

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

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第八条

(遮蔽等)

への適合性について

2022年8月

日本原子力発電株式会社

目 次

1	はじめに.....	1
2	設計対象設備.....	4
3	第二種埋設許可基準規則への適合のための設計方針.....	4
3. 1	安全設計の基本的方針.....	4
3. 2	放射線の遮蔽に関する設計方針.....	4
3. 3	放射性物質の飛散防止のための設計方針.....	5
4	第二種埋設許可基準規則への適合性説明.....	5
4. 1	放射線の遮蔽に関する設計.....	5
5	参考資料.....	12

添付資料 1 平常時の外部被ばく線量評価

1 はじめに

本資料は、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について、「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。）第八条及び「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。）第8条への適合性を説明するものである。

第二種埋設許可基準規則第八条及び第二種埋設許可基準解釈第8条の要求事項を第1表に示す。

第1表 第二種埋設許可基準規則第八条及び第二種埋設許可基準解釈第8条の要求事項

第二種埋設許可基準規則	第二種埋設許可基準解釈
<p>(遮蔽等)</p> <p>第八条 廃棄物埋設施設は、当該廃棄物埋設施設からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による事業所周辺の線量を十分に低減できるよう、遮蔽その他適切な措置を講じたものでなければならない。</p> <p>2 廃棄物埋設施設は、放射線障害を防止する必要がある場合には、管理区域その他事業所内の人が立ち入る場所における線量を低減できるよう、遮蔽その他適切な措置を講じたものでなければならない。</p>	<p>第8条 (遮蔽等)</p> <p>1 第1項に規定する「線量を十分に低減できる」とは、平常時における廃棄物埋設施設からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線により公衆の受ける線量が、第13条第1項第1号及び第2号に規定する「廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出」及び第17条第1項に規定する「周辺監視区域の外の空气中及び周辺監視区域の境界における水中の放射性物質」の放出により公衆の受ける線量を含め、法令に定める線量限度を超えないことはもとより、As Low As Reasonably Achievable (ALARA) の考え方の下、実効線量で50マイクロシーベルト/年以下であることをいう。</p> <p>2 第2項に規定する「線量を低減できる」とは、次のことをいう。</p> <p>一 管理区域においては、放射線業務従事者の受ける線量が、放射線業務従事者の線量限度を超えないものであること。</p> <p>二 管理区域以外の人立ち入る場所に滞在する者の線量が、公衆の線量限度以下になるようにすること。</p>

第二種埋設許可基準規則	第二種埋設許可基準解釈
	<p>3 第1項及び第2項については、ALARAの考え方の下、放射線業務従事者の作業性等を考慮して、遮蔽、機器の配置、遠隔操作、放射性物質の漏えい防止、換気等、所要の放射線防護上の措置を講じた設計がなされていること。</p>
<p>3 廃棄物埋設施設は、放射性物質の飛散防止のための措置を講じたものでなければならない。</p>	<p>4 第3項に規定する「飛散防止のための措置」とは、誤操作や機器の故障による放射性廃棄物の落下防止のための措置、落下物による放射性廃棄物の損傷防止のための措置その他必要な措置をいう。</p>

2 設計対象設備

第二種埋設許可基準規則第八条の設計対象は、以下のとおりである。

【遮蔽設計】

廃棄物埋設地のうち、1段ごとに定置した放射性廃棄物（以下「廃棄物」という。）の上部に施工する中間覆土を対象とする。

【放射性物質の飛散防止のための設計】

該当する設計対象はない。

3 第二種埋設許可基準規則への適合のための設計方針

3. 1 安全設計の基本的方針

廃棄物埋設施設（以下「本施設」という。）は、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」等の関係法令の要求を満足する構造とする。

本施設は、第二種埋設許可基準規則に適合する構造とする。

3. 2 放射線の遮蔽に関する設計方針

遮蔽機能は、廃棄物の表面線量当量率、位置等を考慮し、覆土により敷地周辺の公衆の受ける線量及び放射線業務従事者の受ける線量並びに東海低レベル放射性廃棄物埋設事業所（以下「事業所」という。）内の人が立ち入る場所に滞在する者の線量が、「核原料物質又は核燃料物質の製錬の事業に関する規則等の規定に基づく線量限度等を定める告示」（平成30年6月8日原子力規制委員会告示第4号）（以下「線量告示」という。）で定められた線量限度を超えないことはもとより、As Low As Reasonably Achievable（ALARA）の考えの下、合理的に達成できる限り低くできる設計とする。

3. 3 放射性物質の飛散防止のための設計方針

本施設は、放射性物質の飛散防止に係る設備を設置しないが、放射性物質の飛散が発生する可能性を低減するための措置を講ずる。

4 第二種埋設許可基準規則への適合性説明

第二種埋設許可基準規則第八条（遮蔽等）への適合性について確認した結果を以下にまとめる。

4. 1 放射線の遮蔽に関する設計

（1）廃棄物埋設地の遮蔽設計

放射線の遮蔽については、廃棄物埋設地のうち中間覆土により行い、直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による放射線被ばくから敷地周辺の公衆及び放射線業務従事者並びに管理区域以外の人立ち入る場所に滞在する者を防護する。

埋設する廃棄物の受入れの開始から最上段の中間覆土完了までの間においては、施工した中間覆土により放射線の遮蔽を行う。また、最上段の中間覆土完了後から廃止措置の開始までの間においては、最上段まで施工された中間覆土により放射線の遮蔽を行う。

平常時における本施設からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による公衆の受ける線量が、廃棄物埋設地からの放射性物質の移動による公衆の受ける線量及び周辺環境に対して放出される放射性物質による公衆の受ける線量を含め、実効線量で $50 \mu\text{Sv}/\text{y}$ 以下となる設計とする。

ここで、敷地周辺の公衆及び放射線業務従事者並びに事業所内の人立ち入る場所に滞在する者への被ばくを低減するために中間覆土の密度及び厚さを確保する。

第 1 図に中間覆土の施工位置及び操業段階ごとの遮蔽状況、第 2 表に中

間覆土の仕様を示す。

(2) 管理区域等における線量低減措置について

本施設は以下の放射線防護上の措置を講じることで、敷地周辺の公衆の受ける線量及び放射線業務従事者の受ける線量並びに管理区域以外の人
が立ち入る場所に滞在する者の線量を低減できるものとする。

a. 共通事項

- ・ 表面線量当量率が $10 \mu \text{Sv/h}$ を超える廃棄物は 1 段目のみに定置すること
- ・ 埋設区画の 1 区画 1 段ごとに廃棄物を定置し、1 段分全数の廃棄物を定置した後は、速やかに中間覆土を施工すること

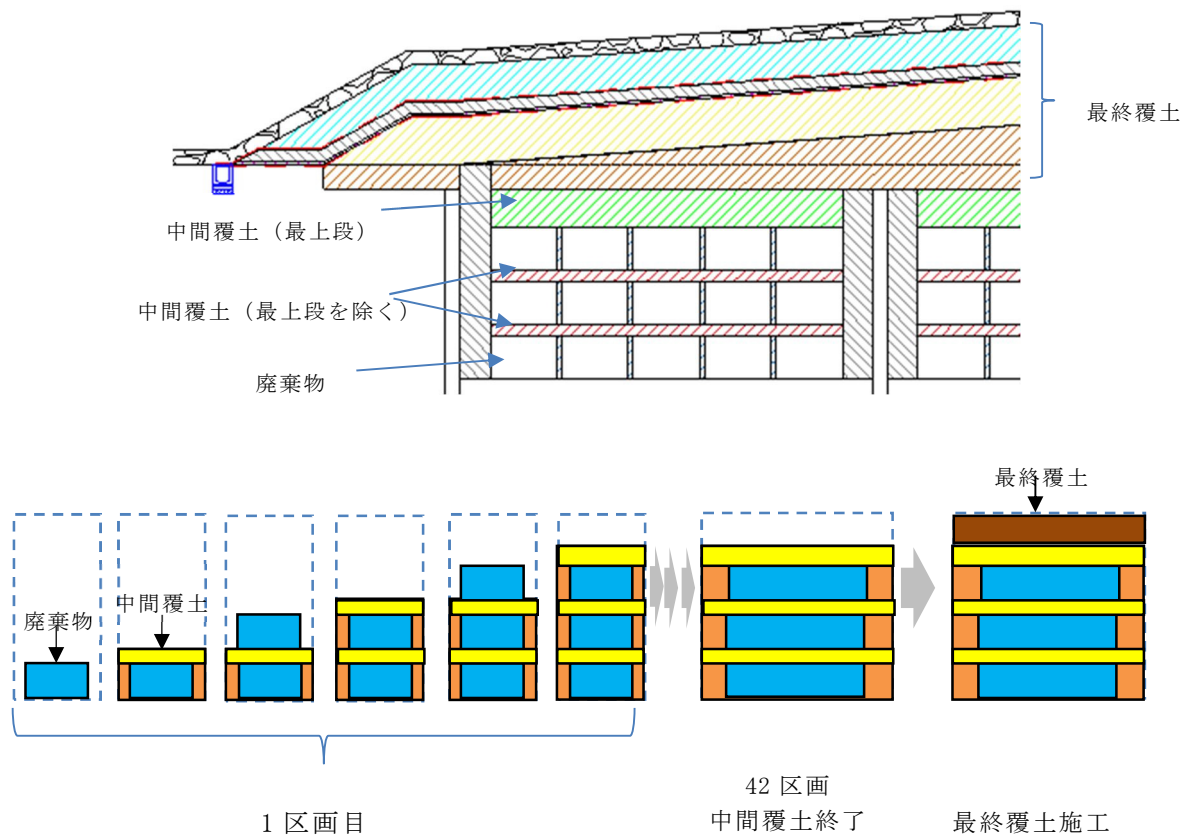
b. 放射線業務従事者の受ける線量を低減

- ・ 管理区域での放射線業務従事者の作業について、作業時間の制限等の必要な措置を講じること
- ・ 作業中に適宜、外部放射線に係る線量当量率及び空気中の放射性物質濃度を測定し、必要な場合には、遮蔽物の使用を行い、作業環境の保全に努めること

なお、事業所内の人
が立ち入る場所に滞在する者の管理区域への立入りを管理する。

本施設は、周辺監視区域外の公衆及び放射線業務従事者の受ける線量が「線量告示」に定める線量限度を超えないよう適切な遮蔽を考慮する。

さらに、人の居住の可能性のある敷地外の公衆の受ける線量については、合理的に達成できる限り低くできるよう配慮する。



第 1 図 中間覆土の施工位置及び作業段階ごとの遮蔽の状況

第 2 表 中間覆土の仕様

項目		仕様
材料		砂又は砂質土
厚さ	最上段除く	0.2 m 以上
	最上段	0.5 m 以上
密度		1.3 g/cm ³ 以上

4. 2 外部被ばく線量評価

本評価は、埋設する廃棄物の受入れの開始から廃止措置の開始までの間における廃棄物埋設地に埋設する廃棄物中に含まれる放射性物質からの外部被ばくであり、敷地境界外に居住する人を対象とする。

外部被ばく線量評価の詳細を添付資料 1 に示す。

(1) 線量評価モデル

廃棄物埋設地に埋設する廃棄物に起因する公衆の受ける線量は、操業条件や工程を踏まえ、計算コードによって計算する。直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による線量の評価は、「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 原子力安全委員会了承）を参考にする。

廃棄物埋設地では、放射線源が平面的に広く分布するとともに、遮蔽状況が廃棄物定置及び覆土の各状況によって変化する。そのため、スカイシャインガンマ線量の計算は、埋設作業の状況による放射線源と線量の計算地点の位置関係及び遮蔽状況を考慮して設定したモデルを用いる。

廃棄物の表面線量当量率は、埋設する廃棄物の最大の表面線量当量率である $300 \mu\text{Sv/h}$ を超えないこととする。また、直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による線量の評価においては、廃棄物の表面線量当量率に応じてグループ分けを行い、グループごとの代表の表面線量当量率から換算した放射能濃度を用いる。

計算コードは、直接ガンマ線については点減衰核積分コード QAD-CGGP2R（以下「QAD」という。）を、スカイシャインガンマ線については一次元輸送計算コード（ANISN）及び一回散乱計算コード G33-GP2R（以下「G33」という。）を組み合わせたものを用いる。

これらの計算コードにより、線量の計算地点における線束密度を計算し、

I C R P Pub. 74⁽¹⁾ の換算係数を用いて空気吸収線量を計算後、線量を計算する。

定置作業時の廃棄物埋設地上面からの線量の計算に当たっては、段ごとに中間覆土及び廃棄物により放射線の放出が制限されることによる低減効果及び地形による遮蔽効果を考慮する。

(2) 線量評価パラメータ

直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による線量の評価は、廃棄物の表面線量当量率に基づき行う。

廃棄物の表面線量当量率は、廃棄物の種類ごとに評価した結果に応じてグループ分けした $10 \mu\text{Sv/h}$ 又は $300 \mu\text{Sv/h}$ とする。

また、ガンマ線を放出する放射性物質は、廃棄物に含まれる放射性物質のうちガンマ線エネルギーが高く、初期の放射エネルギーが多い Co-60 とする。

評価の基礎となる廃棄物の数量は、埋設作業工程に応じた年間埋設個数とする。さらに、埋設作業工程は、廃棄物の定置、覆土等の作業を考慮して設定する。

なお、放射性物質の減衰及び廃棄物埋設地からの漏出による放射線量の減少は考慮しない。

本施設の外部被ばくの計算に用いる前提条件及び主要なパラメータを第3表に示す。

第3表 外部被ばくの計算に用いる前提条件及び主要パラメータ

パラメータ		単位	設定値		
			金属 (鉄箱)	コンクリ ートガラ (鉄箱)	コンクリ ートブロ ック
廃棄物の表面線量当量率		$\mu\text{Sv/h}$	10 又は 300		
廃棄物の密度		g/cm^3	7.800	2.300	2.300
廃棄物（容器 等）の寸法	幅	m	1.369	1.369	0.9
	奥行	m	1.369	1.369	0.7
	高さ	m	0.828	0.828	0.9
中間覆土の密度		g/cm^3	1.300		
中間覆土の厚さ	最上段 除く	m	0.2		
	最上段	m	0.5		
廃棄物層（1区 画1段）の寸法	幅	m	15.1		
	奥行	m	8.5		
	高さ	m	0.828	0.828	0.9
作業工程 (1区画当たり)		日	1 段目廃棄物定置 : 12.5 1 段目中間覆土等 : 2.5 2 段目廃棄物定置 : 8.5 2 段目中間覆土等 : 4.5 3 段目廃棄物定置 : 6.5 3 段目中間覆土等 : 2		

(3) 線量評価結果

本施設に埋設する廃棄物中に含まれる放射性物質によって敷地境界付近における公衆の受ける外部被ばく線量の最大値は、埋設する廃棄物の受入れの開始から全区画の最上段中間覆土完了までの間においては約 $3.8 \times 10^1 \mu\text{Sv}/\text{y}$ 、全区画の最上段中間覆土完了から廃止措置の開始までの間においては約 $1.1 \times 10^1 \mu\text{Sv}/\text{y}$ である。

また、この期間における第十三条第1項第二号に規定する「廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出」による被ばく線量の最大値は、海産物摂取による内部被ばくで約 $6.9 \times 10^{-3} \mu\text{Sv}/\text{y}$ である。

なお、この期間における第十七条第1項に規定する「周辺監視区域の外の空气中及び周辺監視区域の境界における水中の放射性物質」の放出により公衆の受ける線量については、本施設は廃棄施設を設置しないことから、考慮する必要はない。

最終覆土完了から廃止措置の開始までの期間は、十分な厚さの最終覆土があるため、周辺監視区域の廃止後に敷地内へ立ち入る人を考慮しても外部被ばく線量影響は無視できる。

以上から、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から廃止措置の開始までの間における公衆の受ける合計線量は、埋設中の区画からの寄与を考慮して最大約 $3.8 \times 10^1 \mu\text{Sv}/\text{y}$ となり、本施設は、法令に定める線量限度を超えないことはもとより、公衆に対して合理的に達成できる限り十分に低い線量となる施設の設計となっている。

4. 3 放射性物質の飛散防止のための措置

廃棄物埋設地に埋設する廃棄物は、容器へ収納又はこん包した状態で取り扱うことから、通常の手扱いにおいて廃棄物に含まれる放射性物質が大気中に飛散することはない。また、中間覆土の施工後は廃棄物が大気に露出しないことから廃棄物に含まれる放射性物質が大気中に飛散することはない。

このため、放射性物質の飛散防止は、埋設する廃棄物の受入れから中間覆土を施工するまでの期間に通常の手扱いを逸脱する等により、容器又はこん包が損傷するような状況を想定し、その発生を防止するための措置を講ずる。

廃棄物の定置作業はクレーン等の操作により実施することから、定置作業中におけるクレーン等の誤操作及び機器の故障による廃棄物の落下防止並びに落下物による廃棄物の損傷防止のため、以下の措置を講ずる。

- ・ 荒天時及び異常発生時の作業の中止，中断
- ・ 労働安全衛生法及び関連政省令の遵守
- ・ 「クレーン構造規格」等に適合したクレーン等の使用
- ・ 万一の誤操作等による廃棄物等の落下を想定し，落下した場合に破損する廃棄物の数をできる限り低減するために，1区画ごとに定置作業を実施する

5 参考資料

- (1) International Commission on Radiological Protection (1996):
Conversion Coefficients for use in Radiological Protection
against External Radiation, ICRP Publication 74

以上

平常時の外部被ばく線量評価

1 はじめに

平常時における公衆の受ける外部被ばく線量評価について説明する。

2 線量評価の方針

外部被ばく線量の評価は、本施設周辺で最大の被ばくを与える地点に居住する人を対象とする。評価を行う放射線は、廃棄物から放出されるガンマ線とする。廃棄物から放出される放射線には、ガンマ線以外も想定されるが、取扱いに当たっては廃棄物の容器又はこん包を開放しないこと及び定置した廃棄物の周囲に土砂を充填することを考慮すると、寄与は十分に小さい。

また、廃棄物埋設地から漏出した放射性物質の移動先における外部被ばくも被ばく経路として考えられるが、寄与が十分に小さいことから考慮しない。

線量の計算地点は、線源に近い地点がより保守的な結果となることから、周辺監視区域境界付近とする。

評価においては、直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線を対象とし、直接ガンマ線は、廃棄物の定置後は周囲の地形により遮蔽されることから、廃棄物が地上に露出する可能性があるクレーン等による廃棄物の定置作業中を対象とする。

また、「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 原子力安全委員会了承)を参考とするとともに、信頼性のあるコードを用い、操業条件や工程を踏まえて行う。

評価については、第二種埋設許可基準規則第十三条第1項第二号の評価において、地下水に放射性物質が移動することを想定しているが、保守的な条件として放射能の減衰がない状態を想定して評価を行う。

3 廃棄物埋設地の評価

3.1 共通事項

(1) 計算コード

計算コードは、他施設等において使用実績が十分にあり、信頼性があるコードを用いることとし、直接ガンマ線による線量の計算にはQADを用いる。また、スカイシャインガンマ線による線量の計算にはANISN及びG33を組み合わせたものを用いる。

(2) 線源

線源は直接ガンマ線量の評価では廃棄物、スカイシャインガンマ線量の評価では間隙に充填する砂を含む1段分の定置した廃棄物(以下「廃棄物層」という。)とする。

ガンマ線を放出する放射性物質については、廃棄物に含まれる放射性物質のうち、ガンマ線エネルギーが高く、初期の放射エネルギーが多いCo-60(ガンマ線のエネルギー1.25 MeV, 放出率200%)で代表することにより、評価結果が厳しくなるよう設定する。

(3) 物性値

評価に用いる物性値は第1表に示す通りとする。

第1表 評価に用いる物性値

① 廃棄物層の廃棄物（容器）密度

パラメータ	単位	金属 (鉄箱)	コンクリートガラ (鉄箱)	コンクリート ブロック
廃棄物層の物質	—	鉄	コンクリート	コンクリート
廃棄物密度	g/cm ³	7.800	2.300	2.300
廃棄物充填率	%	34	50	100
廃棄物のかさ密度	g/cm ³	2.652	1.150	2.300
廃棄物の内容積	m ³	1.5	1.5	0.567
1区画1段の 廃棄物定置数	個	50	50	120
1区画の幅	m	15.1		
1区画の奥行	m	8.5		
廃棄物層の高さ	m	0.828	0.828	0.9
廃棄物層の 廃棄物割合	—	0.705	0.705	0.589
廃棄物層の 平均密度	g/cm ³	1.869	0.811	1.355

・ 金属： $2.652 \times (1.5 \times 50 / (15.1 \times 8.5 \times 0.828)) \doteq 1.869 \text{ g/cm}^3$

・ コンクリートガラ： $1.150 \times (1.5 \times 50 / (15.1 \times 8.5 \times 0.828))$

$\doteq 0.811 \text{ g/cm}^3$

・ コンクリートブロック： $2.300 \times (0.567 \times 120 / (15.1 \times 8.5 \times 0.9))$
 $\approx 1.355 \text{ g/cm}^3$

② 廃棄物の元素密度_金属

元素	組成 wt%	密度 g/cm ³
F e	100	2.652×10^0

・ 組成は鉄 100%とし，密度は廃棄物のかさ密度の値を用いる。

③ 廃棄物の元素密度_コンクリートガラ

元素	組成 wt%	密度 g/cm ³
H	4.16×10^{-1}	4.78×10^{-3}
O	5.07×10^1	5.84×10^{-1}
M g	1.15×10^{-1}	1.32×10^{-3}
A l	4.46×10^{-1}	5.13×10^{-3}
S i	3.86×10^1	4.44×10^{-1}
S	7.00×10^{-2}	8.05×10^{-4}
C a	6.87×10^0	7.90×10^{-2}
F e	2.74×10^0	3.15×10^{-2}

・ 組成は，J A E R I -M6928 の普通コンクリート 1 の組成とした。

・ 元素ごとの密度は，廃棄物のかさ密度×各元素の組成（wt%）により算出した。

④ 廃棄物の元素密度_コンクリートブロック

元素	組成 wt%	密度 g/cm ³
H	4.16×10^{-1}	9.57×10^{-3}
O	5.07×10^1	1.17×10^{-0}
M g	1.15×10^{-1}	2.65×10^{-3}
A l	4.46×10^{-1}	1.03×10^{-2}
S i	3.86×10^1	8.88×10^{-1}
S	7.00×10^{-2}	1.61×10^{-3}
C a	6.87×10^0	1.58×10^{-1}
F e	2.74×10^0	6.30×10^{-2}

- ・ 組成は、J A E R I -M6928 の普通コンクリート 1 の組成とした。
- ・ 元素ごとの密度は、廃棄物のかさ密度×各元素の組成 (wt%) により算出した。

⑤ 廃棄物層の原子個数密度_金属

元素	組成 wt%	密度 g/cm ³	原子個数密度 個/cm ³
F e	100	1.869×10^0	2.015×10^{22}

- ・ 組成は鉄 100%とし、元素ごとの密度は廃棄物層密度の値を用いる。
- ・ 原子個数密度は、廃棄物層の密度に元素ごとの組成比を乗じた後、原子量で除し、アボガドロ定数を乗じて算出した。

⑥ 廃棄物層の原子個数密度_コンクリートガラ

元素	組成 wt%	密度 g/cm ³	原子個数密度 個/cm ³
H	4.16×10^{-1}	3.37×10^{-3}	2.016×10^{21}
O	5.07×10^1	4.12×10^{-1}	1.549×10^{22}
Mg	1.15×10^{-1}	9.33×10^{-4}	2.310×10^{19}
Al	4.46×10^{-1}	3.62×10^{-3}	8.074×10^{19}
Si	3.86×10^1	3.13×10^{-1}	6.712×10^{21}
S	7.00×10^{-2}	5.68×10^{-4}	1.066×10^{19}
Ca	6.87×10^0	5.57×10^{-2}	8.370×10^{20}
Fe	2.74×10^0	2.22×10^{-2}	2.394×10^{20}

- ・ 組成は、J A E R I -M6928 の普通コンクリート 1 の組成とした。
- ・ 元素ごとの密度は、廃棄物層の密度×各元素の組成により算出した。
- ・ 原子個数密度は、廃棄物層の密度に元素ごとの組成比を乗じた後、原子量で除し、アボガドロ定数を乗じて算出した。

⑦ 廃棄物層の廃棄物（容器）の原子個数密度_コンクリートブロック

元素	組成 wt%	密度 g/cm ³	原子個数密度 個/cm ³
H	4.16×10^{-1}	5.64×10^{-3}	3.368×10^{21}
O	5.07×10^1	6.88×10^{-1}	2.588×10^{22}
Mg	1.15×10^{-1}	1.56×10^{-3}	3.860×10^{19}
Al	4.46×10^{-1}	6.04×10^{-3}	1.349×10^{20}
Si	3.86×10^1	5.23×10^{-1}	1.121×10^{22}
S	7.00×10^{-2}	9.49×10^{-4}	1.781×10^{19}
Ca	6.87×10^0	9.31×10^{-2}	1.398×10^{21}
Fe	2.74×10^0	3.71×10^{-2}	4.000×10^{20}

- ・ 組成は、J A E R I -M6928 の普通コンクリート 1 の組成とした。
- ・ 元素ごとの密度は、廃棄物層の密度×各元素の組成により算出した。
- ・ 原子個数密度は、廃棄物層の密度に元素ごとの組成比を乗じた後、原子量で除し、アボガドロ定数を乗じて算出した。

⑧ 原子個数密度_中間覆土

元素	組成 wt%	密度 g/cm ³	原子個数密度 個/cm ³
H	1.79×10^{-1}	2.32×10^{-3}	1.386×10^{21}
C	1.36×10^0	1.77×10^{-2}	8.865×10^{20}
O	5.20×10^1	6.76×10^{-1}	2.544×10^{22}
N a	3.70×10^{-1}	4.81×10^{-3}	1.259×10^{20}
M g	7.22×10^{-1}	9.38×10^{-3}	2.324×10^{20}
A l	2.53×10^0	3.29×10^{-2}	7.350×10^{20}
S i	3.67×10^1	4.77×10^{-1}	1.022×10^{22}
P	1.74×10^{-2}	2.26×10^{-4}	4.398×10^{18}
K	1.08×10^0	1.40×10^{-2}	2.154×10^{20}
C a	3.92×10^0	5.10×10^{-2}	7.655×10^{20}
T i	1.49×10^{-1}	1.94×10^{-3}	2.443×10^{19}
M n	7.72×10^{-3}	1.00×10^{-4}	1.100×10^{18}
F e	1.00×10^0	1.30×10^{-2}	1.401×10^{20}

- ・ 覆土の組成は「理科年表 2015年」の砂質岩の平均組成を用いて算出した元素ごとの組成比を使用し、密度は候補材料の土質試験結果で得られた乾燥密度から施工余裕等を考慮した保守的な値（ 1.3 g/cm^3 ）を使用した。
- ・ 原子個数密度は、密度に元素ごとの組成比を乗じた後、原子量で除し、アボガドロ定数を乗じて算出した。

⑨ 原子個数密度_空気

元素	組成 wt%	密度 g/cm ³	原子個数密度 個/cm ³
H	1.00×10^{-3}	1.21×10^{-8}	7.198×10^{15}
C	1.26×10^{-2}	1.51×10^{-7}	7.585×10^{15}
N	7.55×10^{-1}	9.09×10^{-4}	3.909×10^{19}
O	2.32×10^{-1}	2.80×10^{-4}	1.054×10^{19}

- ・ 空気の密度と元素ごとの組成比は J A E R I -M6928 の水の組成とした。
- ・ 原子個数密度は、密度 (1.2049×10^{-3} g/cm³) に元素ごとの組成比を乗じた後、原子量で除し、アボガドロ定数を乗じて算出した。

(4) 計算地点

計算地点は「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」(昭和51年9月28日原子力委員会決定)を参考に、線源となる廃棄物が存在する廃棄物埋設地から最も近い周辺監視区域境界とする。

また、計算地点の東京湾中等潮位(以下「T.P.」という。)からの標高は、計算地点の実際の標高を元に評価ごとの保守性を考慮して設定する。

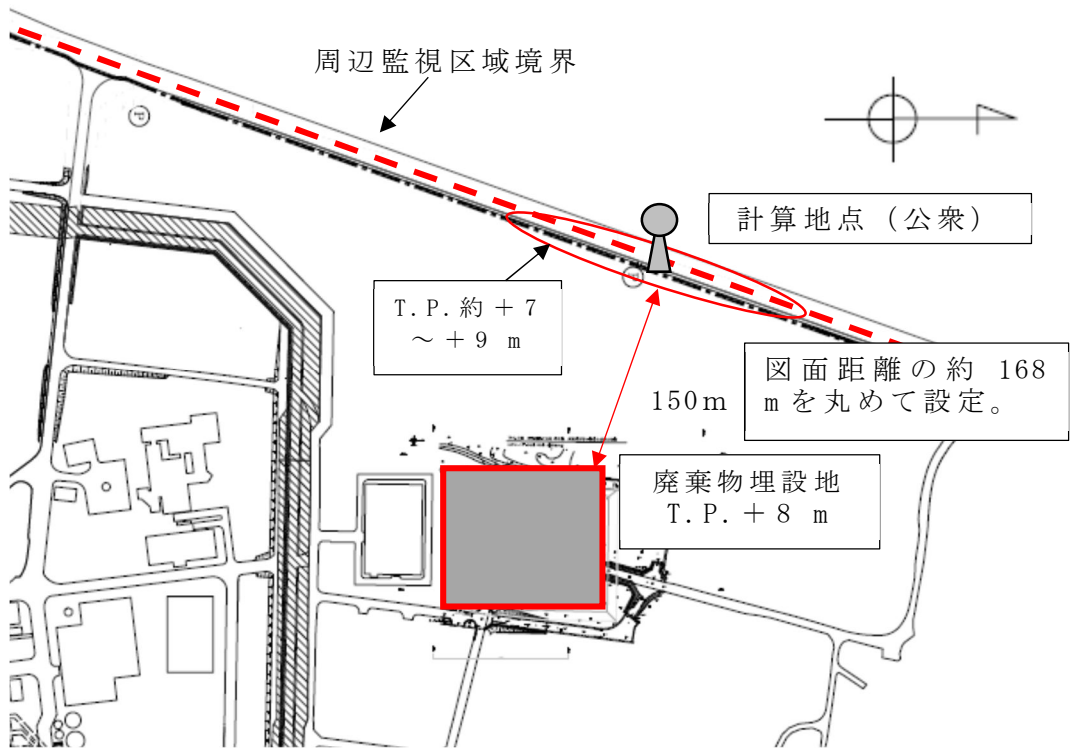
第2表に計算地点までの距離及び標高の設定値を、第1図に計算地点までの距離及び標高の考え方を示す。

第 2 表 計算地点までの距離及び標高

項 目	値	備 考
計算地点までの距離	150 m	図面距離の約 168 m を丸めて 150 m に設定
計算地点の 標高	T.P. + 8 m	直接線量評価時
	T.P. + 11 m	スカイシャイン線量評価時 計算上の計算地点は地表 1 m として, T.P. + 10 m + 1 m

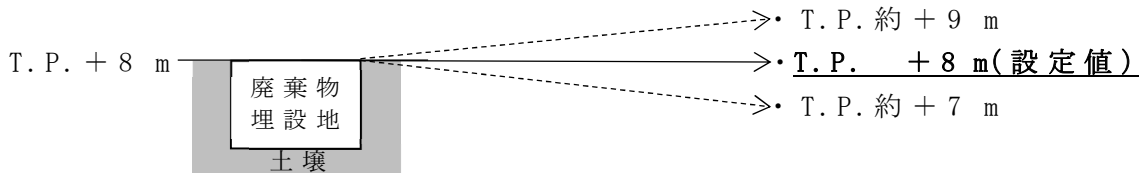
- ・ 廃棄物埋設地における線源（廃棄物又は廃棄物層）と周辺監視区域までの距離は、埋設する区画により異なるが、保守的に全ての区画の評価において、線源から計算地点までの距離を 150 m と設定する。
- ・ 計算地点を設定する周辺監視区域境界は、標高が T.P. 約 +7 m ~ 約 +9 m と傾斜地形であるが計算地点の標高は、評価上の保守性を考慮して設定する。

【計算地点までの距離の設定】



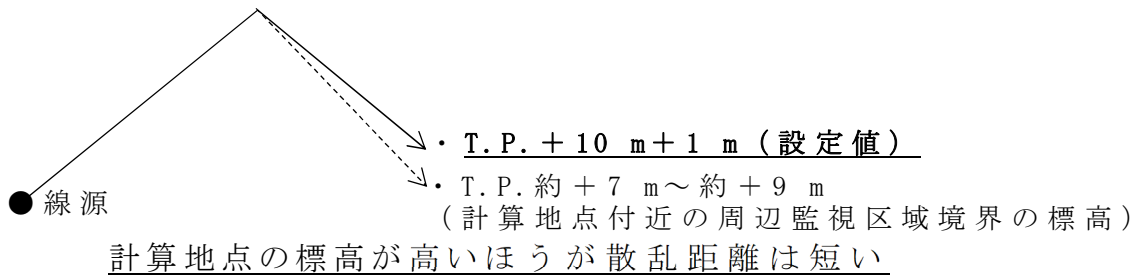
【計算地点の標高の設定】

○直接ガンマ線量の計算



廃棄物埋設地と標高差が少ないほうが計算地点までの距離は短い

○スカイシャインガンマ線量の計算



第 1 図 計算地点までの距離及び標高の考え方

3. 2 直接ガンマ線の評価

(1) 評価の考え方

直接ガンマ線の評価は、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、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。

廃棄物が廃棄物埋設地で受け入れられてから定置されるまでの間、廃棄物が地表面より上で取り扱われている状態で、その作業に係る時間を廃棄物 1 個当たりで設定する。

なお、定置した廃棄物からの直接ガンマ線については、計算地点と埋設地の標高差があり、計算地点から廃棄物を直視できないことから、考慮しない。

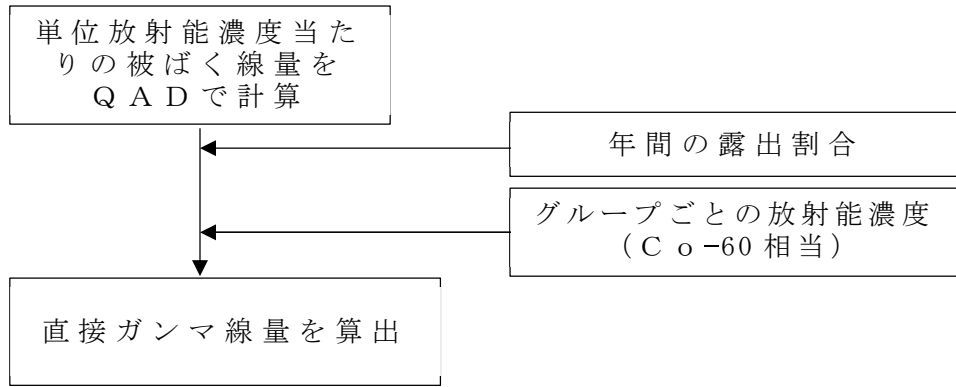
(2) 評価方法

単位放射能濃度 (1 Bq/cm^3) の各廃棄物 1 個を計算地点から 150 m 離れた位置に置いた状態で Q A D にて単位時間当たりの直接ガンマ線量を計算する。

次に、廃棄物種類ごとに、年間で取り扱う廃棄物数（廃棄物個数）と年間で地表面より上で取り扱う時間（取扱時間）から年間の露出割合を算出する。

年間の露出割合、 $10 \mu \text{ Sv/h}$ 及び $300 \mu \text{ Sv/h}$ に相当するグループごとの放射能濃度（ C_{o-60} 相当）及び Q A D の計算結果から、廃棄物種類ごとに直接ガンマ線量を算出する。

直接ガンマ線量評価の流れを第 2 図に示す。



第 2 図 直接ガンマ線評価の流れ

(3) 単位放射能濃度当たりの被ばく線量の評価

a. 線源

線源は廃棄物とし，廃棄物の収納容器及びこん包をモデル化した直方体形状として，放射能濃度は単位放射能濃度（ 1 Bq/cm^3 ）とする。線源密度は，埋設する廃棄物の材質及び容器等への充填率を考慮した。

ガンマ線を放出する放射性物質については，廃棄物に含まれる放射性物質のうち，ガンマ線エネルギーが高く，初期の放射エネルギーが多い Co-60 （ガンマ線のエネルギー 1.25 MeV ，放出率 200% ）で代表する。

線源の設定を第 3 表に示す。

第 3 表 線源の設定

パラメータ		単位	金属 (鉄箱)	コンクリー トガラ (鉄箱)	コンクリー トブロック
廃棄物の 密度		g/cm^3	2.652	1.150	2.300
廃棄 物の 寸法	幅	m	1.369	1.369	0.9
	奥行	m	1.369	1.369	0.7
	高さ	m	0.828	0.828	0.9

b. 遮蔽条件

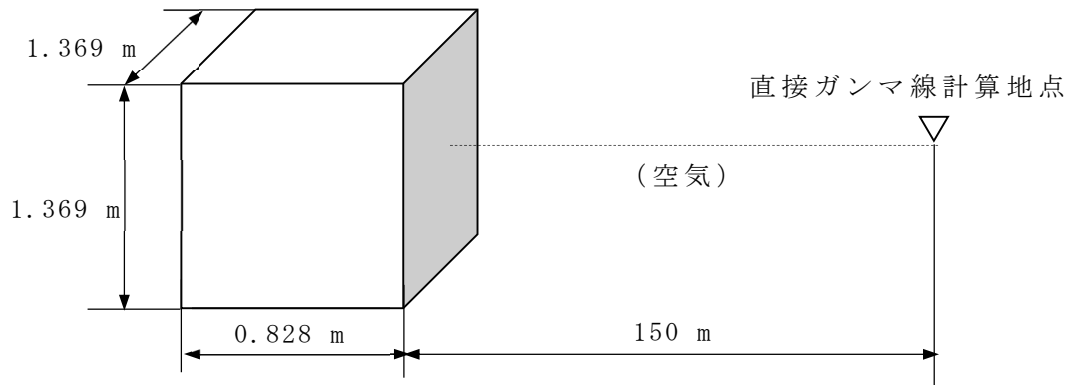
計算モデルでは、廃棄物表面から計算地点までの距離を150mとし、廃棄物と計算地点の間には遮蔽物はないものとし、空気による遮蔽のみ考慮する。また、鉄箱の板厚及びシートの材質厚さは、考慮しない。

c. 評価モデル

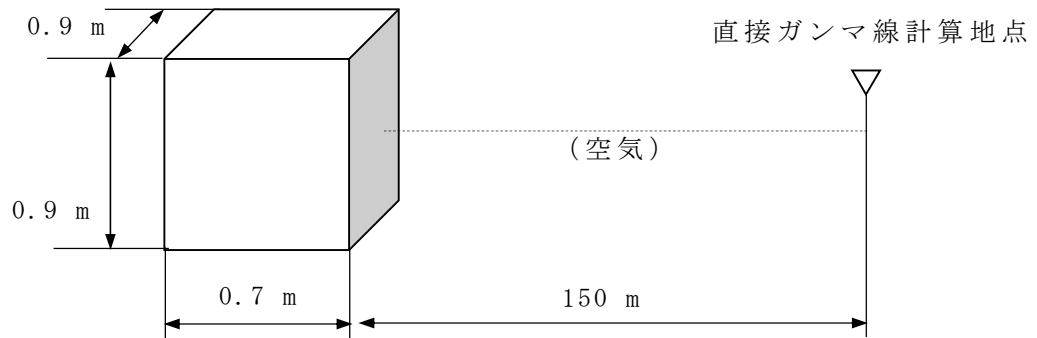
被ばく線量を評価する廃棄物の面については、保守的に線量が最も大きくなる表面積の一番大きい面を廃棄物種類ごとに選択する。

直接ガンマ線量の計算モデルを第3図に示す。

○金属・コンクリートガラ



○コンクリートブロック



第3図 直接ガンマ線量の計算モデル

(4) 直接ガンマ線の計算条件

a. 廃棄物の放射能濃度

グループ分けした廃棄物の表面線量当量率に応じたC o - 60相当放射能濃度とする。C o - 60相当放射能濃度の評価結果を添付資料1-1に示す。

b. 廃棄物の年間最大埋設個数

廃棄物の種類別及びグループ別の年間最大埋設個数の設定値を添付資料1-2に示す。

c. 取扱時間及び露出割合

廃棄物 1 個当たりの定置に要する時間を取扱時間とする。取扱時間の設定値を添付資料 1-2 に示す。

d. 時間の設定

線量の評価時間は 1 年間（8,760 時間）とする。

(5) 直接ガンマ線の計算結果

直接ガンマ線の計算結果を以下に示す（合計値は小数第 2 位を切上げ）。

第 6 表 直接ガンマ線の計算結果

パラメータ	金属 (鉄箱)	コンクリート (鉄箱)	コンクリート ブロック
10 μ Sv/h 廃棄物による年間最大被ばく線量 (μ Sv/y)	1.1×10^{-1}	9.6×10^{-2}	4.2×10^{-2}
300 μ Sv/h 廃棄物による年間最大被ばく線量 (μ Sv/y)	2.1×10^{-1}	—	—
年間最大被ばく線量 合計 (μ Sv/y)	3.2×10^{-1}		

3. 3 スカイシャインガンマ線の評価

(1) 評価の考え方

スカイシャインガンマ線による線量の評価は、廃棄物層を対象とする。

線源となる廃棄物層の状態及び遮蔽となる廃棄物層と中間

覆土の状態を設定して影響を評価する。

計算においては，廃棄物埋設中の被ばく線量，最上段中間覆土後の区画からの被ばく線量を算出する。

なお，最終覆土の施工後は遮蔽により線量が低減するが，最終覆土に遮蔽機能を期待しないことから評価において考慮しない。

(2) 評価方法

廃棄物種類ごとに，計算に用いる廃棄物層高さ及び中間覆土厚さの遮蔽条件を設定する。

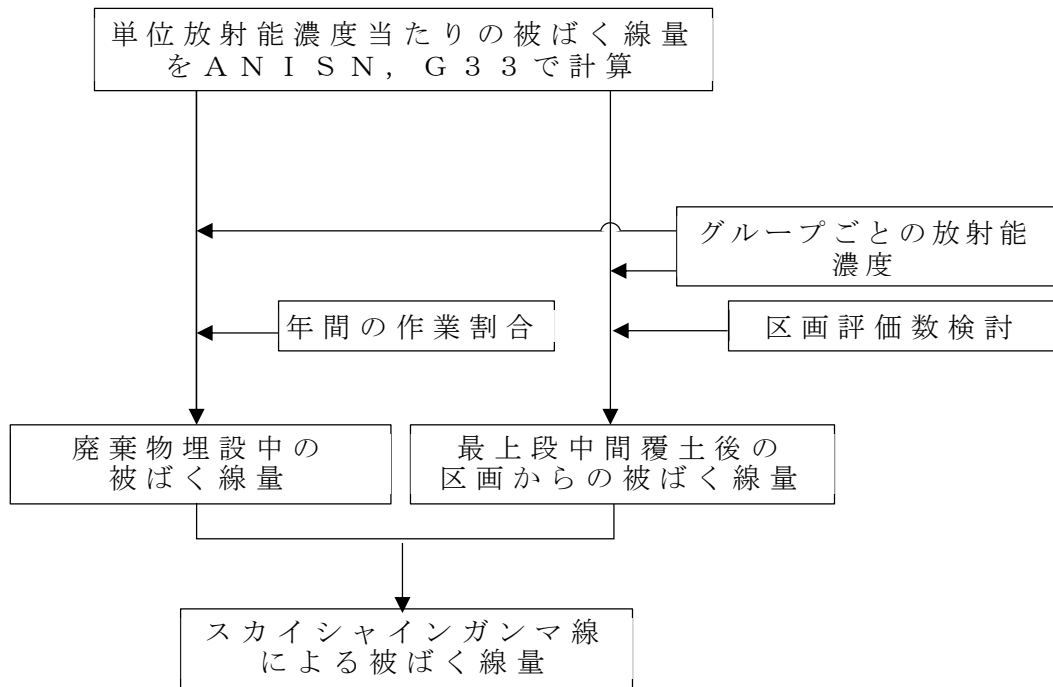
廃棄物の定置作業，隙間の砂充填作業及び中間覆土作業等から，廃棄物及び遮蔽の状態設定を行う。

設定に基づき，単位放射能濃度（ 1 Bq/cm^3 ）にて，区画の地表面を結合点として，ANISNとG33を組み合わせて，単位放射能濃度当たりのスカイシャインガンマ線を計算する。

単位放射能濃度当たりのスカイシャインガンマ線の計算結果，廃棄物の Co-60 相当放射能濃度及び年間の作業割合から，廃棄物埋設中のスカイシャインガンマ線による被ばく線量を算出する。

単位放射能濃度当たりのスカイシャインガンマ線計算結果，廃棄物の Co-60 相当放射能濃度及び区画評価数検討結果から，最上段中間覆土後の区画からのスカイシャインガンマ線による被ばく線量を算出する。

スカイシャインガンマ線評価の流れを第4図に示す。



第 4 図 スカイシャインガンマ線評価の流れ

(3) 単位放射能濃度当たりの被ばく線量の計算

単位放射能濃度（ 1 Bq/cm^3 ）にて，区画の地表面を結合点として，ANISNとG33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G33に入力し，単位面積当たりのスカイシャイン線量を算出する。
- (c) (b)で求めた単位面積当たりのスカイシャイン線量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線量を算出する。

b. 評価条件

(a) 線源

線源は廃棄物層とし，放射能濃度は単位放射能濃度（ 1 Bq/cm^3 ）とする。線源密度は，埋設する廃棄物の材質，容器等への充填率及び廃棄物の廃棄物層への埋設個数を考慮する。

ガンマ線を放出する放射性物質については，廃棄物に含まれる放射性物質のうち，ガンマ線エネルギーが高く，初期の放射線エネルギーが多い Co-60 （ガンマ線のエネルギー 1.25 MeV ，放出率 200% ）で代表する。

線源の設定を第4表に示す。

第4表 線源の設定

パラメータ	単位	金属 (鉄箱)	コンクリートガラ (鉄箱)	コンクリートブロック
廃棄物層の廃棄物（容器）密度	g/cm^3	1.869	0.811	1.355
廃棄物層の幅	m	15.1		
廃棄物層の奥行	m	8.5		
廃棄物層の高さ	m	0.828	0.828	0.9

(b) 遮蔽条件

線源から計算地点までの水平距離を 150 m とし，評価結果が区画位置に依らない設定とする。

線源と計算地点の間の遮蔽物は操業の段階に応じて中間覆土及び上段の廃棄物層を考慮する。なお，鉄箱の板厚

及びシートの材質厚さは，考慮しない。

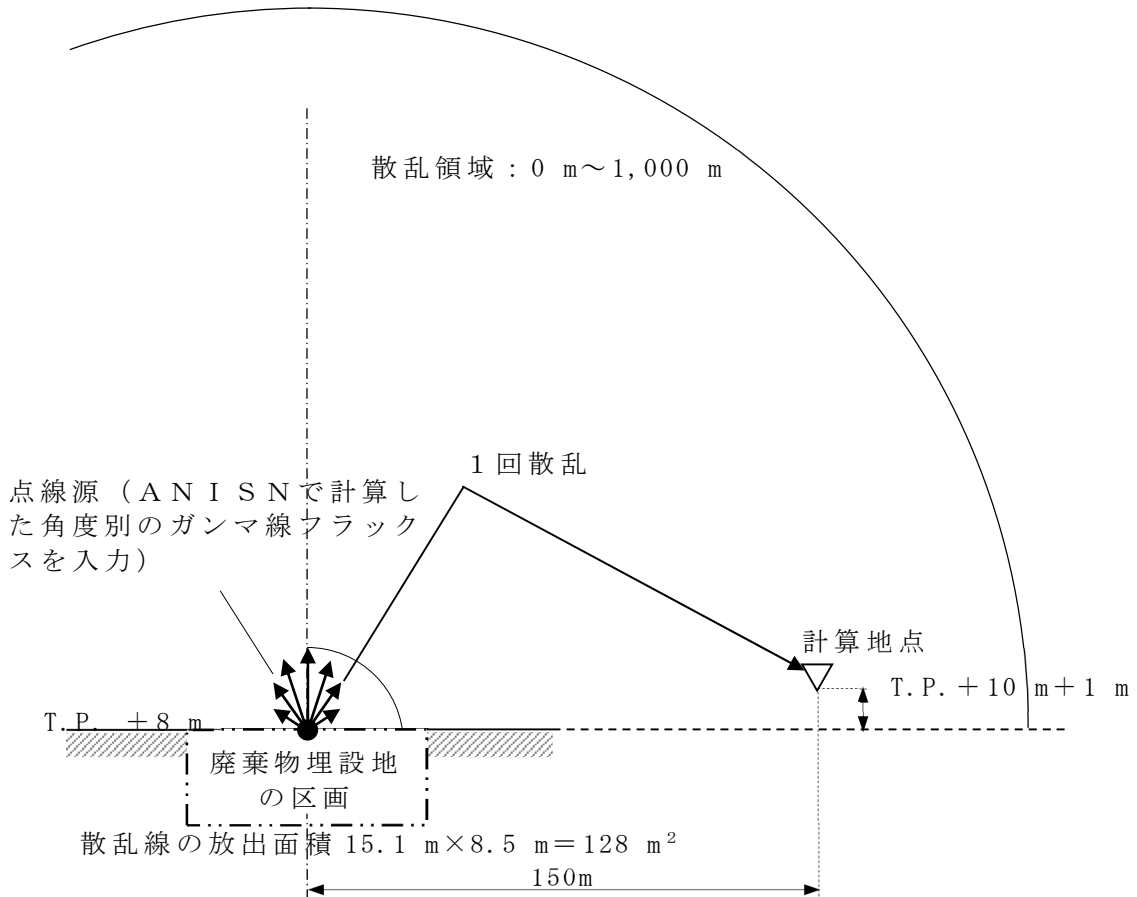
遮蔽の状態設定を添付資料 1-3 に示す。

c. 計算モデル

ANISNによる計算モデルは，添付資料 1-3 にて示した状態設定図である。

G33による1回散乱線の計算モデルを第5図に示す。

なお，ANISN及びG33における角度束の計算地点位置は，いずれの作業段階も線源の位置に関係なく安全側に区画の地表面とする。



第5図 G33による1回散乱線の計算モデル

(4) スカイシャインガンマ線の計算条件

a. 線源の放射能濃度

線源の表面線量当量率は添付資料 1-1 にてグループ分けした $10 \mu\text{Sv/h}$ 又は $300 \mu\text{Sv/h}$ とし、放射能濃度はグループ分けした廃棄物の表面線量当量率に応じた Co-60 相当放射能濃度とする。

Co-60 相当放射能濃度の評価結果を添付資料 1-1 に示す。

b. 年間の作業割合

廃棄物種類別及びグループ別の年間の作業割合の設定値を添付資料 1-2 に示す。

c. 区画評価数の検討

添付資料 1-2 から、年間最大埋設区画数を 10 区画と設定したことから、スカイシャインガンマ線の影響を考えた場合、廃棄物を埋設した区画の数が多くなるほど、また、埋設作業中の廃棄物の露出時間が長いほど、線量影響は大きくなるため、全 42 区画のうち 32 区画で最上段中間覆土の施工が完了した状態で、最後の 10 区画を 1 年間で埋設する場合は最も線量影響が大きくなる。

線量評価上の状態設定としては、最上段中間覆土済の区画を 32 区画、1 年間で埋設する区画（以下「埋設中の区画」という。）を $10 \mu\text{Sv/h}$ 廃棄物を 8 区画、 $300 \mu\text{Sv/h}$ 廃棄物を 2 区画と設定する。

なお、 $300 \mu\text{Sv/h}$ 廃棄物は各区画の 1 段目のみに埋設することから、 $300 \mu\text{Sv/h}$ 廃棄物の埋設中の線量影響については 1 段目からの影響のみを評価し、2, 3 段目からの影響は $10 \mu\text{Sv/h}$

廃棄物の評価区画数を 2 区画加えて 10 区画として評価する。

また、最上段中間覆土後の区画からの影響は、埋設中の区画の最上段中間覆土が完了した後の影響を考慮し、最後に埋設する 1 区画を除く 9 区画を加えた 41 区画で最上段中間覆土が完了している状態が保守的に 1 年間継続するとして評価する。

d. 時間の設定

線量の評価時間は 1 年間 (8,760 時間) とする。

(5) スカイシャインガンマ線の計算結果

スカイシャインガンマ線の計算結果を第 5 表に示す (合計値は小数第 2 位を切上げ)。

第 5 表 スカイシャイン線の計算結果

埋設中	10 μ Sv/h 廃棄物による年間最大線量 (μ Sv/y) (10 区画)	8.7×10^0
埋設中	300 μ Sv/h 廃棄物による年間最大線量 (μ Sv/y) (1 段目からの影響, 2 区画)	1.9×10^1
最上段中間覆土後	最上段中間覆土後の 41 区画による年間最大線量 (μ Sv/y)	1.0×10^1
廃棄物の受入れ～全区画最上段中間覆土完了	年間被ばく線量線量合計 (μ Sv/y)	3.8×10^1
全区画最上段中間覆土完了～廃止措置の開始	最上段中間覆土後の 42 区画による年間最大線量 (μ Sv/y)	1.1×10^1

3. 4 評価結果

廃棄物埋設地からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による影響評価結果を第6表に示す。

第6表 直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による
影響評価結果

パラメータ	廃棄物の受入れ ～全区画最上段 中間覆土完了	全区画最上段中 間覆土完了～廃 止措置の開始
直接ガンマ線による年間最大 線量 ($\mu\text{Sv}/\text{y}$)	3.2×10^{-1}	—
スカイシャインガンマ線によ る年間最大線量 ($\mu\text{Sv}/\text{y}$)	3.8×10^1	1.1×10^1
直接ガンマ線及びスカイシャ イン線の合計線量 ($\mu\text{Sv}/\text{y}$)	3.8×10^1	1.1×10^1

以上

廃棄物のグループ設定及びC o - 60 放射能濃度の設定について

1 廃棄物のグループ設定

(1) 表面線量当量率による廃棄物のグループ設定の考え方

直線ガンマ線量及びスカイシャインガンマ線量の計算に用いる線源を設定するため、評価済みの情報を用いて、表面線量当量率により廃棄物のグループを設定する。

廃棄物として埋設する金属及びコンクリートの種類ごとに含まれる放射性物質の種類、放射能濃度、並びに重量等の物性については、「東海発電所廃止措置計画認可申請書」(令和3年3月31日認可)に基づいて、金属及びコンクリートの種類ごとに評価した分類、物量及び放射能濃度(原子炉停止20年後に減衰補正)を用いて、金属及びコンクリートの種類ごとに廃棄物の表面線量当量率をQADを用いて計算する。

(2) 核種ごとの表面線量当量率評価

a . 評価方法

鉄箱、コンクリートブロック及びコンクリートガラ等各廃棄物1個の単位放射能濃度(1 Bq/cm³)当たりの表面線量当量率((μ Sv/h) / (Bq/cm³))を核種ごとにQADを用いて評価する。

b. 評価条件

(a) 線源

線源は廃棄物とし、廃棄物の収納容器及びこん包をモデル化した直方体形状とする。線源密度は、埋設する廃棄物の材質及び容器等への充填率を考慮する。

ガンマ線を放出する放射性物質については、廃棄物に含まれる放射性核種のうち、主なガンマ線放出核種であるC o - 60, C s - 137, E u - 152 及びE u - 154 を用いる。

線源の設定を第1表に示す。

第1表 線源の設定

パラメータ	単位	金属 (鉄箱)	コンクリートガラ (鉄箱)	コンクリートブロック
線源の密度 (かさ密度)	g/cm^3	2.652	1.150	2.300
線源の 寸法	幅	m	1.369	0.9
	奥行	m	1.369	0.7
	高さ	m	0.828	0.828

(b) 線源の放射能濃度

C o - 60, C s - 137, E u - 152 及びE u - 154 について各 $1 Bq/cm^3$ とする。

(c) 遮蔽条件

廃棄物表面を計算地点とし，空気による遮蔽のみ考慮する。また，鉄箱の板厚及びシートの厚さは，考慮しない。

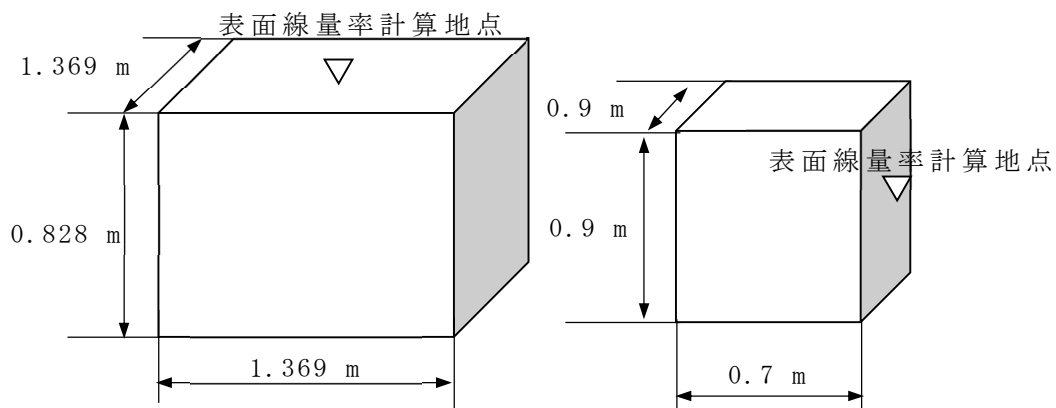
(d) 評価モデル

表面線量当量率を評価する廃棄物の面については，保守的に線量が最も大きくなる表面積の一番大きい面を廃棄物種類ごとに選択する。

表面線量当量率の評価モデルを第1図に示す。

○金属・コンクリートガラ

○コンクリートブロック



第1図 表面線量当量率の評価モデル

(3) 単位放射能濃度当たりの表面線量当量率

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

各廃棄物1個の核種ごとの表面線量当量率 $((\mu\text{Sv/h}) / (\text{Bq/cm}^3))$ とそれぞれの廃棄物のかさ密度 (g/cm^3) を用いて，単位放射能濃度当たりの表面線量当量率

$((\mu\text{ Sv/h}) / (\text{Bq/g}))$ を以下に示す式を用いて算出する。

$$\begin{aligned} & \text{単位放射能濃度当たりの表面線量率 } ((\mu\text{ Sv/h}) / (\text{Bq/g})) \\ & = \text{核種ごとの表面線量当量率 } ((\mu\text{ Sv/h}) / (\text{Bq/cm}^3)) \\ & \quad \times \text{かさ密度 } (\text{g/cm}^3) \end{aligned}$$

(4) 金属及びコンクリートの種類ごとの廃棄物の表面線量当量率の計算

表面線量当量率に寄与する γ 線源 4 核種のそれぞれの組成比を用いて、算出した金属及びコンクリートの種類ごとの放射能濃度 (Bq/g) に単位放射能濃度当たりの表面線量当量率 $((\mu\text{ Sv/h}) / (\text{Bq/g}))$ を乗じて、4 核種それぞれの表面線量当量率 ($\mu\text{ Sv/h}$) を以下に示す式を用いて算出する。

$$\begin{aligned} & 4 \text{ 核種ごとの表面線量当量率 } (\mu\text{ Sv/h}) \\ & = \text{金属及びコンクリートの種類ごとの放射能濃度 } (\text{Bq/g}) \\ & \quad \times \text{単位濃度当たりの表面線量当量率 } ((\mu\text{ Sv/h}) / (\text{Bq/g})) \end{aligned}$$

上式で算出した 4 核種ごとの表面線量当量率を合算して金属及びコンクリートの種類ごとの廃棄物の表面線量当量率を算出する。

(5) 廃棄物の表面線量当量率に応じたグルーピング

算出した結果を用いて、直線ガンマ線量及びスカイシャインガンマ線量の計算に用いる線源として、以下の要領で廃棄物をグルーピングする。

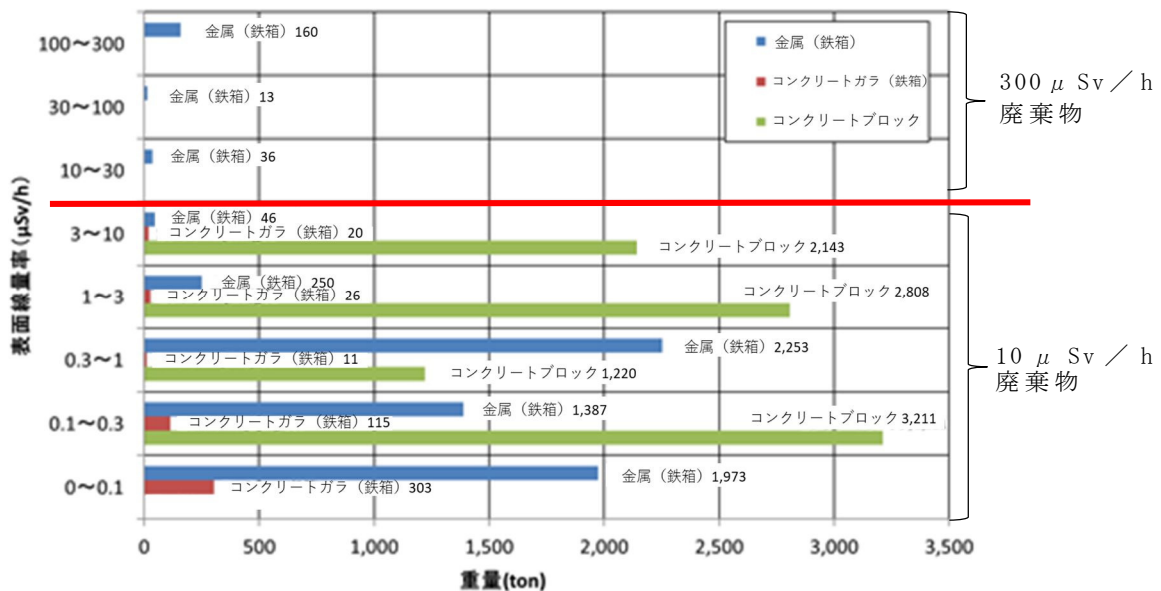
廃棄物の表面線量当量率に応じたグルーピング条件を第 2 表に示す。

第 2 表 表面線量当量率に応じた廃棄物グループ

表面線量当量率の条件	計算に用いる 廃棄物グループ
10 μ Sv/h 以下の廃棄物	10 μ Sv/h 廃棄物
10 μ Sv/h を超え 300 μ Sv/h 以下の廃棄物	300 μ Sv/h 廃棄物

(6) 廃棄物の表面線量当量率に応じたグルーピング結果

算出した結果を用いて廃棄物の表面線量当量率に応じたグルーピングの結果及びグループごとの廃棄物量を第 2 図，第 3 表に示す。



第 2 図 廃棄物の表面線量当量率に応じたグルーピング結果

第3表 グループごとの廃棄物量

パラメータ	金属 (鉄箱)	コンクリート (鉄箱)	コンクリート ブロック
10 μ Sv/h 廃棄物	約 5,900 t	約 500 t	約 9,400 t
300 μ Sv/h 廃棄物	約 200 t	—	—

2 グループごとのC o - 60 放射能濃度の計算

(1) 計算方法

直線ガンマ線量及びスカイシャインガンマ線量の計算に用いる線源を設定するため、金属、コンクリートガラ及びコンクリートブロックの各廃棄物の表面線量当量率が、10 μ Sv/h 及び 300 μ Sv/h となる放射能濃度を算出する。

放射能濃度の計算においては、主なガンマ線放出核種であるC o - 60, C s - 137, E u - 152 及びE u - 154 の放射性核種のうち、エネルギーが高い核種としてC o - 60 (1.25 MeV, 放出率200%) を選択した。

グループごとのC o - 60 放射能濃度の計算方法を以下に示す。

$$\begin{aligned} & \cdot 10 \mu \text{ Sv/h 廃棄物の C o - 60 放射能濃度 (Bq/g)} \\ & = 10 (\mu \text{ Sv/h}) \div \text{単位放射能濃度当たりの C o - 60} \\ & \quad \text{表面線量当量率 } ((\mu \text{ Sv/h}) / (\text{Bq/g})) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \cdot 300 \mu \text{Sv/h 廃棄物の } \text{C o} - 60 \text{ 放射能濃度 (Bq/g)} \\
 & = 300 (\mu \text{Sv/h}) \div \text{単位放射能濃度当たりの } \text{C o} - 60 \\
 & \quad \text{表面線量当量率 } ((\mu \text{Sv/h}) / (\text{Bq/g}))
 \end{aligned}$$

(2) 計算結果

算出した単位放射能濃度当たりの $\text{C o} - 60$ 表面線量当量率及び $10 \mu \text{Sv/h}$, $300 \mu \text{Sv/h}$ 相当 $\text{C o} - 60$ 放射能濃度を第 4 表に示す。

第 4 表 単位濃度当たりの表面線量当量率及び $10 \mu \text{Sv/h}$, $300 \mu \text{Sv/h}$ 相当 $\text{C o} - 60$ 放射能濃度

パラメータ	金属 (鉄箱)	コンクリートガラ (鉄箱)	コンクリートブロック
① 単位濃度当たりの 表面線量当量率 ($\mu \text{Sv/h}$) / (Bq/cm^3)	3.04×10^{-1}	7.12×10^{-1}	3.68×10^{-1}
② $10 \mu \text{Sv/h}$ 相当 $\text{C o} - 60$ 濃度 (Bq/cm^3)	3.29×10^1	1.40×10^1	2.72×10^1
③ $300 \mu \text{Sv/h}$ 相当 $\text{C o} - 60$ 濃度 (Bq/cm^3)	9.88×10^2	—	—

以上

廃棄物埋設地の操業に係る状態設定について

1 作業工程ごとの操業条件について

(1) 想定する操業条件

a. 廃棄物埋設地に係る状態設定

本埋設計画では、15.1 m×8.5 mを一つの区画として管理することから、区画を1つの単位として評価を行う。廃棄物埋設地は、西側18区画、東側24区画の42区画で評価を実施する。

b. 廃棄物の埋設位置に係る状態設定

1区画当たりの廃棄物の最大埋設段数を3段とする。

埋設の対象となる廃棄物のうち、 $10 \mu\text{Sv/h}$ 廃棄物については、定置する位置を制限しない。

$300 \mu\text{Sv/h}$ 廃棄物については、埋設方法の制限として、区画の1段目（最下段）にのみ定置する。

$300 \mu\text{Sv/h}$ 廃棄物を定置した区画の2, 3段目には $10 \mu\text{Sv/h}$ 廃棄物を定置する。

第1表に1区画1段当たりの廃棄物種類ごとの最大埋設個数を示す。

第 1 表 1 区画 1 段当たりの最大埋設個数

廃棄物	最大埋設個数 (個)
金属（鉄箱）	50
コンクリートガラ（鉄箱）	50
コンクリートブロック	120

c. 埋設の進捗状況に係る状態設定

各区画は、埋設の進捗状況により、以下のように変化する。

- ・ パターン A：廃棄物が定置されていない状態
- ・ パターン B：廃棄物が定置されている途中の状態
- ・ パターン C：廃棄物の定置後、最上段中間覆土が施工された状態
- ・ パターン D：最終覆土が施工された状態

操業中の区画はパターン B であり、最上段定置後の中間覆土が終了することにより、その区画はパターン C に移る。1 度に操業する区画の数は 1 つで、42 区画分の埋設が終了するまで同様に実施する。

その後、42 区画を覆うように最終覆土を施工し、パターン D となる。

なお、最終覆土に遮蔽機能を期待しないことから、パターン D は評価する状態には含まない。

d. 作業日数

a. ～ c. の操業条件を元に、標準的な操業サイクルを設定し、そのサイクルに基づき操業が行われるものとして、

作業工程ごとの作業日数を設定する。

第2表に1区画当たりの作業工程ごとの作業日数を示す。

第2表 1区画当たりの作業工程ごとの作業日数

作業項目		作業日数 (日)
1	1段目定置	12.5
2	1段目砂充填・中間覆土	2.5
3	2段目定置	8.5
4	2段目砂充填・中間覆土	4.5
5	3段目定置	6.5
6	3段目砂充填・中間覆土	2
合計		36.5

(2) 年間最大埋設区画数の設定

10 μ Sv/h 廃棄物の年間最大埋設区画数は、365日を1区画当たりの作業日数で除して設定する。

$$\begin{aligned} & \cdot 10 \mu \text{ Sv/h 廃棄物の年間最大埋設区画数} \\ & = 365 (\text{日}) \div 36.5 (\text{日/区画}) = 10 (\text{区画}) \end{aligned}$$

300 μ Sv/h 廃棄物（金属）の年間最大埋設区画数は、埋設する総数が100個以下であることから、100個を1区画1段当たりの最大埋設個数で除して、以下の通り設定する。

$$\begin{aligned} & \cdot 300 \mu \text{ Sv/h 廃棄物の年間最大埋設区画数} \\ & = 100 (\text{個}) \div 50 (\text{個/区画}) = 2 (\text{区画}) \end{aligned}$$

(3) 廃棄物の年間最大埋設個数の設定

10 μ Sv/h 廃棄物は年間通して埋設することから，年間最大埋設個数は，1 区画 1 段当たりの廃棄物埋設個数に埋設段数を乗じ，さらに年間最大埋設区画数を乗じて設定する。

300 μ Sv/h 廃棄物の年間最大埋設個数は，埋設する総数を設定する。

第 3 表に年間最大埋設個数の設定値を示す。

第 3 表 廃棄物の年間最大埋設個数

廃棄物	1 区画 1 段の最大埋設個数 (個)	段数	年間最大埋設区画数	年間最大埋設個数 (個)
金属 (鉄箱)	50	3	10	1,500
コンクリートガラ (鉄箱)	50			1,500
コンクリートブロック	120			3,600
300 μ Sv/h 廃棄物	—	—	—	100

2 年間の作業割合の算出

スカイシャインガンマ線量の計算に使用する年間の作業割合は，以下の方法で算出する。

(1) 10 μ Sv/h 廃棄物

10 μ Sv/h 廃棄物の取扱いは，年間を通じて行われること

から，各作業項目の作業日数を作業日数の総和で除して算出する。

第4表に作業割合の算出結果を示す。

第4表 10 μ Sv/h 廃棄物の年間の作業割合

作業項目		作業 日数 (日)	作業割合 (-)	備 考
1	1 段目 定置	12.5	3.4×10^{-1}	作業日数 ÷ 作業日数の総 和
2	1 段目 砂充填・中間覆土	2.5	6.8×10^{-2}	
3	2 段目 定置	8.5	2.3×10^{-1}	
4	2 段目 砂充填・中間覆土	4.5	1.2×10^{-1}	
5	3 段目 定置	6.5	1.8×10^{-1}	
6	3 段目 砂充填・中間覆土	2	5.5×10^{-2}	

(2) 300 μ Sv/h 廃棄物

300 μ Sv/h 廃棄物は年間で最大2区画分を計算することから，各作業項目の作業日数に区画数の2を乗じて，365日で除して算出する。

第5表に作業割合の算出結果を示す。

第 5 表 300 μ Sv/h 廃棄物の年間の作業割合

作業項目		作業 日数 (日)	区画数	作業割合 (-)
1	1 段目定置	12.5	2	3.4×10^{-2}
2	1 段目砂充填・中間覆土	2.5	2	6.8×10^{-3}
3	2 段目定置	8.5	2	2.3×10^{-2}
4	2 段目砂充填・中間覆土	4.5	2	1.2×10^{-2}
5	3 段目定置	6.5	2	1.8×10^{-2}
6	3 段目砂充填・中間覆土	2	2	5.5×10^{-3}

3 取扱時間及び露出割合

(1) 取扱時間

直接ガンマ線の影響評価に必要な廃棄物 1 個当たりの取扱時間は、1 区画分の廃棄物の定置に要する作業日数に実働時間を乗じ、さらに 1 区画に埋設する廃棄物の個数で除して算出する。

第 6 表、第 7 表に取扱時間の算出結果を示す。

第6表 1区画当たりの取扱時間

作業項目		作業 日数 (日)	1区画当 たりの取扱 時間 (分)	備 考
1	1段目定置	12.5	3,750	廃棄物の定置に 要する作業日数 ×実働時間(5時 間/日)×60分
2	1段目砂充填・中間覆土	—	—	
3	2段目定置	8.5	2,550	
4	2段目砂充填・中間覆土	—	—	
5	3段目定置	6.5	1,950	
6	3段目砂充填・中間覆土	—	—	
合 計		27.5	8,250	

第7表 廃棄物1個当たりの取扱時間

作業項目	1区画当 たりの取扱時 間(分)	1区画の 埋設個数	1個当 たりの取扱時間 (分)
金属(鉄箱)	8,250	150	55
コンクリートガラ(鉄箱)		150	55
コンクリートブロック		360	23
300 μ Sv/h廃棄物		150	55

(2) 露出割合

廃棄物の種類ごとの年間の露出割合は、年間最大埋設個数を1時間当たりの取扱い個数(60÷取扱時間)で除し、さらに年間の時間数で除して算出する。

第8表に露出割合の算出結果を示す。

第8表 廃棄物の種類ごとの露出割合

作業項目	年間最大埋設個数(個)	分/時間	1個当たりの取扱時間(分)	時間/年	露出割合(-)
金属(鉄箱)	1,500	60	55	8,760	1.57×10^{-1}
コンクリート ガラ(鉄箱)	1,500		55		1.57×10^{-1}
コンクリート ブロック	3,600		23		1.58×10^{-1}
300 μ Sv/h 廃棄物	100		55		1.05×10^{-2}

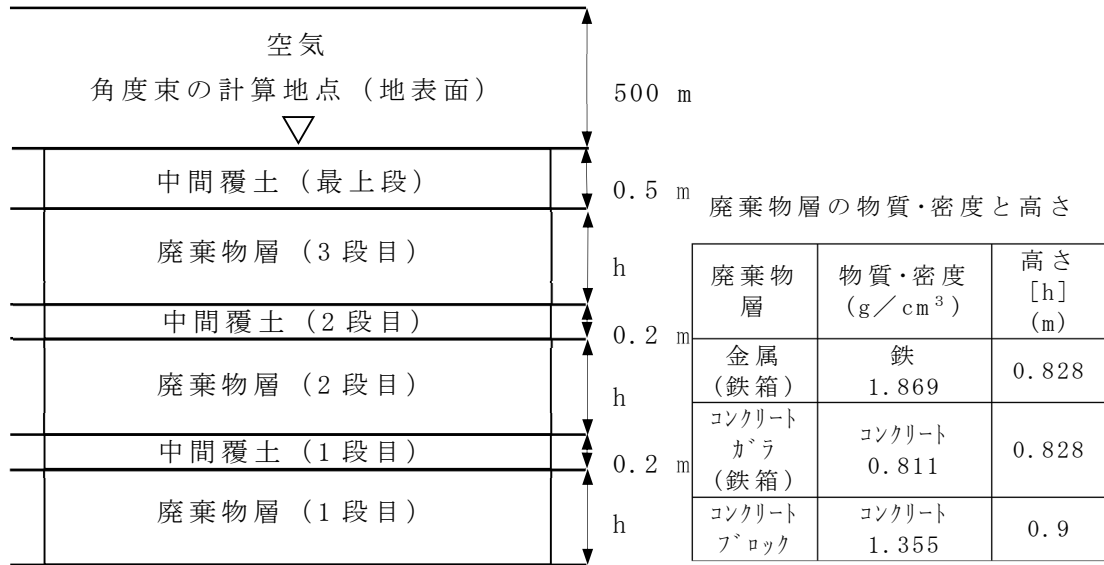
以上

廃棄物層及び遮蔽の状態設定

スカイシャインガンマ線量の評価に用いる廃棄物の取扱い状態は、廃棄物の定置作業、隙間の砂充填作業及び中間覆土作業等の作業に分けられることから、以下のように作業ステップごとに考慮する遮蔽の状態設定を設定する。

- a. 1 段目の定置作業中
- b. 1 段目の砂充填及び中間覆土作業中
- c. 2 段目の定置作業中
- d. 2 段目の砂充填及び中間覆土作業中
- e. 3 段目の定置作業中
- f. 3 段目の砂充填及び中間覆土作業中
- g. 3 段目の中間覆土作業終了後

考慮する遮蔽条件を第 1 図に、状態設定のまとめを第 1 表に示す。



第 1 図 考慮する遮蔽条件

第 1 表 遮蔽に係る状態設定

作業ステップ		考慮する遮蔽		
		1 段目廃棄物層	2 段目廃棄物層	3 段目 廃棄物層
a	1 段目 定置	なし*	—	—
b	1 段目 廃棄物間 砂充填・中間覆 土敷設	なし*	—	—
c	2 段目 定置	1 段目中間覆土	なし*	—
d	2 段目 廃棄物間 砂充填・中間覆 土敷設	1 段目中間覆土 2 段目廃棄物層	なし*	—
e	3 段目 定置	1, 2 段目中間覆土 2 段目廃棄物層	2 段目中間覆土	なし*
f	3 段目 廃棄物間 砂充填・最上段 中間覆土敷設	1, 2 段目中間覆土 2, 3 段目廃棄物層	2 段目中間覆土 3 段目廃棄物層	なし*
g	埋設終了	1, 2 段目中間覆土 2, 3 段目廃棄物層 最上段中間覆土	2 段目中間覆土 3 段目廃棄物層 最上段中間覆土	最上段 中間覆土

※：空気による遮蔽を考慮する

以上

A N I S N - G 3 3 及び Q A D による計算の妥当性について

1 概要

スカイシャインガンマ線の計算は、A N I S N と G 3 3（以下「A N I S N - G 3 3」という。）の結合計算により計算を行っている。A N I S N コードは無限平板モデルで計算を行うため、実形状モデルに対して線量率は保守的な計算結果となる。A N I S N の計算で使用する断面積ライブラリ D L C - 2 3 F は作成された時期が古く、一部の条件では非安全側の結果になることが指摘されており、特に中性子の鉄に対する深層透過で顕著になることが分かっている⁽¹⁾。中性子・鉄の組み合わせに限らず、ガンマ線における土壌やコンクリート等においても、計算結果に対する妥当性検証が必要と考えられる。

本施設における直接ガンマ線及び表面線量当量率の計算は Q A D により計算を行っている。Q A D とその内蔵データを用いると多くの場合、安全側の結果が得られることが知られている。スカイシャインガンマ線の計算では、Q A D で計算した単位濃度当たりの表面線量当量率から逆算した表面線量当量率（ $10 \mu \text{Sv/h}$ 、 $300 \mu \text{Sv/h}$ ）相当の放射能濃度を別プログラムである A N I S N（D L C - 2 3 F）で計算している。

M C N P 5 は放射線輸送モンテカルロ計算コードであり、3次元の複雑な幾何学的形状をそのまま取り扱うことができるほか、放射線のエネルギーを連続的に扱うことができるため、実体系モデルに

近い計算を行うことができる。これによる計算結果とANISN-G33及びQADの計算結果を比較することで妥当性を確認した。

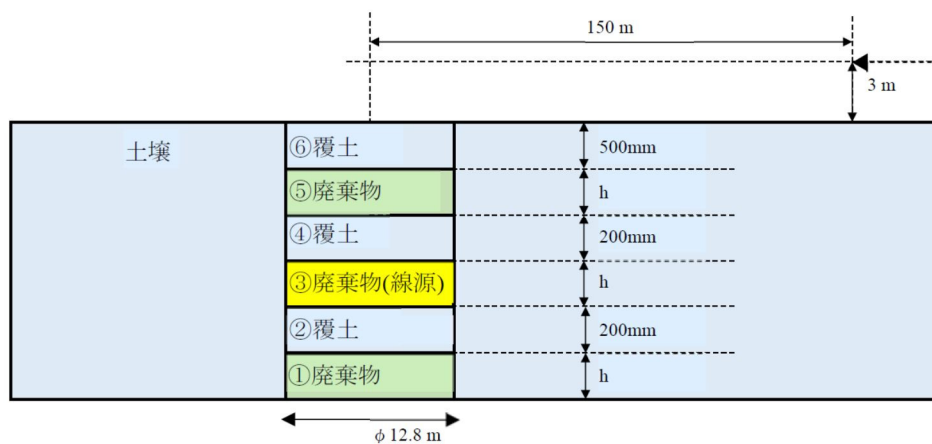
2 計算条件

妥当性確認計算においては、MCNP5を使用し、ANISN-G33及びQADにより計算値を算出している箇所を確認対象とした。MCNP5による計算条件のうち、以下については表面線量当量率、スカイシャインガンマ線評価と同様に行うものとした。計算に用いる廃棄物は、スカイシャインガンマ線による年間被ばく線量が最も大きい表面線量当量率 $10 \mu\text{Sv/h}$ のコンクリート（鉄箱）とした。

- ・ 廃棄物形状（表面線量当量率に限る）
- ・ 廃棄物密度
- ・ 評価点
- ・ 廃棄物層及び遮蔽の状態設定

なお、スカイシャインガンマ線評価におけるMCNP5のモデルについては、廃棄物層及び中間覆土をANISN計算モデルと等価な底面積になる円柱体型モデルとし、核種についてはCo-60とした。

スカイシャインガンマ線評価におけるMCNP5による評価モデルの例を第1図に示す。



第 1 図 MCNP5 の評価モデル (例)

3 妥当性確認結果

3. 1 表面線量当量率及び C_{60} 放射能濃度

表面線量当量率及び C_{60} 放射能濃度の計算について、QAD 及び MCNP5 による計算値 (小数第 2 位で切上げ) を第 1 表及び第 2 表に示す。MCNP5 の計算は QAD の計算結果に対し、概ね一致している。

第 1 表 QAD 及び MCNP5 による表面線量当量率の比較

計算コード	廃棄物 1 体当たりの C_{60} 表面線量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$) / (Bq/cm^3)
QAD	7.2×10^{-1}
MCNP5	6.0×10^{-1}

第2表 QAD及びMCNP5によるCo-60放射能濃度の比較

計算コード	表面線量率 $10 \mu\text{Sv/h}$ 相当 Co-60 放射能濃度 (Bq/cm^3)
QAD	1.4×10^1
MCNP5	1.7×10^1

3.2 スカイシャインガンマ線評価

ANISN-G33により計算したスカイシャインガンマ線による影響のMCNP5との比較を第3表に示す。スカイシャインガンマ線による年間被ばく線量は、ANISN-G33による計算結果がMCNP5の計算結果に対して保守的な傾向となっている。

第3表 年間スカイシャインガンマ線評価結果の比較

計算コード	年間埋設区画 (10 区画) の合計線量 ($\mu\text{Sv/y}$)
ANISN-G33 (+QAD)	8.7×10^0
MCNP5	3.9×10^0

3.3 妥当性確認結果

以上から、QAD及びANISN-G33を用いた計算が妥当であると評価する。

4 参考資料

- (1) 断面積ライブラリ (D L C 2 3 / C A S K) を用いた遮蔽評価の実施状況に関する調査結果 (第 30 回技術情報検討会提出資料確定版, 平成 30 年 4 月 16 日, 原子力規制庁 核燃料廃棄物研究部門)

以上

使用した計算コードについて

廃棄物埋施設からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による周辺公衆の線量の計算では，許認可で使用実績があり，信頼性のある以下の計算コードを使用している。

第 1 表に本資料で使用した計算コードを，第 2 表及び第 3 表に各計算コードの概要を示す。

第 1 表 使用した計算コード

目 的	コード名
直接ガンマ線量及び表面線量当量率の計算	点減衰核積分法コード QAD-CGGP2R (QAD)
スカイシャインガンマ線量の計算	1次元輸送計算コード ANISN ガンマ線1回散乱線計算コード G33-GP2R (G33)
計算の妥当性検証	モンテカルロ輸送計算コード MCNP5

第2表 被ばく評価に使用する計算コード

コード名	概要
<p>Q A D - C G G P 2 R (Ver. 1.04)</p>	<p>米国ロスアラモス国立研究所で開発されたガンマ線の物質透過を計算するための点減衰核積分法計算機コード「Q A D」をベースとし、旧日本原子力研究所が I C R P 1990 年勧告の国内関連法令・規則への取入れに合わせて、実効線量率等を計算できるように改良した最新バージョンである。</p> <p>線源及び遮蔽体を直方体、円筒、球などの三次元形状で模擬した計算体系でガンマ線の実効線量率及び空気カーマ率等を計算することができる。</p> <p>ベンチマーク実験による検証⁽¹⁾が実施されており、普通コンクリートを透過する線量率の保守的な評価が実施できる妥当な計算コードであることを確認している。</p> <p>(1) J A E R I -M 86-060 再処理施設の放射線遮蔽安全ガイド資料，日本原子力研究所，1986</p>
<p>A N I S N (A N I S N - O R N L)</p>	<p>米国オークリッジ国立研究所で開発された一次元ボルツマン輸送方程式を離散角度 (Sn) 法に基づいて数値計算により解くコードである。</p> <p>線源及び遮蔽体を無限平板，無限円柱及び球の一次元形状で模擬した計算体系でガンマ線及び中性子の放射線束を計算することができる。</p> <p>別計算コード「D O T (二次元 Sn 法)」による</p>

コード名	概要
	<p>検証⁽²⁾が実施されており，固体廃棄物保管庫天井から漏えいするガンマ線束の計算結果が両者よく一致していることを確認している。</p> <p>(2) 原子炉施設からのスカイシャイン線量評価手引，財団法人原子力安全研究協会，昭和54年3月</p>
<p>G 3 3 - G P 2 R (Ver. 1.0)</p>	<p>米国ロスアラモス国立研究所で開発されたガンマ線多群散乱計算プログラム「G 3 3」をベースとし，旧日本原子力研究所が I C R P 1990 年勧告の国内関連法令・規則への取入れに合わせて，実効線量率等を計算できるように改良したバージョンである。</p> <p>点線源からの 1 回散乱ガンマ線による実効線量率及び空気カーマ率等を計算することができる。スカイシャイン野外実験による検証⁽³⁾が実施されており，線源の上部に遮蔽がない計算形状でスカイシャイン線量の計算値と実測値がよく一致するが，天井遮蔽があるケースでは，計算値は過小評価となる。この原因は，G 3 3 コードが天井透過中の散乱成分を考慮していないためであり，これを考慮するため，天井遮蔽までを A N I S N で計算することを推奨している。今回の評価においては，この手法を採用している。</p> <p>(3) ガンマ線遮蔽設計ハンドブック，社団法人日本原子力学会，1988 年 1 月</p>

第 3 表 計算の妥当性検証に使用する計算コード

コード名	概要
<p>MCNP5 (Ver. 1.6)</p>	<p>米国ロスアラモス国立研究所で開発されたボルツマン輸送方程式をモンテカルロ法で解く中性子，ガンマ線及び中性子とガンマ線の結合系を対象とする汎用の連続エネルギーモンテカルロ輸送計算コードである。</p> <p>幾何形状は，主に面で区切られたセルによって構成される。セルは，平面及び二次曲面を示す陰関数の値の正負で空間を区切ることにより定義され，設定の自由度が大きく，通常の遮蔽計算に使用される形状程度であれば，そのままモデル化が可能なこと，粒子の輸送計算に使用される断面積はポイントワイズ断面積データを使用するため，群構造に起因する誤差が発生しない等の特徴がある。</p> <p>米国では，使用済燃料貯蔵施設の審査指針である NUREG-1567 において，遮蔽解析ツールとして記載されている。</p> <p>我が国においても使用済燃料貯蔵施設において許認可実績も有している。</p> <p>計算に使用する断面積ライブラリは利用者がコードに付属しているライブラリから任意に選択が可能であり，今回の検証に使用したライブラリは，コード付属の ENDF/B-VI ベースの最新ライブラリである。ENDF のライブラリは Update of MCPLIB04 を使用。</p>

以上