

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

第十三条 地下水の水位等の監視設備

2019年11月27日

日本原燃株式会社

審査会合における本資料に関連するコメントと反映箇所



No.	コメント	反映箇所
148	<p>第 298 回審査会合(2019/8/26) 資料 1-4</p> <p>監視・測定項目の選定については、新規制基準の要求として人工バリア及び天然バリアの機能に関連する項目を選定し、これが監視・測定できる設計であることを求めていることから、データの直接的な観測をまず検討すること。その際、平成 22 年 8 月 9 日付け原子力安全委員会決定「第二種廃棄物埋設の事業に関する安全審査の基本的考え方」に記載されている監視データの取得等の考え方も踏まえ、検討すること。</p>	4. 移行抑制機能に関する監視
152	<p>第 306 回審査会合(2019/10/16) 資料 2-3</p> <p>資料 2-3（地下水の水位等の監視設備）の監視、測定項目について、移行抑制機能に関するパラメータ・特性値だけではなく、線量評価の前提となる評価モデルや条件設定のうち重要な項目に関しても、監視の必要性を整理し、説明すること。また、原位置試験、室内試験等の監視方法や監視頻度について、監視の目的等も踏まえた上で、その考え方や方針を整理し、説明すること。</p>	4. 移行抑制機能に関する監視

目 次

1. はじめに	1
2. 地下水の水位等の監視目的.....	3
3. 閉じ込め機能に関する監視.....	7
3.1. 監視の位置付け.....	7
3.2. 監視・測定の対象とする項目及び方法の具体例.....	7
4. 移行抑制機能に関する監視.....	8
4.1. 監視の位置付け.....	8
4.2. 監視の方法	11
4.3. 各バリアの移行抑制機能と状態設定との関係.....	11
4.4. 監視・測定の対象とする項目及び方法の具体例.....	12

参考資料 1 線量評価パラメータと種々の影響因子及び前提条件との関係

参考資料 2 監視の具体的な方法の例

	: 補正に伴い変更する箇所(コメント対応含む)
	: 上記以外の審査会合コメント反映箇所
緑字	: 第 298 回審査会合(2019/8/26)までに自主的に変更した箇所
赤字	: 第 298 回審査会合(2019/8/26)からの変更箇所
桃色字	: 第 306 回審査会合(2019/10/16)からの変更箇所

1. はじめに

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。)第十三条(地下水の水位等の監視設備)への適合性について、説明する。

()内の頁数は説明記載箇所を示す。

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	規則への適合性
<p>(地下水の水位等の監視設備)</p> <p>第十三条 廃棄物埋設施設には、地下水の水位その他の廃棄物埋設地及びその周辺の状況を監視し、及び測定する設備(第十一条第一号及び第二号に規定する設備を除く。)を設けなければならない。</p>	<p>廃棄物埋設施設には、定期的な評価等に必要データを取得するため、廃棄物埋設地及びその周辺における地下水の水位等の状況を監視・測定する設備を設ける。(資料全般)</p>

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	規則への適合性
<p>1 第 13 条に規定する「廃棄物埋設地及びその周辺の状況を監視し、及び測定する設備」とは次のことをいう。</p> <p>一 第 9 条第 2 号並びに第 10 条第 1 項及び第 2 項との関係に基づき事業規則第 19 条の 2 に規定する定期的な評価等に必要データを取得するため、人工バリア及び天然バリアの機能に関する地下水の状況等の監視及び測定の項目を選定し、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、監視及び測定できる設計であること。</p>	<p>一 廃棄物埋設施設には、定期的な評価等に必要データを取得するため、人工バリア及び天然バリアの機能に関する地下水の状況等を監視・測定する設備を設ける。(4. 移行抑制機能に関する監視【P. 8～21】)</p> <p>埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの間において、排水監視設備からの排水量及び排水中の放射性物質濃度を監視・測定できる設計とする。また、周辺監視区域境界付近に地下水位測定孔を設け、地下水の水位を監視・測定できる設計とする。(3. 閉じ込め機能に関する監視【P. 7】)(4. 移行抑制機能に関する監視【P. 8～21】)</p> <p>覆土完了から廃止措置開始までの間において、廃棄物埋設地付近に地下水位測定孔及び地下水採取孔を設け、地下水の水位及び水質を監視・測定できる設計とする。</p> <p>(4. 移行抑制機能に関する監視【P. 8～21】)</p>

第二種廃棄物埋設施の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈	規則への適合性
<p>二 測定期間及び使用環境に適応して実用上必要な精度で監視及び測定ができる性能を有する監視設備及び測定設備を用いること。</p>	<p>二 測定期間及び使用環境に適応して実用上必要な精度で監視・測定できる性能を有する監視設備及び測定設備を用いるとともに、定期的評価等の結果に基づき、監視項目、監視・測定の設備や位置などは、必要に応じ見直す。 (4. 移行抑制機能に関する監視【P. 8～21】)</p>

2. 地下水の水位等の監視目的

「核燃料物質又は核燃料物質によつて汚染された物の第二種廃棄物埋設の事業に関する規則」第十九条の二に規定する「廃棄物埋設施設の定期的な評価等」（以下「定期的な評価等」という。）に必要なデータを取得するため、人工バリア及び天然バリアの安全機能に係る地下水の状況等を監視・測定するための設備を設ける。

地下水の水位等の監視については、許可基準規則第十条第1項及び第2項に対して設計した廃棄物埋設地の状態に対して安全機能が維持されているかどうか、また、許可基準規則第九条第二号において評価した廃棄物埋設地が、**廃止措置開始以降保全の措置を必要としない状態に移行する見通しがあるかどうか**について、人工バリア及び天然バリアに対して以下の2つの安全機能を対象として監視・測定する。

- ①**埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの間における閉じ込め機能**
(放射性物質を廃棄物埋設地の限定された区域に閉じ込める機能)
- ②**廃止措置開始までの間における移行抑制機能**(廃棄体から漏出する放射性物質が生活環境へ移行する速度を低下、あるいは量を低減する機能)

監視の目的等を第1表の監視・測定の概要に示す。第1表では、関連する許可基準規則第十一条第二号に関する、漏えいの監視及び事業所境界付近の線量等の監視もあわせて整理した。また、廃棄物埋設地及びその周辺の状況の測定をし、定期的な評価等をする上で、必要な情報収集も整理した。

第1表 監視・測定の概要(1/3)

目的	機能	時期	場所	監視・測定対象	説明
(1)漏えい監視 (許可基準規則第十一条第二号関連)	閉じ込め	受入れの開始から覆土完了まで	埋設設備(廃棄物埋設地の限定された区域)	排水監視設備からの排水中の放射性物質の濃度・排水量	排水監視設備の排水があった場合、その排水中の放射性物質の濃度を測定し、埋設設備(廃棄物埋設地の限定された区域)からの異常な漏えいがないことを確認する。
設計上意図していない放射性物質の漏えいがないことの監視	移行抑制	覆土完了から廃止措置開始まで	廃棄物埋設地近傍及び周辺監視区域境界付近	地下水中の放射性物質の濃度	セメント系材料のひび割れによる透水性能は、覆土完了直後に最終劣化状態の砂程度になるとしていることなど、性能評価上は実際よりも早く放射性物質の移行が生じる仮定としており、設計の想定を超える漏えいは考え難いが、覆土完了後に廃棄物埋設地近傍及び周辺監視区域境界付近の地下水中の放射性物質の濃度を測定し確認する。
(2)事業所境界付近の線量等の監視 (許可基準規則第十一条第二号関連) 公衆の放射線防護	閉じ込め 遮蔽 移行抑制	受入れの開始から廃止措置開始まで	周辺監視区域境界付近及び低レベル廃棄物管理建屋	廃棄物埋設地からの移行を含め、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量並びに放出される放射性物質の濃度・排水量	平常時におけるの廃棄物埋設地からの放射性物質の移行、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放射線量並びに低レベル廃棄物管理建屋から周辺環境に放出される放射性物質の濃度を含め50 μ Sv/年以下であることを確認する。

第1表 監視・測定の概要 (2/3)

目的	機能	時期	場所	監視・測定対象	説明
(3-1) 廃棄物埋設地及びその周辺の状況 (許可基準規則第十三条関連) 閉じ込め機能を定期的な評価等で確認するための情報収集	閉じ込め	受入れの開始から覆土完了まで	埋設設備(廃棄物埋設地の限定された区域)	排水監視設備からの排水中の放射性物質の濃度・排水量	排水監視設備からの排水があった場合、その排水中の放射性物質の濃度を測定し、埋設設備(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ていない状況(工学的に有意な漏えいがない状況)を確認し、閉じ込め機能を評価する。

第1表 監視・測定の概要(3/3)

目的	機能	時期	場所	監視・測定対象	説明
<p>(3-2) 廃棄物埋設地及びその周辺の状況 (許可基準規則第十三条関連) 廃止措置開始以降保全の措置を必要としないことの見通しを定期的な評価等で確認するための情報収集</p>	移行抑制	覆土完了から廃止措置開始まで	廃棄物埋設地 必要に応じ敷地内（類似環境下含む）、室内	人工バリア、天然バリアの状態の測定 測定項目は、移行抑制機能への影響度合い、測定の実現性から判断して設定	<p>廃止措置終了直後に人為事象で掘削により放射性物質が地表に移動したと仮定した評価の結果においても $10 \mu\text{Sv/y}$ 前後であり、自然事象は緩慢な事象であることから、廃止措置開始以降に保全の措置を必要としない見通しの蓋然性は高く、この見通しの確認のための監視の必要性は低い。 設計の想定を超える漏えいが起こっていないことは、漏えい監視で確認できる。</p> <p>一方で管理期間が長いことから、新たな知見で廃止措置開始以降の長期状態設定が見直しできる可能性はある。廃止措置開始以降に保全の措置を必要としない見通しの結論へは影響しない可能性が高いが、当初の保守的な状態設定がより現実的に見直される可能性があるものは、バリアの状態の測定を行う。</p> <p>測定項目は、線量評価への影響が大きく、測定により状態設定の精度向上が見込まれるものから、できるだけ測定する効果のあるものを選定する。線量評価への影響は、全ての廃棄物が埋設されて総放射エネルギーが確定し、かつ覆土が完成し、人工バリアの初期性能が確定した段階で確定することから、その時点で決定し、計測項目や計測期間、頻度は、定期的な評価等で都度見直しながら行う。</p>

3. 閉じ込め機能に関する監視

3.1. 監視の位置付け

閉じ込め機能の監視は、許可基準規則第十一条第二号の要求に従って実施する人工バリアから漏出する放射性物質の濃度等の監視・測定によって、その機能が維持されているかどうかの確認を行うことが可能である。

放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの間、人工バリアの閉じ込め機能が維持されていることについて確認するため、排水監視設備からの排水量及び排水中に含まれる放射性物質濃度を監視・測定する。

3.2. 監視・測定の対象とする項目及び方法の具体例

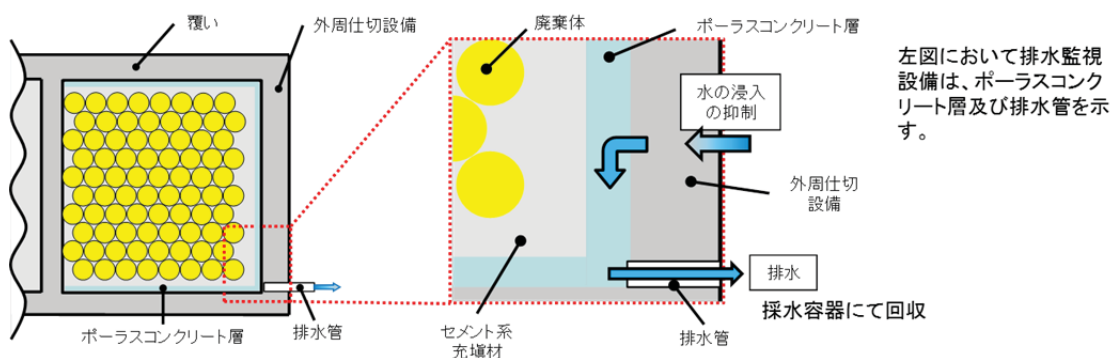
排水監視設備からの排水量の監視・測定は、排水管からの水を一時的に貯留し、回収するための採水容器を設置し、この採水容器に貯留された水の量を確認することによって行う。

また、排水監視設備からの排水中に含まれる放射性物質濃度の監視・測定は、排水管からの水を貯留した採水容器を放射能測定装置設置場所まで運搬し、放射能測定装置を用いて排水中の放射性物質濃度*1を確認することによって行う。

監視・測定の頻度は、想定される排水量を基に設定する。

閉じ込め機能のイメージ図を第1図に示す。

*1 測定対象核種は、H-3、Co-60 及び Cs-137 とする。



第1図 閉じ込め機能のイメージ図

4. 移行抑制機能に関する監視

4.1. 監視の位置付け

バリア機能の監視・測定は、以下に示す1号～3号廃棄物埋設施設の設計・評価の状況を踏まえ、廃棄物埋設地のバリア機能に影響を与える廃棄物埋設地の様々な状態変化の監視・測定結果から、予測されるバリア機能の変化が線量評価上(状態設定上)で想定している変化の範囲内であることについて確認することを目的とする。

1号～3号廃棄物埋設地は地表に近い位置に設置されることから、廃止措置終了以後における人為事象の影響を評価している。

1号～3号廃棄物埋設施設の人為事象における影響は、廃止措置開始直後に廃棄体を含む廃棄物埋設地を直接掘削し、地表に放射性物質が移動すると仮定した評価においても $10 \mu\text{Sv/y}$ 前後の線量評価結果である。そのため、放射性物質の移動がより緩慢である自然現象によって生じる線量は、基本シナリオの $10 \mu\text{Sv/y}$ 、変動シナリオの $300 \mu\text{Sv/y}$ を下回る蓋然性は高いと考えられる。

また、廃止措置開始までの期間における放射性物質の減衰によって、公衆に放射線障害を及ぼすリスクは十分に小さくなるものであり、参考資料1 第3図に示した線量感度の大きいバリア機能を対象に、基本シナリオの評価に対してバリア機能の喪失を仮定した評価においても安全性を著しく損なうものではない(第2表及び第2図参照)。

これらのことから、廃止措置開始以後、保全の措置を必要としない状況に移行できることの見通しについて、監視で確認する必要性は低い設計となっている。

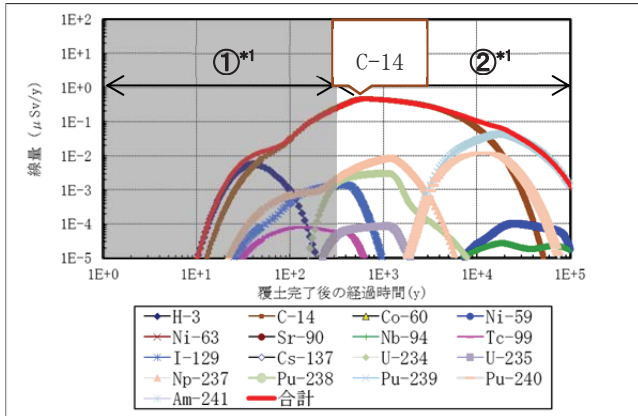
しかし、事業の長期性を考え、廃棄物埋設地の様々な状態変化の監視・測定(データを拡充するための測定や直接計測できない場合は近い環境下での計測を含む)により、バリア機能の変化が線量評価上(状態設定上)で想定している変化と相違あるか確認する。さらに、事業許可時点の線量評価に監視によるデータも含めた最新知見を反映し、長期予測の不確実性を低減する(信頼性向上)ことも考慮する。

第2表 各バリア材の機能喪失を仮定した3号廃棄物埋設施設の線量評価結果

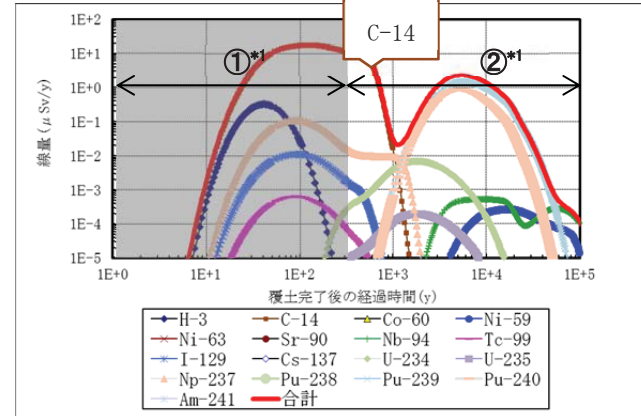
考慮した状態設定	状態設定に基づく線量評価パラメータ設定値		設定の考え方	線量 [μ Sv/年] (漁業従事者 ^{*1})	
人工バリアの収着性を喪失したケース	分配係数	廃棄体 (m^3/kg)	全核種 0	人工バリアの収着性を無視したケースとして、覆土完了時点から分配平衡領域の分配係数を全核種 $0 m^3/kg$ と設定する。	1.3×10^1 支配核種：C-14
		充填モルタル (m^3/kg)	全核種 0		
		コンクリート (m^3/kg)	全核種 0		
天然バリアの収着性を喪失したケース	分配係数	岩盤(鷹架層) (m^3/kg)	全核種 0	天然バリアの化学的遅延機能を無視したケースとして、覆土完了時点から鷹架層の分配係数を全核種 $0 m^3/kg$ と設定する。	3.4×10^0 支配核種：Am-241 ^{*2}
バリアの低透水性を喪失したケース ^{*3, 4}	埋設設備から覆土への流出水量 (m^3/y)		3,100	バリアの低透水性を無視したケースとして、覆土完了時点から各バリアの透水係数を変動シナリオの設定 ($1.5 \times 10^{-8} (m/s)$) よりも更に厳しい設定 ($1.0 \times 10^{-7} (m/s)$) とする。 ^{*3}	3.8×10^0 支配核種：C-14
	埋設設備から鷹架層への流出水量 (m^3/y)		3,700		
基本シナリオ	-		-	-	4.6×10^{-1} 支配核種：C-14
変動シナリオ	-		-	-	1.9×10^1 支配核種：Pu-239

- *1 被ばく経路に関しては許可基準規則第九条第二号に記載した基本シナリオにおける全ての被ばく経路を対象とした。本資料に記載した漁業従事者は、前述した被ばく経路の重ね合わせのうち、被ばく線量が最も高くなる評価対象個人である。
- *2 基本シナリオの支配核種である C-14 は天然バリアの収着性(分配係数)が小さいことから、支配核種は天然バリアの収着性(分配係数)の大きい Am-241 に変わっている。
- *3 バリアの低透水性の喪失したケースとして、難透水性覆土及び下部覆土の膨潤性が損なわれ、細粒分が残留する状態を想定し、透水係数を $1.0 \times 10^{-7} (m/s)$ と設定する。
- *4 本ケースの埋設設備から覆土への流出水量及び埋設設備から鷹架層への流出水量は、設定した透水係数を基に2次元地下水浸透流解析(資料1-2-2「補足説明資料7 線量評価パラメータ-埋設設備からの流量-」参照)により算出を行った。基本シナリオの設定値はそれぞれ $10 (m^3/y)$ 、 $510 (m^3/y)$ 、変動シナリオの設定値はそれぞれ $630 (m^3/y)$ 、 $1,500 (m^3/y)$ である。

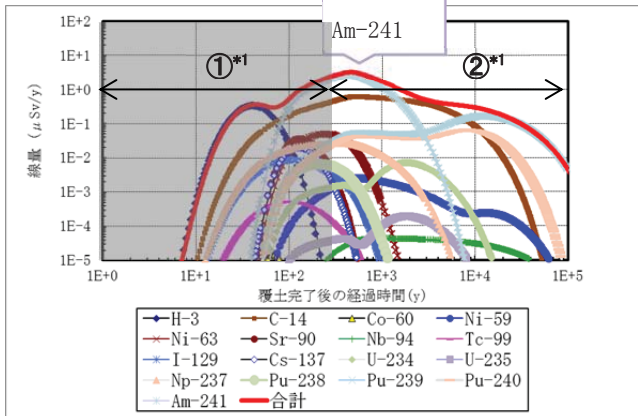
基本シナリオ (約 4.6×10^{-1} [$\mu\text{Sv}/\text{年}$])



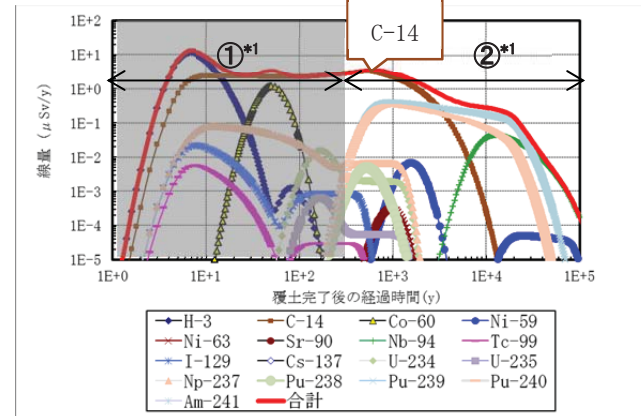
人工バリアの収着性を喪失したケース (約 1.3×10^1 [$\mu\text{Sv}/\text{年}$])



天然バリアの収着性を喪失したケース (約 3.4×10^0 [$\mu\text{Sv}/\text{年}$])



バリアの低透水性を喪失したケース (約 3.8×10^0 [$\mu\text{Sv}/\text{年}$])



*1 各凡例の意味は以下に示すとおり。
 ①：覆土完了後～廃止措置開始前まで
 ②：廃止措置開始以後～

第2図 各バリア材の機能喪失を仮定した3号廃棄物埋設施設の線量評価グラフ

4.2. 監視の方法

監視の方法は、廃棄物埋設施設を直接的に監視するものと、類似環境下における原位置試験又は室内試験による要素試験に大別される。廃棄物埋設施設の移行抑制機能の観点からは、難透水性覆土の低透水性と、各バリアの収着性が重要である(第3表参照)。これらの機能を直接監視・測定するためには、各バリアを用いた透水試験又は分配係数試験によって測定する必要がある。しかし、覆土完了後において、各バリアを直接測定すること及び試験体を直接採取することは、バリアの損傷(移行抑制機能の損失)が懸念されることから、状態変化を直接的に監視することは実質不可能である。したがって、類似環境下での原位置試験又はそれを補完する室内試験、地下水の水位等の廃棄物埋設地周辺の環境の監視によって、これら移行抑制機能の変化を確認する。

4.3. 各バリアの移行抑制機能と状態設定との関係

移行抑制機能の状態設定として、難透水性覆土の低透水性は、セメント系材料や廃棄体の成分による化学的変質と、金属の腐食膨張による力学的変形の影響を受ける。また、各バリアの収着性は、セメント系材料や廃棄体の成分による化学的変質の影響を受ける。

(1) 難透水性覆土の低透水性への影響及びその対応

難透水性覆土の透水性に対する化学的変質は、地化学解析コードにより予測しており、管理期間において、埋設設備に接する難透水性覆土の一部は変質する結果となっている(第3図)。

監視によりこの変質状況を確認することで、長期の状態設定の妥当性を検討できる可能性はあるため、監視の対象項目の一つと考える。ただし、この解析は、埋設設備が覆土直後から砂程度の透水性となっているという仮定のもとで、難透水性覆土に供給される影響物質の量を想定していることなど、難透水性覆土の変質が早く進む条件としている。このことから、監視により得られた情報が、解析で予測された状態の範囲内か否かを確認するだけで、化学的変質の予測の妥当性が判断できるという単純なものではない。管理期間内の変化は緩慢で、この間の監視では、その後の長期予測の不確実性に対する低減に直接寄与できない可能性があるが、監視の知見とあわせて考察し、事業許可時点の線量評価に反映する最新知見の一つの材料にすることは可能と考えられる。

難透水性覆土の透水性に対する力学的変形は、金属の腐食膨張量より予測しており、金属廃棄物は複数の金属種類を含んだ状態で埋設している状況である。埋設している金属種類のうち、最も埋設重量割合と腐食膨張量の大きい炭素鋼を代表とし、代表金属が速やかに腐食し、膨張すると評価している。管理期間内において金属の腐食による埋設設備の膨張量を直接監視しても、膨張変形は緩慢で、この間の監視では、その後の長期の予測の不確実性の低減に直接寄与できない可能性もあるが、監視の知見とあわせて考察し、事業許可時点の線量評価に反映する最新知見の一つの材料にすることは可能と考えられる。

(2) 各バリアの収着性への影響及びその対応

各バリアの収着性は、収着性に影響する物質による性能低下を、現時点の知見に基づき、覆土完了直後から生じるものと設定している。今後初期の特性のデータを充実するとともに、長期の性能は、収着性に影響する物質による性能の変化に関するデータを必要に応じ充実させることとする。実際の管理期間での状態変化は緩慢で、この間の監視では、その後の長期予測の不確実性の低減に直接寄与できない可能性もあるが、管理期間内に収着性能を監視により確認し、事業許可時点の線量評価を最新の知見で見直すことの一つの材料とすることは可能と考えられる。

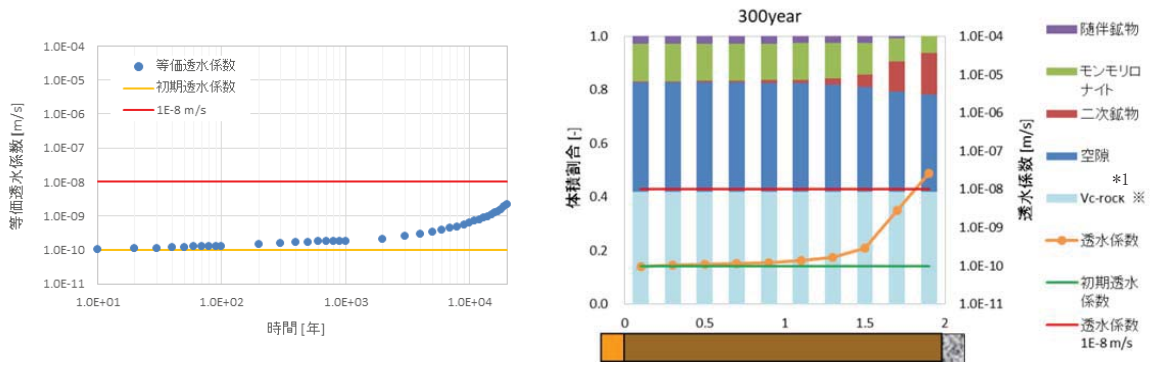
難透水性覆土の低透水性及び各バリアの収着性の実際の管理期間内の変化は緩慢で、線量評価上(状態設定上)で想定している変化の範囲を超えることは想定されないものの、その変化を監視することで廃棄物埋設地の安全性が維持されているかを確認する。また、この間の監視では、その後の長期予測の不確実性の低減に直接寄与できない可能性もあるが、管理期間内の状況を監視により確認し、事業許可時点の線量評価に反映する最新知見の一つの材料にする。

4.4. 監視・測定の対象とする項目及び方法の具体例

監視・測定の対象とする項目は、廃棄物埋設施設(廃棄物埋設地)の安全性を確認する観点から、線量評価パラメータのうち線量への感度の大きいもの及びこれらのパラメータの設定に際して「資料 1-2-1 第九条第二号 異常時の放射線障害の防止等(廃止措置開始以後の評価)」の廃棄物埋設地等の状態変化の評価で考慮した種々の影響因子及び前提条件とする。これらの監視・測定項目は、埋設した実績の放射線量及び施設建設時の設備や覆土の初期性能によって感度のあるパラメータや重要な影響因子及び前提条件が変わる可能性があることから、埋設が完了した時点で、選定することを基本とする。線量評価パラメータと種々の影響因子及び前提条件との関係を参考資料 1 に示す。

覆土の初期の透水係数や収着性は、施設確認の際の試験から判断できる。覆土の地下水面の位置や施設の近傍の動水勾配は、施設建設直後の施設近傍の観測井による監視から判断できる。実際の管理期間内の変化は緩慢であり、施設の近傍で得られる情報では有効な情報は得られないと考えられるので、バリア機能の変化に関する監視は、基本的に類似環境下の要素試験になると考えられる。類似環境下の試験は、実際の施設とスケールが異なり、要素的な試験となる場合が多い。要素試験とすることで、例えば難透水性覆土への化学的影響のように、実際の施設では直ぐに変化が開始しないものを早い段階から変化を開始できる利点もある。いずれにしても、類似環境下の試験のスケール、環境下での状態変化の予測解析と測定結果を比較し、実際の施設の状態変化のモデルやパラメータの見直しに組み込むことを効果的に行なう必要があり、埋設した実績の放射線量及び施設建設時の設備や覆土の初期性能が固まる段階までに計画を具体化する。さらに、これらの監視項目や監視頻度は、定期的な評価の際に、最新の知見に基づき見直す。

現時点の知見に基づき、監視・測定項目を、第3図の状態変化の評価、施設確認等との関係で抽出し、監視・測定の概要について具体的に整理した例を第4表及び参考資料2に示す。第4表において、監視・測定を行う項目例について、灰色で塗りつぶして示した。



等価透水係数

300年後の難透水性覆土の鉱物組成と透水係数の分布図

*1 Vc-rock : 化学反応に寄与しない固相

第3図 1号埋設施設の解析結果 (ケース②)

(詳細については資料 1-2-2 「補足説明資料 5 状態変化の評価(化学的影響)」を参照)

第3表 各バリアに期待する移行抑制機能と線量評価パラメータ (例)

バリア	移行抑制機能	移行抑制機能の内容	線量評価パラメータ
セメント系材料 (廃棄体固型化材、 埋設設備)	収着性	セメント系材料、難透水性覆土、上部覆土及び岩盤(鷹架層)の収着性を期待することにより、廃棄物埋設地からの核種の漏出量を低減し、移行を遅延させる。 基本的に収着性が大きい方が移行抑制効果は大きいですが、土地(土壌)の利用が想定される場合は、収着性が小さい方が線量低減に寄与する場合もある。	<ul style="list-style-type: none"> ・分配係数 ・体積・厚さ ・間隙率 ・粒子密度
難透水性覆土			
上部覆土			
岩盤(鷹架層)			
難透水性覆土	低透水性	ベントナイト混合土を用いた難透水性覆土及び下部覆土に対して低透水性を期待することにより、施設通過流量(施設への浸入水量及び施設上部並びに生活環境への地下水の流出)を低減させる。 岩盤(鷹架層)の低透水性によって、廃棄物埋設地への地下水浸入量の低減を期待するとともに、生活環境までの移行遅延を期待する。	<ul style="list-style-type: none"> ・埋設設備から覆土への流出水量 ・覆土内地下水流量(希釈) ・覆土の地下水流速 ・埋設設備から岩盤(鷹架層)への流出水量 ・岩盤(鷹架層)の地下水流速
下部覆土			
岩盤(鷹架層)			

第4表 監視・測定の項目の例(1/7)

■ : 監視・測定を行う

部位等	項目	状態設定、線量評価への感度	事業許可申請、確認での扱い	監視・測定での扱い
漏えい監視	—	—	—	監視・測定を行う（第十一条第2項関連） 参考資料2 1.2.地下水採取孔による監視・測定
事業所境界付近の線量等の監視	—	—	—	監視・測定を行う（第十一条第2項関連） 参考資料2 1.2.地下水採取孔による監視・測定
地盤	透水係数 移行距離	施設通過流量と放射性物質の移行時間に関係し、評価への感度は大きくない。評価上の移行距離20～30mに対し実際の分布は広い。	事業許可申請時点の調査で確認する。	（監視・測定は行わない） 線量評価への影響は小さく、裕度を持った設定としており、監視は不要
	分配係数	線量評価の影響は大きくは無いが、長期における化学影響範囲は限定的である。	事業許可申請時点の試験により設定する。	（監視・測定は行わない） 天然バリアの収着性の喪失を仮定したとしても著しく安全性を損なうことはなく（第2表）、線量への感度は人工バリアに比べて小さく、化学的影響範囲は限定的であることから、監視は不要
	支持力、変形	支持地盤の変形により人工バリアが大きく変形、破壊した場合は状態設定への影響がある。	事業許可申請時点の調査で岩盤の支持力が十分にあることを確認し、施設確認時に支持地盤が岩盤であることを確認する。	（監視・測定は行わない） 事業許可及び施設確認の時点で十分に余裕があることを確認できることから、監視は不要

第4表 監視・測定の項目の例(2/7)

 : 監視・測定を行う

部位等	項目	状態設定、線量評価への感度	事業許可申請、確認での扱い	監視・測定での扱い
地下水	上部覆土の地下水水面位置	線量評価シナリオにおいて、上部覆土表面に地下水水面が常時達していないことを前提としている。	施設確認では確認しない。	線量評価の前提であることから、覆土完成後、覆土内の地下水水面位置を確認する。 参考資料2 1.2.地下水採取孔による監視・測定
	施設から漏出した放射性物質の移行先	主に南側の沢方向に流れるとしているが、全量北に流れるとしても、線量評価結果は大きくならない。	施設確認では確認しない。	線量評価の値への影響はないが評価の前提であることから、覆土完成後、埋設地近傍の地下水水面位置を確認することで流動方向を確認する。 参考資料2 1.2.地下水採取孔による監視・測定
	施設通過流量	線量評価への感度が大きい。 参考資料1 第3図 地下水移行経路における主要パラメータの感度解析例 被ばく線量に対する変動パラメータの偏順位相関係数	事業許可申請では、施設、人工バリア、天然バリアの透水係数と、天然バリアの動水勾配より計算で求める。地下流量の直接計測は困難である。	(直接的な監視・測定は行わない) 通過流量の直接監視はしないが、各バリアの透水係数と、地下水位の観測に基づく動水勾配より計算で確認する。

第4表 監視・測定の項目の例(3/7)

: 監視・測定を行う

部位等	項目	状態設定、線量評価への感度	事業許可申請、確認での扱い	監視・測定での扱い
廃棄体	放射エネルギー	線量への感度は大きい。	廃棄体確認及び施設確認により実績の放射エネルギーが確定する。	(監視・測定は行わない) 廃棄体確認及び施設確認で確定するため、監視は不要
	廃棄物中の金属量	金属腐食膨張による施設の膨張量により、難透水性覆土等の透水係数の力学的影響があれば、施設通過流量が増え、線量が増加する。しかし、現在想定している保守的な膨張量でも、透水係数の力学的影響はない。	理論上廃棄体に入れることができる最大の金属量で評価しており、廃棄体確認でも確認対象としていない。	(監視は行わない) 廃棄体確認対象ではないが、廃棄体の充填材を除いた廃棄物重量のデータより、金属の実績重量は確定することから、定期的な評価等に反映させることは可能。
	金属の膨張量	線量への感度が大きい。	事業許可申請では、膨張量が保守的になるような腐食生成物ができるとしている。施設確認では確認しない。	難透水性覆土の低透水性の喪失を仮定したとしても著しく安全性を損なうことはないが(第2表)、施設通過流量の線量への感度が大きいことから、監視・測定を行う。 腐食による金属の膨張の進行は緩慢であり、類似環境下あるいは室内試験により行なう。 参考資料1 1.2. 移行抑制機能における線量評価パラメータとその影響因子、参考資料2 1.3. 類似環境下での原位置試験あるいはそれを補完する室内試験による監視・測定
	分配係数	参考資料1 第3図 地下水移行経路における主要パラメータの感度解析例 被ばく線量に対する変動パラメータの偏順位相関係数	事業許可申請時に有機物など分配係数に与える環境の影響を考慮した試験などにより保守的に設定する。	廃棄体(固型化材)の収着性の喪失を仮定したとしても著しく安全性を損なうことはないが(第2表)、分配係数は線量への感度が大きいことから、監視・測定を行う。 有機物など環境が分配係数に与える影響について、データを充実させる。 参考資料1 1.2. 移行抑制機能における線量評価パラメータとその影響因子、参考資料2 1.3. 類似環境下での原位置試験あるいはそれを補完する室内試験による監視・測定

第4表 監視・測定の項目の例(4/7)

 : 監視・測定を行う

部位等	項目	状態設定、線量評価への感度	事業許可申請、確認での扱い	監視・測定での扱い
埋設設備	長期透水係数	線量への感度が大きい施設通過流量に関係する。鉄筋の腐食膨張や廃棄体の膨張、陥没によりひび割れが生じ透水係数が大きくなっていくが、現象が複雑で透水係数の時間変化状態を設定することは困難なため、覆土完了直後から最終的な状態である砂程度の透水性になったとして評価している。	長期の状態であり、施設確認では確認できない。	(監視・測定は行わない) 埋設設備の透水係数の時間変化を実施設で確認することは不可能。当初から砂程度の保守的透水性の設定とされていることから、監視は不用。
	分配係数	線量への感度が大きい。 参考資料1 第3図 地下水移行経路における主要パラメータの感度解析例 被ばく線量に対する変動パラメータの偏順位相関係数	事業許可申請時に有機物など分配係数に与える環境の影響を考慮した試験、セメント水和物の溶脱影響の考慮などにより保守的に設定する。	埋設設備の取着性の喪失を仮定したとしても著しく安全性を損なうことはないが(第2表)、分配係数は線量への感度が大きいことから、監視・測定を行う。 有機物など環境が分配係数に与える影響について、データを充実させる。 管理期間内に設備からCaなどが溶出する可能性があり、別途行うCaの溶脱試験でCaの溶脱が認められた場合は、Caが溶脱した試料を用いて分配係数の試験を行う。 参考資料1 1.2. 移行抑制機能における線量評価パラメータとその影響因子、参考資料2 1.3. 類似環境下での原位置試験あるいはそれを補完する室内試験による監視・測定

第4表 監視・測定の項目の例(5/7)

: 監視・測定を行う

部位等	項目	状態設定、線量評価への感度	事業許可申請、確認での扱い	監視・測定での扱い
埋設設備	セメント系材料からのCa等の(難透水性覆土への)溶脱	セメント系材料からのCa等の溶脱により難透水性覆土が化学変質し透水係数が大きくなると、線量への感度が大きい施設通過流量に影響する。	施設確認では、セメント系材料からのCa等の(難透水性覆土への)溶脱の直接確認は困難。	<p>難透水性覆土の低透水性の喪失を仮定したとしても著しく安全性を損なうことはないが(第2表)、施設通過流量の線量への感度が大きいことから、監視・測定を行う。</p> <p>管理期間内に設備からCaなどが溶出する可能性がある。線量評価では、設備が覆土直後から砂程度の透水性に劣化し、Ca等が難透水性覆土に供給されやすい環境を前提としており、実際に管理期間内の変質は緩慢であると推定する。Ca等の溶脱状況は設備からサンプルを採って分析する必要があり、実施設ではなく、類似環境下若しくは室内試験で行う。</p> <p>参考資料1 1.2. 移行抑制機能における線量評価パラメータとその影響因子、参考資料2 1.3. 類似環境下での原位置試験あるいはそれを補完する室内試験による監視・測定</p>

第4表 監視・測定の項目の例(6/7)

: 監視・測定を行う

部位等	項目	状態設定、線量評価への感度	事業許可申請、確認での扱い	監視・測定での扱い
難透水性覆土	初期透水係数	線量への感度が大きい施設通過流量に関する。設備の膨張などによる難透水性覆土の透水係数は、力学的影響をほとんど受けない。化学的影響は小さいが化学的変質はする可能性がある。	施設確認で初期の透水係数と、長期の性能の前提となる覆土の仕様を確認する。透水係数の空間的ばらつきは、施工方法、品質管理方法で確認する。	(監視・測定は行なわない) 施設確認で確定するため、監視は不要。
	長期透水係数		施設確認では、長期の透水係数は直接確認できない。	<p>難透水性覆土の低透水性の喪失を仮定したとしても著しく安全性を損なうことはないが(第2表)、施設通過流量の線量への感度が大きいことから、監視・測定を行う。</p> <p>難透水性覆土全体が飽和する前は、透水係数の空間的分布にばらつきが見られるが、放射性物質の移行の観点からは、移行経路が完全に水で満たされておらず、移行量は制限されることから問題ないと考える。設備から溶出するCaなどによる変質が管理期間内に起こる可能性がある。ただし、設備が覆土直後から砂程度の透水性に劣化し、Ca等が難透水性覆土に供給されやすい環境を前提としており、実際に管理期間内の変質は緩慢なものになる。変質状況は難透水性覆土からサンプルを採って分析する必要があり、実施設ではなく、類似環境下若しくは室内試験で行う。</p> <p>参考資料1 1.2. 移行抑制機能における線量評価パラメータとその影響因子、参考資料2 1.3. 類似環境下での原位置試験あるいはそれを補完する室内試験による監視・測定</p>



第4表 監視・測定の項目の例(7/7)

: 監視・測定を行う

部位等	項目	状態設定、線量評価への感度	事業許可申請、確認での扱い	監視・測定での扱い
難透水性覆土	分配係数	線量への感度は低い。 参考資料1 第3図 地下水移行経路における主要パラメータの感度解析例	事業許可申請時に有機物など分配係数に与える環境の影響を考慮した試験などにより保守的に設定する。	(監視・測定は行わない) 線量への感度が低いため、監視は不要。
下部覆土	初期透水係数	難透水性覆土の透水係数が大きくなった場合、下部覆土の透水も大きくなると、線量への感度が大きい	施設確認で初期の透水係数と、長期の性能の前提となる覆土の仕様を確認する。	(監視・測定は行わない) 施設確認で確定するため、監視は不要。
	長期透水係数	施設通過流量が増える。下部覆土の透水係数は設備の膨張などによる力学的影響がほとんどなく、化学的影響もない。	—	(監視・測定は行わない) 力学的影響及び化学的影響がほとんどないため、監視は不要。
上部覆土	初期透水係数	線量への感度は低い。	施設確認では確認しない。	(監視・測定は行わない) 線量への感度が低いため、監視は不要。
	長期透水係数		—	(監視・測定は行わない) 線量への感度が低いため、監視は不要。
	分配係数	線量への感度は低い。 参考資料1 第3図 地下水移行経路における主要パラメータの感度解析例 被ばく線量に対する変動パラメータの偏順位相関係数	施設確認では確認しない。	(監視・測定は行わない) 線量への感度が低いため、監視は不要。

参考資料 1

第十三条 地下水の水位等の監視設備 線量評価パラメータと種々の影響因子及び 前提条件との関係

- | | |
|---|---------------------------------------|
|  | : 補正に伴い変更する箇所(コメント対応含む) |
|  | : 上記以外の審査会合コメント反映箇所 |
| 緑字 | : 第 298 回審査会合(2019/8/26)までに自主的に変更した箇所 |
| 赤字 | : 第 298 回審査会合(2019/8/26)からの変更箇所 |
| 桃色字 | : 第 306 回審査会合(2019/10/16)からの変更箇所 |

目次

1. 1. 移行抑制機能と線量評価パラメータの関係について.....	1
1. 2. 移行抑制機能における線量評価パラメータとその影響因子.....	2
2. 1. 参考文献.....	8

1. 1. 移行抑制機能と線量評価パラメータの関係について

線量評価において埋設設備内の核種 i の間隙水中濃度は以下の式を用いて評価しており、収着性を示す分配係数のほか、体積、間隙率及び粒子密度が人工バリアである埋設設備内の核種 i の間隙水中濃度を決定するパラメータである。

$$C_{ww}(0, i) = \frac{A_0(i)}{\varepsilon \cdot Rf(i) \cdot V_{meq}}$$

$$\overline{\varepsilon \cdot Rf(i)} = \sum_j (P(j) \cdot \varepsilon(j) \cdot Rf(i, j))$$

$C_{ww}(0, i)$: 埋設設備内の覆土完了直後における核種 i の間隙水中濃度 (Bq/m³)

$A_0(i)$: 核種 i の総放射エネルギー (Bq)

$P(j)$: 埋設設備内の媒体 j の体積分率 (-)

$\varepsilon(j)$: 埋設設備内の媒体 j の間隙率 (-)

$Rf(i, j)$: 埋設設備内の媒体 j の核種 i の遅延係数 (-) ;

$$= 1 + \frac{1 - \varepsilon(j)}{\varepsilon(j)} \cdot \rho(j) \cdot Kd(i, j)$$

$\rho(j)$: 埋設設備内の媒体 j の粒子密度 (kg/m³)

$Kd(i, j)$: 埋設設備内の媒体 j の核種 i の分配係数 (m³/kg)

V_{meq} : 分配平衡となる埋設設備の体積 (m³)

また、埋設設備から鷹架層への核種 i の漏出量は以下の式を用いて評価しており、天然バリアである覆土及び鷹架層の透水係数、動水勾配によって設定される流出水量が、埋設設備からの核種 i の漏出量を決定するパラメータである。

$$S_g(t, i) = Q_{go}(t) \cdot C_{ww}(t, i)$$

t : 覆土完了以後の経過時間 (y)

$S_g(t, i)$: 埋設設備から鷹架層への核種 i の漏出量 (Bq/y)

$Q_{go}(t)$: 埋設設備から鷹架層への流出水量 (m³/y)

本文「4. 4. 監視・測定の対象とする項目及び方法の具体例」の第 3 表「各バリアに期待する移行抑制機能と線量評価パラメータ (例)」に関連した重要パラメータである「埋設設備から岩盤(鷹架層)又は上部覆土への流出水量」、「各バリア材料の分配係数」に与える影響事象は、比較的緩慢に生じる廃棄物埋設地の周辺環境の変化によるものが主なものであり、急激に著しくバリア機能が変化することは考え難い。

したがって、廃棄物埋設地近傍の変化を評価するために、地下水の水質(放射性物質濃度含む)及び温度、流入出水量及び流速の変化を確認することが考えられる。

線量評価パラメータの透水係数から求められる流出水量及び分配係数に与える代表的な影響事象としては、地下水との反応による各バリア材・間隙水の変化が考えられる。しかし、覆土完了後において、人工バリア及び天然バリアより材料を直接採取することは、バリアを損傷することになり、移行抑制機能の損失が懸念されるため、状態変化を直接的に評価することは実質不可能である。したがって、「第二種廃棄物埋設の事業に関する安全審査の基本的考え方」について(22 安委決第 24 号平成 22 年 8 月 9 日原子力安全委員会決定)に基づき、類似環境下での原位置試験あるいはそれを補完する室内試験を行い、人工バリア及び天然バリア機能(収着性、低透水性)の変化を確認することが考えられる。

1.2. 移行抑制機能における線量評価パラメータとその影響因子

第 1 表及び第 2 表に長期状態において収着性及び低透水性に影響を及ぼす要因の抽出例を、第 3 表及び第 4 表に各材料の要求機能に対する項目関連性を示す。

本文「4.4. 監視・測定の対象とする項目及び方法の具体例」の第 2 表「各バリア材の機能を構成する特性の一つを喪失した線量評価(例)」に示す線量評価パラメータと第 1 表及び第 2 表の影響要因に対し、第 3 表及び第 4 表を踏まえ、その関係性を整理した。第 1 図に長期状態における各種影響要因の関係の例を示す。これらを踏まえ類似環境下での原位置試験あるいはそれを補完する室内試験に対する監視、測定項目候補を抽出する。

第 2 図に長期状態における各種影響要因と監視項目、監視設備の関係(例)を示す。

線量評価パラメータの感度解析の一例⁽¹⁾として、第 3 図に被ばく線量に対する変動パラメータの偏順位相関係数を示す。これより、地下水流入量と分配係数において線量評価感度が高い結果となっている。

第1表 長期状態において収着性に影響を及ぼす要因の抽出 (例)

項目	長期状態における影響要因		影響機構	
分配係数	セメント系材料特性の変化	化学的影響	セメント水和物の溶解、二次鉱物の生成	地下水によりセメント水和物の溶解や地下水成分との反応による二次鉱物の生成により空隙構造が変化する。
			廃棄体に含まれる硫酸塩によるエトリンサイト等の生成	廃棄体に含まれる硫酸塩とセメント水和物の反応によりエトリンサイト等が生成され空隙構造が変化する。
			有機物	セルロースはアルカリ性の環境下において分解し、イソサッカリン酸が生成することによって放射性物質と錯体を形成し、収着性に影響する。
		力学的影響	セメント水和物の溶解	地下水によりセメント水和物の溶解により空隙構造が変化し、剛性、強度が低下する。
廃棄体に含まれる硫酸塩によるエトリンサイト等の生成	廃棄体に含まれる硫酸塩とセメント水和物の反応によりエトリンサイト等が生成され、セメント系材料にひび割れが発生する。			
ベントナイト系材料特性の変化	化学的影響	モンモリロナイト、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よる空隙の増加。溶解成分と地下水成分が反応し二次鉱物が沈殿する。	

第2表 長期状態において低透水性に影響を及ぼす要因の抽出 (例)

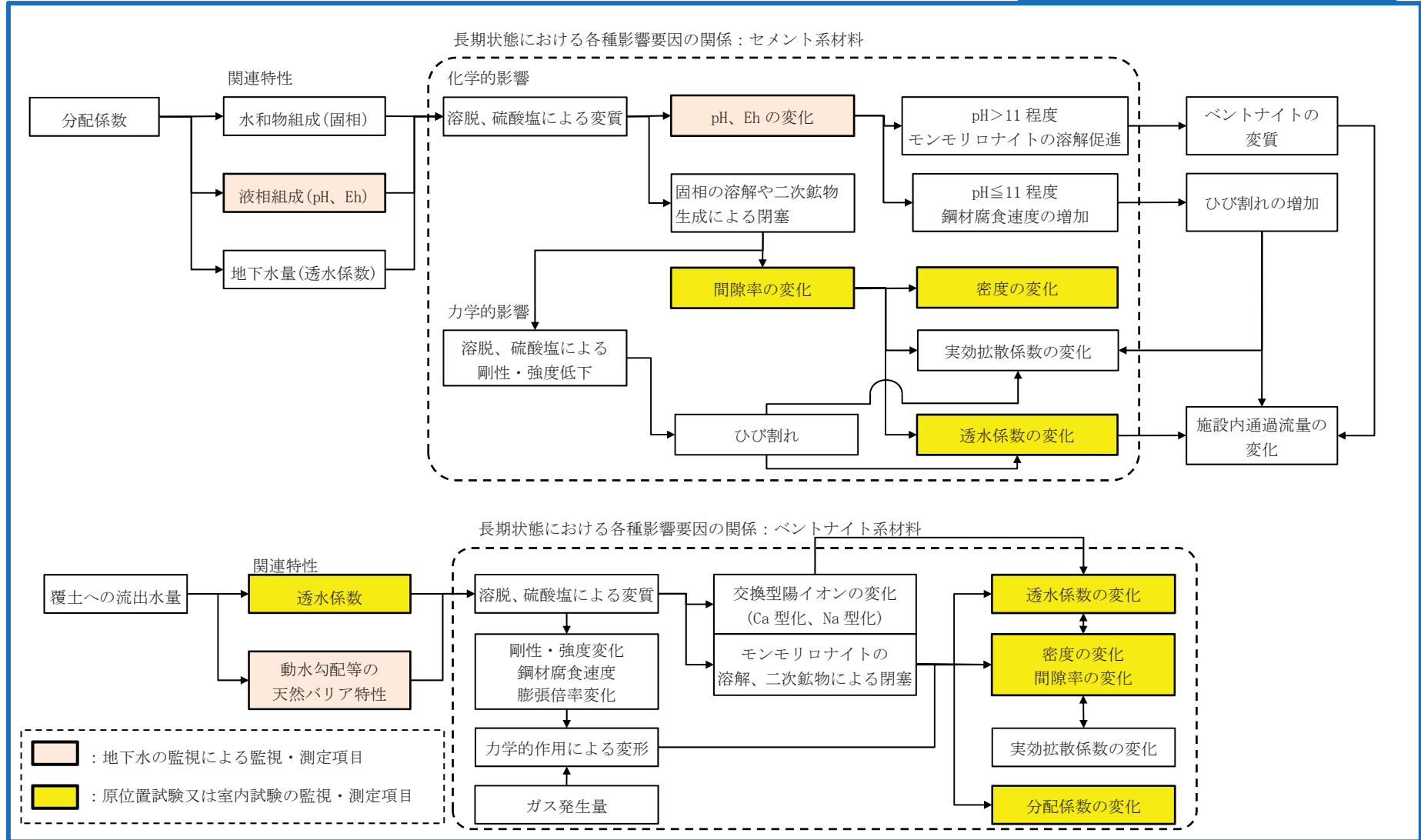
項目	長期状態における影響要因		影響機構	
透水係数	ベントナイト特性の変化	化学的影響	交換性陽イオンの変化	セメント系材料からの高カルシウム濃度の間隙水によるベントナイトのCa型化。
			廃棄体中のほう酸塩、硫酸塩などの可溶性塩影響	可溶性塩影響により、空隙特性(空隙率、空隙構造)が変化するとともに、膨潤性能が低下。また、陥没による覆土の変形。
有効粘土密度の変化	力学的影響	化学的影響	金属の腐食	金属の腐食膨張により、覆土の隅角部等に、厚さの減少及び変位に伴う透水性が変化した領域の発生。
		化学的影響	モンモリロナイトの溶解、随伴鉱物の溶解、二次鉱物の生成	セメント系材料からの高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。
短絡経路の形成	力学的影響	ガス発生	廃棄体の腐食などにより発生したガスによる覆土の破過が生じ、低密度部を形成。	

第3表 セメント系材料の要求機能に対する項目関連性

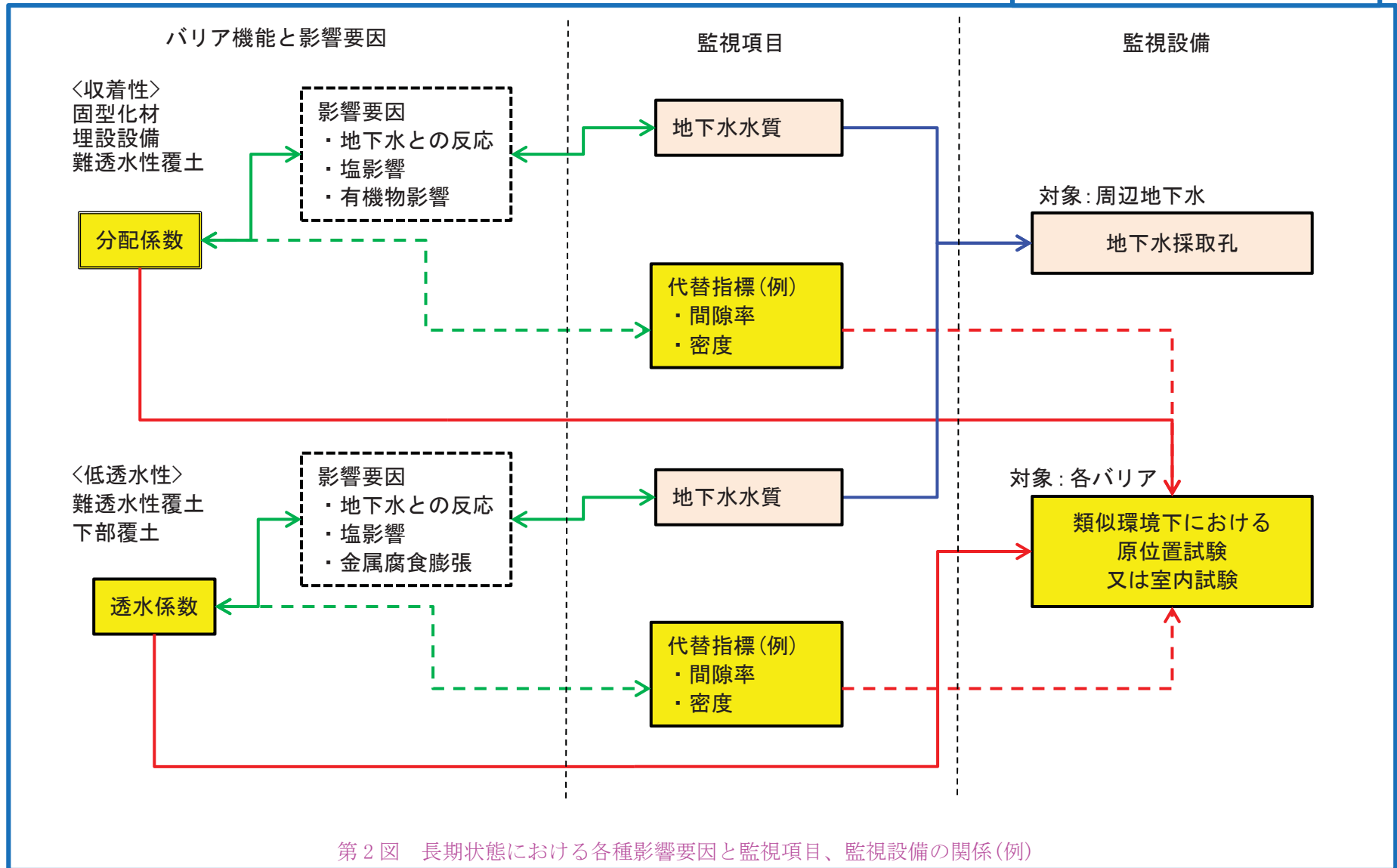
項目	長期において変化する項目		化学的環境要因
	代表的な項目	関連する項目	
透水係数 拡散係数	間隙率 ひび割れ	密度 強度、剛性	pH 固相組成（鉱物組成）
分配係数	間隙率	密度	pH Eh 固相組成（鉱物組成）

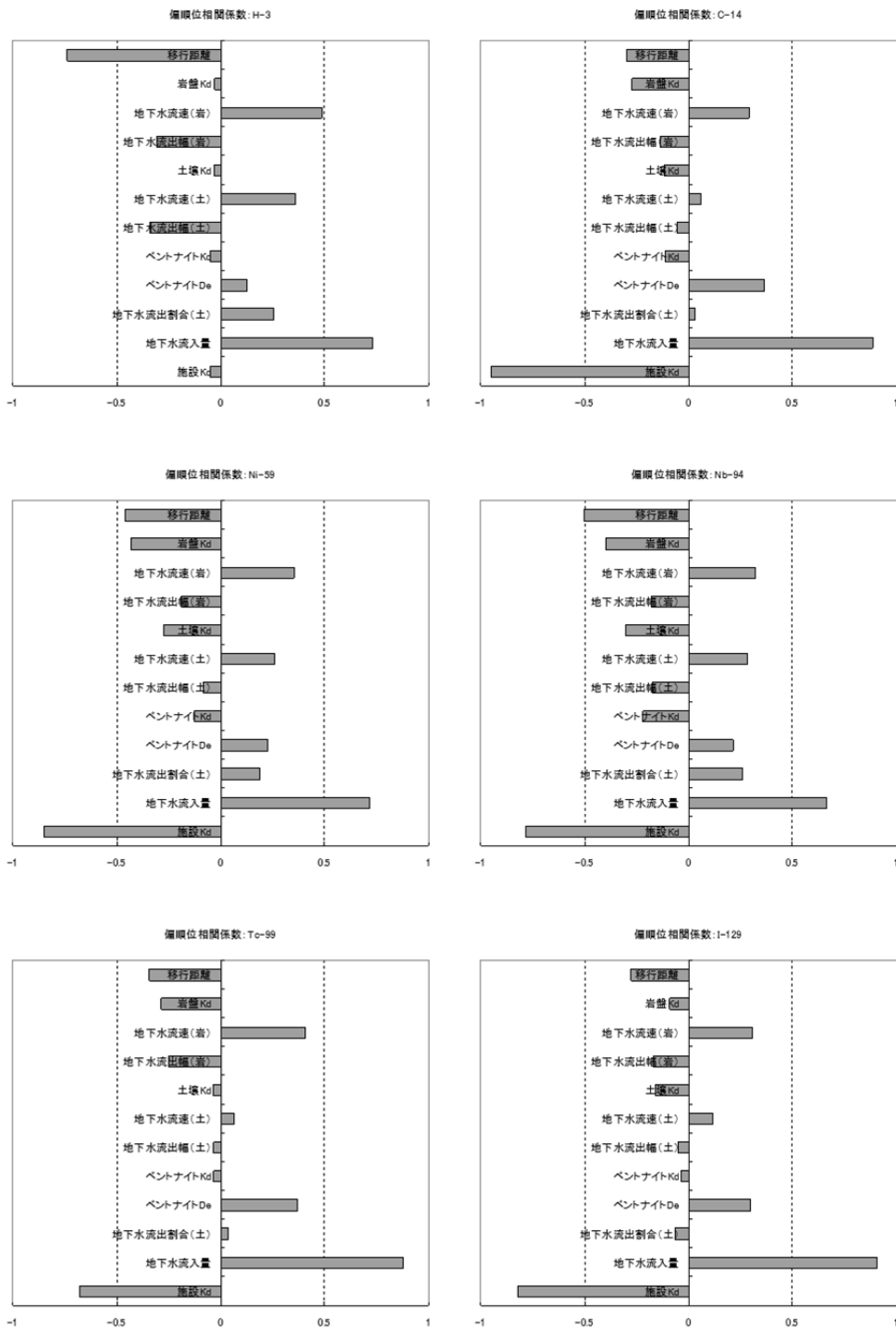
第4表 ベントナイト系材料の要求機能に対する項目関連性

項目	長期において変化する項目		化学的環境要因
	代表的な項目	関連する項目	
透水係数 拡散係数	間隙率 モンモリロナイト量	密度 強度、剛性	pH 固相組成
分配係数		交換性陽イオン量	pH Eh 固相組成（鉱物組成）



第 1 図 長期状態における各種影響要因の関係 (例)







第 3 図 地下水移行経路における主要パラメータの感度解析例⁽¹⁾
被ばく線量に対する変動パラメータの偏順位相関係数

2.1. 参考文献

- (1) 一般社団法人 日本原子力学会(2013)：日本原子力学会標準 浅地中ピット処分の安全評価手法：2012

参考資料 2

第十三条 地下水の水位等の監視設備 監視の具体的な方法の例

- | | |
|---|---------------------------------------|
|  | : 補正に伴い変更する箇所(コメント対応含む) |
|  | : 上記以外の審査会合コメント反映箇所 |
| 緑字 | : 第 298 回審査会合(2019/8/26)までに自主的に変更した箇所 |
| 赤字 | : 第 298 回審査会合(2019/8/26)からの変更箇所 |
| 桃色字 | : 第 306 回審査会合(2019/10/16)からの変更箇所 |

目次

1.1. 監視・測定について	1
(1) 監視・測定設備構成.....	1
(2) 地下水採取孔による監視・測定.....	3
1.2. 地下水採取孔による監視・測定	7
(1) 人工バリア及び天然バリアの収着性及び環境条件の監視.....	7
(2) 天然バリア環境条件の監視.....	10
1.3. 類似環境下での原位置試験あるいはそれを補完する室内試験による監視・測定...	20
(1) 人工バリア及び天然バリアの収着性の監視・測定項目.....	20
(2) 天然バリアの低透水性の監視・測定項目.....	22

1.1. 監視・測定について

(1) 監視・測定設備構成

定期的な評価等で将来のバリア機能（移行抑制機能）の初期性能からの経年的変化が、想定している変化の範囲内であることを確認するために、以下を対象として監視を行う。

- ・ 埋設地周辺に放射性物質の異常な漏えいがないことを監視する。
- ・ 埋設地周辺の地下水流れに異常な変化がないことを監視する。
- ・ 埋設地周辺の地下水成分の異常な変化がないことを監視する。
- ・ 埋設設備、覆土の状態変化を監視する。

上記のうち、埋設地周辺の放射性物質の異常な漏えい及び、地下水については、地下水採取孔及び地下水位測定孔を用いて監視・測定を行う。埋設設備及び覆土の状態変化は、下記に示す理由から直接的に測定が困難なため、類似環境下での原位置試験及びそれを補完する室内試験により、監視・測定する。

- ・ 埋設設備及び覆土をボーリングや開削により直接サンプリングして測定することは、バリア機能を損傷する可能性がある。
- ・ 埋設設備及び覆土に計器を直接埋め込み計測することは、バリア機能を損傷する可能性があること及び、廃止措置開始までの長期間計測することが不可能である。

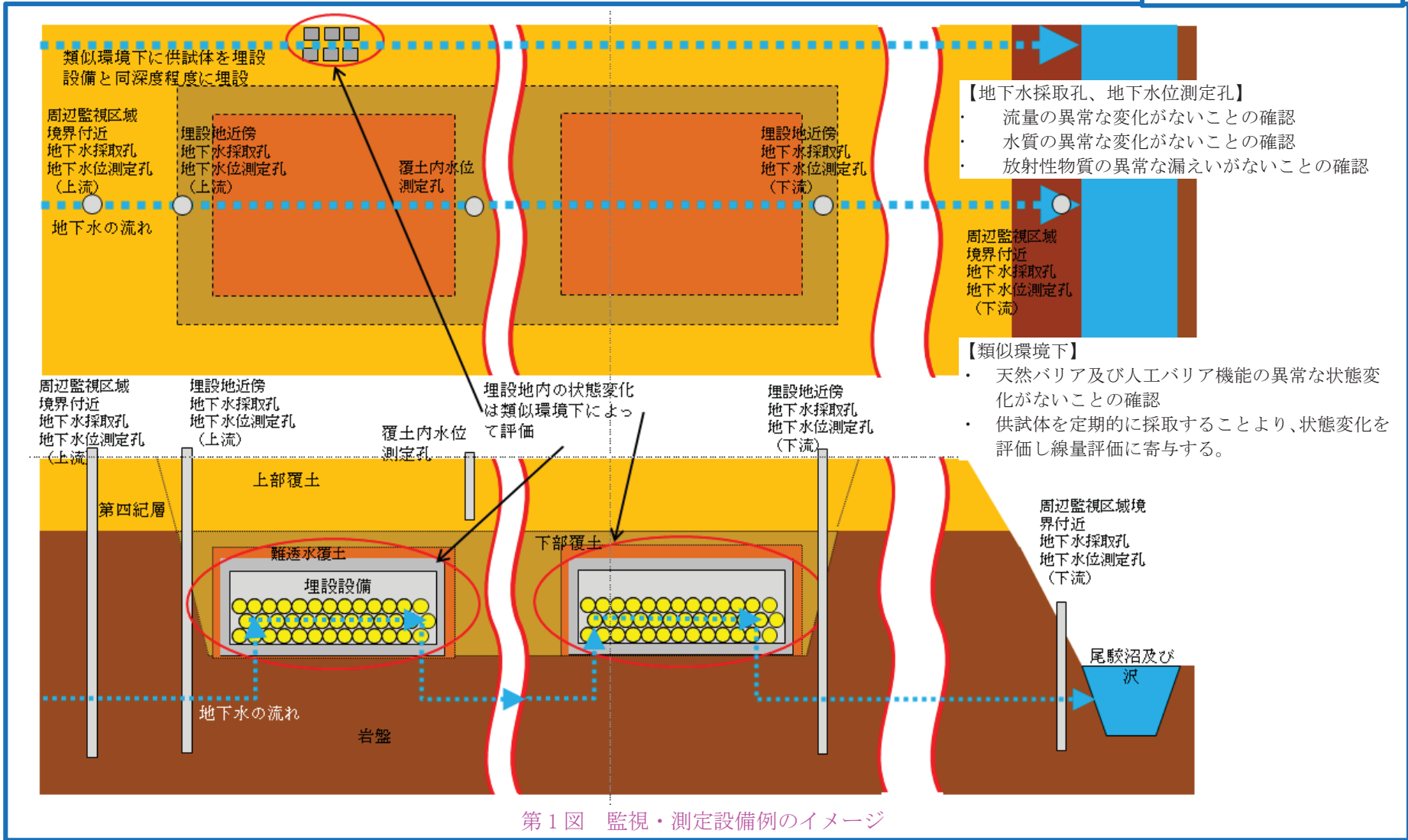
ただし、下部覆土及び上部覆土、岩盤については、以下の理由により監視は行わない。

- ・ 下部覆土の低透水性については、長期状態設定評価より力学的、化学的な影響がほとんどないため、監視は行わない。
- ・ 上部覆土の収着性については、分配係数の線量評価への感度が低いため、監視・測定は行わない。
- ・ 岩盤の収着性及び低透水性は、評価上の移行距離 20m に対し実際の分布は広く、化学的に影響を受けるとしてもその範囲は限定的で力学的にも安定しており、監視は行わない。

埋設施設と類似した環境とするために、以下の事項を考慮する。

- ・ 埋設施設の近傍で埋設設備と同程度の深度に供試体を埋設することで、地下水環境（水理、温度、化学）及び、有効拘束圧（力学）を再現する。
- ・ 類似環境下での原位置試験の測定結果を補完するための室内試験を必要に応じて行う。

地下水の水位等の監視・測定設備例のイメージを第 1 図に示す。



(2) 監視・測定項目

監視・測定項目は、人工バリア及び天然バリアの各部材に期待する移行抑制機能と評価パラメータの関係及び評価パラメータの関連特性、関連パラメータ及び影響因子を整理し、長期状態評価結果を踏まえて設定する（参考資料 1 地下水の水位等の監視設備 線量評価パラメータと種々の影響因子及び前提条件との関係）。設定に当たっては、線量評価への感度があるものを基本とし、廃止措置開始までの間での状態の変化の想定に応じ、監視・測定頻度を定め、定期的な評価で、監視・測定項目と頻度は必要に応じて見直す。

各部材における監視・測定項目例の関係を第 1 表に示す。また、監視・測定項目例は第 2 表に示すように整理される。

類似環境下での原位置試験例イメージを第 2 図に示す。

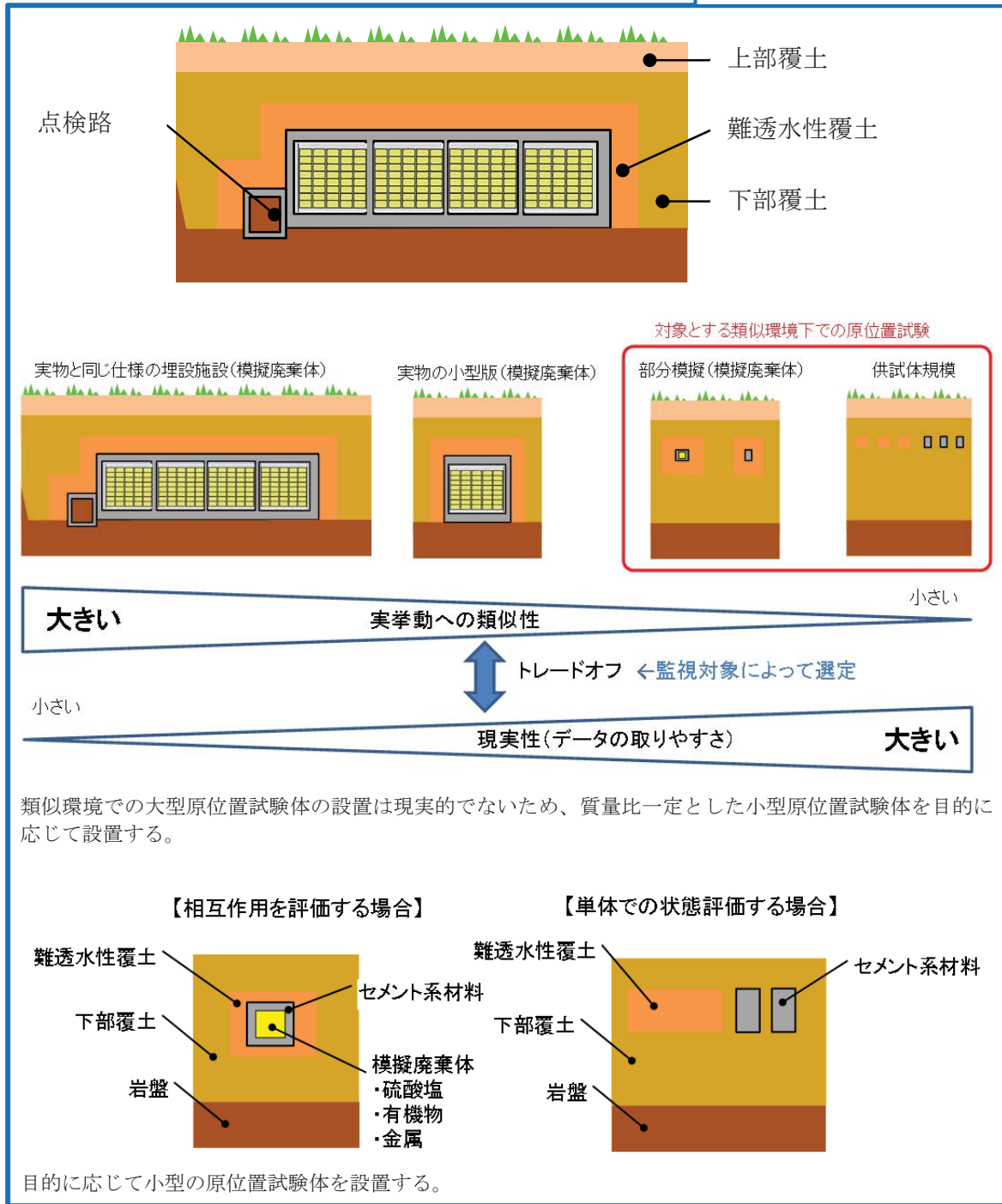
第 1 表 各部材における監視・測定項目例の関係

バリア	部材	技術要件	影響要因	監視項目	監視設備
人工バリア、 天然バリア	埋設施設全体	収着性 低透水性	地下水との反応 塩影響 有機物影響 金属腐食膨張	放射性物質濃度	地下水採取孔 地下水水位測定孔
				地下水水質	
				地下水水温	
				地下水水位	
				地下水流向	
人工バリア	セメント系材料 (廃棄体固型化 材、埋設設備)	収着性	地下水との反応 塩影響 有機物影響	分配係数	類似環境下におけ る原位置試験又は 室内試験
				間隙率	
				密度	
天然バリア	難透水性覆土	収着性	地下水との反応 塩影響 有機物影響	分配係数	
				間隙率	
				密度	
		低透水性	地下水との反応 塩影響 金属腐食膨張	密度	
				分配係数	
				間隙率	
				密度	

収着性や低透水性に係る各部材の体積や厚さは、初期性能時点で確認する。

第2表 監視・測定項目例

監視・測定項目例	対象	移行抑制機能	監視・測定箇所	監視頻度
地下水の水質	廃棄物埋設地周辺	収着性 低透水性	地下水採取孔 地下水位測定孔	1回/年を基本とし、監視・測定の状態等により必要に応じて見直す。
地下水の温度				
地下水位				
地下水流向				
分配係数	セメント系材料 難透水性覆土	収着性	類似環境下での 原位置試験ある いはそれを補完 する室内試験	1回/10年を基本とし、監視・測定の状態等により必要に応じて見直す。
間隙率	セメント系材料 難透水性覆土	収着性 低透水性		
密度	セメント系材料 難透水性覆土	収着性 低透水性		
透水係数	難透水性覆土	低透水性		



第2図 類似環境下での原位置試験例イメージ

1.2. 地下水採取孔による監視・測定

(1) 人工バリア及び天然バリアの収着性及び環境条件の監視

埋設設備付近の地下水の水質(放射性物質濃度含む)及び温度を監視・測定し、廃棄物埋設地から流出する地下水の化学環境の変化を確認する。

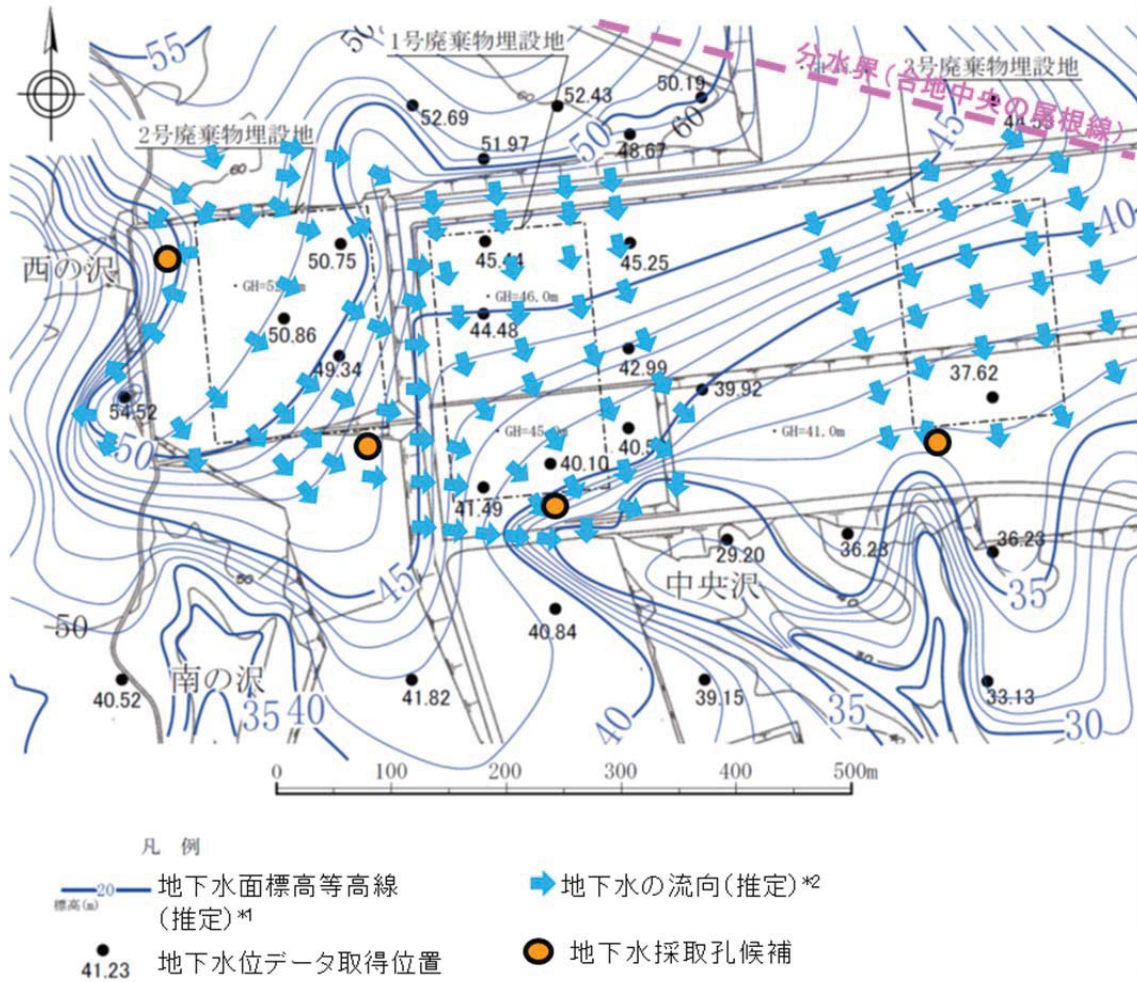
監視方法、監視・測定期間、地下水採取孔の位置・深さ、測定方法、監視・測定頻度、測定精度について第3表及び第3図に示す。

また、水質分析項目は、環境変化の確認を行う観点で、現状の地下水の水質分析項目と同様に、マグネシウムイオン、カルシウムイオン、ナトリウムイオン、カリウムイオン、硫酸イオン、炭酸水素イオン、塩化物イオン、溶存鉄、pH 及び電気伝導度とする。水質分析方法は、日本産業規格(JIS)に準じるものとする。(第4表参照)

第3表 人工バリア及び天然バリアの収着性に関する監視・測定の考え方^{*1}

項目	考え方
監視方法	地下水の水質分析は、廃棄物埋設地に地下水採取孔を設けて地下水を採取及び運搬し、室内において採取した地下水を対象に一般的な水質分析項目(マグネシウムイオン、カルシウムイオン、ナトリウムイオン、カリウムイオン、硫酸イオン、炭酸水素イオン、塩化物イオン、溶存鉄、pH 及び電気伝導度)について行う。 放射性物質濃度の測定対象核種は、状況に応じて設定する。
監視・測定期間	覆土完了以後から廃止措置の開始までの間
地下水採取孔の位置	地下水採取孔は、埋設設備を経由した地下水の水質を確認する必要があることから、埋設設備より流出する地下水流向から、沢方向の流れを想定した上で、地下水の下流側とする。また、埋設設備を経由した地下水の水質が周りの影響をできるだけ受けない埋設設備付近とする。2号埋設設備においては西の沢への流れも考慮し、西の沢への流れも確認できる地下水採取孔を設置するものとする。
地下水採取孔の深さ	地下水採取孔の深さは、水質分析に必要な水量を確保できる深さ及び埋設設備を経由した地下水の移行経路に該当する深さとする。
測定方法	地下水の採取は、ペーラを利用する。 地下水の水質分析は、日本産業規格に準拠する。
監視・測定頻度	監視頻度は廃棄物埋設地内で予想される地下水の流速を参考に設定する。
測定精度	測定期間及び使用環境に適応して実用上必要な精度で監視・測定できる性能を有する監視設備及び測定設備を用いる。

*1 定期的な評価等の結果に基づき、監視項目及び監視・測定の設備や位置、頻度などは、必要に応じ見直す。



*1 地下水面標高等高線は、覆土後の地形に最も近いと想定される敷地造成後の1990年6月の地下水位測定データを基に地形形状を勘案して作成した。

*2 地下水の流向は、地下水面標高等高線と直角の方向に地下水面標高が大きい方から小さい方の向きに矢印を引いた。

第3図 廃棄物埋設地付近の地下水採取孔候補

第4表 水質分析方法

水質分析項目	分析方法	単位
マグネシウムイオン (Mg^{2+})	JIS K 0102-2013 51.2 に定めるフレイム原子吸光法	mg/L
カルシウムイオン (Ca^{2+})	JIS K 0102-2013 50.2 に定めるフレイム原子吸光法	mg/L
ナトリウムイオン (Na^+)	JIS K 0102-2013 48.2 に定めるフレイム原子吸光法	mg/L
カリウムイオン(K^+)	JIS K 0102-2013 49.2 に定めるフレイム原子吸光法	mg/L
硫酸イオン(SO_4^{2-})	JIS K 0102-2013 41.3 に定めるイオンクロマトグラフ法	mg/L
炭酸水素イオン (HCO_3^-)	JIS K 0101-1998 13.1 に定める酸消費量	mg/L
塩化物イオン(Cl^-)	JIS K 0102-2013 35.3 に定めるイオンクロマトグラフ法	mg/L
溶存鉄(T-Fe)	JIS K 0102-2013 57.2 に定めるフレイム原子吸光法	mg/L
pH	JIS Z 8802-2011 に定める pH 測定方法	-
電気伝導度	JIS K 0102-2013 13 に定める電気伝導率試験方法	mS/m

(2) 天然バリア環境条件の監視

埋設設備付近の地下水の流向、動水勾配、地下水位を監視・測定し、廃棄物埋設地の地下水流入、流出量の変化を確認する。以下、次のことについて説明する。

- ①敷地の地下水の流向を確認するための地下水位の監視・測定
- ②廃棄物埋設地の動水勾配を確認するための地下水位の監視・測定
- ③覆土内水位の監視・測定

① 敷地地下水の流向を確認するための地下水位の監視・測定

敷地地下水の流向の大局的な傾向は、掘削工事などの局所的な地形変更及び地下水位変動によって変わらないこと並びに周辺監視区域境界付近の地下水面標高と地形面標高の等高線形状が調和的であることが敷地の地下水の流向の大局的な傾向である。

また、敷地全体の地下水の流向が北側に向かっても線量評価上問題ないが、将来においても敷地の地下水の流向の大局的な傾向が変わらず、主に南側に流れていることを確認することを目的とし、敷地全体の地下水位並びに廃棄物埋設地周辺の地下水位及び全水頭を監視・測定するものとする。

敷地の地下水の流向は、以下の2つの観点で確認する。

a. 敷地全体の地下水の流向

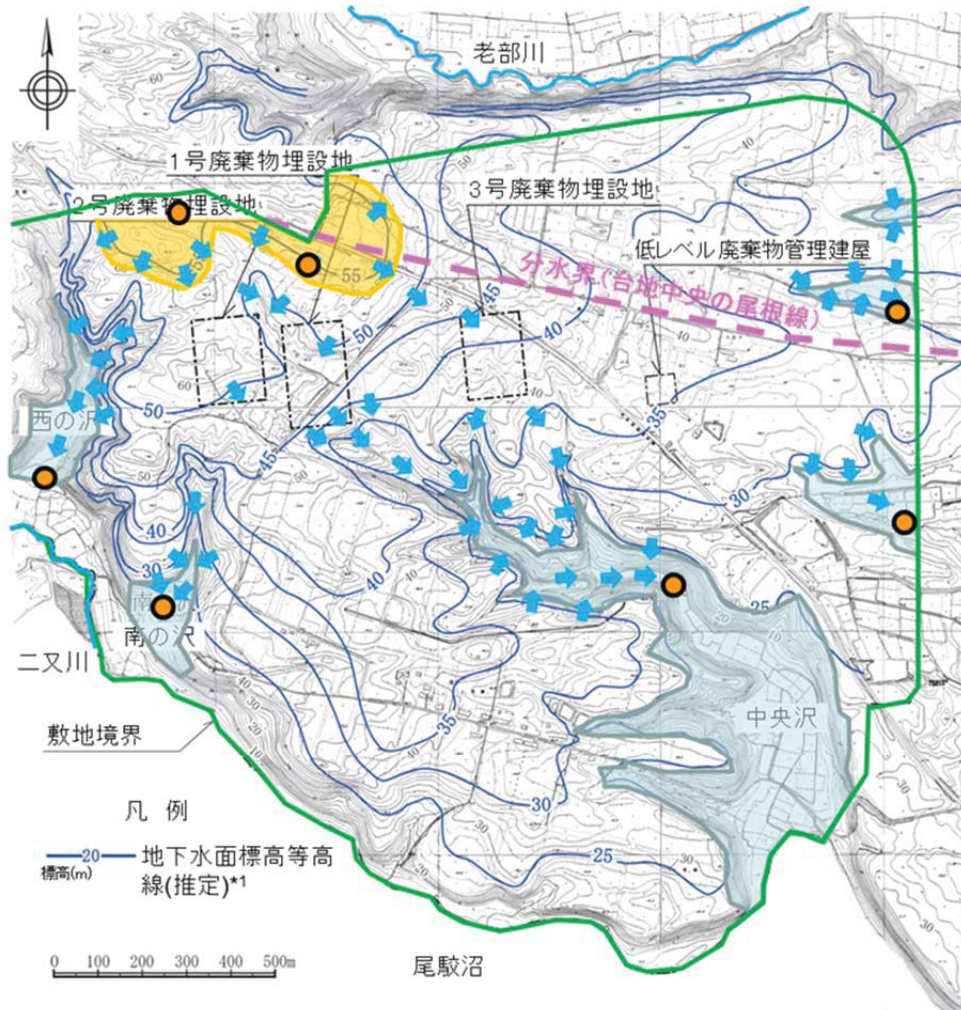
線量評価の前提条件である敷地全体の地下水の流向は、敷地全体の地下水面分布の変化を監視・測定することによって求めることができることから、周辺監視区域境界付近に地下水位測定孔を設置するものとする。

監視方法、監視・測定期間、監視頻度、地下水位測定孔の位置・深さ、測定方法、測定頻度及び測定精度について第5表及び第4図に示す。

第5表 敷地地下水の流向を確認するための地下水位の監視の考え方*1

項目	考え方
監視方法	敷地地下水の流向を確認する方法は、周辺監視区域境界付近の地下水流れの上流域や地下水が集水されやすい台地内開析谷付近において地下水位測定孔を設け、測定した地下水位が既往データの変動範囲にあるかを確認することにより行う。
監視・測定期間	覆土完了以後から廃止措置の開始までの間とする。
監視頻度	敷地地下水の流向を確認するための地下水位の監視頻度は、季節変動の影響を評価できるように1回/年とする。
地下水位測定孔の位置	地下水流動場が敷地の地形と調和的であることから、敷地外でかん養された地下水が敷地内に流入してくる敷地境界付近及び降雨雪により台地にかん養された地下水が集水しやすい台地内の開析谷付近を選定する。
地下水位測定孔の深さ	降雨等による地下水位の変動を考慮しても測定できる深さとする。
測定方法	触針式水位計を用いて、地下水面と地下水位測定孔の管頭の距離を測定し、測定した距離と管頭標高から、地下水面の標高を計算により求める。
測定頻度	事業規則第十三条の要求及び地下水位の季節変動を考慮して設定する。
測定精度	測定期間及び使用環境に適応して実用上必要な精度で監視・測定できる性能を有する監視設備及び測定設備を用いる。

*1 定期的な評価等の結果に基づき、監視項目及び監視・測定の設備や位置、頻度などは、必要に応じ見直す。



凡例

- : ①降雨雪により台地にかん養された地下水が集水しやすい台地内の開析谷付近
- : ②敷地外でかん養された地下水が敷地内に流入する敷地境界付近
- : 地下水位測定孔(既設)
- : 地下水の流向(推定)*2

*1 敷地造成前の1986年6月の地下水位測定データを基に地形形状を勘案して作成した。

*2 地下水の流向は、地下水面標高等高線と直角の方向に地下水面標高が大きい方から小さい方の向きに矢印を引いた。

第4図 周辺監視区域境界付近の地下水位測定孔候補

b. 廃棄物埋設地設置地盤付近の流向

廃棄物埋設地の北～北東側には、東－西方向～西北西－東南東方向の台地の中央に尾根線が分布し、基本的にはこの尾根線よりも北側では主に北へ、南側では主に南へ地下水が流れていると考える。

3号廃棄物埋設地は、台地中央の尾根線に近く、その南側に位置する。3号廃棄物埋設地北側で計測した地下水の全水頭測定値は孔間の全水頭の差が少ない箇所もあるが、地下水は主に南に向かっていることを確認する。

監視方法、監視・測定期間、監視頻度、地下水位及び全水頭測定孔の位置・深さ、測定方法、測定頻度及び測定精度について第6表及び第5図に示す。

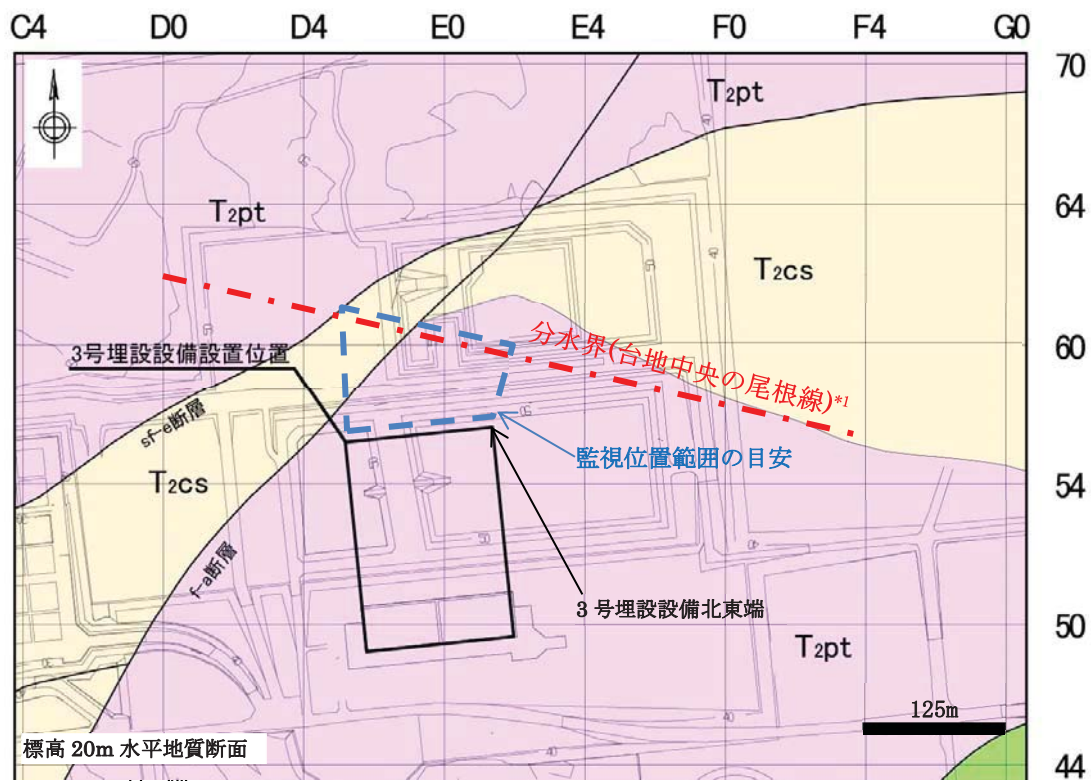
第6表 廃棄物埋設地設置地盤付近の流向を確認するための
地下水位及び全水頭の監視の考え方(1/2)*1

項目	考え方
監視方法	埋設設備から放射性物質が地下水を媒体に移行するシナリオを考える上で3号廃棄物埋設地付近における地下水の流向(主に南側に流れていること)を確認するため、3号廃棄物埋設地付近において以下のデータを取得する。 ① 3号埋設設備付近の地下水位 ② 3号埋設設備設置地盤標高付近の全水頭 なお、地盤中の地下水の流れは、複数地点の地下水位(若しくは全水頭)の大きさを比較することで確認できる。
監視・測定期間	覆土完了以後において今後人為的な地下水位(若しくは全水頭)の低下を引き起こさない時期から廃止措置の開始までの間とする。 なお、定期的評価等の結果により必要に応じ期間を見直すものとする。
監視頻度	廃棄物埋設地設置地盤付近の流向を確認するための地下水位及び全水頭の監視頻度は、季節変動の影響を評価できるように1回/年とする。
地下水位及び全水頭測定孔の位置	3号廃棄物埋設地付近における地下水の流向の監視目的は、3号埋設設備を通過した地下水が3号廃棄物埋設地の主に南側に流れていることの確認にあることから、監視位置は、以下の点を考慮して第5図に示す監視位置範囲を目安に地下水位及び全水頭測定孔を設置する。 ・台地中央の尾根線の南側であること ・3号廃棄物埋設地の北側であること ・主流向方向を四方位程度で確認できる箇所数及び配置とすること

第6表 廃棄物埋設地設置地盤付近の流向を確認するための
地下水位及び全水頭の監視の考え方(2/2)^{*1}

項目	考え方
地下水位及び全水頭測定孔の深さ	地下水位測定孔は、降雨等による地下水位の変動を考慮しても測定できる深さとする。全水頭測定孔は、埋設設備設置地盤標高付近の全水頭を測定できる深さとする。
測定方法	触針式水位計を用いて、地下水面と地下水位又は全水頭測定孔の管頭の距離を測定し、測定した距離と管頭標高から、地下水面の標高を計算により求める。
測定頻度	測定頻度は、3号埋設設備付近の地下水位及び3号埋設設備設置地盤標高付近の全水頭の時間変化と地下水の流向の傾向を把握できるように設定する。 また、3号埋設設備付近の地下水位及び3号埋設設備設置地盤標高付近の全水頭は、事業所敷地内の降雨や融雪によってかん養される水量の影響を受けている。よって測定頻度は、気象観測の降水量や積雪深の最小観測頻度と同じ時間当たり1回とする。
測定精度	測定期間及び使用環境に適応して実用上必要な精度で監視・測定できる性能を有する監視設備及び測定設備を用いる。

^{*1} 定期的な評価等の結果に基づき、監視項目及び監視・測定の設定設備や位置、頻度などは、必要に応じ見直す。



- fl 盛土
- T2ps 軽石混り砂岩層
- T2pt 軽石凝灰岩層
- T2cs 粗粒砂岩層
- 断層
- 地質境界線

第 5 図 3 号廃棄物埋設地付近における地下水の流向の監視位置の考え方^{*2}

*1 第 1 図の分水界(台地中央の尾根線)をトレースした。

*2 全水頭を地下水面標高に置き換えることにより、地下水面の流向の監視にも適用できる。

② 廃棄物埋設地の動水勾配を確認するための地下水位の監視・測定

廃棄物埋設地の動水勾配は、線量評価の前提であり、廃棄物埋設地の地下水流れの上流側と下流側の地下水位を測定することで求めることができるため、廃棄物埋設地に地下水位測定孔を設置する。

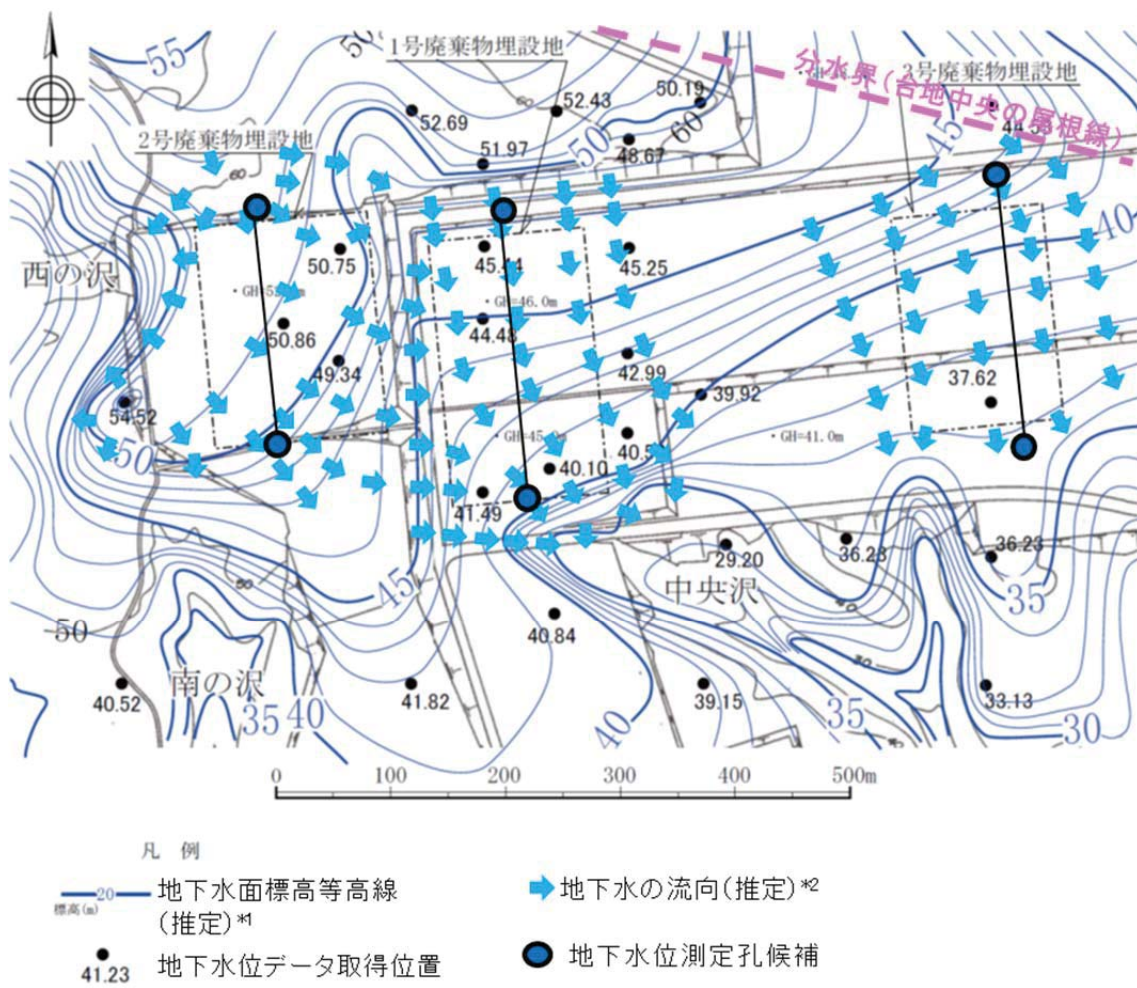
監視方法、監視・測定期間、監視頻度、地下水位測定孔の位置・深さ、測定方法、監視頻度、測定精度について第7表及び第6図に示す。

第7表 廃棄物埋設地の動水勾配を確認するための地下水位の監視の考え方^{*1}

項目	考え方
監視方法	廃棄物埋設地付近の地下水流れの上流側と下流側の地下水位の差と距離から動水勾配を求め、敷地全体の平均的な動水勾配と比較検討して想定外事象の有無を確認する。
監視・測定期間	覆土完了以後から廃止措置の開始までの間とする。
監視頻度	廃棄物埋設地の動水勾配を確認するための地下水位の監視頻度は、季節変動の影響を評価できるように1回/年とする。
地下水位測定孔の位置	廃棄物埋設地における地下水の動水勾配を確認することから、廃棄物埋設地付近の地下水流れの上流側と下流側とする。
地下水位測定孔の深さ	覆土後の再冠水や降雨等による地下水位の変動を考慮しても測定できる深さとする。
測定方法	触針式水位計を用いて、地下水面と地下水位測定孔の管頭の距離を測定し、測定した距離と管頭標高から、地下水面の標高を計算により求める。
測定頻度	事業規則 ^{*2} の第十三条の要求及び地下水位の季節変動を考慮して設定する。
測定精度	測定期間及び使用環境に適応して実用上必要な精度で監視・測定できる性能を有する監視設備及び測定設備を用いる。

*1 定期的な評価等の結果に基づき、監視項目及び監視・測定の設備や位置、頻度などは、必要に応じ見直す。

*2 事業規則：核燃料物質又は核燃料物質によつて汚染された物の第二種廃棄物埋設の事業に関する規則。



*1 地下水面標高等高線は、覆土後の地形に最も近いと想定される敷地造成後の1990年6月の地下水水位測定データを基に地形形状を勘案して作成した。

*2 地下水の流向は、地下水面標高等高線と直角の方向に地下水面標高が大きい方から小さい方の向きに矢印を引いた。

第6図 廃棄物埋設施設の動水勾配を確認するための地下水水位測定孔候補

③ 覆土内水位の監視・測定

覆土内水位は、線量評価の前提であり、廃棄物埋設地の覆土施工範囲の地下水位を測定することで求めることができるため、廃棄物埋設地の覆土施工範囲に地下水位測定孔を設置する。

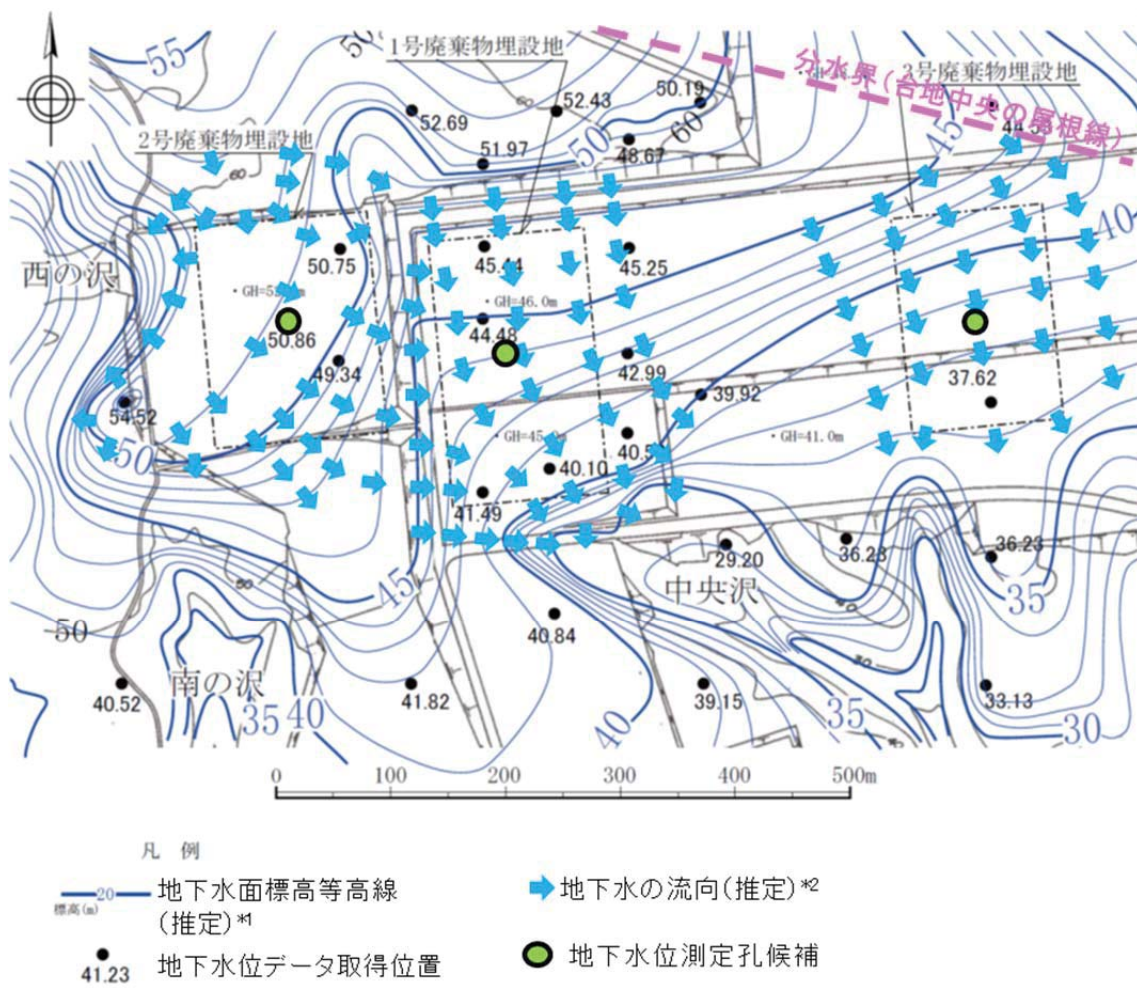
監視方法、監視・測定期間、監視頻度、地下水位測定孔の位置・深さ、測定方法、測定頻度、測定精度について第8表及び第7図に示す。

第8表 覆土内水位を確認するための地下水位の監視の考え方^{*1}

項目	考え方
監視方法	覆土完了後に上部覆土内に地下水位測定孔を設け、地下水位を測定し、覆土内土壌の水浸範囲・覆土内地下水流量を求める前提とした覆土内地下水位が季節変動を考慮して想定される範囲にあるかを確認することにより行う。
監視・測定期間	覆土完了以後から廃止措置の開始までの間とする。
監視頻度	廃棄物埋設地の動水勾配を確認するための地下水位の監視頻度は、季節変動の影響を評価できるように1回/年とする。
地下水位測定孔の位置	廃棄物埋設地の覆土施工範囲とする。
地下水位測定孔の深さ	覆土後の再冠水や降雨等による地下水位の変動を考慮しても測定できる深さとする。また、下部覆土を損傷しない深さとする。
測定方法	触針式水位計を用いて、地下水面と地下水位測定孔の管頭の距離を測定し、測定した距離と管頭標高から、地下水面の標高を計算により求める。
測定頻度	事業規則 ^{*2} の第十三条の要求及び地下水位の季節変動を考慮して設定する。
測定精度	測定期間及び使用環境に適応して実用上必要な精度で監視・測定できる性能を有する監視設備及び測定設備を用いる。

*1 定期的な評価等の結果に基づき、監視項目及び監視・測定の設備や位置、頻度などは、必要に応じ見直す。

*2 事業規則：核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物の第二種廃棄物埋設の事業に関する規則。



*1 地下水標高等高線は、覆土後の地形に最も近いと想定される敷地造成後の1990年6月の地下水測定データを基に地形形状を勘案して作成した。

*2 地下水の流向は、地下水標高等高線と直角の方向に地下水標高が大きい方から小さい方の向きに矢印を引いた。

第7図 覆土内水位を確認するための地下水測定孔候補

1.3. 類似環境下での原位置試験あるいはそれを補完する室内試験による監視・測定

類似環境下での原位置試験あるいはそれを補完する室内試験を実施し、人工バリア及び天然バリアの収着性及び低透水性の変化を確認する。第9表に人工バリア及び天然バリアの収着性、低透水性に関する監視・測定の考え方を示す。

第9表 人工バリア及び天然バリアの収着性、低透水性に関する監視の考え方^{*1}

項目	考え方
監視方法	各部材の特性及び影響要因を考慮した供試体を製作し、類似環境下に埋設する。埋設した供試体を定期的に回収し、各測定を行い各バリアの状態変化を評価する。
監視・測定期間	覆土完了以後から廃止措置の開始までの間。
位置	埋設設備の環境が類似させるために、廃棄物埋設地近傍で各バリア材と同程度の深度に供試体を埋設する。
測定方法	埋設した供試体を回収し、室内試験を実施する。各試験方法は、ISO規格、日本産業規格の他、原子力学会、地盤工学会基準等、各学会基準に準拠する。規格、基準がないものについては、試験結果の妥当性を評価する。
監視・測定頻度	長期状態評価を踏まえて、覆土完了後から必要な頻度で実施する。

^{*1} 定期的な評価等の結果に基づき、監視項目及び監視・測定の設備や位置、頻度などは、必要に応じ見直す。

(1) 人工バリア及び天然バリアの収着性の監視・測定項目

人工バリア及び天然バリアの収着性に対する各部材の監視、測定項目例と影響要因を第10表に示す。類似環境下に埋設する供試体及び周辺材料は、各影響要因を考慮した構成とする。第11表に収着性に対する測定項目の試験方法を示す。

第10表 収着性に対する各部材の監視・測定項目例と影響要因(1/2)

部材	監視、測定項目例	影響要因
セメント系材料 (廃棄体固型化材、埋設設備)	分配係数	<ul style="list-style-type: none"> 地下水によりセメント水和物の溶解や地下水成分との反応による二次鉱物の生成により空隙構造が変化する。 廃棄体に含まれる硫酸塩とセメント水和物の反応によりエトリンガイト等が生成され空隙構造が変化する。 廃棄体に含まれる有機物(セルロース)はアルカリ性の環境下において分解し、イソサッカリン酸が生成することによって放射性物質と錯体を形成し、収着性に影響する。
	間隙率	
	密度	

第 10 表 収着性に対する各部材の監視・測定項目例と影響要因(2/2)

部材	監視、測定項目例	影響要因
難透水性覆土 上部覆土	分配係数	・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よる空隙の増加。溶解成分と地下水成分が反応し二次鉱物が沈殿する。
	間隙率	
	密度	

第 11 表 収着性に対する測定項目例の試験方法

試験項目例	試験方法	備考
分配係数 (セメント系材料)	収着分配係数の測定方法—浅地中処分のバリア材を対象としたバッチ法の基本手順 (AESJ-SC-F003 : 2002)	-
間隙率 (セメント系材料)	水銀圧入法による土及び岩の細孔体積及び細孔体積分布の測定に関する標準試験方法 (ASTM D44404-84(1998)e1)	廃棄体固型化材は除く
密度 (セメント系材料)	Concrete, hardened -- Determination of density ISO 6275:1982 又は、体積及び重量測定からの算定による。	
分配係数 (難透水性覆土)	収着分配係数の測定方法—浅地中処分のバリア材を対象としたバッチ法の基本手順 (AESJ-SC-F003 : 2002)	-
間隙率 (難透水性覆土)	砂置換法による土の密度試験方法 (JIS A 1214) 土の含水比試験方法 (JIS A 1203)	-
密度 (難透水性覆土)	土粒子の密度試験方法 (JIS A 1202)	-

なお、試験方法は、実施環境及び実態に応じて見直すものとする。

(2) 天然バリアの低透水性の監視・測定項目

天然バリアの低透水性に対する各部材の監視・測定項目例と影響要因を第 12 表に示す。類似環境下に埋設する供試体及び周辺材料は、各影響要因を考慮する。第 13 表に低透水性に対する測定項目例の試験方法を示す。

第 12 表 低透水性に対する各部材の監視・測定項目例と影響要因

部材	監視、測定項目例	影響要因
難透水性覆土	透水係数	<ul style="list-style-type: none"> 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、膨潤性能が低下する。 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する。溶解成分と地下水成分などが反応して二次鉱物が沈殿する。
	間隙率	
	密度	

第 13 表 低透水性に対する測定項目例の試験方法

試験項目例	試験方法	備考
透水係数	低透水性材料の透水試験方法(JGS 0312-2018)	-
間隙率	砂置換法による土の密度試験方法(JIS A 1214) 土の含水比試験方法(JIS A 1203)	-
密度	土粒子の密度試験方法(JIS A 1202) ベントナイトなどのメチレンブルー吸着量の測定方法(JIS Z 2451)	-

試験方法は、実施環境及び実態に応じて見直すものとする。