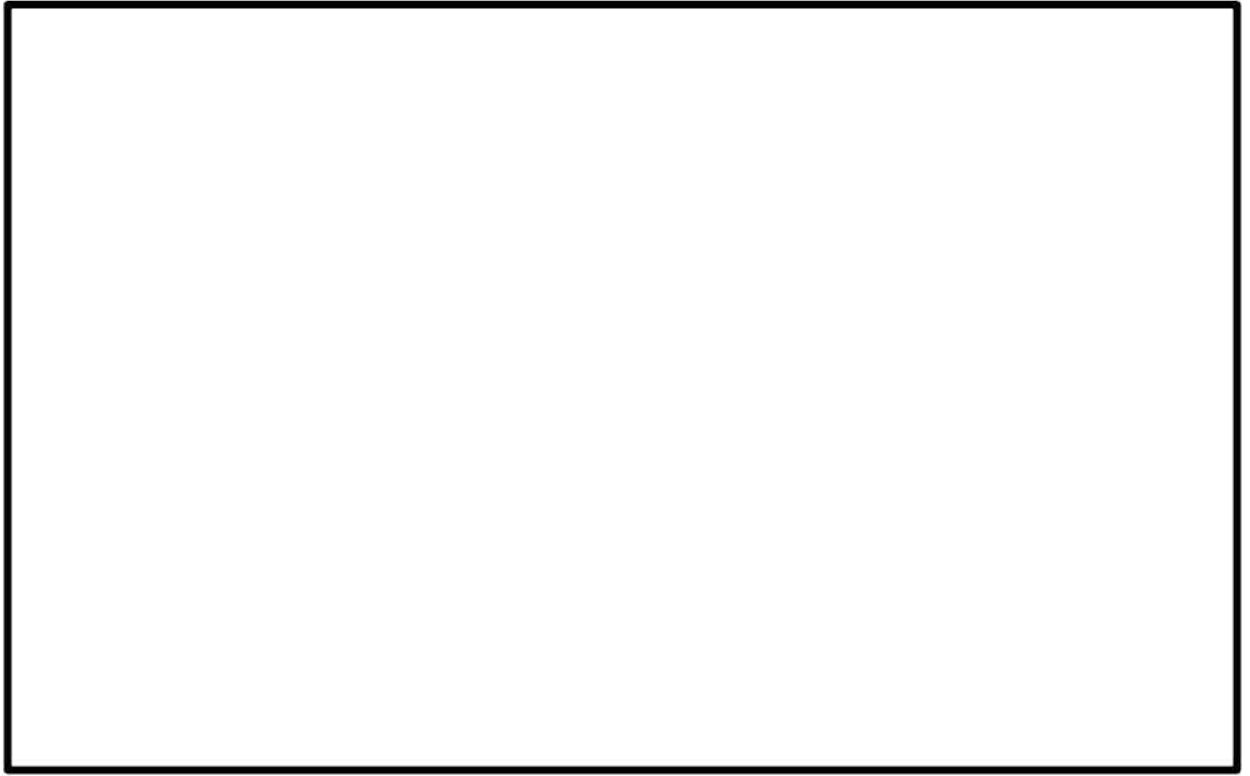












(4) 被ばく線量の評価結果

(2) の評価式，(3) の第 1 表及び第 2 表の評価パラメータを用いて評価を行った。

放射性物質が地下水を経由して海に移行する被ばく経路において，移行抑制の機能が喪失した場合のリスク評価を行った結果，約 0.11mSv/y となり，基準値（ 5mSv ）を下回った。

3.2 遮蔽の機能喪失時の評価

遮蔽の機能とは、廃棄物埋設地からの外部放射線による影響を遮蔽物等により低減することにより公衆が受ける線量を低くする機能である。

リスク評価として、54区画の定置作業が終了し、55区画目の定置作業中に遮蔽の機能が喪失した場合の評価を実施する。

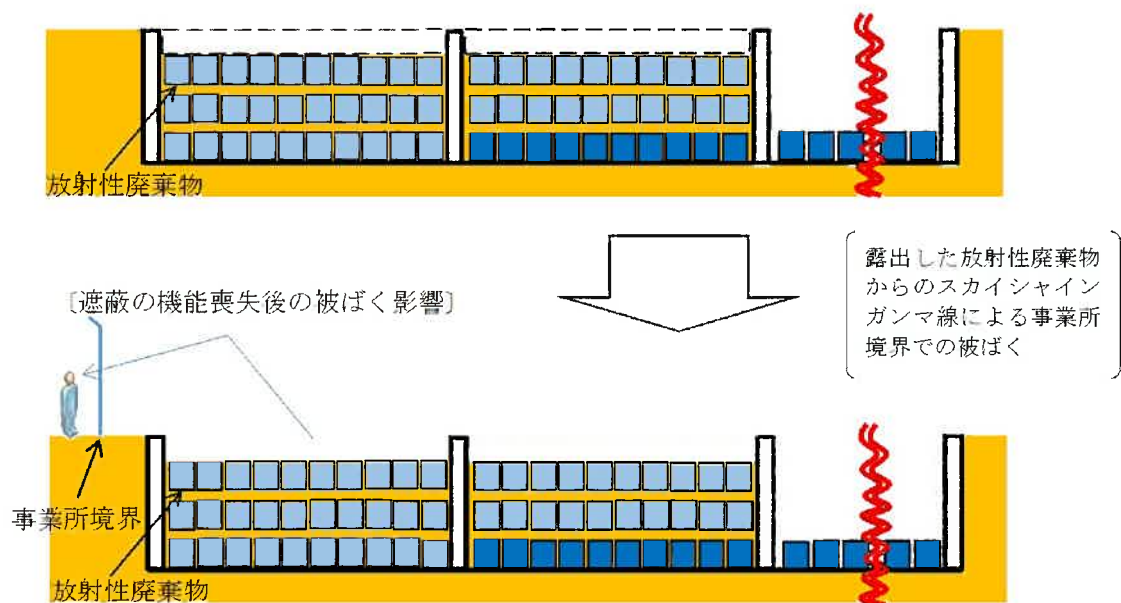
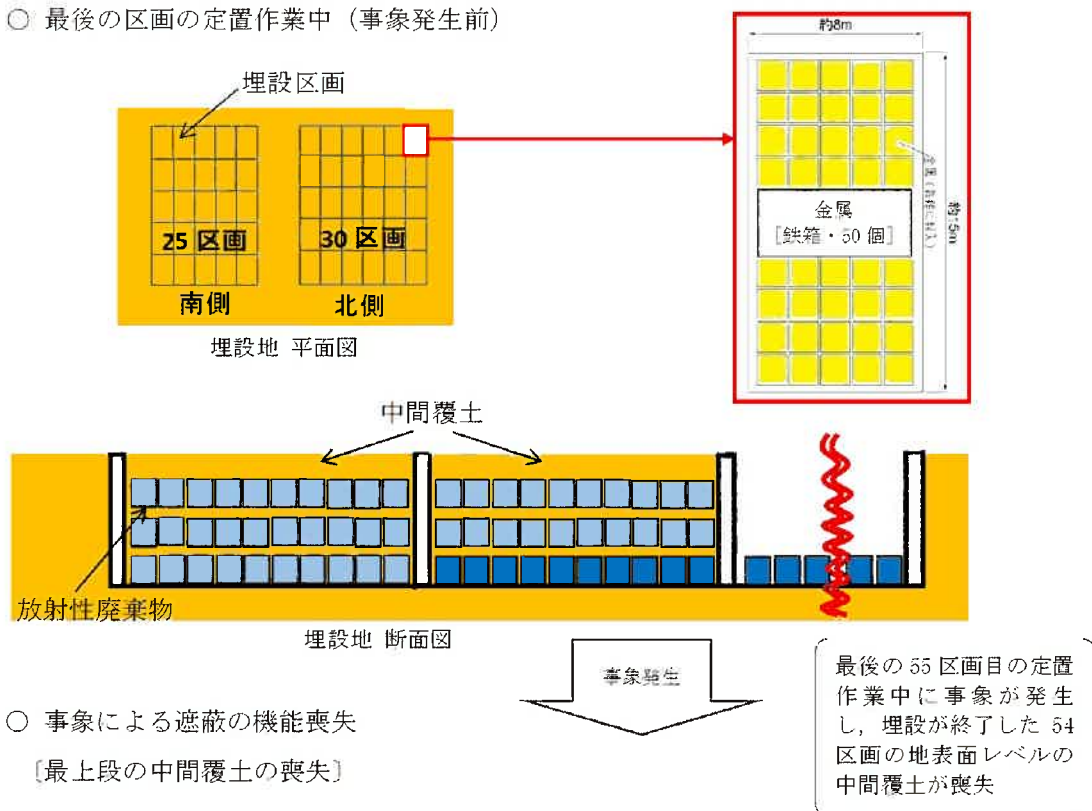
(1) 廃棄物埋設地の状態

埋設区画 55 区画のうち 54 区画の放射性廃棄物の定置作業が終了し、最後の 55 区画目の 1 段目（最下段）の定置作業中に事象が発生すると想定する。保守的に、最上段の中間覆土が終了した 54 区画の最上段の中間覆土が喪失した状態を想定する。

なお、表面線量率が $10 \mu\text{Sv/h}$ 以上で $300 \mu\text{Sv/h}$ 未満の放射性廃棄物（以下「 $300 \mu\text{Sv/h}$ 廃棄物」という。）は埋設区画の最下段にのみ埋設するため、定置作業及び最上段の中間覆土が終了した 54 区画の最上段に定置される放射性廃棄物は表面線量率が $10 \mu\text{Sv/h}$ 未満の放射性廃棄物（以下「 $10 \mu\text{Sv/h}$ 廃棄物」という。）が定置されており、最下段の定置作業中の 55 区画目には表面線量率が $300 \mu\text{Sv/h}$ 廃棄物が定置されている状態を設定する。

リスク評価の評価イメージを第 2 図に示す。

○ 最後の区画の定置作業中（事象発生前）



第 2 図 リスク評価イメージ

(2) 埋設する放射性廃棄物の種類

金属（鉄箱）、コンクリートガラ（フレキシブルコンテナ）及びコンクリートブロック（プラスチックシート）の3種類とする。

(3) 遮蔽の機能喪失時の評価対象

最上段の中間覆土が喪失した場合、直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線により事業所境界で公衆が受ける線量を評価することが考えられるが、直接ガンマ線の評価は、放射性廃棄物からのガンマ線が評価対象者に直接到達する場合の被ばく線量を評価するものであることから、放射性廃棄物が地表面より上で取り扱われている状態を対象として評価することになり、本リスク評価では評価対象としない。

よって、遮蔽の機能喪失時の評価対象は、定置された放射性廃棄物からのスカイシャインガンマ線により事業所境界で公衆が受ける線量を評価することとする。

(4) 遮蔽の機能喪失時のスカイシャインガンマ線の状態設定

スカイシャインガンマ線の評価は、定置した放射性廃棄物を対象とし、線源となる放射性廃棄物の状態及び遮蔽となる放射性廃棄物と中間覆土の状態を設定して影響を評価する。

評価には事業許可申請書の平常時評価で用いた評価モデルを使用する。

定置作業中の区画については $300 \mu\text{Sv/h}$ 廃棄物を1区画1段分の定置が終了した状態を仮定し、公衆が受ける線量を評価する。

一方、遮蔽の機能が喪失した54区画については、1段目に定置

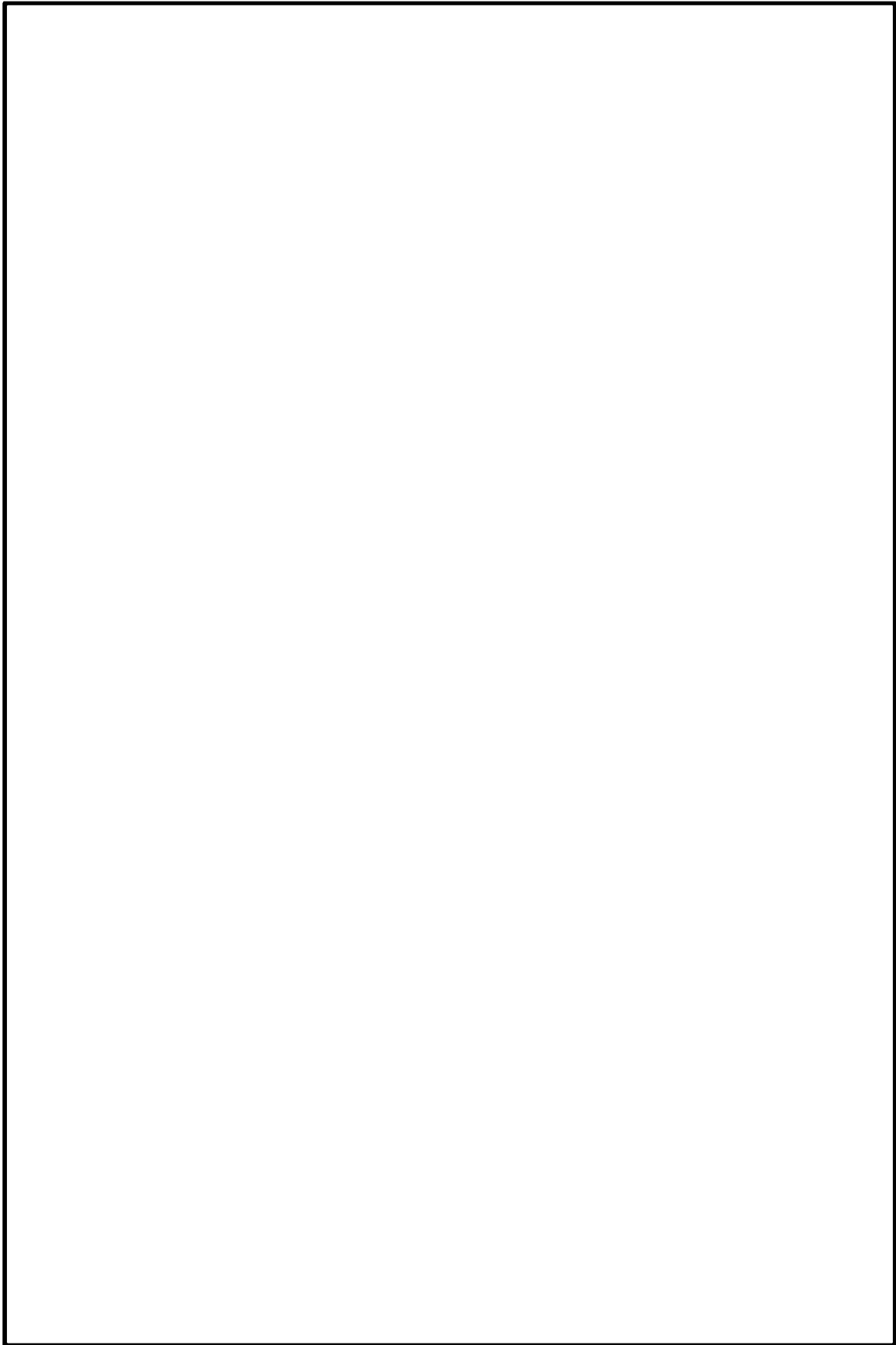
した放射性廃棄物，２段目に定置した放射性廃棄物及び３段目に定置した放射性廃棄物からの影響により公衆が受ける線量を評価する。

以上により算出した線量を合計することで，遮蔽の機能喪失時の線量評価とする。

１区画分の状態設定と５４区画分の状態設定を第３図及び第４図に示す。



第３図 定置作業中の１区画分の状態設定



第 4 図 遮蔽の機能喪失時の 54 区画分の状態設定

(5) 単位放射能濃度当たりの被ばく線量

評価は単位放射能濃度 ($1\text{Bq}/\text{cm}^3$) にて、区画の地表面を結合点として、1次元輸送計算コード (ANISN) とガンマ線 1 回散乱計算コード (G33-GP2R) を組み合わせて計算する。

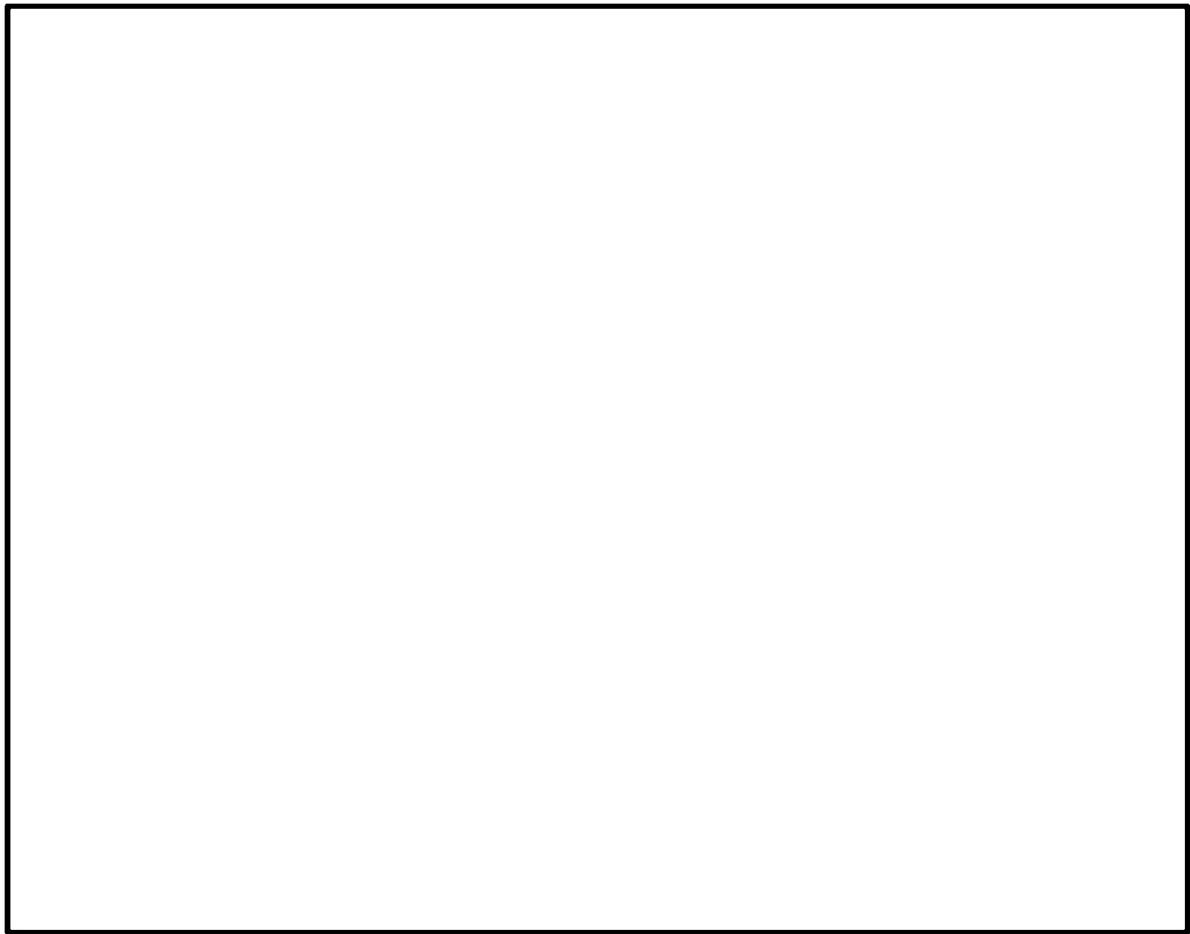
a. 計算に用いた計算コード及び計算方法

- (a) 区画の地表面におけるガンマ線の角度束を 1 次元輸送計算コード ANISN により算出する。
- (b) 区画の地表面を点線源の位置として、(a)で求めたガンマ線の角度束をガンマ線 1 回散乱計算コード G33-GP2R コードに入力し、単位面積あたりのスカイシャインガンマ線の実効線量率を算出する。
- (c) (b)で求めた単位面積当たりのスカイシャインガンマ線の実効線量率に散乱線の放出面積 (区画の底面積) を乗じてスカイシャインガンマ線の実効線量率を算出する。

b. 計算モデル

ANISN による計算モデルは、第 3 図及び第 4 図の状態設定図である。

G33-GP2R による 1 回散乱線の計算モデルを第 5 図に示す。



第 5 図 G33-GP2R による 1 回散乱線の計算モデル

c. 単位放射能濃度当たりの被ばく線量の計算結果

ANISN 及び G33-GP2R を組み合わせて計算した単位放射能濃度
($1\text{Bq}/\text{cm}^3$) あたりの 1 区画からの被ばく線量を以下に示す。

(a) 金属

・ $10\ \mu\text{Sv}/\text{h}$ 廃棄物

1 区画当たり，単位放射能濃度当たりの被ばく線量 ($\mu\text{Sv}/\text{y}$) / (Bq/cm^3)				
1 段目から	2 段目から	3 段目から	合計 (3 段分)	合計 (2 段目，3 段目)
1.12×10^{-3}	1.74×10^{-1}	8.18×10^{-1}	9.92×10^{-1}	9.91×10^{-1}

・ 300 μ Sv/h 廃棄物

1 区画当たり，単位放射能濃度当たりの被ばく線量 (μ Sv/y) / (Bq/cm ³)	
1 段目が 300 μ Sv/h 廃棄物 (2 段目，3 段目 10 μ Sv/h 廃棄物)	55 区画目の定置作業中
1.12×10^{-3}	8.06×10^{-1}

(b) コンクリートブロック

・ 10 μ Sv/h 廃棄物

1 区画当たり，単位放射能濃度当たりの被ばく線量 (μ Sv/y) / (Bq/cm ³)			
1 段目から	2 段目から	3 段目から	合計 (3 段分)
6.59×10^{-6}	7.04×10^{-2}	4.09×10^{-1}	4.80×10^{-1}

(c) コンクリートガラ

・ 10 μ Sv/h 廃棄物

1 区画当たり，単位放射能濃度当たりの被ばく線量 (μ Sv/y) / (Bq/cm ³)			
1 段目から	2 段目から	3 段目から	合計 (3 段分)
1.08×10^{-3}	1.43×10^{-1}	8.31×10^{-1}	9.75×10^{-1}

(6) 廃棄物の Co-60 濃度の算出

廃棄物の Co-60 濃度は，グループ (10 μ Sv/h 廃棄物，300 μ Sv/h 廃棄物) ごとの放射能濃度 (Co-60 相当) と廃棄物層の廃棄物割合から算出する。

a. グループごとの放射能濃度 (Co-60 相当)

廃棄物種類		放射能濃度 (Bq/cm ³) (Co-60 濃度相当)
10 μ Sv/h 廃棄物	金属	
	コンクリートブロック	
	コンクリートガラ	
300 μ Sv/h 廃棄物	金属	

b. 廃棄物層の廃棄物割合の算出

廃棄物層の廃棄物割合は，廃棄物 1 個の内容積に 1 区画 1 段の廃棄物定置数を乗じ，1 区画 1 段の埋設体積で除した値である。

パラメータ	単位	金属	コンクリート ブロック	コンクリート ガラ
廃棄物 1 個の内容積	m ³			
1 区画 1 段の廃棄物定置数	個	50	126	60
1 区画の幅	m	15	15	15
1 区画の奥行	m	8	8	8
廃棄物層の高さ	m	1.065	0.90	0.80
廃棄物層の 廃棄物割合	-			

c. 廃棄物の Co-60 濃度の算出

10 μ Sv/h 廃棄物及び 300 μ Sv/h 廃棄物のグループごとの放射能濃度に廃棄物層の廃棄物割合を乗じて算出した値である。

廃棄物種類		放射能濃度 (Bq/cm ³) (Co-60 濃度相当)	廃棄物層の 廃棄物割合 (-)	廃棄物の Co-60 濃度 (Bq/cm ³)
10 μ Sv/h 廃棄物	金属			7.52×10^0
	コンクリート ブロック			1.83×10^1
	コンクリート ガラ			8.71×10^0
300 μ Sv/h 廃棄物	金属			2.26×10^2

(7) 被ばく線量の評価結果

埋設区画 55 区画のうち 54 区画の放射性廃棄物の定置作業が終了し，最後の 55 区画目の 1 段目（最下段）の定置作業中に遮蔽の機能が喪失する事象を想定し評価を行った結果，定置済みの放射性廃棄物からのスカイシャインガンマ線により事業所境界の公衆

が受ける線量は約 0.66mSv/y となり、基準値 (5mSv) を下回った。
 評価結果を第 4 表に示す。

第 4 表 被ばく線量の評価結果

廃棄物種類等				被ばく線量 ($\mu\text{Sv/y}$)
$10\mu\text{Sv/h}$ 廃棄物	52 区画 (3 段分)	①	金属	3.88×10^{-2}
		②	コンクリートブロック	4.42×10^{-2}
		③	コンクリートガラ	4.56×10^{-2}
$10\mu\text{Sv/h}$ 廃棄物 + $300\mu\text{Sv/h}$ 廃棄物	2 区画	④	金属	1.54×10^{-1}
$300\mu\text{Sv/h}$ 廃棄物	1 区画	⑤	金属	1.82×10^{-2}
55 区画		③ + ④ + ⑤		6.54×10^{-2}

3.3 飛散防止の措置喪失時の評価

放射性物質の飛散防止の措置とは、埋設する放射性廃棄物から放射性物質が空気中に飛散することを防止することにより公衆が受ける線量を低くする措置である。

リスク評価として、54区画の定置作業が終了し、55区画の定置作業中に飛散防止の措置が喪失した場合の評価を実施する。

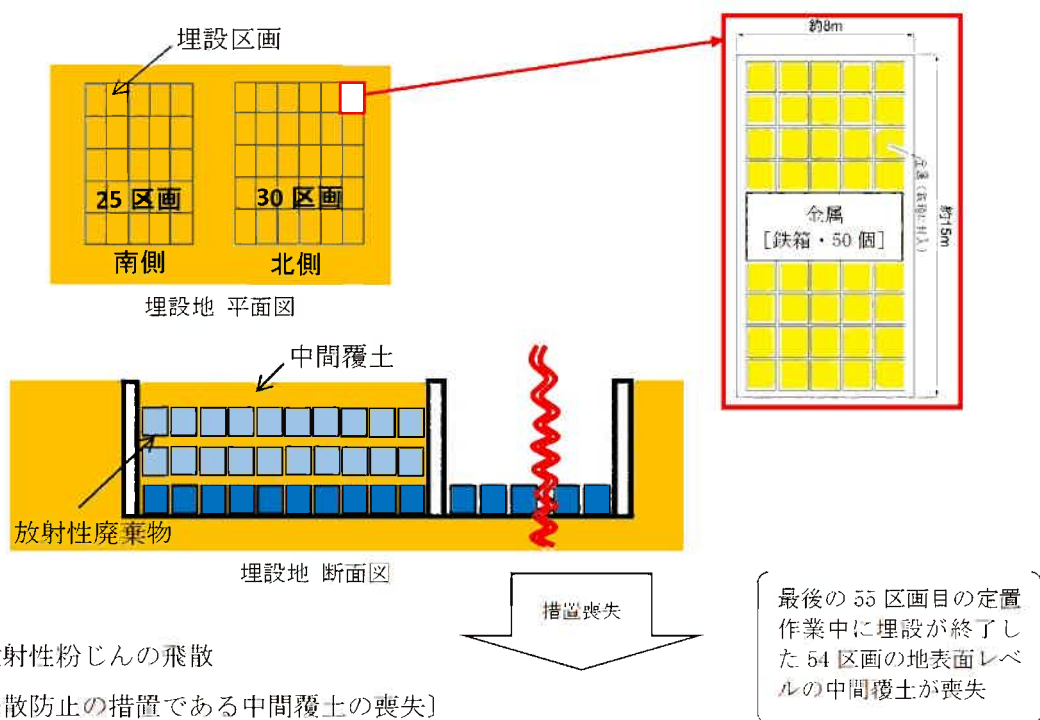
(1) 廃棄物埋設地の状態

埋設区画 55 区画のうち 54 区画の放射性廃棄物の定置作業が終了し、最後の 55 区画目の 1 段目（最下段）の定置作業中に放射性物質の飛散防止の措置が喪失すると想定する。保守的に、最上段の中間覆土が終了した 54 区画の最上段の中間覆土が喪失した状態を想定する。

なお、 $300\ \mu\text{Sv/h}$ 廃棄物は埋設区画の最下段にのみ埋設するため、定置作業及び最上段の中間覆土が終了した 54 区画の最上段に定置される放射性廃棄物は $10\ \mu\text{Sv/h}$ 廃棄物が定置されており、最下段の定置作業中の 55 区画目には $300\ \mu\text{Sv/h}$ 廃棄物が定置されている状態を設定する。

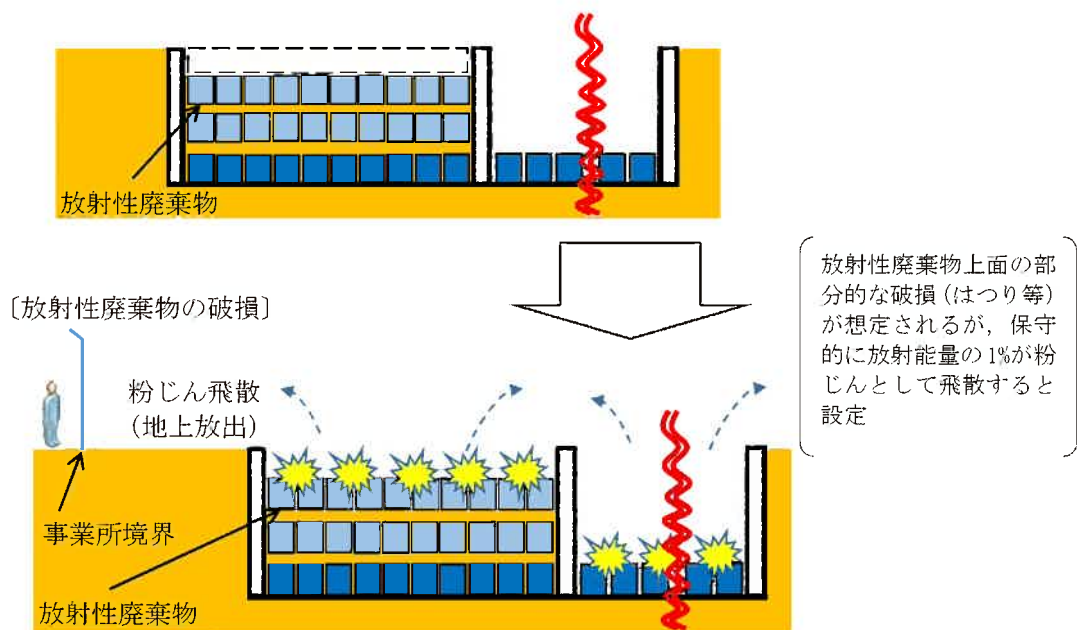
リスク評価イメージを第 6 図に示す。

○ 最後の区画の定置作業中



○ 放射性粉じんの飛散

〔飛散防止の措置である中間覆土の喪失〕



第 6 図 リスク評価イメージ

(2) 埋設する放射性廃棄物の種類

金属（鉄箱）、コンクリートガラ（フレキシブルコンテナ）、コンクリートブロック（プラスチックシート）の3種類とする。

(3) 放射性廃棄物の破損状況

放射性廃棄物の表面付近のみがはつられると考え、保守的に放射エネルギーの1%が粉じんとして飛散したと設定する。

線量評価について、第7図に評価フローを示す。

$$C_B(i) = C_{WM}(i) \cdot W_W \cdot N_B \cdot R_B / T_{BD} \cdot (\chi/Q) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$C_B(i)$: 事業所境界の空気中の放射性核種 i の濃度 (Bq/m³)

$C_{WM}(i)$: 表面線量率ごとの廃棄物中の放射性核種 i の最大放射能濃度 (Bq/kg)

W_W : 放射性廃棄物 1 個当たりの重量 (kg)

N_B : 破損する放射性廃棄物の個数 (—)

R_B : 放射性廃棄物から粉じんが発生する割合 (—)

T_{BD} : 粉じんが放出される時間 (s)

χ/Q : 相対濃度 (s/m³)

次に、事象発生時に事業所境界に人が留まっている場合、その人が飛散した放射性核種の吸入により被ばくした線量については、式 (1) で求めた空気中の放射性核種の濃度を用いて次式で計算した。

$$D_{BINH} = \sum_i C_B(i) \cdot B_B \cdot T_B \cdot D_{CFINH}(i) \quad \dots\dots\dots (2)$$

D_{BINH} : 廃棄物破損時の放射性核種の吸入による内部被ばく線量 (Sv)

B_B : 評価対象者の呼吸量 (m³/h)

T_B : 粉じんの吸入時間 (h)

$D_{CFINH}(i)$: 放射性核種 i の吸入内部被ばく線量換算係数 (Sv/Bq)

(5) 評価パラメータ

a. 表面線量率ごとの放射性廃棄物中の最大放射能濃度の設定 ($C_{WM}(i)$)

10 μSv/h 廃棄物及び 300 μSv/h 廃棄物のそれぞれの最大放射能濃度を設定した。なお、最大放射能濃度の設定については、「東海発電所廃止措置計画認可申請書」(平成 25 年 3 月 8 日認可)に基づいて、ト

レンチ処分対象機器等（以下「L3 対象物」という。）ごとに評価した放射性廃棄物の分類、物量及び放射能濃度（原子炉停止 20 年後に減衰補正）を用いた。

(a) L3 対象物ごとの放射性廃棄物の分類及び物量を用いて、放射性廃棄物の分類ごとの放射性廃棄物容器等の種類及び個数を設定した。結果を第 5 表に示す。

(b) 放射性廃棄物容器等の種類ごとの表面線量率は、放射性廃棄物に含まれる放射性核種のうち、表面線量率に寄与する主な γ 線源である Co-60, Cs-137, Eu-152 及び Eu-154 の 4 核種ごとに鉄箱、フレキシブルコンテナ及びプラスチックシートの各放射性廃棄物 1 個の表面線量率を点減衰核積分法コード QAD-CGGP2R を用いて計算した。表面線量率の計算モデルを第 8 図に示す。

計算した鉄箱、フレキシブルコンテナ及びプラスチックシートの各放射性廃棄物 1 個の核種ごとの表面線量率 $((\mu\text{Sv/h}) / (\text{Bq/cm}^3))$ の結果を第 6 表に示す。

(c) 鉄箱、フレキシブルコンテナ及びプラスチックシートの各放射性廃棄物 1 個の表面線量率 $((\mu\text{Sv/h}) / (\text{Bq/cm}^3))$ とそれぞれの放射性廃棄物のかさ密度 (g/cm^3) を用いて、4 核種ごとの「単位濃度当たりの表面線量率 $((\mu\text{Sv/h}) / (\text{Bq/g}))$ 」を算出した。算出した結果を第 7 表に示す。

(d) 表面線量率に寄与する γ 線源 4 核種のそれぞれの組成比を用いて算出した L3 対象物ごとの放射能濃度 (Bq/g) に第 6 表の単位濃度当たりの表面線量率 $((\mu\text{Sv/h}) / (\text{Bq/g}))$ を掛けて、L3 対象物ごとの 4 核種それぞれの表面線量率 $(\mu\text{Sv/h})$ を以下に示す式を用いて算出した。

L3 対象物ごと 4 核種ごとの表面線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)

= L3 対象物ごと 4 核種ごとの放射能濃度 (Bq/g) $\times$

4 核種ごとの単位濃度当たりの表面線量率

$((\mu\text{Sv/h}) / (\text{Bq/g}))$

L3 対象物ごとに 4 核種の表面線量率を合算して、L3 対象物ごとの表面線量率を算出した。算出した L3 対象物ごとの表面線量率 ($\mu\text{Sv/h}$) 及び第 5 表を用いて鉄箱、フレキシブルコンテナ及びプラスチックシートの表面線量率に応じた放射性廃棄物の個数分布を作成した。表面線量率に応じた放射性廃棄物の個数分布を第 8 表に示す。

(e) 以上により、表面線量率に応じた L3 対象物を特定し、 $10\mu\text{Sv/h}$ 廃棄物及び $300\mu\text{Sv/h}$ 廃棄物の最大放射能濃度 (Bq/g) を算出した。算出結果を第 9 表に示す。なお、最大放射能濃度は、組成比を用いて、評価対象核種 (11 核種) ごとの最大放射能濃度を算出した。

b. その他の評価パラメータ

a. で算出した最大放射能濃度以外の評価パラメータを第 10 表に示す。

(6) 被ばく線量の評価結果

(4) の評価式、第 9 表及び第 10 表の評価パラメータを用いて評価を行った。

1 区画分の最上段に埋設されている $10\mu\text{Sv/h}$ 廃棄物が中間覆土がない状態で放射性廃棄物の一部 (放射エネルギーの 1%) を放射性粉じんとして飛散した時の被ばく線量を放射性廃棄物容器等の種類ごとに評価した結果、1 区画分の被ばく線量が最も高い放射性廃棄

物容器等の種類はフレキシブルコンテナ（コンクリートガラ）で約 0.0025mSv となり，54 区画分で約 0.13mSv となった。また，最後の 1 区画分（55 区画目）の $300\mu\text{Sv/h}$ 廃棄物の飛散防止の措置喪失時の被ばく線量は，約 0.0012mSv となり，これらを合算して 55 区画分の合計値は約 0.14mSv となり，基準値（5mSv）を下回った。評価結果を第 11 表に示す。

第 5 表 放射性廃棄物の分類ごとの放射性廃棄物容器等の
種類及び個数

放射性廃棄物の分類	放射性廃棄物容器等の種類	個数※
汚染金属ガス系	鉄箱	
汚染金属廃液系	鉄箱	
放射化金属	鉄箱	
放射化金属＋汚染金属ガス系	鉄箱	
汚染コンクリートガス系	フレキシブルコンテナ	
汚染コンクリート廃液系	フレキシブルコンテナ	
放射化コンクリート	プラスチックシート	

※:L3 対象物ごとの重量(ton)と放射性廃棄物 1 個当たりの重量(ton)

より算出

・鉄箱：

・フレキシブルコンテナ：

・プラスチックシート：

第 6 表 4 核種ごとの表面線量率

単位 : ((μ Sv/h) / (Bq/cm³))

核種	鉄箱	フレキシブル コンテナ	プラスチック シート
Co-60	7.804E-01	7.173E-01	3.615E-01
Cs-137	1.412E-01	1.489E-01	7.325E-02
Eu-152	3.328E-01	3.277E-01	1.633E-01
Eu-154	3.824E-01	3.686E-01	1.841E-01

第 7 表 放射性廃棄物容器等の種類ごとの単位濃度当たりの
表面線量率

		鉄箱	フレキシブル コンテナ	プラスチック シート
密度 (g/cm³)※ 1				
充填率 (-)※ 2				
かさ密度 (g/cm³)※ 3				
単位濃度当たり の表面線量率 ((μSv/h) / (Bq/g))	Co-60	7.913E-01	8.249E-01	8.315E-01
	Cs-137	1.432E-01	1.712E-01	1.685E-01
	Eu-152	3.375E-01	3.769E-01	3.756E-01
	Eu-154	3.878E-01	4.239E-01	4.234E-01

※ 1 : 第 10 表 注) 1 に示す。

※ 2 : 第 10 表 注) 1 に示す。

※ 3 :

第 8 表 表面線量率に応じた個数分布

表面線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	鉄箱 (個)	フレキシブル コンテナ (個)	プラスチック シート (個)
0～0.1			
0.1～0.3			
0.3～1			
1～3			
3～10			
10～30			
30～100			
100～300			
合 計			

第 9 表 設定した表面線量率ごとの最大放射能濃度

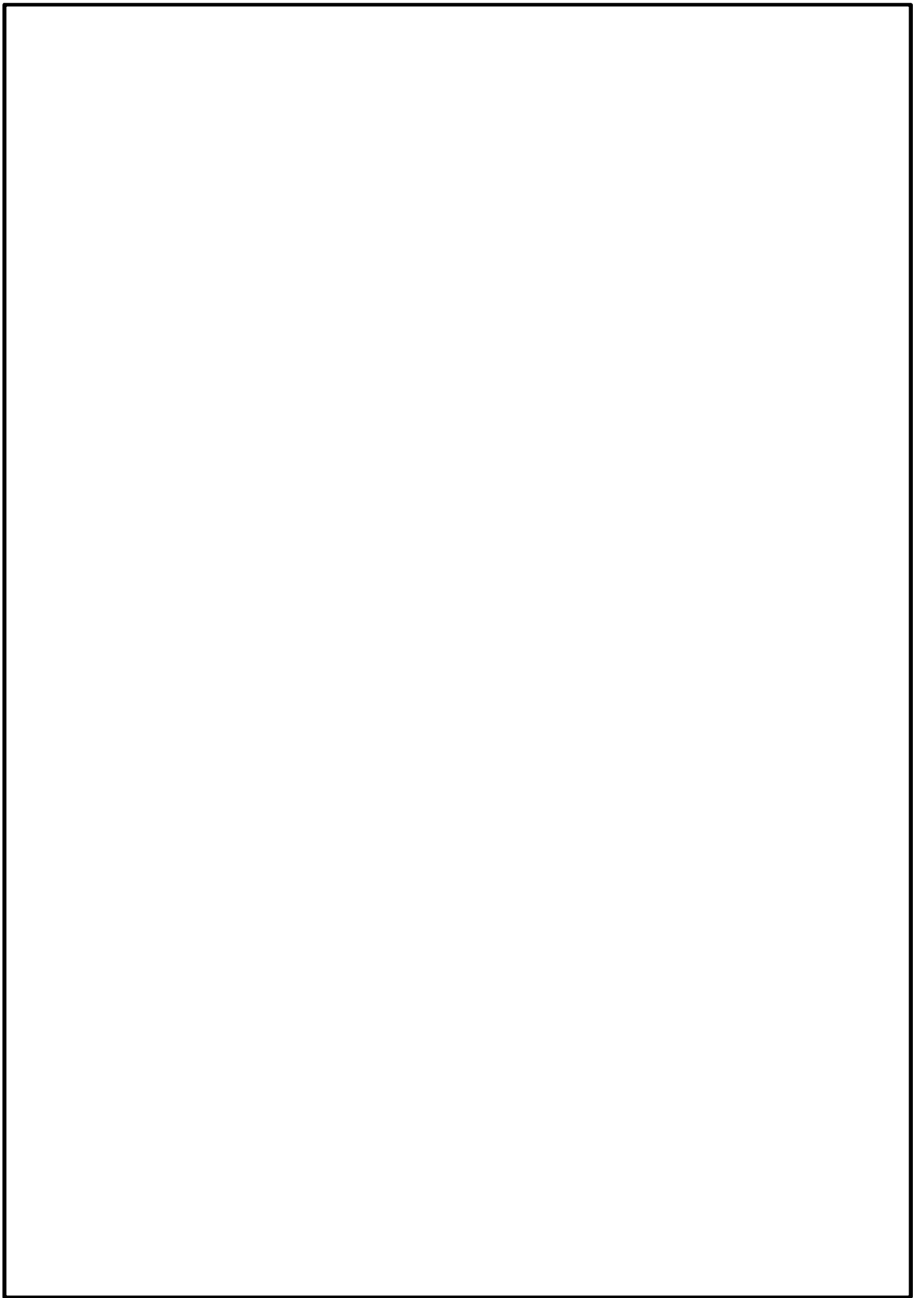
単位：Bq/g

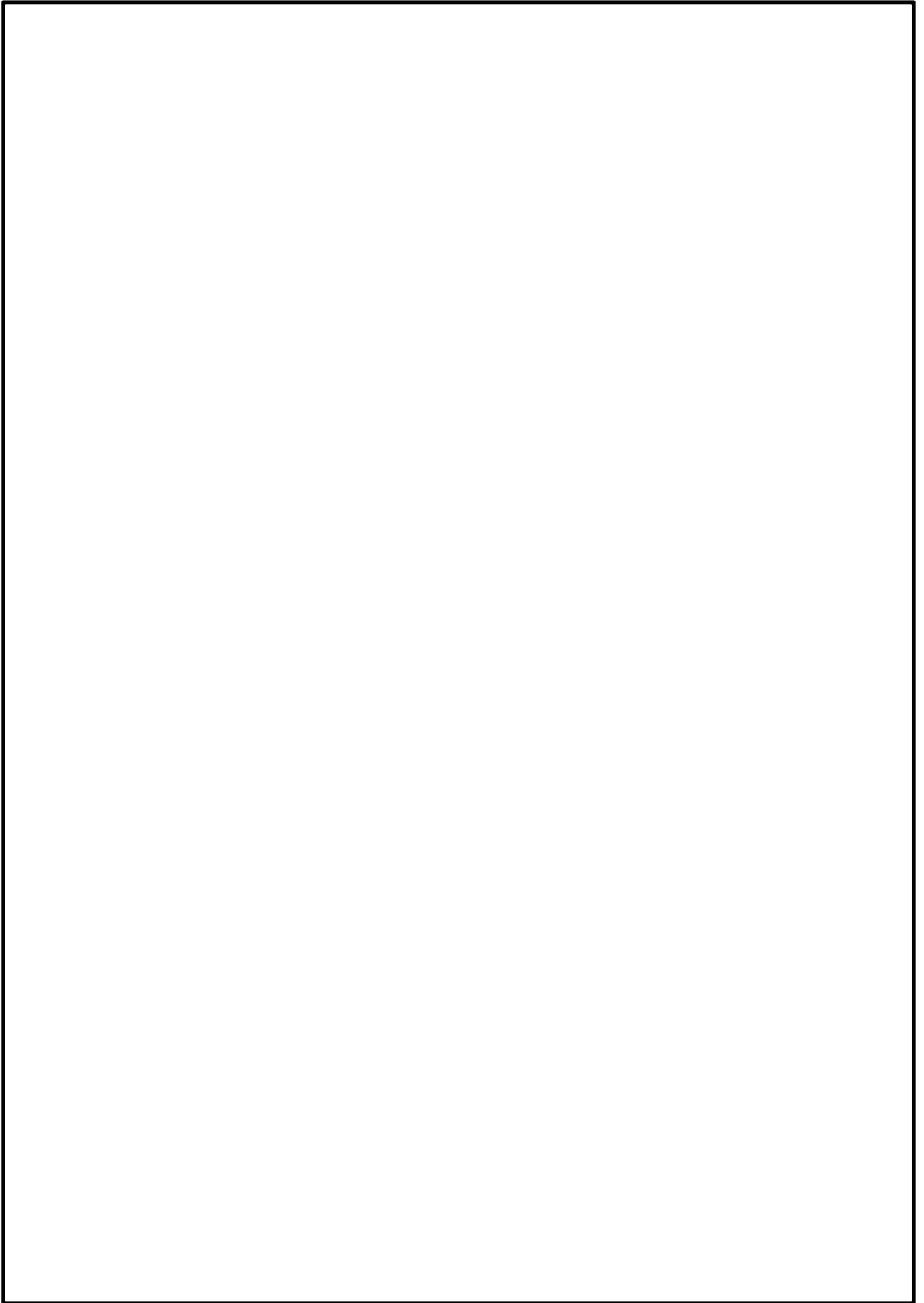
	10 μ Sv/h 廃棄物			300 μ Sv/h 廃棄物		
	鉄箱	フレキシブル コンテナ	プラスチック シート	鉄箱	フレキシブル コンテナ※	プラスチック シート※
H-3	8.0E+01	2.0E+00	3.0E+02	2.0E+02	—	—
C-14	5.0E+00	2.0E-01	1.0E+00	3.0E+00	—	—
Cl-36	1.0E+02	1.0E+02	1.0E+02	1.0E+02	—	—
Ca-41	8.0E-03	5.0E-03	2.0E+00	2.0E-03	—	—
Co-60	2.0E+01	2.0E-01	4.0E+00	8.0E+02	—	—
Ni-63	2.0E+01	3.0E-01	4.0E-01	3.0E+02	—	—
Sr-90	4.0E+00	3.0E-01	2.0E-03	6.0E-01	—	—
Cs-137	2.0E+00	4.0E-01	3.0E-03	7.0E-01	—	—
Eu-152	5.0E-02	7.0E-02	3.0E+01	4.0E+00	—	—
Eu-154	2.0E-02	3.0E-03	9.0E-01	3.0E-01	—	—
全 α	2.0E-01	4.0E-01	3.0E-03	7.0E-03	—	—

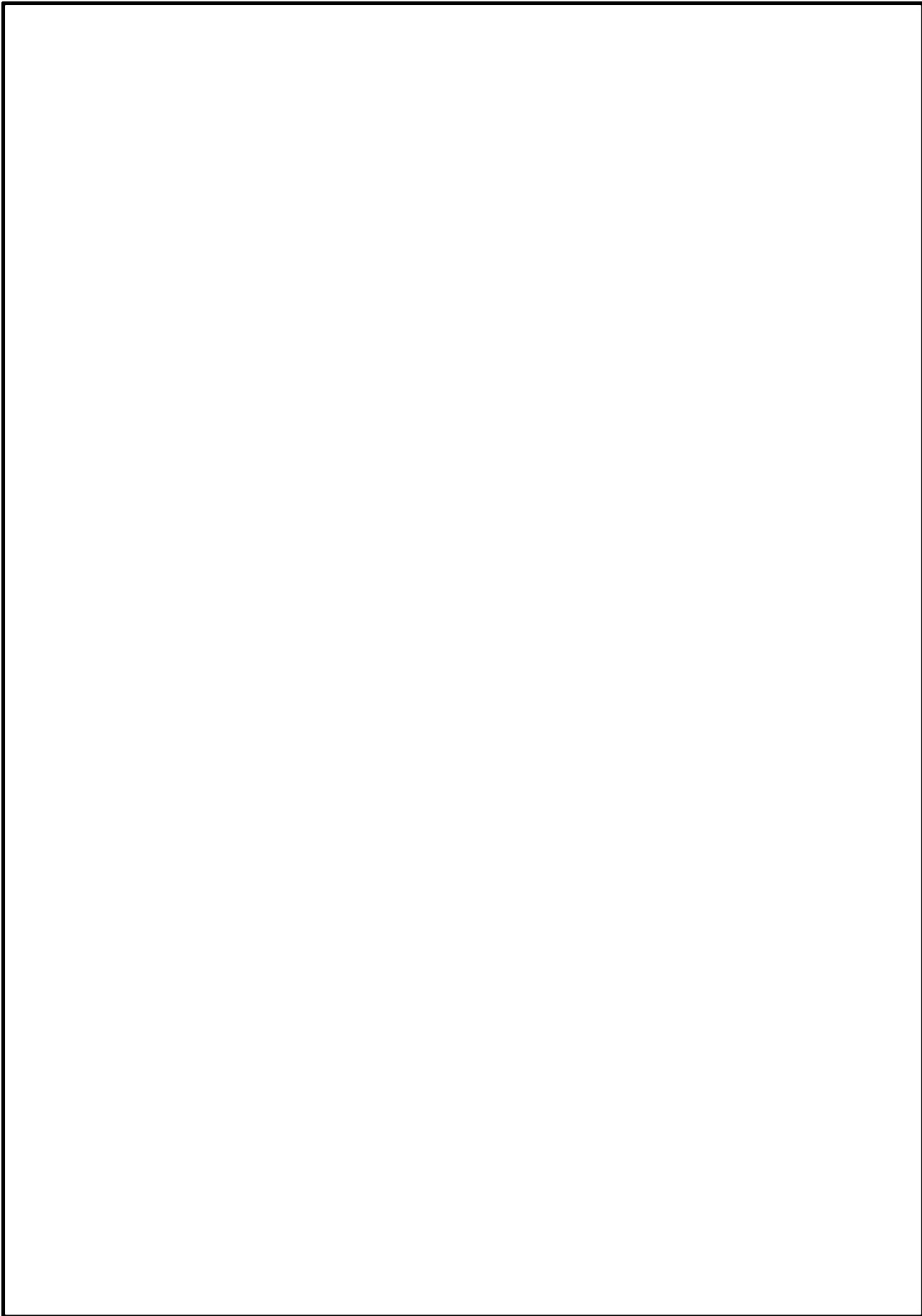
※：対象となる放射性廃棄物がない。

第 10 表 最大放射能濃度以外の評価パラメータ

記号	パラメータ	数値	設定根拠等
W_w	放射性廃棄物 1 個 当たりの重量 (kg)		
N_B	破損する放射性廃 棄物の個数 (—)		
R_B	放射性廃棄物から 粉じんの発生する 割合 (—)		
T_{BD}	粉じんが放出 さ れる時間 (s)		
χ/Q	相対濃度 (s/m ³)		
B_B	評価対象者の呼 吸量 (m ³ /h)		
T_B	粉じんの吸入 時 間 (h)		
$D_{CFINH}(i)$	放射性核種 ⁱ の吸入 内部被ばく線量換 算係数 (Sv/Bq)		







第 11 表 飛散防止の措置喪失時の被ばく線量評価結果

単位：mSv

表面線量率	区画		放射性廃棄物容器等の 種類	被ばく線量
10 μ Sv/h 廃棄物	1 区画	①	鉄箱	1.4E-03
		②	フレキシブルコンテナ	2.5E-03
		③	プラスチックシート	6.1E-04
	54 区画	④ (①×54)	鉄箱	7.4E-02
		⑤ (②×54)	フレキシブルコンテナ	1.3E-01
		⑥ (③×54)	プラスチックシート	3.3E-02
300 μ Sv/h 廃棄物	1 区画 (⑦)		鉄箱	1.2E-03
55 区画	⑤ + ⑦		フレキシブルコンテナ + 鉄箱	1.4E-01 [※]

※ 55 区画分の線量は 54 区画分の最大線量である⑤と 300 μ Sv/h 廃棄物の線量である⑦（1 区画分）を合算した値とした。

○線源条件

各放射性廃棄物の形状・寸法、物質組成と密度等を使用する。線源の放射能濃度は単位濃度（ $1\text{Bq}/\text{cm}^3$ ）とする。

第 8 図 表面線量率の計算モデル

3.4 参考文献

- 1) 独立行政法人 原子力安全基盤機構「IAEA 安全基準 基本安全原則（日本語翻訳版）」（2008 年 12 月）
- 2) Masakazu NAMEKAWA, Tokio FUKAHORI eds. (2012) : Tables of Nuclear Data(JENDL/TND-2012), JAEA-Data/Code 2012-014
- 3) International Atomic Energy Agency (2004) : Sediment Distribution Coefficients and Concentration Factors for Biota in the Marine Environment, IAEA TECHNICAL REPORTS SERIES No.422
- 4) International Atomic Energy Agency (2001) : Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment, IAEA Safety Reports Series No.19
- 5) International Atomic Energy Agency (1982) : Generic Models and Parameters for Assessing the Environmental Transfer of Radionuclides from Routine Releases, Exposures of Critical Groups, IAEA Safety Series No.57
- 6) 小山謹二・奥村芳弘・古田公人・宮坂駿一（1977）：遮蔽材量の群定数, JAERI-M-6928
- 7) 福田雅明（1980）：沿岸海域の海洋拡散の研究, JAERI-M8730
- 8) 日本原子力研究所（1964）：保健物理部の活動 No.7, JAERI 5014
- 9) 日本原子力研究所（1965）：保健物理安全管理部の活動 No.8, JAERI 5015
- 10) 水産庁東海区水産研究所・社団法人日本水産資源保護協会（1970）：茨城県東海村周辺の海洋調査 調査結果 （中間報告）
- 11) 厚生労働省（2014 年）：平成 24 年 国民健康・栄養調査報告
- 12) International Commission on Radiological Protection (1995) : Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of

Radionuclides: Part 5 Compilation of Ingestion and Inhalation
Dose Coefficients, ICRP Publication 72

- 13) 日本原子力研究所「極低レベル固体廃棄物合理的処分安全性実証試験報告書（平成 10 年度科学技術庁委託事業）」（平成 11 年）
- 14) 「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針の付録Ⅱ」（平成 13 年 3 月 29 日 原子力安全委員会）

4. 機能又は措置の喪失時の影響評価結果

廃棄物埋設施設に期待する機能である「移行抑制の機能」又は「遮蔽の機能」が喪失した場合のリスク評価及び廃棄物埋設施設に施す措置である「放射性物質の飛散防止の措置」が喪失した場合のリスク評価を実施した結果を第12表に示す。

廃棄物埋設施設は、廃棄物埋設施設に期待する機能又は廃棄物埋設施設に施す措置が喪失したとしてもリスク評価結果は5mSvを超えず、「安全上重要な施設を有しない施設」相当である。

第12表 機能又は措置の喪失時の影響評価結果

	評価結果
移行抑制の機能	0.11mSv／y
遮蔽の機能	0.66mSv／y
飛散防止の措置	0.14mSv／回

5. 廃棄物埋設施設の設計及び評価の考え方

(1) 設計の考え方

廃棄物埋設施設に埋設する放射性廃棄物は放射性物質濃度が低く、静的な固体状物質である。そのため、廃棄物埋設施設に期待する機能又は廃棄物埋設施設に施す措置を喪失させた場合の極端なケースを仮定しても、グレーデッドアプローチの適用の基準値である 5mSv を大きく下回り、廃棄物埋設施設で行う埋設処分は公衆に対して過度の放射線被ばくを及ぼすおそれがない処分形態であることがわかる。

廃棄物埋設施設の施設設計は、公衆に対して過度な放射線被ばくを及ぼすおそれがない処分形態であることを踏まえて、施設を防護するための過度な施設を設置するのではなく、施設が損傷した場合に修復するとの運用を含めた施設設計を行うことが妥当であると考ええる。

なお、施設設計にあたっては、公衆に対して放射線被ばくのリスクを低減する観点から、リスク評価で仮定した状態ではなく、以下の設計を実施する。

- 埋設区画に定置した放射性廃棄物間の間隙及び放射性廃棄物と仕切板間の間隙に土砂を充填する。
- 埋設区画に放射性廃棄物を複数段設置する際に、1 段ごとに 0.2m 以上の中間覆土を施工する。
- 埋設区画の最上段の中間覆土は 0.5m 以上となるように施工する。
- 全埋設区画への放射性廃棄物の定置作業が終了後に、2m 以上の最終覆土を施工する。

また、公衆に対して放射線被ばくのリスクを低減する観点から、廃棄物埋設施設の運用として以下を定める。

- 放射性廃棄物の定置作業は埋設区画 1 区画ごとに実施する。

- 300 μ Sv/h 廃棄物は埋設区画の最下段にのみ埋設する。
- 悪天候や近隣工場等での事故が発生した場合は、埋設作業を行わない。
- 悪天候や近隣工場等での事故が発生した後は、施設の点検を行い、放射性廃棄物間の間隙に充填した土砂、放射性廃棄物と仕切板間の間隙に充填した土砂、中間覆土及び最終覆土が損傷した場合、修復を行う。

(2) 評価の考え方

第二種埋設許可基準規則第6条への適合性を議論するための外部事象の想定規模については、公衆に対して放射線被ばくのリスクが低いことを踏まえて、敷地及びその周辺における過去の記録を勘案し、敷地及びその周辺の平均的な状態を元に評価を行う。

具体的に自然現象として想定する規模については、気象庁によってその地点の気候を表す代表値として用いられる平年値を元に、平年値の期間での最大値等を用いて評価を行う。

なお、廃棄物埋設施設に埋設する放射性廃棄物は、容器等に封入又は梱包したものを埋設するとともに、「(1)設計の考え方」で示す施設設計及び運用を行うことで、飛散防止の措置を図ることとする。

以上