

廃棄物埋設施設における
許可基準規則への適合性について

第十条 廃棄物埋設地のうち

第一号及び第三号

(2号廃棄物埋設施設)

2020年4月

日本原燃株式会社

目 次

1. 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 第十条第一号及び第三号並びにその解釈.....	1
2. 廃棄物埋設施設の安全機能について.....	2
3. 設計対象設備.....	3
4. 許可基準規則への適合のための設計方針.....	4
(1) 安全設計の方針.....	4
(2) 安全機能.....	5
(3) 本施設の設計に関して留意する事項.....	7
5. 廃棄物埋設地の設計.....	8
(1) 構成及び設置位置.....	8
(2) 主要設備.....	8
6. 許可基準規則への適合性説明.....	18
(1) 許可基準規則第十条第一号(許可基準規則解釈第 10 条第 1 項及び第 3 項).....	18
(2) 許可基準規則第十条第一号(許可基準規則解釈第 10 条第 2 項).....	26
(3) 許可基準規則第十条第一号(許可基準規則解釈第 10 条第 4 項).....	26
(4) 許可基準規則第十条第三号(許可基準規則解釈第 10 条第 5 項).....	28
7. 参考文献.....	29
添付資料 1 廃棄物埋設施設の設計の考え方	
添付資料 2 技術要件における考え方	
添付資料 3 許可基準規則解釈第 10 条第 1 項に関する補足説明	
添付資料 4 許可基準規則解釈第 10 条第 2 項に関する補足説明	
添付資料 5 1 号及び 2 号廃棄物埋設地の覆土について	

1. 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 第十条第一号及び第三号並びにその解釈

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
(廃棄物埋設地) 第十条 廃棄物埋設地は、次の各号に掲げる要件を満たすものでなければならない。 一 廃棄物埋設地(ピット処分に係るものに限る。)は、外周仕切設備を設置する方法、その表面を土砂等で覆う方法その他の方法により、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から埋設の終了までの間にあつては廃棄物埋設地の限定された区域からの放射性物質の漏出を防止する機能、埋設の終了から廃止措置の開始までの間にあつては廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減する機能を有するものであること。 三 埋設した放射性廃棄物に含有される化学物質その他の化学物質により安全機能が損なわれないものであること。

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
第10条(廃棄物埋設地) 1 第1号に規定する「外周仕切設備を設置する方法、その表面を土砂等で覆う方法その他の方法」及び第2号に規定する「その表面を土砂等で覆う方法その他の方法」とは、以下の設計をいう。 一 埋設する放射性廃棄物に含まれる放射性物質の性質及び放射能濃度に応じて、設計時点において合理的かつ利用可能な最善の建設・施工技術によるものであること。 二 劣化・損傷に対する抵抗性を考慮すること 三 劣化・損傷が生じた場合にも機能が維持できる(安全上支障のない期間内において速やかに修復できることが確実であることを含む。)構造・仕様であること。 2 第1号に規定する「廃棄物埋設地の限定された区域からの放射性物質の漏出を防止する」とは、雨水や地下水の浸入を防止する構造及び放射性物質の漏出を防止する構造が相まって、廃棄物埋設地の限定された区域から放射性物質が漏えいしない状況(工学的に有意な漏えいがない状況)を達成することをいう。

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

- 3 第1号に規定する「廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減する機能」は、地下水の浸入を抑制する機能、放射性物質を収着する機能等の機能のうち、一つのものに過度に依存しないこと。
- 4 第1号及び第2号の「廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減」については、平常時における廃棄物埋設地からの放射性物質の移行に伴う公衆の受ける線量が、第8条第1項に規定する「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る事業所周辺の線量」及び第13条第1項に規定する「周辺監視区域の外の空気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、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。
- 5 第3号に規定する「安全機能が損なわれないものであること」とは、埋設した放射性廃棄物、人工バリア(埋設する放射性廃棄物からの放射性物質の漏出の防止又は低減の機能を有する人工構築物をいう。以下同じ。)及び廃棄物埋設地に充填する土砂等が含有する可燃性の化学物質、可燃性ガスを発生する化学物質その他の化学物質の性質及び量に応じて、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いて、廃棄物埋設地の安全機能に有意な影響を及ぼさないよう対策を講じたものであることをいう。

2. 廃棄物埋設施設の安全機能について

安全機能については、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「許可基準規則」という。)第二条第2項第一号に「「安全機能」とは、廃棄物埋設施設の安全性を確保するために必要な機能であって、その機能の喪失により公衆又は従事者に放射線障害を及ぼすおそれがあるものをいう。」とある。

したがって、安全機能に対する考え方としては、許可基準規則第二条第2項第一号を考慮し、安全機能を「放射性物質の漏出を防止する機能」(以下「漏出防止機能」という。)、**「移行抑制機能^{*1}」**、「遮蔽機能」とし、その機能の維持期間及び考え方を第1表にまとめる。

第1表 ピット処分における安全機能

安全機能	廃止措置の開始前		廃止措置の開始後
	放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了まで	覆土完了から廃止措置の開始まで	
放射性物質の漏出を防止する機能	○	-	-
移行抑制機能	-	○	△
遮蔽機能	○	○	△

○：安全機能を維持する
 △：必要な安全機能を期待できるように設計する
 -：考慮しない

*1：本資料では、放射性物質の漏出を低減する機能及び生活環境への移行を抑制する機能を「移行抑制機能」という。

ここで、廃棄物埋設施設のうち安全機能を有する設備は、埋設設備、排水・監視設備のうちポーラスコンクリート層及び覆土である。

3. 設計対象設備

許可基準規則第十条第一号及び第三号の設計対象設備は、覆土である。

4. 許可基準規則への適合のための設計方針

(1) 安全設計の方針

本施設は、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」(以下「原子炉等規制法」という。)等の関係法令の要求を満足するとともに、「許可基準規則」に適合する構造とする。

本施設で取り扱う放射性廃棄物で容器に固型化したもの(以下「廃棄体」という。)は、実用発電用原子炉の運転及び本施設の操業に伴って付随的に発生する固体状の放射性廃棄物をセメント系充填材で容器に固型化したもので、放射能濃度が低い特徴があり、その容器が損傷しない限り、放射性物質は漏えいすることはない。また、本施設の安全を確保する上で常時機能維持を必要とする動的な設備・機器は不要であり、これらの特徴を踏まえた安全設計を行う。

本施設の安全設計の基本的方針は、静的な設備・機器により放射性物質の漏出の防止、放射性物質の漏出の低減及び生活環境への移行の抑制並びに遮蔽の安全機能を有するよう設計することとし、それらの安全機能を適切に組み合わせることによって、安全性を確保することとする。また、適切な安全上の裕度を確保することで、異常の発生を防止するとともに、異常が発生した場合でも、公衆に対して著しい放射線被ばくのリスクを与えない設計とする。

具体的には、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いて、平常時における廃棄物埋設地からの放射性物質の移行に伴う公衆の受ける線量、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濃縮・埋設事業所(以下「事業所」という。)周辺の線量並びに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事業所敷地(以下「敷地」という。)周辺の公衆の受ける線量が、「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、公衆の受ける線量が As Low As Reasonably Achievable(ALARA)の考えの下、合理的に達成できる限り十分低くなるよう、実効線量で $50 \mu\text{Sv/y}$ 以下を達成できる設計とする。また、異常時を想定した場合でも、公衆の受ける線量が 1mSv を下回ることを確認する。

放射線業務従事者は、その受ける線量が「線量告示」で定められた線量限度を超

えない設計とする。

廃止措置の開始後、廃棄物埋設地は、廃棄物埋設地の保全に関する措置を必要としない状態に移行する見通しのある設計とする。保全に関する措置を必要としない状態とは、廃止措置の開始後の評価において、科学的に合理的と考えられる範囲の人工バリアや天然バリアの状態及び被ばくに至る経路の組合せのうち、最も可能性が高いと考えられるパラメータを設定した自然事象シナリオ(以下「確からしい自然事象シナリオ」という。)で評価される公衆の受ける線量が $10 \mu\text{Sv/y}$ を超えないこと、科学的に合理的と考えられる範囲の人工バリアや天然バリアの状態及び被ばくに至る経路の組合せのうち、最も厳しいパラメータを設定した自然事象シナリオ(以下「厳しい自然事象シナリオ」という。)で評価される公衆の受ける線量が $300 \mu\text{Sv/y}$ を超えないこと、人為事象シナリオの公衆の受ける線量が 1mSv/y を超えないこととする。

ここで、人工バリアとは、埋設する放射性廃棄物からの放射性物質の漏出の防止及び低減を行う人工構築物である埋設設備、排水・監視設備及び覆土をいう。天然バリアとは、埋設する放射性廃棄物又は人工バリアの周囲に存在し、埋設する放射性廃棄物から漏出してきた放射性物質の生活環境への移行の抑制を行う地盤(岩盤及び第四紀層)をいう。

(2) 安全機能

以下に各安全機能の設計方針について記載する。

廃棄物埋設施設の設計として、地下水面下への設置に応じた設計の考え方については添付資料 1「1. 廃棄物埋設施設の設計の考え方」に記載する。

(i) 漏出防止機能

2号廃棄物埋設地は、覆土が設計対象設備であるため、漏出防止機能に係る変更はない。

(ii) 移行抑制機能

a. 設計方針

覆土は、覆土完了後において、廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出の低減及び生活環境への移行の抑制(以下これらをあわせて「移行抑制」という。)機能を有する設計とする。

移行抑制機能は、材料に対する放射性物質の収着性及び埋設設備内への水の浸入を抑制する材料の低透水性である。このうち覆土は、以下に示す方針に基づき、低透水性を考慮し、更に長期的に機能が維持される構成・仕様となる設計とする。

・覆土は、低透水性を有する土質系材料を用いる設計とする。

b. 安全設計

廃棄物埋設地は、以下に示す設計を行うことにより、覆土完了後において、廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減し、生活環境への移行を抑制する。

(a) 覆土

(一) 覆土は、放射性物質が地表近傍へ移行することによる汚染拡大を防止するため、低透水性を有する設計とする。また、評価において収着性による移行抑制機能を考慮する。

(二) 覆土は、劣化・損傷の抵抗性を考慮し、機能維持及び化学的作用による安全性が損なわれないように自然材料であるベントナイト、砕砂及び砕石を採用するとともに、長期的な変質に対して移行抑制機能を損なわないよう考慮した材料とする。

なお、覆土の材料は、実際の調達時期により詳細な材料特性が変わる可能性があるが、その場合にも要求性能を満足することを確認した上で用いることとする。

(三) 覆土は、劣化・損傷が生じた場合にも、難透水性覆土、下部覆土及び上部覆土を多層化して存在させることにより、移行抑制機能をできるだけ維持できる構成・仕様となる設計とする。

(四) 難透水性覆土及び下部覆土は、長期的な侵食に対する抵抗性の確保と埋設設備へ流入する地下水量及び埋設設備から流出する地下水量の抑制のため、透水性の小さい岩盤(鷹架層)を掘り下げて設置する。また、埋設設備に劣化・損傷が生じた場合にも、埋設設備内に浸入する地下水量を低減させ、かつ地下水流動によって地表面へ放射性物質が移行することを抑制させるとともに、浸入した地下水が埋設設備の底部から透水性の小さい鷹架層に漏出するように、難透水性覆土の透水係数を周辺の鷹架層よりも更に

小さくなるように設計する。

長期的な侵食に対する抵抗性の確保及び埋設設備へ流入する地下水量及び埋設設備から流出する地下水量の抑制の観点として、埋設設備と第四紀層との隔離を安定的に確保する考え方については、添付資料1「3. 第四紀層との隔離を安定的に確保する考え方」に詳細を示す。

(五) 移行抑制機能を有する覆土に対する設計、材料の選定、建設・施工及び検査は、「事業規則」、「許可基準規則」等に基づくほか、利用可能な最善の技術として現状入手できる材料を用いる。

(iii) 放射線の遮蔽機能

a. 設計方針

本施設は、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が、「線量告示」で定められた線量限度を超えないことはもとより、合理的に達成できる限り低くするため、以下に示す方針に基づき遮蔽機能を有する設計を行う。

遮蔽機能は、覆土完了後において、覆土により、直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による敷地周辺の公衆等の受ける線量を低減できる設計とする。

b. 安全設計

廃棄物埋設地は、以下に示す設計を行うことにより、覆土完了後から廃止措置の開始前までの間において、埋設した廃棄体に起因する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の受ける線量を低減できるものとする。

覆土完了後において、難透水性覆土及び下部覆土により、直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線の遮蔽を行う。

なお、遮蔽の評価結果については、「第八条 遮蔽等」において別途説明する。

(3) 本施設の設計に関して留意する事項

廃棄物埋設地は、埋設する放射性廃棄物に含有される化学物質その他の化学物質により安全機能を損なわないものとし、覆土完了から廃止措置の開始までの間は、放射性物質の漏出を低減するため、以下に留意した設計とする。

- ・合理的かつ利用可能な最善の建設・施工技術による。
- ・劣化・損傷に対する抵抗性を考慮する。
- ・劣化・損傷が生じた場合にも当該機能が維持できる構造・仕様とする。
- ・放射性物質の漏出を低減する機能は、地下水の浸入を抑制する機能、放射性物質を収着する機能等の機能のうち、一つのものに過度に依存しない。

5. 廃棄物埋設地の設計

2号廃棄物埋設地の設計内容について説明する。

(1) 構成及び設置位置

廃棄物埋設地は、管理建屋から運搬した廃棄体を埋設する場所であり、埋設設備、排水・監視設備及び覆土により構成する。

廃棄物埋設地は、1号廃棄物埋設地の西側に位置し、廃棄体最大 41,472m³(200L ドラム缶 207,360 本相当)を埋設する。

埋設設備は、1基当たり廃棄体約 2,592m³(200L ドラム缶 12,960 本相当)を埋設する埋設設備 2基を1埋設設備群とする埋設設備群 8群で構成し、東西方向に4基、南北方向に4基配置する。

埋設設備は、現造成面(標高約 52m)基準から約 16m～21m掘り下げて、標高約 31m～36mとなるようにN値 50以上の岩盤に設置する。

(2) 主要設備

(i) 埋設設備

埋設設備は、既許可から変更がないため、本資料では設計対象設備としていない。

なお、既設の2号埋設設備は、覆い設置から難透水性覆土施工までの間においては、水の浸入が有意に認められる埋設設備に対し、廃棄体への水の接触をより低減させるため、覆い上面から浸入した水が廃棄体に接触することを防止する対策を行う。

(ii) 排水・監視設備

排水・監視設備は、既許可から変更がないため、本資料では設計対象設備とし

ていない。

(iii) 覆土

a. 構成及び安全機能

覆土は、難透水性覆土、下部覆土及び上部覆土により構成する。

難透水性覆土及び下部覆土は、低透水性により放射性物質の移行を抑制する。

難透水性覆土及び下部覆土は、遮蔽性により放射線の遮蔽を行う。

なお、評価において収着性による移行抑制機能を考慮する。

b. 要求性能

安全機能を確保するために必要な要求性能を整理する。

覆土の部位ごとに設定した要求性能及び設計要件を第2表に示す。

(a) 技術要件及び設計仕様項目

(一) 移行抑制機能

覆土の移行抑制機能は、埋設設備内を通過する地下水の流量を低減することである。埋設設備からの流出水量は覆土の透水特性によって影響を受けることから、覆土に対する技術要件は透水特性(低透水性)であり、その設計仕様項目は透水係数及び厚さである。

また、移行抑制機能については、長期にわたり機能を維持する必要があるため、透水係数及び厚さの変化に影響を及ぼす要因について抽出する。長期状態において覆土の透水特性に影響を及ぼす要因とその機構を第3表に示す。影響要因の抽出については、周辺岩盤などの外部環境も含めた施設の構成及び影響要因の相互作用を網羅的に考慮する。抽出した要因は、廃棄物埋設地の覆土完了後の再冠水による水との接触に伴う、ベントナイト特性の変化、有効粘土密度の変化及び短絡経路の形成である。長期における覆土の技術要件は、これらの要因に対する長期機能維持特性(化学的安定性、変形追従性及び液状化抵抗性)であり、その設計仕様項目は透水係数、厚さ及び締固め度である。

なお、覆土には、移行抑制機能に対する技術要件として、土質系材料を用いることにより期待できる収着性を考慮するが、その設計仕様項目は設定せず、収着を阻害する可能性のある材料の使用を極力避けることとする。

(二) 遮蔽機能

覆土の遮蔽機能は、放射線を遮蔽する機能であるため、技術要件は遮蔽性であり、その設計仕様項目は密度及び厚さである。

(b) 設計要件

設計仕様項目である透水係数、厚さ、密度及び締固め度については、各部位が要求性能を満足するための設計要件を設定する。

覆土の技術要件のうち、低透水性及び液状化抵抗性についての詳細は添付資料 2「技術要件における考え方」に示す。

第2表 覆土の要求性能及び設計要件

安全機能	要求性能		設計仕様項目	難透水性覆土	下部覆土	上部覆土	設計要件
	技術要件 (必要な特性)						
移行抑制機能	透水特性	低透水性	透水係数	○	○	—	必要な透水係数を有すること。 ^{*3}
			厚さ	○	○	—	必要な厚さを有すること。 ^{*4}
	核種 収着性	収着性	—	—	—	—	設計仕様項目を設定しない(評価において、覆土が副次的にもつ性能として設定するものとする)。 ^{*5}
移行抑制機能を長期的に維持するための 要求機能	長期機能 維持特性	化学的 ^{*1} 安定性	透水係数	○	○	—	長期状態評価において考慮する性能を満たす見通しがあること。 ^{*2}
			変形 ^{*1} 追従性	透水係数	○	○	—
		液状化 ^{*1} 抵抗性	厚さ	○	○	—	長期状態評価において考慮する性能を満たす見通しがあること。 ^{*2}
			縮固め度	○	○	—	長期状態評価において考慮する性能を満たす見通しがあること。 ^{*2}
遮蔽機能	放射線の 遮蔽性能	遮蔽性	密度	○	○	—	被ばくを低減するために必要な遮蔽性能を有すること。
			厚さ	○	○	—	被ばくを低減するために必要な遮蔽性能を有すること。 ^{*4}

*1：影響要因及び影響機構を第3表に整理している。

*2：長期状態変化に関連する設計については、第十条第四号の状態設定の評価と関連することから、第十条第四号の説明時に具体的な数値の説明を行う。

*3：難透水性覆土は巨視的透水係数として $1.0 \times 10^{-10} \text{m/s}$ 、下部覆土は巨視的透水係数として $1.0 \times 10^{-8} \text{m/s}$ を施工時点で確保する。

*4：難透水性覆土は厚さ2m、下部覆土は難透水性覆土上面で厚さ2mを確保する。

*5：分配係数は、材料仕様及び施工の際に取得する分配係数データ又は代替指標となるデータにより管理する。

第3表 長期状態において覆土の透水特性に影響を及ぼす要因とその機構

設計仕様項目	長期状態における影響要因			影響機構	要求性能(技術要件)
透水係数	ベントナイト特性の変化	化学的影響	交換性陽イオンの変化	セメント系材料からの高カルシウム濃度の間隙水によるベントナイトのCa型化。	化学的安定性
			廃棄体中のほう酸塩、硫酸塩などの可溶性塩影響	可溶性塩影響により、空隙特性(空隙率、空隙構造)が変化するとともに、膨潤性能が低下。また、陥没による覆土の変形。	化学的安定性 変形追従性
	有効粘土密度*1の変化	力学的影響	金属の腐食	金属の腐食膨張により、覆土の隅角部等に、厚さの減少及び変位に伴う透水性が変化した領域の発生。	変形追従性
			地震影響	地震力により覆土の変形及び液状化の発生。	変形追従性 液状化抵抗性
		化学的影響	モンモリロナイトの溶解、随伴鉱物の溶解、二次鉱物の生成	セメント系材料からの高アルカリ性の間隙水によるベントナイト構成材料の溶解に伴う密度低下。溶解成分と地下水成分などが反応して二次鉱物が沈殿。	化学的安定性
厚さ	短絡経路の形成	力学的影響	ガス発生	金属腐食等により発生するガスの破過が生じ、覆土に低密度部を形成。	変形追従性

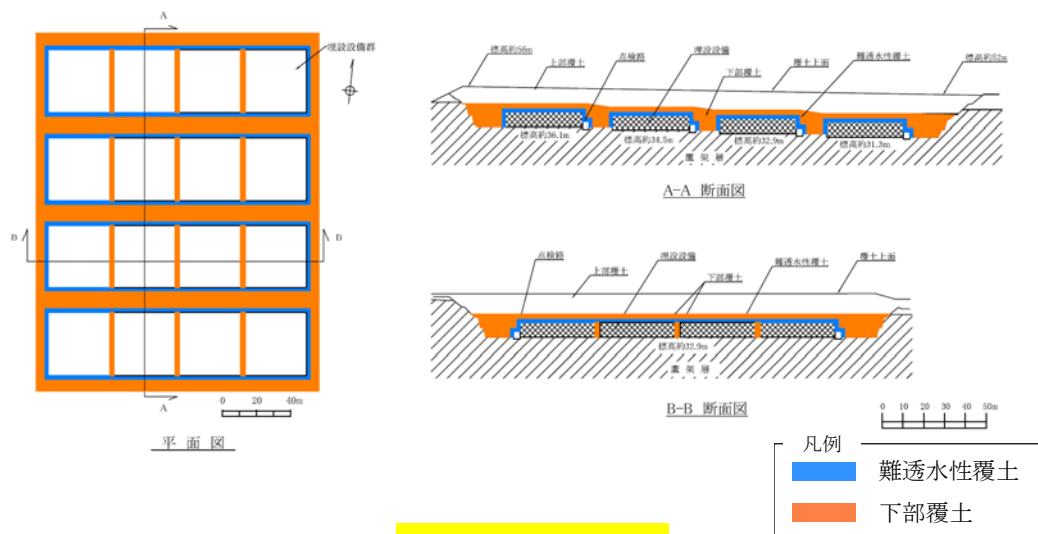
*1：単位体積あたりに含まれるベントナイト分の乾燥重量をそれ自身の体積で割ることにより得られる密度であり、ベントナイト混合材料の特性を把握するときの指標のひとつ。

c. 構造及び仕様

難透水性覆土は、埋設設備の底面及び埋設設備間狭隘部を除く外周部に設置する。下部覆土は、難透水性覆土の外周部及び埋設設備間狭隘部に設置する。上部覆土は、下部覆土上面から現造成面まで設置する。

なお、狭隘部とは埋設設備間において幅 2.5m 以下となる箇所を示す。例として、埋設設備の東西方向の間や 1 号埋設設備南北方向の間である。

覆土断面図を第 1 図に示す。



第1図 覆土断面図

以下に各部位の仕様を示す。

(a) 難透水性覆土

(一) 概要

難透水性覆土は、砂を母材としたベントナイト混合土で構成し、埋設設備の底面及び埋設設備間狭隘部を除く外周部に設置する。

(二) 設計方針

難透水性覆土に求める安全機能は、覆土完了後の移行抑制機能及び遮蔽機能である。

移行抑制機能に対しては、透水特性を確保し、埋設設備からの流出水量を低減するために低透水性を考慮した設計とする。また、周辺岩盤に比して同程度以下の透水係数を長期的に維持できる設計とする。

遮蔽機能に対しては、遮蔽性能を確保する設計とする。

また、移行抑制機能を長期的に維持するための化学的安定性、変形追従性及び液状化抵抗性は、長期状態評価において考慮する性能を満たす見通しがあるものとする。

(三) 仕様

(ア) 透水特性

覆土の透水係数は、廃棄物埋設地の近傍に分布する鷹架層の透水係数が $7.8 \times 10^{-8} \text{m/s}$ 程度であることを踏まえ、鷹架層の透水係数以下を長期的に維持することを目標として設計する。

難透水性覆土は、化学的影響の要因である物質の供給源となるセメント系材料と隣接している。難透水性覆土の透水係数は、長期的に性能低下が生じることを想定し、施工時点において巨視的透水係数^{*1}として $1.0 \times 10^{-10} \text{m/s}$ 以下を確保する。また、埋設設備に内蔵される金属の腐食膨張に伴い鉛直方向に変形した場合でも低透水性を維持できるよう、難透水性覆土の厚さは、埋設設備の表面から2m以上とする。

*1：空間的なばらつきを考慮しても全体系として期待できる透水係数を指す。

(イ) 遮蔽性能

遮蔽性に配慮した設計とし、敷地周辺の公衆及び放射線業務従事者への被ばくを低減するような密度及び厚さを確保するものとし、密度は $1,100 \text{kg/m}^3$ 以上とする。

(ウ) 長期機能維持特性

① 化学的安定性

化学的影響により覆土が変質した場合においても、長期的に低透水性を維持でき、化学的安定性の高いと考えられる天然の土質系材料を使用する。

② 変形追従性

力学的影響又は化学的影響により覆土が変形した場合においても、その変形に追従し、覆土全体として埋設設備からの流出水量の増加を抑制する設計とする。

③ 液状化抵抗性

力学的影響により覆土が変状することのないように、十分に締固めるとともに、粒径分布に広がりを持った土質系材料を使用する。

(b) 下部覆土

(一) 概要

下部覆土は、現地発生土に必要な応じてベントナイト、砕砂及び砕石を混合したもので構成し、埋設設備間狭隘部並びに難透水性覆土の側部全体及び上部に設置する。

(二) 設計方針

下部覆土に求める安全機能は、覆土完了後の移行抑制機能及び遮蔽機能である。

移行抑制機能に対しては、透水特性を確保し、埋設設備からの流出水量を低減するために低透水性を考慮した設計とする。また、周辺岩盤に比して同程度以下の透水係数を長期的に維持できる設計とする。

遮蔽機能に対しては、遮蔽性能を確保する設計とする。

また、移行抑制機能を長期的に維持するための化学的安定性、変形追従性及び液状化抵抗性は、長期状態評価において考慮する性能を満たす見通しがあるものとする。

(三) 仕様

(ア) 透水特性

覆土の透水係数は、廃棄物埋設地の近傍に分布する鷹架層の透水係数が $7.8 \times 10^{-8} \text{m/s}$ 程度であることを踏まえ、鷹架層の透水係数以下を長期的に維持することを目標として設計する。

下部覆土の透水係数は、難透水性覆土によってセメント系材料起源の成分による化学的変質の影響が遅延・緩衝されることから、施工時点において巨視的透水係数*1として $1.0 \times 10^{-8} \text{m/s}$ 以下を確保する。また、難透水性覆土の上部に設置する下部覆土の厚さは 2m 以上とする。

*1：空間的なばらつきを考慮しても全体系として期待できる透水係数を指す。

(イ) 遮蔽性能

遮蔽性に配慮した設計とし、敷地周辺の公衆及び放射線業務従事者への被ばくを低減するような密度及び厚さを確保するものとし、密度は $1,100 \text{kg/m}^3$ 以上とする。

(ウ) 長期機能維持特性

① 化学的安定性

化学的影響により覆土が変質した場合においても、長期的に低透水性を維持でき、化学的安定性の高いと考えられる天然の土質系材料を使用する。

② 変形追従性

力学的影響又は化学的影響により覆土が変形した場合においても、その変形に追従し、覆土全体として埋設設備からの流出水量の増加を抑制する設計とする。

③ 液状化抵抗性

力学的影響により覆土が変状することのないように、粒径分布に広がりを持った土質系材料で締固めを行う。

(c) 上部覆土

(一) 概要

上部覆土は、現地発生土に必要な応じて砕砂及び砕石を混合したもので構成し、下部覆土の上面から現造成面まで設置する。表面は地表水による侵食を抑制する観点から、適切な排水勾配を設け、植生を行う。

(二) 設計方針

上部覆土は、周辺の土壌・岩盤と水理的に連続性を持たせる観点から廃物埋設地周辺の第四紀層の透水係数 (10^{-6}m/s オーダー) を目安に施工し、上面は尾駁沼に向かって適切な排水勾配を設ける。

また、上部覆土は、液状化抵抗性を有するものとする。

(三) 仕様

上部覆土は、粒径分布に広がりを持った土質系材料で締固めを行い、下部覆土の上面から現造成面までとする。

6. 許可基準規則への適合性説明

第十条第一号及び第三号について、廃棄物埋設地の設計において留意する以下の項目について適合性を確認した。確認結果を以下に示す。

(1) 許可基準規則第十条第一号(許可基準規則解釈第10条第1項及び第3項)

廃棄物埋設地の放射性物質の漏出を防止及び低減する設計について以下のとおり確認する。

(i) 確認方法

以下の事項が留意された設計になっていることを確認する。

- a. 合理的かつ利用可能な最善の建設・施工技術によるものであること。
- b. 劣化・損傷に対する抵抗性を考慮すること。
- c. 劣化・損傷が生じた場合にも機能が維持できる構造・仕様であること。
- d. 放射性物質の漏出を低減する機能は、地下水の浸入を抑制する機能、放射性物質を収着する機能等の機能のうち、一つのものに過度に依存しないこと。

(ii) 確認結果

以下に示すとおり、廃棄物埋設地の放射性物質を漏出及び低減する設計に関する事項が留意された設計となっている。

- a. 合理的かつ利用可能な最善の建設・施工技術によること。

(a) はじめに

廃棄物埋設施設の設計が合理的かつ利用可能な最善の建設・施工技術によることについて、本施設の地下水面下への設置と各設備の設計の観点から、以下に説明する。

(b) 充填固化体の特性

放射性廃棄物は、事業規則別表第一の放射能濃度を超えないものであって、同規則第八条第1項第二号及び第2項に定められた廃棄物に該当するものである。また、充填固化体においては、それぞれ放射性廃棄物の特性を考慮し、固型化材料と混合することで、固化体の種別ごとに固型化される。廃棄物埋設施設の設計においては、以下に示す充填固化体の固型化方法に関する特性を考慮した。

(一) 充填固化体

(ア) 固型化材料は、JIS R 5210(1992)若しくは JIS R 5211(1992)に定め

るセメント又はこれらと同等以上の品質を有するセメントであること。

(イ) 容器は、JIS Z 1600(1993)に定める金属製容器又はこれと同等以上の強度及び密封性を有するものであること。

(ウ) 固型化に当たっては、あらかじめ均質に練り混ぜた固型化材料若しくは固型化材料及び混和材料を容器内の放射性廃棄物と一体となるように充填すること。この場合において、容器内に有害な空隙が残らないようにすること。

(c) 地下水面下への設置

廃棄物埋施設は廃止措置の開始後、保全の措置を必要としない状況に移行できるようすることを考慮している。保全の措置を必要としない状況に移行できるように、以下の点について考慮した。

- ・ 第四紀層よりも侵食抵抗性の高い岩盤内に設置する。

- ・ 人間侵入リスクが高い地表面を避ける。

- ・ 施設周辺の天然バリアである岩盤が有する性能を有効利用するために、岩盤中に設置する。

したがって、これらの点を考慮し、岩盤を掘り下げて設置することとし、その結果地下水面下への設置とした。

地下水面下への設置としたことに応じ、安全機能を達成できる設備の設計を行っている。具体的には、地下水面下に設置することで、覆土施工完了後は地下水に水没した状態を想定し、低透水性を有する覆土を設置することで、埋設設備からの流出水量を低減するとともに、セメント系材料及び土質系材料に収着性を期待することで、放射性物質の漏出を低減することとしている。

また、できるだけ保修に頼らず、移行抑制機能が達成できる設計としている。保修に頼らないとは、将来想定される劣化・損傷に対して裕度を持つ設計のことである。将来想定される劣化・損傷として、金属腐食による膨張等の力学的影響及び化学的影響を考慮した設計としている。

廃棄物埋施設を地下水面下に設置する考えについての詳細は、添付資料1「1. 廃棄物埋施設の設計の考え方」に示す。

(d) 覆土の設計

移行抑制機能については、低透水性及び収着性に配慮してベントナイト等の自然材料を用いる。低透水性の確保に際して、目標の透水係数は、現状入手できる材料で達成できる範囲で、かつ高いレベルで設定する。

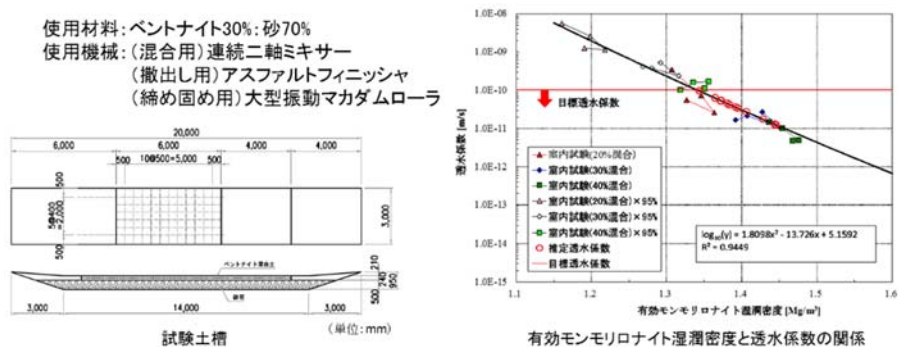
また、目標の透水係数を有する覆土は、一般土工で用いられる重機を用いることで施工できることを確認している。

覆土の施工実現性及び覆土の施工時における品質管理(案)について添付資料3「1. 覆土の施工実現性」及び「2. 覆土の施工時における品質管理(案)」に示す。

(参 考)

覆土の施工においては、透水係数を満足するために、均一な混合と締め固めを行う必要があり、それらに配慮した建設・施工技術に基づく設計としている。

難透水性覆土の低透水性向上方法として施工機械の適用性が検討された施工性試験の結果の一例を第2図に示す。



(1) 松田ほか(2018):連続式ミキサーで製造した砂・ベントナイト混合土の施工試験結果(その1) -大型振動ローラによる締め固め施工-, 土木学会第73回年次学術講演会, pp.71-72, CS7-036

第2図 施工性試験の結果(例)

(e) 諸外国との比較

本施設の設計対象である覆土の安全機能は、その機能を維持すべき期間が機能ごとに異なる。そのため、安全機能を維持すべき期間を考慮し、諸外国との比較を行う。

本施設と諸外国の比較に当たっては、文献⁽¹⁾⁽²⁾を基に、本施設に対して、廃棄体処分量及び総放射エネルギーが同等か上回る4か国(フランス:オーブ処分場、イギリス:ドリッグ処分場、スペイン:エルカブルル処分場及びベルギー:デッセル処分場)を対象に行う。文献⁽³⁾では、低レベル放射性廃棄物埋設に係る産業上の慣習かつ、諸外国において数十年に渡り実績のある以下の最適化の重要な選択が挙げられている。

[設計方針に係る項目]

- ・埋設設備は、埋設設備内へ雨水及び地下水の浸入を抑制するため、鉄筋コンクリート構造とすること。
- ・埋設設備の覆いが完成するまで廃棄体の定置に係る作業時に雨水を接触させないため、屋根を設けること。
- ・埋設設備内に浸入した雨水及び地下水により放射性物質が漏出することを想定し、雨水及び地下水の監視及び漏出制御を行える排水・監視構造を設けること。

[技術的要件に係る項目]

- ・放射性物質を含む廃棄物を固型化すること。
- ・放射性物質の漏えいを抑制する人工バリアとして、セメント材料を使用すること。

設計方針に係る項目に関しては、「6. (1) (ii) (d) 覆土の設計」にて参考としている。また、技術的要件に係る項目に関しては、「6. (1) (ii) (b) 充填固化体の特性」にて参考としている。

諸外国においては、廃棄物埋設地を地下水面より上に設置しているのに対して、本施設は、安全機能を維持すべき期間に応じて、廃棄物埋設地に対する地下水の位置が異なる。そのため、安全機能を維持すべき期間に応じて、人工バリアである埋設設備、排水・監視設備及び覆土に対する地下水面の位置を整理した。

本施設は、放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までにおいて、埋設設備、排水・監視設備及び覆土は、地下水面より上にある。覆土完了から廃止措置の開始までにおいて、埋設設備及び覆土は、地下水面より下にある。また、廃止措置の開始後では、埋設設備及び覆土は、地下水面より下にある。

これらの人工バリアに対する地下水の位置関係を考慮した上で、安全機能に対する諸外国との比較を行う。

(一) 移行抑制機能について

覆土完了から廃止措置の開始までについて、本施設と諸外国では人工バリアに対する地下水面の位置が異なる。諸外国では、地下水面より上に施設を設置して施設の周囲を不飽和にすることを前提とし、雨水の浸入を抑制する観点から低透水性を考慮している。一方、本施設では、地下水面下に施設を設置することから、地下水の浸入を抑制するとともに、浸入した地下水の(覆土側への)移行を抑制する観点として低透水性を考慮している。本施設では、地下水面下であっても移行抑制機能を確保するよう低透水性に優れた設計を行っている。

なお、廃止措置の開始後について、本施設と諸外国では人工バリアに対する地下水面の位置が異なる。本施設では、覆土により、必要な安全機能を期待できるように設計し、線量評価において移行抑制機能を考慮している。

各部材の仕様等の詳細な比較は添付資料3「3. 諸外国との比較」に示す。

(f) まとめ

本施設は、廃止措置の開始後、保全の措置を必要としない状況に移行できることを考慮して、設置位置を選定し、安全機能を達成できる設備の設計を行っている。

また、「6. (1) (ii) (b) 充填固化体の特性」～「6. (1) (ii) (g) 諸外国との比較」に示すとおり、埋設する放射性廃棄物に含まれる放射性物質の性質及び放射能濃度に応じて、設計時点において合理的かつ利用可能な最善の建設・施工技術によるものである。

b. 劣化・損傷に対する抵抗性を考慮すること。

(a) 覆土

覆土は、変形追従性を有する土質系材料を用い、容易な露呈を防止する観点から岩盤中に設置する設計としている。

具体的には、低透水性を有する覆土は、土質系材料を用い、岩盤中に設置することで、変形と露呈に対して抵抗性を有するものとしている。

覆土の設計においては、移行抑制機能を長期にわたり維持する必要があるため、透水係数及び厚さの変化に影響を及ぼす要因を抽出している。

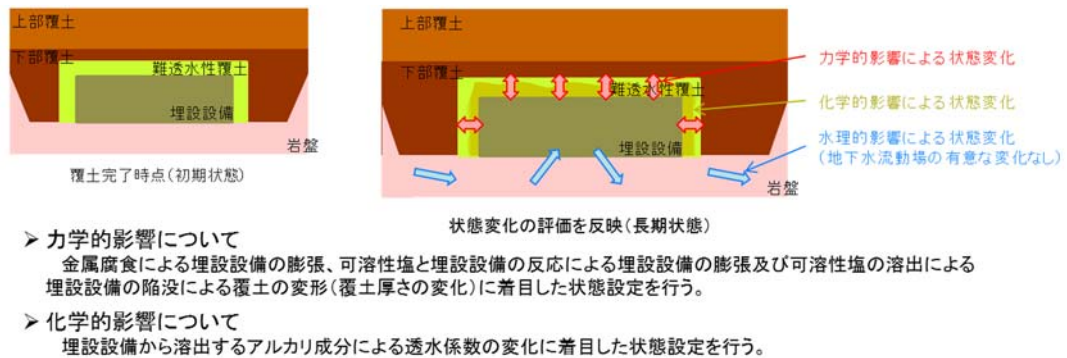
長期状態において覆土の透水特性に影響を及ぼす要因とその機構は、第3表に示すとおりである。

抽出した要因は、廃棄物埋設地の覆土完了後の再冠水による水の接触に伴う、ベントナイト特性の変化、有効粘土密度の変化及び短絡経路の形成である。これらの要因に対して、長期機能維持特性として、化学的安定性、変形追従性及び液状化抵抗性を考慮しており、これらが長期状態において考慮する性能を満たす見通しがあるような設計としている。

また、線量評価において影響事象分析及び状態設定により劣化・損傷の影響を評価することで、劣化・損傷に対する抵抗性を考慮した設計としている。

具体的には、線量評価上の状態設定において、力学的影響及び化学的影響による覆土の性能(低透水性)の低下を考慮しており、設計上の設定値(初期状態)も性能の低下に配慮している。第3図に影響項目の概要を示す。

なお、線量評価上の状態設定についての詳細は、「許可基準規則第十条第四号」にて説明する。



第3図 影響項目の概要

c. 劣化・損傷が生じた場合にも機能が維持できる構造・仕様であること。

(a) 覆土

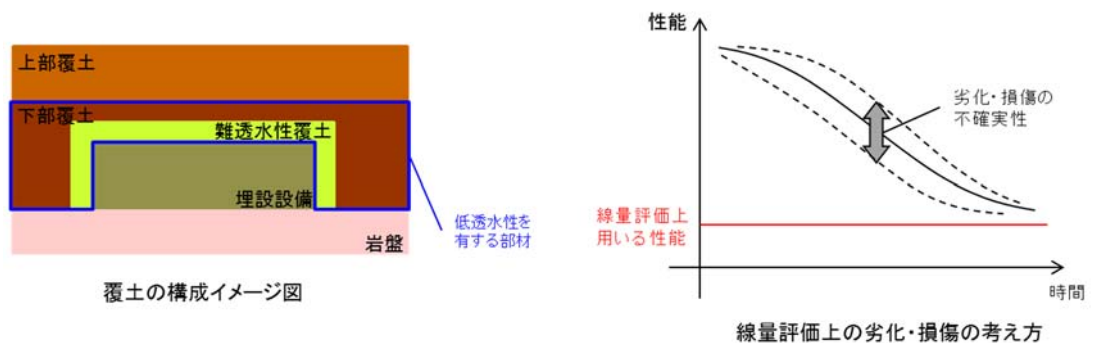
長期的に発生が予想される力学的影響及び化学的影響のいずれに対しても

機能維持が受動的に期待できるよう、多層化した十分な厚さの覆土を設置することで、劣化・損傷が生じた場合においても、移行抑制機能を維持する構成・仕様としている。

線量評価上用いる性能は、劣化・損傷の程度及び期間の不確実性を包含する設定としていることから、必要な性能に対して、できるだけ裕度のある設計としている。

線量評価上の状態設定において考慮した力学的影響及び化学的影響に対しては、低透水性を有する難透水性覆土及び下部覆土の2層を設置し、各覆土の厚さを2m以上確保することで、全体として覆土に要求する低透水性が容易に損失しないものとしている。第4図に線量評価上の劣化・損傷の考え方を示す。

なお、線量評価上の状態設定についての詳細は、「許可基準規則第十条第四号」にて説明する。



第4図 線量評価上の劣化・損傷の考え方

d. 放射性物質の漏出を低減する機能は、地下水の浸入を抑制する機能、放射性物質を収着する機能等の機能のうち、一つのものに過度に依存しないこと。

放射性物質の漏出を低減する機能は、人工バリア及び天然バリアにより確保し、人工バリアは特性の異なる材料として、セメント系材料及び土質系材料を用いる設計とする。また、これらを用いた各部材に対して、第4表に示すように、地下水の浸入を抑制する機能(低透水性)及び放射性物質を収着する機能(収着性)の複数の異なる機能を期待することにより、一つの機能に過度に依存しないよう配慮した設計としている。

第4表 各部材に期待する移行抑制機能を構成する特性

部材		収着性	低透水性
埋設設備		○	—
覆土	難透水性覆土	○	○
	下部覆土	—	○
	上部覆土	○	—
岩盤		○	○

参考として、確からしい自然事象シナリオの線量評価結果をベースとし、各バリア材の機能を構成する特性の一つを無視した線量評価を行い、特性の一つに過度に依存していないことを確認する。

線量結果は「第十条 廃棄物埋設地のうち第四号(廃止措置の開始後の評価)(3号廃棄物埋設施設)4.(2)(v)d.その他」に示すとおりである。

(2) 許可基準規則第十条第一号(許可基準規則解釈第10条第2項)

2号廃棄物埋設地は、覆土が設計対象設備であるため、放射性物質の漏出を防止する機能について、雨水や地下水の浸入を防止する構造及び放射性物質の漏出を防止する構造の変更はない。

(3) 許可基準規則第十条第一号(許可基準規則解釈第10条第4項)

廃棄物埋設地が、覆土完了から廃止措置の開始までの間、廃棄物埋設地の外への放射線物質の漏出を低減する機能を有するものであることを以下のとおり確認する。

(i) 確認方法

「廃棄物埋設地の外への放射線物質の漏出を低減する」について、公衆の受ける線量が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)の考えの下、合理的に達成できる限り十分低くなるよう、実効線量で $50\mu\text{Sv/y}$ 以下であることによって確認する。

(ii) 確認結果

埋設設備の覆土完了から廃止措置の開始までの間にあっては、廃棄物埋設地からの放射性物質の移行に伴う公衆の受ける被ばく線量について評価を行った結果、約 $3.8\mu\text{Sv/y}$ となった。また、この線量に廃棄物埋設施設からの環境への放射性物質の放出による線量約 $1.7\times 10^{-2}\mu\text{Sv/y}$ を合計しても約 $3.8\mu\text{Sv/y}$ であり、公衆が受ける実効線量が $50\mu\text{Sv/y}$ 以下となった。なお、直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による線量は覆土により覆土前よりも大幅に減少し、無視できるレベルとなっているため考慮しない。

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評価の詳細を第5表に示す。線量評価に関するパラメータについては、「許可基準規則第十条第四号」にて説明する。

以上より、廃棄物埋設地は、覆土完了から廃止措置の開始までの間、実効線量で $50\mu\text{Sv/y}$ 以下であることから、廃棄物埋設地の外への放射線物質の漏出を低減する機能を有する設計である。

第5表 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
期間において最大となる公衆の受ける被ばく線量の評価結果

事象	3号評価結果 ($\mu\text{Sv/y}$)		1号評価結果 ($\mu\text{Sv/y}$)		2号評価結果 ($\mu\text{Sv/y}$)		評価結果の重畳 ($\mu\text{Sv/y}$)	
	覆土前	覆土完了後	覆土前	覆土完了後	覆土前	覆土完了後	覆土前	覆土完了後
気体廃棄物が大気への管理放出され、放射性物質が大気へ放出されることによる内部被ばく	約 3.5×10^{-6} 、支配核種：H-3 (管理放出のため、線量の最も大きくなる1号廃棄物埋設施設にて線量を代表)						約 3.5×10^{-6}	
液体廃棄物が尾駈沼又は河川へ管理放出され、その水産物を摂取することによる内部被ばく	約 1.7×10^{-2} 、支配核種：Co-60 (管理放出のため、線量の最も大きくなる1号廃棄物埋設施設にて線量を代表)						約 1.7×10^{-2}	
廃棄物埋設地から放射性物質が地下水によって尾駈沼又は河川へ漏出し、その水産物を摂取することによる内部被ばく	—	約 0.59	—	約 1.9	—	約 1.3	—	約 3.8
管理建屋内の一時貯蔵の廃棄体および定置済み廃棄体からのスカイシャイン線による外部被ばく	—	—	—	—	—	—	約 26 ^{*1}	—
合計 ^{*2}	約 1.7×10^{-2}	約 0.60	約 1.7×10^{-2}	約 1.9	約 1.7×10^{-2}	約 1.4	約 26	約 3.8

*1：各廃棄物埋設施設からの方位及び距離を考慮し、重畳させたもの

*2：線量合計値に関しては、最大線量時期を考慮せず、単純に合計したもの

(4) 許可基準規則第十条第三号(許可基準規則解釈第10条第5項)

2号廃棄物埋設地は、覆土が設計対象設備であるため、覆土が、化学物質により安全機能が損なわれないものであることを以下のとおり確認する。

(i) 確認方法

埋設する廃棄体、埋設設備、排水・監視設備及び覆土には可燃性の化学物質、可燃性ガスを発生する化学物質は含まれない。一方、廃棄物埋設地の安全機能に影響を及ぼす可能性のあるその他の化学物質としては、廃棄体又は埋設設備内に含まれる有機物、更にはセメント系材料から溶出した高アルカリ成分を含む地下水との反応による影響を考慮する必要がある。

覆土完了後の安全機能については、覆土において移行抑制機能及び遮蔽機能を期待している。遮蔽機能については、覆土が十分な厚さを有しており、化学物質との接触による覆土の厚さ減少及び密度低下は無視できると考えられる。移行抑制機能については、廃棄物埋設地内において地下水位が上昇し、地下水の浸入に伴う溶解及び漏出する化学物質(有機物)及びセメント系材料から溶出した高アルカリ成分が覆土の低透水性及び収着性に影響が生じる可能性がある。

したがって、化学物質(有機物)及びアルカリ成分による覆土の低透水性及び収着性への影響を考慮した設計であることを確認する。

(ii) 確認結果

(i)で整理した影響に対する対策として、覆土に使用する材料については、化学物質による収着性への影響を考慮し、収着性を阻害する可能性のある材料の使用を考慮した設計とする。また、覆土については化学的安定性の高い材料で構成する設計としている。

したがって、廃棄物埋設地が、化学物質により安全機能が損なわれないものである。

なお、廃止措置の開始後の評価においては、埋設設備に使用する有機物も含め、これら化学物質を考慮した状態設定に基づく線量評価を行い、各期間・シナリオの線量基準を満足するものであることを確認している。

7. 参考文献

- (1) (公財)原子力環境整備促進・資金管理センター:放射性廃棄物ハンドブック(2019年版)
- (2) ONDRAF/NIRAS(2012):Summary of the Safety Report for the surface repository of category A waste in Dessel