

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)

(1号、2号及び3号廃棄物埋設施設)

2021 年 5 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	87

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	
	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
漏出防止機能	○	—
移行抑制機能	—	○
遮蔽機能	○	○

○：安全機能を維持する

—：考慮しない

3. 許可基準規則への適合のための評価方針

廃止措置の開始後、廃棄物埋設地は、廃棄物埋設地の保全に関する措置を必要としない状態に移行する見通し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」とは、廃止措置の開始後の評価において、科学的に合理的と考えられる範囲の人工バリアや天然バリアの状態及び被ばくに至る経路の組合せのうち、最も可能性が高いと考えられるパラメータを設定した自然事象シナリオ(以下「最も可能性が高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「最も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、自然事象シナリオ以外の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

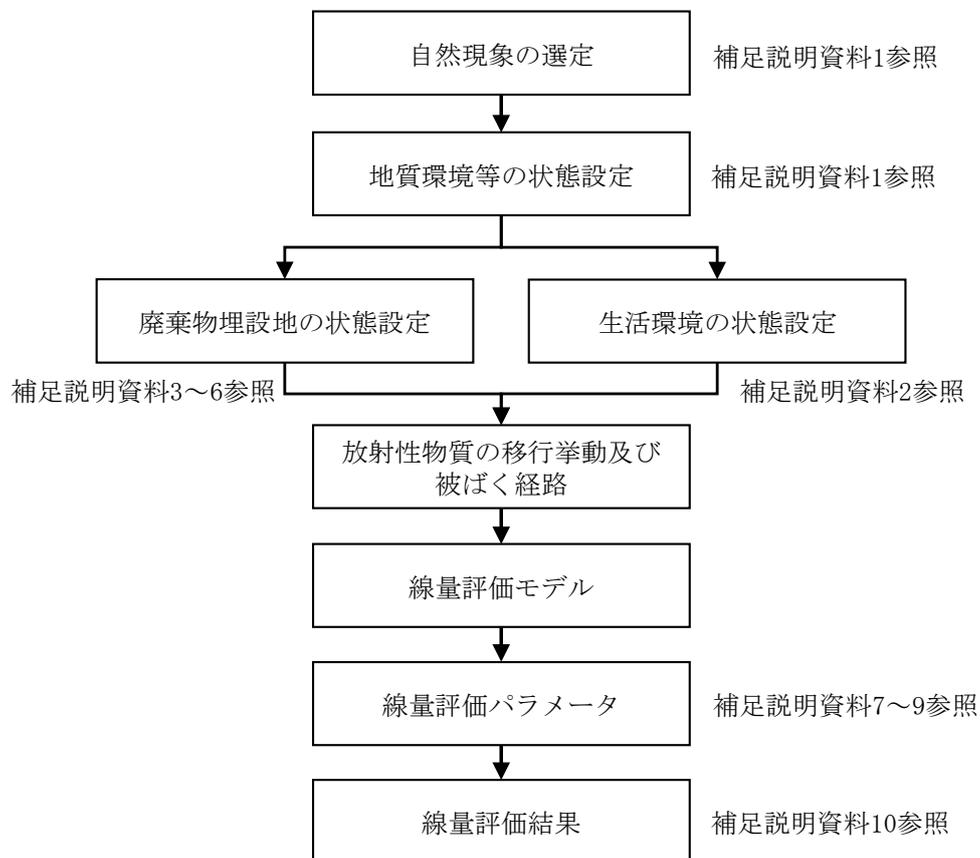
た人為事象シナリオで評価される公衆の受ける線量が 1mSv/y を超えないこととする。

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、最も可能性が高い自然事象シナリオにあつては $10 \mu\text{Sv}/\text{y}$ を超えないこと、最も厳しい自然事象シナリオにあつては $300 \mu\text{Sv}/\text{y}$ を超えないこと及び人為事象シナリオにあつては $1\text{mSv}/\text{y}$ 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て、10,000年程度までを目安とする。また、廃棄物埋設地等の状態の設定を行う将来の期間は、廃止措置の開始までの十分な減衰及び岩盤(鷹架層)中の移行遅延を期待できない放射性物質の影響が、比較的有意に生じると想定される時期を含む期間である1,000年程度とし、線量評価においては、覆土完了時点において廃棄物埋設地及びその周辺環境は1000年後の状態になるものとし、その状態が継続するものとする。

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の変化、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て、人工バリア及び天然バリアの状態の変化に関する要素を体系的に収集・分析し、評価すべきシナリオを設定する。

(i) 自然事象シナリオ

自然事象シナリオでは、以下に示すような自然事象による廃棄物埋設地からの放射性物質の移行及び公衆の受ける線量を評価する。

廃棄物埋設地に埋設処分する放射性廃棄物に含まれる放射性物質は、埋設設備に浸入する地下水を介して、人の活動する領域に到達し、放射性物質を含んだ水及び土地を利用した様々な生産活動、生産物の摂取等の人間活動により、公衆が被ばくすることが想定される。人が活動する領域のうち、放射性物質が到達する領域で、一般的な水の利用と土地の利用が想定される範囲における人間活動の状況を「生活環境」という。

廃止措置の開始後の公衆の受ける線量の評価に当たっては、将来の地質環境、気象環境及び水理環境(以下「地質環境等」という。)と、将来の廃棄物埋設地の状態並びに将来の公衆の生活環境を設定する。将来の地質環境等については、プレート運動、気候変動等による廃棄物埋設地の取り巻く環境を設定する。将来の廃棄物埋設地の状態につい

ては、廃棄物埋設地を構成する各部材の変質等による廃棄物埋設地の物理的、化学的性質の変化を考慮して、期待するバリア機能の状態を設定する。将来の公衆の生活環境については、ICRP Pub. 81⁽¹⁾及びICRP Pub. 101⁽²⁾の考え方を参考に、廃棄物埋設地に起因して被ばくを受けると合理的に想定される集団を代表する個人(以下「評価対象個人」という。)及び評価対象個人の時間の過ごし方等の人間活動の程度(以下「生活様式」という。)を設定する。ここで、地質環境等と将来の廃棄物埋設地の状態に関しては、自然現象であることから、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合理的に設定する。将来の公衆の生活環境に関しては、ICRP Pub. 81⁽¹⁾を踏まえて、現在の生活様式が将来も継続すると仮定する。

最も可能性が高い自然事象シナリオは、平均的な被ばくを受けると想定される評価対象個人の線量が、低く抑えられていることを確認するため、科学的に合理的と考えられる範囲の廃棄物埋設地の人工バリアや天然バリアの状態及び生活環境における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。本シナリオの評価に当たって、地質環境等は、公衆の受ける線量が現実的な値となるように、データの不確かさ(変動幅)を踏まえて、気温、降水量等を現実的(平均値等の代表性が高い値)に設定する。将来の廃棄物埋設地の状態も同様に公衆の受ける線量が現実的な値となるようにデータの不確かさ(変動幅)を踏まえて、人工バリア及び天然バリアの機能として期待する透水係数、分配係数等を現実的(平均値等の代表性が高い値)に設定する。生活様式については、「日本原燃(株)廃棄物埋設事業変更許可申請における廃止措置の開始後の公衆の被ばく線量評価に係る審査方針について～将来の人間活動に関する設定～」(以下「審査方針」という。)に基づき、現在の生活様式を考えて現実的でもっともらしい仮定に基づいて設定する。

最も厳しい自然事象シナリオは、最大の被ばくを受けると想定される評価対象個人の線量であっても、著しい被ばくを受けないことを確認するため、科学的に合理的と考えられる範囲の廃棄物埋設地の人工バリアや天然バリアの状態及び生活環境における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。本シナリオの評価に当たって、地質環境等は、公衆の受ける線量が大きく厳しくなるようにデータの不確かさ(変動幅)を踏まえて、気温、降水量等を保守的に設定する。将来の廃棄物埋設地の状態も同様に、公衆の受ける線量が大きく厳しくなるようにデータの不確かさ(変動幅)を踏まえて、人工バリア及び天然バリアの機能として期待する透水係数、分配

係数等を保守的に設定する。将来の公衆の生活様式については、「審査方針」に基づき、現在の生活様式を考えて合理的に保守的でもっともらしい仮定に基づいて設定する。

なお、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。

a. 地質環境等の状態設定

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、地上に比べ安定である。

しかし、長期的な観点で見ると、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等は有意に変化することが予測される。

この地質環境等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。

(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は、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)~(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及び地下水の水質の変化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のある火山・火成活動は

降下火砕物だけであるが、覆土完了後においては火砕物密度流についても想定する。長期変動事象としては、直接的に廃棄物埋設地が損傷することが想定される事象として、新しい火口の開口を想定する。

以上より、火山・火成活動として降下火砕物、火砕物密度流及び火口の開口を想定する。

(ア) 降下火砕物

覆土完了後において、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、廃棄物埋設地の状態設定において化学的影響を考慮する。

(イ) 火砕物密度流

火砕物密度流は、今後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低く⁽⁷⁾、仮に敷地に到達したとしても、火砕物密度流の影響範囲は表層に限定されるため、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しない。

(ウ) 火口の開口

新しい火口の開口は、敷地が廃棄物埋設地に影響を及ぼし得る火山の過去の火口及びその近傍に位置しないこと、並びに火山フロントより前弧側(東方)に位置することから、これらの火山事象が敷地において発生する可能性はない。よって、新しい火口の開口は長期変動事象として考慮しない。

(二) 地震・断層活動

地震・断層活動は、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。

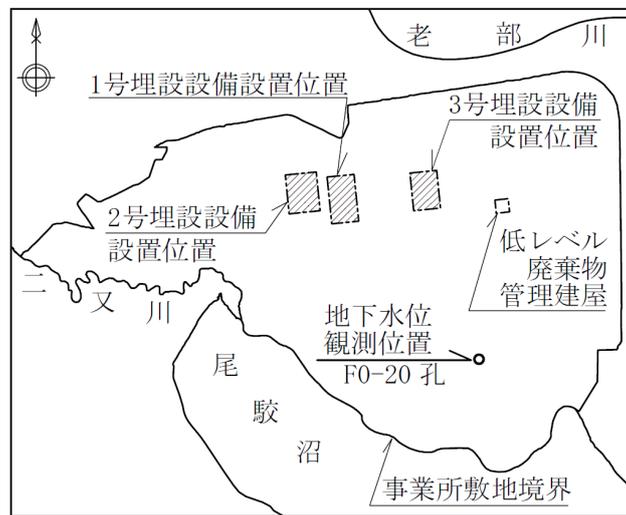
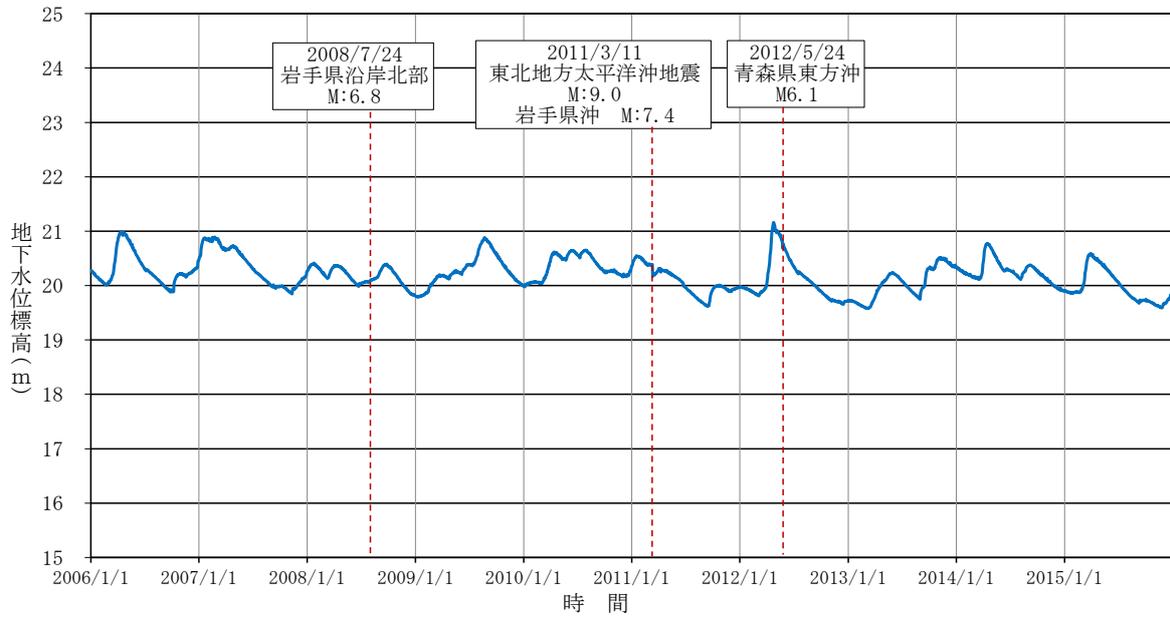
(ア) 地震

敷地付近は、マグニチュード6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り、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力学的影響を評価する。

震度4程度の地震時において、敷地内の観測孔で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程度の地震では地下水位の

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、地震の水理的影響は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、断層活動の力学的影響は長期変動事象として考慮しない。

(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液状化による影響を考慮する。

(三) 隆起・沈降運動

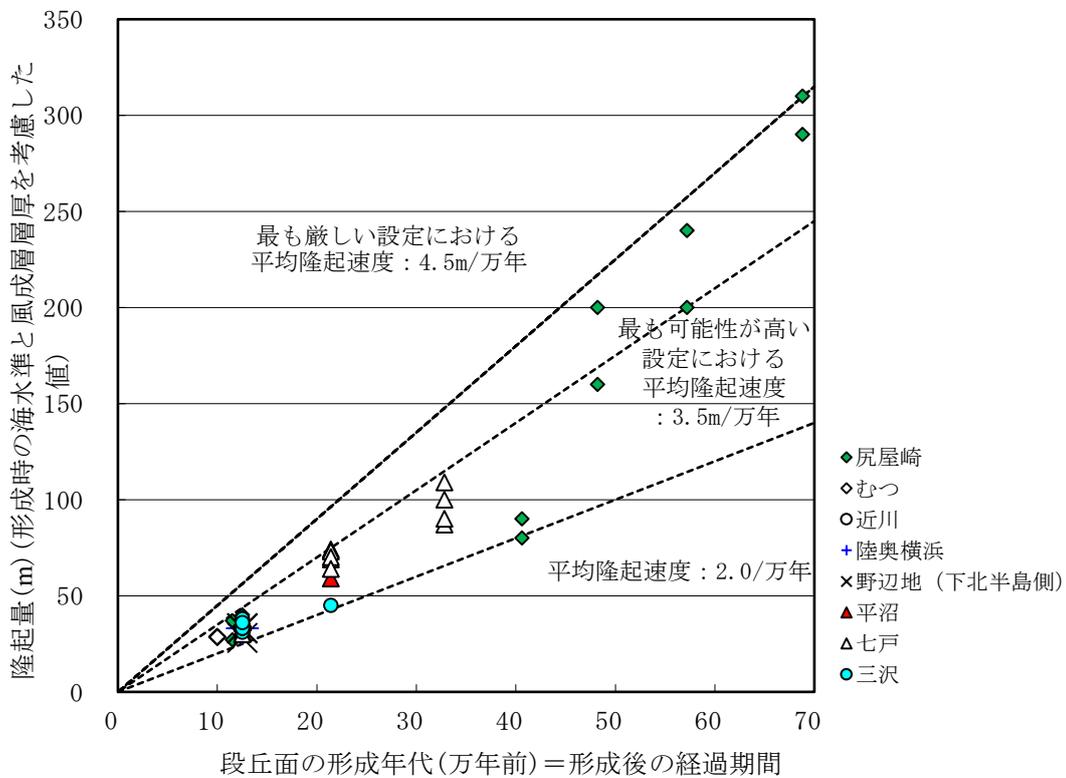
隆起・沈降運動は廃棄物埋設地を直接損傷させることはないが、地形勾配の変化や侵食基準面から廃棄物埋設地までの比高の変化に伴い侵食・堆積環境が変化する。侵食・堆積環境の変化により、地下水流動に影響すること、また、埋設設備が地表に接近する可能性があることから、隆起・沈降運動を長期変動事象として考慮し、隆起・沈降運動の速度を設定する。

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。

また、廃棄物埋設地付近に分布する海成段丘面(M₁面、12.5万年)の形成年代と旧汀線高度及び相対海水準を考慮して平均隆起速度を計算すると最大で3.5m/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/万年を最も可能性が高い設定とする。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/万年を最も厳しい設定とする。



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ことから⁽⁹⁾、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⁾。

以上より、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」を長期変動事象として考慮する⁽³⁾。

(一) 気温・降水量変化

気温・降水量の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。よって、気温・降水量の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。

気温と降水量は正の相関関係があり、降水量が低下するほど希釈に寄与する交換水量が少なくなるため、気温及び降水量は低いほど保守的な設定となる。したがって、以下に示す寒冷化ケース及び温暖期継続ケースの検討結果に基づいて、保守的となる寒冷化ケースの状態を設定する。設定した気温と降水量の値を第3表に示す。

(ア) 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駱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。

【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最も可能性が高い設定は、両手法の平均的な値から 0°C とする。

将来の氷期最盛期の年平均気温の最も厳しい設定は、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約 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 を低下させると -5°C となる。しかし、氷期最盛期は主な評価対象期間より1万年以上先であること、降水量の状態設定においては気温と降水量の相関関係の不確かさを考慮することから、ここでは最も可能性が高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。

将来の気温の変動曲線を第5図に示す。同図から、最も可能性が高い設定では約8万年後に氷期最盛期になると想定し、最も厳しい設定では約6万年後に氷期最盛期になると想定する。

上記の現在及び氷期最盛期の気温並びに気温の変動曲線を踏まえ、最も可能性が高い設定及び最も厳しい設定において、寒冷化ケースにおける1,000年後の気温を 8°C と設定する(第3表参照)。

【温暖期継続ケースにおける気温設定】

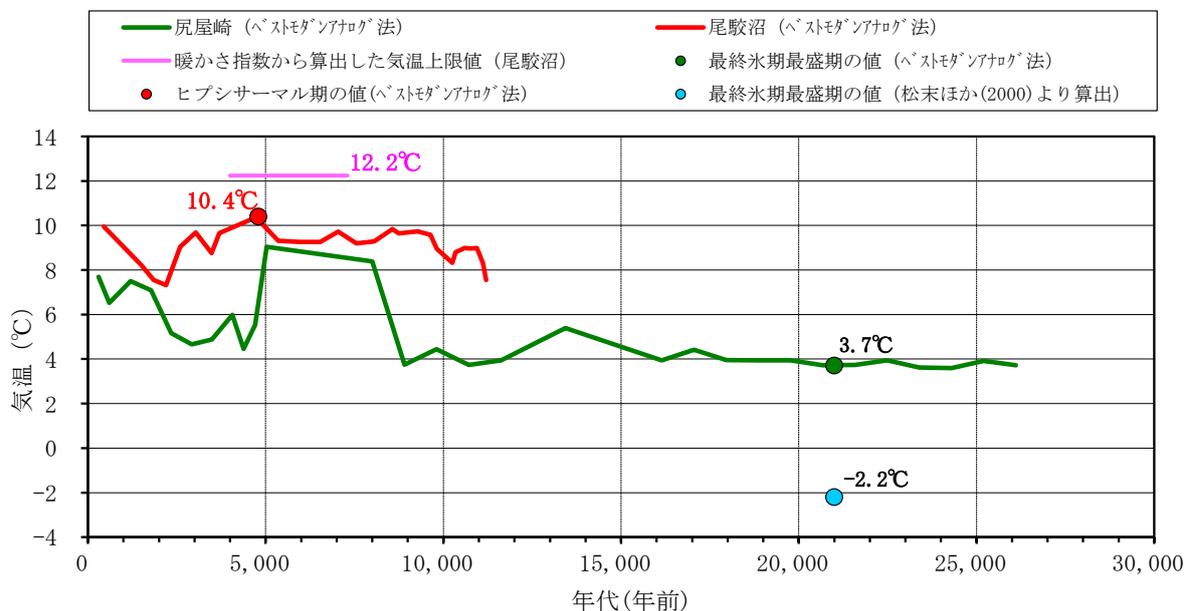
温暖期継続ケースにおいては、温暖期における最高気温のみを設定し、その気温が現在から継続すると想定する。

尾駁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)。

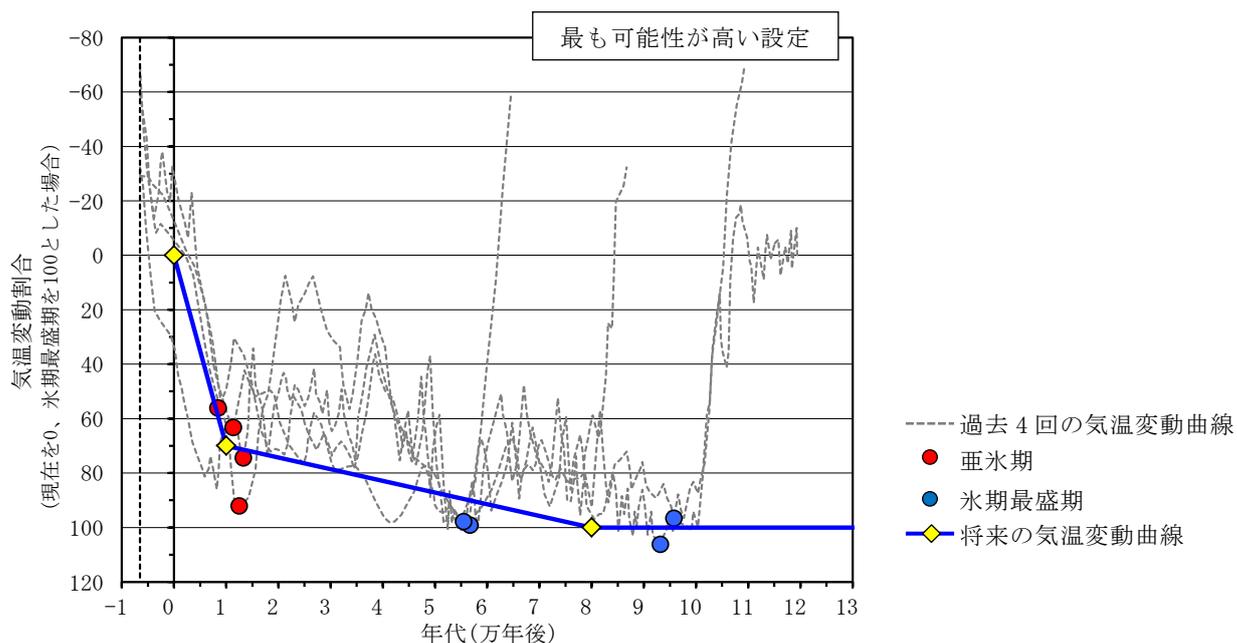
一方、人間活動による温室効果ガス濃度を考慮したシミュレーション結果によれば、2090年～2099年には世界平均で現在より0.3℃～6.4℃上昇する可能性が指摘されている⁽¹⁰⁾。よって、過去30年間の敷地周辺の年平均気温である9℃にシミュレーション結果の平均的な上昇値である3℃を加えた12℃を最も可能性が高い設定とする。この値は、花粉化石群集データより推定した12.2℃とも整合している。

また、最も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℃にシミュレーション結果のほぼ最大上昇値である6℃を加えると15℃となる。しかし、寒冷化ケースと同様に後述する降水量の状態設定における気温と降水量の相関関係において、不確かさを考慮した方が希釈に寄与する交換水量は少なくなることから、ここでは最も可能性が高い設定の気温である12℃とする。

上記の設定を踏まえ、最も可能性が高い設定及び最も厳しい設定において、温暖期継続ケースにおける1,000年後の気温を12℃と設定する。

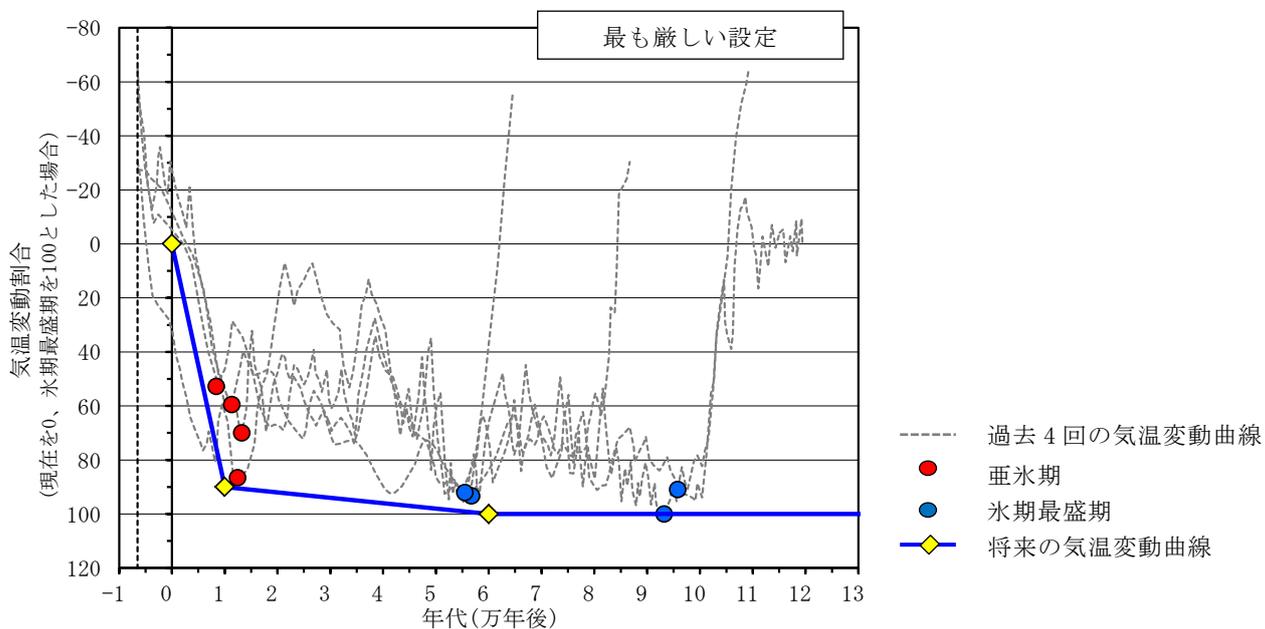


第4図 花粉分析による過去26,000年間の気温変動



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)(1/2)



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)(2/2)

(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。

- ・北半球の太平洋側西部に位置すること
- ・アリソフの気候区分が亜極帯～寒帯であること
- ・沿岸海流が寒流であること
- ・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
- ・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

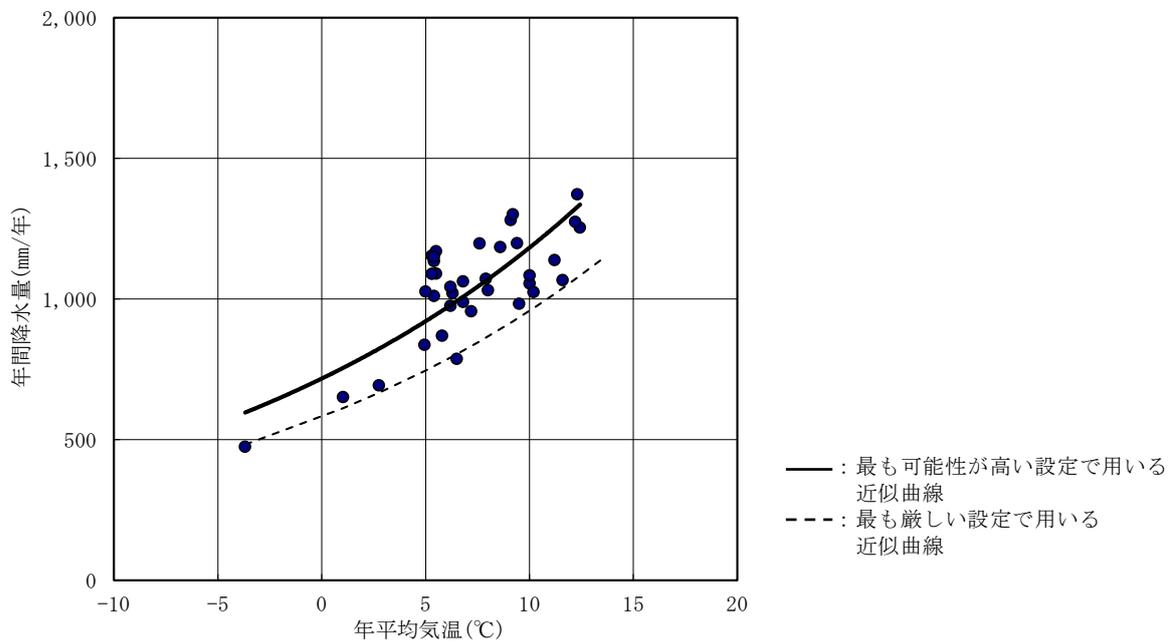
上記条件で抽出された地点のうち、過去 30 年以上の気象データの存在する 36 地点の年平均気温と年降水量を整理し(第 2 表参照)、36 地点の気温と降水量の関係(第 6 図参照)を指数回帰式で表した。将来の降水量は、年平均気温と年降水量との関係から求めるため、寒冷化ケース及び温暖期継続ケースは同様の指数回帰式で設定する。

最も可能性が高い設定においては、この指数回帰式を用いて降水量を設定し、最も厳しい設定においては、気温と降水量の関係のばらつきを考慮し、交換水量が少なくなるように、気温と降水量の下限値の指数回帰式を用いて設定する(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年平均気温と年降水量

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 6 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)
最も可能性が高い設定	現在 ^{*1}	9	1,120	580	1.3×10 ⁷
	1,000 年後	8	1,070	560	1.2×10 ⁷
最も厳しい設定	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(第 4 表も同様)。

(二) 海水準変動

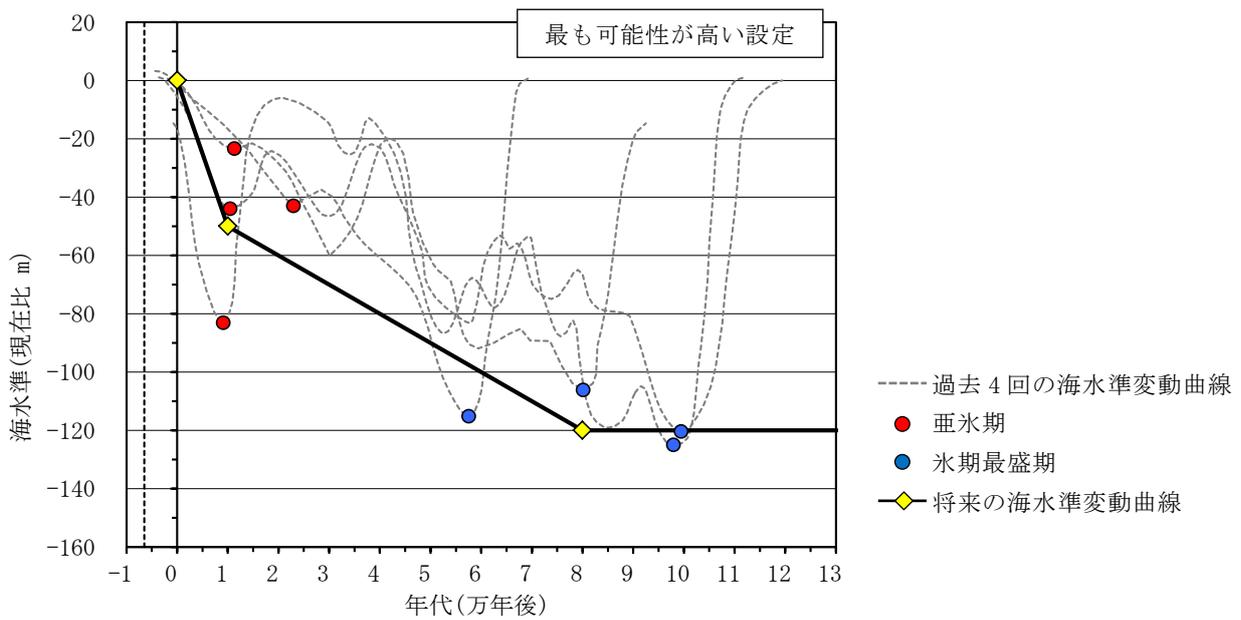
海水準変動は、廃棄物埋設地を直接損傷させることはないが、海水準変動が生

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动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。交換水量に用いる流域面積は、海水準が低下した方が交換水量が少なくなるため、寒冷化ケースの方が保守的となる。

(ア) 寒冷化ケースにおける海水準の設定

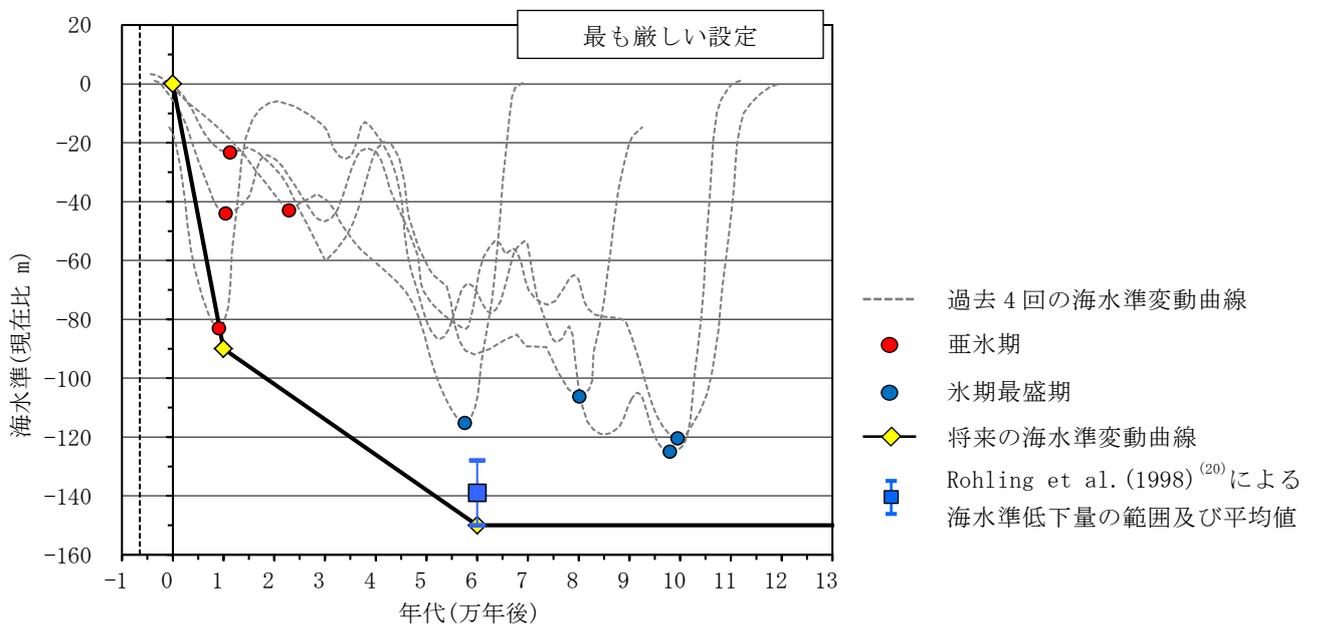
世界的な海水準変動は、気候変動に伴う大陸氷床の拡大・縮小に伴って生じる現象と考えられており、過去の海水準変動は気候変動と同様に、約8万年周期から約12万年周期で低海水準期と高海水準期を繰り返している⁽¹⁹⁾。

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平均値及び変動幅⁽¹⁹⁾を考慮して設定する。第7図に将来の海水準の変動曲線(最も可能性が高い設定)及び将来の海水準の変動曲線(最も厳しい設定)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7図 将来の海水準の変動曲線(1/2)



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7図 将来の海水準の変動曲線(2/2)

(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)のうち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⁽²¹⁾がある。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、不確かさ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、最も可能性が高い設定において不確かさを考慮していることから、最も可能性が高い設定と最も厳しい設定は同様に、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。

(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」を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。

地形変化は、湖沼の河川化及び沿岸流や河川等による侵食がある。

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駮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。

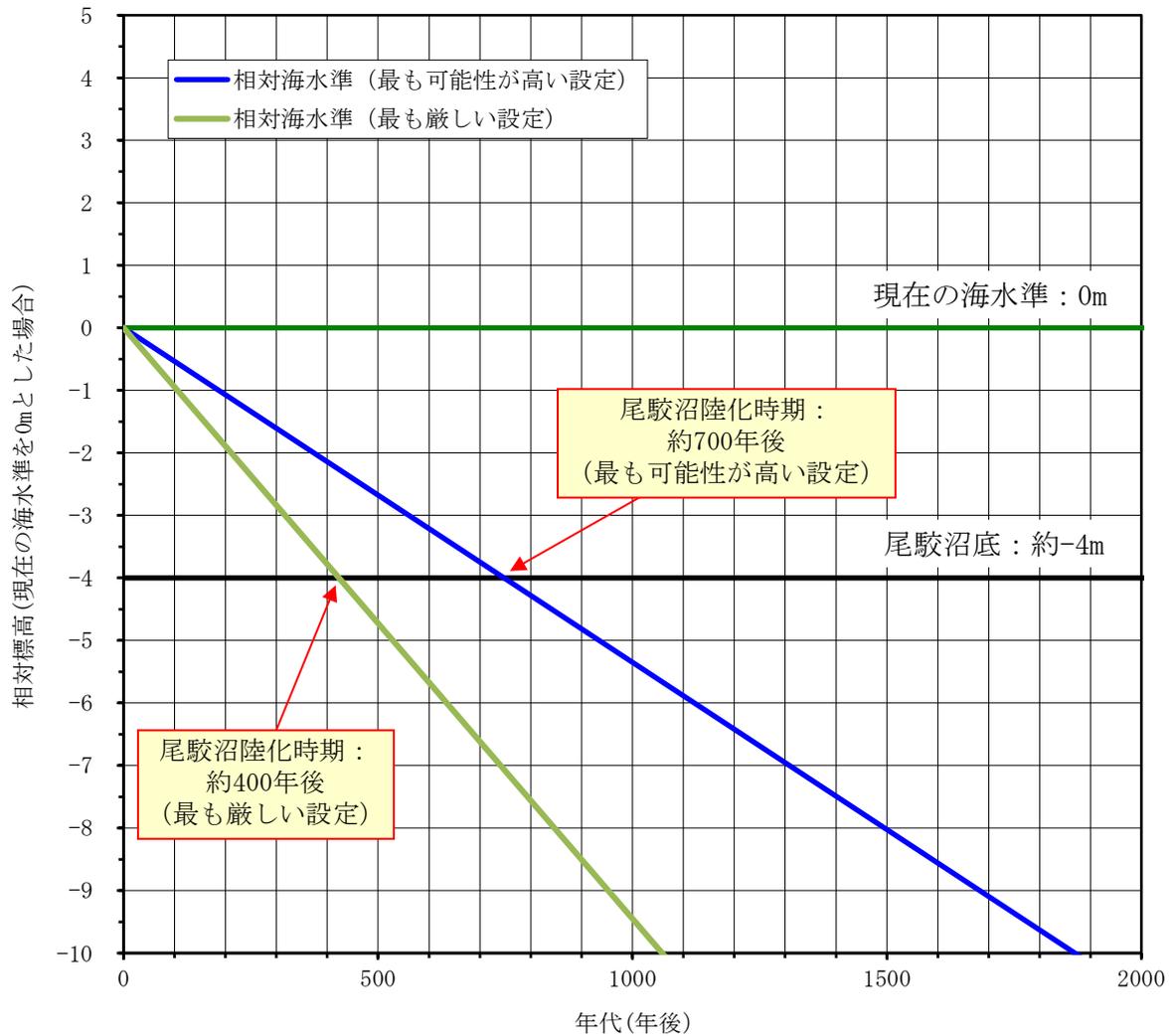
敷地及び敷地近傍の沢部においては第四紀層及び基盤である鷹架層が削剥さ

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。

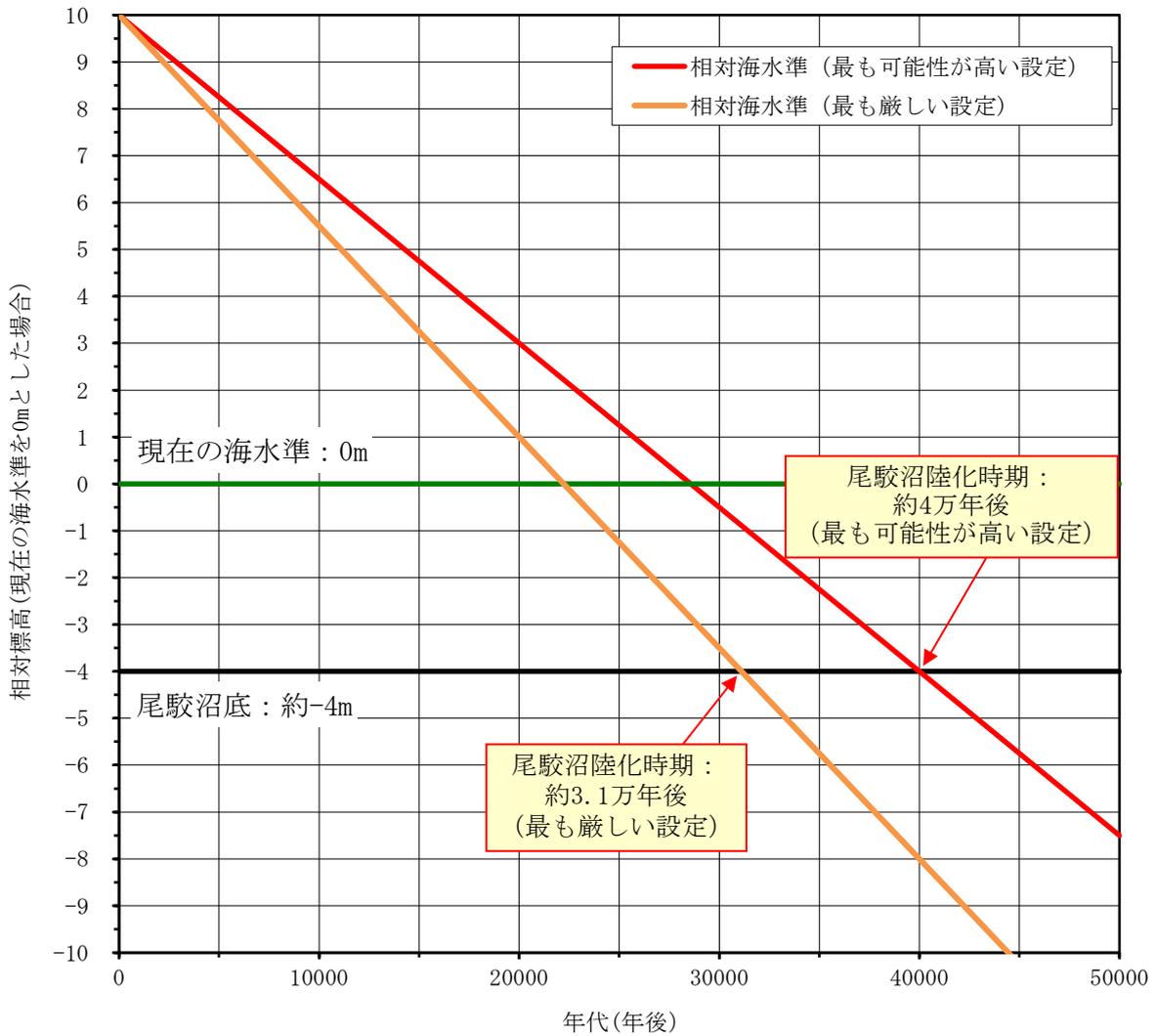
また、湖沼の河川化としては、相対海水準の低下に伴い、尾駁沼が河川化すると考えられる(第8図及び第9図参照)。

地形変化は、温暖期継続ケースの方が侵食速度が速く保守的となるため、以下に示す寒冷化ケース及び温暖期継続ケースの検討結果に基づいて、保守的となる温暖期継続ケースの状態を設定する。



注1：尾駈沼底の標高は、国土地理院発行2万5千分の1地形図「戸鎖」を参照。

第8図 寒冷化ケースにおける尾駈沼の河川化時期の予測
(最も可能性が高い設定・最も厳しい設定)



注1：尾駈沼底の標高は、国土地理院発行2万5千分の1地形図「戸鎖」を参照。

第9図 温暖期継続ケースにおける尾駈沼の河川化時期の予測
(最も可能性が高い設定・最も厳しい設定)

(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。

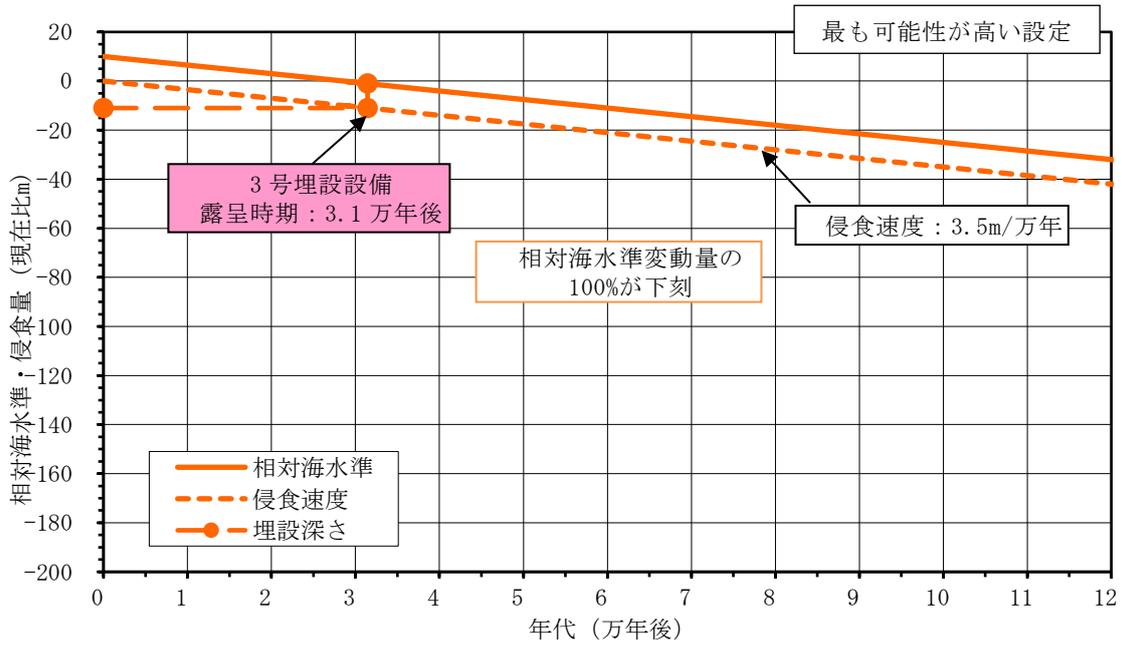
温暖期継続ケースでは、現在の河床勾配を保ち、相対海水準低下に伴った下刻が生じると想定する。ここでいう温暖期継続ケースにおける相対海水準低下速度は、「(b) 気候変動に起因する事象 (二) 海水準変動」において、海水準変動を現在から将来にわたり、現在の海水準より一律で 10m 上昇すると設定したことから、「(a) プレート運動に起因する事象 (三) 隆起・沈降運動」で設定した隆起速度相当と設定する。

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、枝沢も本流の侵食速度と同等の速度で侵食される。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。

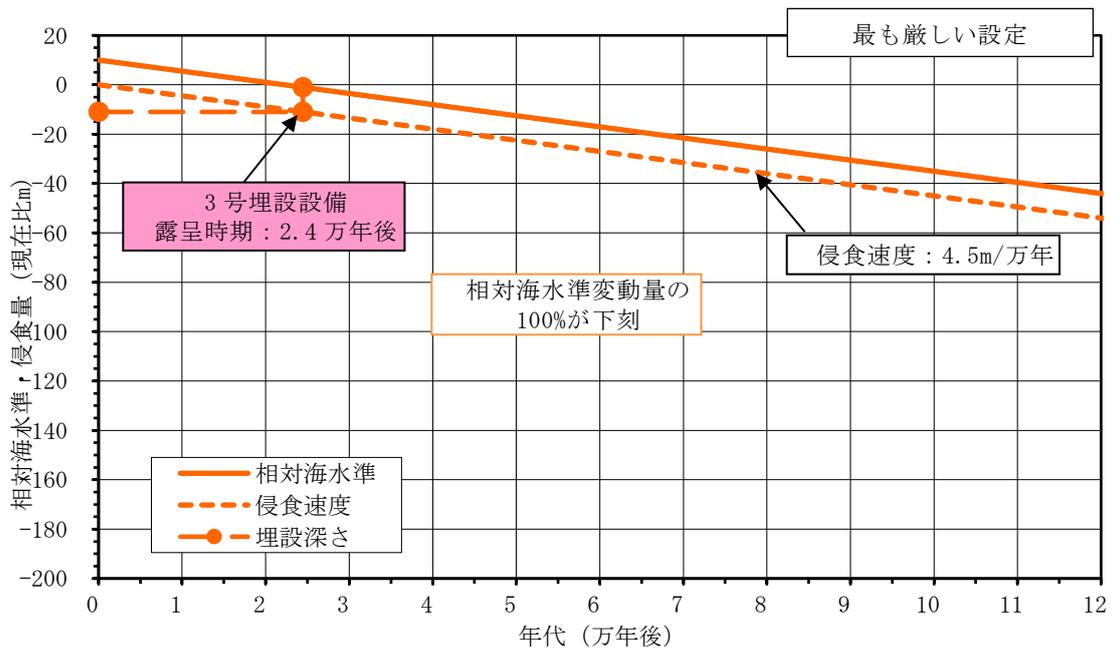
寒冷化ケース及び温暖期継続ケースにおける侵食量を比較すると、寒冷化ケースは下流域の沖積層の侵食等により上流部の侵食が進行しないと設定していることから、温暖期継続ケースの方が侵食が早く進行する。

(イ) 露呈時期

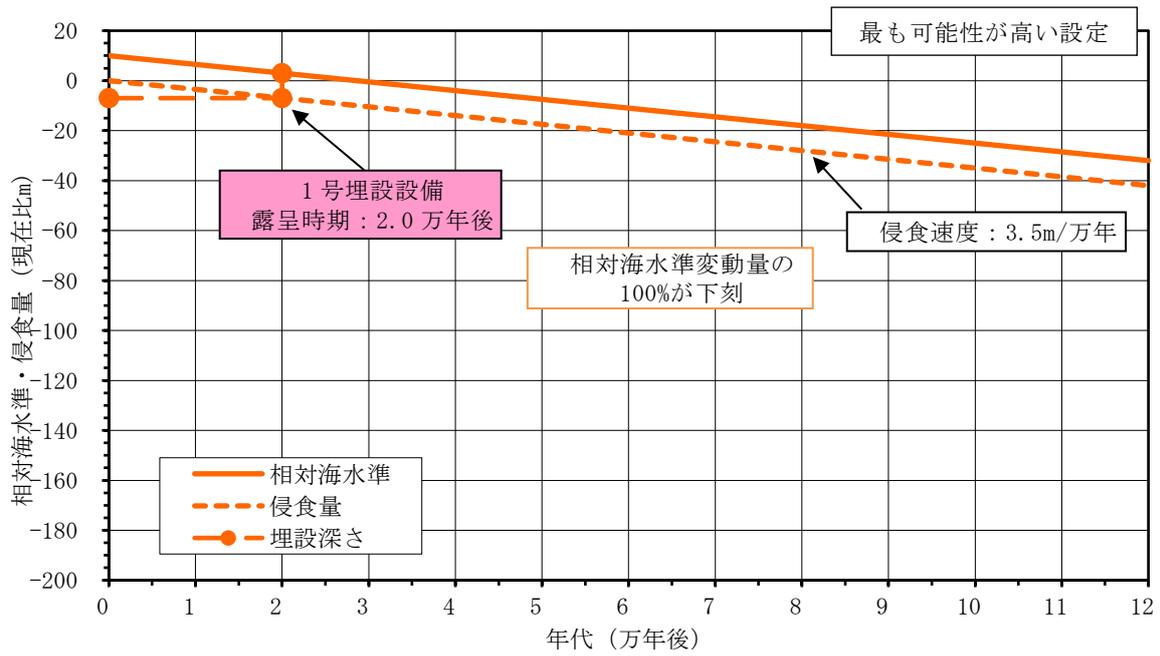
埋設設備の露呈時期は、最も早くても数万年後(第 10 図参照)となるため、評価の対象とする期間を踏まえ、長期変動事象として影響を考慮しない。



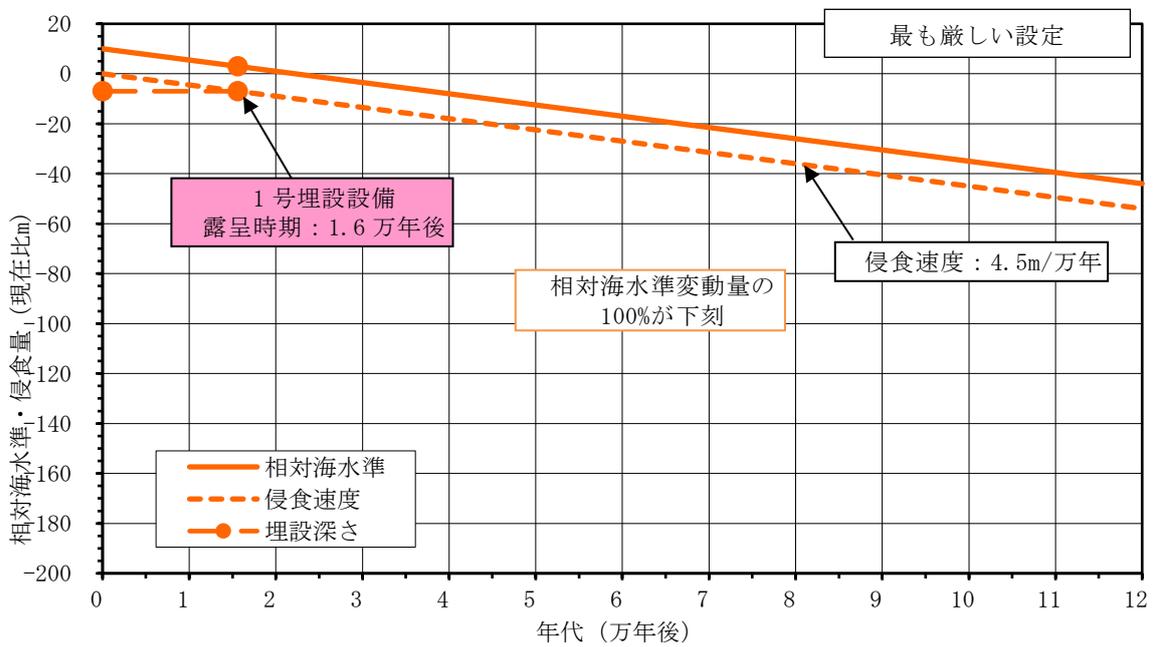
第10図 温暖期継続ケースにおける侵食量と埋設設備の露呈時期(1/6)



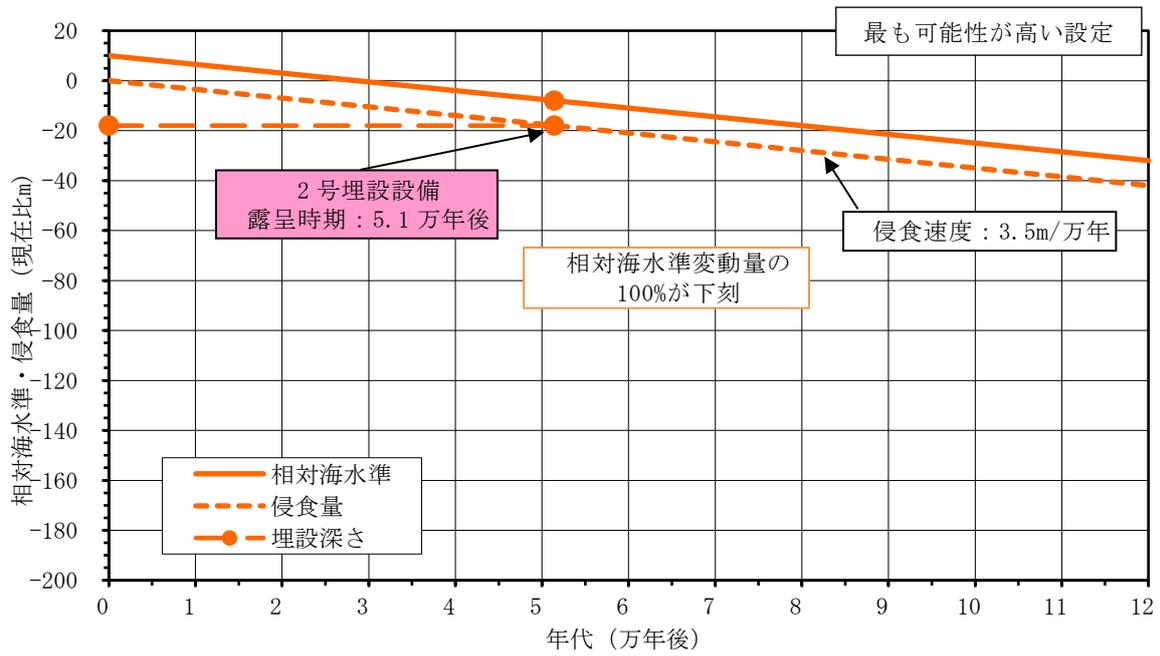
第10図 温暖期継続ケースにおける侵食量と埋設設備の露呈時期(2/6)



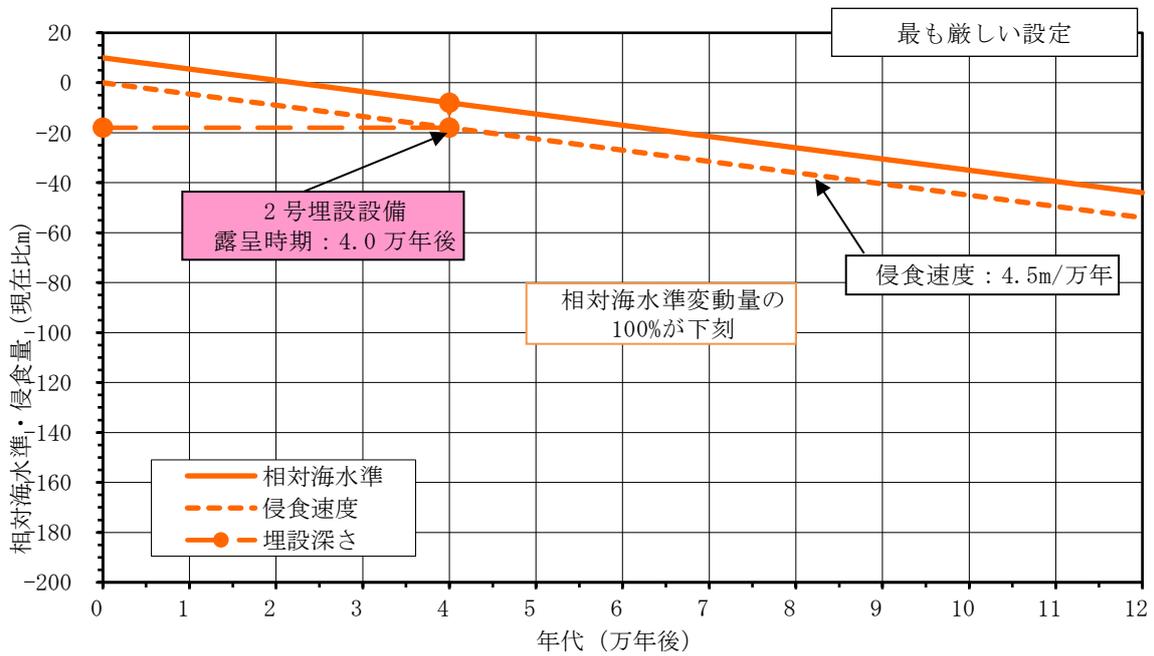
第10図 温暖期継続ケースにおける侵食量と埋設設備の露呈時期 (3/6)



第10図 温暖期継続ケースにおける侵食量と埋設設備の露呈時期 (4/6)



第10図 温暖期継続ケースにおける侵食量と埋設設備の露呈時期 (5/6)



第10図 温暖期継続ケースにおける侵食量と埋設設備の露呈時期 (6/6)

(二) 地下水流動

地下水流動は単独の事象として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。

地下水流動は、侵食速度を考慮したときに1,000年後の将来の地形が現状とほぼ同様と考えられるため、寒冷化ケースと温暖期継続ケースは同様の設定とし、現在の状態を考慮する。

(ア) 地下水の流動方向及び地下水の流出点

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られる。したがって、廃棄物埋設地付近を通過した地下水は、原地形の地下水面等高線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、中央沢を経て尾駁沼に流入するものとする。「(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、中央沢を経て尾駁沼に流入するものとする。

(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。

【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地下水の動水勾配に基づき、最も可能性

が高い設定では平均値、最も厳しい設定では最大値を用いて設定する(第4表参照)。

【透水係数】

地盤の透水係数は、廃棄物埋設地を設置する地盤のN値が50以上の岩盤であること、天然バリアを著しく損傷する事象は想定されないことから、将来においても大きく変化する要因がない。

(ウ) 埋設設備から上部覆土や鷹架層への流出水量

埋設設備から上部覆土や鷹架層への流出水量は、地下水浸透流解析により計算する。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、「(イ) 地下水流速」に示す値とする(第4表参照)。

第4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(%)
3号廃棄物埋設地	最も可能性が高い設定	現在～	5.0
	最も厳しい設定	1,000年後	8.0
1号廃棄物埋設地	最も可能性が高い設定	現在～	3.5
	最も厳しい設定	1,000年後	5.0
2号廃棄物埋設地	最も可能性が高い設定	現在～	5.5
	最も厳しい設定	1,000年後	5.5

(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に寄与する交換水量が変化することが想定される。よって、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ために、蒸発散量を設定する。

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5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、中央沢を経て尾駸沼に流出している。そのため、敷地内の沢の流域面積における降水量から、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 11 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 5 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。

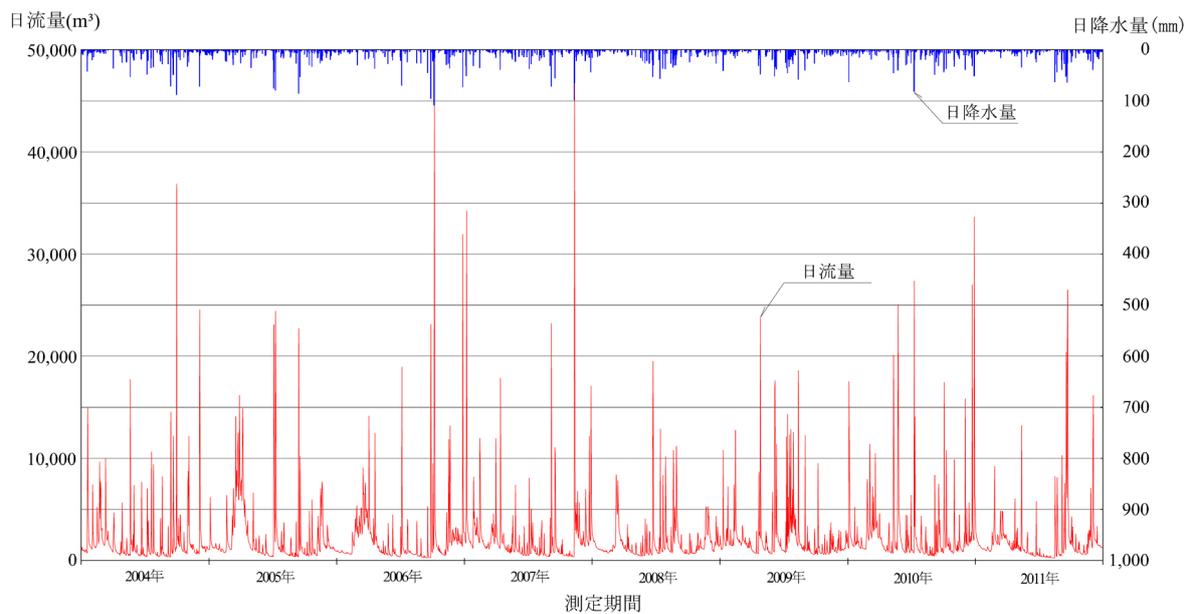
将来の蒸発散量は、「(b) 気候変動に起因する事象 (一) 気温・降水量変化」に示す敷地周辺と気候因子が類似した 36 地点の年平均気温から可能蒸発散量を計算し、実蒸発散量と可能蒸発散量の比 0.95 を用いて、36 地点の年平均気温と蒸発散量の関係を得た(第 12 図参照)。将来の蒸発散量は、この関係式から、最も可能性が高い設定又は最も厳しい設定の気温を用いて設定する。設定した将来の蒸発散量を第 3 表に示す。

蒸発散量は、気温及び降水量と同様に、寒冷化ケース及び温暖期継続ケースについて検討した上で、交換水量が少なくなるように寒冷化ケースを状態設定の対象とする。

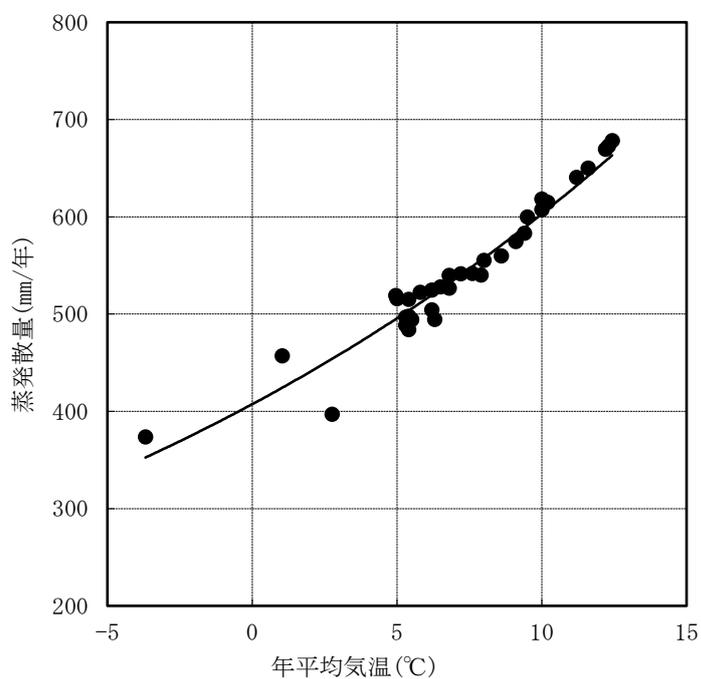
第 5 表 ソーンズウェイト法により求めた可能蒸発散量と
観測から求められた実蒸発散量(2004 年～2011 年)

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 11 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 12 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、敷地内に将来活動する断層が認められないことから、断層運動による岩盤の破碎はなく、地震による透水性の変化もないため、長期変動事象として考慮しない。

b. 廃棄物埋設地の状態設定^{(24)~(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設定を行うバリア機能は、廃棄物埋設地からの影響を受ける周辺岩盤も含めることとし、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6表参照)。

廃棄物埋設地の状態設定は、覆土完了時点を初期状態とし、長期の状態については、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行う。

状態設定においては、移行抑制機能を期待するベントナイトを混合する覆土(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は変わらないものとする。

第6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。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)

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、OECD/NEA⁽²⁷⁾⁽²⁸⁾、廃棄物安全小委員会報告書⁽²⁹⁾及びIAEA-ISAM⁽³⁰⁾のFEP(Feature、Event、Process)を参考に、廃棄物埋設地の特徴及び「a. 地質環境等の状態設定」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^{(31)~(33)}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の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⁽³⁴⁾。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、水和熱は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る影響を受けると考えられる。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られることから、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は十分に小さいため、地下水流動による直接的な影響が生じないことから、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の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

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源は、埋設設備内に存在する金属である。

ガス発生の影響については、埋設設備内に存在する金属量に加え塩影響を考慮しても、1号及び2号埋設設備の単位体積当たりのガス発生量が3号埋設設備と同等であることから、3号埋設設備のガス発生による影響評価を行うことにより代表する。

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⁽³⁵⁾であり、文献⁽³⁶⁾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°C、1atm)のガス発生量は、pH12.5～pH13.0及び水温15°C～45°Cの条件での腐食速度試験の結果に基づくと、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の調査結果⁽³⁷⁾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ハイドロ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ており、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。

田中らが実施したベントナイト混合土のガス透気試験⁽³⁸⁾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るが、この試験では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⁽³⁹⁾、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、埋設設備は岩盤(鷹架層)に直接支持されており、

内部空洞のない充填されたコンクリート構造物であることから、地震動による構造物の変形は限定的であり、周辺覆土へ与える変形量は小さい。覆土自体においても、地すべりといった大変形を引き起こす斜面地盤ではなく水平地盤であり、周囲を堅固な岩盤(鷹架層)に囲まれ変形抑制されていることから、地震における変形量は小さい。よって、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及び塩影響」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と想定されることから、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がある。施工管理値として締固め度 90%以上を設定し、砂及び砂質土からなる埋戻し土を用いた締固めによる対策を実施した箇所では、震度 6 弱の揺れ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⁽⁴⁰⁾。

廃棄物埋設地においても、覆土施工における管理値を上記の液状化対策事例と同等以上に設定する。また、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。覆土は、文献⁽⁴¹⁾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て製造することから、一般に液状化しやすいと知られている「砂分を多く含む、集中粒径の土」ではない。つまり、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⁽⁴⁰⁾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「粒径幅が広い土」であるため、相対的に液状化し難い材料であると考えられる。

また、廃棄物埋設地で発生すると考えられる地震は、「a. 地質環境等の状態設定 (a) (二) (7) 地震」より震度 5 強を超えない。これは、過去事例における締固めによる対策を実施したことで液状化が発生しなかった箇所で発生した地震よりも小さい。

以上より、適切な施工管理及び材料を選定することで、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、セメント系材料のカルシウム成分等の溶脱が発生し、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覆土及び岩盤(鷹架層)が反応⁽³³⁾⁽⁴²⁾し、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⁽⁴³⁾、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。

(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物が生成することが考えられる。有機物及びその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・均一固化体のうち、セメント固化体中の硫酸塩及びほう酸塩並びにアスファルト固化体中のほう酸塩(以下「可溶性塩」という。)が地下水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、覆土及び岩盤(鷹架層)が反応⁽⁴⁴⁾し、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。

可溶性塩を含まない充填固化体を埋設する廃棄物埋設地については、塩影響を影響事象として考慮しない。均質・均一固化体を埋設する廃棄物埋設地については、可溶性塩の溶解による液性変化及び可溶性塩と各部材との反応を影響

事象として考慮する。

(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、各部材への収着が阻害され、放射性物質の移行が促進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、収着性の評価に当たっては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、有機物の分解により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においてその活性は低く⁽⁴⁴⁾、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、鉍物の溶解及び二次鉍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、pH 変化等の化学的変化は上部覆土により緩衝される。よって、溶解・変質等の化学的影響は十分低減されることから、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

線量の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7表から第15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7表 埋設する廃棄体の仕様

廃棄物埋設地	3号	1号		2号
種類	充填固化体*1	均質・均一固化体	充填固化体*1	充填固化体*1
重量	1本当たり1,000kgを超えないもの	1本当たり500kgを超えないもの		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	廃液、 使用済樹脂、 スラッジ、 焼却灰	金属類、 プラスチック類、 保温材・フィルタ類、 均質・均一固化体として 製作されたセメント 固化体を破砕したもの	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	セメント*2、 アスファルト*3、 プラスチック*4	セメント*2	セメント*2
状態変化で考慮する内容物	有機物、金属類	塩類 (硫酸塩、ほう酸塩)	有機物、金属類、 塩類 (硫酸塩、ほう酸塩)	有機物、金属類

*1: 充填固化体の標準的な製作方法⁽³⁵⁾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。

*3: 「JIS K 2207(1990)」に定める石油アスファルトで針入度が100以下のもの又はこれと同等以上の品質を有するアスファルト。

*4: スチレンに溶解した不飽和ポリエステル。

第8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

均質・均一固化体*1		
内容物	平均重量(kg/本) ^{*2}	備考
硫酸塩	約 21	硫酸塩は、主に BWR 廃棄体に含まれている (BWR 廃棄体 1 本当たり、約 15kg～約 120kg 含まれている)。
ほう素 (ほう酸塩)	約 3.0	ほう素(ほう酸塩)は、主に PWR 廃棄体に含まれている (PWR 廃棄体 1 本当たり、約 3.0kg～約 18kg 含まれている)。
充填固化体		
内容物	平均重量(kg/本) ^{*3}	備考
天然有機物	0.152 ^{*4}	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 ^{*4}	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:均質・均一固化体として製作されたセメント固化体を破砕し、セメント系充填材で一体に固型化した充填固化体を含む。

*2:これまでの埋設実績から、炉型別の区別をせずに廃棄体 1 本当たりに含まれる平均重量を算定。

*3:充填固化体の標準的な製作方法⁽³⁵⁾に基づいて設定。

*4: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9表 埋設設備の寸法*1

埋設設備		3号	1号	2号
埋設設備構成		8基	8群×5基/群	8群×2基/群
1基当たりの大きさ	奥行き(南北)	36.51m	24.4m	36.91m
	幅(東西)	64.1m	24.4m	36m
	高さ	6.66m*1	6.2m	6.94m
区画/基		66区画/基	16区画/基	36区画/基
部材厚さ	外周仕切設備(側壁)	60cm	50cm	60cm
	外周仕切設備(底版)	60cm	60cm	80cm
	内部仕切設備	40cm	40cm	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	40cm	40cm
	覆い	30cm	50cm	50cm

*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10表 コンクリートの配合(1/3)

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10表 コンクリートの配合(2/3)

1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
55	159	290	85	852	973
47	155	333	60	729	1019

*1: 普通ポルトランドセメント 45%及び高炉スラグ微粉末 55%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 10 表 コンクリートの配合 (3/3)

2 号廃棄物埋設地					
水セメント比 (%)	単体量 (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：中庸熟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 11 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 12 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 13 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
1 号	盛 土	1.77	14.2	2.71	42.8
	火山灰層	1.68	47.3	2.69	56.8
	段丘堆積層	1.90	33.2	2.68	45.1
2 号	盛 土	1.74	40.1	2.68	53.1
	火山灰層	1.56	55.8	2.71	62.2
	段丘堆積層	1.85	28.7	2.69	46.0

第 14 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	鷹架層中部層	軽石凝灰岩	1.59	0.03	52.1	4.4	2.39	0.01	56.1	2.1	39 (18) ^{*1}
	鷹架層中部層	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 号	鷹架層中部層軽石凝灰岩層		1.71	0.05	41.2	4.7	2.54	0.08	52.1	2.7	27
	鷹架層中部層粗粒砂岩層		1.94	0.07	27.9	3.9	2.73	0.03	44.3	3.5	48
2 号	鷹架層中部層軽石凝灰岩層		1.81	0.14	35.8	8.5	2.60	0.11	48.3	6.2	46
	鷹架層中部層粗粒砂岩層		1.91	0.10	30.8	7.8	2.76	0.04	46.7	5.8	31
	鷹架層下部層泥岩層		1.80	0.02	37.5	3.2	2.02	0.02	50.0	1.8	9

*1 : () 内の数字は土粒子の密度を測定した試料数を示す。

第 15 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(廃棄体の固化化材及び埋設設備)、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。評価に当たっては、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及び塩影響

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並びに可溶性塩の溶出による膨張及び陥没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は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かさ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及び塩影響に係る条件を第16表～第17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。最も可能性が高い状態設定では、埋設設備内の金属の腐食速度及び腐食生成物の熱力学的な安定性等を考慮し、最も厳しい設定では、金属の全量が瞬時に腐食し、腐食膨張倍率が大きい腐食生成物が生じるものと設定する。

1号廃棄物埋設地における可溶性塩の溶出に伴う埋設設備の膨張は、廃棄体の内容物(可溶性塩：硫酸塩及びほう酸塩)と埋設設備中のセメント系材料(充填材及びコンクリート)の反応により生じるため、埋設設備の体積の膨張倍率を設定し、埋設設備の膨張変形を想定する。

また、可溶性塩の溶出に伴う埋設設備の陥没は、廃棄体の内容物と地下水が反応すること及び廃棄体の上部空隙により生じるため、可溶性塩の溶出量及び廃棄体の上部空隙を設定し、埋設設備の陥没変形を想定する。

セメント固化体からの溶出量は、文献⁽⁴⁵⁾を参考に硫酸塩及びほう酸塩の溶出に伴う空隙の生成に着目し、全量溶出した状態を設定する。アスファルト固化体からの溶出量は、文献⁽⁴⁶⁾を参考にアスファルトの実態的な性能を考慮し、ほう酸塩の溶出量を設定する。

また、廃棄体の上部空隙については、覆土の低透水性への影響評価の観点から、均質・均一固化体の固型化条件の最大値である上部空隙 30%の体積分を用いる。

金属の腐食による体積膨張並びに可溶性塩の溶出による膨張及び陥没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、力学的変形により、最も可能性が高い状態としては、難透水性覆土及び下部覆土の密度は変化せず透水係数に変化は生じないものの、厚さが変化する状態を設定する(第 18 表参照)。また、最も厳しい状態としては、難透水性覆土及び下部覆土の密度は変化せず透水係数に変化は生じないものの、2号及び3号廃棄物埋設地については開口が生じる状態、1号廃棄物埋設地については開口が生じず、厚さが変化する状態を設定する(第 18 表参照)。

第 16 表 埋設設備中の環境条件及び金属種類による腐食生成物の設定

条件		設定	設定の考え方
ORP*1		【最も可能性が高い設定】 嫌氣的条件	【最も可能性が高い設定】 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未滿)及びORP*1(-100mV以下)を参考に設定する。
		【最も厳しい設定】 嫌氣的条件～好氣的条件	【最も厳しい設定】 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、嫌氣的条件～好氣的条件を考慮する。
pH		【最も可能性が高い設定】 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	【最も可能性が高い設定】 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。
		【最も厳しい設定】 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	【最も厳しい設定】 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	【最も可能性が高い設定】 Fe ₃ O ₄	【最も可能性が高い設定】 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。
		【最も厳しい設定】 Fe(OH) ₂	【最も厳しい設定】 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	【最も可能性が高い設定】 ・ Al(OH) ₃ ・ Ni(OH) ₂ ・ Cu ・ Zn(OH) ₂	【最も可能性が高い設定】 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、最も可能性が高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。
		【最も厳しい設定】 ・ Al(OH) ₃ ・ Ni(OH) ₂ ・ Cu(OH) ₂ ・ Zn(OH) ₂	【最も厳しい設定】 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 17 表 腐食膨張倍率及び腐食速度並びに埋設設備の膨張倍率の設定値

対象施設	条件	設定値	設定の考え方
1号、2号及び 3号廃棄物埋設地	腐食膨張 倍率	【最も可能性が高い設 定】 3倍	【最も可能性が高い設定】 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。
		【最も厳しい設定】 4倍	【最も厳しい設定】 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	【最も可能性が高い設 定】 0.1 μ m/y	【最も可能性が高い設定】 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。
		【最も厳しい設定】 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	【最も厳しい設定】 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。
1号廃棄物埋設地	膨張 倍率	【最も可能性が高い設 定】 1.0倍 (変化なし)	【最も可能性が高い設定】 可溶性塩と埋設設備の反応による埋設設備の膨張は、 二次鉱物の生成に必要となる原料(他の鉱物)の消費に 伴う空隙の増加又は他の鉱物の溶出による影響を考慮 し、埋設設備の体積に変化が生じないものとして設定 する。
		【最も厳しい設定】 1.1倍	【最も厳しい設定】 セメント系材料の固相変化による膨張倍率の計算結 果を踏まえて設定する。

第 18 表 金属腐食による体積膨張及び塩影響に係る覆土への力学的影響評価

対象施設 (対象廃棄物)	変形 形態	力学的変形(1,000 年後)	
		最も可能性が高い設定	最も厳しい設定
3号及び2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
1号 廃棄物 埋設地	(充填 固化体)	<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 隅角部の厚さがほぼ残ら ない状態 (開口無し) 下部覆土 破断や厚さの変化が生じ ない状態
	(均質・均一固 化体)	陥没	<ul style="list-style-type: none"> 難透水性覆土／下部覆土 共通 破断や厚さの変化が生じ ない状態

(二) 地下水との反応及び塩による影響

廃棄物埋設地における地下水(1号廃棄物埋設地については廃棄体から溶解した可溶性塩を含む)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や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(C-S-Hゲル)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⁽⁴⁴⁾。

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⁽⁴²⁾を用いて求める。

(7) 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、最も可能性が高い設定では、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する。また、最も厳しい設定では、保守的となるよう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、モンモリロナイトの密度及び空隙率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19表に示す。また、下部覆土の透水係数は、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しており、化学的影響が難透水性覆土により緩衝されるため、透水係数の変化は生じないものとする。

第19表 難透水性覆土の透水係数の化学的影響の評価結果

評価期間	透水係数 (m/s)					
	3号廃棄物埋設地		1号廃棄物埋設地		2号廃棄物埋設地	
	最も可能性が高い設定	最も厳しい設定	最も可能性が高い設定	最も厳しい設定	最も可能性が高い設定	最も厳しい設定
0年	1.00×10^{-10}					
1,000年後	1.01×10^{-10}	1.02×10^{-10}	1.42×10^{-10}	1.84×10^{-10}	1.01×10^{-10}	1.02×10^{-10}

(i) 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を生じないものとし、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

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⁽³⁵⁾。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(以下「ISA」という。)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⁽⁴²⁾。

アルカリ環境でのセルロース分解試験結果⁽⁴⁷⁾に基づいて、最も可能性が高い設定ではセルロースの5%、最も厳しい設定では30%が分解することとし、セメント系材料への収着⁽⁴²⁾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

微生物影響として、岩盤(鷹架層)中において微生物活動により有機物が無機化すると考えられるため、収着性の設定に当たっては炭素(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

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及び塩影響)及び化学的影響(地下水との反応及び塩による影響)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に、独立して覆土に影響を与えると考えられるが、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。最も可能性が高い設定及び最も厳しい設定の開口が生じないケースでは、化学的影響による変質のみによる状態を設定する。最も厳しい設定の開口が生じるケースでは、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桁以上高い値に設定する。

最も可能性が高い設定及び最も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 20 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計算する。

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。

第 20 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)	
	最も可能性が高い設定	最も厳しい設定
3 号廃棄物埋設地	2.0×10^{-10}	1.5×10^{-8}
1 号廃棄物埋設地	2.5×10^{-9}	3.0×10^{-9}
2 号廃棄物埋設地	2.0×10^{-10}	1.5×10^{-8}

(二) 収着性

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及び 1 号廃棄物埋設地については可溶性塩が溶解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、有機物影響については現実的な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、有機物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)は無機形態であるとして岩盤(鷹架層)の収着性を設定する。

c. 生活環境の状態設定

廃止措置の開始後における将来の敷地及びその周辺的生活環境の状態を設定する。敷地及びその周辺の地質環境等の状態と社会環境の状態から被ばくが生じると考えられる人間活動を設定する。さらに、就労形態を考慮して評価対象個人を設定する。

廃止措置の開始後の将来における敷地及びその周辺で活動する人間の生活環境は、地質環境等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. 地質環境等の状態設定」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。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。また、自然事象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た意図的な行為は含めない。

(a) 生活環境に影響を及ぼす敷地及びその周辺における地質環境等の変化

「a. 地質環境等の状態設定」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地質環境等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及びその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全てが敷地内の沢を経由し汽水性である尾駸沼に流入する
- ・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が、「a. 地質環境等の状態設定 (b) (一) 気温・降水量変化」に示すとおり、1,000年後の気温の変化は大きくないことから、現在の敷地周辺で収穫される農産物を想定する
- ・将来の敷地及びその周辺のプレート運動及び気候変動に起因する事象(隆起・沈降、海水準変動及び侵食)に伴う地表の状態変化によって、尾駸沼が河川化し、漁獲される水産物種類が変化するとともに、資源量(漁獲量)が減少することが考えられるが、淡水化による水産物種類の変化を考慮しても、水産物の摂取による線量は小さくなることから、水産物種類の変化及び資源量(漁獲量)の減少は考慮しない
- ・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、埋設設備の露呈時期は数万年以降であり、侵食による影響は無視できる
- ・降水量、蒸発散量、かん養量、地下水位及び河川流量の変化によって、交換水量に影響するが、生活様式への影響はない

(b) 敷地及びその周辺における地質環境等及び社会環境の状態を踏まえた人間活動の設定

「(a) 生活環境に影響を及ぼす敷地及びその周辺における地質環境等の変化」に示す敷地及びその周辺の地質環境等の変化及び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人間活動を以下のとおり設定する。

(一) 水利用

廃棄物埋設地を通過する地下水は、主に中央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ことは想定されない。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、農業用水及び畜産用水に利用することも想定されない。

六ヶ所村の利水状況⁽⁴⁸⁾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100%⁽⁴⁹⁾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⁽⁵⁰⁾。1988年の調査結果⁽⁴⁸⁾に基づくと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が、敷地造成前においては、広範囲で畑作が、また中央沢の下流部で稲作が行われていたことを考慮する。

なお、将来には尾駮沼の河川化が想定されるが、現状の水理及び利水状況を前提にすると、河川化後にその水を生活用水や畜産用水に利用することは想定されない。また、農業用水に利用することについては、より交換水量の少ない沢水の利用に包含されるため、考慮しない。

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井戸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、敷地造成前においては畑作及び稲作が行われていたことを考慮して、生活用水等に利用することに伴う人間活動としては、尾駮沼の水産物の摂取、沢水を利用して生産される農産物の摂取及び灌漑作業を想定する。

(二) 土地利用

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人間活動を考慮する。

地下の掘削を伴う土地利用の一つに構造物の建設がある。2019年の統計⁽⁶¹⁾によれば、近年の六ヶ所村においては専用住宅、倉庫、店舗等の建築確認申請が行われている。加えて、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、現在の六ヶ所村では地下数階を有するような大規模な構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、可住地のうち構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、大規模な構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土壌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浅井戸の掘削が考えられるが、「(一) 水利用」に示すように、水道の普及率が100%であり、また、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%と極めて小さいことから考慮しない。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。

さらに、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人間活動として、住宅の建設作業、掘削土壌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の摂取を考慮する。

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。

(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及び農産物と設定する。

水産物については、現在の汽水性である尾駸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生産される米(以下「灌漑農産物」という。)及び廃棄物埋設地で生産される野菜(以下「農耕農産物」という。)とする。

(c) 評価対象個人の設定

「(b) 敷地及びその周辺における地質環境等及び社会環境の状態を踏まえた人間活動の設定」に示す人間活動に基づき、自然事象シナリオにおいては、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、生活様式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、生産物の摂取においては、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と考えられる。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壤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、評価対象個人の設定に当たっては、就労形態に応じた生産活動及び生産物の摂取を考慮する。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低く、廃棄物埋設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。

最新の統計⁽⁵²⁾に基づく、六ヶ所村の産業別就業者数のほぼ半数を第三次産業が占めている。第三次産業については廃棄物埋設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ことから、最も可能性が高い自然事象シナリオにおいては評価対象個人を居住者とする。居住者は、廃棄物埋設地に居住する人を対象とし、家庭菜園により生産される農産物及び市場に流通した食品を摂取すると想定する。

最も厳しい自然事象シナリオにおいては、評価対象個人を漁業従事者、農業従事者、畜産業従事者、建設業従事者及び居住者とする。

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を考慮すると基本的に想定されない。このため、それぞれの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。市場に流通する食品のうち、水産物、灌漑農産物及び農耕農産物は、廃棄物埋設地に起因する放射性物質を含むそれらの食品が市場希釈係数に応じて含まれ、畜産物は廃棄物埋設地に起因する放射性物質を含まないものとする。

(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て、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て、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灌漑作業、土地利用の場合は放射性物質を含む土壌上における農耕作業を想定する。

(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て、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。

ただし、現状の水理及び利水状況を前提にすると、放射性物質が移行する畜産物を摂取することによる被ばくは想定しない。

(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て、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て、家庭菜園により生産される農産物及び市場に流通した食品を摂取すると想定する。

d. 放射性物質の移行挙動及び被ばく経路

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、線量の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溶出する。廃棄体から溶出した放射性物質は、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出するものとする。

埋設設備内の間隙水に溶出した放射性物質は、覆土と鷹架層へそれぞれ漏出する。漏出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、沢及び尾駁沼に流入する。

地下水の流入した尾駁沼で得られる水産物及び水を利用して生産された農産物には、それぞれ水産物への濃縮係数及び農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、これらの水産物及び農産物の摂取を含む水の利用によって公衆の被ばくが生じるものとする。

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。漏出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、放射性物質が収着し、土壌や鷹架層中に残存するものとして、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、「a. 地質環境等の状態設定」、「b. 廃棄物埋設地の状態設定」及び「c. 生活環境の状態設定」で設定した状態設定のもとで、沢水の利用、尾駁沼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。最も可能性が高い自然事象シナリオでは評価対象個人を居住者とするため、沢水を利用する灌漑作業及び廃棄物埋設地における屋外労働作業による被ばくは考慮しない。

- ・尾駁沼の水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る内部被ばく
- ・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
- ・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居住による外部被ばく及び内部被ばく
- ・廃棄物埋設地を利用して生産される農耕農産物(家庭菜園を含む)の摂取による内部被ばく

なお、仮に廃棄物埋設地から北側の老部川へ流出した場合と南側の尾駁沼へ流出した場合を比較すると、老部川までの放射性物質の移行距離が尾駁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中央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、北側の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。

e. 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、線量が保守的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。例えば、廃棄体の開口部分、埋設設備内の水みち(ひび割れ)の不確かさに関しては、埋設設備全体を砂程度の透水性と仮定し、埋設設備全体に放射性物質が拡がっている状態を想定する。また、三次元的に拡がる放射性物質の移行経路の不確かさに関しては、一次元的に移行するものと仮定し、生活環境までの移行経路は直線距離を想定する。

線量評価モデルとして、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

評価モデル及び被ばく経路に対応した線量を計算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以下に示す。

(a) 放射性物質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溶出し、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。

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

(初期条件)

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

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

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

(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/m ³)
t	: 覆土完了後の経過時間 (y)
$A_0(i)$: 核種 <i>i</i> の総放射エネルギー (Bq)
V_{meq}	: 分配平衡となる埋設設備の体積 (m ³)
$P(j)$: 埋設設備内の媒体 <i>j</i> の体積分率 (-)
$\varepsilon(j)$: 埋設設備内の媒体 <i>j</i> の間隙率 (-)
$Rf(i, j)$: 埋設設備内の媒体 <i>j</i> の核種 <i>i</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 <i>j</i> の粒子密度 (kg/m ³)
$Kd(i, j)$: 埋設設備内の媒体 <i>j</i> の核種 <i>i</i> の分配係数 (m ³ /kg)
S_b	: 難透水性覆土の拡散寄与面積 (m ²)
De_b	: 難透水性覆土の実効拡散係数 (m ² /y)
$C_{bw}(z, t, i)$: 難透水性覆土の位置 <i>z</i> 、時刻 <i>t</i> における核種 <i>i</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>i</i> の崩壊定数 (1/y) ; = $\ln 2 / T_{1/2}(i)$
$T_{1/2}(i)$: 核種 <i>i</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>i</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>i</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。

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

(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)

De_c : 上部覆土の実効分散係数(m²/y) ;
自由水中の拡散係数と同様な値に設定

$Rf_c(i)$: 上部覆土の核種 i の遅延係数(-) ;

$$= 1 + \frac{1 - \varepsilon_c}{\varepsilon_c} \cdot \rho_c \cdot Kd_c(i)$$

ε_c : 上部覆土の間隙率(-)

ρ_c : 上部覆土の粒子密度(kg/m³)

$Kd_c(i)$: 上部覆土の核種 i の分配係数(m³/kg)

$f_c(t, i)$: 核種 i の上部覆土への単位体積当たりの漏出量
(Bq/(m³ · 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 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(m³) ;

$$= Q_c(t) \cdot L_c / U_c$$

$Q_c(t)$: 上部覆土内地下水流量 (m³/y)

U_c : 上部覆土の地下水流速 (m/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。

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

(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)

De_g : 鷹架層の実効分散係数 (m²/y) ;
自由水中の拡散係数と同様な値に設定

$Rf_g(i)$: 鷹架層の核種*i*の遅延係数(-) ;

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

ε_g : 鷹架層の間隙率(-)

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)

$f_g(t, i)$: 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 (m ³) ; = $Q_g(t) \cdot L_g / U_g$
$Q_g(t)$: 鷹架層内地下水流量 (m ³ /y)
U_g	: 鷹架層の地下水流速 (m/y)

(四) 尾駁沼又は沢水中の放射性物質の濃度

尾駁沼又は沢水中の核種*i*の濃度は、(6)式を用いて計算する。

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

$C_{sw}(t, i)$: 時刻 <i>t</i> における尾駁沼又は沢水中の核種 <i>i</i> の濃度 (Bq/m ³)
X_{cs}	: 核種が流入する上部覆土下流端から尾駁沼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又は沢への地下水流入量 (m ³ /y)
$Q_{gs}(t)$: 核種が流入する鷹架層から尾駁沼又は沢への地下水流入量 (m ³ /y)
$Q_s(t)$: 尾駁沼又は沢の交換水量 (m ³ /y)

(五) 沢水を利用する灌漑土壤中の放射性物質の濃度

沢水を利用する灌漑土壤中の核種*i*の濃度は、(7)式を用いて計算する。

$$\frac{dC_{soil}^{ir}(t, i)}{dt} = \frac{C_{ir}(t, i) \cdot F_{ir} \cdot Q_{ir}}{V_{ir} \cdot (1 - \varepsilon_{ir}) \cdot \rho_{ir}} - \frac{Qp_{ir} \cdot C_{soil}^{ir}(t, i)}{V_{ir} \cdot \{\varepsilon_{ir} + (1 - \varepsilon_{ir}) \cdot \rho_{ir} \cdot Kd_{ir}(i)\}} - \lambda(i) \cdot C_{soil}^{ir}(t, i) + \lambda(i) \cdot C_{soil}^{ir}(t, i + 1) \quad \dots (7)$$

$C_{soil}^{ir}(t, i)$: 灌漑土壤中の核種 <i>i</i> の濃度 (Bq/kg)
$C_{ir}(t, i)$: 灌漑用水中の核種 <i>i</i> の濃度 (Bq/m ³) ; = $f u_{ir} \cdot C_{sw}(t, i)$
$f u_{ir}$: 灌漑における放射性物質を含む沢水の利用率 (-)
F_{ir}	: 灌漑土壤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 (m ³ / (m ² · y))
V_{ir}	: 灌漑土壤の有効体積 (m ³ /m ²)

ε_{ir}	: 灌漑土壌の間隙率(-)
ρ_{ir}	: 灌漑土壌の粒子密度 (kg/m ³)
Qp_{ir}	: 灌漑土壌浸透水量 (m ³ /(m ² ・y))
$Kd_{ir}(i)$: 灌漑土壌の核種 <i>i</i> の分配係数 (m ³ /kg)

(六) 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、(8)式を用いて計算する。

$$C_{soil}^d(t, i) = C_{cw}(X_d, t, i) \cdot \left(\frac{\varepsilon_d}{(1 - \varepsilon_d) \cdot \rho_d} + Kd_d(i) \right) \cdot G_d \quad \dots (8)$$

$C_{soil}^d(t, i)$: 廃棄物埋設地の土壌中の核種 <i>i</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計算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/m ³)
$Kd_d(i)$: 廃棄物埋設地の土壌の核種 <i>i</i> の分配係数 (m ³ /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) 尾駁沼の水産物の摂取による内部被ばく

尾駁沼の水産物の摂取により内部被ばくする場合の線量は、(9)式を用いて計算する。

$$D_{aq}(p, t) = \sum_i \left(\sum_m \{ C_{sw}(t, i) \cdot CF_{aq}(i, m) \cdot M_{aq}(m) \cdot f_{aq}(p, m) \cdot DCF_{ing}(i) \} \right) \quad \dots (9)$$

$D_{aq}(p, t)$: 公衆 <i>p</i> の尾駁沼の水産物の摂取による線量 (Sv/y)
$CF_{aq}(i, m)$: 水産物 <i>m</i> における核種 <i>i</i> の濃縮係数 (m ³ /kg)
$M_{aq}(m)$: 水産物 <i>m</i> の摂取量 (kg/y)
$f_{aq}(p, m)$: 公衆 <i>p</i> の水産物 <i>m</i> の市場希釈係数(-)

(二) 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、(10)式及び(11)式を用いて計算する。

(ア) 灌漑農産物中の放射性物質の濃度

$$C_{ag}^{ir}(t, i) = C_{soil}^{ir}(t, i) \cdot B_{ag}^{ir}(i) \quad \dots (10)$$

$C_{ag}^{ir}(t, i)$: 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))

(イ) 灌漑農産物の摂取による内部被ばく

$$D_{ag}^{ir}(p, t) = \sum_i \{ C_{ag}^{ir}(t, i) \cdot M_{ag}^{ir} \cdot f_{ag}(p) \cdot DCF_{ing}(i) \} \quad \dots (11)$$

$D_{ag}^{ir}(p, t)$: 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 (-)

(三) 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り内部被ばくする場合の線量は、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、

(12)式及び(13)式を用いて計算する。

(ア) 外部被ばく

$$D_{farm_ext}^{ir}(p, t) = \sum_i \{ C_{soil}^{ir}(t, i) \cdot Sh_{work}(p, i) \cdot T_{farm}^{ir}(p) \cdot DCF_{ext}(i) \} \quad \dots (12)$$

$D_{farm_ext}^{ir}(p, t)$: 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

$$D_{farm_inh}^{ir}(p, t)$$

$$= \sum_i \{C_{soil}^{ir}(t, i) \cdot f d_{farm}^{ir} \cdot I_{work} \cdot T_{farm}^{ir}(p) \cdot DCF_{inh}(i)\} \quad \dots (13)$$

$D_{farm_inh}^{ir}(p, t)$: 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)

$f d_{farm}^{ir}$: 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)

(四) 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、(14)式及び(15)式を用いて計算する。

(ア) 屋外労働作業による外部被ばく

$$D_{work_ext}(p, t) = \sum_i \{C_{soil}(t, i) \cdot Sh_{work}(p, i) \cdot T_{work}(p) \cdot DCF_{ext}(i)\} \quad \dots (14)$$

$D_{work_ext}(p, t)$: 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

$$D_{work_inh}(p, t) = \sum_i \{C_{soil}(t, i) \cdot f d_{work} \cdot I_{work} \cdot T_{work}(p) \cdot DCF_{inh}(i)\} \quad \dots (15)$$

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

$f d_{work}$: 屋外労働作業時の空气中ダスト濃度(kg/m³)

(五) 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、(16)式～(18)式を用いて計算する。

(ア) 居住時の屋外における被ばく

【外部被ばく】

$$D_{haboh_ext}(p, t) = \sum_i \{C_{soil}(t, i) \cdot Sh_{haboh}(i) \cdot T_{haboh}(p) \cdot DCF_{ext}(i)\} \quad \dots (16)$$

$D_{haboh_ext}(p, t)$: 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)

【内部被ばく】

$$D_{haboh_inh}(p, t) = \sum_i \{C_{soil}(t, i) \cdot fd_{haboh} \cdot I_{inh} \cdot T_{haboh}(p) \cdot DCF_{inh}(i)\} \quad \dots (17)$$

$D_{haboh_inh}(p, t)$: 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} : 屋外における空気中ダスト濃度(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

$$D_{habih_inh}(p, t) = \sum_i \{C_{soil}(t, i) \cdot fd_{habih} \cdot I_{inh} \cdot T_{habih}(p) \cdot DCF_{inh}(i)\} \quad \dots (18)$$

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

fd_{habih} : 屋内における空気中ダスト濃度(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)

(六) 廃棄物埋設地を利用して生産される農耕農産物(家庭菜園を含む)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(家庭菜園を含む)を摂取することにより内部被ばくする場合の線量は、(19)式及び(20)式を用いて計算する。

$$C_{ag}^v(t, i) = C_{soil}(t, i) \cdot B_{ag}^v(i) \quad \dots (19)$$

$$D_{ag}^v(p, t) = \sum_i \{C_{ag}^v(t, i) \cdot M_{ag}^v \cdot f_{ag}(p) \cdot DCF_{ing}(i)\} \quad \dots (20)$$

$C_{ag}^v(t, i)$: 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)

f. 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、最も可能性が高い自然事象シナリオでは、「a. 地質環境等の状態設定」及び「b. 廃棄物埋設地の状態設定」で設定した最も可能性が高い設定、最も厳しい自然事象シナリオでは、最も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係る線量評価パラメータに関しては、最新の統計、調査及び文献に基づいて、最も可能性が高い自然事象シナリオでは線量が平均的となる現実的な値、最も厳しい自然事象シナリオでは線量が厳しくなる保守的な値を設定する。

最も可能性が高い自然事象シナリオと最も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」、「尾駁沼の交換水量」及び「廃棄物埋設地の土壌の希釈係数」とする。

地質環境等及び廃棄物埋設地の状態設定に基づいて設定する線量評価パラメータである流出水量、分配係数及び交換水量は以下のとおり設定する。

その他の各線量評価パラメータの詳細は補足説明資料 9 を参照。

(a) 流出水量

「b. 廃棄物埋設地の状態設定 (e) (一) 低透水性」に示す状態設定に基づき、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計算し設定する。地下水浸透流解析に用いる動水勾配の設定値を第 4 表、透水係数の設定値を第 21 表、最も可能性が高い設定及び最も厳しい設定におけ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 22 表に示す。

(b) 分配係数

分配係数は、「b. 廃棄物埋設地の状態設定 (e) (二) 収着性」に示す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。

(c) 交換水量

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、そこを流れる河川及び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、希釈に寄与する交換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。降水量及び蒸発散量は、「a. 地質環境等の状態設定 (b) 気候変動に起因する事象」に示す気候変動に伴う将来の変化傾向を、流域面積は、「a. 地質環境等の状態設定 (c) プレート運動と気候変動の両者に起因する事象」に示す相対海水準の変動を考慮し設定する。最も可能性が高い設定及び最も厳しい設定における表流水流量の値を第3表に示す。

第 21 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	1号廃棄物 埋設地	2号廃棄物 埋設地		
廃棄物埋設地 周辺地盤	鷹架層	最も可能性 が高い設定	5.0×10^{-8}	1.1×10^{-7}	7.8×10^{-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。
		最も厳しい 設定	5.0×10^{-8}	1.1×10^{-7}	7.8×10^{-8}	
	第四紀層	最も可能性 が高い設定	3.0×10^{-6}	2.5×10^{-6}	3.6×10^{-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。
		最も厳しい 設定	3.0×10^{-6}	2.5×10^{-6}	3.6×10^{-6}	
廃棄物埋設地	上部覆土	最も可能性 が高い設定	3.0×10^{-6}	2.5×10^{-6}	3.6×10^{-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)。
		最も厳しい 設定	3.0×10^{-6}	2.5×10^{-6}	3.6×10^{-6}	
	下部覆土	最も可能性 が高い設定	1.0×10^{-8}	1.0×10^{-8}	1.0×10^{-8}	周辺岩盤*2よりも 若干小さい透水係 数とする。
		最も厳しい 設定	1.0×10^{-8}	1.0×10^{-8}	1.0×10^{-8}	
	難透水性 覆土	最も可能性 が高い設定	2.0×10^{-10}	2.5×10^{-9}	2.0×10^{-10}	1,000 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。
		最も厳しい 設定	1.5×10^{-8}	3.0×10^{-9}	1.5×10^{-8}	
	埋設設備	最も可能性 が高い設定	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	砂程度に劣化した 状態の透水係数と する。
		最も厳しい 設定	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	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計算)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 22 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	最も可能性が高い設定	10	1,100
	最も厳しい設定	990	2,800
1号廃棄物埋設地	最も可能性が高い設定	160	2,500
	最も厳しい設定	250	3,600
2号廃棄物埋設地	最も可能性が高い設定	40	1,700
	最も厳しい設定	630	2,300

g. 線量評価結果

廃止措置の開始後の評価における最も可能性が高い自然事象シナリオの線量の計算結果を第 23 表に示す。評価対象個人の最大線量は約 $8.8 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/y}$ (3号廃棄物埋設地)、約 $0.20 \mu\text{Sv/y}$ (1号廃棄物埋設地) 及び約 $0.18 \mu\text{Sv/y}$ (2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 $0.46 \mu\text{Sv/y}$ 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。

廃止措置の開始後の評価における最も厳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 $3.8 \mu\text{Sv/y}$ (3号廃棄物埋設地)、約 $3.3 \mu\text{Sv/y}$ (1号廃棄物埋設地) 及び約 $4.0 \mu\text{Sv/y}$ (2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 $11 \mu\text{Sv/y}$ 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。

なお、各廃棄物埋設地の重畳を考慮した最大線量は、各廃棄物埋設地の土地利用に伴う被ばくの重畳は考えられないが、水利用に伴う経路に比べて線量が低いこと及び線量が最大となる覆土完了後の時期がほぼ同じであることから、それぞれの最大線量を足し合わせている。

また、各バリア材の機能喪失を仮定した各廃棄物埋設地の線量評価結果を第 25 表に示す。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、最も厳しい線量でも、線量拘束値⁽¹⁾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 23 表 廃止措置の開始後における評価の結果
(最も可能性が高い自然事象シナリオ) (1/3)

評価対象個人	3号廃棄物埋設地 線量($\mu\text{Sv/y}$)	線量が最大となる 覆土完了後の時期 (y)	各廃棄物埋設地の重 畳を考慮した線量*1 ($\mu\text{Sv/y}$)
(a) 居住者	約 8.8×10^{-2}	約 430	約 0.46

*1：各廃棄物埋設地の最大線量を足し合わせた値。

第 23 表 廃止措置の開始後における評価の結果
(最も可能性が高い自然事象シナリオ) (2/3)

評価対象個人	1号廃棄物埋設地 線量($\mu\text{Sv/y}$)	線量が最大となる 覆土完了後の時期 (y)	各廃棄物埋設地の重 畳を考慮した線量*1 ($\mu\text{Sv/y}$)
(a) 居住者	約 0.20	約 300	約 0.46

*1：各廃棄物埋設地の最大線量を足し合わせた値。

第 23 表 廃止措置の開始後における評価の結果
(最も可能性が高い自然事象シナリオ) (3/3)

評価対象個人	2号廃棄物埋設地 線量($\mu\text{Sv/y}$)	線量が最大となる 覆土完了後の時期 (y)	各廃棄物埋設地の重 畳を考慮した線量*1 ($\mu\text{Sv/y}$)
(a) 居住者	約 0.18	約 400	約 0.46

*1：各廃棄物埋設地の最大線量を足し合わせた値。

第 24 表 廃止措置の開始後における評価の結果
(最も厳しい自然事象シナリオ) (1/3)

評価対象個人	3号廃棄物埋設地 線量(μ Sv/y)	線量が最大となる 覆土完了後の時期 (y)	各廃棄物埋設地の重 量を考慮した線量*1,2 (μ Sv/y)
(a) 漁業従事者	約 3.8	約 400	約 11
(b) 農業従事者(米)	約 1.9	約 6,600	
(c) 農業従事者(米以外)	約 0.63	約 6,200	
(d) 畜産業従事者	約 0.62	約 6,200	
(e) 建設業従事者	約 0.79	約 6,200	
(f) 居住者	約 0.85	約 6,200	

*1：各廃棄物埋設地の最大線量を足し合わせた値。

*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 24 表 廃止措置の開始後における評価の結果
(最も厳しい自然事象シナリオ) (2/3)

評価対象個人	1号廃棄物埋設地 線量(μ Sv/y)	線量が最大となる 覆土完了後の時期 (y)	各廃棄物埋設地の重 量を考慮した線量*1,2 (μ Sv/y)
(a) 漁業従事者	約 3.3	約 300	約 11
(b) 農業従事者(米)	約 1.8	約 3,400	
(c) 農業従事者(米以外)	約 0.89	約 1,000	
(d) 畜産業従事者	約 0.66	約 1,150	
(e) 建設業従事者	約 0.77	約 1,200	
(f) 居住者	約 0.82	約 1,200	

*1：各廃棄物埋設地の最大線量を足し合わせた値。

*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 24 表 廃止措置の開始後における評価の結果
(最も厳しい自然事象シナリオ) (3/3)

評価対象個人	2号廃棄物埋設地 線量(μ Sv/y)	線量が最大となる 覆土完了後の時期 (y)	各廃棄物埋設地の重 暈を考慮した線量*1,2 (μ Sv/y)
(a) 漁業従事者	約 4.0	約 390	約 11
(b) 農業従事者(米)	約 3.4	約 10,700	
(c) 農業従事者(米以外)	約 0.66	約 9,880	
(d) 畜産業従事者	約 0.63	約 10,200	
(e) 建設業従事者	約 0.80	約 10,300	
(f) 居住者	約 0.87	約 10,300	

*1：各廃棄物埋設地の最大線量を足し合わせた値。

*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 各バリア材の機能喪失を仮定した各廃棄物埋設地の線量評価結果(1/3)

3号廃棄物埋設地					
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) (居住者*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 0m ³ /kg と設定する。	約 1.9 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 0m ³ /kg と設定する。	約 0.76 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最も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 0.77 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		
最も可能性が高い 自然事象シナリオ		-	-	-	約 8.8×10 ⁻² 支配核種：C-14

*1：最も可能性が高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。

*2：最も可能性が高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 1.0×10⁻⁷m/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により計算を行った。最も可能性が高い自然事象シナリオの設定値はそれぞれ 10m³/y、1,100m³/y、最も厳しい自然事象シナリオの設定値はそれぞれ 990m³/y、2,800m³/y である。

第 25 表 各バリア材の機能喪失を仮定した各廃棄物埋設地の線量評価結果(2/3)

1号廃棄物埋設地					
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) (居住者*1)	
人工バリアの 取着性を喪失した ケース	分配 係数	廃棄体(m ³ /kg)	全核種 0	人工バリアの取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0m ³ /kgと設定する。	約 0.71 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 取着性を喪失した 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0m ³ /kgと設定する。	約 14 支配核種： Ni-63*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)		5,300	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最も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 41 支配核種：Ni- 63
	埋設設備から 鷹架層への 流出水量(m ³ /y)		11,000		
最も可能性が高い 自然事象シナリオ	-		-	-	約 0.20 支配核種：C-14

*1：最も可能性が高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。

*2：最も可能性が高い自然事象シナリオの支配核種である C-14 は天然バリアの取着性(分配係数)が小さいことから、支配核種は放射エネルギーの大きい Ni-63 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 1.0×10⁻⁷m/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により計算を行った。最も可能性が高い自然事象シナリオの設定値はそれぞれ 160m³/y、2,500m³/y、最も厳しい自然事象シナリオの設定値はそれぞれ 250m³/y、3,600m³/y である。

第 25 表 各バリア材の機能喪失を仮定した各廃棄物埋設地の線量評価結果 (3/3)

2号廃棄物埋設地					
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(μSv/y) (居住者*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 0m ³ /kg と設定する。	約 3.0 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 0m ³ /kg と設定する。	約 7.2 支配核種： Ni-63*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)		3,000	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最も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 0.67 支配核種：C-14
	埋設設備から 鷹架層への 流出水量 (m ³ /y)		3,900		
最も可能性が高い 自然事象シナリオ	-		-	-	約 0.18 支配核種：C-14

*1：最も可能性が高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。

*2：最も可能性が高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、支配核種は放射エネルギーの大きい Ni-63 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 1.0×10⁻⁷m/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により計算を行った。最も可能性が高い自然事象シナリオの設定値はそれぞれ 40m³/y、1,700m³/y、最も厳しい自然事象シナリオの設定値はそれぞれ 630m³/y、2,300m³/y である。

(ii) 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、典型的なもつともらしい様式化された人間侵入を考慮し、侵入者の受ける線量及びその他の公衆の受ける線量を評価する。

人為事象シナリオでは、敷地及びその周辺の一般的な土地利用では生じるとは考えられない廃棄物埋設地のバリアの損傷をもたらす人間活動を対象とし、廃棄物埋設地の偶発的な大規模掘削を行う建設業従事者及び掘削土壌上に居住する居住者が受ける線量

を評価する。

居住者の受ける線量の評価に当たって、廃棄物埋設地のうち掘削による擾乱を受ける範囲の状態設定は、バリア機能の一部喪失を考慮するものとし、それ以外の状態設定は、人為事象シナリオが発生の可能性の小さい仮想的なシナリオであることから、過度な保守性を避けるため、最も可能性が高い自然事象シナリオと同様とする。また、人為事象によって擾乱を受けない廃棄物埋設地からの線量寄与は考慮しない。

a. 地質環境等の状態設定

(a) 建設業従事者

建設業従事者の建設作業によって受ける線量の評価においては、地質環境等の状態は影響しない。

(b) 居住者

大規模掘削後の土地利用及び水利用に伴う居住者の受ける線量の評価においては、発生の可能性の小さい仮想的なシナリオであることから、過度な保守性を避けるため、地質環境等の状態は最も可能性が高い自然事象シナリオと同様とする。

b. 廃棄物埋設地の状態設定

(a) 建設業従事者

建設業従事者の評価においては、掘削深度の予測が困難であることから、大規模な掘削として、掘削される土壌に含まれる放射性物質の量が多く、保守的となるよう埋設設備底部まで掘削されるものと想定する。また、廃棄物埋設地内の放射性物質の残存量を現実的に設定することが困難であることから、保守的となるよう掘削が生じるまでの期間に放射性物質の漏出が生じないものと想定し、減衰のみを考慮する。

(b) 居住者

居住者の評価においては、大規模な掘削に伴い、廃棄物埋設地の物理的バリア機能である難透水性覆土及び下部覆土の低透水性の機能が周辺土壌程度まで低下するものとし、化学的バリア機能である各バリアの収着性の機能には影響が生じないものと設定する。大規模な掘削に伴うバリア機能喪失の範囲は、掘削範囲と難透水性覆土の施工範囲を考慮して設定する。また、建設業従事者の評価と同様に、掘削による擾乱を受けるまでの期間に放射性物質の漏出が生じないものと想定し、減衰のみを考慮する。

c. 生活環境の状態設定

廃棄物埋設地の大規模な掘削を行う建設業従事者と掘削後の土地利用を行う居住者を線量の評価対象とする。

(a) 建設業従事者

建設業従事者については、自然事象シナリオと同様に放射性物質を含む土壤に接近する掘削作業を設定する。ただし、自然事象シナリオで考慮するその他の人間活動による被ばくは考慮しない。

よって、建設業従事者は、廃棄物埋設地以外に居住する人を対象として、廃棄物埋設地に起因する放射性物質を含まない食品を摂取すると想定する。

(b) 居住者

居住者については、廃棄物埋設地の大規模な掘削後の土地利用として、掘削に伴うバリア機能喪失後の廃棄物埋設地からの地下水移行によって生じる被ばくに関する人間活動(最も可能性が高い自然事象シナリオの水利用と同じ)も考慮する。

よって、居住者は、大規模な掘削後の廃棄物埋設地に居住する人を対象として、家庭菜園により生産される農産物及び市場に流通した食品を摂取すると想定する。

d. 放射性物質の移行挙動及び被ばく経路

廃棄物埋設地の大規模な掘削に伴い、放射性物質は埋設設備、覆土、岩盤(鷹架層)及び周辺土壤と混合した土壤に移行する。また、大規模な掘削による擾乱を受けた後の地下水による沢及び尾駁沼への放射性物質の移行は、自然事象シナリオと同様とする。

このような放射性物質の移行挙動を踏まえ、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) 建設業従事者

- ・ 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) 居住者

- ・ 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壤上での居住による外部被ばく

- ・ 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って発生する土壤上で生産される農耕農産物(家庭菜園)の摂取による内部被ばく

- ・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る覆土の低透水性機能喪失後の廃棄物埋設地から漏出する放射性物質が移行する尾駈沼の水産物の摂取による内部被ばく
- ・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る覆土の低透水性機能喪失後の廃棄物埋設地から漏出する放射性物質が移行する沢の利用によって生産される灌漑農産物の摂取による内部被ばく

e. 線量評価モデル

人為事象シナリオにおける評価モデルとして、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及び被ばく経路に対応した線量を計算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以下に示す。

(a) 放射性物質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、掘削された埋設設備を含む土壌中の核種*i*の濃度は(21)式及び(22)式を用いて計算する。

なお、土壌中の核種*i*の濃度の計算において、建設作業が生じるまでの期間に廃棄物埋設地からの核種の漏出は考慮しない。

$$C_d(t, i) = \frac{A(t, i)}{V_w \cdot (1 - \varepsilon_s) \cdot \rho_s} \cdot G_p \quad \dots (21)$$

$$\frac{dA(t, i)}{dt} = -\lambda(i)A(t, i) + \lambda(i)A(t, i + 1) \quad \dots (22)$$

$C_d(t, i)$: 土壌中の核種*i*の濃度 (Bq/kg)

$A(t, i)$: 時刻*t*における核種*i*の総放射エネルギー (Bq) ;

$$A(0, i) = A_0(i)$$

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 (-)

(二) 建設作業後の廃棄物埋設地からの地下水による放射性物質の移行

(ア) 埋設設備及び難透水性覆土内の地下水中の移行

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。

(イ) 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。

(ウ) 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。

(エ) 尾駁沼水中又は沢水中の放射性物質の濃度

尾駁沼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。

(オ) 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、(7)式を用いて計算する。

(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(14)式及び(15)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外部被ばく

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って発生する土壌上での居住により外部被ばくする場合の線量は、(16)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。

(三) 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生産される農耕農産物(家庭菜園)の摂取による内部被ばく

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って発生する土壌を利用して生産される農耕農産物(家庭菜園)の摂取により内部被ばくする場合の線量は、(19)式及び(20)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。

(四) 尾駁沼の水産物の摂取による内部被ばく

尾駁沼の水産物の摂取により内部被ばくする場合の線量は、(9)式を用いて計算する。

(五) 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、(10)式及び(11)式を用いて計算する。

f. 線量評価パラメータ

人為事象シナリオは、発生の可能性の小さい仮想的なシナリオであることから、過度な保守性を避けるため、土壌の希釈係数、居住者の屋外における遮蔽係数及び埋設設備からの流出水量以外は、最も可能性が高い自然事象シナリオと同じ値を用いる。各線量評価パラメータの詳細は補足説明資料 9 を参照。

(a) 建設業従事者

大規模建設作業では、大規模な掘削として埋設設備底部までの掘削を想定し、埋設設備寸法、掘削計上、掘削深度等を考慮して、土壌の希釈係数を設定する。また、掘削時点で廃棄物埋設地に残存する放射エネルギーは掘削までの間の放射性物質の漏出はないものとして設定し、その他の線量評価パラメータは状態設定を踏まえて現実的な値を設定する。

(b) 居住者

掘削土壌にはコンクリート構造物である埋設設備が含まれるため、大規模な掘削によって発生する土壌上での居住に際しては、客土が施されるものとして、居住者の遮蔽係数を設定する。また、掘削の影響を受けた後の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は、覆土の低透水性が損なわれた状態を考慮して、難透水性覆土及び下部覆土の低透水性の機能が周辺土壌程度まで低下するものとして設定し、その他の線量評価パラメータは、最も可能性が高い自然事象シナリオと同じ値を用いる。

g. 線量評価結果

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建設業従事者の線量は、約 $2.5 \times 10^{-3} \text{mSv/y}$ (3 号廃棄物埋設地)、約 $5.9 \times 10^{-3} \text{mSv/y}$ (1 号廃棄物埋設地) 及び約 $5.8 \times 10^{-3} \text{mSv/y}$ (2 号廃棄物埋設地) である。

また、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に居住する居住者の線量は約 $1.6 \times 10^{-2} \text{mSv/y}$ (3 号廃棄物埋設地)、約 4.2×10^{-2}

2mSv/y (1号廃棄物埋設地) 及び約 $3.1 \times 10^{-2}\text{mSv/y}$ (2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。

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) (1/3)

評価対象個人	3号廃棄物埋設地 線量(mSv/y)	線量が最大となる 覆土完了後の時期 (y)
(a) 建設業従事者	約 2.5×10^{-3}	約 300
(b) 居住者	約 1.6×10^{-2}	約 300

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) (2/3)

評価対象個人	1号廃棄物埋設地 線量(mSv/y)	線量が最大となる 覆土完了後の時期 (y)
(a) 建設業従事者	約 5.9×10^{-3}	約 300
(b) 居住者	約 4.2×10^{-2}	約 300

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) (3/3)

評価対象個人	2号廃棄物埋設地 線量(mSv/y)	線量が最大となる 覆土完了後の時期 (y)
(a) 建設業従事者	約 5.8×10^{-3}	約 300
(b) 居住者	約 3.1×10^{-2}	約 300

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) 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
- (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.(1998): Magnitudes of sea-level lowstands of the past 500,000 years, NATURE, (394), pp.162-165
- (21) IPCC(2013) : Climate Change 2013:The Physical Science Basis, AR5, WGI, 第5次評価報告書第1作業部会報告書-技術要約-、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) Nuclear Energy Agency(2000)： Features, Events and Processes (FEPs) for Geologic Disposal of Radioactive Waste: An International Database
- (28) Nuclear Energy Agency(2006)： The NEA International FEP Database: Version2.1
- (29) 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－
- (30) International Atomic Energy Agency(2004)： Safety Assessment Methodologies for Near Surface Disposal Facilities, Results of a co-ordinated research project
- (31) 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
- (32) 一般社団法人 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
- (33) 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
- (34) 公益財団法人 土木学会(平成 25 年)：2012 年制定コンクリート標準示方書[設計編]、pp. 91-98
- (35) 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
- (36) 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
- (37) 藤山哲雄、田中幸久、廣永道彦、森敦史(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
- (38) 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
- (39) 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

- (40) 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
- (41) 社団法人 地盤工学会(2009)：地盤材料試験の方法と解説
- (42) 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－
- (43) 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
- (44) 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
- (45) 日本原子力研究所(1989)：低レベル放射性廃棄物固化体の長期浸出試験
- (46) 宮脇健太郎、鈴木泰博、本山光志(2018)：アスファルト固化体からの環境影響物質の
長期浸出挙動と浸出機構、廃棄物資源循環学会論文誌 Vol. 29、pp. 127-138
- (47) 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
- (48) 日本エヌ・ユー・エス株式会社(1988)：六ヶ所村周辺の社会環境実態調査結果報告書
- (49) 青森県健康福祉部保健衛生課(2020)：平成 30 年度版 青森県の水道
- (50) 青森県(平成 19 年)：新むつ小川原開発基本計画素案に係る環境影響評価書
- (51) 六ヶ所村(平成 31 年)：平成 30 年度版 六ヶ所村統計書
- (52) 総務省統計局(2016)：平成 27 年 国勢調査