

東京電力株式会社福島第一原子力発電所における  
事故を踏まえた六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センターの  
安全性に関する総合的評価に係る報告書

2012年4月27日

日本原燃株式会社

## 目 次

1. はじめに.....	1
2. 低レベル放射性廃棄物埋設センターの概要.....	2
2.1 立地.....	2
2.2 廃棄物埋設施設の概要.....	4
2.3 廃棄体の仕様.....	10
2.4 受入れから埋設までの流れ.....	12
3. 指示文書の要求事項.....	13
3.1 実施方法.....	13
3.2 考慮すべき条件.....	13
3.3 起回事象.....	13
3.4 設計上の想定を超える事象.....	13
3.5 評価の進め方.....	14
4. 評価方法.....	15
4.1 起回事象と設計上の想定を超える事象の考え方.....	15
4.2 実施手順.....	16
4.3 評価時点.....	17
4.4 評価に当たっての留意事項.....	17
5. 設計上の想定を超える事象の評価.....	18
5.1 起回事象の設定.....	18
5.2 設計上の想定を超える事象の設定.....	25
5.3 代表的なシナリオの被ばく評価.....	33
5.4 評価結果のまとめ.....	42
6. まとめ.....	43

## 1. はじめに

平成 23 年 11 月 25 日、経済産業省原子力安全・保安院から当社に対し、「東京電力株式会社福島第一原子力発電所における事故を踏まえた核燃料サイクル施設の安全性に関する総合的評価の実施について（指示）」（平成 23・11・24 原院第 4 号）（以下、「指示文書」という。）が発出され、設計上の想定を超える事象等の発生時における安全性に関して、総合的に評価を行うよう指示された。

本報告書は、指示文書に基づき、当社低レベル放射性廃棄物埋設センターの安全性に関して総合的に評価した結果を取りまとめたものである。

## 2. 低レベル放射性廃棄物埋設センターの概要

低レベル放射性廃棄物埋設センター（以下、「埋設センター」という。）は、原子力発電所等で発生した低レベル放射性廃棄物の埋設を目的としている。

現在は、国から8万 $\text{m}^3$ （ドラム缶約40万本相当）の事業許可を得て、1号および2号廃棄物埋設地〔各々4万 $\text{m}^3$ （ドラム缶約20万本相当）〕に、原子力発電所の運転に伴い発生した低レベル放射性廃棄物を容器（200ℓドラム缶）に固型化したもの（以下、「廃棄体」という。）を受け入れて埋設を進めている。

埋設センターの立地、廃棄物埋設施設の概要、受け入れている廃棄体の仕様、受け入れから埋設までの流れは以下のとおりである。

### 2.1 立地

埋設センターの敷地は、青森県の北東部に位置する下北半島南部の上北郡六ヶ所村大石平にある標高30～60mの丘陵地帯にあり、南側は尾駁沼に面している。近接集落の野附地区までの距離は約1.5km、青森県青森市および三沢市までの距離は、それぞれ約80kmおよび約40kmである。

敷地面積は約340万 $\text{m}^2$ で、東西に長い形状である。図1のように、廃棄物埋設地（1号および2号廃棄物埋設地）は敷地のほぼ中央北寄りに位置し、廃棄物埋設地の東側に低レベル放射性廃棄物管理建屋（以下、「管理建屋」という。）を設置している。

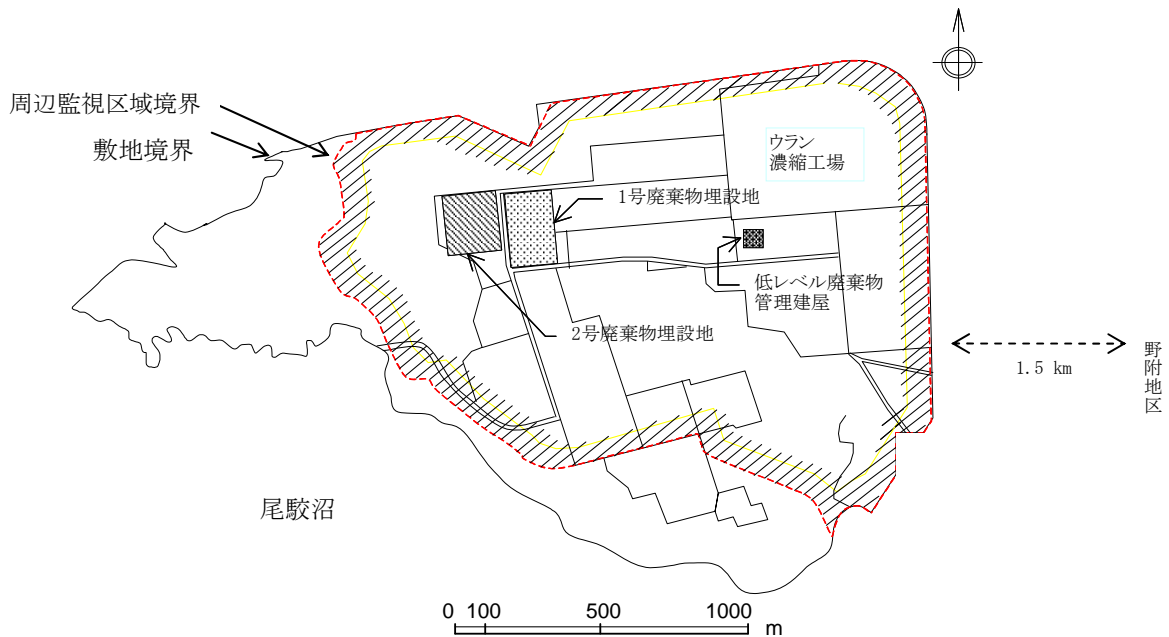


図1 施設配置図



図 2 廃棄物埋設地(2010年8月)



図 3 低レベル廃棄物管理建屋

## 2.2 廃棄物埋設施設の概要

### 2.2.1 廃棄物埋設地

#### (1) 1号廃棄物埋設地

敷地内の、標高 45～46 m の造成面を標高約 32～26 m まで掘り下げた面に、廃棄体を収納する鉄筋コンクリート造の埋設設備（1 基で 5, 120 本の廃棄体を収納）を 40 基（約 20 万本分）まで順次構築しながら廃棄体を埋設する計画である。

埋設設備は、鉄筋コンクリート造の内部仕切設備により 16 区画に仕切られた構造となっており、区画ごとに廃棄体が満杯になった後にセメント系充てん材（モルタル）を充てんし、空げきが残らないようにする。すべての区画が充てんされた後に鉄筋コンクリートによる覆いを施し、埋設設備 1 基をひとつの岩石のように仕上げる。（図 4 参照）

#### 埋設設備の仕様

- ・外形寸法 約 24 m×約 24 m 高さ約 6 m
- ・外周仕切設備 側壁：約 50 cm 底版：約 60 cm
- ・内部仕切設備 壁厚：約 40 cm
- ・覆い厚さ 約 50 cm
- ・内部区画面数 16 区画
- ・区画ごとの廃棄体収納数 320 本（8 行 5 列 8 段）
- ・構築数（計画） 40 基（約 20 万本分）

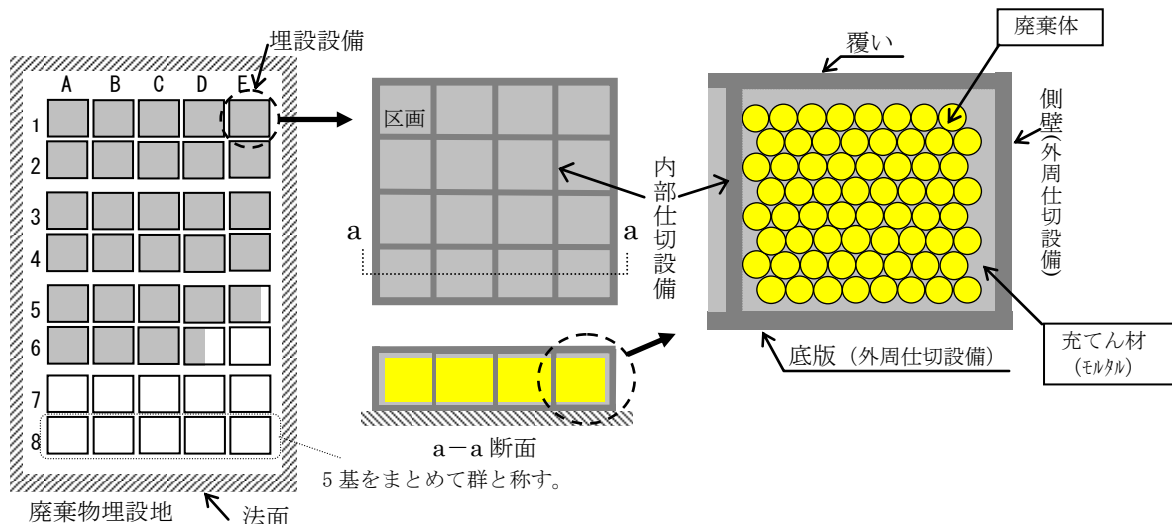


図 4 埋設設備概略構造（1号廃棄物埋設設備）

2012年2月末現在の状況（図5参照）

- ・埋設設備構築数 30基
  - 覆いまで終了 27基
  - 廃棄体定置作業中 2基
  - 廃棄体定置前 1基
- ・埋設設備未構築数 10基
- ・廃棄体埋設本数 145,915本

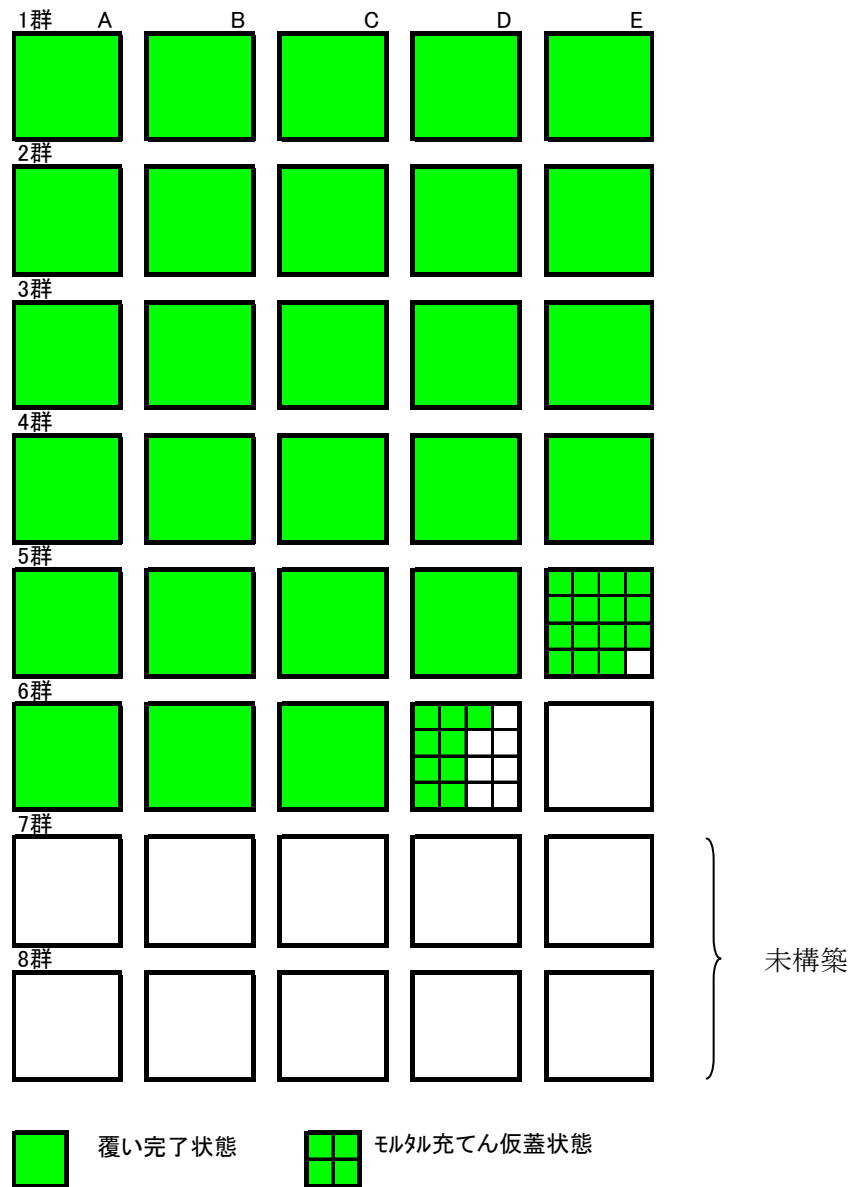


図5 1号廃棄物埋設地の状況図（2012年2月末現在）

## (2) 2号廃棄物埋設地

1号廃棄物埋設地の西側に隣接した、標高52mの造成面を標高約36～31mまで掘り下げた面に、廃棄体を収納する鉄筋コンクリート造の埋設設備（1基で12,960本の廃棄体を収納）を16基（約20万本分）まで順次構築しながら廃棄体を埋設する計画である。

埋設設備は、鉄筋コンクリート造の内部仕切設備により36区画に仕切られた構造となっており、1号と同様の手順で構築していく（図6参照）。

### 埋設設備の仕様

- ・外形寸法 約36m×約37m 高さ約7m
- ・外周仕切設備 側壁：約60cm 底版：約80cm
- ・内部仕切設備 壁厚：約40cm
- ・覆い厚さ 約50cm
- ・内部区画数 36区画
- ・区画ごとの廃棄体収納数 360本（8行5列9段）
- ・構築数（計画） 16基（約20万本分）

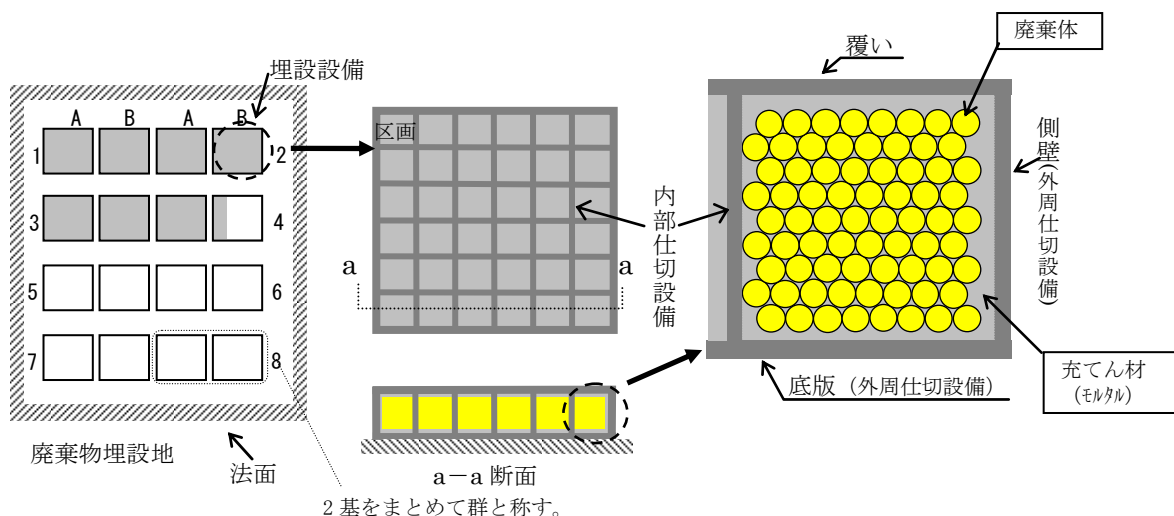


図6 埋設設備概略構造（2号廃棄物埋設設備）



2012年2月末現在の状況（図7参照）

- ・埋設設備構築数 10基
  - 覆いまで終了 6基
  - モルタル充てん終了 1基
  - 廃棄体定置作業中 1基
  - 廃棄体定置前 2基
- ・埋設設備構築中 2基
- ・埋設設備未構築数 4基
- ・廃棄体埋設本数 93,592本

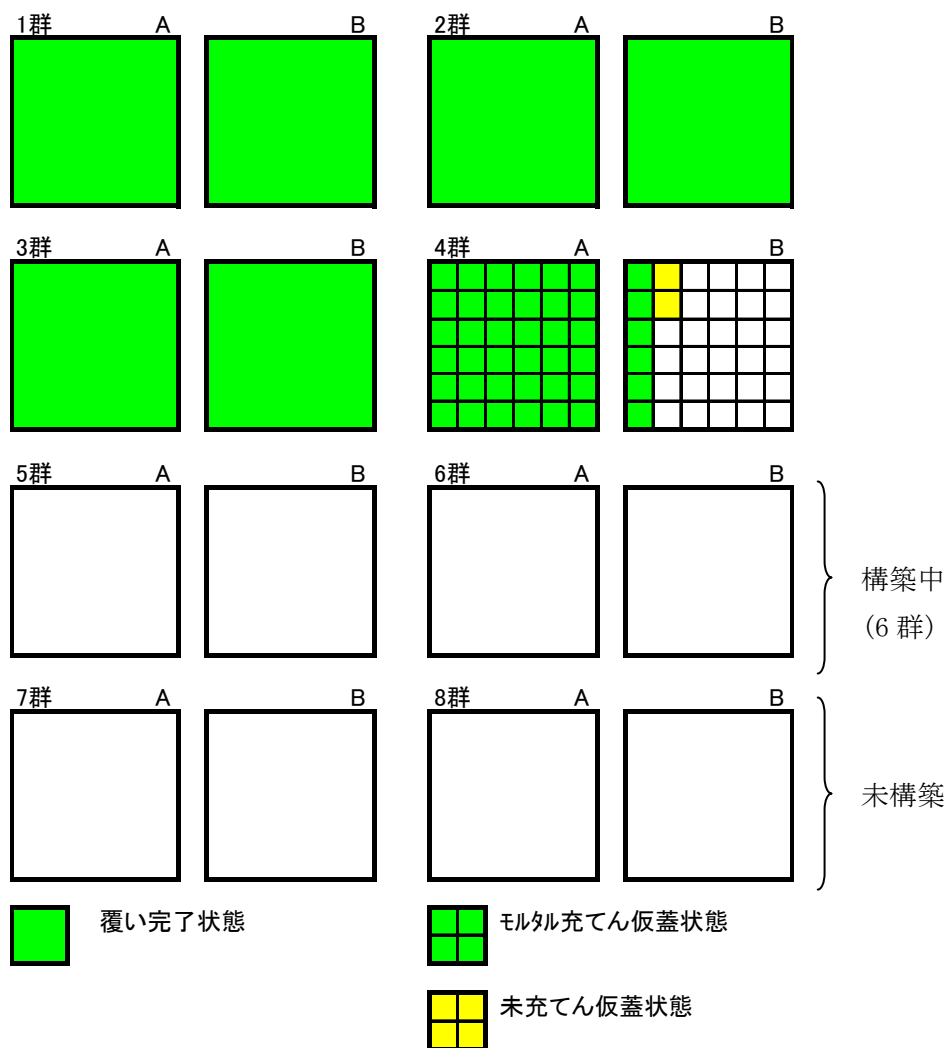


図7 2号廃棄物埋設地の状況図（2012年2月末現在）

## 2.2.2 廃棄物埋設地の附属施設

### (1) 建物

管理建屋は、附属施設のうち放射性廃棄物の受入れ施設、液体廃棄物の廃棄施設、固体廃棄物の廃棄施設等の一部又は全部を収納する。

管理建屋は、廃棄物埋設地東側の標高 35 m の位置に建てられている鉄骨鉄筋コンクリート造で、設計地震力および許容限界は、耐震設計上の重要度分類の C クラスを適用している。その規模は概ね平面が約 60 m×約 60 m、高さが約 15 m、地上 2 階、建築面積は約 3,600 m<sup>2</sup> の建物で、主要部分のコンクリート厚さは、外壁で約 0.2 m～約 0.9 m、屋根で約 0.2 m～約 0.4 m である。

管理建屋に設けられた換気空調設備は、非管理区域系と管理区域系とに区分し、各区域に清浄外気を供給するとともに建屋内温度を適切に制御している。

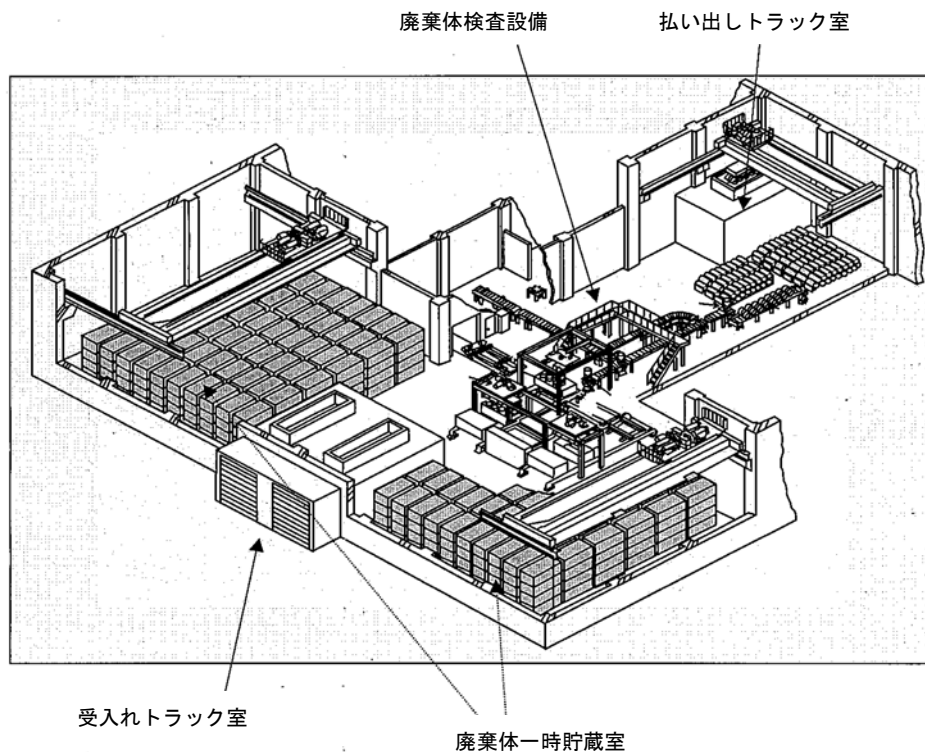


図 8 管理建屋の鳥瞰図

### (2) 放射性廃棄物の受入れ施設

輸送されて来た廃棄体 8 本収納の輸送容器（IP-2 型輸送物）を一時貯蔵天井クレーンにより廃棄物一時貯蔵室に 4 段積みで最大 3,200 本を一時貯蔵する。輸送容器から廃棄体を 1 本ずつ取り出し、検査室において廃棄体ごとに表示される整理番号の読み取り、外観の検査を行う。検査済の廃棄体は、払い出し天井クレーンにより 8 本単位で構内輸送車両に積載のうえ廃棄物埋設地に輸送し、埋設クレーンを用いて埋設設備の区画内に定置する。なお、これらは自動化、遠隔化が図

られている。

一時貯蔵天井クレーン等は各種インターロックを備え、吊り具には吊り荷の振れ止めを考慮するとともに、廃棄体つかみ具は、廃棄体を1本ごと確実につかむことができる構造となっている。これらを遠隔操作するための制御室を有しており、動力源として商用交流電源を使用しているが、主に上記の設備の動力電源であり、停電が発生しても放射性物質の管理面での安全性への影響はない。

### (3) 放射線管理施設

放射線業務従事者等の出入管理ができるようにするとともに、エリアモニタ等の放射線モニタ、個人線量測定器、放射線サーベイ機器等の器材を備えている。分析廃液、排水・監視設備からの排水等の放射性物質の濃度を測定するための試料分析関係設備や、換気空調設備の排気口における放射性物質の濃度を監視するための排気用モニタを設置している。さらに、周辺監視区域境界付近における外部放射線に係る線量当量の測定をモニタリングポイントにより行っている。

### (4) その他の附属施設

液体廃棄物処理設備は、発生する液体廃棄物に対し十分な容量の収集タンク、ろ過装置、サンプルタンク等により構成する。また、固体廃棄物処理設備は、使用済樹脂受タンク、固化装置、廃棄物保管エリア等により構成する。

なお、廃棄物処理設備は、埋設センター内で発生した廃棄物を処理するための設備であるが、2012年2月末現在で埋設センター内では放射性廃棄物が発生していないため、使用実績はない。

### 2.3 廃棄体の仕様

廃棄物埋設地に埋設される廃棄体は、「核燃料物質又は核燃料物質によつて汚染された物の第二種廃棄物埋設の事業に関する規則」に定める廃棄体の技術上の基準に適合するように、原子力発電所において製作される。また、原子力発電所において、廃棄体の事業許可の範囲で定める受入れの基準(以下、「受入基準」という。)に適合していることが検査されたものである。廃棄体の表面線量当量率は、受入基準では 10 mSv/h を超えないこととしており、2012 年 2 月末現在までに受け入れているものは 2 mSv/h 以下であり、平均値は 1 号廃棄体で約 0.1 mSv/h、2 号廃棄体で約  $3.5 \times 10^{-2}$  mSv/h となっている。

事業許可申請における放射エネルギーおよび放射能濃度について、表 1 に示す。

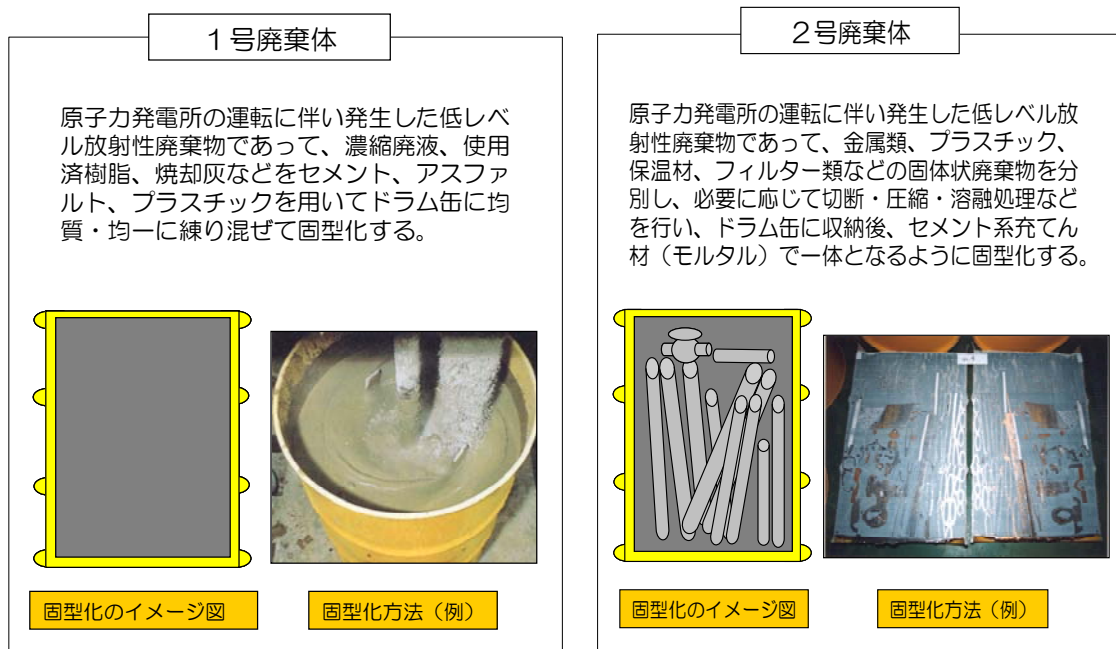


図 9 1号廃棄体および2号廃棄体の性状

表 1 申請放射エネルギーおよび濃度

事業 許可申請	1号			2号			
	申請 総放射エネルギー [Bq]	平均 放射能濃度 [Bq/ton]	最大 放射能濃度 [Bq/ton]	申請 総放射エネルギー [Bq]	平均 放射能濃度 [Bq/ton]	最大 放射能濃度 [Bq/ton]	
放射エネルギー・濃度	H-3	$1.22 \times 10^{14}$	$2.03 \times 10^9$	$3.07 \times 10^{11}$	$1.22 \times 10^{14}$	$2.03 \times 10^9$	$1.22 \times 10^{12}$
	C-14	$3.37 \times 10^{12}$	$5.62 \times 10^7$	$8.51 \times 10^9$	$3.37 \times 10^{12}$	$5.62 \times 10^7$	$3.37 \times 10^{10}$
	Co-60	$1.11 \times 10^{15}$	$1.85 \times 10^{10}$	$2.78 \times 10^{12}$	$1.11 \times 10^{15}$	$1.85 \times 10^{10}$	$1.11 \times 10^{13}$
	Ni-59	$3.48 \times 10^{12}$	$5.80 \times 10^7$	$8.88 \times 10^9$	$3.48 \times 10^{12}$	$5.80 \times 10^7$	$8.88 \times 10^9$
	Ni-63	$4.44 \times 10^{14}$	$7.40 \times 10^9$	$1.11 \times 10^{12}$	$4.44 \times 10^{14}$	$7.40 \times 10^9$	$1.11 \times 10^{12}$
	Sr-90	$6.66 \times 10^{12}$	$1.11 \times 10^8$	$1.67 \times 10^{10}$	$6.66 \times 10^{12}$	$1.11 \times 10^8$	$6.66 \times 10^{10}$
	Nb-94	$3.33 \times 10^{10}$	$5.55 \times 10^5$	$8.51 \times 10^7$	$3.33 \times 10^{10}$	$5.55 \times 10^5$	$3.33 \times 10^8$
	Tc-99	$7.40 \times 10^9$	$1.23 \times 10^5$	$1.85 \times 10^7$	$7.40 \times 10^9$	$1.23 \times 10^5$	$7.40 \times 10^7$
	I-129	$1.11 \times 10^8$	$1.85 \times 10^3$	$2.78 \times 10^5$	$1.11 \times 10^8$	$1.85 \times 10^3$	$1.11 \times 10^6$
	Cs-137	$4.07 \times 10^{13}$	$6.78 \times 10^8$	$1.04 \times 10^{11}$	$4.07 \times 10^{13}$	$6.78 \times 10^8$	$4.07 \times 10^{11}$
	全α	$2.33 \times 10^{11}$	$7.77 \times 10^6$	$5.55 \times 10^8$	$2.33 \times 10^{11}$	$7.77 \times 10^6$	$5.55 \times 10^8$

## 2.4 受入れから埋設までの流れ

管理建屋に受け入れた廃棄体は、輸送容器に入れたままの状態管理建屋内に一時貯蔵し、その後、輸送容器から取出し、輸送中に破損が無いことを確認するための外観検査や、原子力発電所から送られてきた廃棄体と受け入れた廃棄体が同一のものであることの確認、標識の確認を行い、順次廃棄物埋設地まで構内輸送車両で運搬し、計画された埋設設備の区画に定置する。

埋設設備は、区画ごとに廃棄体が満杯になった後にセメント系充てん材（モルタル）を充てんし、すべての区画が充てんされた後に鉄筋コンクリートによる覆いを施し、覆土までの期間、監視と点検を定期的に行う。

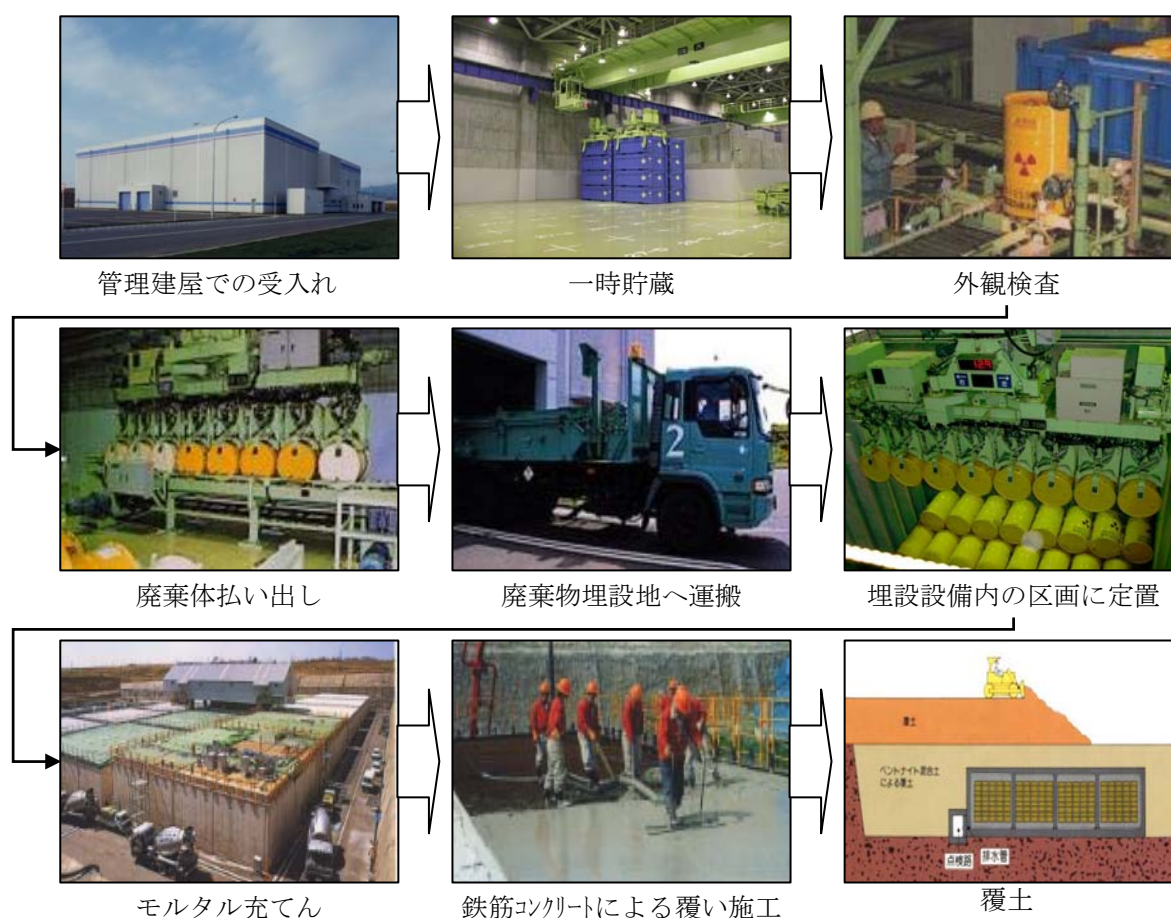


図 10 埋設センターでの廃棄体受入れ後から埋設までの流れ

### 3. 指示文書の要求事項

#### 3.1 実施方法

地震、津波等の「起因事象」が「設計上の想定を超える事象」にまで進展すると仮定し、評価対象施設がどの程度まで「設計上の想定を超える事象」に至ることなく耐えることができるか、施設の特徴に応じて、安全裕度を評価すること。

また、「設計上の想定を超える事象」の発生および更なる進展を防止するための措置（以下、「アクシデントマネジメント」という。）の効果を評価すること。これらの評価を通して、安全性に関する潜在的な脆弱性を明らかにするとともに、「設計上の想定を超える事象」に対する安全性を総合的に評価すること。

なお、いかなる「起因事象」についても「設計上の想定を超える事象」が過度の放射線被ばくを与える事象に至らないことが合理的に説明できる場合には、安全裕度やアクシデントマネジメントの効果の評価に代えて、その説明を示すこと。

#### 3.2 考慮すべき条件

事業許可・事業指定において許容されている最も厳しい条件の下で起因事象が生じるものと仮定し、報告書提出時点において整備されている安全対策を考慮して評価を行うこととする。

#### 3.3 起因事象

地震、津波およびこれらの重畳といった自然現象により、ならびに自然現象によらない何らかの原因により、以下の安全機能を喪失すると仮定する。なお、その他の自然現象の重畳により、事象の過程に大きな影響を及ぼす可能性がある場合には、その影響および対応措置について検討すること。

- 全交流電源喪失
- 崩壊熱除去機能喪失
- 水素の滞留防止・供給停止機能喪失
- これらの重畳

#### 3.4 設計上の想定を超える事象

起因事象のうち施設の特徴に応じた事象が進展することにより、以下の事象に至ると仮定する。

- 放射性物質を含む溶液の沸騰
- 水素、TBP の錯体等による爆発
- 放射性物質を放出する火災
- 臨界
- 放射性物質・放射線の漏えい
- これらの事象の同時発生、あるいは一つの事象の複数箇所での発生

### 3.5 評価の進め方

評価に当たっては、施設の特徴に応じて、国内外の評価事例などを参考にして「設計上の想定を超える事象」の発生箇所、発生条件などを同定するとともに、事象の進展過程をイベントツリーの形式で示すこと。イベントツリーの各段階において、使用可能な防護措置を示すとともにその有効性と限界を示すこと。また、施設の特徴に応じて、以下の点にも留意すること。

- 決定論的な手法を用い、過度の保守性を考慮することなく現実的な評価を行う。
- 緊急安全対策を実施した施設については、その効果を明らかにする。
- 事象の進展の過程や時間、アクシデントマネジメントを実施するのに要する時間を明らかにする。
- 防護措置の評価に当たっては、合理的な想定により機能回復を期待できる場合を除いて一度機能を失った機能は回復しない、プラント外部からの支援は受けられない等、厳しい状況を仮定する。
- 事業者が自主的に強化した施設・機能や、耐震 S クラス以外の構造物・機器であっても合理的な推定によって機能維持が期待できるものについては、評価においてその機能を考慮することができる。
- 自然現象が安全機能の喪失によらずに「設計上の想定を超える事象」に進展する場合の影響が、安全機能の喪失を経て進展する場合よりも大きいのであれば、その安全裕度についても評価する。
- この取組みが、自らの施設の有する余裕や潜在的な脆弱性を把握し、安全を向上させるためのプロセスの一環であることを意識して実施する。



#### 4. 評価方法

埋設センターにおける安全性に関する総合的評価では、廃棄物埋施設の特徴を踏まえて、地震、津波等の自然現象により、直接、設計上の想定を超える事象に至ることを想定し、その場合の公衆に与える放射線被ばく影響について評価するものとし、以下の考え方と手順で評価を実施する。

##### 4.1 起因事象と設計上の想定を超える事象の考え方

埋設センターで扱うものは固体状の低レベル放射性廃棄物であり、廃棄物埋施設は静的な施設で、指示文書で示された安全機能を持たない。このような廃棄物埋施設の特徴を踏まえて、安全機能の安全裕度の評価やアクシデントマネジメントの効果の評価に代えて、安全機能の喪失によらない事象の進展を想定し、設計上の想定を超える事象に対する評価を行う。すなわち、自然現象に基づく起因事象が廃棄物埋施設に作用して、設計上の想定を超える事象に基づく放射性物質・放射線の漏えいを評価する。

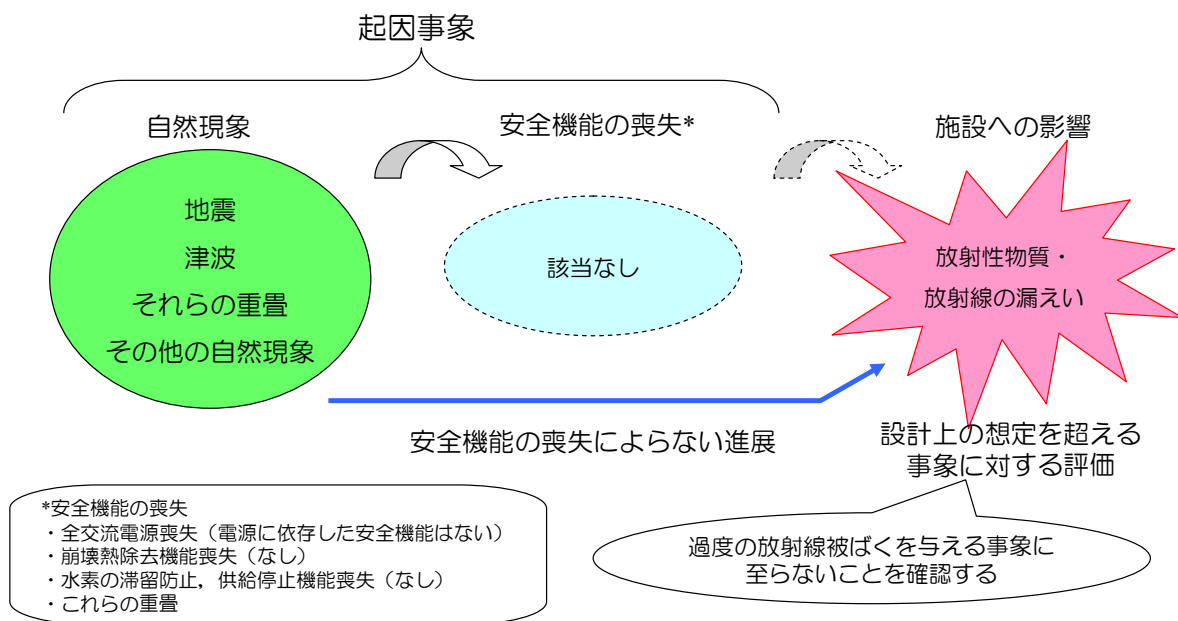


図 11 総合的評価の進め方

## 4.2 実施手順

### (1) 起回事象の設定

起回事象は、廃棄物埋施設の特徴を踏まえて、安全機能の喪失によらず、設計上の想定を超える事象に至る過程を想定し、その原因となる自然現象を起回事象とする。

考慮する自然現象は、「第二種廃棄物埋施設の事業に関する安全審査の基本的考え方」(以下、「基本的考え方」という。)の基本的立地条件で示されているものと、当社他施設の安全性に関する総合的評価で考慮しているものを対象とする。

### (2) 設計上の想定を超える事象の設定

設計上の想定を超える事象の評価に当たり、廃棄物埋施設の評価上の条件を設定する。廃棄物埋施設に、上記の自然現象により設計上の想定を超える物理的損傷が発生し、放射線の漏えいに伴う外部被ばくが生じることを想定する。また、廃棄体に破損が生じ、廃棄体中の放射性物質の漏えいに伴う内部被ばくが生じることを想定する。

なお、事象の設定に当たっては、過度の保守性を考慮することなく現実的な設定を行う。

### (3) 代表的なシナリオの被ばく評価

上記の設計上の想定を超える事象について、代表的な被ばく評価シナリオを選定し、外部被ばくおよび内部被ばくの評価を実施する。計算方法およびパラメータは、事業許可申請に基づいて実施することを基本とする。

### 4.3 評価時点

廃棄物埋設地の管理として、廃棄体を受け入れて埋設し覆土を行う第一段階（25年から35年程度）と、覆土後から人工バリアあるいは天然バリアによる放射性物質の移行抑制を行う第二段階および第三段階（約300年）がある。

これらの期間において、自然現象が廃棄物埋設施設に大きく影響を及ぼす時期は、廃棄物埋設地が覆土されて廃棄体が安定した地中にある状態よりも、地上において廃棄体を取り扱っている第一段階中が遮へいの観点や放射能の減衰の観点から最も厳しいことから、評価時点としては、第一段階で事業許可申請における最大数量（1号および2号廃棄物埋設地で各々約20万本）の操業（管理建屋での廃棄体の検査・払い出しおよび廃棄物埋設地での廃棄体定置作業）が行われている状態まで考慮したときに被ばく線量が最も高くなると考えられる時点の評価を行う。

なお、既に埋設済みの廃棄物埋設設備については、本評価実施時の最新の実績（2012年2月末現在）を考慮する<sup>※</sup>。

### 4.4 評価に当たっての留意事項

当社は「原子力発電所における安全のための品質保証規程（JEAC4111-2009）」を適用規格とする品質マネジメントシステム（以下、「QMS」という。）を構築するとともに、この考え方を「廃棄物埋設施設設計および工事に係る品質保証計画書」に明確に位置付け、当社の廃棄物埋設施設の設計および工事に係る活動をQMSの下で実施している。指示文書への対応においても、上記品質保証の仕組みのもと、総合的評価を実施するとともに、評価の過程で実施した社外への解析業務の委託に当たっては、社内要領「調達先管理要領」に基づき、適切な調達管理を実施している。

---

<sup>※</sup> ここでいう「実績を考慮する」とは、廃棄体の定置、充てんおよび覆いの施工が完了した埋設設備を前提条件として反映することを意味する（過去に埋設が完了した埋設設備における定置作業は想定しない）。

## 5. 設計上の想定を超える事象の評価

### 5.1 起回事象の設定

起回事象は、埋設施設の特徴を踏まえて設定する。すなわち、安全機能の喪失によらず、「設計上の想定を超える事象」に至る過程を想定し、その原因となる「自然現象」を「起回事象」とする。

「自然現象」は「基本的考え方」の基本的立地条件等で示された事象を考慮し、イベントツリーにより事象を整理し、自然現象の包含関係から、代表的な自然現象を起回事象として設定する。その結果、地震を起回事象とし、これに基づき埋設施設等の物理的損傷と浸水を考慮することとする。

#### 5.1.1 起回事象の考え方

廃棄物埋設施設は静的な施設であることから、指示文書で示された3安全機能（全交流電源供給機能、崩壊熱除去機能および水素の滞留防止・供給停止機能）は安全上必要な機能となっていない。そのため、地震、津波およびこれらの重畳といった自然現象からの安全機能の喪失によらずに「設計上の想定を超える事象」に至る過程を想定し、それぞれの事象に至る原因となる「自然現象」を「起回事象」とする。

#### 5.1.2 自然現象の考え方

考慮する自然現象は、「基本的考え方」の基本的立地条件で示されているものと、当社他施設の安全性に関する総合的評価で考慮しているものを対象とする。

- (1) 地震
- (2) 火山
- (3) 津波
- (4) 地すべり・陥没
- (5) 台風（強風・竜巻）
- (6) 高潮
- (7) 洪水・大雨
- (8) 異常寒波（熱波）
- (9) 豪雪
- (10) 落雷

#### 5.1.3 評価対象とする事象の選定

##### (1) 地震

想定を超える地震力による廃棄物埋設施設を構成する設備・部位、ならびに廃棄物埋設施設に間接的に影響を及ぼす可能性のある設備・部位の物理的損傷を想定する。これらのすべての設備・部位は、耐震重要度Cクラスに分類される。そ

のため、想定を超える地震力の作用を考慮する場合には、すべての設備・部位が損傷する可能性があるものと仮定する。損傷を仮定する設備・部位は以下のとおりとし、廃棄物埋設施設が損傷した状態に対して、大雨が降った場合に想定される浸水事象の重畳を仮定する。

なお、可燃性物質を使用する設備および機器は、着火源の排除および可燃性物質の漏えい防止対策を講じるとともに、実用上可能な限り不燃材および難燃材を使用していることから放射性物質を放出する火災は起こらない。

- ・ 廃棄体
- ・ 埋設設備（充てんモルタル、内部仕切設備を備えた外周仕切設備、覆い等）
- ・ 排水設備
- ・ 管理建屋
- ・ 輸送容器（IP-2 型輸送物）
- ・ 廃棄体取扱い設備（天井クレーン、ベルトコンベア、埋設クレーン等）
- ・ 廃棄体検査設備
- ・ 廃棄体運搬経路周辺、廃棄物埋設地の法面
- ・ 構内輸送車両
- ・ 放射線管理施設
- ・ その他附属施設

それぞれの設備・部位に損傷が生じた場合に、放射線または放射性物質の漏えいに至る過程を検討した結果、表 2 に示す要因を抽出した。

表 2 地震に起因した評価対象事象

設計上の想定を超える事象		事象に至る要因
物理的 損傷	放射線の漏えい	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地震動の作用による建屋外壁の損壊</li> <li>・ 地震動の作用による覆い、充てんモルタルの損傷</li> <li>・ 地震動の作用による仮蓋の損傷、落下</li> </ul>
	放射性物質の漏えい (大気中への移行)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地震動の作用による廃棄体の損傷</li> </ul>
浸水	放射性物質の漏えい (水中への移行)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 廃棄体の浸水</li> <li>・ 構内輸送車両に積載した廃棄体の浸水</li> <li>・ 未充てん区画内に存在する廃棄体の浸水</li> </ul>

## (2) 火山

考慮すべき火山現象としては、原子力発電所火山影響評価技術指針 (JEAG4625-2009) に示される①火山灰等の降下、②火山弾等の放出、③火砕流および火砕サージ、④溶岩流、⑤火山ガスの噴出、⑥岩屑(がんせつ)なだれ、⑦火山泥流、⑧新火口の形成が挙げられる。

①火山灰等の降下については、敷地内および近傍において、数 10 cm 程度の火山灰の堆積層が確認されていることから、敷地まで到達する可能性は否定できない。火山灰等の堆積により、施設に作用する荷重の増加が想定されるが、数 10 cm 程度の火山灰等の堆積ではコンクリート構造物への影響はない。

また、火山灰等が降雨により水に接触すると、火山灰中に含まれる化学物質等により、コンクリート構造物の化学的腐食が起こる可能性があるが、化学的腐食の進展速度を考慮すれば直ちに影響が生じるとは考えにくく、火山灰等の除去や経過観察等の対処が可能であることから、放射性物質・放射線の漏えいにつながるようなコンクリート構造物への影響は考えられない。廃棄体の腐食を促進する可能性も否定できないが、その結果、直ちに放射性物質の飛散が生じるとは考えられない。

なお、火山灰等の堆積や化学的腐食が原因で損傷が生じると仮定しても、その結果生じる状態は地震による物理的損傷に包含される。

②火山弾等の放出物については、同指針において到達範囲が 10 km 以内とされていることから、敷地と第四紀火山との距離を考慮すると当施設に到達する可能性はない。

③火砕流および火砕サージ、④溶岩流、⑥岩屑なだれ、⑦火山泥流については、活動規模や噴火タイプ等の活動様式、敷地周辺の地形を考えると、十和田火山(敷地の南西方約 65 km) による火砕流の影響の可能性が考えられるが、将来大規模噴火を生じるには今後 1 万年程度の休止期間が必要<sup>※)</sup>とされることから、少なくとも操業期間中の影響は考えられない。

⑤火山ガスの噴出については、②および③の理由から、基本的に想定されず、敷地が台地上に位置しており、地形的に滞留することも考えられない。

⑧新火口の形成については、敷地が火山フロントの東側に位置することから、少なくとも操業期間中に火口が形成されることは考えられない。

以上のことから、火山については評価対象としない。

※) 工藤崇、佐々木寿 (2004) : 地理情報に基づいた将来噴火予測 : 十和田火山におけるケーススタディ、日本地球惑星科学連合大会予稿集、V055-019

## (3) 津波

管理建屋の標高は 35 m、廃棄物埋設地の標高は 45~52 m、海岸からの距離は約

3 km の位置に造成されている。これに対し、2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震では、岩手県久慈市～宮城県女川町の範囲で津波の遡上高さが 30 m 以上を記録し、岩手県宮古市重茂姉吉(おもえあねよし)地区で 40.4 m の遡上高さが確認されている。これらの範囲では、地形的な効果により高い標高まで遡上したものと考えられるが、敷地近傍は V 型形状の湾など津波の遡上高さを増大させる特徴的な地形は見られず、津波が敷地まで遡上してくる可能性は考えられない。そのため、津波については評価対象としない。

#### (4) 地すべり・陥没

空中写真判読結果等によれば、管理建屋および廃棄物埋設地ならびにその周辺において地すべり地形および陥没が発生した形跡は認められず、敷地周辺の地形ならびに地質構造を考慮しても、大規模な地すべりや陥没が発生することは考えられない。仮に、廃棄物埋設地外縁部の法面のすべり破壊に伴う埋設設備への岩塊の衝突による物理的損傷は予想されるが、結果として予想される状態は地震によって損傷した埋設施設の状態に包含することができる。そのため、地すべり・陥没については評価対象としない。

#### (5) 台風（強風・竜巻）

管理建屋および埋設クレーンは、建築基準法およびクレーン構造規格で定められる風圧力に対する設計が行われているが、想定を超える風圧の作用および台風による飛来物の衝突を仮定する。いずれも、管理建屋や埋設設備等の屋外の設備・部位の物理的損傷を発生させるものであるが、想定される損傷範囲は局所的であると考えられ、結果として予想される状態は地震によって損傷した埋設施設の状態に包含することができる。そのため、台風については評価対象としない。

#### (6) 高潮

高潮は、津波と同様に敷地の位置および地形的特徴から影響が生じるとは考えられない。そのため、高潮については評価対象としない。

#### (7) 洪水・大雨

敷地は、二又川、老部川に囲まれた台地に位置する。近隣河川の標高は 5～20 m 程度であり、敷地との標高差を考慮すると、これらの河川が洪水・大雨により氾濫した場合でも敷地に影響を及ぼすことは考えられない。そのため、洪水・大雨については評価対象としない。

ただし、大雨については、地震による物理的損傷に対する重畳を評価するうえでは浸水事象として考慮する。

#### (8) 異常寒波（熱波）

異常寒波に関しては、屋外機器で凍結のおそれのあるものは必要に応じて凍結防止対策を講じるものとしているが、想定を超える寒波によって屋外機器の凍結が発生するものと仮定する。廃棄物埋設施設は基本的に静的な施設であることから機器類が凍結し、動作停止した場合でも安全上の影響は想定されない。排水設備が停止した場合の廃棄物埋設地の浸水は予想されるが、存在する水分も凍結するため、水が廃棄物と接触し、放射性物質が漏えいすることは考えられない。そのため、異常寒波については評価対象としない。

また、熱波に関しては、埋設クレーンの制御機器等に対して異常をもたらすことがあったとしても、廃棄物埋設施設は基本的に静的な施設であることから機器類が動作停止した場合でも安全上の影響は想定されない。そのため、熱波については評価対象としない。

#### (9) 豪雪

豪雪に関しては、想定を超える積雪深さによる影響を検討する。積雪については、建屋等に作用する荷重として構造設計が実施されており、想定を超えた場合には物理的損傷が生じる可能性があるが、結果として想定される状態は地震力によって損傷した状態に包含することができる。そのため、豪雪については評価対象としない。

#### (10) 落雷

落雷に関しては、埋設クレーンの制御機器等に対して異常をもたらすことがあったとしても、廃棄物埋設施設は基本的に静的な施設であることから機器類が動作停止した場合でも安全上の影響は想定されない。そのため、落雷については評価対象としない。



#### 5.1.4 評価対象とする事象

前項の検討に基づき、他の自然現象の影響も包含できる代表性を有する起因事象として、地震を評価対象とするものとした。その結果生じる物理的損傷とその派生事象である浸水に基づいて生じると考えられる想定外の状態を図 12 にイベントツリーとして示す。

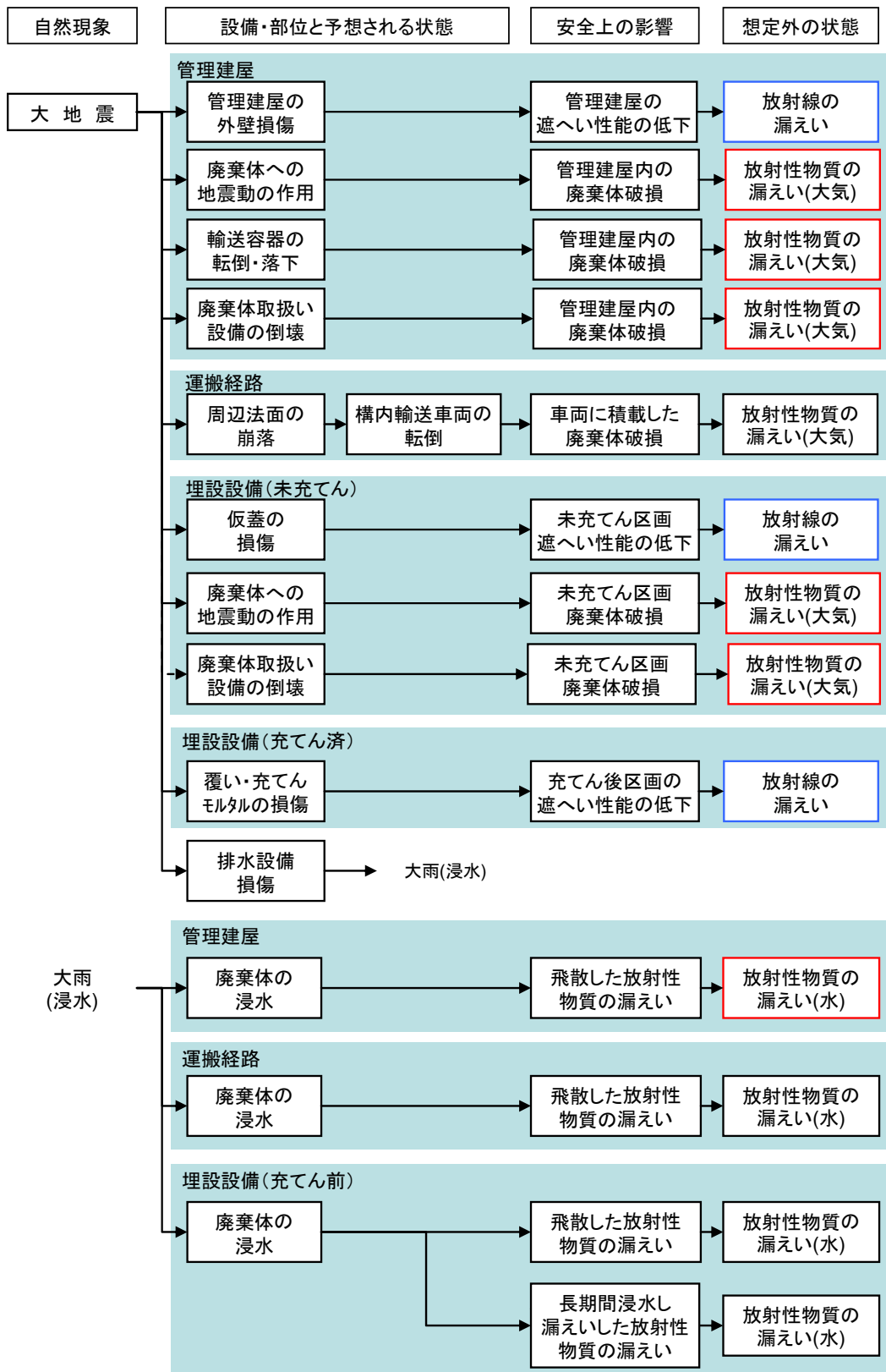


図 12 設計上の想定を超える事象に至るイベントツリー

※ イベントツリーは対策(防護措置等)の成功・失敗の分岐からなるものであるが、ここでは事象の進展を防ぐ対策を考慮せず成功の分岐を記述しない。

## 5.2 設計上の想定を超える事象の設定

設計上の想定を超える事象の評価に当たり、管理建屋や埋設設備等の状態を設定する。

### 5.2.1 管理建屋

#### (1) 管理建屋の状態

設計上の想定を超える地震力が管理建屋に作用した場合の管理建屋の状態について、1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震での一般建築構造物の被害を参考にすると、層崩壊などの事象が考えられるが、管理建屋はこれらの一般建築構造物とは異なり、低層で開口部の少ない鉄骨鉄筋コンクリート造の壁構造であるため管理建屋全体の構造が崩壊するような倒壊は考えられない。このような状態を仮定しても、屋根または2階部分により遮へいは確保されると考えられる。

層崩壊に至らないまでも、設計上の想定を超える地震力が作用して壁にせん断力が作用し、荷重の集中する隅角部等にひび割れを生じるなどして、コンクリートが剥落することは想定されるが、平板状の貫通したひび割れは生じないか、限定的であると考えられ、基本的に遮へいは確保されると考えられる。

ただし、本評価の目的を踏まえ、管理建屋については、部分的な開口を考慮する。具体的には、管理建屋の遮へいによって線量を低減する割合を表4に示すように設定する。

#### (2) 廃棄体の状態

管理建屋内では、廃棄体は輸送容器（IP-2型輸送物）に収納された状態で、4段積みで一時貯蔵される。一時貯蔵室の最大貯蔵本数は3,200本である。輸送容器から取り出し、検査が終了した廃棄体は、最大216本を仮置きすることができる。なお、216本は3,200本の内数で、設計上の廃棄体表面線量当量率は最大10mSv/hである。

輸送容器は本体と蓋によって構成される長さ約3m、幅約1.5m、高さ約1m、重さ約1トンの容器で、4本のボルトで締め付けた密封構造となっている。

また、廃棄体は容器に固型化されたものであり、十分な強度を持ち健全であることが確認されるので、廃棄体が損傷を受け、それが破損し内容物が飛散することは考えられないが、ここでは想定を超える異常時の安全性を確認するという観点から、本評価においては廃棄体の破損および放射性物質の漏えいを想定し、大気中へ移行する場合と管理建屋の浸水に伴い水中へ移行する場合を想定する。

廃棄体の受入れ・払い出しにより一時貯蔵する廃棄体の数量は増減するが、本評価においては、最大貯蔵本数である3,200本を対象とした評価とする。

評価対象とする放射エネルギーは、後述する平均化埋設の要件に基づいて計算される廃棄体1体当たりの放射エネルギーから設定する。

## 5.2.2 構内運搬

### (1) 構内輸送車両の状態

構内輸送車両は、輸送中は徐行運転としているため、輸送中に地震が発生したとしても直ちに停止することができる。また、運搬経路には見張員を配置し、構内輸送車両の通行を優先させており、運搬に従事する者以外の者および運搬に使用する車両以外の車両の廃棄物埋設地への立入りを制限していることから、他の車両の影響は受けない。

管理建屋と廃棄物埋設地の間はおおむね平坦な道路となっていることから、地震が発生したとしても運転制御が不能となることは想定されない。ただし、地面を掘り下げて造成した廃棄物埋設地への定置用道路の下り坂において、地すべり等の法面の崩壊が生じた場合、廃棄体を含む構内輸送車両そのものが土砂に取り囲まれる可能性はある。

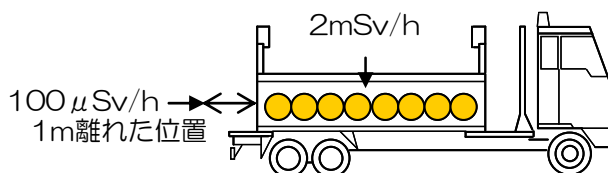
### (2) 廃棄体の状態

構内輸送車両表面（コンテナ部を含む。）における最大線量当量率が  $2\text{ mSv/h}$ 、車両の前面、後面および両側面から  $1\text{ m}$  離れた位置における最大線量当量率が  $100\ \mu\text{Sv/h}$  となるようにして運搬を行っている。

管理建屋から廃棄物埋設地への運搬は、一台当たり廃棄体  $8$  本を積載する構内輸送車両により行っている。当社では、構内輸送車両を  $5$  台所有しており、通常  $4$  台で運用している。

地すべり等による法面の崩壊が生じた場合、廃棄体を含む構内輸送車両そのものが土砂に取り囲まれる可能性はあるが、部分的な廃棄体の破損が想定されるのみである。地震影響により構内輸送車両が移動不能となった場合、降雨を考慮したとしても部分的な廃棄体の浸水が想定されるのみである。飛散した放射性物質が水中に移行する場合を想定するが、廃棄物埋設地は地面を掘り下げて埋設設備を設置しているため、意図的に排水しない限り環境中に放出されない。

運搬作業中に設計上の想定を超える事象が発生したとしても、管理建屋もしくは後述する廃棄物埋設地における廃棄体取り扱い本数のほうが多いため、それらに包含して評価することとする。



最大 $2\text{ mSv/h}$ ：車両表面（開放型は外輪郭に接する垂直面および車体の底面）

最大 $100\ \mu\text{Sv/h}$ ：車両の前面、後面および両側面から  $1\text{ m}$  離れた位置

図 13 廃棄体の構内運搬に係わる基準

### 5.2.3 埋設設備

#### (1) 埋設設備の状態

##### 1) 未充てん仮蓋状態の埋設設備の状態

廃棄物埋設地に設計上の想定を超える地震力が作用すると、仮蓋（約1m×約6m×約50cm）については位置ずれもしくは区画内外への落下・破損が考えられる。また、埋設設備では、外周・内部仕切設備や充てんモルタル等について部分的にひび割れが発生する可能性がある。ただし、側面に開口部はなく、外周・内部仕切設備からなる壁面を格子状に構成しているため、設計上の想定を超える地震力に対しても、埋設設備の構造が崩壊するような状態は考えられない。

一方、仮蓋は埋設設備の内部仕切設備や外周仕切設備上に架け渡した状態で設置してあるため、仮蓋が地震力により位置ずれもしくは区画内外への落下等により開口部が生成することを考慮する。具体的には、仮蓋の遮へいによって線量を低減する割合を表5に示すように設定する。

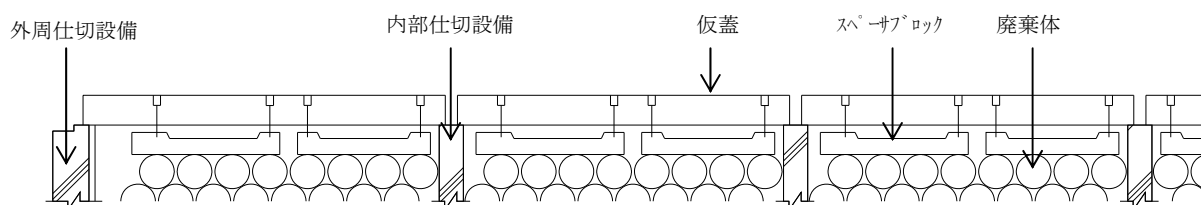


図 14 仮蓋の設置状態

## 2) 充てんおよび覆い済み埋設設備の状態設定

廃棄物埋設地に設計上の想定を超える地震力が作用すると、埋設設備が損傷する可能性がある。しかし、埋設設備は充てんを行えばひとつの岩石のように仕上げられた状態となるため、ひび割れは発生するものの、倒壊等の事象を生じることはない。このような状態においては、ひび割れは限定的なものになると想定されるため、一定の遮へいは確保されると考えられる。また、充てんモルタルにひび割れが生じたとしても、周囲が覆われているため、モルタル片としてその場にとどまり基本的に大きな開口は考えにくく、平板状の貫通したひび割れは生じないか、限定的であると考えられる。

ただし、本評価の目的を踏まえ、充てんモルタルや覆いコンクリートの打設が完了している埋設設備については、部分的な開口を考慮する。具体的には、充てんモルタルによるひび割れと覆いコンクリートのずれを考慮した遮へい性能の低下を表 5 に示すように設定する。

## (2) 廃棄体の状態

廃棄体は、廃棄物埋設地において、埋設設備群 8 群のうち北側の埋設設備群から埋設する。埋設設備の区画内に埋設クレーンにより、8 本を取扱い単位として定置する。定置は俵積み方式とし、1 区画内につき、1 号埋設設備については 8 行 5 列 8 段の計 320 本を、2 号埋設設備については 8 行 5 列 9 段の計 360 本を標準的な 1 日作業単位としている。

廃棄体の定置に当たっては、放射能濃度に極端な片寄りがなく、埋設設備の上面に定置する廃棄体は、2 mSv/h を超えないものとしている。1 号廃棄物埋設地については埋設設備の北側に定置する廃棄体についても同様に 2 mSv/h を超えないものとしている。

ここでいう極端な片寄りが無いとは、放射エネルギーを各埋設設備に平均的に割り振った場合の 2 倍を超えて片寄ることがないことを指す(以下、「平均化埋設の要件」<sup>\*</sup>という。)。この概念を図 16 に示す。

なお、廃棄体の定置を行う埋設設備には、あらかじめすべての区画に仮蓋を設置し、廃棄体の定置後は、仮蓋の再設置、モルタルの充てん等を順次区画ごとに行う。その後、埋設設備ごとに覆いの設置を行い、平常時の年間の外部被ばく線量が事業許可申請の数値を超えないように充てん、覆いの設置により順次遮へいを確保することとしている。

2012 年 2 月末現在における仮蓋保有数は、1 号廃棄物埋設地では 64 区画分(埋設設備 4 基分)、2 号廃棄物埋設地では 72 区画分(埋設設備 2 基分)である。

<sup>\*</sup> 1 号廃棄物埋設地については、事業許可の 11 核種それぞれの放射エネルギーの合計値は、申請総放射エネルギーに対して、埋設設備ごとに 2/40 以下とし、埋設設備群ごとに 1/8 以下としている。2 号廃棄物埋設地についても同様に、事業許可の 11 核種それぞれの放射エネルギーの合計値は、申請総放射エネルギーに対して、埋設設備ごとに 2/16 以下とし、東西方向の 2 埋設設備群ごとに 1/4 以下とすることである。

定置後未充てんとなっていた規模は、1号廃棄物埋設地では28区画分(埋設設備約1.8基分)、2号廃棄物埋設地では26区画分(埋設設備約0.8基分)となっている。

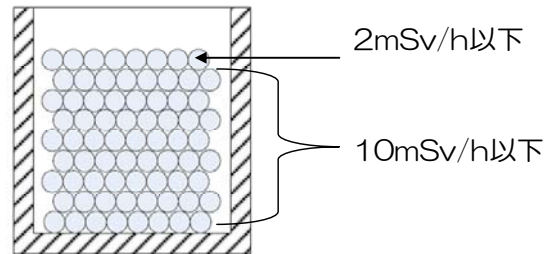


図 15 廃棄体定置方法(図は2号埋設設備の1区画分)

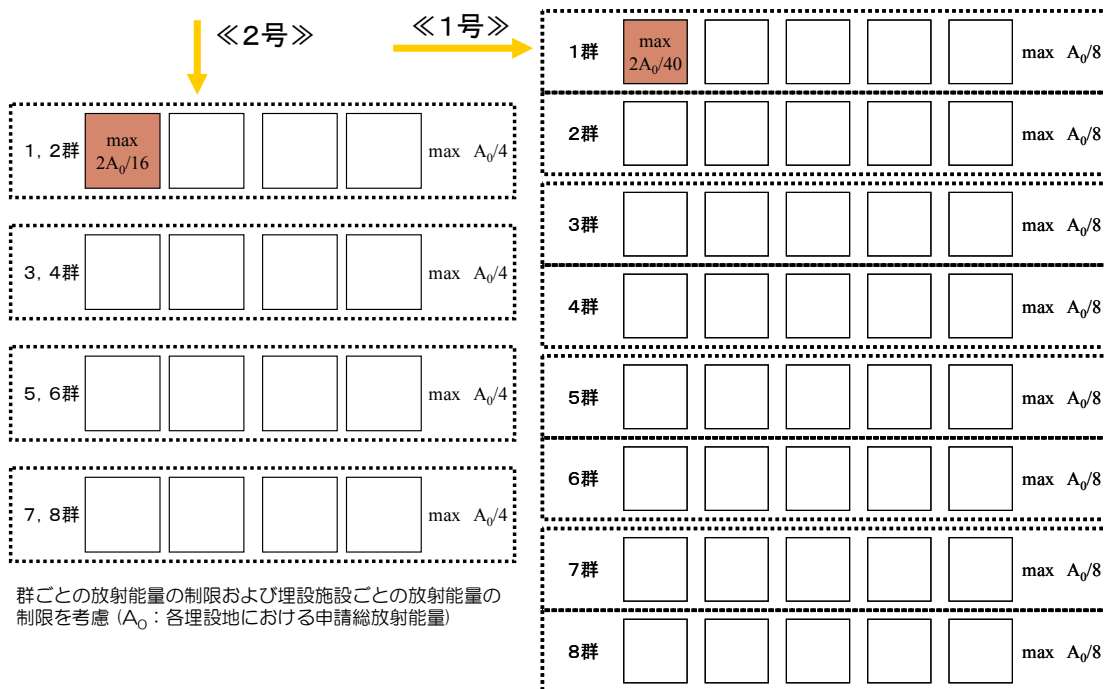


図 16 平均化埋設の要件の概念図

本評価のうち外部被ばくの評価においては、モルタル充てんや覆いなどの遮へいが確保されていない状態を考慮する。これまでの仮蓋の使用実績および未充てん区画数の実績はそれぞれ同時に最大となったものではないが、仮に同時に実績最大となることを想定した上で、未充てん状態の区画数を埋設設備基数単位で切り上げるにより、仮蓋設置状態および未充てん状態の区画数を設定する。

その結果、1号廃棄物埋設地では64区画分(埋設設備4基分)、2号廃棄物埋設地では72区画分(埋設設備2基分)が仮蓋設置状態とし、その半数が未充てん状態であることを想定する。さらに、定置作業中による事象発生を想定し、評

価時点における操業状態を踏まえて 1 区画が仮蓋のない状態となることを想定する。

また、内部被ばく評価においては、対象とする廃棄体数および放射エネルギーが多い状態を考慮する。評価対象とする廃棄体数の規模を、埋設設備で考えると、最大となる放射エネルギーは平均化埋設の要件から定められる。すなわち、埋設設備 1 基当たりの放射エネルギーは最大で、1 号では総放射エネルギーの 2/40、2 号では総放射エネルギーの 2/16 となる。

仮蓋の落下もしくはモルタル未充填状態における埋設設備内の廃棄体への地震動の作用により一部の廃棄体が破損する可能性があるが、その数は限定的であると考えられる。すべての廃棄体が破損し内容物が飛散することは考えられないが、ここでは想定を超える異常時の安全性を確認するという観点からモルタル未充填状態における埋設設備内のすべての廃棄体が破損および放射性物質の漏えいを仮定し、大気中へ移行する場合と浸水に伴い水中へ移行する場合を想定するが、廃棄物埋設地は地面を掘り下げて埋設設備を設置しているため、意図的に排水しない限り環境中に放出されない。



#### 5.2.4 応急措置に要する期間

地震等により廃棄物埋設施設が損傷し、それに伴い遮へい性能の低下が生じた場合、応急措置を実施せず長期にわたり公衆への被ばくが継続するという、平常時ではない状態は回避しなければならない。そのため、本評価では、緊急的な対策によらず応急措置が可能な期間を、災害により機能麻痺したインフラの復旧に要する十分な時間などを踏まえて設定し、その期間を公衆への被ばくが継続する期間として評価に反映するものとした。

##### (1) インフラの復旧に要する時間

想定外の規模の地震・津波により、周辺道路等のインフラが損傷し、長期間にわたり通行不能となることが予想される。インフラの機能麻痺により外部からの資機材等の調達が困難となり、対策を実施できない期間を、東北地方太平洋沖地震・津波の事例を参考に設定を行う。

同地震・津波において被害の大きかった主要な幹線道路は、国道4号、6号、45号、三陸道、283号である。これらの道路については、2011年3月30日、つまり地震・津波より20日後には99%の区間で通行可能となっている。ただし、一部の区間に関しては復旧に時間を要し、国道が全線通行可能となったのは、2012年2月3日である。

これに対して埋設センターの敷地への経路となる周辺の道路事情を鑑みると、南北をつなぐ国道338号に加え、陸奥湾側の国道279号線から県道24号、25号、180号などの西側からの経路が利用可能である。独立した複数の経路が確保されていることから、99%の区間が通行可能となった20日程度の期間があれば、敷地への経路は確保できるものと考えられる。

上記を踏まえ、本検討ではインフラの機能が回復し、応急措置に着手可能となるまでの期間として20日と設定する。

##### (2) 埋設施設等における応急措置に要する時間

インフラが復旧し、重機等の資機材が使用可能となった時点から、公衆への被ばくを平常時と同等の状態まで復旧するのに要する時間を設定する。

敷地内においては道路の一部損傷、法面の崩落などにより廃棄物埋設地までの経路が部分的に絶たれていたとしても、完全復旧ではなく通行可能な状態とするには数日程度で対応可能と考えられる。また、廃棄物埋設地においては落下した仮蓋や崩落した土砂等の撤去が想定されるが、重機を搬入するための最低限の作業環境の確保としては、1週間程度で対応可能と考えられる。したがって、作業環境の整備については10日間を想定する。

損傷を受けた廃棄物埋設施設からはガンマ線が継続的に放出されるため、これを遮へいする必要がある。平常時程度に線量率を低減させるためには、線量率を

2桁程度低減する必要がある。仮蓋(厚さ約0.5 m)は遮へいのない状態に比べ、3桁程度線量率を低下させる機能を持つことからこれを参考とする。

遮へいは、使用する材料・密度を考慮して適切な遮へい厚を確保して行う。主な遮へい方法を表3に示す。優先して実施すべき方法は、現場の作業環境の状況に応じて判断し、線量率の高い部分を優先して行う。本評価にて想定した条件が参考となる場合においては、定置作業中で遮へいのない1区画と、仮蓋のずれにより遮へい性能が低下した区画・埋設設備について、優先的に遮へいを行う。その他の覆い済みの埋設設備についてはその後に対応するが、線量率をより効果的に低減させるために、敷地境界から近い埋設設備から順次遮へいを確保することを基本とする。

表3 主な遮へい方法

方法	内容	遮へい厚
仮蓋架け替え	位置のずれた仮蓋を正規の位置に配置しなおす。	約0.5 m
鉄板敷き	破損して使用できない仮蓋の代わりに使用する。ひび割れ部分からの遮へいにも使用する。	約0.1 m
土のう(トンパック)積み	ひび割れ部分を中心に使用する。	約1 m
土砂の盛土	遮水シート上に盛土を行う。	約1 m

作業は複数の重機を用いることとして、1号および2号廃棄物埋設地それぞれにおいて1群ずつ作業が順に行われるものとし、各埋設設備は同時並行で作業が進むものと仮定する。

1号廃棄物埋設地の場合 : 10日×6群=60日

2号廃棄物埋設地の場合 : 10日×4群=40日

管理建屋の場合 : 10日

なお、仮に8群までの作業を考慮しても最大で約80日程度と想定され、遅くとも3ヶ月～4ヶ月程度で応急措置は十分可能と考えられる。また、資機材が十分調達できれば、各群において同時並行で作業は可能となるので、事象発生から2ヶ月以内に応急措置は可能となる。また、受け入れたすべての廃棄体の表面線量当量率は検査記録から把握することができるため、作業環境の整備および作業の従事にあたって放射線管理上の問題は発生しないと考えられる。

以上から、応急措置に係る期間を3ヶ月と設定する。

### 5.3 代表的なシナリオの被ばく評価

設計上の想定を超える事象に基づき、外部被ばくおよび内部被ばくの評価を実施する。計算方法は、事業許可申請に基づいて実施することを基本とする。

#### 5.3.1 一時貯蔵および埋設される放射性物質からの外部被ばく

##### (1) 計算条件

この経路は管理建屋に一時貯蔵される廃棄体および廃棄物埋設地に埋設される廃棄体に含まれる放射性物質からの外部被ばくであり、敷地境界外に居住する人を対象とする。管理建屋および廃棄物埋設地からの外部被ばくの合計が最大となる地点を対象とする。

1号および2号の各埋設設備群において定置作業中の事象発生を想定したときの線量率を計算し、2012年2月末現在で最も線量率が高くなる埋設設備群を本評価の代表的な評価結果とする。

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

これらの計算コードにより、評価点における線束密度を算出し、換算係数を用いて空気吸収線量を算出後、実効線量を計算する。

2012年2月末現在において、定置作業が完了している1号4群、2号3群までを除くと、2号4群の定置作業中における事象発生が最も線量として高くなることから、この状態に1号5群以降での操業状態を重畳することとする。

また、設計上の想定を超える事象の評価に当たり、事業許可申請で考慮した区画ごとの敷地境界までの距離は厳密に設定せず、最短となる区画の距離で当該埋設設備の敷地境界までの距離を代表して設定した。

主な外部被ばく線量計算条件を表4、表5、状況図を図17に示す。なお、廃棄物埋設事業許可申請書（以下、「申請書」という。）と同じ設定のものは「申請書と同じ設定」と示す。

表 4 管理建屋の外部被ばくにかかる計算条件

パラメータ等	単位	値	備考
表面線量当量率	mSv/h	10	申請書と同じ設定(設計上の上限値から設定)
線源面積	m <sup>2</sup>	1,879.5	廃棄体一時貯蔵室と検査室の面積に基づく。 廃棄体一時貯蔵室:約 1,339.5 m <sup>2</sup> 、検査室:約 540 m <sup>2</sup>
線源高さ	m	0.567	ドラム缶直径に基づく。
線源密度	kg/m <sup>3</sup>	1,500	申請書と同じ設定(廃棄体の密度に基づき設定)
評価点までの距離	m	廃棄体一時貯蔵室:910 検査室:890	廃棄物埋設地から敷地境界までの最短距離に位置する評価点と、管理建屋までの水平距離
評価点との高低差	m	28.5	管理建屋(廃棄体一時貯蔵室・検査室)と評価点との高低差から設定
管理建屋による線量低減率	—	0.1	遮へいに寄与する建屋外壁及び天井に面積比で1/10の開口が生じ、屋外に漏えいする放射線量が遮へい無しの状態に比べて1/10となるものと仮定

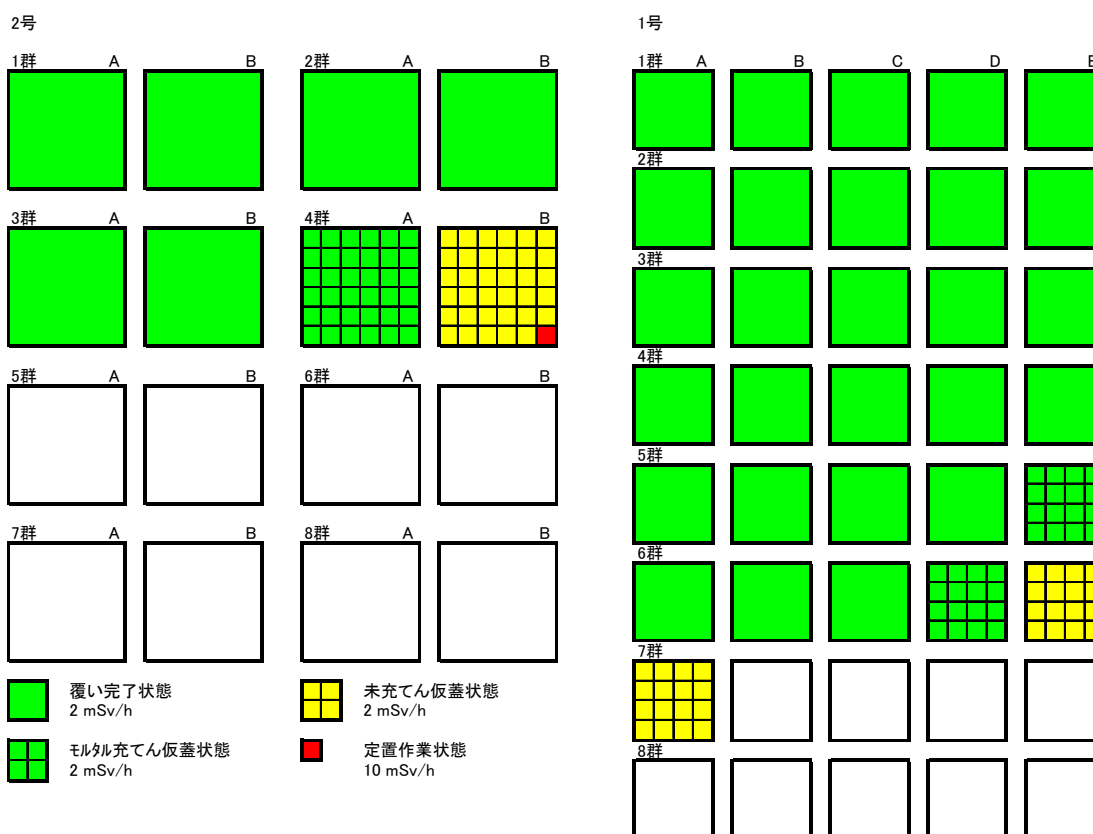


図 17 評価上の操業状態(線量率は上面の廃棄体表面線量当量率)

表 5 廃棄物埋設地の外部被ばくにかかる計算条件

パラメータ等	単位	値	備考	
表面線量当量率	mSv/h	2	申請書と同じ設定(設計上の上限値から設定。ただし、定置作業中の区画については最上段の 2 mSv/h 廃棄体を定置する前の状態(すなわち 10 mSv/h)を考慮)	
1 区画あたりの線源面積	m <sup>2</sup>	1号:5.3m×5.35m 2号:5.3m×5.5m	申請書と同じ設定(区画の内寸より算定)	
線源密度	kg/m <sup>3</sup>	1,500	申請書と同じ設定(管理建屋の計算条件と同じ)	
埋設設備から評価点までの距離	m	1号:190~370	1群から7群の敷地境界までの最短概算距離。	
		2号:200~310	1群から4群の敷地境界までの最短概算距離。	
評価点との高低差	m	1号:31.35 2号:22.4	廃棄物埋設地と評価点との高低差から設定	
1号	定置作業状態	区画	0	2号にて定置作業を想定するため、0と設定
	未充てん仮蓋状態	区画	32	実績から2基分が未充てん仮蓋状態と設定
	モルタル充てん仮蓋状態	区画	32	未充てん仮蓋状態以外の仮蓋区画として設定
	覆い完了状態	区画	432	2012年2月末現在の覆い完了区画数から設定
2号	定置作業状態	区画	1	定置作業中を想定するため、1区画を設定
	未充てん仮蓋状態	区画	35	実績から1基分が未充てん仮蓋状態と設定
	モルタル充てん仮蓋状態	区画	36	未充てん仮蓋状態以外の仮蓋区画として設定
	覆い完了状態	区画	216	2012年2月末現在の覆い完了区画数から設定
線量低減率	定置作業状態	—	1	遮へいなしと想定
	未充てん仮蓋状態	—	0.3	南北に面した仮蓋の区画外への落下、区画内での位置ずれを考慮して設定
	モルタル充てん仮蓋状態	—	$2.2 \times 10^{-2}$	貫通したひび割れ面積に基づく線量率比から設定 ひび割れ開口部を仮蓋が覆わないものとした
	覆い完了状態	—	1号: $9.7 \times 10^{-3}$	充てんモルタルの線量低減率と覆い区画数から設定 16区画中7区画が遮へいに寄与しないとした
2号: $6.8 \times 10^{-3}$			充てんモルタルの線量低減率と覆い区画数から設定 36区画中11区画が遮へいに寄与しないとした	

(2) 評価結果

外部被ばくに係る1時間当たりの実効線量と応急措置として3ヶ月間の期間を想定した場合の実効線量を表6に示す。遮へいの確保は段階的に行われるため線量率は次第に低下していくが、ここでは応急措置が完了するまでは線量率の低下を考慮しないこととして計算している。

表6 外部被ばくに係る実効線量[mSv]

	1時間					3ヶ月間
	管理建屋	1号 廃棄物埋設地	2号 廃棄物埋設地	合計		合計
				作業工程別	充てん状態別	充てん状態別
一時貯蔵中	約 $8.9 \times 10^{-7}$			約 $8.9 \times 10^{-7}$	約 $8.9 \times 10^{-7}$	約 $2.0 \times 10^{-3}$
定置作業 状態			約 $8.9 \times 10^{-5}$	約 $8.9 \times 10^{-5}$	約 $3.3 \times 10^{-4}$	約 $7.1 \times 10^{-1}$
未充てん 仮蓋状態		約 $4.9 \times 10^{-5}$	約 $1.9 \times 10^{-4}$	約 $2.4 \times 10^{-4}$		
モルタル充てん 仮蓋状態		約 $5.2 \times 10^{-6}$	約 $1.1 \times 10^{-5}$	約 $1.6 \times 10^{-5}$	約 $1.4 \times 10^{-4}$	約 $2.9 \times 10^{-1}$
覆い完了 状態		約 $8.8 \times 10^{-5}$	約 $2.8 \times 10^{-5}$	約 $1.2 \times 10^{-4}$		
合計	約 $8.9 \times 10^{-7}$	約 $1.5 \times 10^{-4}$	約 $3.2 \times 10^{-4}$	約 $4.6 \times 10^{-4}$	約 $4.6 \times 10^{-4}$	約 $1.0 \times 10^0$

※表中の数値は3桁目以降を切り上げ、有効数字2桁表示としているため、合計値が合わないことがある。

※3ヶ月=2,190時間とした。

### 5.3.2 一時貯蔵および埋設される放射性物質からの内部被ばく

この経路は管理建屋に一時貯蔵される廃棄体および廃棄物埋設地に埋設される廃棄体に含まれる放射性物質からの内部被ばくであり、敷地境界外に居住する人を対象とする。

#### (1) 計算条件

一時貯蔵される廃棄体およびモルタル未充てん仮蓋状態の埋設設備に定置された廃棄体は、想定を超える地震力により、廃棄体が破損するものとする。これにより、飛散した放射性物質が大気中に移行する場合と浸水により水中に移行する場合における内部被ばくを評価する。

#### (2) 実効線量の評価

##### 1) 飛散した放射性物質の吸入摂取による内部被ばく

破損した廃棄体の放射エネルギーの合計値は、平均化埋設の要件における最大放射エネルギーに基づき設定する。核種  $i$  の大気中への放出放射エネルギーを次式で計算する。

$$Q(i) = A(i) \cdot R$$

$Q(i)$  : 核種  $i$  の大気中への放出量[Bq]

$A(i)$  : 評価対象とする放射エネルギー[Bq]

$R$  : 内容物の飛散率[-]

表 7 大気への放出量に係る計算条件

パラメータ等	単位	値			備考	
評価対象とする放射エネルギー $A(i)$	Bq		管理建屋 1号	2号	管理建屋については、平均化埋設の要件に基づき1本当たりの放射エネルギーを設定し、3,200本を評価対象とした*。 1号廃棄物埋設地については、埋設設備1基当たり総放射エネルギーの2/40とし、その2基分を評価対象とした*。 2号廃棄物埋設地については、埋設設備1基当たり総放射エネルギーの2/16とし、その1基分を評価対象とした*。	
		H-3	$3.81 \times 10^{12}$	$1.22 \times 10^{13}$		$1.53 \times 10^{13}$
		C-14	$1.05 \times 10^{11}$	$3.37 \times 10^{11}$		$4.21 \times 10^{11}$
		Co-60	$3.47 \times 10^{13}$	$1.11 \times 10^{14}$		$1.39 \times 10^{14}$
		Ni-59	$1.09 \times 10^{11}$	$3.48 \times 10^{11}$		$4.35 \times 10^{11}$
		Ni-63	$1.39 \times 10^{13}$	$4.44 \times 10^{13}$		$5.55 \times 10^{13}$
		Sr-90	$2.08 \times 10^{11}$	$6.66 \times 10^{11}$		$8.33 \times 10^{11}$
		Nb-94	$1.04 \times 10^9$	$3.33 \times 10^9$		$4.16 \times 10^9$
		Tc-99	$2.31 \times 10^8$	$7.40 \times 10^8$		$9.25 \times 10^8$
		I-129	$3.47 \times 10^6$	$1.11 \times 10^7$		$1.39 \times 10^7$
		Cs-137	$1.27 \times 10^{12}$	$4.07 \times 10^{12}$		$5.09 \times 10^{12}$
全 $\alpha$	$7.28 \times 10^9$	$2.33 \times 10^{10}$	$2.91 \times 10^{10}$			
内容物の飛散率 $R$	—	$1 \times 10^{-5}$			申請書と同じ設定 (管理建屋の検査済み廃棄体については、破損時の影響を考慮し申請書添付書類三ホ社会環境の参考文献(14)を参考に $1 \times 10^{-3}$ を設定)	

\* 管理建屋の評価対象とする放射エネルギー=総放射エネルギー×(1号埋設設備1基当たりの最大放射エネルギー/総放射エネルギー)×(管理建屋廃棄体本数/埋設設備1基当たりの廃棄体本数(1号))=総放射エネルギー×(2/40)×(3200/5120)

\* 評価対象とする放射エネルギーの値は、備考に記載の方法に基づいて求めており、ここでは有効数字3桁表示(4桁目を四捨五入)としている。

大気中へ放出される放射性物質は地上から放散されるものとし、「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」に準拠して計算された相対濃度( $\chi/Q$ )を用いる。なお、大気中へ放出される放射性物質は1時間ですべて放出されるものとする。

$$D_{inh} = \sum_i \{(\chi/Q) \cdot Q(i) \cdot I_{inh} \cdot DCF_{inh}(i)\}$$

$D_{inh}$  : 吸入摂取による実効線量[Sv]

$\chi/Q$  : 相対濃度[s/m<sup>3</sup>]

$I_{inh}$  : 呼吸率[m<sup>3</sup>/s]

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

表 8 吸入摂取による内部被ばくに係る計算条件

パラメータ等		単位	値	備考
相対濃度 $\chi/Q$	管理建屋	s/m <sup>3</sup>	$2.2 \times 10^{-4}$	申請書と同じ設定
	廃棄物埋設地	s/m <sup>3</sup>	$5.1 \times 10^{-4}$	申請書と同じ設定
呼吸率 $I_{inh}$		m <sup>3</sup> /s	$3.334 \times 10^{-4}$	申請書と同じ設定 (1.2 m <sup>3</sup> /h から計算。なお、申請書の呼吸率設定における H-3 の皮膚吸収の扱いは、次項に示す実効線量換算係数にて考慮した)
核種 $i$ の吸入摂取による 実効線量換算係数 $DCF_{inh}(i)$		Sv/Bq	H-3 $4.5 \times 10^{-11}$ C-14 $2.0 \times 10^{-9}$ Co-60 $1.0 \times 10^{-8}$ Ni-59 $1.3 \times 10^{-10}$ Ni-60 $4.8 \times 10^{-10}$ Sr-90 $3.75 \times 10^{-8}$ Nb-94 $1.1 \times 10^{-8}$ Tc-99 $4.0 \times 10^{-9}$ I-129 $3.6 \times 10^{-8}$ Cs-137 $4.6 \times 10^{-9}$ 全 $\alpha$ $5.0 \times 10^{-5}$	ICRP Publication 72 から設定。 推奨タイプの吸収モデルに基づき、I-129 および Cs-137 については Fast、それ以外の核種は Moderate の値とした。Sr-90 については娘核種の Y-90 の換算係数を加算した。全 $\alpha$ については Pu-239 の値を使用した。



2) 浸水により流出した放射性物質の摂取による内部被ばく

飛散した放射性物質が浸水により漏えいし尾駁沼に流出する。この沼の沼産物を摂取する場合の内部被ばくについては、沼水中の核種ごとの濃度に基づき、沼産物の摂取量等を用いて線量を計算する。

なお、沼へ流出する飛散した放射性物質は短時間すべて流出し、尾駁沼の水量を考慮して濃度を計算する。

沼水中の核種ごとの濃度は次式で計算する。

$$C_s(t, i) = \frac{Q(i)}{V_f} \cdot e^{-\frac{Q_s \cdot t}{V_f}}$$

$C_s(t, i)$  : 沼水中の核種  $i$  の濃度[Bq/m<sup>3</sup>]

$V_f$  : 尾駁沼の保有水量[m<sup>3</sup>]

$Q_s$  : 尾駁沼の交換水量[m<sup>3</sup>/y]

表 9 沼水中の核種の濃度に係る計算条件

パラメータ等	単位	値	備考
尾駁沼の保有水量 $V_f$	m <sup>3</sup>	$3.58 \times 10^6 \text{ m}^2 \times 1.8 \text{ m}$	尾駁沼面積 $3.58 \times 10^6 \text{ m}^2$ と平均深さ 1.8 m から算出
尾駁沼の交換水量 $Q_s$	m <sup>3</sup> /y	$3.4 \times 10^7$	申請書と同じ設定

放射性物質が移行する沼産物の摂取により内部被ばくする場合の線量は、1年間沼産物を摂取し続けたと仮定して次式を用いて計算する。

$$D_{ing} = \sum_{i,m} \left[ \int_0^{T_s} \{C_s(t,i) \cdot CF_s(i,m) \cdot M_s(m) \cdot f_s(m)\} dt \cdot DCF_{ing}(i) \right]$$

- $D_{ing}$  : 経口摂取による実効線量[Sv]  
 $T_s$  : 沼産物を摂取する期間[y]  
 $CF_s(i, m)$  : 沼産物  $m$  における核種  $i$  の濃縮係数[m<sup>3</sup>/kg]  
 $M_s(m)$  : 沼産物  $m$  の年間摂取量[kg/y]  
 $f_s(m)$  : 沼産物  $m$  の市場希釈係数[-]  
 $DCF_{ing}(i)$  : 核種  $i$  の経口摂取による実効線量換算係数[Sv/Bq]

表 10 経口摂取による内部被ばくに係る計算条件

パラメータ等	単位	値	備考																																				
沼産物を摂取する期間 $T_s$	y	1	1年間摂取し続けると仮定																																				
沼産物 $m$ における核種 $i$ の濃縮係数 $CF_s(i, m)$	m <sup>3</sup> /kg	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>魚類</th> <th>無脊椎動物</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>H-3</td> <td><math>1 \times 10^{-3}</math></td> <td><math>1 \times 10^{-3}</math></td> </tr> <tr> <td>C-14</td> <td><math>4.6 \times 10^0</math></td> <td><math>9.1 \times 10^0</math></td> </tr> <tr> <td>Co-60</td> <td><math>3 \times 10^{-1}</math></td> <td><math>1 \times 10^1</math></td> </tr> <tr> <td>Ni-59</td> <td><math>5 \times 10^{-1}</math></td> <td><math>1 \times 10^{-1}</math></td> </tr> <tr> <td>Ni-60</td> <td><math>5 \times 10^{-1}</math></td> <td><math>1 \times 10^{-1}</math></td> </tr> <tr> <td>Sr-90</td> <td><math>6 \times 10^{-2}</math></td> <td><math>3 \times 10^{-1}</math></td> </tr> <tr> <td>Nb-94</td> <td><math>3 \times 10^{-1}</math></td> <td><math>1 \times 10^0</math></td> </tr> <tr> <td>Tc-99</td> <td><math>2 \times 10^{-2}</math></td> <td><math>1 \times 10^0</math></td> </tr> <tr> <td>I-129</td> <td><math>4 \times 10^{-2}</math></td> <td><math>4 \times 10^{-1}</math></td> </tr> <tr> <td>Cs-137</td> <td><math>2 \times 10^0</math></td> <td><math>1 \times 10^0</math></td> </tr> <tr> <td>全 <math>\alpha</math></td> <td><math>3 \times 10^{-2}</math></td> <td><math>2 \times 10^0</math></td> </tr> </tbody> </table>		魚類	無脊椎動物	H-3	$1 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-3}$	C-14	$4.6 \times 10^0$	$9.1 \times 10^0$	Co-60	$3 \times 10^{-1}$	$1 \times 10^1$	Ni-59	$5 \times 10^{-1}$	$1 \times 10^{-1}$	Ni-60	$5 \times 10^{-1}$	$1 \times 10^{-1}$	Sr-90	$6 \times 10^{-2}$	$3 \times 10^{-1}$	Nb-94	$3 \times 10^{-1}$	$1 \times 10^0$	Tc-99	$2 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^0$	I-129	$4 \times 10^{-2}$	$4 \times 10^{-1}$	Cs-137	$2 \times 10^0$	$1 \times 10^0$	全 $\alpha$	$3 \times 10^{-2}$	$2 \times 10^0$	申請書と同じ設定
	魚類	無脊椎動物																																					
H-3	$1 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-3}$																																					
C-14	$4.6 \times 10^0$	$9.1 \times 10^0$																																					
Co-60	$3 \times 10^{-1}$	$1 \times 10^1$																																					
Ni-59	$5 \times 10^{-1}$	$1 \times 10^{-1}$																																					
Ni-60	$5 \times 10^{-1}$	$1 \times 10^{-1}$																																					
Sr-90	$6 \times 10^{-2}$	$3 \times 10^{-1}$																																					
Nb-94	$3 \times 10^{-1}$	$1 \times 10^0$																																					
Tc-99	$2 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^0$																																					
I-129	$4 \times 10^{-2}$	$4 \times 10^{-1}$																																					
Cs-137	$2 \times 10^0$	$1 \times 10^0$																																					
全 $\alpha$	$3 \times 10^{-2}$	$2 \times 10^0$																																					
沼産物 $m$ の年間摂取量 $M_s(m)$	kg/y	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>魚類</td> <td>9.2</td> </tr> <tr> <td>無脊椎動物</td> <td>1.1</td> </tr> </tbody> </table>	魚類	9.2	無脊椎動物	1.1	申請書と同じ設定																																
魚類	9.2																																						
無脊椎動物	1.1																																						
沼産物 $m$ の市場希釈係数 $f_s(m)$	—	1	申請書と同じ設定																																				
核種 $i$ の経口摂取による実効線量換算係数 $DCF_{ing}(i)$	Sv/Bq	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>H-3</td> <td><math>4.2 \times 10^{-11}</math></td> </tr> <tr> <td>C-14</td> <td><math>5.8 \times 10^{-10}</math></td> </tr> <tr> <td>Co-60</td> <td><math>3.4 \times 10^{-9}</math></td> </tr> <tr> <td>Ni-59</td> <td><math>6.3 \times 10^{-11}</math></td> </tr> <tr> <td>Ni-60</td> <td><math>1.5 \times 10^{-10}</math></td> </tr> <tr> <td>Sr-90</td> <td><math>3.07 \times 10^{-8}</math></td> </tr> <tr> <td>Nb-94</td> <td><math>1.7 \times 10^{-9}</math></td> </tr> <tr> <td>Tc-99</td> <td><math>6.4 \times 10^{-10}</math></td> </tr> <tr> <td>I-129</td> <td><math>1.1 \times 10^{-7}</math></td> </tr> <tr> <td>Cs-137</td> <td><math>1.3 \times 10^{-8}</math></td> </tr> <tr> <td>全 <math>\alpha</math></td> <td><math>2.5 \times 10^{-7}</math></td> </tr> </tbody> </table>	H-3	$4.2 \times 10^{-11}$	C-14	$5.8 \times 10^{-10}$	Co-60	$3.4 \times 10^{-9}$	Ni-59	$6.3 \times 10^{-11}$	Ni-60	$1.5 \times 10^{-10}$	Sr-90	$3.07 \times 10^{-8}$	Nb-94	$1.7 \times 10^{-9}$	Tc-99	$6.4 \times 10^{-10}$	I-129	$1.1 \times 10^{-7}$	Cs-137	$1.3 \times 10^{-8}$	全 $\alpha$	$2.5 \times 10^{-7}$	ICRP Publication 72 から設定 Sr-90 については娘核種の Y-90 の換算係数を加算した。全 $\alpha$ については Pu-239 の値を使用した。														
H-3	$4.2 \times 10^{-11}$																																						
C-14	$5.8 \times 10^{-10}$																																						
Co-60	$3.4 \times 10^{-9}$																																						
Ni-59	$6.3 \times 10^{-11}$																																						
Ni-60	$1.5 \times 10^{-10}$																																						
Sr-90	$3.07 \times 10^{-8}$																																						
Nb-94	$1.7 \times 10^{-9}$																																						
Tc-99	$6.4 \times 10^{-10}$																																						
I-129	$1.1 \times 10^{-7}$																																						
Cs-137	$1.3 \times 10^{-8}$																																						
全 $\alpha$	$2.5 \times 10^{-7}$																																						

(3) 評価結果

上記の条件、計算方法に基づき敷地境界外で最大となる線量を評価した結果を表 11に示す。吸入摂取および経口摂取に係る被ばく評価は、廃棄体から飛散した放射性物質が全量大気中あるいは全量水中への移行を想定しているため重畳はしない。このため、実効線量の大きい吸入摂取による被ばくを代表とする。

表 11 吸入摂取および経口摂取による内部被ばくに係る実効線量[mSv]

被ばく経路	管理建屋	1号廃棄物埋設地	2号廃棄物埋設地	合計
吸入摂取による被ばく (物理的損傷)	約 $4.2 \times 10^{-3}$	約 $4.0 \times 10^{-3}$	約 $5.0 \times 10^{-3}$	約 $1.4 \times 10^{-2}$
経口摂取による被ばく (浸水)	約 $4.5 \times 10^{-3}$	管理排水 (約 $1.9 \times 10^{-3}$ )	管理排水 (約 $2.4 \times 10^{-3}$ )	約 $4.5 \times 10^{-3}$

※廃棄物埋設地において浸水した場合は、意図的に排水しない限り環境中に放出されないが、仮に短期に放出された場合の結果について括弧書きで示しており、合計に含めていない。

※表中の数値は3桁目を切り上げ、有効数字2桁表示としているため、合計値が合わないことがある。

## 5.4 評価結果のまとめ

埋設センターに一時貯蔵および埋設される放射性廃棄物からの外部被ばくおよび内部被ばくについて計算した。この結果をイベントツリーとともに図 18に示す。

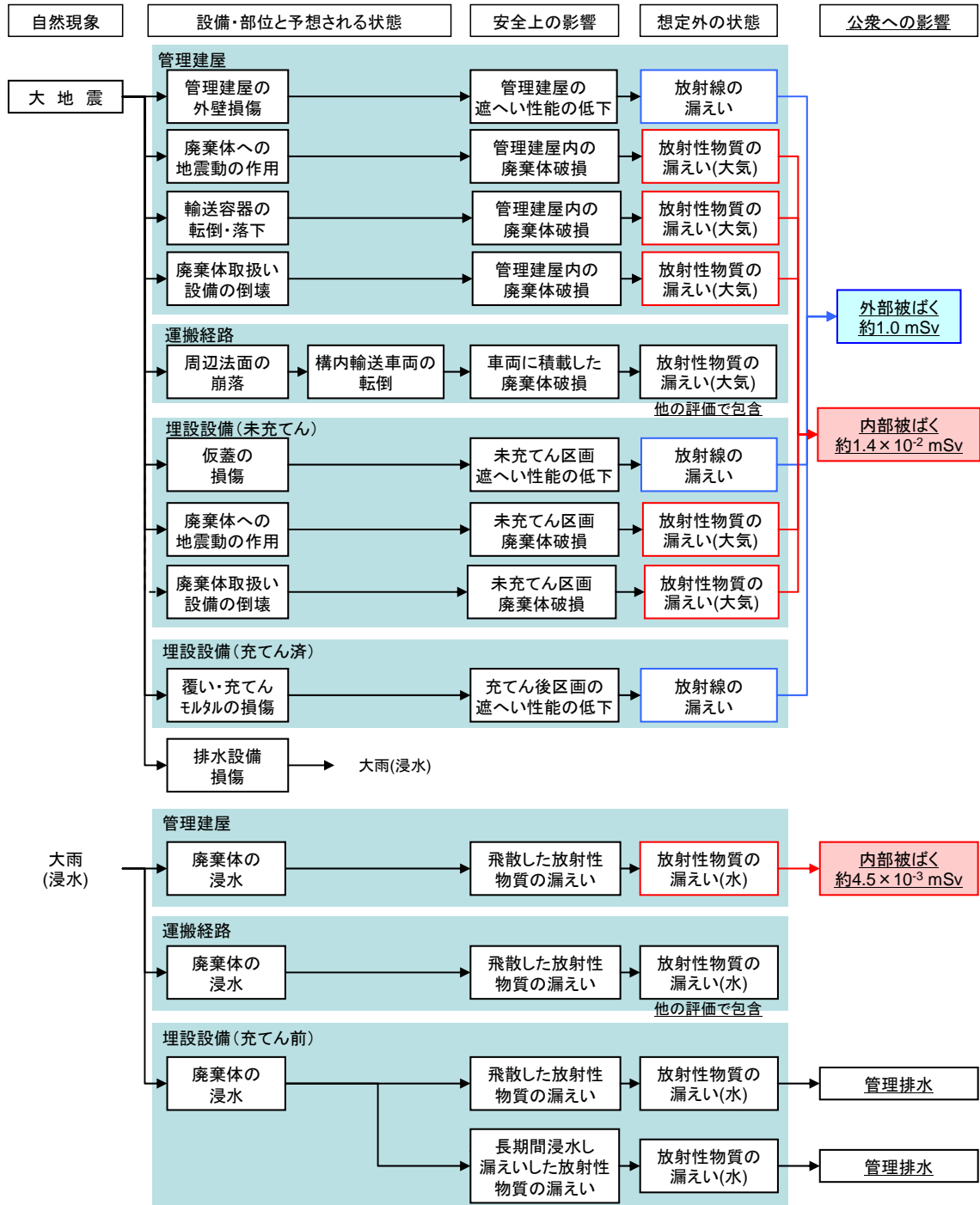


図 18 設計上の想定を超える事象に至るイベントツリーと評価結果

※図中の数値は3桁目以降を切り上げ、有効数字2桁表示としている。

※「他の評価で包含」とは、管理建屋または埋設設備における評価に包含することを指す。

## 6. まとめ

低レベル放射性廃棄物埋設センターで扱うものは、固体状の低レベル放射性廃棄物であることから、「設計上の想定を超える事象」を想定しても、公衆に放射線による過度の影響を与えるものではないことを確認した。