

2020年7月7日提出版

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四号

(廃止措置の開始後の評価)

(3号廃棄物埋設施設)

2020年7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 第十条第四号及びその解釈	1
2. 評価対象設備	2
3. 許可基準規則への適合のための評価方針	2
4. 許可基準規則への適合性説明	3
(1) 評価方法	3
(2) 廃止措置の開始後の評価	4
5. 参考文献	85

補足説明資料 1	地質環境に係る長期変動事象
補足説明資料 2	生活環境の状態設定
補足説明資料 3	廃棄物埋設地の状態設定 -影響事象分析-
補足説明資料 4	廃棄物埋設地の状態設定 -状態変化の評価(力学的影響)-
補足説明資料 5	廃棄物埋設地の状態設定 -状態変化の評価(化学的影響)-
補足説明資料 6	廃棄物埋設地の状態設定 -透水係数の設定-
補足説明資料 7	線量評価パラメータ -埋設設備からの流出水量-
補足説明資料 8	線量評価パラメータ -分配係数-
補足説明資料 9	線量評価パラメータ -パラメータ根拠集-
補足説明資料 10	線量評価結果 -経年変化グラフ-

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 第十条第四号及びその解釈

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。 四 廃止措置の開始までに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があるものであること。

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) 第6項 第4号に規定する「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があるもの」とは、設計時点における知見に基づき、廃棄物埋設施設の基本設計について、廃止措置の開始後における埋設した放射性廃棄物に起因して発生することが想定される放射性物質が公衆に及ぼす影響が、以下に掲げる各シナリオに基づく評価の結果、それぞれの基準を満たすよう設計されていることをいう。 これらの評価は、廃棄物埋設施設の敷地及びその周辺に係る過去の記録や、現地調査等の最新の科学的・技術的知見に基づき、人工バリア及び天然バリア(埋設された放射性廃棄物又は人工バリアの周囲に存在し、埋設された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岩盤又は地盤等をいう。以下同じ。)の状態の変化、被ばくに至る経路等に影響を与える自然現象及び土地利用による人間活動を考慮した上で行うこと。なお、廃止措置の開始後において評価の対象とする期間は、シナリオごとに公衆が受ける線量として評価した値の最大値が出現するまでの期間とする。 一 自然事象シナリオ 自然現象による放射性物質の廃棄物埋設地からの漏えい、天然バリア中の移行、河川等への移行及び一般的な土地利用(廃棄物埋設地の掘削を伴うものを除く。)を考慮したシナリオを対象として、以下のとおりであること。この際、同一の事業所内に複数の廃棄物埋設施設の設置が予定される場合は、これらの重畳を考慮すること。 イ 科学的に合理的と考えられる範囲の人工バリアと天然バリアの状態及び被ばくに至る経路の組み合わせのうち最も厳しいシナリオであっても、評価される公衆の受ける線量が、300 マイクロシーベルト/年を超えないこと。 ロ 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み合わせのうち、最も可能性が高いと考えられるパラメータを設定し、評価される公衆の受ける線量が、10 マイクロシーベルト/年を超えないこと。 二 人為事象シナリオ 廃棄物埋設地の掘削による放射性物質の廃棄物埋設地からの漏えい、天然バリア中の移行及び当該掘削後の土地利用を考慮したシナリオに基づき、評価される公衆の受ける線量が、ピット処分にあっては1 ミリシーベルト/年を超えないこと。

2. 評価対象設備

許可基準規則第十条第四号の対象設備は、廃棄物埋設地に設置する埋設設備及び覆土とし、第1表に示す安全機能のうち廃止措置の開始後の移行抑制機能^{*1}を対象に公衆の受ける線量を評価する。

*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。

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	
放射性物質の漏出の防止機能	○	—	—
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

3. 許可基準規則への適合のための評価方針

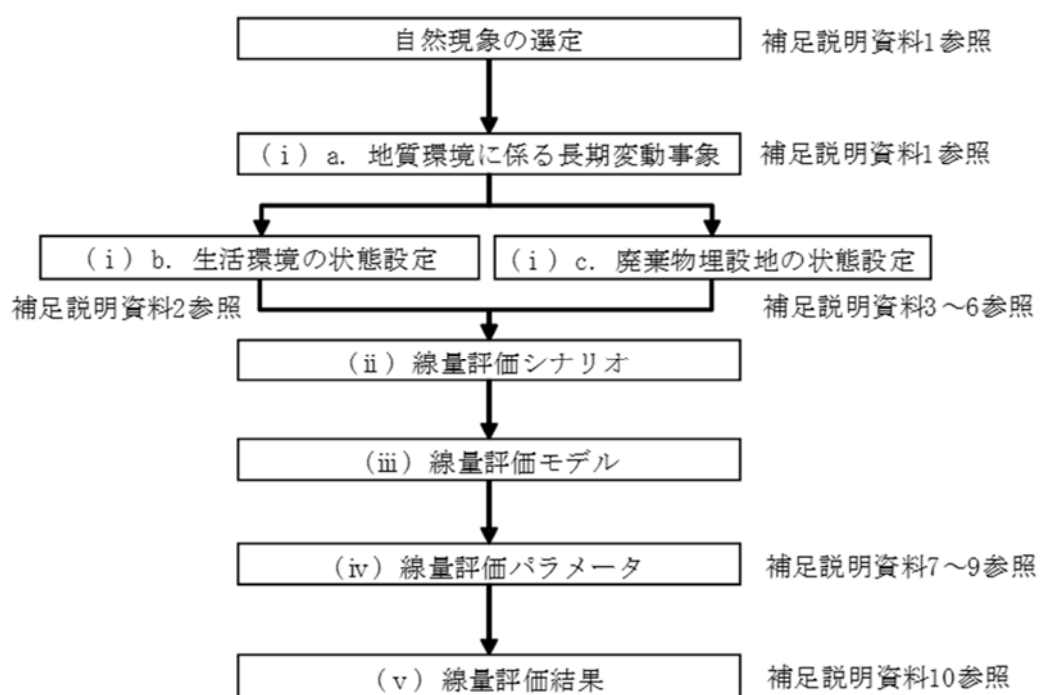
廃棄物埋設地が廃止措置の開始後、廃棄物埋設地の保全に関する措置を必要としない状態に移行する見通しがある設計であることを公衆の受ける線量を評価することにより確認する。「廃棄物埋設地の保全に関する措置を必要としない状態に移行する見通しがある」とは、科学的に合理的と考えられる範囲の人工バリアや天然バリアの状態及び被ばくに至る経路の組合せのうち、最も可能性が高いと考えられるパラメータを設定した自然事象シナリオ(以下「確からしい自然事象シナリオ」という。)で評価される公衆の受ける線量が $10 \mu\text{Sv/y}$ を超えないこと、科学的に合理的と考えられる範囲の人工バリアや天然バリアの状態及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 $300 \mu\text{Sv/y}$ を超えないこと並びに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。

4. 許可基準規則への適合性説明

許可基準規則第十条第四号 廃棄物埋設地(廃止措置の開始後の評価)に対する適合性について確認した結果を以下にまとめる。

(1) 評価方法

公衆の受ける線量の評価は、「許可基準規則」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「許可基準規則解釈」という。)に基づいて行う。検討フローを第1図に示す。



第1図 検討フロー

(2) 廃止措置の開始後の評価

廃棄物埋設地の保全に関する措置を必要としない状態へ移行できる見通しを得るため、廃止措置の開始後において、埋設する廃棄体に起因して発生すると想定される公衆の受ける線量が、確からしい自然事象シナリオにおいて $10\mu\text{Sv/y}$ を超えないこと、厳しい自然事象シナリオにおいて $300\mu\text{Sv/y}$ を超えないこと及び人為事象シナリオにおいて 1mSv/y を超えないことを評価する。

評価の対象とする期間は、評価する線量の最大値が出現する時期を含む期間とし、主要な放射性物質のうち半減期の長い放射性物質の放射エネルギー及び放射能濃度が十分に小さいことを考慮し、1万年程度までを目安とする。

評価に当たっては、廃棄物埋設地の敷地及びその周辺に係る過去の記録や現地調査結果等の最新の科学的・技術的知見に基づき、人工バリア及び天然バリアの状態変化、被ばく経路等に影響を与える自然現象及び土地利用による人間活動を考慮し、人工バリア及び天然バリアの機能の状態の変化に関する要素を体系的に収集・分析し、網羅的・包括的に評価すべきシナリオを設定する。

確からしい自然事象シナリオは、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用いて評価する。ただし、最も可能性が高いと考えられる状態の設定が困難である場合又は様々な不確かさを考慮したとしても線量への影響が小さいと考えられる場合は、不確かさを考慮して保守的な状態を設定する。また、本シナリオで考慮する生活様式は、ICRP Pub. 81⁽¹⁾及びICRP Pub. 101⁽²⁾の考え方を参考に合理性、持続可能性及び均一性のある一般的な人間活動を対象に設定する。ただし、最も可能性が高いと考えられる状態の設定が困難である場合又は様々な不確かさを考慮したとしても線量への影響が小さいと考えられる場合は、不確かさを考慮して保守的な状態を設定する。

厳しい自然事象シナリオは、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用いて評価する。厳しい自然事象シナリオで考慮する生活様式は、確からしい自然事象シナリオと同様に一般的な人間活動を対象に設定する。

人為事象シナリオは、廃棄物埋設地の掘削による放射性物質の廃棄物埋設地からの漏えい、天然バリア中の移行及び当該掘削後の土地利用を考慮して評価する。人為事象シナリオでは、廃棄物埋設地からの放射性物質の移行を考慮せず、廃棄物埋設地に放射性物質が

残留することを想定しているため、確からしい設定及び厳しい設定に基づく線量評価パラメータは用いていない。人間活動である地下数階を有する建物の建設作業に関しては、わが国で想定される建物を考慮して、線量評価パラメータを設定する。本シナリオでは、敷地及びその周辺の社会環境を十分に勘案し、人為事象として一般的に生じるとは考えられない人間活動を対象に設定する。ただし、敷地周辺の自然環境及び社会環境を考慮した際に、発生の可能性が無視し得るほど小さい人間活動は対象としない。

確からしい自然事象シナリオ、厳しい自然事象シナリオ及び人為事象シナリオで考慮する様々な線量評価シナリオについて、計算するまでもなく明らかに線量が小さいもの、他の線量評価シナリオに比べて明らかに線量が小さいもの及び類似した他の線量評価シナリオで代表されるものを除外し、代表となる線量評価シナリオを設定する。

これらにより、各線量評価シナリオを表現する線量評価モデル及び状態設定に応じた線量評価パラメータを設定して線量を評価する。

(i) 状態設定

線量評価シナリオの設定に当たって、人工バリア及び天然バリアの機能並びに被ばく経路等に影響を与える自然現象及び土地利用による人間活動を考慮した上で、「地質環境に係る長期変動事象」、「生活環境」及び「廃棄物埋設地」のそれぞれについて、確からしい状態及び厳しい状態を設定(以下「状態設定」という。)する。状態設定を行う期間は、主要な放射性物質の半減期、放射エネルギー及び放射能濃度を踏まえ1,000年程度までの期間とする。また、廃棄物埋設地及びその周辺の状態変化は緩慢であり、1,000年から10,000年の期間において、侵食等の自然現象によって廃棄物埋設地に著しい状態変化が生じることは想定されないことから、以降は1,000年後と同じ状態が継続するものと設定する。

- a. 地質環境に係る長期変動事象(詳細は補足説明資料1「2. 地質環境に係る長期変動事象の考え方」、「地質環境に係る長期変動事象3. 状態設定」参照)

埋設設備を設置する地下の環境は、自然現象の影響を受け難いことから、地上に比べ比較的安定である。

しかし、長期的な観点でみると、プレート運動及び気候変動によって、廃棄物埋設地を取り巻く地質環境は有意に変化することが予測される。

この地質環境に係る長期変動事象について、「プレート運動に起因する事象」、「気候変動に起因する事象」及び「プレート運動と気候変動の両者に起因する事象」に区

分する⁽³⁾。区分した各事象については、プレート運動や気候変動が過去から現在までの変動傾向とその要因が今後も継続するとみなし、それらを外挿して状態設定を行う。状態設定のうち、最も可能性が高いと考えられる状態を確からしい設定とする。

(a) プレート運動に起因する事象

日本周辺には、大陸プレートであるユーラシアプレート及び北米プレート並びに海洋プレートであるフィリピン海プレート及び太平洋プレートがあり、大陸プレートの下に海洋プレートが沈み込んでいる。敷地の位置する東北日本弧は北米プレートに位置し、東側から太平洋プレートが沈み込むことで、おおむね東西方向の圧縮の力が生じている。

将来の日本列島周辺のプレート運動についても、今後数十万年から数百万年程度継続すると考えられる⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾。したがって、状態設定においては、現在のプレート運動が継続するものとして設定する。

プレート運動に起因する事象には、「火山・火成活動」、「地震・断層活動」及び「隆起・沈降運動」があげられる。

(一) 火山・火成活動

火山・火成活動によって、直接的に廃棄物埋設地が損傷すること、また、敷地周辺が高温になることによって地下水流動場が変化することが想定されることから、火山・火成活動による状態設定を行う。覆土完了までの間において、廃棄物埋設地に影響を及ぼす可能性がある火山・火成活動は降下火砕物だけであるが、長期変動事象としては、降下火砕物に加えて、火砕物密度流についても検討する。

(ア) 降下火砕物

覆土完了後については、降下火砕物が堆積することにより、降下火砕物に含まれる成分によって地下水の水質変化が生じることが想定されるため、化学的影響について考慮する。

(イ) 火砕物密度流

数百年から数千年スケールには、敷地に到達する可能性は十分に小さいため⁽⁷⁾、火砕物密度流の熱的影響及び化学的影響は長期変動事象として考慮する必要はない。

(二) 地震・断層活動

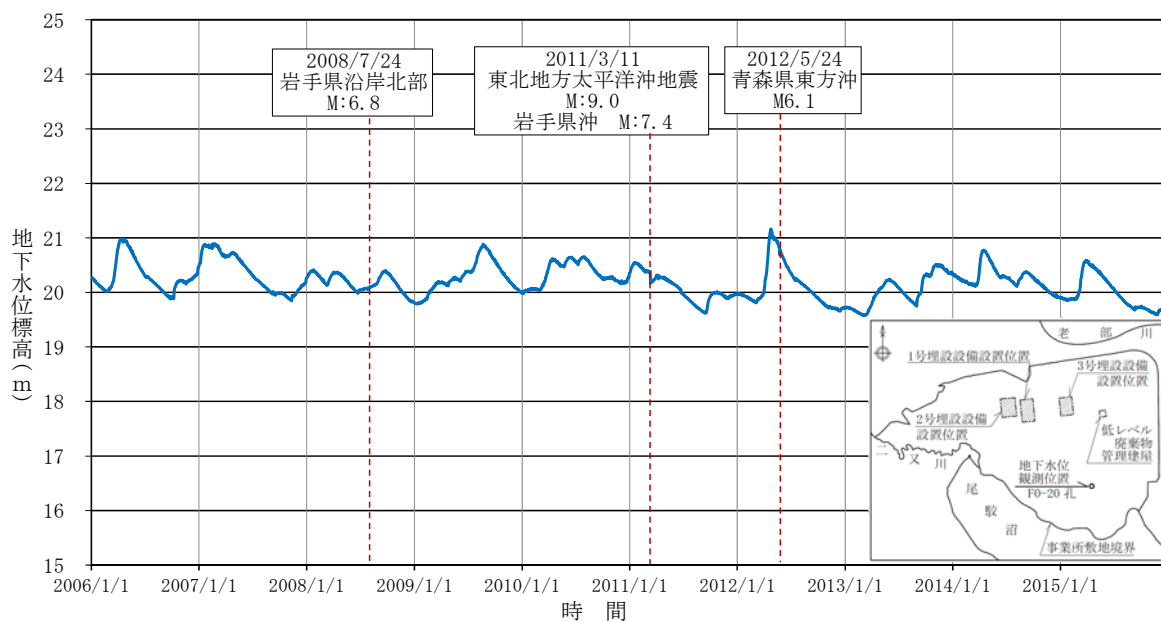
地震・断層活動については、現在のプレート運動が継続するとされていることから、将来も同様の場所で繰返し発生すると想定する。

(7) 地震

補足説明資料1「3. (1) (ii) a. 地震」のうち「敷地周辺の被害地震の震央分布」及び「敷地周辺の被害地震のマグニチュード-震央距離」から、敷地付近は、M6を超える地震の発生はなく、震度5強を超える地震の発生もない地域である。

覆土(難透水性覆土及び下部覆土)に力学的な変形が生じることによって、低透水性に影響が生じるおそれがあるため、廃棄物埋設地の状態設定において影響を評価する。

敷地内における観測孔において、震度4程度の地震時における地下水位の変動が確認されている(第2図参照)。観測結果によると、震度4程度の地震において地下水位の変動は小さく、季節変動に内包される程度であった。したがって、地震活動による水理的影響は小さく、一時的なものであることから、長期変動事象として考慮しない。



第2図 地下水位観測結果(F0-20孔)

(イ) 断層活動(地盤の変形)

断層活動に伴う地盤の変位及び変形により廃棄物埋設地が直接破壊されることが想定される。

空中写真判読結果及び地質調査から、活断層は廃棄物埋設地付近には分布しておらず、最も近い活断層は、敷地近傍の六ヶ所村出戸付近に分布する出戸西方断層である。出戸西方断層は、西傾斜の逆断層であり、その長さを約11kmと評価している。しかし、敷地には、出戸西方断層に起因する変動地形及びリニアメント並びに出戸西方断層に関連した地質構造は確認されていない。したがって、今後も地盤の変位及び変形により廃棄物埋設地が直接破壊される可能性は十分低い。

出戸西方断層以外の活断層については、廃棄物埋設地から更に離れており、断層活動があったとしても、廃棄物埋設地には力学的影響は及ばない。

以上より、今後も地盤の変位及び変形により廃棄物埋設地が直接破壊される可能性は十分低いと、断層活動による廃棄物埋設地への影響については、考慮する必要はない。

(ウ) 液状化(覆土)

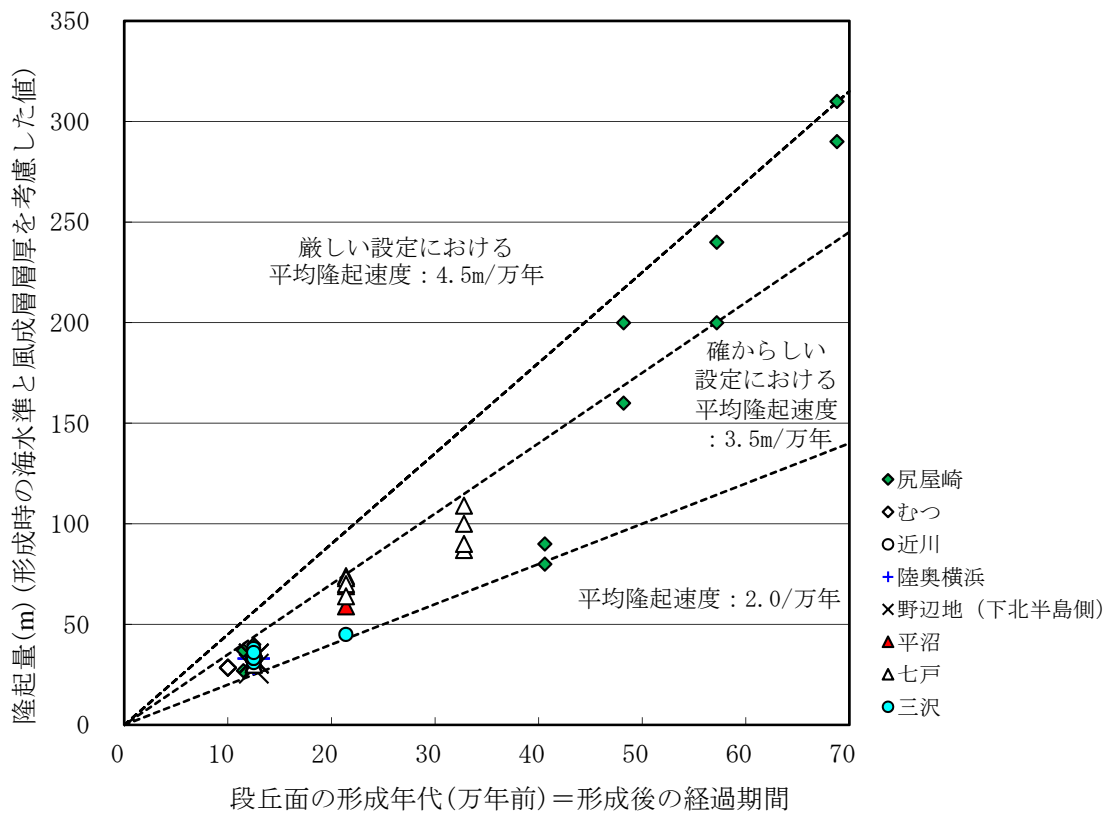
覆土(難透水性覆土及び下部覆土)が液状化することによって、低透水性に影響が生じるおそれがあるため、廃棄物埋設地の状態設定において影響を評価する。

(三) 隆起・沈降運動

隆起・沈降運動は廃棄物埋設地を直接損傷させることはないが、地形勾配の変化や侵食基準面から廃棄物埋設地までの比高の変化に伴い侵食・堆積環境が変化する。侵食・堆積環境の変化により、地下水流動に影響すること、また、埋設設備が地表に接近する可能性があることから、隆起・沈降運動を長期変動事象として考慮し、隆起・沈降運動の速度を設定する。

敷地の位置する下北半島付近には、過去約 70 万年間に形成された海成段丘が分布することから、敷地及びその周辺は、少なくとも同期間において大局的には隆起域と考えられる。小池・町田(2001)⁽⁸⁾から、下北半島周辺の海成段丘面の形成年代と旧汀線高度及び相対海水準等を考慮した隆起量について整理したものを第 3 図に示す。下北半島周辺の過去約 70 万年間の平均隆起速度は、2.0m/万年～4.5m/万年である。

以上より、敷地周辺の海成段丘に基づき求めた平均隆起速度である 3.5m/万年を確からしい設定とする。また、下北半島周辺の隆起速度のばらつきを考慮し、隆起速度が最も大きい 4.5m/万年を厳しい設定とする。



注1：段丘面の形成年代及び隆起量は、小池・町田(2001)⁽⁸⁾に基づき作成。

第3図 下北半島の海成段丘面の形成年代と隆起量の関係

(b) 気候変動に起因する事象

気候変動は、数十万年前から現在まで約 8 万年周期から約 12 万年周期で氷期と間氷期を繰り返している⁽⁹⁾ことから、大局的には将来もこの周期の気候変動を繰り返すと考えられる。過去の気候変動の傾向から、今後氷期へ向かうと考えられることから⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾、将来は寒冷化すると予測される。

一方で、人間活動に伴う温室効果ガス排出により、温暖化が進行する可能性があるとする報告⁽⁹⁾や、現在の温室効果ガス濃度を基準として、炭素循環のメカニズムを仮定した気候シミュレーションにより、将来 5 万年程度は温暖期が継続する可能性があるとする報告もある⁽¹²⁾。

以上のことから、気候変動に起因する事象に係る長期変動事象の状態設定については、過去の気候変動と同様に現在から寒冷化に向かう場合(以下「寒冷化ケース」という。)と、温暖期が数万年程度継続する場合(以下「温暖期継続ケース」という。)の 2 ケースに大別し、これらの 2 ケースについて、それぞれ「気温・降水量変化」及び「海水準変動」の長期変動事象として考慮する⁽³⁾。

(一) 気温・降水量変化

気温・降水量変化は廃棄物埋設地を直接損傷させることはないが、気温・降水量の変化により表層での水収支の変化に伴って地下水流動及び表流水流動が変化することが想定される。これらのことから、気温変化及び降水量変化を長期変動事象として考慮し、将来の気温及び降水量を設定する。

(7) 気温変化

将来の気温変化については、花粉化石及び南極氷床コアの水素同位体比を用いた過去の気温の推定に関する知見⁽⁹⁾及び人間活動による温室効果ガス濃度を考慮した気温変動予測結果に基づいて設定する。

花粉化石は、Yamanaka et al. (1990)⁽¹³⁾で取得されている下北半島の北部の尻屋崎湿原における最終氷期最盛期頃の花粉化石群集データ及び敷地近傍の尾駁沼の沖積層堆積物における過去約 1 万年間の花粉化石群集データを用いた。

花粉化石を用いた過去の気温の推定方法は、松末ほか(2000)⁽¹⁴⁾の手法及び Nakagawa et al. (2002)⁽¹⁵⁾の手法を用いた。

① 寒冷化ケースにおける気温設定

寒冷化ケースにおいては、氷期最盛期の年平均気温から求めた気温変動割合を用いて将来の気温を設定する。

松末ほか(2000)⁽¹⁴⁾及びNakagawa et al. (2002)⁽¹⁵⁾の手法により下北半島付近の最終氷期最盛期の年平均気温を推定すると、それぞれ約 -2.2°C と約 3.7°C であった(第4図参照)。このことから、将来の寒冷化ケースの年平均気温の確からしい設定は、両手法の平均的な値から 0°C とする。

また、将来の氷期最盛期の年平均気温の厳しい設定は、松末ほか(2000)⁽¹⁴⁾における現在と過去の氷河期の気温差の最大値が 13°C であったことから、敷地周辺における1975年～2015年の年平均気温の最低値である 8°C から 13°C を低下させた -5°C となるが、降水量の不確かさを考慮した方が希釈水量は少なくなるため、気温の不確かさを考慮せず、確からしい設定の気温である 0°C と設定する。

氷期最盛期に至るまでの気温変化については、過去約45万年間の連続的なデータが取得されている南極氷床コアの水素同位体比⁽⁹⁾に基づいて整理された年平均気温の変化量の変動グラフを用いて設定する。

確からしい設定における将来の気温の変動曲線を第5図に、厳しい設定における将来の気温の変動曲線を第6図にそれぞれ示す。同図から、確からしい設定時は約8万年後に氷期最盛期になると想定し、厳しい設定時は約6万年後の氷期最盛期になると想定する。

② 温暖期継続ケースにおける気温設定

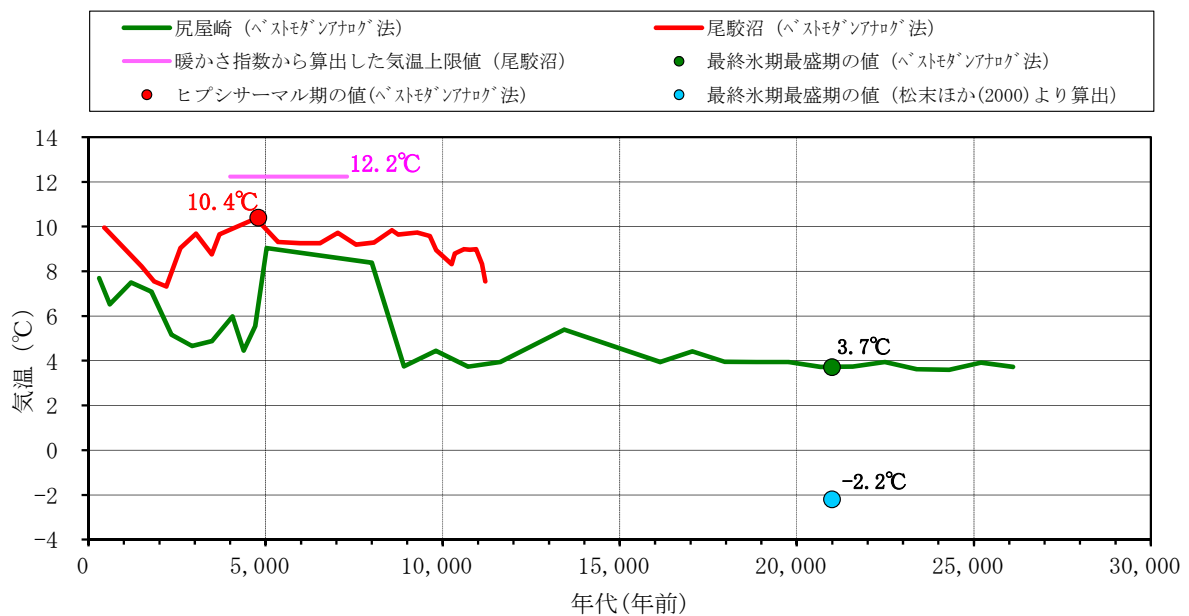
温暖期継続ケースにおいては、温暖期における最高気温のみ設定し、その気温が現在から継続すると想定する。

尾駸沼の沖積層堆積物から過去約1万年間の花粉化石群集データを取得し、そのデータを用いて松末ほか(2000)⁽¹⁴⁾の手法及びNakagawa et al. (2002)⁽¹⁵⁾の手法により敷地周辺のヒプシサーマル期の年平均気温を推定すると、それぞれ約 12.2°C と約 10.4°C であった(第4図参照)。

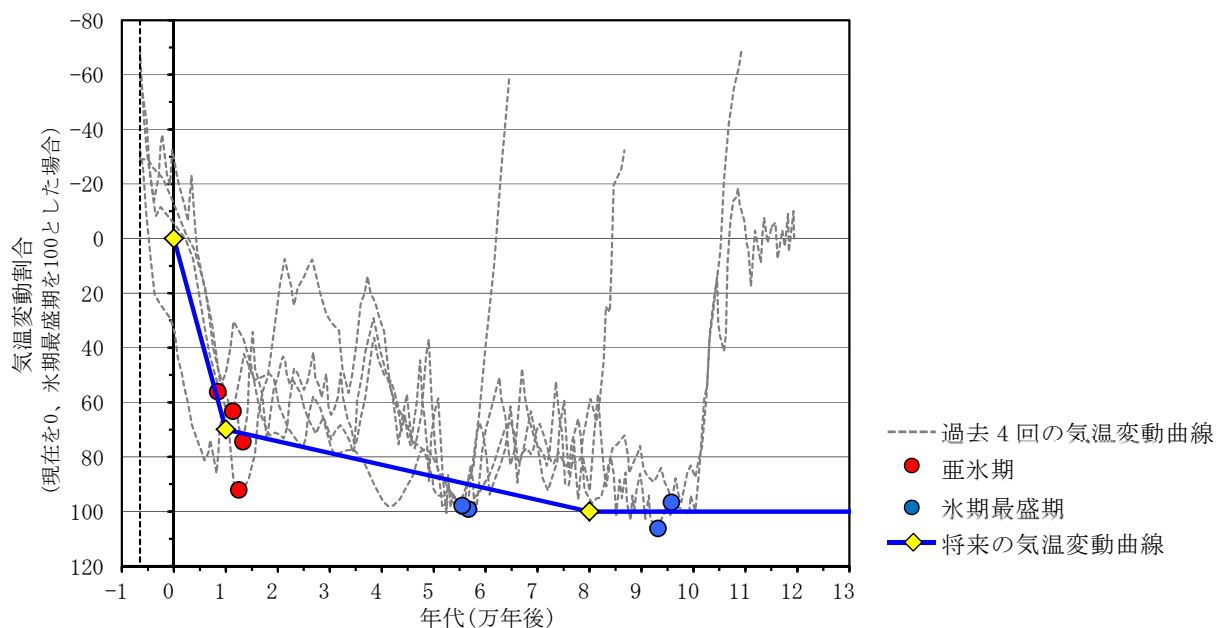
一方、人間活動による温室効果ガス濃度を考慮したシミュレーション結果によれば、2090年～2099年には世界平均で現在より 0.3°C ～ 6.4°C 上昇する可能性が指摘されている⁽¹⁵⁾。過去30年間の敷地周辺の年平均気温である

9°Cにシミュレーション結果の平均的な上昇値である3°Cを加えた12°Cを確からしい設定とする。この値は、花粉化石群集データより推定した12.2°Cと整合している。

また、厳しい設定においては、過去30年間の敷地周辺の年平均気温である9°Cにシミュレーション結果のほぼ最大上昇値である約6°Cを加えた15°Cとなるが、降水量の不確かさを考慮した方が希釈水量は少なくなるため、気温の不確かさを考慮せず、厳しい設定には確からしい設定の気温である12°Cと設定する。

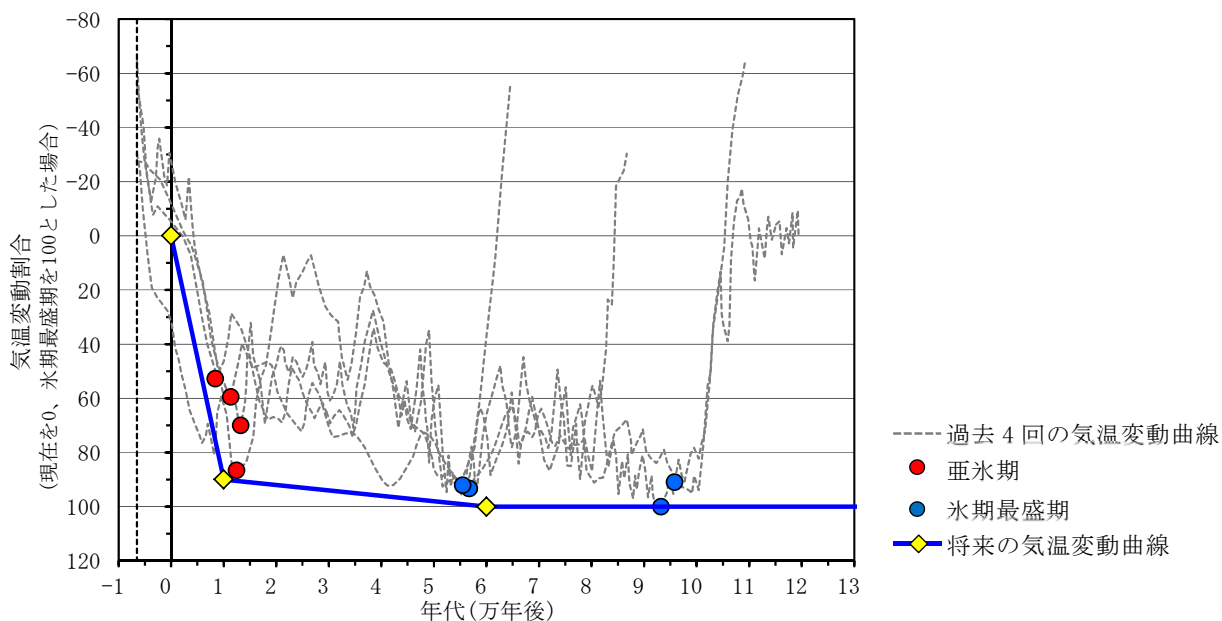


第4図 花粉分析による過去26,000年間の気温変動



注1：気温変動曲線はEPICA(2004)⁽⁹⁾に示される氷床コアの酸素・水素同位体比の知見から、過去4回の変動周期の間氷期最盛期を6,500年前として重ね合わせた。

第5図 将来の気温の変動曲線(寒冷化ケース・確からしい設定)



注1：気温変動曲線はEPICA(2004)⁽⁹⁾に示される氷床コアの酸素・水素同位体比の知見から、過去4回の変動周期の間氷期最盛期を6,500年前として重ね合わせた。

第6図 将来の気温の変動曲線(寒冷化ケース・厳しい設定)

(イ) 降水量変化

気温と降水量との関係には、正の相関がある⁽¹⁶⁾。また、地形や海流等の気候因子も降水量と相関がある。そこで、将来の降水量の設定に当たっては、敷地周辺と気候因子が類似する地点の気温と降水量の関係に基づき、将来の気温に対応する降水量を設定する。将来の気温は、「(ア) 気温変化」で設定した気温を用いる。

敷地周辺と気候因子が類似する地点の現在の気温と降水量の関係を求める。気候因子が類似する地点の判断に使用した項目は以下のとおりである。

- ① 北半球の太平洋側西部に位置すること。
- ② アリソフの気候区分が亜極帯～寒帯であること。
- ③ 沿岸海流が寒流であること。
- ④ 陸度(半径 50km 円内の陸域の占める割合)が 1/10～9/10 であること。
- ⑤ 開放度(半径 15km 円内で対象地点より標高が 200m 以上高い範囲を除く角度)が 240° ～360° であること。

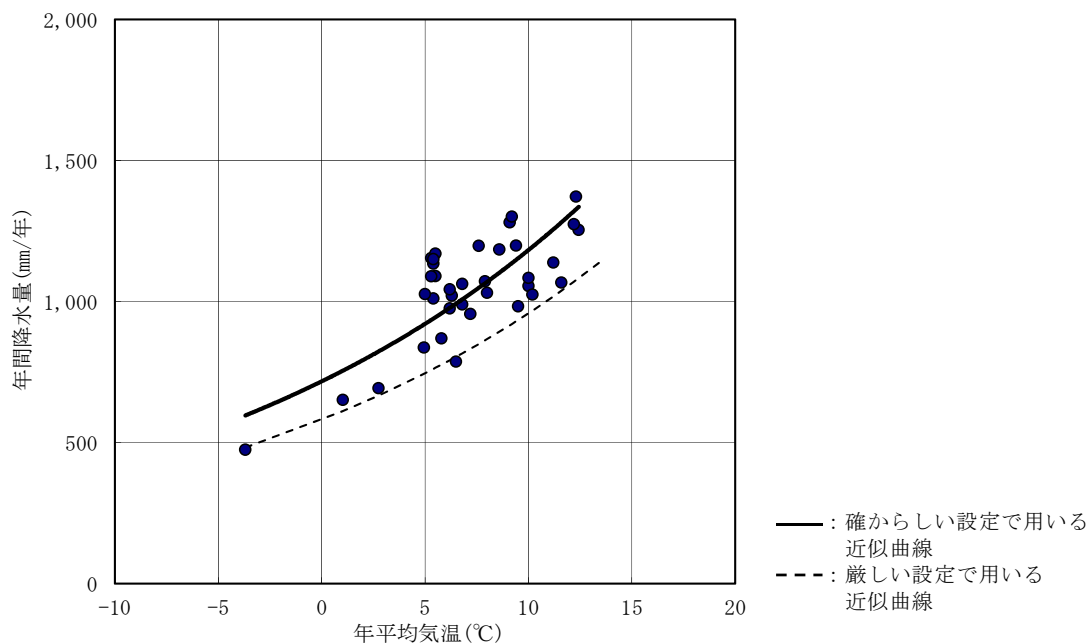
上記条件で抽出された地点のうち、過去 30 年以上の気象データの存在する 36 地点の年平均気温と年降水量を整理した(第 2 表参照)。

36 地点の気温と降水量の関係(第 7 図参照)を指数回帰式で表し、確からしい設定においてはこの指数回帰式を用いて降水量を設定する(第 3 表参照)。また、厳しい設定については気温と降水量の関係のばらつきを考慮して降水量を設定する(第 3 表参照)。

第2表 敷地周辺と類似する気候因子をもつ地点の気温と降水量

No.	地点名	国名	年平均気温(°C)	年降水量(mm/y)
1	OKHOTSK	RUSSIAN FED.	-3.7	475
2	VLADIVOSTOK	RUSSIAN FED.	5.0	837
3	ALEKSANDROVSK-SAKHALINSKII	RUSSIAN FED.	1.0	651
4	NIKOL' SKOJE (OSTROV BERINGA)	RUSSIAN FED.	2.8	693
5	稚内	JAPAN	6.8	1,063
6	網走	JAPAN	6.5	788
7	別海	JAPAN	5.4	1,135
8	根室	JAPAN	6.3	1,021
9	厚床	JAPAN	5.3	1,154
10	榑町	JAPAN	5.4	1,011
11	太田	JAPAN	5.5	1,170
12	白糠	JAPAN	5.5	1,090
13	釧路	JAPAN	6.2	1,043
14	池田	JAPAN	5.8	870
15	浦幌	JAPAN	6.2	976
16	糠内	JAPAN	5.0	1,026
17	大津	JAPAN	5.3	1,090
18	大樹	JAPAN	5.4	1,150
19	苫小牧	JAPAN	7.6	1,198
20	鶴川	JAPAN	6.8	989
21	室蘭	JAPAN	8.6	1,185
22	日高門別	JAPAN	7.2	956
23	静内	JAPAN	8.0	1,032
24	浦河	JAPAN	7.9	1,072
25	小田野沢	JAPAN	9.1	1,281
26	三沢	JAPAN	10.0	1,056
27	十和田	JAPAN	9.5	983
28	八戸	JAPAN	10.2	1,025
29	三戸	JAPAN	10.0	1,084
30	種市	JAPAN	9.4	1,198
31	鹿島台	JAPAN	11.2	1,138
32	石巻	JAPAN	11.6	1,067
33	仙台	JAPAN	12.4	1,254
34	亶理	JAPAN	12.2	1,274
35	相馬	JAPAN	12.3	1,373
36	六ヶ所	JAPAN	9.2	1,301

注1：気温及び年降水量は気象庁の発表⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾に基づき作成。



注 1 : 36 地点の年降水量及び年平均気温は、気象庁のデータ⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾を使用した。

第 7 図 敷地周辺と類似した気候因子を持つ 36 地点の年平均気温と年間降水量の関係

第 3 表 将来想定される気温、降水量、蒸発散量及び表流水流量

ケース	モデル化時期	気温(°C)	降水量 (mm/y)	蒸発散量 (mm/y)	表流水流量 (m ³)
確からしい設定	現在*1	9	1,120	580	1.3×10 ⁷
	1,000 年後	8	1,070	560	1.2×10 ⁷
厳しい設定	現在*1	9	910	580	8.0×10 ⁶
	1,000 年後	8	860	560	7.2×10 ⁶

*1 : 覆土完了時期までを表す(以降、第 5 表まで同様)。

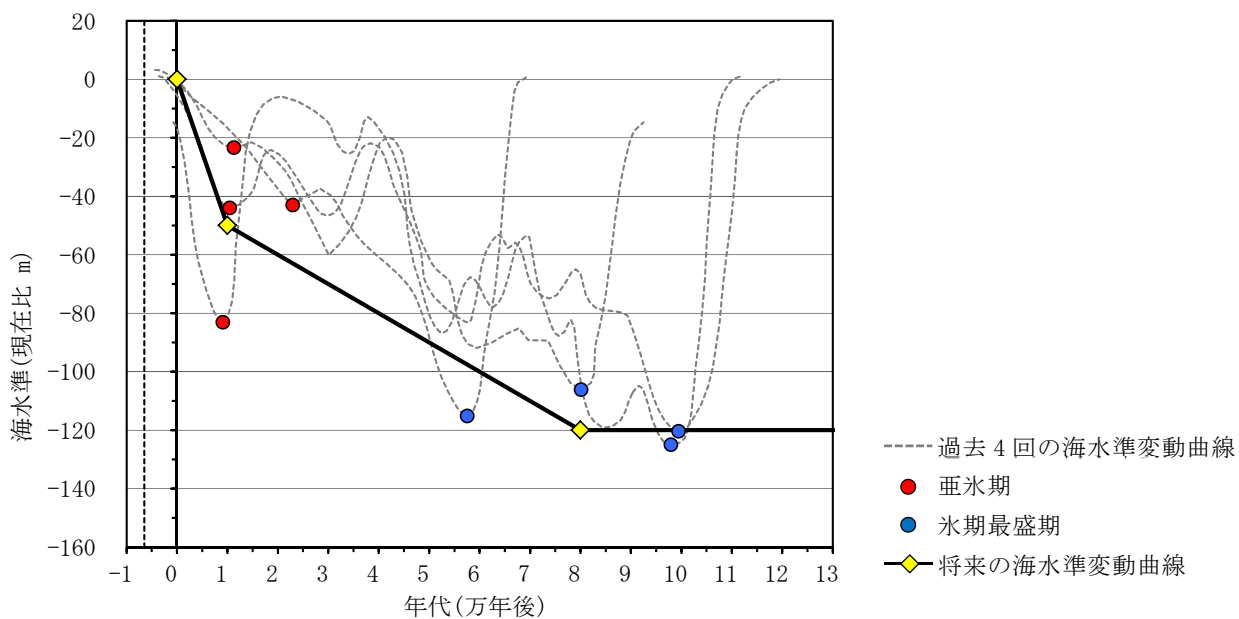
(二) 海水準変動

海水準変動は廃棄物埋設地を直接損傷させることはないが、海水準変動が生じると、敷地及びその周辺における河川、湖沼及び海の分布域が変化し、将来の人の生活環境及び生活様式に影響を及ぼすことが想定される。また、海水準変動及びそれに伴う地形変化並びに地下水位及び地表水流動の変化が想定されるため、海水準変動を長期変動事象として考慮し、寒冷化ケース及び温暖期継続ケースにおける海水準の変動時期及び変動量を設定する。

(7) 寒冷化ケースにおける海水準の設定

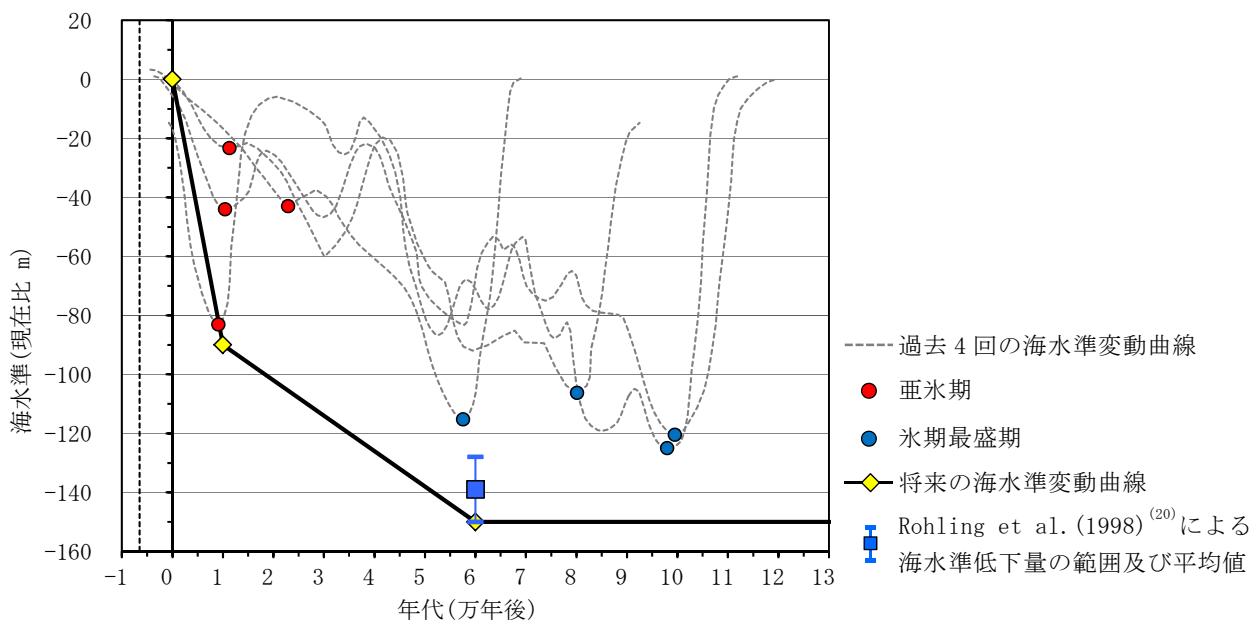
世界的な海水準変動は、気候変動に伴う大陸氷床の拡大・縮小に伴って生じる現象と考えられており、過去の海水準変動は気候変動と同様に、約8万年周期から約12万年周期で低海水準期と高海水準期を繰り返している⁽¹⁹⁾。

したがって、海水準変動の長期変動状態の設定のうち、寒冷化ケースにおける将来の氷期最盛期に至るまでの海水準変動は、気温変動と同様に、過去約45万年間の低海水準期と高海水準期の変動幅⁽¹⁹⁾を考慮して設定する。第8図に将来の海水準の変動曲線(確からしい設定)、第9図に将来の海水準の変動曲線(厳しい設定)を示す。



注1：海水準変動曲線はLabeyrie et al (2003)⁽¹⁹⁾に示される酸素同位体比による海水準の知見から、過去4回の変動周期の間氷期最盛期を6,500年前として重ね合わせた。

第8図 将来の海水準の変動曲線(確からしい設定)



注1：海水準変動曲線はLabeyrie et al (2003)⁽¹⁹⁾に示される酸素同位体比による海水準の知見から、過去4回の変動周期の間氷期最盛期を6,500年前として重ね合わせた。

第9図 将来の海水準の変動曲線(厳しい設定)

(イ) 温暖期継続ケースにおける海水準の設定

過去 300 万年間の温暖期における海面水位は、世界平均で現在より 5m 上回っており、最終間氷期(約 12.9 万年前～約 11.6 万年前)の数千年にわたっては、現在より海面水位が 5m より高く、10m 以上は高くなかったという報告がある⁽²¹⁾。この結果を参考に、温暖期継続ケースにおける海水準変動は、不確実性を考慮して現在の海水準より 10m 海水準が上昇し、継続すると設定する。

なお、温暖期継続ケースにおける海水準の設定に当たっては、確からしい設定において不確実性を考慮していることから、確からしい設定と厳しい設定は同様の設定値とする。海水準変動の状態設定結果を第 4 表に示す。

第 4 表 海水準変動の設定値

ケース	モデル化時期	海水準(現在比 : m)
確からしい設定	現在*1～1,000 年後	10
厳しい設定	現在*1～1,000 年後	10

*1:覆土完了時期までを表す(以降、同様)

(c) プレート運動と気候変動の両者に起因する事象

プレート運動と気候変動の両者に起因する事象は、「地形変化」、「地下水流動」及び「表流水流動」を対象とする⁽³⁾。気候変動に起因する事象に係る長期変動事象の状態設定と同様に、寒冷化ケースと温暖期継続ケースの2ケースについて、それぞれ「地形変化」、「地下水流動」及び「表流水流動」の長期変動事象として考慮する。

(一) 地形変化

「(a) プレート運動に起因する事象 (三) 隆起・沈降運動」及び「(b) 気候変動に起因する事象 (二) 海水準変動」に伴い、侵食作用が継続することによる廃棄物埋設地の侵食に伴う埋設設備の地表接近及び露呈並びに放射性物質を含んだ土砂の下流域への堆積が想定される。そのため、地形変化を長期変動事象として考慮し、侵食速度を設定する。

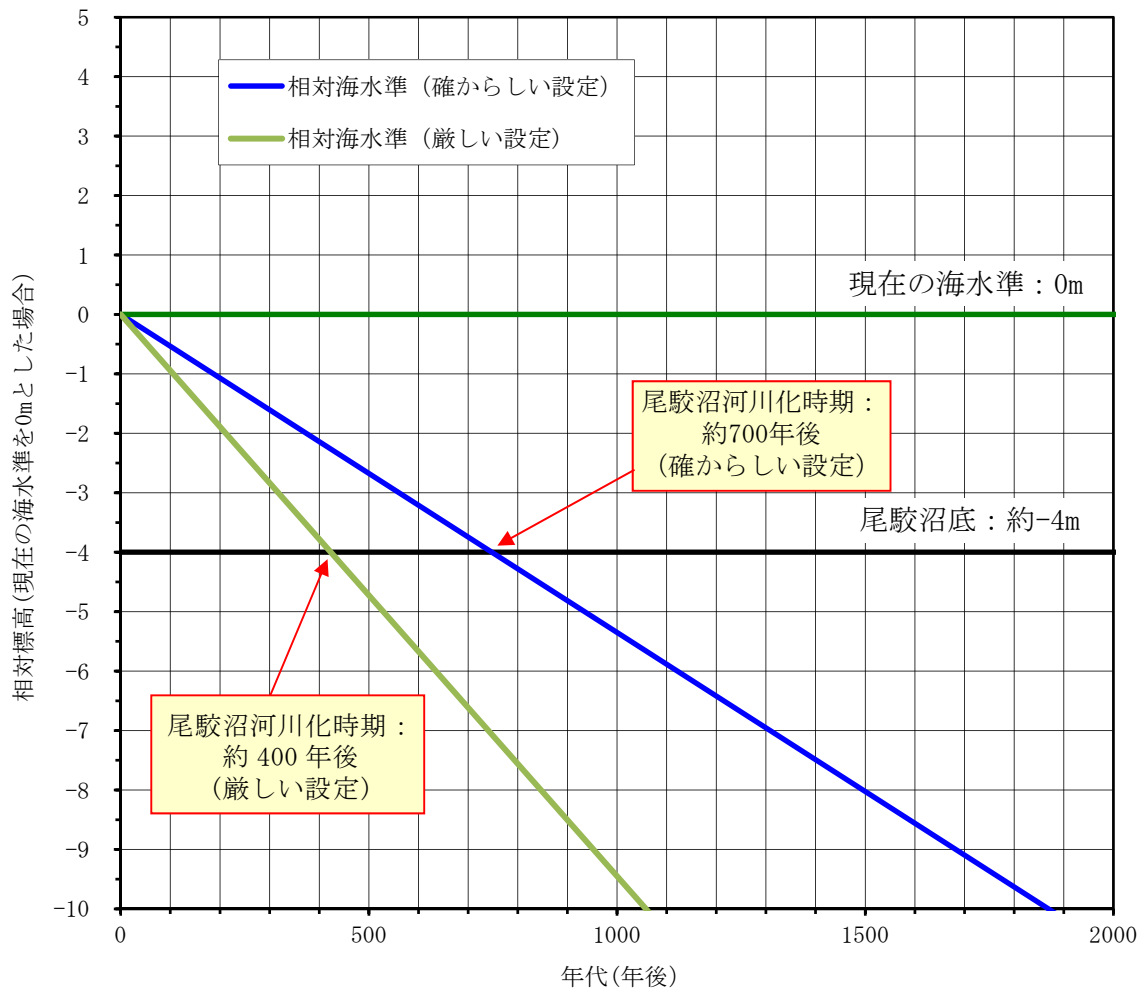
侵食は、沿岸部における沿岸流と波浪等による侵食(以下「海食」という。)と、河川及び沢部における表流水による侵食(以下「河食」という。)が想定される。

敷地東方の沿岸部汀線付近では海食が生じているが、廃棄物埋設地は現在の汀線から内陸に約3km離れており、十分な離隔がある。仮に温暖期の海進により尾駁沼が内湾となっても、海食による影響は生じないものと考えられる。

敷地及び敷地近傍の沢部においては第四紀層及び基盤である鷹架層が削剥されており、河食が生じていると考えられる。廃棄物埋設地付近は二又川の流域であることから、二又川及び敷地から二又川に流れ込む沢による河食を考慮する。

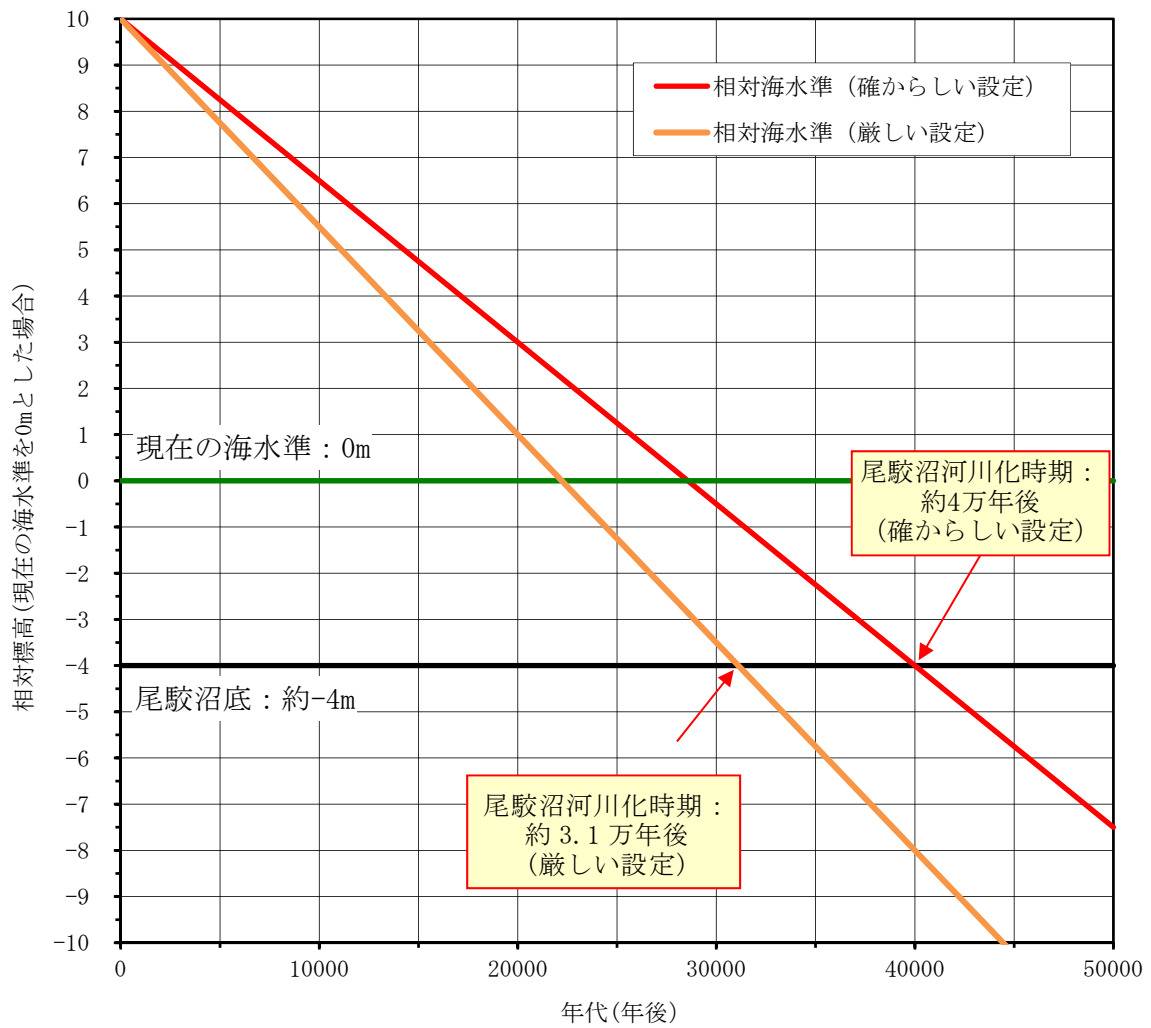
なお、敷地及び敷地近傍における台地と河川及び沢との位置関係等の大局的な地形状況は、数万年程度の将来において大きく変化することはなく、流域ごとの沢の縦断勾配及び横断形状を保って河食が進むと想定する。

隆起量を考慮した海水準(以下「相対海水準」という。)の低下に伴い、尾駁沼が河川化すると設定する(第10図及び第11図参照)。



注1：尾駮沼底の標高は、国土地理院発行2万5千分の1地形図「戸鎖」を参照。

第10図 寒冷化ケースにおける尾駮沼の河川化時期の予測
(確からしい設定・厳しい設定)



注1：尾駁沼底の標高は、国土地理院発行2万5千分の1地形図「戸鎖」を参照。

第11図 温暖期継続ケースにおける尾駁沼の河川化時期の予測
(確からしい設定・厳しい設定)

(7) 侵食速度

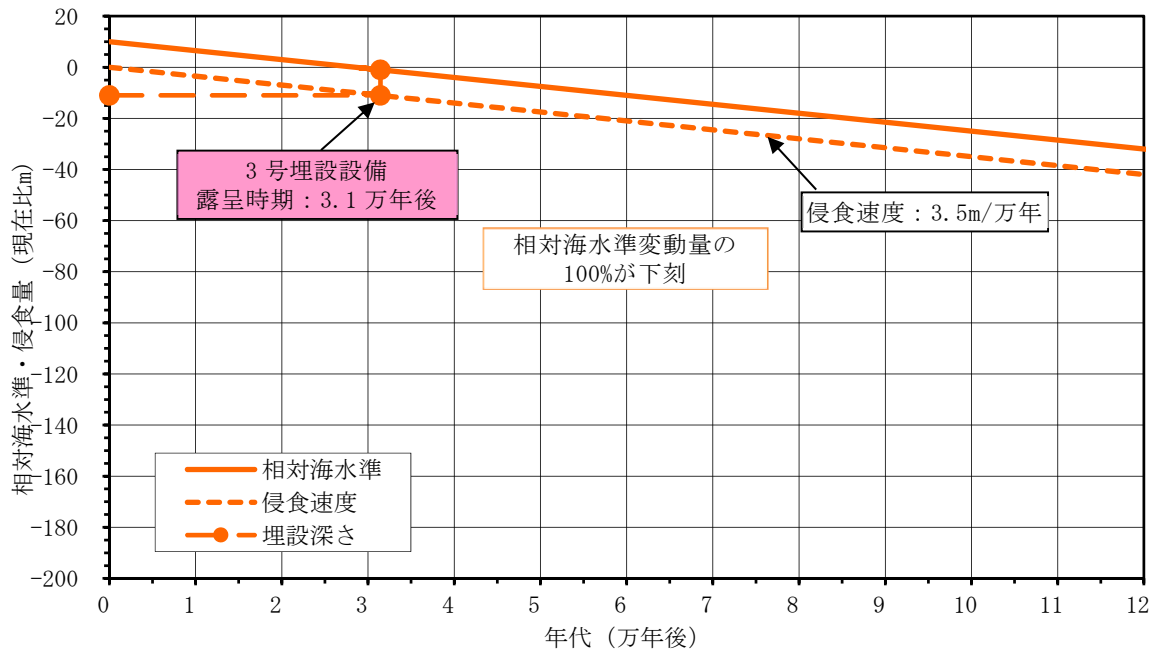
寒冷化ケースでは、沖積層の基底面の勾配を保ち、敷地の隆起に伴う相対海水準の低下による下方への侵食(以下「下刻」という。)が生じると想定する。したがって、寒冷化の当初は勾配の緩い下流部に堆積した沖積層の上限面から下刻することとなり、沖積層の下刻後は河床勾配と海退量との関係から下刻量が求められる。沖積層の下刻に数万年を要し、それまでの期間、鷹架層の下刻は発生しない。

温暖期継続ケースでは、現在の河床勾配を保ち、相対海水準低下に伴った下刻が生じると設定する。ここでいう温暖期継続ケースにおける相対海水準低下速度は、「(b) 気候変動に起因する事象 (二) 海水準変動」において、海水準変動を現在から将来にわたり、現在の海水準より一律で 10m 上昇すると設定したことから、「(a) プレート運動に起因する事象 (三) 隆起・沈降運動」で設定した隆起速度相当と設定する。

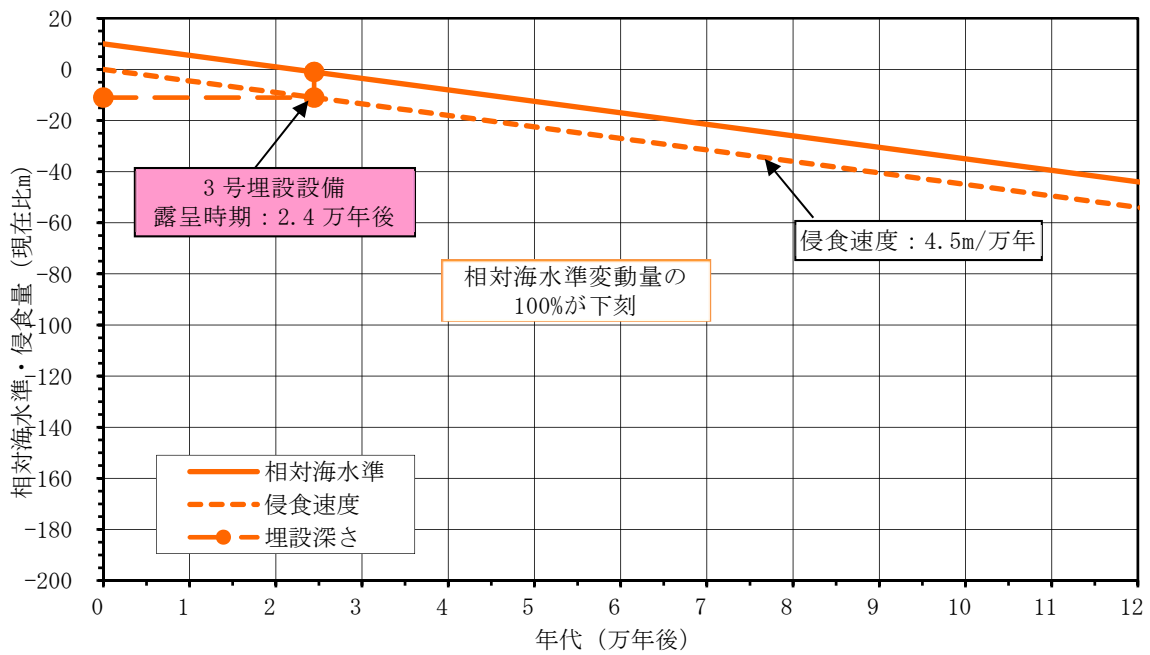
廃棄物埋設地周辺には、中央沢、南の沢、西の沢及びそれらの枝沢が分布する。枝沢は本流の沢に流れ込むことから、本流の沢との合流点が侵食基準面となる。枝沢の侵食基準面は本流が侵食されることで低下するため、本流の侵食速度と同等の速度で枝沢も侵食される。したがって、枝沢における侵食速度は、本流の沢の寒冷化ケース及び温暖期継続ケースの侵食速度と同じと設定する。

(イ) 露呈時期

埋設設備の露呈時期は、最も早くても数万年後(第 12 図及び第 13 図参照)となるため、評価期間を踏まえると、埋設設備の露呈時期の状態設定については、考慮しないものとする。



第12図 温暖期継続ケース確からしい設定における侵食量と埋設設備の露呈時期



第13図 温暖期継続ケース厳しい設定における侵食量と埋設設備の露呈時期

(二) 地下水流動

地下水流動は単独事象としては廃棄物埋設地を直接損傷させることはないが、地形変化や海水準変動による地下水流動の変化が、地下水の流動方向、地下水の流出点、地下水流速及び埋設設備から上部覆土や鷹架層への流出水量に影響する。

(ア) 地下水の流動方向及び地下水の流出点

補足説明資料7「2. (1) 事業所敷地周辺の地形と水系及びかん養」に示すとおり、敷地は北西から南東に緩く傾斜する台地からなり、地下水は主に降水によってかん養されている。また、台地の地下水面は降雨時及び融雪時に変動が認められるものの、主に表層に分布している第四紀層内にある。これは、鷹架層の透水係数が廃棄物埋設地周辺の第四紀層より約2桁小さく、地表面から浸透した雨水が容易に鷹架層に浸透できないためと考えられる。埋設設備は鷹架層を掘り下げて設置し、難透水性覆土及び下部覆土は鷹架層の透水係数以下となるように設置する。また、上部覆土は廃棄物埋設地周辺の第四紀層の透水係数程度となるように設置し、原地形及び原水理地質構造に近くなることから、覆土後の地下水面は、原地形と同様に廃棄物埋設地周辺の第四紀層内にあると考える。したがって、廃棄物埋設地付近を通過した地下水は、補足説明資料7「2. (2) (i) 地下水位」のうち「地下水面標高等高線図(1986年)」に示す原地形の地下水面等高線図から読み取れる地下水の流動方向と同様に、主に南に向かって流れ、中央沢を経て尾駮沼に流入すると考える。「(一) 地形変化」に示すとおり、1,000年後の将来の地形は現状とほぼ同様と考えられるため、将来においても廃棄物埋設地を通過した地下水は南に向かって流れ、中央沢を経て尾駮沼に流入すると考える。

(イ) 地下水流速

廃棄物埋設地付近の鷹架層及び上部覆土中の地下水流速は、その位置の動水勾配及び透水係数により設定する。

① 動水勾配

廃棄物埋設地付近の地下水流動は、「(ア) 地下水の流動方向及び地下水の流出点」に示すとおり、覆土後1,000年程度までの間は、原地形の地下水流動と同様になると想定し、間隙水圧測定実施位置を通る鉛直断面内の全水

頭等高線図から求めた埋設設備設置地盤付近の動水勾配に基づき設定する
(第5表参照)。

② 透水係数

鷹架層及び上部覆土の透水係数は、プレート運動と気候変動の両者に起因する事象では影響を受けない。

(ウ) 埋設設備から上部覆土や鷹架層への流出流量

埋設設備から上部覆土や鷹架層への流出流量は、地下水浸透流解析により算定する。浸透流解析には、覆土や地盤の透水係数及び境界条件として動水勾配を用いる。動水勾配は、「① 動水勾配」に示す値とする。

第5表 将来の動水勾配

廃棄物埋設地	ケース	モデル化時期	動水勾配設定値(%)
3号廃棄物埋設地	確からしい設定	現在～	5
	厳しい設定	1,000年後	8

(三) 表流水流動

表流水流動は廃棄物埋設地を直接損傷させることはないが、河川及び湖沼の表流水流量の変化によって放射性物質の希釈水量が変化することが想定される。これらのことから、地表水流動を長期変動事象として考慮し、河川及び湖沼の表流水流量を設定する。また、表流水流量を設定するために、蒸発散量についても設定する。

(7) 蒸発散量

蒸発散量は、年平均気温を用いて可能蒸発散量として推定するソーンスウェイト法⁽²²⁾により求める(第6表)。

一方、地下水は主に降水によってかん養され、第四紀層及び鷹架層表層部の風化部を流れ、中央沢を経て尾駁沼に流出していることから、敷地内の沢の流域面積に降った降水量から、その沢を流れる表流水流量を差し引いたものが、蒸発散量に相当する。降水量及び敷地内の表流水流量の観測結果(第14図参照)に基づく河川流出高を用いて求めた実蒸発散量を第6表に示す。実蒸発散量の平均に対する可能蒸発散量の平均の比率は0.95である。

将来の蒸発散量は、「(b) 気候変動に起因する事象 (一) 気温・降水量変化」に示す敷地周辺と気候因子が類似した36地点の年平均気温から可能蒸発散量を算出し、実蒸発散量と可能蒸発散量の比0.95を用いて、36地点の年平均気温と蒸発散量の関係を得た(第15図参照)。この関係から設定した将来の蒸発散量を第3表に示す。

(イ) 表流水流量

廃棄物埋設地を通過した地下水中の放射性物質濃度は、その地下水が地表に流出した地点で、そこを流れる河川や湖沼の表流水によって希釈される。廃棄物埋設地は二又川の流域にあり、後述する「b. 生活環境の状態設定 (b) (一) 水利用」に示すとおり、希釈水量となる表流水流量は二又川の河川流量に相当する。

河川流量は、降水量から蒸発散量を差し引いた河川流出高に流域面積を乗じて求める。表流水流量の確からしい設定及び厳しい設定の値を第3表に示す。

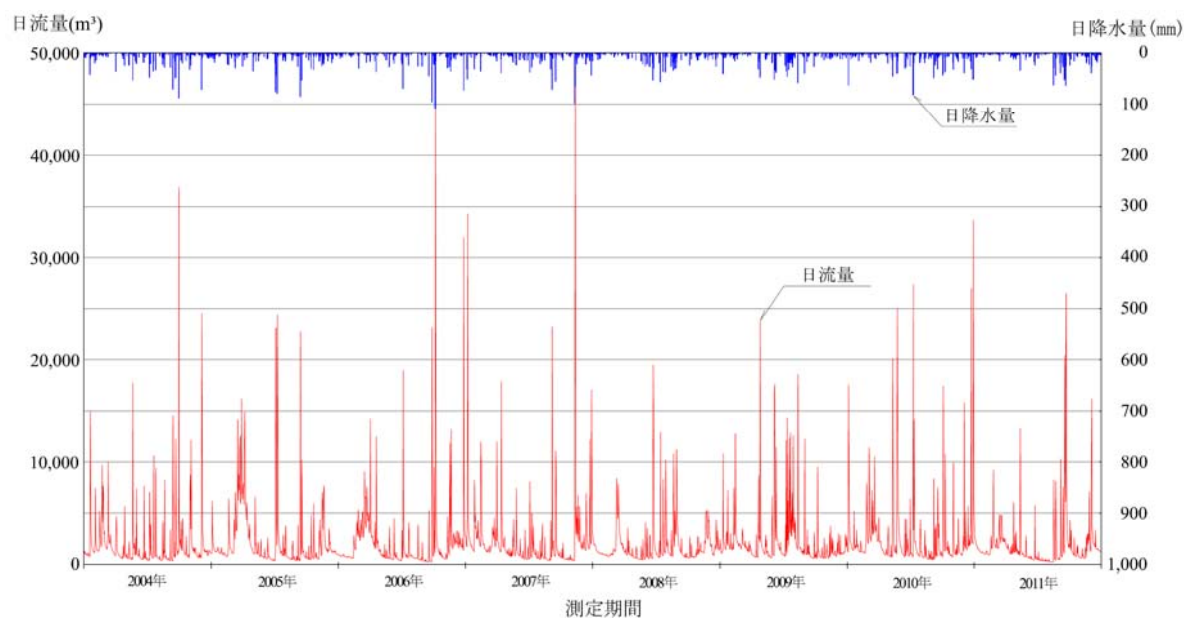
ここで設定した表流水流量は、後述の「(iv) 線量評価パラメータ」では「尾駁沼又は河川の交換水量」として扱う。

第6表 ソーンズウェイト法により求めた可能蒸発散量と観測から求められた

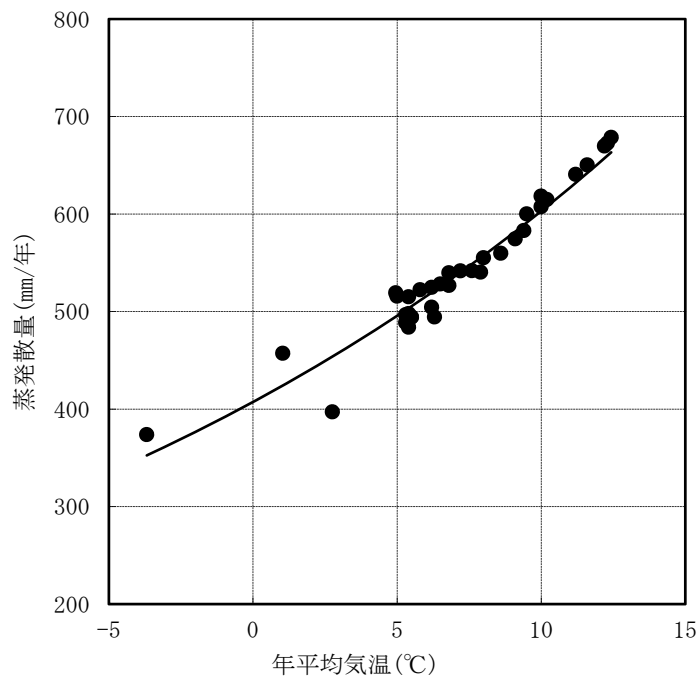
実蒸発散量(2004年～2011年)

観測年	気温 (°C)	年降水量 (mm/y)	①可能蒸発散量 [ソーンズウェイト法] (mm/y)	河川流出高 (mm/y)	②実蒸発散量 [水収支式] (mm/y)	補正係数 ②÷①
2004年	10.1	1,546	640	784	762	1.19
2005年	8.7	1,468	601	930	538	0.89
2006年	8.9	1,380	603	843	537	0.89
2007年	9.8	1,565	624	884	681	1.09
2008年	9.4	1,198	620	706	492	0.79
2009年	9.4	1,507	614	869	638	1.04
2010年	9.8	1,437	637	999	438	0.69
2011年	9.4	1,366	624	724	642	1.03
平均	9.4	1,433	620	842	591	0.95

注1：気温及び年降水量は気象庁の発表⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾に基づき作成。



第14図 敷地内の表流水流量の観測結果(2004年～2011年)



注1：36地点の年平均気温は、気象庁のデータ⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾を使用した。

第15図 敷地周辺と類似した気候因子を持つ36地点の年平均気温と蒸発散量の関係

(d) その他の事象

(一) 生物学的事象

敷地内における樹木の根に関する調査結果から、樹木の根の深さは最大で2.3mである。

モグラ類による覆土の擾乱が想定されるが、地表から1m未満である場合が多く⁽²³⁾、樹木の根の影響範囲に包含される。

以上より、廃棄物埋設地には十分な厚さの覆土を設置することから、生物学的事象による影響はなく、長期変動事象として考慮しない。

(二) 透水性の変化

岩盤の透水性は、「(a) プレート運動に起因する事象 (二) 地震・断層活動」に示すように大きく変化しないと判断し、長期変動事象として考慮しない。

b. 生活環境の状態設定(詳細は補足説明資料2参照)

廃止措置の開始後における将来の敷地周辺の生活環境の状態を設定する。

生活環境とは、人間を含む生物が生息する領域のうち、評価対象地点周辺で一般的な水の利用と土地の利用が想定される範囲及びその状況を意味する。

生活環境の状態と敷地周辺の社会環境から被ばくが生じると考えられる人間活動に基づいて被ばく経路を設定する。さらに、被ばく経路の重畳を考慮して最大の被ばくを受けると合理的に想定される個人(以下「評価対象個人」という。)を設定する。

廃止措置の開始後の将来における敷地周辺で活動する人間の生活環境は、自然環境の変化による影響を受けることが考えられるため、その前提として、「a. 地質環境に係る長期変動事象」に基づいた、気温・降水量及び地形の状態変化を考慮する。

生活環境の構成要素のうち廃止措置の開始後の将来の人間の生活様式については、これを長期的な不確かさを考慮して予測することは困難であるため、現世代の人間の生活様式に関する情報を基に、敷地及びその周辺の社会環境又はわが国で現在一般的とされる生活様式を前提とする。確からしい自然事象シナリオで考慮する人間活動は、ICRP Pub. 81⁽¹⁾及びICRP Pub. 101⁽²⁾を参考に合理性、持続可能性及び均一性を持つ一般的な人間活動を想定する。厳しい自然事象シナリオで考慮する人間活動は、確からしい自然事象シナリオで考慮する人間活動に加えて不確実性の高いものも考慮する。また、これらのシナリオで考慮すべき合理性、持続可能性及び均一性を持たず一般的に生じるとは考えられない人間活動については、人為事象シナリオで考慮する。

なお、全てのシナリオにおいて、放射性物質としての特性に着目して廃棄体を利用する形態や意図的な行為は含めない。

詳細は補足説明資料2「2. 生活環境の状態設定の考え方」及び「3. 検討方法」を参照。

(a) 生活環境に影響を及ぼす敷地及びその周辺における自然環境の変化(詳細は補足説明資料2「4. 生活環境に関する設定」参照)

「a. 地質環境に係る長期変動事象」に基づき、生活環境に影響を及ぼすと考えられる敷地及びその周辺における自然環境の変化を以下に整理する。

・現在から廃止措置の開始直後までの敷地周辺の地形は現状とほぼ同様であり、廃棄物埋設地に起因した放射性物質を含む地下水はほぼ全てが敷地内の沢を經由し汽水性である尾駈沼に流入する。

- ・気候変動によって、平均気温が変化することに伴い、敷地及びその周辺で生産される農産物の種類が変化することが考えられる。
- ・地形変化及び海水準変動によって、尾駮沼が河川化し、資源量(漁獲量)が減少することが考えられる。
- ・地形変化が進行すると埋設設備が河食によって侵食され、放射性物質を含む土壌が下流域へ堆積することが考えられるが、数万年以降であり侵食による影響は無視できる。

(b) 事業所周辺における自然環境及び社会環境の状態を踏まえた生活様式の設定
 「(a) 生活環境に影響を及ぼす敷地及びその周辺における自然環境の変化」に示す自然環境の変化及び事業所周辺の社会環境の状態を踏まえ、放射性物質が移行する範囲ごとに生活様式を以下のとおり設定する。

(一) 水利用(詳細は補足説明資料2「6. (1) 水利用に伴う被ばく経路」参照)

廃棄物埋設地を通過する地下水は、敷地中央部の沢を経て尾駮沼に流出し太平洋に至るため、現在の二又川や老部川へ移行する可能性は極めて小さい。また、地下水の流入する尾駮沼は汽水性の沼であるため、この水を生活用水等に利用する可能性も極めて小さい。

廃棄物埋設地及びその付近の地下水は第四紀層及び鷹架層を流れており、専ら降水によってかん養されている。地下水利用については、廃棄物埋設地に深井戸を設置しても鷹架層の透水性が小さい(透水係数：約 $5.0 \times 10^{-8} \text{m/s}$ (3号廃棄物埋設地))ことから、大量の水を得ることはできない。しかし、浅井戸を設置する場合は、廃棄物埋設地周辺の第四紀層の透水性が比較的大きい(透水係数：約 $2.6 \times 10^{-6} \text{m/s}$ (3号廃棄物埋設地))ことから、水を得ることができると考えられる。

なお、敷地外の深井戸から大量の水を得ている例があるが、これはその地質・水理的特性によるものであり、富ノ沢及び尾駮集落では両地域に存在する透水性の比較的大きい鷹架層中部層の礫混り砂岩から主に集水している。これに対して、廃棄物埋設地周辺では、透水性が比較的小さい砂質軽石凝灰岩及び砂岩が主に分布しており、また、地質・地下水調査結果から、富ノ沢及び尾駮集落での深井戸の集水地層(礫混り砂岩)と同等の地層が地表面下百数十 m までには存在しないことを確認している。

六ヶ所村の利水状況としては、豊富な地下水のある地点を水源とする水道の普

及率がほぼ 100%であり、専らこれを生活用水及び畜産用水として利用している。また、水田灌漑用水としては、河川水を利用している。浅井戸を生活用水として利用している世帯もあるが、その割合は約 1%と極めて小さい。

沢水の利用については、現在は利用されていないこと、河川の水量を比較すると敷地中央部の沢の水量は小さいこと、現在の敷地周辺においては水道が十分普及していること及び農地が減少傾向にあることから、沢水の利用に伴い被ばくが生じる可能性は河川の利用の場合よりも小さい。しかしながら、評価に当たっては河川と沢の水量の違いによる利用の可能性(被ばくが生じる可能性)を定量的に示すことが困難であること、敷地造成前においては、広範囲では畑作が、また敷地中央部の沢の下流部では稲作が行われていたことを考慮する。

さらに、廃止措置の開始後の将来の地形変化を考慮すると、尾駁沼が河川化し、汽水性の沼から淡水に変化することが考えられるため、河川水を生活用水等に利用する可能性があるが、沢水の利用の評価に包含される。

以上より、水利用に関しては、現状の水理及び利水状況を前提にすると、廃棄物埋設地からの影響を受ける地下水や沢水を生活用水や畜産用水に利用することは考え難い。しかしながら、確からしい自然事象シナリオでは沢水が利用されることが、厳しい自然事象シナリオでは井戸水が利用されることを想定する。生活用水等に利用することに伴う被ばく経路としては、井戸水及び沢水の飲用、尾駁沼又は河川水中の水産物の摂取、沢水を利用して生産される農畜産物の摂取及び灌漑作業を想定する。ただし、水産物の摂取において、河川化に伴う資源量(漁獲量)の長期的な減少については評価に含まない。

水利用に伴う被ばく経路として考慮する人間活動は以下のとおりである。

(ア) 自然事象シナリオ

- ・ 沢水(厳しい自然事象シナリオでは井戸水)の飲用
- ・ 尾駁沼又は河川水中の水産物の摂取
- ・ 沢水を利用して生産される灌漑農産物の摂取
- ・ 沢水を利用して生産される畜産物の摂取
- ・ 沢水を利用する灌漑作業

(二) 土地利用(詳細は補足説明資料 2「6. (1) 土地利用に伴う被ばく経路」参照)

廃棄物埋設地から漏出する放射性物質が廃棄物埋設地表面付近の土壌に移行し、被ばくを受ける可能性があるため、廃棄物埋設地及びその近傍における土地利用に伴う活動を考慮する。

地下の掘削を伴う土地利用の一つに建造物の建設がある。廃棄物埋設地は市街化区域の用途地域のうち工業専用地域に位置し、工業地域、準工業地域、商業地域、中高層住居専用地域及び低層住居専用地域に隣接しているため、工場及び住宅の建設等に利用される可能性がある。ただし、現状の六ヶ所村では地下数階を有するような大規模な建造物はほとんどみられず、面積利用率では 10m 以深の掘削を行う頻度は 1%未満である。さらに、可住地のうち建造物が建設される土地は一部であることを含めて敷地周辺の社会環境を考慮すると大規模な建造物の建設は代表的な事例ではない。そのため、代表的な事例として一般的な住宅の建設及びそれに伴って発生する掘削残土上での居住を想定する。

なお、面積利用率は、六ヶ所村で確認される建物区分について、それぞれに仮定した平均深度ごとの利用面積が可住地面積に占める割合を求めたものである。

この他に地下を掘削する目的として、井戸の掘削や地下資源の開発があげられる。井戸については水利用の状況から、「(一) 水利用」に示すように浅井戸の掘削が考えられる。地下資源の開発については、廃棄物埋設地及びその近傍において、採掘規模の石炭、鉱石等の天然資源は認められていないため、このような土地利用を考慮する必要はない。

また、地下の掘削を伴わない土地利用としては、農産物の生産があり、廃棄物埋設地表面付近の土壌又は地下水から農産物に放射性物質が移行し、その農産物を摂取することによって生じる被ばくが考えられる。

以上より、土地利用に関しては、廃棄物埋設地の利用による被ばくとして、住宅の建設作業、掘削残土上での居住及び廃棄物埋設地を利用して生産される農産物摂取による被ばくを考慮する。

なお、廃棄物埋設地における地下数階を有する建物の建設作業による大規模な掘削行為及び当該掘削後の土地利用に伴う被ばくは、一般的に生じるとは考えられないため、人為事象シナリオにおいて考慮する。

土地利用に伴う被ばく経路として考慮する人間活動は以下のとおりである。

(7) 自然事象シナリオ

- ・ 廃棄物埋設地における建設作業
- ・ 廃棄物埋設地における居住
- ・ 廃棄物埋設地を利用して生産される農耕農産物の摂取

(イ) 人為事象シナリオ

- ・ 廃棄物埋設地における地下数階を有する建物の建設作業
- ・ 廃棄物埋設地における地下数階を有する建物の建設作業によって発生する
土壌上での居住

(三) 水利用及び土地利用によって得られる各種生産物

「(一) 水利用」及び「(二) 土地利用」に示す水や土地の利用によって得られる生産物の種類を水産物、農産物及び畜産物と設定する。

水産物については、廃止措置の開始後の将来の地形変化を考慮すると、尾駁沼が河川化し、淡水性の水産物に変化することが想定される。しかし、淡水化に伴う資源量(漁獲量)の減少により、水産物種類の変化を考慮しても水産物の摂取による被ばく線量は小さくなる傾向となることから、線量評価においては、尾駁沼の河川化による水産物種類の変化は考慮せず、現在の汽水性である尾駁沼に生息する代表的な水産物とする。

農産物については、沢水を灌漑用水として利用して栽培される米及び廃棄物埋設地に栽培される野菜を考慮する。

畜産物については、現在の敷地及びその周辺において養畜されている畜産物を想定する。畜産物は沢水の畜産用水利用により養畜されるものとする。

(c) 最大の被ばくを受けると合理的に想定される個人の設定(詳細は補足説明資料
2「7. 最大の被ばくを受けると合理的に想定される個人(評価対象個人)」参照)

「(b) 事業所周辺における自然環境及び社会環境の状態を踏まえた生活様式の設定」に示す生活様式に基づき、自然事象シナリオにおいては、被ばく経路に様々な個人の生活様式に係る場合には、それらの重ね合わせを考慮し、評価対象個人を設定する。

評価対象個人は、移行経路ごとの被ばく経路の特徴を表した個人で、年間を通して被ばくする可能性がある個人を代表として設定する。また、敷地及びその周辺又はわが国で現在認められる一般的な生活様式をもつ個人とし、比較的高い被ばくを受ける集団を代表する成人とする。

ただし、被ばく経路の重ね合わせにおいては、市場の流通の状況を適切に考慮する。生活様式として同時に存在することの合理性がないもの及び人為事象シナリオで考慮する一般的ではない人間活動による被ばく経路については、重ね合わせを考慮しない。

生活様式は、現在認められる就労形態ごとに異なる。就労形態によって、様々な生産活動が行われる可能性があるが、評価の観点からは放射性物質が移行する水又は土壌に接触する生産活動に従事する就労者を対象とすることが合理的である。そのため、生産活動及び生産物を摂取することによって起こると想定される被ばくを考慮する。また、放射性物質は、その移行特性や放射線影響が種類ごとに異なることから、評価対象個人を複数の集団から設定する。

現在の敷地及びその周辺の社会環境・産業構造において、被ばくの可能性がある就労形態は、第一次産業としては、漁業及び農業(畜産業を含む。)が代表的であり、第二次産業では建設業が代表的である。第三次産業やその他の業種については、労働作業に伴う被ばくの可能性が小さいと考えられ、汚染された土地に居住する人を想定することで代表できると考えられる。

ただし、年間を通じて摂取する全ての食品が、廃棄物埋設地起源の放射性物質を含む生産品とすることは現在の市場の流通状況から考えて基本的に想定されない。このため、就労者が生産活動により得られる食品を自家消費すると想定し、その他については市場から購入すると想定する。

このような状況を考慮して、就労形態の分類に応じて評価対象個人を以下のとお

り設定する⁽¹⁾。

(一) 漁業従事者

漁業従事者は、廃棄物埋設地に居住する人を対象とし、放射性物質が移行する水産物を自家消費すると想定し、その他は一般的な市場に流通した食品を摂取すると想定する。

(二) 農業従事者

農業従事者は、廃棄物埋設地に居住する人を対象とし、放射性物質が移行する農産物については自家消費すると想定し、その他は一般的な市場に流通した食品を摂取すると想定する。

なお、水利用の場合は放射性物質を含む沢水を灌漑に利用する稲作、土地利用の場合は放射性物質を含む土壌上における畑作を想定する。

(三) 畜産業従事者

畜産業従事者は、廃棄物埋設地に居住する人を対象とし、放射性物質が移行する畜産物を自家消費すると想定し、その他は一般的な市場に流通した食品を摂取すると想定する。

(四) 建設業従事者

建設業従事者は、廃棄物埋設地に居住する人を対象とし、一般的な市場に流通した食品を摂取すると想定する。また、廃棄物埋設地において一般的な住宅の建設作業を行うことを想定する。

(五) 居住者

居住者は、廃棄物埋設地に居住する人を対象とし、市場に流通した食品を摂取すると想定する。

c. 廃棄物埋設地の状態設定⁽²⁴⁾⁽²⁵⁾⁽²⁶⁾

放射性物質の生活環境への移行を考慮する際の廃棄物埋設地の状態は、放射性物質の減衰による線量低減効果を期待できる期間として1,000年程度を目安に設定する。着目する移行抑制機能は廃棄物埋設地及び周辺岩盤の低透水性と収着性とする(第7表参照)。

廃棄物埋設地は覆土完了時点を初期状態とし、長期の状態は、廃棄物埋設地の移行抑制機能に係る特性に影響を与える事象を抽出し、それら影響事象を考慮して状態設定を行う。

状態設定においては、移行抑制機能を期待する難透水性覆土、下部覆土及び岩盤(鷹架層)の低透水性並びにセメント系材料(廃棄体の固型化材及び埋設設備)、難透水性覆土、上部覆土及び岩盤(鷹架層)の収着性に着目する。

なお、覆土の遮蔽機能は、覆土が侵食されて遮蔽厚さが薄くなる時期は数万年後であり、その時点では遮蔽機能を必要としないことから、覆土の長期的な遮蔽機能の状態設定は行わない。

第7表 各構成部材に期待する機能

構成部材	移行抑制機能	移行抑制機能の内容
難透水性覆土、下部覆土 ^{*1}	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、廃棄物埋設地の通過流量(埋設設備への浸入水量並びに埋設設備上部及び生活環境への地下水の流出)を低減させる。
岩盤(鷹架層)		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。
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放射性物質の漏えい量を低減し、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。が、土地(土壌)の利用が想定される場合は、上部覆土の収着性が小さい方が線量低減に寄与する。
難透水性覆土		
上部覆土		
岩盤(鷹架層)		

*1:下部覆土は土質系材料であり収着性を期待できるが、難透水性覆土又は下部覆土の一方に収着性を期待することで十分であることから、下部覆土の収着性は考慮しない。

(a) 着目する移行抑制機能に関連する物理的・化学的性質

廃棄物埋設地の低透水性は、主に廃棄体の固型化材、埋設設備、難透水性覆土、下部覆土、上部覆土及び岩盤(鷹架層)のそれぞれの間隙率、密度並びにひび割れの有無に対する物理的性質及び力学条件に依存する。

また、廃棄物埋設地の収着性は、主に廃棄体、埋設設備、難透水性覆土、上部覆土及び岩盤(鷹架層)の鉱物組成並びにそれぞれの間隙水の水質に対する化学的性質及び化学条件に依存する。

(b) 影響事象の抽出・分析(熱-水理-力学-化学)(詳細は補足説明資料3「3. 検討結果」参照)

低透水性及び収着性に影響する事象を把握するため、各部材相互の影響事象を体系的に抽出・分析する。抽出・分析に当たっては、各部材相互の影響事象を熱、水理、力学及び化学の観点で整理する。影響事象については、廃棄物安全小委員会報告書⁽²⁷⁾及びIAEA-ISAM⁽²⁸⁾のFEP(Feature、Event、process)を参考に、廃棄物埋設地の特徴及び「a. 地質環境に係る長期変動事象」で設定した長期変動事象を考慮する。

影響事象分析の結果は、以下に示すとおりである。

(一) 熱

低透水性及び収着性に与える熱的影響事象としては、放射性物質の崩壊熱、セメント系材料の水和熱及び気温変化による地表環境の温度変化があげられる⁽²⁴⁾。これらの事象によって、難透水性覆土及び埋設設備を構成するセメント系材料の熱変質が生じ、それぞれの鉱物組成及び密度が変化することにより、難透水性覆土の低透水性及びセメント系材料の収着性に影響を及ぼすことが考えられる。

(ア) 崩壊熱

廃棄体に含まれる放射性物質の崩壊によって発生する崩壊熱は、埋設する廃棄体に含まれる放射性物質の量が少ないことから、各部材の熱変質が生じる温度⁽²⁹⁾⁽³⁰⁾⁽³¹⁾より十分に小さい。そのため、崩壊熱は影響事象として考慮しない。

(イ) 水和熱

セメント系材料で構成される埋設設備は、外周仕切設備構築時と充填材充填時に水和反応に伴う熱により、部材自体の膨張変化による温度応力が発生する⁽³²⁾。しかし、廃棄物埋設地からの放射性物質の移行は水和熱が低下した後の

覆土完了後に生じること及びセメント系材料の収着性は水和後の特性に期待していることから、水和熱を影響事象として考慮しない。

(ウ) 気温変化

覆土及び岩盤(鷹架層)は、それ自体が発熱することはないが、地表環境の温度変化によって生じる影響があげられる。覆土前の埋設設備は年間の気温の変化の影響を直接受けるが、それによって熱変質が生じるほど温度が上昇しないと考えられる。また、覆土完了後の埋設設備は、地表から 20m 程度の深度に設置されることから、埋設設備の設置位置近傍で想定される温度変化は十分小さい。そのため、年間の気温の変化以上に廃棄物埋設地の温度が変化しないと考えることから、気温変化は影響事象として考慮しない。

(二) 水理

低透水性及び収着性に与える水理的影響事象としては、地下水流動があげられる⁽²⁴⁾。この事象によって、難透水性覆土及び下部覆土の流出に伴い密度が変化し、これら部材の低透水性に影響が生じることが考えられる。

(ア) 地下水流動

一般にベントナイトは膨潤力が大きく、難透水性覆土及び下部覆土の砂粒子の間から膨出したベントナイトが周辺の地下水流動によって流出することが考えられる。しかし、廃棄物埋設地周辺の地下水流速が十分に小さいため、地下水流動による直接的な影響は生じないことから、地下水流動によるベントナイトの流出は影響事象として考慮しない。

(三) 力学

低透水性及び収着性に与える力学的影響事象としては、金属腐食による体積膨張、ガス発生、ベントナイトの膨潤圧及び地震があげられる⁽²⁴⁾。これらの事象によって、埋設設備、難透水性覆土及び下部覆土に変形・損傷又はひび割れが発生することにより、透水性に影響が生じることが考えられる。

(ア) 金属腐食による体積膨張

埋設設備内に含まれる金属腐食による体積膨張に伴い、各部材が変形・損傷し、低透水性に影響することが考えられる。そのため、金属腐食による体積膨張を影響事象として考慮する。

(イ) ガス発生(詳細は補足説明資料3 添付資料1 参照)

埋設設備内に含まれる金属の腐食及び有機物の分解に伴い発生するガスによるガス圧・間隙水圧の上昇又はガスの移行により難透水性覆土及び下部覆土が変形・損傷し低透水性に影響することが考えられる。

埋設設備内におけるガスの発生源は、廃棄体中に含まれる金属又は有機物、廃棄体の容器及び埋設設備内の鉄筋であり、ガス発生量の大半を占めるガス発生物質は、埋設設備内に存在する金属である。

単位時間当たりのガス発生量が最も大きくなるのは、金属類廃棄体⁽³³⁾であり、既往知見⁽³⁴⁾によると、埋設設備1基から1年間に発生する標準状態(0℃、1atm)のガス発生量は、pH12.5～pH13.0及び水温15℃～45℃の条件での腐食速度試験の結果に基づく最大で1,000m³(埋設設備1m³当たり0.064m³/y)と推定され、時間の経過とともに減少すると考えられる。

ベントナイト系材料中のガス移行メカニズムに関する藤山ら⁽³⁵⁾の調査結果によれば、難透水性覆土の内側に蓄積したガスは、気液2相流、卓越流路の形成を伴う hidroリックフラクチャリングのいずれか、又はこれらの両方が共存するガス移行メカニズムに従い、飽和した難透水性覆土中を移行し、破過に至ると考えられ、廃棄物埋設地においてもこれらのガス移行メカニズムが共存する状態であると考えられる。

田中ら⁽³⁶⁾が実施したベントナイト混合土のガス透気試験では、廃棄物埋設地で想定される上記のガス移行メカニズムによりガス破過が生じていると考えられ、ガス破過前後の透水係数に変化は見られなかったことから、難透水性覆土の透水係数の変化は生じないと考えられる。

また、下部覆土については、難透水性覆土の外側にあり、施工時点において確保する透水係数が難透水性覆土よりも2桁程度大きいため、難透水性覆土に比べて容易に水及びガスが移行すると考えられる。このため、下部覆土の低透水性に対するガス破過の影響は、難透水性覆土に対するその影響に包含されるものとする。

以上より、ガス発生による難透水性覆土及び下部覆土の低透水性に有意な影響は生じないことから、ガス発生は影響事象として考慮しない。

(ウ) ベントナイトの膨潤圧

ベントナイトを混合する難透水性覆土及び下部覆土は、地下水により飽和し膨潤することによる圧力(膨潤圧)が発生することに伴い、各部材が変形・損傷し、低透水性に影響することが考えられる。しかし、膨潤圧は周辺の地圧と比較して小さいため⁽³⁷⁾、ベントナイトの膨潤圧は影響事象として考慮しない。

(エ) 地震

過去及び現在の状況から、繰り返し地震が発生することが想定される。地震によって各部材が変形・損傷し、低透水性に影響すると考えられるため、地震による影響評価として、難透水性覆土及び下部覆土の低透水性に対する力学的影響について評価する。地震力の作用により覆土で発生が想定される事象として、力学的な変形及び液状化があげられる。

力学的な変形については、地震力の作用により発生する覆土の変形量が「(d) 各物理的・化学的性質の長期的な状態変化の評価 (一) 金属腐食による体積膨張」に示す金属腐食に伴う埋設設備の変形量と比較して非常に小さいことから、金属腐食の評価に包含される。

液状化については、過去の液状化対策事例として、平成19年新潟県中越沖地震において、管理値(締固め度90%以上)を設定し、埋戻し土(砂及び砂質土)の締固めによる対策を実施した箇所では、震度6弱が発生しているものの、液状化は生じていないと報告されている⁽³⁸⁾。

廃棄物埋設地においても、覆土施工における管理値を同等以上に設定する。覆土は、現地発生土、購入砂、ベントナイト及び礫を仕様に応じて混合した混合土である。よって覆土は、一般に液状化しやすいと知られている「砂分を多く含む、粒度分布が偏った土砂」ではない。上記の液状化対策事例において液状化をしていない箇所で使用されている砂及び砂質土⁽³⁸⁾と比較して、覆土は、液状化抵抗性に関連する締固め性能が良いとされている「粒径分布に広がりを持った材料」であるため、相対的に液状化し難い材料であると判断される。

廃棄物埋設地で発生すると考えられる地震は、「補足説明資料1 地質環境に係る長期変動事象 3.(1)(ii)a.地震」より震度5強を超えないため、過去事例における締固めによる対策を実施した箇所で発生した地震より小さい。

なお、文献⁽³⁹⁾に例示されるような購入砂と異なる粒径分布を持つ材料を混合し覆土を製造することから、購入砂単体と比較し、覆土は粒度分布に広がり

を持つ液状化し難い材料であると考えられる。

以上より、地震によって難透水性覆土及び下部覆土の低透水性に有意な影響は生じないことから、地震は影響事象として考慮しない。

(四) 化学

低透水性及び収着性に与える化学的影響事象としては、地下水との反応、化学的変質、金属腐食、セメント系材料の溶脱、有機物影響、塩影響、コロイド影響、微生物影響及び降下火砕物があげられる⁽²⁴⁾。これらの事象によって、各部材の鉱物組成及び間隙水の水質が変化し、低透水性及び収着性に影響することが考えられる。

(ア) 地下水との反応(化学的変質、セメント系材料の溶脱を含む)

地下水が埋設設備を通過することにより、セメント系材料の溶脱が発生し、鉱物組成及び間隙水の水質の変化が生じる。また、セメント成分が溶解した間隙水と難透水性覆土、下部覆土、上部覆土及び岩盤(鷹架層)が反応⁽³¹⁾⁽⁴⁰⁾し、難透水性覆土、下部覆土、上部覆土及び岩盤(鷹架層)の鉱物の溶解並びに二次鉱物が生成することにより、低透水性及び収着性に影響することが考えられる。そのため、地下水との反応を影響事象として考慮する。

(イ) 金属腐食

埋設設備内に含まれる金属が腐食することによって、地下水に含まれる溶存酸素が消費され、酸化還元環境が変化し⁽⁴¹⁾、収着性に影響することが考えられる。そのため、金属腐食を影響事象として考慮する。

金属腐食は、廃棄物埋設地周辺は酸化雰囲気であること、還元雰囲気下の分配係数は酸化雰囲気下と比較して大きな値となる傾向⁽⁴²⁾があることから、核種の還元が生じるような金属腐食の収着影響は考慮しないものとする。

(ウ) 有機物影響

埋設設備内に含まれる有機物のアルカリ分解反応により放射性物質を捕捉する分解生成物が生成することが考えられる。有機物及び分解生成物が間隙水中に存在する場合には、放射性物質と錯体を形成し、収着性に影響することが考えられる。そのため、有機物の分解生成物を影響事象として考慮する。

(エ) 塩影響

均質・均一固化体に含まれる可溶性塩が地下水中に溶解することによって、

間隙水の水質の変化が生じる。さらに、塩が溶解した間隙水とセメント、難透水性覆土、下部覆土、上部覆土及び岩盤(鷹架層)が反応⁽⁴³⁾し、難透水性覆土、下部覆土、上部覆土及び岩盤(鷹架層)の鉱物の溶解並びに二次鉱物の生成等により、これらの固相に変質が生じ、低透水性及び収着性に影響することが考えられる。

しかし、廃棄物埋設地に埋設する廃棄体は可溶性塩を含まない充填固化体であるため、塩影響は影響事象として考慮しない。

(イ) コロイド影響

各部材の間隙水中にコロイドが存在する場合には、コロイドに放射性物質が収着し、放射性物質の移行が促進される(収着性が阻害される)ことが考えられる。

収着性に影響を与える可能性のあるコロイド影響については、埋設設備の間隙水はセメント平衡水でありコロイドが安定に分散できる環境ではなく、収着性に影響は生じないと考えられることから、コロイド影響は影響事象として考慮しない。

(ロ) 微生物影響

廃棄物埋設地近傍に存在する微生物の活動によって、岩盤(鷹架層)中では有機物が無機化し、収着性が低下することが考えられる。そのため、収着性の評価に際して微生物影響のうち有機物の無機化を影響事象として考慮する。

なお、有機物が分解してガスが発生すること及び金属の腐食反応が促進されることが考えられる。しかし、微生物は高 pH 環境となる埋設設備内や難透水性覆土中においてその活性は低く⁽⁴³⁾、このような活動で生じる化学環境の変化はその他の影響事象に包含されると考えられるため、これらの微生物影響は影響事象として考慮しない。

(ハ) 降下火砕物

降下火砕物が堆積すると、地下水の水質変化が生じ、鉱物の溶解及び二次鉱物の生成により低透水性及び収着性に影響すること並びに上部覆土については化学的変質の影響を直接受けることが考えられる。

しかし、降下火砕物による化学的な影響については、十分な厚さの上部覆土を設置するため、上部覆土による pH 変化などの化学的変化を和らげる緩衝作

用により、溶解・変質などの化学的影響は十分低減され、埋設設備、難透水性覆土及び下部覆土の低透水性及び収着性への影響は無視できる。また、上部覆土に関しては、化学的影響を受ける範囲(緩衝作用の範囲)が表層に限定されることに加え、上部覆土の収着性に影響が生じても線量への感度が小さいことから、降下火砕物は影響事象として考慮しない。

(c) 廃棄物埋設地の初期状態の設定

線量評価においては覆土完了時点を初期状態とし、各部材の初期状態は第 8 表から第 16 表に示す廃棄体及び廃棄物埋設地の寸法、材料等の仕様、性状に基づき、各状態設定の評価においてそれぞれ設定する。状態設定の評価に用いる埋設設備及び覆土の材料仕様は、設計において期待する性能を満たすことができる候補材料から設定する。施工時点において材料仕様が変更になることも予想されるが、期待性能を満たす材料を適切に設定する。

第 8 表 埋設する廃棄体の仕様

廃棄物埋設地	3号
種類	充填固化体*1
重量	1本当たり 1,000kg を超えないもの
内容物	金属類、プラスチック類、保温材・フィルタ類
固型化材	セメント*2
状態変化で考慮する内容物	有機物、金属類

*1: 充填固化体の標準的な製作方法⁽³³⁾により製作。

*2: 「JIS R 5210(1992)」若しくは「JIS R 5211(1992)」に定めるセメント又はこれと同等以上の品質を有するセメント。

第9表 バリア機能への影響を評価する上で考慮する廃棄体の内容物

充填固化体		
内容物	平均重量(kg/本) ^{*1}	備考
天然有機物	0.152 ^{*2}	分別除去後の調査結果。廃棄物重量当たりの含有率は1.7g/kg。
アルミニウム	0.109 ^{*2}	分別除去後の調査結果。廃棄物重量当たりの含有率は1.2g/kg。
金属類	301~305	対象廃棄物の種類のうち、金属を多く含むもので、鉄が大半を占める。

*1: 充填固化体の標準的な製作方法⁽³³⁾に基づいて設定。

*2: 代表的な固体状廃棄物(ドラム缶154本相当)の調査結果であるが、全体的にも同程度の量の内容物が含まれているものとして、平均値として設定した。

第 10 表 埋設設備の寸法*1

埋設設備		3 号
埋設設備構成		8 基
1 基当たり の大きさ	奥行き(南北)	36.51m
	幅(東西)	64.1m
	高さ	6.66m*1
区画/基		66 区画/基
部材厚さ	外周仕切設備(側壁)	60cm
	外周仕切設備(底版)	60cm
	内部仕切設備	40cm
	ポーラスコンクリート層と 廃棄体間の厚さ(セメント系 充填材)	20cm
	覆い	30cm

*1: 勾配調整コン、ひび割れ対策に伴う覆い厚さ変更予定を含まないもの

第 11 表 コンクリートの配合

3 号廃棄物埋設地					
水セメント比 (%)	単位量(kg/m ³)				
	水	結合材*1	混和材*2	細骨材*3	粗骨材
47	155	333	60	729	1019

*1: 中庸熱ポルトランドセメント 70%及びフライアッシュ 30%の混合セメントとし、必要に応じて膨張材を置換する。また、施工時には所定のフレッシュ性状確保のため結合材料に比例して混和剤を添加する。

*2: 石灰石微粉末

*3: 陸砂と砕砂の混合品

第 12 表 難透水性覆土に用いるベントナイト混合土の仕様

項目	仕様	備考
ベントナイト混合率	30%*1	Ca 型ベントナイト
含水比	最適含水比+4%±2%	最適含水比+4%=19.6%

*1：Na 型ベントナイトの場合は 20%

第 13 表 難透水性覆土に用いるベントナイト混合土の主要材料

項目	仕様
Ca 型ベントナイト*1	MBC*2120 以上
コンクリート用細骨材	青森県三沢市砂森産

*1：参考として Na 型ベントナイトも評価した

*2：メチレンブルー吸着量

第 14 表 廃棄物埋設地付近の土質特性(盛土及び第四紀層)

廃棄物埋設地	地 層	湿潤密度 (g/cm ³)	含水比 (%)	土粒子の密度 (g/cm ³)	間隙率 (%)
3 号	盛 土	1.79	26.2	2.72	47.9
	火山灰層	1.54	58.1	2.68	62.7
	段丘堆積層	1.79	29.4	2.66	48.1

第 15 表 廃棄物埋設地付近の鷹架層の特性

廃棄物埋設地	区分		湿潤密度 (g/cm ³)		含水比 (%)		土粒子の密度 (g/cm ³)		間隙率 (%)		試料数 (個)
			平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	
3号	鷹架層	軽石	1.59	0.03	52.1	4.4	2.39	0.01	56.1	2.1	39 (18) ^{*1}
	中部層	凝灰岩									
	軽石凝灰岩層	砂質軽石凝灰岩	1.70	0.03	38.8	2.9	2.48	0.03	50.3	1.9	159 (76) ^{*1}

*1 : ()内の数字は土粒子の密度を測定した試料数を示す。

第 16 表 廃棄物埋設地付近の地下水の水質

項目	単位	測定結果
マグネシウムイオン	Mg ²⁺ mg/L	0.1~3.8
カルシウムイオン	Ca ²⁺ mg/L	0.1未満~7.2
ナトリウムイオン	Na ⁺ mg/L	7.2~31.5
カリウムイオン	K ⁺ mg/L	0.5~5.6
硫酸イオン	SO ₄ ²⁻ mg/L	1.0~21.7
炭酸水素イオン	HCO ₃ ⁻ mg/L	5.6~51.9
塩化物イオン	Cl ⁻ mg/L	12.9~20.3
溶存鉄	Fe mg/L	0.05未満~21.0
pH	—	5.3~8.3
電気伝導度	mS/m	7.2~18.9

(d) 各物理的・化学的性質の長期的な状態変化の評価

「(b) 影響事象の抽出・分析(熱-水理-力学-化学)」に基づき、移行抑制機能を期待する難透水性覆土、下部覆土及び岩盤(鷹架層)の低透水性並びにセメント系材料(廃棄体の固型化材及び埋設設備)、難透水性覆土、上部覆土及び岩盤(鷹架層)の収着性に係る各物理的・化学的性質の長期的な変化を評価する。評価に際しては、FEPにより抽出した影響事象ごとに適切に不確かさを考慮する。

(一) 金属腐食による体積膨張（詳細は補足説明資料4「4. 状態変化(膨張)に必要となる条件設定」及び「5. 1,000年後の状態変化(膨張)の影響評価」参照)

低透水性を有する難透水性覆土及び下部覆土は金属腐食による体積膨張に伴う鉛直方向の変形に対して破断しないように配慮した厚さで設計しており、当該部位に破断が生じる可能性が低いものと考えられる。しかし、難透水性覆土の隅角部には、厚さの減少及び変形に伴う透水性が変化した領域の発生が予想される。そのため、長期状態においては、廃棄物埋設地に生じる現象の不確実性及び金属廃棄物の多様性を考慮した埋設設備の変形量を設定し、難透水性覆土及び下部覆土の低透水性への力学的影響を評価する。

金属腐食による体積膨張に係るパラメータを第17表～第18表に示す。

金属の腐食は、金属と廃棄物埋設地の周辺環境(溶存酸素、酸化還元電位、pH及び水温)との相互作用(電気化学的腐食)により生じる。そのため、埋設設備中の環境条件、金属種類、腐食生成物、腐食膨張倍率及び腐食速度を設定し、状態設定を行う期間(1,000年)において埋設設備の膨張変形を想定する。

金属の腐食による体積膨張に起因する力学的影響評価においては、粒状体個別要素法(Distinct Element Method)解析を用いる。この結果に基づき、難透水性覆土及び下部覆土の透水係数及び厚さは、力学的変形に対し、透水係数に変化は生じないものの厚さが変化する又は開口が生じると設定する(第19表参照)。

第 17 表 埋設設備中の環境条件、金属種類並びに腐食生成物の設定及び設定の考え方

条件		設定	設定の考え方
ORP*1		【確からしい設定】 嫌気的条件	【確からしい設定】 埋設設備の設置深度近傍にて取得された溶存酸素濃度(0.2ppm 未満)及び ORP*1 (-100mV 以下)を参考に設定する。
		【厳しい設定】 嫌気的条件～好気的条件	【厳しい設定】 埋設設備中の溶存酸素の移行経路によっては、廃棄体容器及び金属廃棄物に供給されることが考えられる。また、廃棄物埋設地周辺の地下水に含まれる溶存酸素の供給量の変動した場合を考慮し、嫌気的条件～好気的条件を考慮する。
pH		【確からしい設定】 セメント系材料に生じる一般的な現象を考慮し、高い pH を設定	【確からしい設定】 状態変化の評価期間において、セメント系材料のカルシウムシリケート水和物が溶解することにより高い pH の状態(pH11 以上)となることが考えられるため、これを考慮する。
		【厳しい設定】 上記に加え、セメント系材料から Na 及び K 成分が溶出した場合を考慮し、更に高い pH を設定	【厳しい設定】 セメント系材料のカルシウムシリケート水和物が溶解することに加え、Na 及び K 成分が溶出した場合、pH が更に高い状態に推移する。金属腐食では、pH が変化した場合、腐食膨張倍率の異なる腐食生成物が生成され、金属の膨張量が増加する可能性があることから、これを考慮する。
水温		【共通】 廃棄物埋設地周辺の水温を参考に設定	【共通】 埋設設備の設置深度近傍にて取得された水温(10℃～15℃程度)を参考に設定する。
代表とする 金属種類	鉄	【確からしい設定】 Fe ₃ O ₄	【確からしい設定】 安定な結晶性の腐食生成物であることから Fe ₃ O ₄ を設定する。
		【厳しい設定】 Fe(OH) ₂	【厳しい設定】 金属腐食に伴う膨張に大きく寄与する Fe(OH) ₂ を設定する。
その他 考慮する 金属種類	アルミニウム ニッケル 銅 亜鉛	【確からしい設定】 ・ Al(OH) ₃ ・ Ni(OH) ₂ ・ Cu ・ Zn(OH) ₂	【確からしい設定】 金属腐食に伴う膨張に大きく寄与する水酸化物を設定する。 ただし、銅に関しては、確からしい設定の環境条件下では腐食しないことから銅のままとして設定する。
		【厳しい設定】 ・ Al(OH) ₃ ・ Ni(OH) ₂ ・ Cu(OH) ₂ ・ Zn(OH) ₂	【厳しい設定】 金属腐食に伴う膨張に大きく寄与する水酸化物を一律設定する。

*1：酸化還元環境のうち、酸化還元電位を指す。

第 18 表 腐食膨張倍率並びに腐食速度の設定値及び設定の考え方

条件	設定値	設定の考え方
腐食膨張 倍率	【確からしい設定】 3 倍	【確からしい設定】 代表とする金属種類(鉄)の腐食生成物を Fe_3O_4 とし、その他考慮する金属種類の混入率を 0wt%-50wt%の幅で設定し、金属が混合された状態での腐食膨張倍率を評価した結果、いずれも腐食膨張倍率は 3 倍以下であることから、3 倍と設定する。
	【厳しい設定】 4 倍	【厳しい設定】 環境条件の変動を考慮し、設定した代表とする金属種類並びに非晶質の水酸化物を設定したその他考慮する金属種類の混入率を 0wt%~50wt%の幅で評価した結果、いずれも腐食膨張倍率は 4 倍以下であることから、4 倍と設定する。
腐食速度	【確からしい設定】 0.1 μ m/y	【確からしい設定】 腐食速度の測定手法に内在する測定誤差を考慮し、値を設定する。
	【厳しい設定】 腐食速度を設定せず金属の全量が瞬時に腐食すると設定	【厳しい設定】 腐食膨張量は、金属腐食を評価する上で必要となる環境条件による腐食速度に依存するが、局部腐食(孔食)や異種金属接触腐食、環境条件の変動に係る不確実性を考慮する。よって、廃止措置の開始後の状態変化の評価期間(1,000 年後)においては、腐食形態に係らず全量が瞬時に腐食すると設定する。

第 19 表 金属腐食による体積膨張に係る覆土への力学的影響評価

対象設備 (対象廃棄物)	変形 形態	力学的変形	
		確からしい設定	厳しい設定
3号 廃棄物埋設地 (充填固化体)	膨張	<ul style="list-style-type: none"> ○難透水性覆土 隅角部の厚さが 1m 以上残る状態 (開口無し) ○下部覆土 破断や厚さの変化が生じない状態 	<ul style="list-style-type: none"> ○難透水性覆土 隅角部に約 2m の開口が生じる状態 ○下部覆土 破断や厚さの変化が生じない状態

(二) 地下水との反応による影響(詳細は補足説明資料5「3. 解析結果」参照)

廃棄物埋設地における地下水との反応による影響は、各部材と地下水との反応とそれに伴う難透水性覆土及び下部覆土の透水性並びに埋設設備等のセメント系材料の収着性の変化を考慮する。各部材と地下水との反応は、主に埋設設備内に浸入する地下水量及び水質、各部材を構成する鉱物の溶解度に依存する。

セメント系材料で構成される埋設設備に接する難透水性覆土の透水性は、モンモリロナイトの溶解及び二次鉱物の生成による変質の影響を受けると考えられる。

埋設設備のセメント系材料の収着性は、主要鉱物であるケイ酸カルシウム水和物の溶脱や二次鉱物の生成、またそのような固相変化に応じた間隙水の pH の変化の影響を受けると考えられる⁽⁴³⁾。

このような長期的な変化は、化学反応モデルと物質移行モデルを連成させた地化学解析コード PHREEQC-TRANS⁽⁴⁰⁾を用いて求める。

(ア) 難透水性覆土及び下部覆土

地化学解析によって、鉱物組成、密度、空隙率、間隙水の液性及び覆土の低透水性の変化を評価する。難透水性覆土中の物質移行は、確からしい設定は、ベントナイト中の拡散挙動を空隙率とモンモリロナイトの含有割合を関数とする経験式で設定し、厳しい設定は、モンモリロナイトの割合を0とし、空隙率に比例するとして設定する。

この解析の結果を基に、難透水性覆土の透水係数は、確からしい設定及び厳しい設定ともにモンモリロナイトの密度及び空隙率の変化に応じて変化するものとして設定する。

難透水性覆土の透水係数の化学的影響の評価結果を第20表に示す。化学的影響を受けた場合においても難透水性覆土中のモンモリロナイトが残存することから、下部覆土への化学的な影響による透水係数の変化は生じないものとする。

第 20 表 化学的影響による難透水性覆土の透水係数の評価結果

評価期間	透水係数 (m/s)	
	3 号廃棄物埋設地	
	確からしい設定	厳しい設定
0 年	1.00×10^{-10}	1.00×10^{-10}
1,000 年後	1.01×10^{-10}	1.02×10^{-10}

(イ) 埋設設備等のセメント系材料

埋設設備を構成するセメント系材料の主要な水和鉱物であるケイ酸カルシウム水和物(C-S-H ゲル)は、地下水との反応により緩やかに溶脱し Ca/Si 比は徐々に低下する。しかしながら、廃棄物埋設地内への地下水浸入量はセメント量に対して十分少ないため、状態設定を行う評価期間内において収着性に影響を与えるような著しい Ca/Si 比の低下は生じず、埋設設備内は高 pH 環境 (pH11 以上) となると考えられる。そのため、固相の変化は収着性に影響は生じないものとし、埋設設備内の間隙水は高 pH が維持されるものとして、このような環境条件を想定した試験に基づき収着性を設定する。

(三) 有機物影響 (詳細は補足説明資料 8 「5. (7) 有機物による収着影響」 参照)

埋設設備に存在する可能性のある有機物は、主にセルロースである⁽³³⁾。セルロースはアルカリ性の環境下において分解し、生成したイソサッカリン酸 (ISA) が放射性物質と錯体を形成することで、収着性に影響することが考えられる。その影響は、間隙水中の分解生成物の濃度に依存する⁽⁴⁰⁾。

アルカリ環境での分解試験結果⁽⁴⁴⁾に基づいて、確からしい設定はセルロースの 5%、厳しい設定は 30%が分解することとし、セメント系材料への収着⁽⁴⁰⁾を考慮して、間隙水中の分解生成物の濃度を設定する。

(四) 微生物影響

微生物影響については、岩盤(鷹架層)中では微生物活動によって有機物が無機化することが考えられるため、収着性の設定に際して炭素(C-14)の化学形態が無機形態となることを考慮する。

(e) 着目した移行抑制機能の状態変化の設定

「(b) 影響事象の抽出・分析(熱-水理-力学-化学)」、「(c) 廃棄物埋設地の初期状態の設定」及び「(d) 各物理的・化学的性質の長期的な状態変化の評価」の結果に基づき、廃棄物埋設地及び周辺岩盤(鷹架層)の低透水性及び収着性の長期的な状態変化を設定する。

(一) 低透水性(詳細は補足説明資料6「3. 廃棄物埋設地の状態設定」参照)

難透水性覆土及び下部覆土の低透水性は、力学的影響(金属腐食による体積膨張、ガス発生、地震)及び化学的影響(地下水との反応)によって変化が生じる。これらの変化は、覆土完了時点である初期状態から、埋設設備への地下水の浸入によって徐々に進行する。

力学的影響及び化学的影響は相互干渉せず、独立して覆土に影響を与えると判断するが、状態設定においては、透水係数の増加を局所的に見込むものとする。力学的影響により開口を生じないケースは、化学的影響による変質のみによる状態を設定する。開口が生じるケースは、開口部付近において化学変質が促進されるものとして、透水係数を変質後から更に2桁以上引き上げた状態を設定する。

確からしい設定及び厳しい設定における難透水性覆土及び下部覆土の等価透水係数を第21表に示す。等価透水係数は、上記の状態設定に基づき、難透水性覆土及び下部覆土の厚さと透水係数から算出する。

なお、周辺岩盤についても、覆土と同様の化学的影響により低透水性に変化が生じると考えられるが、その範囲は極めて限定的であり、化学的影響は無視できる。

以上の状態設定に基づき、埋設設備から上部覆土への流出水量($Q_{co}(t)$)及び埋設設備から鷹架層への流出水量($Q_{go}(t)$)を有限要素法による鉛直断面2次元地下水浸透流解析により算定し設定する。地下水浸透流解析に用いる動水勾配の設定値を第5表、透水係数の設定値を第22表、線量の評価に用いる埋設設備から上部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の設定値を第23表に示す。

第 21 表 難透水性覆土及び下部覆土の等価透水係数

廃棄物埋設地	透水係数 (m/s) (評価期間 : 1,000 年後)	
	確からしい設定	厳しい設定
3号廃棄物埋設地	2.0×10^{-10}	1.5×10^{-8}

第 22 表 地下水浸透流解析に用いる透水係数

地盤 又は覆土		計算 ケース	透水係数 (m/s)	設定の考え方
			3号廃棄物埋設地	
廃棄物埋設地 周辺地盤	鷹架層	確からしい設定	5.0×10^{-8}	廃棄物埋設地付近で取得した N 値 50 以上の鷹架層中部層の透水係数の対数平均値*1とする。
		厳しい設定	5.0×10^{-8}	
	第四紀層	確からしい設定	3.0×10^{-6}	廃棄物埋設地付近で取得した盛土、第四紀層及び N 値 50 未満の風化した鷹架層中部層の透水係数の対数平均値とする。
		厳しい設定	3.0×10^{-6}	
廃棄物埋設地	上部覆土	確からしい設定	3.0×10^{-6}	周辺土壌と同程度とする(第四紀層の透水係数と同じ値とする)。
		厳しい設定	3.0×10^{-6}	
	下部覆土	確からしい設定	1.0×10^{-8}	周辺岩盤*2 よりも若干小さい透水係数とする。
		厳しい設定	1.0×10^{-8}	
	難透水性覆土	確からしい設定	2.0×10^{-10}	将来千年後の力学及び化学影響を考慮した等価透水係数とする。
		厳しい設定	1.5×10^{-8}	
	埋設設備	確からしい設定	1.0×10^{-5}	砂程度に劣化した状態の透水係数とする。
		厳しい設定	1.0×10^{-5}	

*1: 原位置試験の対数平均値と巨視的透水係数(割目と基質部における原位置透水試験の透水係数とボーリングや掘削面の地質観察で得た割目のデータから算出)が同程度であることから、簡単に求められる原位置試験の対数平均値を採用した。なお、これらの透水係数を用いて敷地の調査坑道の空洞からの湧水量を 3 次元地下水浸透流解析で計算し、実測値とほぼ一致していることを確認している。

*2: 想定した周辺岩盤は N 値 50 以上の鷹架層とした(透水係数: $5.0 \times 10^{-8} \sim 1.1 \times 10^{-7}$ (m/s))

第 23 表 線量の評価に用いる埋設設備から上部覆土及び埋設設備から鷹架層への流出水量

廃棄物埋設地	設定	埋設設備から上部覆土への流出水量 (m ³ /y)	埋設設備から鷹架層への流出水量 (m ³ /y)
3号廃棄物埋設地	確からしい設定	10	1,100
	厳しい設定	990	2,800

(二) 収着性(詳細は補足説明資料 8「5. 影響事象による各バリア材料への放射性物質の収着影響」参照)

埋設設備及び廃棄体に含まれる有機物の分解生成物が、放射性物質と錯体を形成することで収着性が低下する

収着性に対する影響のうち、確からしい設定及び厳しい設定で異なるものは、有機物影響ではセルロースの分解率とし、分解生成物である ISA の濃度に応じて収着性を設定する。

また、微生物影響については、確からしい設定及び厳しい設定ともに有機炭素が微生物活動によって無機化することを考慮し、炭素(C-14)は無機形態として岩盤(鷹架層)の収着性を設定する。

各部材の収着性は、後述の「(iv) 線量評価パラメータ」において分配係数として扱う。分配係数は、上述の影響事象の状態変化の評価及び状態設定を踏まえ、想定される廃棄物埋設地の環境条件で取得した試験データ又は文献値により設定する。具体的には、実際に廃棄物埋設地を構成する埋設設備及び覆土の各バリア材料並びに廃棄物埋設地周辺から採取した岩盤(鷹架層)を使用し、想定される環境条件(温度、pH、地下水組成)及び放射性物質の化学形態を考慮した試験系で実測された分配係数を適用することを基本とする。

(ii) 線量評価シナリオ

線量評価シナリオは、確からしい自然事象シナリオ、厳しい自然事象シナリオ及び人為事象シナリオの3区分に分類して評価を行う。

各線量評価シナリオにおける放射性物質の移行挙動及び生活環境は、「(i) 状態設定」に基づき設定する。

a. 確からしい自然事象シナリオ

覆土完了後に地下水が再冠水することによって埋設設備の間隙は地下水によって満たされていくこととなる。地下水を介して放射性物質が移行することを評価する場合は、この過渡的な現象は比較的速やかに進行するものとし、線量評価上は覆土完了直後に地下水で飽和するものとして設定する。廃棄体は、放射性物質によって汚染された廃棄物を容器に固型化したものであるため、放射性物質が容易に漏出することはない。また、覆土完了後において長期的に腐食速度が小さい環境となる可能性が高いため、鋼製である容器は腐食し難い状況にあるが、長期的な評価を行う上では、容器による移行抑制機能は考慮しないものとする。

廃棄体内への地下水の浸入に伴い放射性物質が埋設設備内の間隙水中に漏出し、廃棄体から漏えいした放射性物質は、速やかに埋設設備内に均一に分布し、埋設設備内の廃棄体の固型化材、充填材、埋設設備等の収着性に応じて間隙水中に溶解するものとする。

埋設設備内の間隙水に漏えいした放射性物質は、覆土と鷹架層へそれぞれ移行する。漏えいした放射性物質は覆土又は鷹架層とそれぞれの間隙水中を移行し、沢及び尾駱沼又は尾駱沼が淡水化した河川に流入する（「(i) 状態設定 a. 地質環境に係る長期変動事象」参照）。地下水の流入した水域で得られる水産物、水を利用して生産された農産物及び水を利用して飼育された畜産物には、それぞれ水産物への濃縮係数、農産物への移行係数、飼育水の摂取量及び畜産物への移行係数に応じて放射性物質が移行する。よって、沢水及び沼水又は河川水を利用することによって公衆の被ばくが生じるものとする。

なお、仮に廃棄物埋設地から北側(老部川)へ流出した場合と南側(尾駱沼)へ流出した場合では、老部川までの放射性核種の移行距離が尾駱沼への移行距離よりも長いこと及び老部川の交換水量が事業所敷地中央部の沢を含む評価対象地点の交換水量よりも多いことにより、北側(老部川)へ流出した場合の方が線量は低くなる。したがっ

て、地下水の流動方向が変化したとしても影響はない。

また、廃棄物埋設地の近傍土壌及び周辺岩盤への放射性物質の移行は基本的に地下水を介して生じる。漏えいした放射性物質は覆土又は鷹架層とそれぞれの間隙水中を移行するため、分配係数に応じて放射性物質が収着し、土壌や鷹架層中に放射性物質が残存するものとし、廃棄物埋設地における土地の利用によって公衆の被ばくが生じるものとする。

以上の放射性物質の移行挙動を踏まえ、「(i) 状態設定」で設定した確からしい設定のもとで、沢水の利用、沼水又は河川水の利用及び廃棄物埋設地の利用を対象として、明らかに線量が小さいもの及び他の被ばく経路で代表されるものを除外した以下の被ばく経路を設定し、評価対象個人の線量を評価する。

- (a) 沢水の飲用による内部被ばく
- (b) 尾駁沼又は河川水中の水産物の摂取による内部被ばく
- (c) 沢水を利用して生産される灌漑農産物の摂取による内部被ばく
- (d) 沢水を利用して生産される畜産物の摂取による内部被ばく
- (e) 沢水を利用する灌漑作業による外部被ばく及び内部被ばく
- (f) 廃棄物埋設地における屋外労働作業による外部被ばく及び内部被ばく
- (g) 廃棄物埋設地における居住による外部被ばく及び内部被ばく
- (h) 廃棄物埋設地を利用して生産される農耕農産物の摂取による内部被ばく

b. 厳しい自然事象シナリオ

廃棄物埋設地から生活環境までの放射性物質の移行過程は、確からしい自然事象シナリオと同じとする。ただし、確からしい自然事象シナリオにおいて想定していた沢水の飲用については、厳しい自然事象シナリオにおいては放射性物質の濃度の高い廃棄物埋設地近傍の井戸水を飲用することを想定する。厳しい自然事象シナリオでは、様々な不確かさと変動要因を考慮し、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条件で評価する。

廃棄物埋設地から生活環境までの放射性物質の移行は、「(i) 状態設定」で設定した厳しい設定に基づく。

対象とする被ばく経路は以下のとおりとし、評価対象個人の線量を評価する。

- (a) 井戸水の飲用による内部被ばく
- (b) 尾駁沼又は河川水中の水産物の摂取による内部被ばく

- (c) 沢水を利用して生産される灌漑農産物の摂取による内部被ばく
- (d) 沢水を利用して生産される畜産物の摂取による内部被ばく
- (e) 沢水を利用する灌漑作業による外部被ばく及び内部被ばく
- (f) 廃棄物埋設地における屋外労働作業による外部被ばく及び内部被ばく
- (g) 廃棄物埋設地における居住による外部被ばく及び内部被ばく
- (h) 廃棄物埋設地を利用して生産される農耕農産物の摂取による内部被ばく

c. 人為事象シナリオ

人為事象シナリオは、廃棄物埋設地の掘削による放射性物質の廃棄物埋設地からの漏出、天然バリア中の移行及び当該掘削後の土地利用を考慮したシナリオを対象とする。

人為事象シナリオの線量の評価対象とする被ばく経路を以下のとおり設定する。

- (a) 廃棄物埋設地における地下数階を有する建物の建設作業による外部被ばく及び内部被ばく
- (b) 廃棄物埋設地における地下数階を有する建物の建設作業によって発生する土壌上での居住による外部被ばく及び内部被ばく

(iii) 線量評価モデル

線量評価モデルは、廃棄物埋設地の状態や現象の特徴を適切に、かつ簡潔に表現でき、線量が保守側になるよう考慮する。

線量評価モデルの不確かさについては線量評価パラメータを保守的に設定することで考慮する。

a. 自然事象シナリオにおける線量評価モデル

線量評価モデルについて、まず評価の対象となる領域における放射性物質の移行に関する評価モデルを示し、次に被ばく経路に対応した線量を算出するための生活環境における被ばくに関する評価モデルを示す。

(a) 核種の移行に関する評価モデル

(一) 埋設設備及び難透水性覆土内の地下水中の移行

廃棄体に含まれる放射性物質は、埋設設備内に浸入した地下水に漏出し、埋設設備内の固相である固型化材、充填モルタル及び埋設設備のセメント系材料と分配平衡の状態にあるものとして評価する。埋設設備内の放射性物質は、材料の透水性と拡散性に依存するため、放射能濃度の分布が均一とはならないが、放射性

物質の漏出を評価する上では単純化して均一であるものとして評価する。

埋設設備及び難透水性覆土内の地下水中の核種 i の濃度は(1)式～(3)式を用いて計算する。なお、核種 $i+1$ は核種 i の親核種を示す。

$$\begin{aligned} \overline{\varepsilon \cdot Rf(i)} \cdot V_{meq} \cdot \frac{\partial C_{ww}(t, i)}{\partial t} &= S_b \cdot De_b \cdot \left. \frac{\partial C_{bw}(z, t, i)}{\partial z} \right|_{z=0} \\ &\quad - \{Q_{co}(t) + Q_{go}(t)\} \cdot C_{ww}(t, i) \\ &\quad - \lambda(i) \cdot \overline{\varepsilon \cdot Rf(i)} \cdot V_{meq} \cdot C_{ww}(t, i) \\ &\quad + \lambda(i) \cdot \overline{\varepsilon \cdot Rf(i+1)} \cdot V_{meq} \cdot C_{ww}(t, i+1) \end{aligned} \quad \dots (1)$$

(初期条件)

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

$$\overline{\varepsilon \cdot Rf(i)} = \sum_j [P(j) \cdot \varepsilon(j) \cdot Rf(i, j)] \quad \dots (2)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_b \cdot Rf_b(i) \cdot \frac{\partial C_{bw}(z, t, i)}{\partial t} &= De_b \cdot \frac{\partial^2 C_{bw}(z, t, i)}{\partial z^2} - U_b(t) \frac{\partial C_{bw}(z, t, i)}{\partial z} \\ &\quad - \lambda(i) \cdot \varepsilon_b \cdot Rf_b(i) \cdot C_{bw}(z, t, i) \\ &\quad + \lambda(i) \cdot \varepsilon_b \cdot Rf_b(i+1) \cdot C_{bw}(z, t, i+1) \end{aligned} \quad \dots (3)$$

(初期条件) $C_{bw}(z, 0, i) = 0$; $0 < z \leq L_b$

(境界条件) $C_{bw}(L_b, t, i) = 0$

$C_{bw}(0, t, i) = C_{ww}(t, i)$

$C_{ww}(t, i)$: 埋設設備内の時刻*t*における核種*i*の間隙水中濃度 (Bq/m³)

t : 覆土完了後の経過時間 (y)

$A_0(i)$: 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)

S_b : 難透水性覆土の拡散寄与面積 (m²)

De_b : 難透水性覆土の実効拡散係数 (m²/y)

$C_{bw}(z, t, i)$: 難透水性覆土の位置 z 、時刻 t における核種 i の間隙水中濃度 (Bq/m ³)
z	: 難透水性覆土における埋設設備からの距離 (m)
$Q_{co}(t)$: 埋設設備から上部覆土への流出水量 (m ³ /y)
$Q_{go}(t)$: 埋設設備から鷹架層への流出水量 (m ³ /y)
$\lambda(i)$: 核種 i の崩壊定数 (1/y) ; = $\ln 2/T_{1/2}(i)$
$T_{1/2}(i)$: 核種 i の半減期 (y)
ε_b	: 難透水性覆土の間隙率 (-)
$Rf_b(i)$: 難透水性覆土の核種 i の遅延係数 (-) ; $= 1 + \frac{1 - \varepsilon_b}{\varepsilon_b} \cdot \rho_b \cdot Kd_b(i)$
ρ_b	: 難透水性覆土の粒子密度 (kg/m ³)
$Kd_b(i)$: 難透水性覆土の核種 i の分配係数 (m ³ /kg)
L_b	: 難透水性覆土の厚さ (m)
$U_b(t)$: 難透水性覆土の地下水流速 (m/y) ; = $Q_{co}(t)/S_b$

(二) 上部覆土内地下水中の移行

上部覆土内地下水中の核種 i の濃度は、(4)式を用いて計算する。

$$\begin{aligned} & \varepsilon_c \cdot Rf_c(i) \cdot \frac{\partial C_{cw}(x, t, i)}{\partial t} \\ & = De_c \frac{\partial^2 C_{cw}(x, t, i)}{\partial x^2} - U_c \frac{\partial C_{cw}(x, t, i)}{\partial x} \\ & \quad - \lambda(i) \cdot \varepsilon_c \cdot Rf_c(i) \cdot C_{cw}(x, t, i) \\ & \quad + \lambda(i) \cdot \varepsilon_c \cdot Rf_c(i+1) \cdot C_{cw}(x, t, i+1) + f_c(t, i) \quad \dots (4) \end{aligned}$$

(初期条件) $C_{cw}(x, 0, i) = 0$; $-\infty < x < +\infty$

(境界条件) $C_{cw}(\infty, t, i) = 0$

$$U_c \cdot C_{cw}(-L_c, t, i) = De_c \cdot \left. \frac{\partial C_{cw}(x, t, i)}{\partial x} \right|_{x=-L_c}$$

$C_{cw}(x, t, i)$: 距離 x 、時刻 t における上部覆土内地下水中の核種 i の濃度 (Bq/m³)

x : 核種が流入する上部覆土下流端からの距離 (m)

L_c : 核種が流入する上部覆土の地下水流向方向長さ (m)

ε_c	: 上部覆土の間隙率(-)
$Rf_c(i)$: 上部覆土の核種 <i>i</i> の遅延係数(-) ; $= 1 + \frac{1 - \varepsilon_c}{\varepsilon_c} \cdot \rho_c \cdot Kd_c(i)$
ρ_c	: 上部覆土の粒子密度(kg/m ³)
$Kd_c(i)$: 上部覆土の核種 <i>i</i> の分配係数(m ³ /kg)
De_c	: 上部覆土の実効分散係数 ; = $\varepsilon_c \cdot D_0 + \alpha_c \cdot U_c$ (m ² /y)
D_0	: 自由水中の拡散係数(m ² /y)
α_c	: 上部覆土の分散長(m)
U_c	: 上部覆土の地下水流速(m/y)
$f_c(t, i)$: 核種 <i>i</i> の上部覆土への単位体積当たりの漏出量(Bq/(m ³ · y)) ; $= \begin{cases} S_c(t, i)/V_{fc}(t) & (-L_c \leq x \leq 0) \\ 0 & (x < -L_c, 0 < x) \end{cases}$
$S_c(t, i)$: 核種 <i>i</i> の漏出量(Bq/y) ; $= -S_b \cdot De_b \cdot \left. \frac{\partial C_{bw}(z, t, i)}{\partial z} \right _{z=L_b} + Q_{co}(t) \cdot C_{bw}(L_b, t, i)$
$V_{fc}(t)$: 漏出核種が流入する上部覆土の体積(m ³) ; $= Q_c(t) \cdot L_c / U_c$
$Q_c(t)$: 上部覆土内地下水流量(m ³ /y)

(三) 鷹架層内地下水中の移行

鷹架層内地下水中の核種*i*の濃度は、(5)式を用いて計算する。

$$\begin{aligned}
 & \varepsilon_g \cdot Rf_g(i) \cdot \frac{\partial C_{gw}(x, t, i)}{\partial t} \\
 & = De_g \cdot \frac{\partial^2 C_{gw}(x, t, i)}{\partial x^2} - U_g \cdot \frac{\partial C_{gw}(x, t, i)}{\partial x} \\
 & \quad - \lambda(i) \cdot \varepsilon_g \cdot Rf_g(i) \cdot C_{gw}(x, t, i) \\
 & \quad + \lambda(i) \cdot \varepsilon_g \cdot Rf_g(i+1) \cdot C_{gw}(x, t, i+1) \\
 & \quad + f_g(t, i) \quad \dots (5)
 \end{aligned}$$

(初期条件) $C_{gw}(x, 0, i) = 0 ; -\infty < x < +\infty$

(境界条件) $C_w(\infty, t, i) = 0$

$$U_g \cdot C_{gw}(-L_g, t, i) = De_g \cdot \left. \frac{\partial C_{gw}(x, t, i)}{\partial x} \right|_{x=-L_g}$$

$C_{gw}(x, t, i)$: 距離*x*、時刻*t*における鷹架層内地下水中の核種*i*の濃度
(Bq/m³)

x : 核種が流入する鷹架層下流端からの距離(m)

L_g : 核種が流入する鷹架層の地下水流向方向長さ(m)

ε_g : 鷹架層の間隙率(-)

$Rf_g(i)$: 鷹架層の核種*i*の遅延係数(-) ;

$$= 1 + \frac{1 - \varepsilon_g}{\varepsilon_g} \cdot \rho_g \cdot Kd_g(i)$$

ρ_g : 鷹架層の粒子密度(kg/m³)

$Kd_g(i)$: 鷹架層の核種*i*の分配係数(m³/kg)

De_g : 鷹架層の実効分散係数 ; $= \varepsilon_g \cdot D_0 + \alpha_g \cdot U_g$ (m²/y)

α_g : 鷹架層の分散長(m)

U_g : 鷹架層の地下水流速(m/y)

$f_g(t, i)$: 核種*i*の鷹架層への単位体積当たりの漏出量(Bq/(m³・y)) ;

$$= \begin{cases} S_g(t, i)/V_{fg}(t) & (-L_g \leq x \leq 0) \\ 0 & (x < -L_g, 0 < x) \end{cases}$$

$S_g(t, i)$: 核種*i*の漏出量(Bq/y) ; $= Q_{go}(t) \cdot C_{ww}(t, i)$

$V_{fg}(t)$: 漏出核種が流入する鷹架層の体積 (m³) ;
 $= Q_g(t) \cdot L_g / U_g$

$Q_g(t)$: 鷹架層内地下水流量 (m³/y)

(四) 尾駁沼、河川水中又は沢水中の放射性物質の濃度

尾駁沼、河川水中又は沢水中の核種*i*の濃度は、(6)式を用いて計算する。

$$C_{sw}(t, i) = \frac{C_{cw}(X_{cs}, t, i) \cdot Q_{cs}(t) + C_{gw}(X_{gs}, t, i) \cdot Q_{gs}(t)}{Q_s(t)} \dots (6)$$

$C_{sw}(t, i)$: 尾駁沼、河川水中又は沢水中の核種*i*の濃度 (Bq/m³)

X_{cs} : 核種が流入する上部覆土下流端から尾駁沼、河川又は沢までの評価上の距離 (m)

X_{gs} : 核種が流入する鷹架層下流端から尾駁沼、河川又は沢までの評価上の距離 (m)

$Q_{cs}(t)$: 核種が流入する上部覆土から尾駁沼、河川又は沢への地下水流入量 (m³/y)

$Q_{gs}(t)$: 核種が流入する鷹架層から尾駁沼、河川又は沢への地下水流量 (m³/y)

$Q_s(t)$: 尾駁沼、河川又は沢の交換水量 (m³/y)

(五) 井戸水中の放射性物質の濃度

廃棄物埋設地から漏出する放射性物質による廃棄物埋設地における井戸水中の核種*i*の濃度は、(1)式～(4)式及び(7)式を用いて計算する。

$$C_w(t, i) = C_{cw}(X_w, t, i) \dots (7)$$

$C_w(t, i)$: 井戸水中の核種*i*の濃度 (Bq/m³)

$C_{cw}(X_w, t, i)$: 距離*X_w*、時刻*t*における覆土内地下水中の核種*i*の濃度 (Bq/m³)

X_w : 核種が流入する上部覆土下流端から井戸までの評価上の距離 (m)

(六) 沢水を利用する灌漑土壌中の放射性物質の濃度

沢水を利用する灌漑土壌中の核種*i*の濃度は、(8)式を用いて計算する。

$$\frac{dC_{soil}^{ir}(t, i)}{dt} = \frac{C_{ir}(t, i) \cdot F_{ir} \cdot Q_{ir}}{V_{ir} \cdot (1 - \varepsilon_{ir}) \cdot \rho_{ir}} - \frac{Qp_{ir} \cdot C_{soil}^{ir}(t, i)}{V_{ir} \cdot \{\varepsilon_{ir} + (1 - \varepsilon_{ir}) \cdot \rho_{ir} \cdot Kd_{ir}(i)\}} - \lambda(i) \cdot C_{soil}^{ir}(t, i) + \lambda(i) \cdot C_{soil}^{ir}(t, i + 1) \quad \dots (8)$$

- $C_{soil}^{ir}(t, i)$: 灌漑土壌中の核種*i*の濃度 (Bq/kg)
- $C_{ir}(t, i)$: 灌漑用水中の核種*i*の濃度 (Bq/m³) ; = $f u_{ir} \cdot C_{sw}(t, i)$
- $f u_{ir}$: 灌漑における放射性物質を含む沢水の利用率 (-)
- F_{ir} : 灌漑土壌への放射性物質の残留割合 (-)
- Q_{ir} : 単位面積当たりの灌漑水量 (m³/(m²・y))
- V_{ir} : 灌漑土壌の有効体積 (m³/m²)
- ε_{ir} : 灌漑土壌の間隙率 (-)
- ρ_{ir} : 灌漑土壌の粒子密度 (kg/m³)
- Qp_{ir} : 灌漑土壌浸透水量 (m³/(m²・y))
- $Kd_{ir}(i)$: 灌漑土壌の核種*i*の分配係数 (m³/kg)

(七) 廃棄物埋設地の土壌中の放射性物質の濃度

上部覆土内地下水に含まれる放射性物質が、廃棄物埋設地の土壌に残留したときの土壌中の核種*i*の濃度は、(9)式を用いて計算する。

$$C_{soil}^d(t, i) = C_{cw}(X_d, t, i) \cdot \left(\frac{\varepsilon_d}{(1 - \varepsilon_d) \cdot \rho_d} + Kd_d(i) \right) \cdot G_d \quad \dots (9)$$

- $C_{soil}^d(t, i)$: 廃棄物埋設地の土壌中の核種*i*の濃度 (Bq/kg)
- X_d : 核種が流入する上部覆土下流端から濃度算出地点までの評価上の距離 (m)
- ε_d : 廃棄物埋設地の土壌の間隙率 (-)
- ρ_d : 廃棄物埋設地の土壌の粒子密度 (kg/m³)
- $Kd_d(i)$: 廃棄物埋設地の土壌の核種*i*の分配係数 (m³/kg)
- G_d : 廃棄物埋設地の土壌の希釈係数 (-)

(b) 生活環境における被ばくに関する評価モデル

(一) 沢水又は井戸水の飲用による内部被ばく

沢水又は井戸水の飲用により内部被ばくする場合の線量は、(10)式を用いて計算する。

$$D_{dr}(p, t) = \sum_i \{C_{dr}(t, i) \cdot M_{dr} \cdot f_{dr}(p) \cdot DCF_{ing}(i)\} \quad \dots (10)$$

$D_{dr}(p, t)$: 公衆 p の沢水又は井戸水の飲用による線量(Sv/y)

M_{dr} : 水の摂取量(m³/y)

$C_{dr}(t, i)$: 飲用水中の核種 i の濃度(Bq/m³) ;
 $= f_{u_{dr}}(p) \cdot C_{sw}(t, i)$

$f_{u_{dr}}(p)$: 公衆 p の飲用における放射性物質を含む沢水又は井戸水の利用率(-)

$f_{dr}(p)$: 公衆 p の飲用水の市場希釈係数(-)

$DCF_{ing}(i)$: 核種 i の経口摂取による線量換算係数(Sv/Bq)

(二) 尾駁沼又は河川水中の水産物の摂取による内部被ばく

尾駁沼又は河川水中の水産物の摂取により内部被ばくする場合の線量は、(11)式を用いて計算する。

$$D_{aq}(p, t) = \sum_i \left(\sum_m \{C_{sw}(t, i) \cdot CF_{aq}(i, m) \cdot M_{aq}(m) \cdot f_{aq}(p, m) \cdot DCF_{ing}(i)\} \right) \quad \dots (11)$$

$D_{aq}(p, t)$: 公衆 p の尾駁沼又は河川水中の水産物の摂取による線量(Sv/y)

$CF_{aq}(i, m)$: 水産物 m における核種 i の濃縮係数(m³/kg)

$M_{aq}(m)$: 水産物 m の摂取量(kg/y)

$f_{aq}(p, m)$: 公衆 p の水産物 m の市場希釈係数(-)

(三) 沢水を利用して生産される灌漑農産物の摂取による内部被ばく

沢水を利用して生産される灌漑農産物の摂取により内部被ばくする場合の線量は、(12)式及び(13)式を用いて計算する。

(7) 灌漑農産物中の放射性物質の濃度

$$C_{ag}^{ir}(t, i) = C_{soil}^{ir}(t, i) \cdot B_{ag}^{ir}(i) \quad \dots (12)$$

$C_{ag}^{ir}(t, i)$: 灌漑農産物中の核種*i*の濃度 (Bq/kg)

$B_{ag}^{ir}(i)$: 灌漑農産物への核種*i*の移行係数
((Bq/kg-wet 農産物) / (Bq/kg-dry 土壌))

(4) 灌漑農産物摂取による線量

$$D_{ag}^{ir}(p, t) = \sum_i \{ C_{ag}^{ir}(t, i) \cdot M_{ag}^{ir} \cdot f_{ag}(p) \cdot DCF_{ing}(i) \} \quad \dots (13)$$

$D_{ag}^{ir}(p, t)$: 公衆*p*の沢水を利用して生産される灌漑農産物の摂取による線量 (Sv/y)

M_{ag}^{ir} : 灌漑農産物の摂取量 (kg/y)

$f_{ag}(p)$: 公衆*p*の農産物の市場希釈係数 (-)

(四) 沢水を利用して生産される畜産物の摂取による内部被ばく

沢水を利用して生産される畜産物の摂取により内部被ばくする場合の線量は、(14)式及び(15)式を用いて計算する。

(7) 畜産物中の放射性物質の濃度

$$C_{an}(n, t, i) = C_{anw}(t, i) \cdot Q_{anw}(n) \cdot Fa_{an}(n, i) \quad \dots (14)$$

$C_{an}(n, t, i)$: 畜産物*n*中の核種*i*の濃度 (Bq/kg)

$C_{anw}(t, i)$: 家畜用水中の核種*i*の濃度 (Bq/m³) ;
 $= fu_{anw} \cdot C_{sw}(t, i)$

fu_{anw} : 畜産における放射性物質を含む沢水の利用率 (-)

$Q_{anw}(n)$: 家畜*n*の家畜用水摂取量 (m³/d)

$Fa_{an}(n, i)$: 畜産物*n*への核種*i*の移行係数 (d/kg)

(イ) 畜産物摂取による線量

$$D_{an}(p, t) = \sum_i \left(\sum_n \{C_{an}(n, t, i) \cdot M_{an}(n) \cdot f_{an}(p, n) \cdot DCF_{ing}(i)\} \right) \quad \dots (15)$$

$D_{an}(p, t)$: 公衆 p の沢水を利用して生産される畜産物の摂取による線量(Sv/y)

$M_{an}(n)$: 畜産物 n の摂取量(kg/y)

$f_{an}(p, n)$: 公衆 p の畜産物 n の市場希釈係数(-)

(五) 沢水を利用する灌漑作業による外部被ばく及び内部被ばく

沢水を利用する灌漑作業による地表面からの外部被ばく及び地表面の放射性物質を含むダストの吸入摂取による内部被ばくについては、沢水中の放射性物質の濃度、土壌への残留割合から求めた土壌中の放射性物質の濃度に基づき、(16)式及び(17)式を用いて計算する。

(ア) 外部被ばく

$$D_{farm_ext}^{ir}(p, t) = \sum_i \{C_{soil}^{ir}(t, i) \cdot Sh_{work}(p, i) \cdot T_{farm}^{ir}(p) \cdot DCF_{ext}(i)\} \quad \dots (16)$$

$D_{farm_ext}^{ir}(p, t)$: 公衆 p の沢水を利用する灌漑作業時における外部放射線に係る線量(Sv/y)

$Sh_{work}(p, i)$: 公衆 p の屋外労働作業時の核種 i の遮蔽係数(-)

$T_{farm}^{ir}(p)$: 公衆 p の灌漑作業時間(h/y)

$DCF_{ext}(i)$: 核種 i の外部放射線に係る線量換算係数
((Sv/h) / (Bq/kg))

(イ) 内部被ばく

$$D_{farm_inh}^{ir}(p, t) = \sum_i \{C_{soil}^{ir}(t, i) \cdot fd_{farm}^{ir} \cdot I_{work} \cdot T_{farm}^{ir}(p) \cdot DCF_{inh}(i)\} \quad \dots (17)$$

$D_{farm_inh}^{ir}(p, t)$: 公衆 p の沢水を利用する灌漑作業時における吸入摂取による線量(Sv/y)

fd_{farm}^{ir} : 灌漑作業時の空气中ダスト濃度(kg/m³)

I_{work} : 屋外労働作業時の呼吸率(m³/h)

$DCF_{inh}(i)$: 核種 i の吸入摂取による線量換算係数
(Sv/Bq)

(六) 廃棄物埋設地における屋外労働作業による外部被ばく及び内部被ばく

廃棄物埋設地における屋外労働作業により外部被ばく及び内部被ばくする場合の線量は、土壌中の放射性物質の濃度に基づき、(18)式及び(19)式を用いて計算する。

(ア) 屋外労働作業による外部被ばく

$$D_{work_ext}(p, t) = \sum_i \{C_{soil}(t, i) \cdot Sh_{work}(p, i) \cdot T_{work}(p) \cdot DCF_{ext}(i)\} \quad \dots (18)$$

$D_{work_ext}(p, t)$: 公衆 p の屋外労働作業時の外部放射線に係る線量
(Sv/y)

$C_{soil}(t, i)$: 土壌中の核種 i の濃度(Bq/kg)

$T_{work}(p)$: 公衆 p の屋外労働作業時間(h/y)

(イ) 屋外労働作業による内部被ばく

$$D_{work_inh}(p, t) = \sum_i \{C_{soil}(t, i) \cdot fd_{work} \cdot I_{work} \cdot T_{work}(p) \cdot DCF_{inh}(i)\} \quad \dots (19)$$

$D_{work_inh}(p, t)$: 公衆 p の屋外労働作業時の吸入摂取による線量
(Sv/y)

fd_{work} : 屋外労働作業時の空气中ダスト濃度(kg/m³)

(七) 廃棄物埋設地における居住による外部被ばく及び内部被ばく

廃棄物埋設地での居住により屋外において外部被ばく及び内部被ばくする場合の線量並びに居住により屋内において内部被ばくする場合の線量は、それぞれの土壌中の放射性物質の濃度に基づき、(20)式～(22)式を用いて計算する。

(ア) 居住時の屋外における被ばく

① 外部被ばく

$$D_{haboh_ext}(p, t) = \sum_i \{C_{soil}(t, i) \cdot Sh_{haboh}(i) \cdot T_{haboh}(p) \cdot DCF_{ext}(i)\} \quad \dots (20)$$

$D_{haboh_ext}(p, t)$: 公衆 p の居住時の屋外活動による外部放射線に係る線量(Sv/y)

$Sh_{haboh}(i)$: 居住者の屋外における核種 i の遮蔽係数(-)

$T_{haboh}(p)$: 公衆 p の居住時の屋外における滞在時間(h/y)

② 内部被ばく

$$D_{haboh_inh}(p, t) = \sum_i \{C_{soil}(t, i) \cdot fd_{haboh} \cdot I_{inh} \cdot T_{haboh}(p) \cdot DCF_{inh}(i)\} \quad \dots (21)$$

$D_{haboh_inh}(p, t)$: 公衆 p の居住時の屋外活動による吸入摂取による線量(Sv/y)

fd_{haboh} : 屋外における空气中ダスト濃度(kg/m³)

I_{inh} : 居住時の呼吸率(m³/h)

(イ) 居住時の屋内における内部被ばく

$$D_{habih_inh}(p, t) = \sum_i \{C_{soil}(t, i) \cdot fd_{habih} \cdot I_{inh} \cdot T_{habih}(p) \cdot DCF_{inh}(i)\} \quad \dots (22)$$

$D_{habih_inh}(p, t)$: 公衆 p の屋内における吸入摂取による線量(Sv/y)

fd_{habih} : 屋内における空气中ダスト濃度(kg/m³)

$T_{habih}(p)$: 公衆 p の居住時の屋内における滞在時間(h/y)

(八) 廃棄物埋設地を利用して生産される農耕農産物の摂取による被ばく

廃棄物埋設地を利用して生産される農耕農産物を摂取することにより内部被ばくする場合の線量は、(23)式及び(24)式を用いて計算する。

$$C_{ag}^v(t, i) = C_{soil}(t, i) \cdot B_{ag}^v(i) \quad \dots (23)$$

$$D_{ag}^v(p, t) = \sum_i \{C_{ag}^v(t, i) \cdot M_{ag}^v \cdot f_{ag}(p) \cdot DCF_{ing}(i)\} \quad \dots (24)$$

$C_{ag}^v(t, i)$: 生産される農耕農産物中の核種*i*の濃度 (Bq/kg)

$B_{ag}^v(i)$: 農耕農産物への核種*i*の移行係数
((Bq/kg-wet 農産物)/(Bq/kg-dry 土壌))

$D_{ag}^v(p, t)$: 公衆*p*の生産される農耕農産物の摂取による線量 (Sv/y)

M_{ag}^v : 農耕農産物の摂取量 (kg/y)

b. 人為事象シナリオにおける評価モデル

本シナリオにおける評価モデルについて、まず評価の対象となる領域における核種の移行に関する評価モデルを示し、次に被ばく経路に対応した線量を算出するための生活環境における被ばくに関する評価モデルを示す。

(a) 核種の移行に関する評価モデル

(一) 建設作業における土壌中の放射性物質濃度

地下数階を有する建物の建設作業において、放射線源となる掘削される埋設設備を含む土壌中の核種*i*の濃度は(25)式を用いて計算する。

$$C_d(t, i) = \frac{A_0(i)}{V_w \cdot (1 - \varepsilon_s) \cdot \rho_s} \cdot G_p \cdot \exp(-\lambda(i) \cdot t) \quad \dots (25)$$

$C_d(t, i)$: 土壌中の核種*i*の濃度 (Bq/kg)

V_w : 廃棄体の総体積 (m³)

ε_s : 土壌の間隙率 (-)

ρ_s : 土壌の粒子密度 (kg/m³)

G_p : 土壌の希釈係数 (-)

(b) 生活環境における被ばくに関する評価モデル

- (一) 廃棄物埋設地における地下数階を有する建物の建設作業による外部被ばく及び内部被ばく

廃棄物埋設地における地下数階を有する建物の建設作業により外部被ばく及び内部被ばくする場合の線量は、それぞれ(18)式及び(19)式を用いて計算する。ただし、土壌中の核種 i の濃度 $C_{soil}(t,i)$ を $C_d(t,i)$ に置き換える。

- (二) 廃棄物埋設地における地下数階を有する建物の建設作業によって発生する土壌上での居住による被ばく

廃棄物埋設地における地下数階を有する建物の建設作業によって発生する土壌上での居住により外部被ばく及び内部被ばくする線量は、それぞれ(20)式及び(21)式を用いて計算する。ただし、土壌中の核種 i の濃度 $C_{soil}(t,i)$ を $C_d(t,i)$ に置き換える。

(iv) 線量評価パラメータ

放射性物質の生活環境への移行挙動に関しては、確からしい自然事象シナリオでは、「(i) 状態設定 a. 地質環境に係る長期変動事象」及び「(i) 状態設定 c. 廃棄物埋設地の状態設定」で設定した確からしい設定、不確かさを考慮する厳しい自然事象シナリオでは厳しい設定に基づいて線量評価パラメータを設定する。また、生活環境における公衆の被ばくに関しては、「(i) 状態設定 b. 生活環境の状態設定」に基づいて線量評価パラメータを設定する。

確からしい自然事象シナリオと厳しい自然事象シナリオとで異なる設定とする線量評価パラメータは、「埋設設備から上部覆土への流出水量」、「埋設設備から鷹架層への流出水量」、「各核種の分配係数」、「尾駁沼又は河川の交換水量」及び「廃棄物埋設地の土壌の希釈係数」とする。

また、これら以外の各線量評価パラメータにも、様々な不確かさがあると考えられるが、最も可能性が高いと考えられるパラメータの設定が困難なもの、不確かさを踏まえても線量影響が小さいと考えられるものは、各線量評価シナリオで共通の値とし、適切な保守性を考慮した設定とする。

各パラメータの詳細は補足説明資料9を参照。

(v) 線量評価結果

以下に示すとおり、廃棄物埋設地は廃止措置の開始後(覆土完了から300年後)におけ

る埋設した廃棄体に起因して発生すると想定される放射性物質の環境への影響が基準を満たす設計となっており、覆土完了後 300 年で、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できる見通しである。

線量評価結果の経年変化グラフは補足説明資料 10 を参照。

a. 確からしい自然事象シナリオ

廃止措置の開始後の評価における確からしい自然事象シナリオの線量の計算結果を第 24 表に示す。評価対象個人の最大線量は約 $8.0 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/y}$ (3 号廃棄物埋設地) である。

また、事業所内の各廃棄物埋設地の重畳を考慮しても最大線量は約 $4.2 \times 10^0 \mu\text{Sv/y}$ であり、「許可基準規則解釈」に示されている線量の $10 \mu\text{Sv/y}$ を超えない。

b. 厳しい自然事象シナリオ

廃止措置の開始後の評価における厳しい自然事象シナリオの線量の計算結果を第 25 表に示す。評価対象個人の最大線量は約 $2.5 \times 10^1 \mu\text{Sv/y}$ (3 号廃棄物埋設地) である。

また、事業所内の各廃棄物埋設地の重畳を考慮しても最大線量は約 $3.0 \times 10^1 \mu\text{Sv/y}$ であり、「許可基準規則解釈」に示されている線量の $300 \mu\text{Sv/y}$ を超えない。

c. 人為事象シナリオ

廃止措置の開始後の評価における人為事象シナリオの線量の計算結果を第 26 表に示す。廃棄物埋設地における地下数階を有する建物の建設作業による被ばくの線量は約 $2.5 \times 10^{-3} \text{mSv/y}$ (3 号廃棄物埋設地)、廃棄物埋設地における地下数階を有する建物の建設作業によって発生する土壌上での居住による被ばくの線量は約 $1.9 \times 10^{-3} \text{mSv/y}$ (3 号廃棄物埋設地) であり、「許可基準規則解釈」に示されている線量の 1mSv/y を超えない。

d. その他

バリア機能の一部が喪失した場合を仮定した評価における線量は、確からしい自然事象シナリオと比較して、最も厳しい結果となる人工バリアの収着性が喪失した場合でも線量上昇は 20 倍程度である。各バリア材の機能喪失を仮定した 3 号廃棄物埋設地の線量評価結果を第 27 表に示す。線量は線量拘束値である $300 \mu\text{Sv/y}$ に比べ十分に小さく、各バリアが有する機能については、その機能を構成する特性の一つに過度に依存していない。

第 24 表 廃止措置の開始後における評価の結果

(確からしい自然事象シナリオ)

評価対象者	線量 ($\mu\text{Sv/y}$)	
	3号廃棄物埋設地	各廃棄物埋設地の寄与を考慮した線量 ^{*1,2}
(a) 漁業従事者	約 8.0×10^{-1}	約 4.2×10^0
(b) 農業従事者(米)	約 2.6×10^{-1}	
(c) 農業従事者(米以外)	約 1.6×10^{-1}	
(d) 畜産業従事者	約 2.0×10^{-1}	
(e) 建設業従事者	約 1.4×10^{-1}	
(f) 居住者	約 1.4×10^{-1}	

*1：廃棄物埋設地の利用による被ばくは重畳しないため、各廃棄物埋設地の寄与を考慮した最大線量は、覆土完了後の最も線量の大きい廃棄物埋設地の利用による線量に、全廃棄物埋設地の重畳の可能性のある水利用による被ばく経路の線量を足し合わせている。

*2：評価対象個人のうち、被ばく線量が最大となる漁業従事者の線量を記載している。

第 25 表 廃止措置の開始後における評価の結果

(厳しい自然事象シナリオ)

評価対象者	線量 ($\mu\text{Sv/y}$)	
	3号廃棄物埋設地	各廃棄物埋設地の寄与を考慮した線量 ^{*1,2}
(a) 漁業従事者	約 2.5×10^1	約 3.0×10^1
(b) 農業従事者(米)	約 2.4×10^1	
(c) 農業従事者(米以外)	約 2.4×10^1	
(d) 畜産業従事者	約 2.4×10^1	
(e) 建設業従事者	約 2.4×10^1	
(f) 居住者	約 2.4×10^1	

*1：廃棄物埋設地の利用による被ばくは重畳しないため、各廃棄物埋設地の寄与を考慮した最大線量は、覆土完了後の最も線量の大きい廃棄物埋設地の利用による線量に、全廃棄物埋設地の重畳の可能性のある水利用による被ばく経路の線量を足し合わせている。

*2：評価対象個人のうち、被ばく線量が最大となる漁業従事者の線量を記載している。

第 26 表 廃止措置の開始後における評価の結果

(人為事象シナリオ)

評価対象者 (被ばく経路)	線量 (mSv/y)
	3号廃棄物 埋設地
(a) 廃棄物埋設地における地下数階を有する建物の建設作業による外部被ばく及び内部被ばく	約 2.5×10^{-3}
(b) 廃棄物埋設地における地下数階を有する建物の建設作業によって発生する土壌上での居住による外部被ばく及び内部被ばく	約 1.9×10^{-3}

第 27 表 各バリア材の機能喪失を仮定した 3 号廃棄物埋設地の線量評価結果

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/y) (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。	約 1.7×10^1 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 延機能は無視したケー 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。	約 7.0×10^0 支配核種 : Am- 241*2
人工バリアの 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)		5,200	人工バリアの低透水性 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 厳しい自然事象シナリ オの設定 (1.5×10^{-8} (m/s)) よりも更に厳し い設定 (1.0×10^{-7} (m/s)) とする。*3	約 6.4×10^0 支配核種 : C-14
	埋設設備から 鷹架層への 流出水量(m^3/y)		6,200		
確からしい自 然事象シナリ オ	-		-	約 8.0×10^{-1} 支配核種 : C-14	
厳しい自然事 象シナリオ	-		-	約 2.5×10^1 支配核種 : Pu-239	

*1 : 被ばく経路に関しては許可基準規則第十条第四号に記載した厳しい自然事象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 : 確からしい自然事象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 : 人工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、細粒子が残留する状態を想定し、透水係数を 1.0×10^{-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(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) 補足説明資料 7「線量評価パラメータ-埋設設備からの流出水量-」を参照)により算出を行った。確からしい自然事象シナリオの設定値はそれぞれ $10(m^3/y)$ 、 $1,100(m^3/y)$ 、厳しい自然事象シナリオの設定値はそれぞれ $990(m^3/y)$ 、 $2,800(m^3/y)$ である。

5. 参考文献

- (1) International Commission on Radiological Protection(1998): Radiation protection recommendations as applied to the disposal of long-lived solid radioactive waste, ICRP Publication 81
- (2) International Commission on Radiological Protection(2006): Assessing Dose of the Representative Person for the Purpose of the Radiation Protection of the Public and The Optimisation of Radiological Protection: Broadening the Process, ICRP Publication 101
- (3) 土木学会(2008): 余裕深度処分の安全評価における地下水シナリオに用いる核種移行評価パラメータ設定の考え方、社団法人土木学会 エネルギー委員会 低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分に関する研究小委員会、2008.6
- (4) 高橋雅紀(2004): 日本列島の E-W 短縮テクトニクスの原因とその開始時期、日本地震学会 2004 年秋季大会講演予稿集、B048
- (5) 吉田武義、中島淳一、長谷川昭、佐藤比呂志、長橋良隆、木村純一、田中明子、Prima, O. D. A.、大口健志(2005): 後期新生代、東北本州弧における火成活動史と地殻・マントル構造、第四紀研究
- (6) 産業技術総合研究所(2012): 地質・気候関連事象の時間スケールに対する不確実性の検討、独立行政法人産業技術総合研究所 深部地質環境研究コア
- (7) 工藤崇、小林淳、山元孝広、岡島靖司、水上啓治(2011): 十和田火山における噴火活動様式の時代変遷と長期予測、日本第四紀学会講演会要旨集、Vol. 41、pp. 82-83
- (8) 小池一之、町田洋編(2001): 日本の海成段丘アトラス、東京大学出版会
- (9) EPICA community members(2004): Eight glacial cycles from an Antarctic ice core, NATURE, 429
- (10) IPCC(2007): Climate Change 2007: SYNTHESIS REPORT, A Report of the Intergovernmental Panel Climate Change
- (11) Ayako Abe-Ouchi, Fuyuki Saito, Kenji Kawamura, Maureen E. Raymo, Jun'ichi Okuno, Kunio Takahashi, Heinz Blatter. (2016): Isolation-driven 100,000-year glacial cycles and hysteresis of ice-sheet volume, Nature, vol.500, p.190-194
- (12) ANDRA(2005): Phenomenological evolution of a geological repository

- (13) Yamanaka, M., Ishikawa, S. and Sugawara, K. (1990): PALYNOLOGICAL STUDIES OF QUATERNARY SEDIMENTS, IN NORTHEAST JAPAN, VII. SHIRIYA-ZAKI MOOR IN SHIMOKITA PENINSULA, ECOLOGICAL REVIEW, 22, 1
- (14) 松末和之、藤原治、末吉哲雄(2000) : 日本列島における最終氷期最寒冷期の気候、サイクル機構技報、vol.6
- (15) Nakagawa, T., Tarasova, P.E., Nishida, K., Gotanda, K. and Yasuda, Y. (2002): Quantitative pollen-based climate reconstruction in central Japan: application to surface and Late Quaternary spectra
- (16) 登坂博行(2006) : 地圏の水環境科学, 東京大学出版会
- (17) 気象庁(1981~2010) : 過去の気象データ検索、
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- (18) 気象庁(1981~2010) : 世界の地点別年平均値、
<http://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/monitor/climatview/frame.php>
- (19) L.Labeyrie, J.Cole, K.Alverson and T.Stocker(2003): The History of Climate Dynamics in the Late Quaternary, Paleoclimate, Global Change and the Future, p. 33-71.
- (20) Rohling et al. : Magnitudes of sea-level lowstands of the past 500,000 years, NATURE, (394), pp.162-165, (1998)
- (21) IPCC(2013) : Climate Change 2013:The Physical Science Basis, AR5, WG I, 第5次評価報告書第1作業部会報告書-技術要約一、気象庁翻訳(2013)
- (22) C.W.Thornthwaite(1948): An Approach toward a Rational Classification of Climate , Geographical Review Vol. 38, No. 1 (Jan., 1948), pp. 55-94
- (23) 亀井翼(2013) : モグラによる遺物の埋没と埋没後擾乱-茨城県稲敷郡美浦村陸平貝塚を対象として-, 第四紀研究、Vol.52、No.1、pp.1-12
- (24) 一般社団法人 日本原子力学会(2018) : 日本原子力学会標準 浅地中ピット処分の安全評価手法 : 2016
- (25) 社団法人 土木学会 エネルギー委員会 低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分に関する研究小委員会(2009) : 余裕深度処分における地下施設の設計, 品質管理および検査の考え方

- (26) 社団法人 土木学会 エネルギー委員会 低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分に関する研究小委員会(2008)：余裕深度処分の安全評価における地下水シナリオに用いる核種移行評価パラメータ設定の考え方
- (27) 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会(平成 15 年)：廃棄物安全小委員会報告書－高レベル放射性廃棄物処分の安全規制に係る基盤確保に向けて－
- (28) International Atomic Energy Agency(2004)：Safety Assessment Methodologies for Near Surface Disposal Facilities, Results of a co-ordinated research project
- (29) 一般社団法人 日本機械学会(2014)：発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格
- (30) 日本建築学会(2013)：原子力施設鉄筋コンクリート構造 計算規準・同解説、pp. 76～77
- (31) 横山信吾、佐藤努、大谷祐介、高山英樹、中村邦彦、田中幸久、廣永道彦(平成 19 年)：低レベル放射性廃棄物処分施設における人工バリアの耐久性評価、-アルカリ環境下でのベントナイト系材料中のモンモリロナイト溶解に関する研究-、電力中央研究所研究報告、N07006
- (32) 土木学会(2012)：コンクリート標準示方書[設計編]、pp. 91-98
- (33) 北海道電力株式会社、東北電力株式会社、東京電力ホールディングス株式会社、中部電力株式会社、北陸電力株式会社、関西電力株式会社、中国電力株式会社、四国電力株式会社、九州電力株式会社、日本原子力発電株式会社(2016)：充填固化体の標準的な製作方法
- (34) 三菱マテリアル株式会社・日揮株式会社・大成建設株式会社・清水建設株式会社、鹿島建設株式会社(平成 9 年)：六ヶ所 2 号廃棄物埋設施設に関するガスの透気評価
- (35) 藤山哲雄ら(平成 20 年)：ベントナイト・セメント系材料のガス移行評価に関する文献調査、電力中央研究所 調査報告、N07021
- (36) 田中幸久、廣永道彦(平成 26 年)：飽和した Ca 型ベントナイト混合土のガス移行特性評価、電力中央研究所報告、N13011

- (37) 前田宗宏、棚井憲治、伊藤勝、三原守弘、田中益弘(1998)：カルシウム型化及びカルシウム型ベントナイトの基本特性－膨潤圧、透水係数、一軸圧縮強度及び弾性係数－、PNC TN8410 98-021
- (38) 下水道地震対策技術検討委員会(平成 20 年)：下水道地震対策技術検討委員会報告書 能登半島地震・新潟県中越沖地震の総括と耐震対策の評価および下水道の担うべき機能を継続的に確保する方法の考え方
- (39) (社法)地盤工学会(2009)：地盤材料試験の方法と解説
- (40) 電気事業連合会 核燃料サイクル開発機構(平成 17 年)：TRU 廃棄物処分技術検討書－第 2 次 TRU 廃棄物処分研究開発取りまとめ－
- (41) 金子昌章、三浦律彦、藤原愛、山本正史(平成 16 年)：還元性環境での金属腐食に起因するガス発生量評価、原環センター技術報告書、RWMC-TRJ-03001
- (42) Erich Wieland, Luc R. Van Loon(2003):Cementitious Near-Field Sorption Data Base for Performance Assessment of an ILW Repository in Opalinus Clay, PSI Bericht Nr. 03-06
- (43) 電気事業連合会 核燃料サイクル開発機構(2005)：TRU 廃棄物処分技術検討書－第 2 次 TRU 廃棄物処分研究開発取りまとめ－根拠資料集 分冊 3 FEP
- (44) MARTIN A. GLAUS AND LUC R. VAN LOON(2008): Degradation of Cellulose under Alkaline Conditions: New Insights from a 12 Years Degradation Study, Environ. Sci. Technol. 42, 2906-2911