

第6条（外部からの衝撃による損傷の防止） への適合性評価の基本的考え方について

平成29年8月22日

日本原子力発電株式会社

はじめに

東海低レベル放射性廃棄物埋設事業所 第二種廃棄物埋設事業許可申請における規則※¹への適合性については、実用発電用原子炉に対するガイド類及び新規制基準適合性審査を参考にし
て行ってきた。

その中で、津波や地震の想定規模については、埋設施設のリスクの程度を踏まえ、規則に明示されるグレード分けをした設定としている。

規則第6条の適合性評価にあたり、試験研究用原子炉等に適用されている「グレーデッドアプローチ」の考え方※²を参考とし、評価を行うこととする。

また、埋設作業段階における外部からの衝撃による飛散防止の措置への影響を評価した。

※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

※2： ・ 試験研究用等原子炉施設への新規制基準の審査を踏まえたグレーデッドアプローチ対応について(案) (平成28年6月15日 原子力規制委員会)
・ 核燃料施設等における竜巻・外部火災の影響による損傷の防止に関する影響評価に係る審査ガイド (平成28年11月30日原子力規制委員会)

目 次

1. 竜巻影響評価へのグレーデッドアプローチの適用について
2. 埋設作業段階における外部からの衝撃による飛散防止の措置への影響について

1. 竜巻影響評価へのグレーデッドアプローチ の適用について

グレーデッドアプローチの適用について

- 規則では、廃棄物埋設施設としての「安全上重要な施設」は定義されていない。
- 竜巻影響評価において、機能の喪失により公衆が被ばくする線量の評価値が、発生事故につき5mSvを超えないものを「安全上重要な施設を有しない施設」相当とし、グレーデッドアプローチの適用対象とする。
- 東海低レベル放射性廃棄物埋設施設については、竜巻に対する線量評価値が、発生事故につき5mSvを超えないため、「安全上重要な施設を有しない施設」相当であることを以下に示す。

竜巻に対する評価(1／4)

○ 竜巻規模の設定

- 「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド(平成25年6月19日 原子力規制委員会決定, 平成26年9月17日改正)」(以下「竜巻影響評価ガイド」という。)に基づき設定している東海第二発電所の設計竜巻を用いて評価を行う。
- 東海第二発電所の設計竜巻の設定結果は以下のとおり。

表 東海第二発電所の設定結果

パラメータ	設定値	備考
設計竜巻の最大風速 V_D (m/s)	100	基準竜巻の最大風速(藤田スケールF3)に観測数等のデータの不確実性を考慮し, 安全側に数値を切り上げて設定
設計竜巻の移動速度 V_T (m/s)	15	竜巻影響評価ガイドに示される方法により設定
設計竜巻の最大接線風速 V_{Rm} (m/s)	85	竜巻影響評価ガイドに示される方法により設定
設計竜巻の最大接線風速半径 R_m (m)	30	竜巻影響評価ガイドに示される方法により設定

竜巻に対する評価(2/4)

○竜巻による定置した放射性廃棄物の浮き上がり評価

- フジタモデルを用いて、定置した放射性廃棄物の浮き上がり評価を実施。
- 設計竜巻による最大水平風速 V_0 によって発生する物体の浮き上がりは、下図に示す状態において、揚力 F_{L0} が自重 mg を上回ると発生する。
- 評価は、物体に作用する最大水平風速 V_0 が、物体の浮き上がり発生風速 V_{FL} を上回る場合に物体の浮き上がりが発生すると判定する。



- 設計竜巻によって物体に作用する最大水平風速は、浮き上がり風速を下回るため、竜巻により埋設区画に定置した放射性廃棄物が浮き上がることはなく、固縛等の対策は設計上不要である。

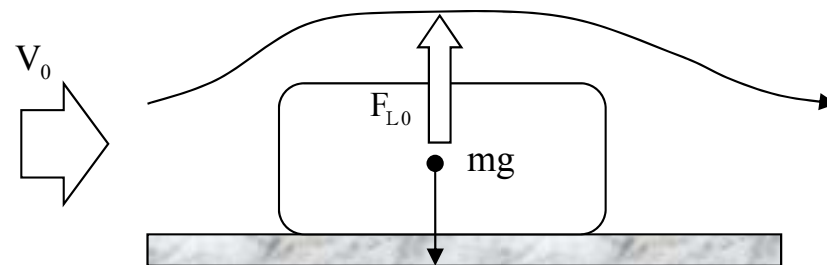


図 地表面に置かれた物体(高さ d)に作用する揚力と重力

表 浮き上がりの評価結果

No	廃棄物種類	最大水平風速(m/s) V_0	浮き上がり発生風速 (m/s) V_{FL}	浮き上がり判定 (○:発生, ×:発生なし)
1	鉄箱	73.0	88.0	×
2	フレキシブルコンテナ	75.8	88.1	×
3	コンクリートブロック	74.1	123.6	×

竜巻に対する評価(3／4)

○竜巻による廃棄物埋設地への飛来物の特定

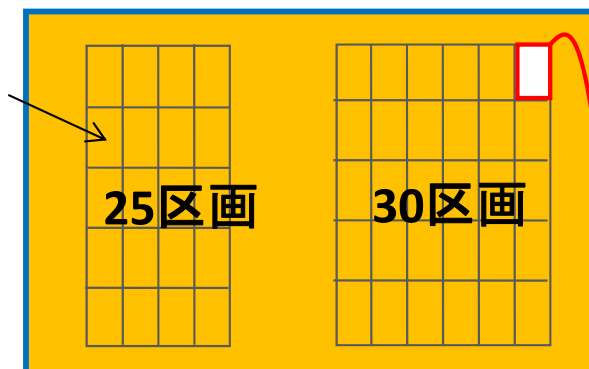
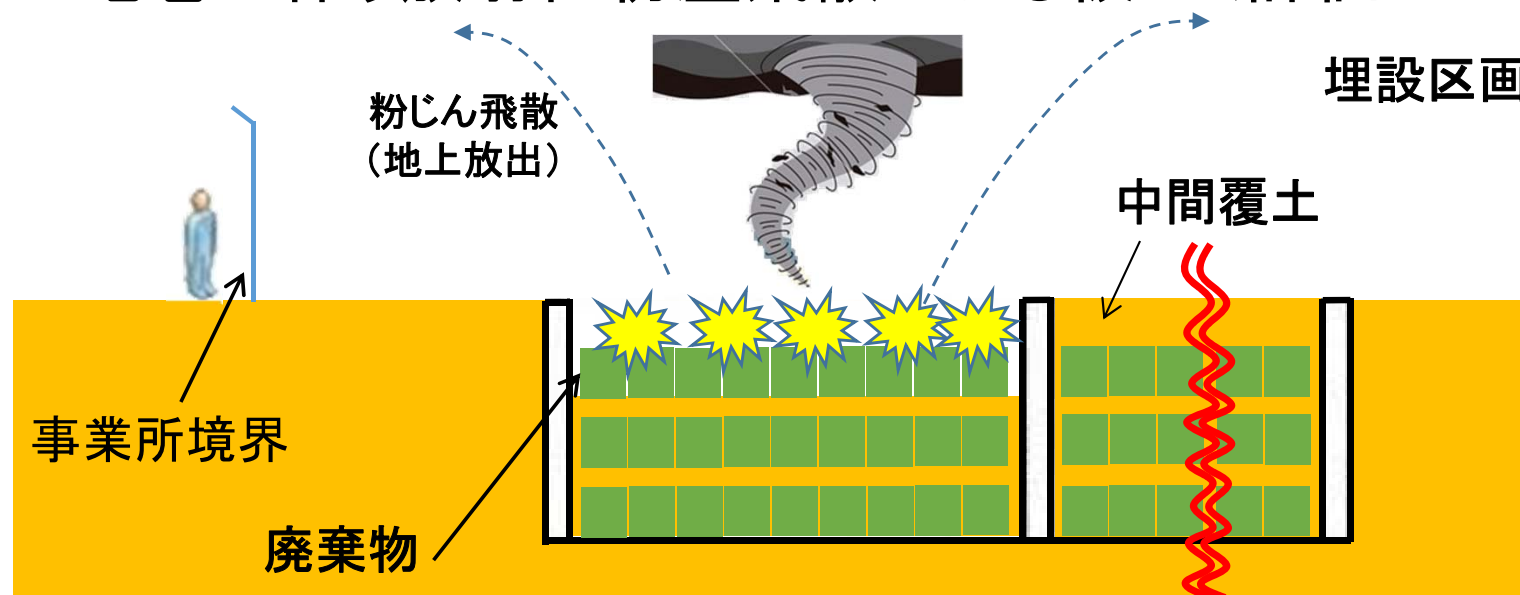
- 東海第二発電所で実施した発電所構内の物品調査の結果を用いて、廃棄物埋設地への飛来物となり得る物品を特定。
- 代表例は下表のとおり。

表 廃棄物埋設地への飛来物例

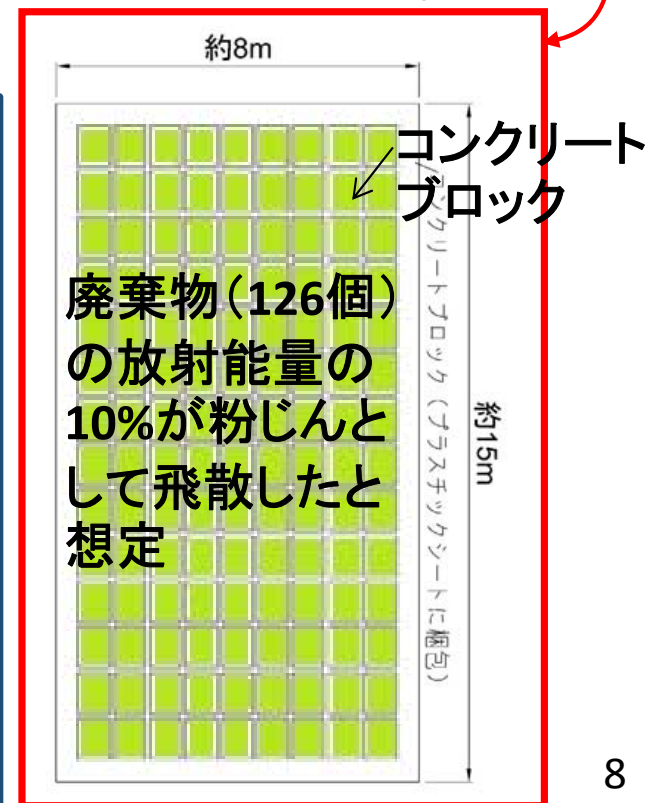
物品	寸法(m)			空力パラメータ C _D A／m (m ² ／kg)	最大 水平 風速 (m／s)	最大 飛散 距離 (m)	最大 浮上 高さ (m)	質量 (kg)
	高さ	高さ以外						
プレハブ小屋	2.4	2.4	3.6	0.0153	60	211.9	22.074	1000
コンテナ	1.8	1.8	3.7	0.0116	55	170.1	12.251	950
物置	1.8	2	3	0.0367	71	220.9	33.633	270
鋼製ステップ	1	1	4	0.0192	61	161.3	10.533	200

竜巻に対する評価(4/4)

○竜巻に伴う放射性粉塵飛散による被ばく評価



南側 (埋設終了) 北側 (最後の区画を埋設中)



【評価条件】

- 1体当たりの廃棄物重量: 1,400 kg (コンクリートブロック)
- 廃棄物から粉じんの発生する割合: 廃棄物の表面付近のみがはつられると考えられるが、保守的に放射エネルギーの10%と設定
- 廃棄物の個数: 126個 (最上段1段分)
- 相対濃度: $4.60 \times 10^{-4} \text{ s/m}^3$ (非居住区域境界の相対濃度 $[\chi/Q]$)
- 評価対象者の呼吸量: $1.2 \text{ m}^3/\text{h}$ (原子力安全委員会: 発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針の付録Ⅱ 成人活動時の呼吸率)
- 放射性核種の吸入内部被ばく線量換算係数: ICRP Publication 72に示されている一般公衆の線量換算係数のうちAdultの値を用いて設定

【評価結果】

被ばく線量(事業所境界) = 0.8 mSv < 5 mSv

竜巻に対する評価結果

- 東海低レベル放射性廃棄物埋設施設については、竜巻に対する線量評価値が発生事故につき5mSvを超えず、「安全上重要な施設を有しない施設」相当であるため、竜巻影響評価にグレーデッドアプローチの考え方を適用し、規則第6条の適合性を評価する。

- 安全機能維持の基本的考え方

東海低レベル放射性廃棄物埋設において想定する竜巻は、敷地及びその周辺における過去の記録を踏まえた影響が最も大きい竜巻とする。

⇒ 敷地及びその周辺（敷地から20km以内）における過去の記録から、藤田スケールF1（最大風速49m／s）を選定。

また、飛来物からの防護措置又は放射性物質等の飛散防止措置が必要となる場合は、対策を実施する。

表1 茨城県における過去の竜巻等の突風(1/2)

現象区別	藤田 スケール	発生日	発生市町村	本施設からの距離 (km)	被害域長さ (km)
ダウンバースト	F0	2015/8/6	桜川市	50	0.8
竜巻	F0	2015/7/16	古河市	86	不明
ダウンバーストまたはガストフロント	F1	2014/8/1	東茨城郡城里町	22	1.4
ダウンバーストまたはガストフロント	F0	2013/8/11	常陸太田市	13	2.1
竜巻	F3	2012/5/6	常総市	71	<u>17</u>
竜巻	F1	2012/5/6	筑西市	63	<u>21</u>
じん旋風(つむじ風を含む)	F0	2012/2/19	常陸太田市	12	0.1
ガストフロント	F0	2011/4/25	取手市	79	0.9
竜巻	F1	2010/12/3	牛久市	69	1.3
ダウンバースト	F0	2010/7/26	水戸市	18	1.0
不明	F0	2010/7/26	水戸市	21	2.3
不明	F0	2009/10/8	つくば市	58	0.3
竜巻	F1	2009/10/8	土浦市	58	2.8
竜巻	F1	2009/10/8	北相馬郡利根町	76	6
竜巻	F1	2008/8/28	土浦市	53	0.5~0.6
竜巻	F1	2008/8/28	つくば市	64	0.4~0.5
不明	F1	2006/12/27	結城市	78	3.2
不明	F1	2006/5/20	結城郡八千代町	69	3.3
ダウンバースト	F1~F2	2003/10/13	神栖町	63	6.5

表1 茨城県における過去の竜巻等の突風(2/2)

現象区別	藤田 スケール	発生日	発生市町村	本施設からの距離 (km)	被害域長さ (km)
不明	F1	2003/7/11	鹿島郡大洋村	43	1.0
竜巻	F1	1999/10/27	多賀郡十王町	23	4.0
ダウンバースト	F1～F2	1996/7/15	下館市	64	2.5～4.0
竜巻	F1	1993/9/4	つくば市	61	不明
竜巻	F1	1990/12/12	海上～那珂湊市	10	5.5
竜巻	F1～F2	1979/5/27	鹿島郡旭村	25	9.0
竜巻	F1	1969/8/23	行方郡麻生町	50	1.0
竜巻	F2	1969/8/23	猿島郡猿島町	76	<u>20</u>
竜巻	F2	1962/7/2	稲敷郡東村	58	<u>15</u>

※気象庁「竜巻等の突風データベース」より(藤田スケールが不明なものを除く)

表2 気象庁が把握している突風被害のある主な事例 (1981年以降)

現象区別	藤田 スケール	発生日	発生市町村	被害域長さ (km)
竜巻	F3	2012/5/6	茨城県 常総市	<u>17</u>
竜巻	F2	2011/11/18	鹿児島県 大島郡徳之島	0.6
ガストフロント	F0	2008/7/27	福井県 敦賀市	2.0～3.0
竜巻	F3	2007/11/7	北海道 佐呂間町	1.4
竜巻	F2	2006/9/17	宮崎県 延岡市	7.5
その他(不明を含む)	F1	2005/12/25	山形県 酒田市	9.0
ダウンバースト	F1～F2	2003/10/13	茨城県 神栖町	6.5
竜巻	F3	1999/9/24	愛知県 豊橋市	<u>18</u>
竜巻	F1～F2	1997/10/14	長崎県 郷ノ浦町	5.0
ダウンバースト	F1～F2	1996/7/15	茨城県 下館市	2.5～4.0
竜巻	F1	1991/2/15	福井県(湖上)	不明
竜巻	F3	1990/12/11	千葉県 茂原市	6.5
竜巻	F2～F3	1990/2/19	鹿児島県 枕崎市	3.0～4.0

※気象庁「竜巻等の突風データベース(過去の主な事例)」より(藤田スケールが不明なものを除く)

2. 埋設作業段階における外部からの衝撃による飛散防止の措置への影響について

廃棄物埋設施設の特徴を踏まえた基本的な考え方(1／4)

規則第10条及び解釈の記載事項

【規則】

(廃棄物埋設地)

第十条 廃棄物埋設地は、廃棄物埋設地の外への放射性物質の異常な漏えいを防止する機能を有するものでなければならない。

2, 3(省略)

【解釈】

1 第1項に規定する「廃棄物埋設地の外への放射性物質の異常な漏えいを防止する」とは、次のことをいう。

一 埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から廃止措置の開始までの間にあっては、平常時における廃棄物埋設地からの放射性物質の漏出及び移行に伴う公衆の受ける線量が、廃棄物埋設施設からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線(第8条第1項)並びに廃棄物埋設施設からの環境への放射性物質の放出(第12条第1項)により公衆の受ける線量を含めて法令に定める線量限度を超えないことはもとより、ALARAの考え方の下、合理的に達成できる限り十分に低いものであること(「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に関する指針」(昭和50年5月13日原子力委員会決定)を参考に、実効線量で50マイクロシーベルト／年以下を達成できるものであること)。

2, 3(省略)



- 影響が想定される外部からの衝撃について、廃棄物埋設施設からの環境への放射性物質の放出による公衆の受ける線量を確認する。
- 上記線量を含めた平常時の線量評価結果が、平常時評価の基準としている50 μ Sv／年以下であることを確認する。

廃棄物埋設施設の特徴を踏まえた基本的な考え方(2/4)

規則第8条及び解釈の記載事項

【規則】

(遮蔽等)

第八条

1 廃棄物埋設施設は、当該廃棄物埋設施設からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による事業所周辺の線量を十分に低減できるよう、遮蔽その他適切な措置を講じたものでなければならない。

2(省略)

3 廃棄物埋設施設は、放射性物質の飛散防止のための措置を講じたものでなければならない。

【解釈】

1 第1項に規定する「線量を十分に低減できる」とは、平常時における廃棄物埋設施設からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線により公衆が受ける線量が、廃棄物埋設地からの放射性物質の漏出及び移行(第10条第1項)及び廃棄物埋設施設からの環境への放射性物質の放出(第12条第1項)により公衆の受ける線量を含め、法令に定める線量限度を超えないことはもとより、As Low As Reasonably Achievable(ALARA)の考え方の下、合理的に達成できる限り十分に低いものであること(「発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般公衆の線量評価について」(平成元年3月27日原子力安全委員会了承)を参考に、実効線量で50マイクロシーベルト／年以下を達成できるものであること。)

2, 3(省略)

4 第3項に規定する「飛散防止のための措置」は、放射性固体廃棄物の落下防止のために必要な措置を含む。



- 影響が想定される外部からの衝撃に対して、事業所周辺の線量を十分に低減できるよう放射性物質の飛散防止の措置を講じる。
- 上記措置を講じた平常時の線量評価結果が、平常時評価の基準としている50 μ Sv／年以下であることを確認する。

廃棄物埋設施設の特徴を踏まえた基本的な考え方(3／4)

規則第6条及び解釈の記載事項

【規則】

(外部からの衝撃による損傷の防止)

第六条 廃棄物埋設施設は、想定される自然現象(地震及び津波を除く。)が発生した場合においても安全性を損なわないものでなければならない。

2 廃棄物埋設施設は、事業所又はその周辺において想定される当該廃棄物埋設施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの(故意によるものを除く。)に対して安全性を損なわないものでなければならない。

【解釈】

1, 2(省略)

3 第1項及び第2項に規定する「安全性を損なわない」とは、廃棄物埋設地については、ピット処分に係る埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から埋設の終了までの間においては、閉じ込めの機能及び遮蔽の機能が損なわれないことを、ピット処分に係る埋設の終了及びトレンチ処分に係る埋設する放射性廃棄物の受入れ開始以後においては、移行抑制の機能及び遮蔽の機能が損なわれないことをいい、廃棄物埋設地の附属施設については、核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物を取り扱っている期間において、閉じ込めの機能及び遮蔽の機能を損なわれないことをいう。



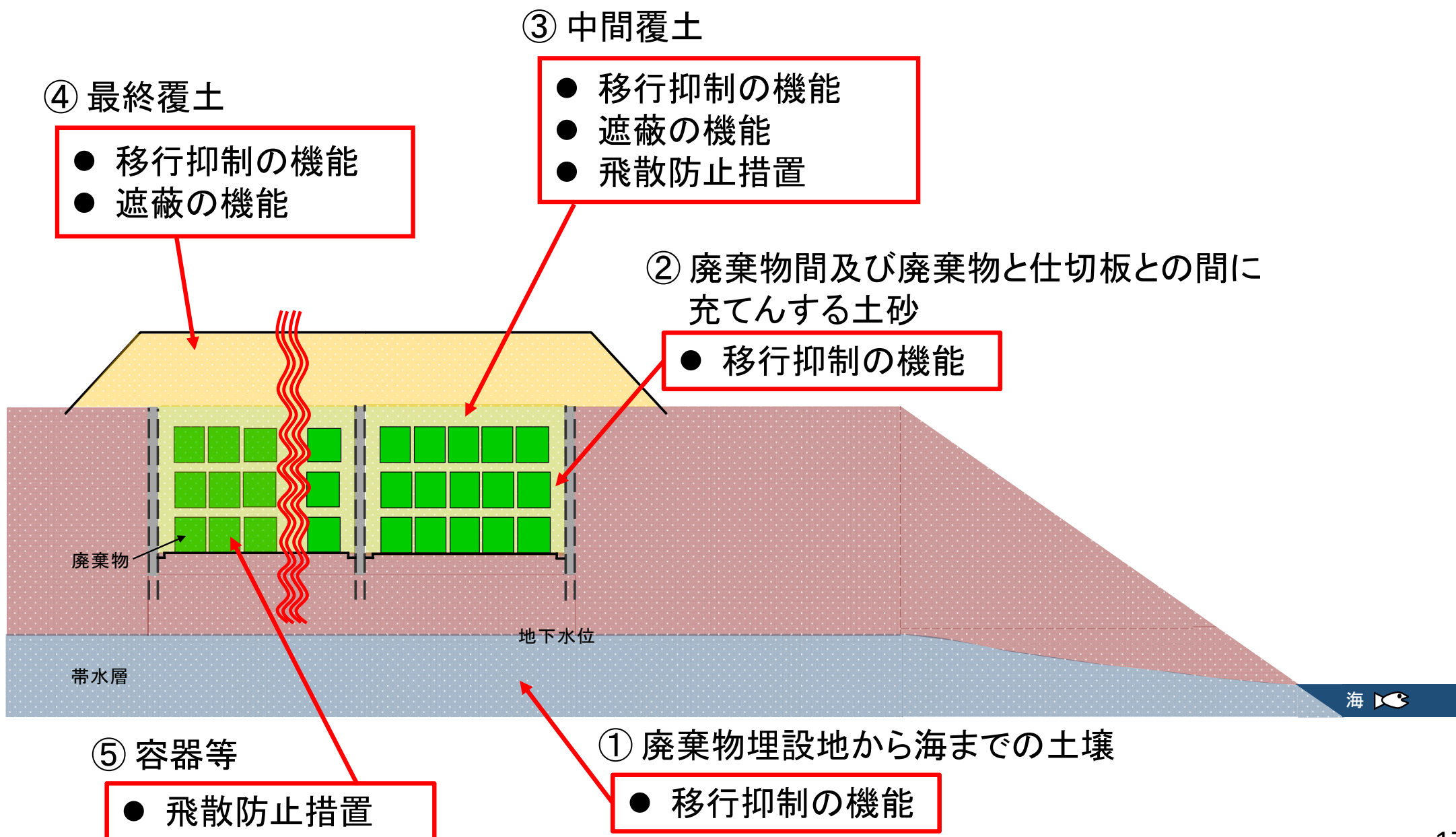
➤ 規則第6条で要求される機能に対して、その機能を期待するものは以下のとおり。

- 移行抑制の機能※1 ⇒ ①廃棄物埋設地から海までの土壌,
②廃棄物間及び廃棄物と仕切板との間に充てんする土砂,
③中間覆土, ④最終覆土
- 遮蔽の機能※1 ⇒ ③中間覆土, ④最終覆土
- 飛散防止措置※2 ⇒ ③中間覆土, ⑤容器等

※1 次回審査会合で詳細を説明予定

※2 附属施設を設けないため、規則第8条での要求事項の飛散防止措置を確認

廃棄物埋設施設の特徴を踏まえた基本的な考え方(4/4)



外部からの衝撃による飛散防止措置への影響

- 施設の状態
 - 放射性廃棄物の定置作業中(中間覆土なし)
 - 区画一段分の定置後の中間覆土が施工終了
- 影響が想定される主要な外部からの衝撃
 - 竜巻(風(台風)等の影響を包含)
 - ひょう・あられ
 - 落雷
 - 森林火災(近隣工場等の火災, 爆発等の影響を包含)
- 想定される主要な事象
 - ✓ 竜巻による放射性廃棄物の容器等又は中間覆土の破損
 - ✓ ひょう・あられによる放射性廃棄物の容器等又は中間覆土の破損
 - ✓ 落雷による放射性廃棄物の容器等又は中間覆土の破損
 - ✓ 森林火災に伴う放射性廃棄物の容器等又は中間覆土の燃焼

評価結果

(竜巻による放射性廃棄物の容器等又は中間覆土の破損)

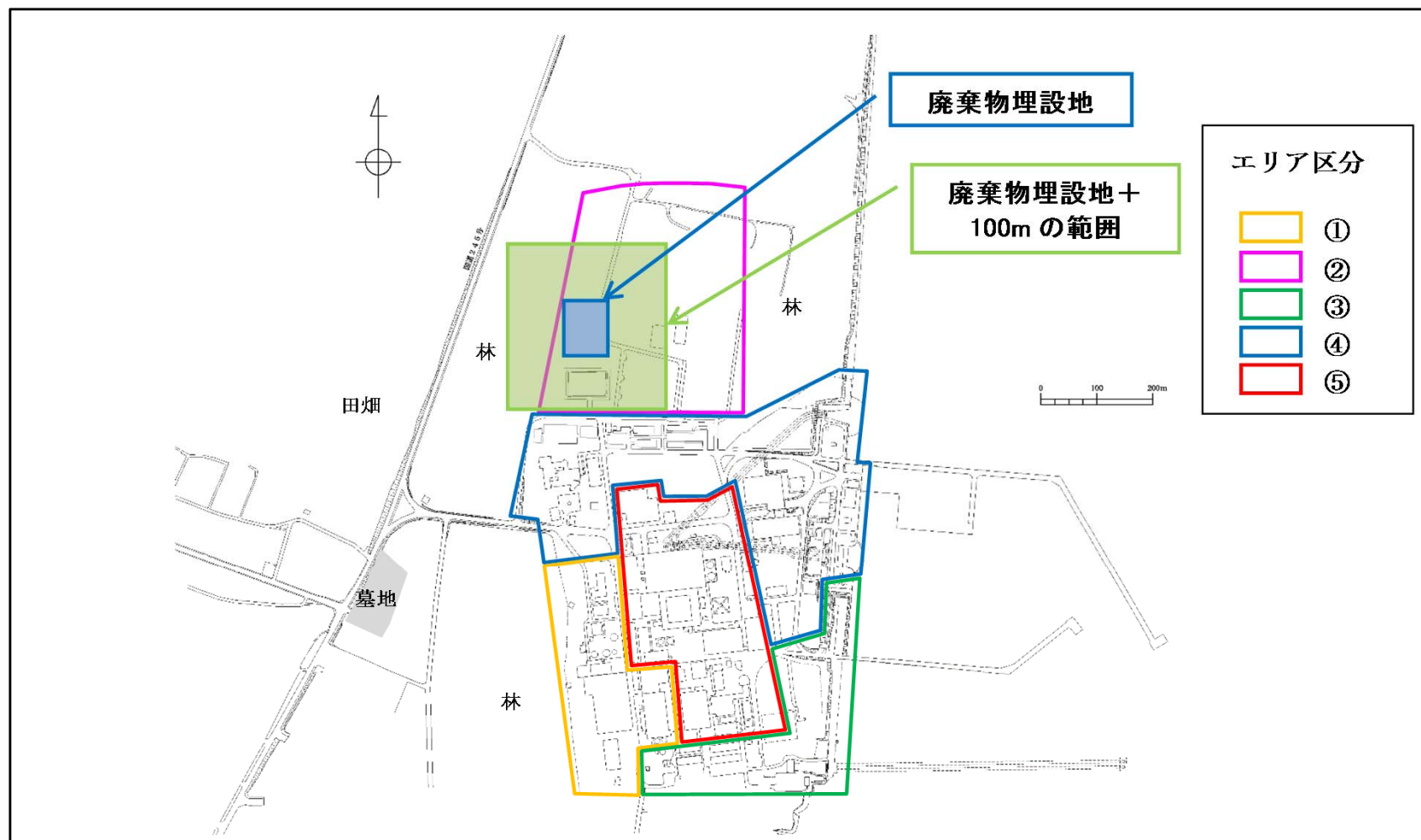
- 竜巻による飛来物の特定
 - 東海第二発電所で実施した発電所構内の物品調査の結果を用いて、廃棄物埋設地への飛来物となり得る物品を特定。
 - 藤田スケールのF1の竜巻規模で100m以上飛散する物品は「物置」のみである。
 - 「物置」は図1で示す物品調査の範囲の②のエリアに設置されている。
 - 廃棄物埋設地から100mの範囲を図1に示すと東海第二発電所側(①, ③～⑤)からの飛来物はない。
- 飛散防止措置の防護対策
 - 物品調査の範囲の②のエリアに現状存在する物品のうち、竜巻により飛散する物品については、**廃棄物埋設地から100mの範囲から移動又は固縛**する。
 - 放射性廃棄物の**埋設作業に使用する資機材等は**、持ち込みの際の物品管理及び竜巻による飛散の有無を確認し、**飛散距離及び影響の程度に応じて固縛**する。
 - 中間覆土は、**周辺土壌と同等以上に締固め**をすることにより、竜巻の影響を受けない。
- 定置された放射性廃棄物の浮き上がり
 - **定置された放射性廃棄物は浮き上がらない**ことから対応は必要ない。
- 評価結果
 - 竜巻による飛来物となり得る物品について、定置した放射性廃棄物及び中間覆土が損傷しないように飛散距離及び影響の程度に応じて固縛することから、竜巻により放射性廃棄物の容器等は破損せず、放射性物質の飛散防止の措置は損なわれない。



竜巻により公衆へ与える影響はない

発電所構内の物品調査

- 東海第二発電所の原子炉建屋から半径約800mの範囲で調査を実施。
- 廃棄物埋設地の周囲についても調査範囲に含まれている。
- 2回の物品調査により確認された物品の種類に有意な違いは認められなかったことから、考慮すべき物品の種類は抽出されている。



発電所構内の物品調査結果例

- 図1のエリア②の範囲の物品のうち、藤田スケールのF1の竜巻規模で飛散する物品の例は以下のとおり。

物品	寸法(m)			空力パラ メータ C _D A／m (m ² ／kg)	最大 水平 風速 (m／s)	最大 飛散 距離 (m)	最大 浮上 高さ (m)	質量 (kg)
	高さ	高さ以外						
物置	2.0	2.1	3.5	0.0583	36	117.5	5.882	137
バイク, 自転車	0.5	0.55	1.915	0.0159	5	1	0.014	95
鋼製ステップ	1	1	4	0.0192	14	10	0.494	200
プレハブ小屋	2.4	2.40	3.6	0.0153	17	17.1	0.971	1000

←最も飛散距離が長い物品

物品調査写真



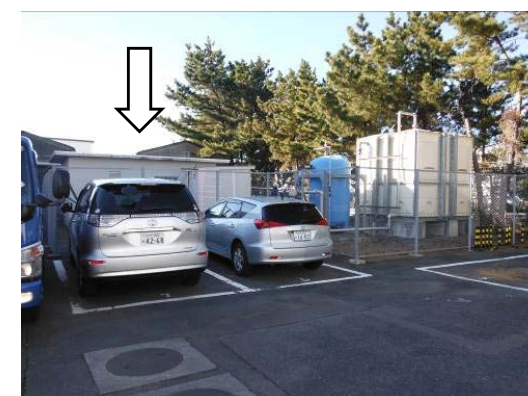
物置



バイク, 自転車



鋼製ステップ



プレハブ小屋

評価結果

(ひょう・あられ及び落雷による放射性廃棄物の容器等又は中間覆土の破損)

➤ ひょう・あられによる容器等の損傷の防止

- ひょうは水戸地方気象台の2007年から2016年の期間において観測された最大の大きさ(直径約30mm)を想定。あられは直径5mm未満の氷の粒であり、ひょうに包含される。
- 中間覆土が施工されていない埋設区画は、不燃性シートで覆うことから損傷が防止されるため、飛散防止の措置は損なわれない。
- ひょうにより中間覆土による放射性物質の飛散防止の措置は損なわれない。

➤ 落雷による容器等の損傷の防止

- 雷は高い場所に落ちやすいことから、地表面より掘り下げた埋設トレンチ内に定置する放射性廃棄物には直接落雷することは考えられず、放射性廃棄物の容器等は破損しないことから、放射性物質の飛散防止の措置は損なわれない。



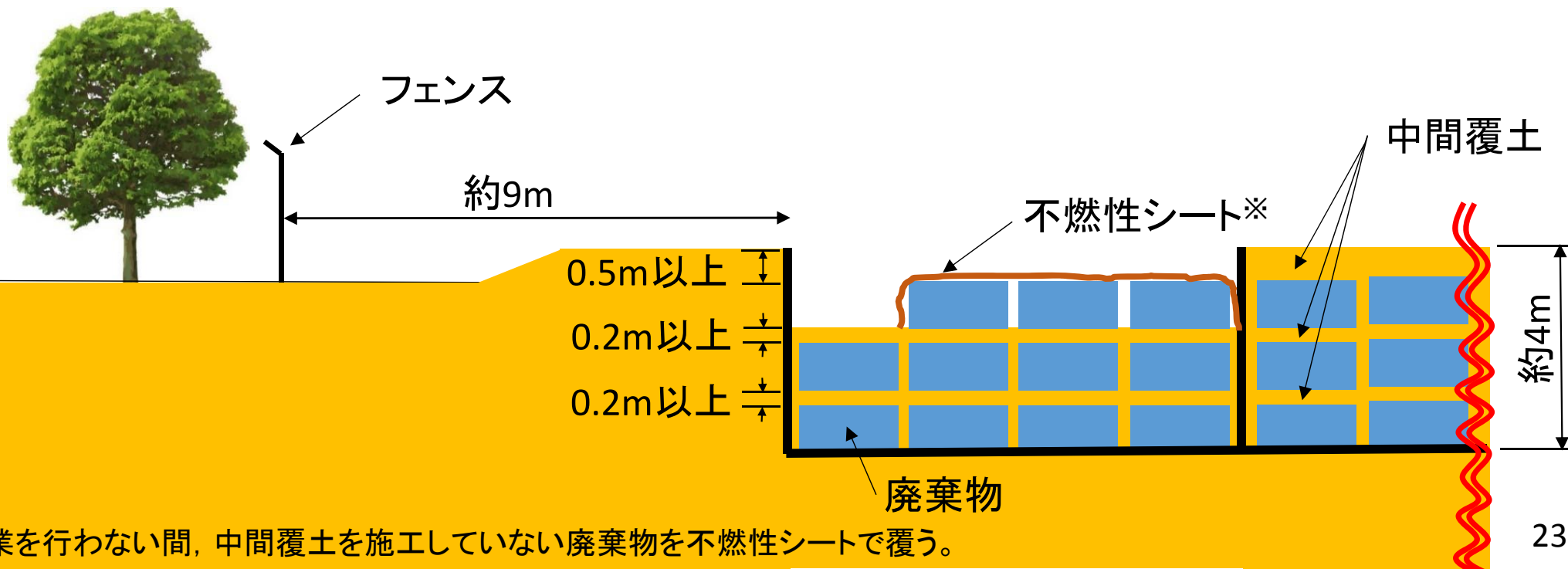
ひょう・あられ及び落雷により公衆へ与える影響はない

評価結果(1/2)

(森林火災に伴う放射性廃棄物の容器等又は中間覆土の燃焼)

➤ 森林火災が埋設地点に与える影響

- 住宅メーカーによる日本火災学会火災便覧の「火災家屋からの距離と温度の関係」と同様の評価によると、家屋火災の火元の温度が $1,120^{\circ}\text{C}$ の場合、火元から9m離れた地点の温度は、高さ約5m地点で 260°C 程度である。従って、保安林から水平方向に約9m及び深さ0.5mの位置にある廃棄物周辺の温度は 260°C 以下である。
- 埋設地は、保安林から水平方向に約9mの距離があることから、廃棄物は森林火災による炎に直接炙られることはない。
- 森林火災の場合、火の付いた枯れ葉、枯れ枝等が上昇気流に乗って舞い上がり、風に運ばれて飛び火する可能性がある。



評価結果(2/2)

(森林火災に伴う放射性廃棄物の容器等又は中間覆土の燃焼)

➤ 森林火災による容器等の燃焼防止対策

- 廃棄物埋設地に埋設する容器等は、「金属を封入した鉄箱」、「コンクリートガラを封入したフレキシブルコンテナ」、「コンクリートブロックを梱包したプラスチックシート」である。
- 「鉄箱」は不燃性の金属のため、森林火災が延焼したとしても容器が燃焼し放射性物質が飛散することはない。
- 「フレキシブルコンテナ」、「プラスチックシート」は可燃性材料であるため、以下の対策より**森林火災の輻射熱及び飛び火による燃焼を防止する**ことにより、火災発生時の放射性物質の飛散を防止する。
 - ✓ 中間覆土を施工していない廃棄物については、作業を行わない間及び火災が発生した場合は、**必要な耐熱温度を有する不燃性シートで覆い、輻射熱及び飛び火による容器等の燃焼を防止する**。
 - ✓ 不燃性シートは、竜巻等の他の自然現象との重畳を考慮しても、容器等の燃焼防止の措置が損なわれないようにする。

➤ 森林火災発生時の中間覆土による飛散防止の措置

- 廃棄物埋設地の中間覆土に飛び火する可能性はあるが、中間覆土は砂であり、砂は不燃性の物質であることから中間覆土が燃焼することはない。
- また、砂の主成分は石英であり、石英の融点は1700℃と高く、仮に飛び火したとしてもその温度に到達することはないため、形状が変わることなく、放射性物質の飛散防止の措置は損なわれない。



森林火災により放射性物質の飛散防止の措置は損なわれない

「2. 埋設作業段階における外部からの衝撃による飛散防止の措置への影響について」

まとめ

- 埋設作業段階における外部からの衝撃により、放射性物質の飛散防止の措置を損なうことはない。