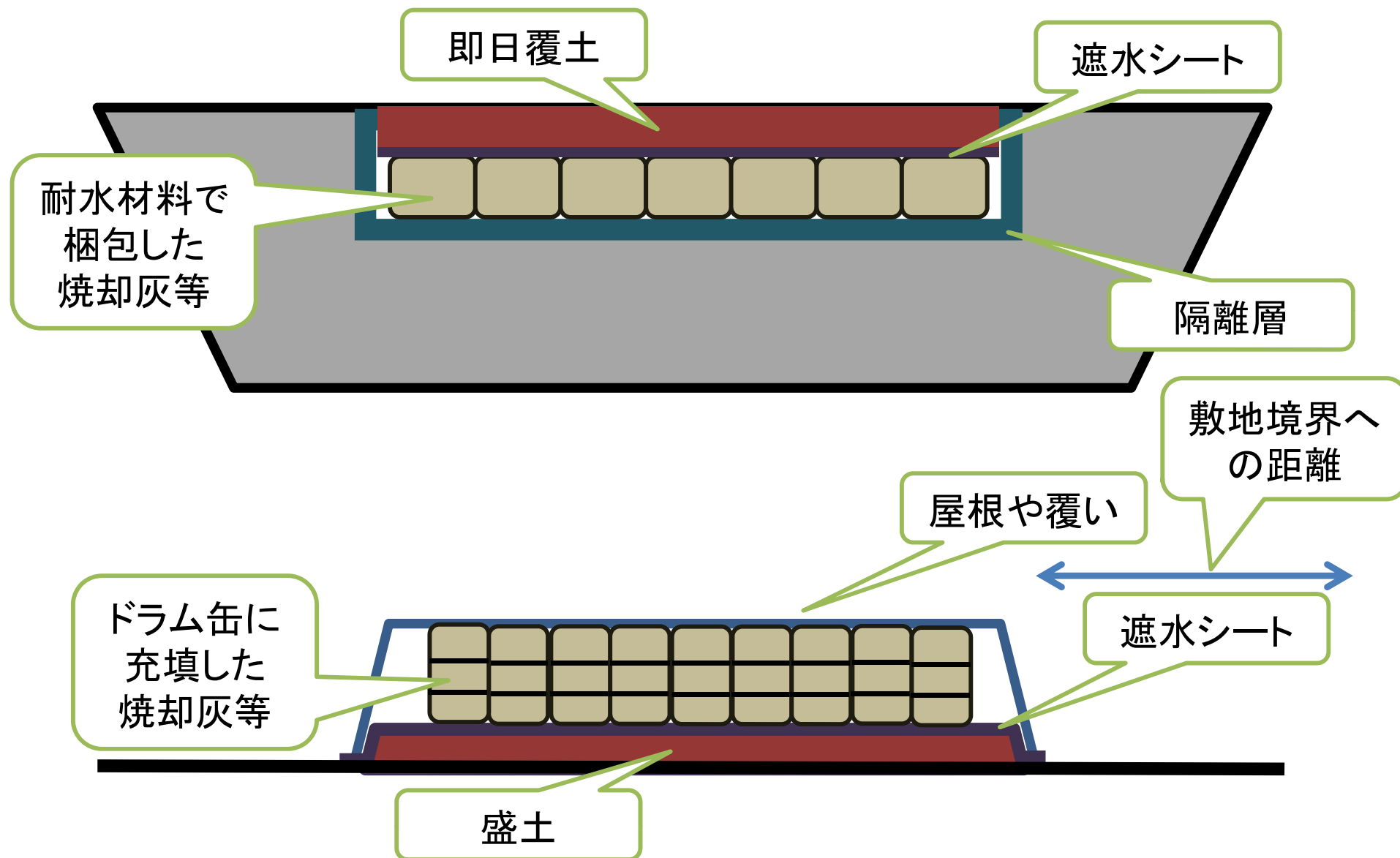


放射能汚染廃棄物の埋立

(独)国立環境研究所

遠藤 和人

【一時保管】8,000～100,000 Bq/kg イメージ



埋立処分に向けた基本方針

最終処分場では浸出水が最大の環境への放出経路である

- 放射線を減衰する(人を近づけない)
- 飛散させない
- 流出させない(水と触れさせない)
- 他のものと混ぜない
- 後で掘らせない(用途制限と場所の記憶)

長期的視点でのフェイルセーフを確保する

対応する技術

100年以上機能する技術システム

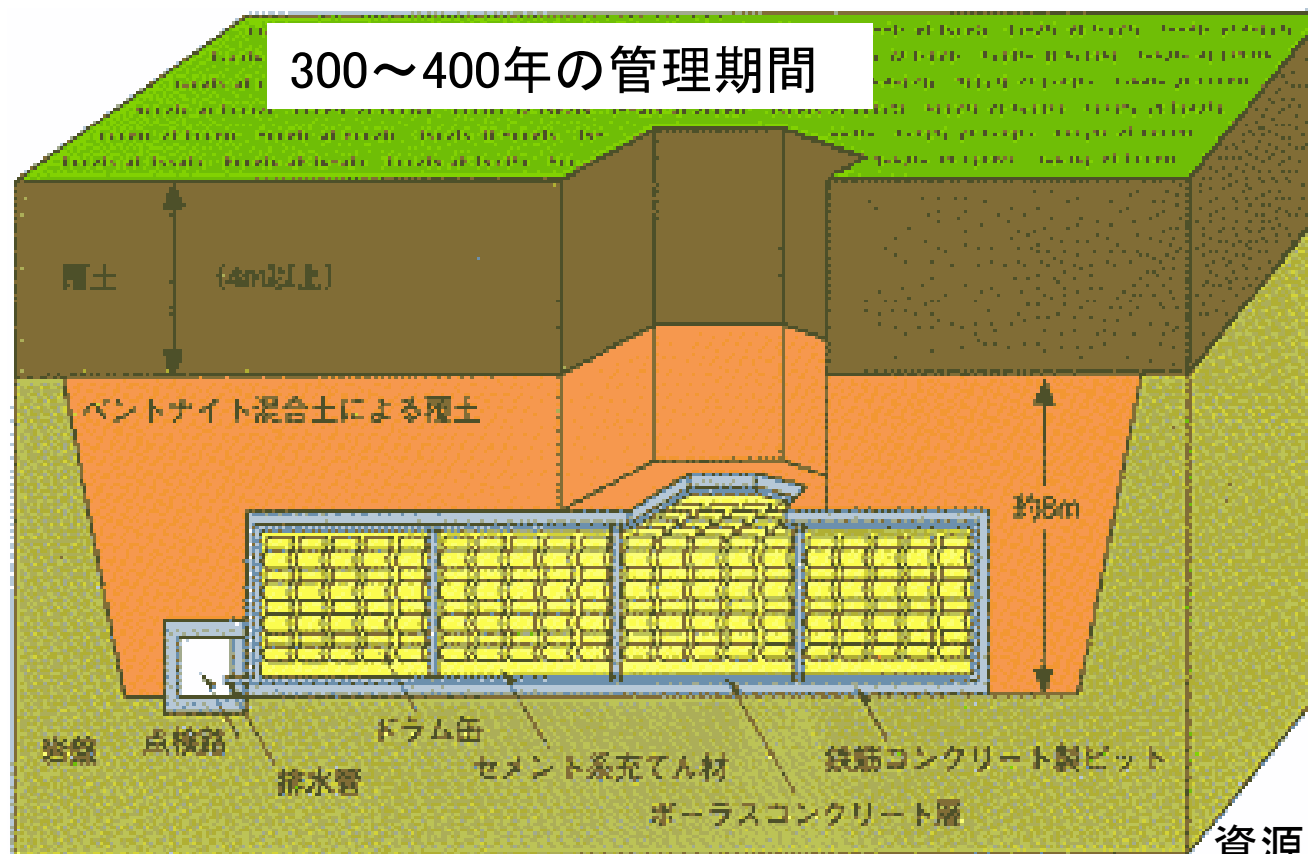
- 覆土厚(埋立深さ)
 - ・ 離隔距離
- 固化
- 容器
- 緩衝・遮水層
- キャッピング(表面遮水)
／ 覆蓋
- 排水の促進(内部貯留水の禁止)
- 浸出水高度処理
- 区画埋立



流出防止のための
フェイルセーフ・システム

低レベル放射性廃棄物の処分方法

浅地中ピット処分(上限値: Cs-137 10^{14} Bq/ton)

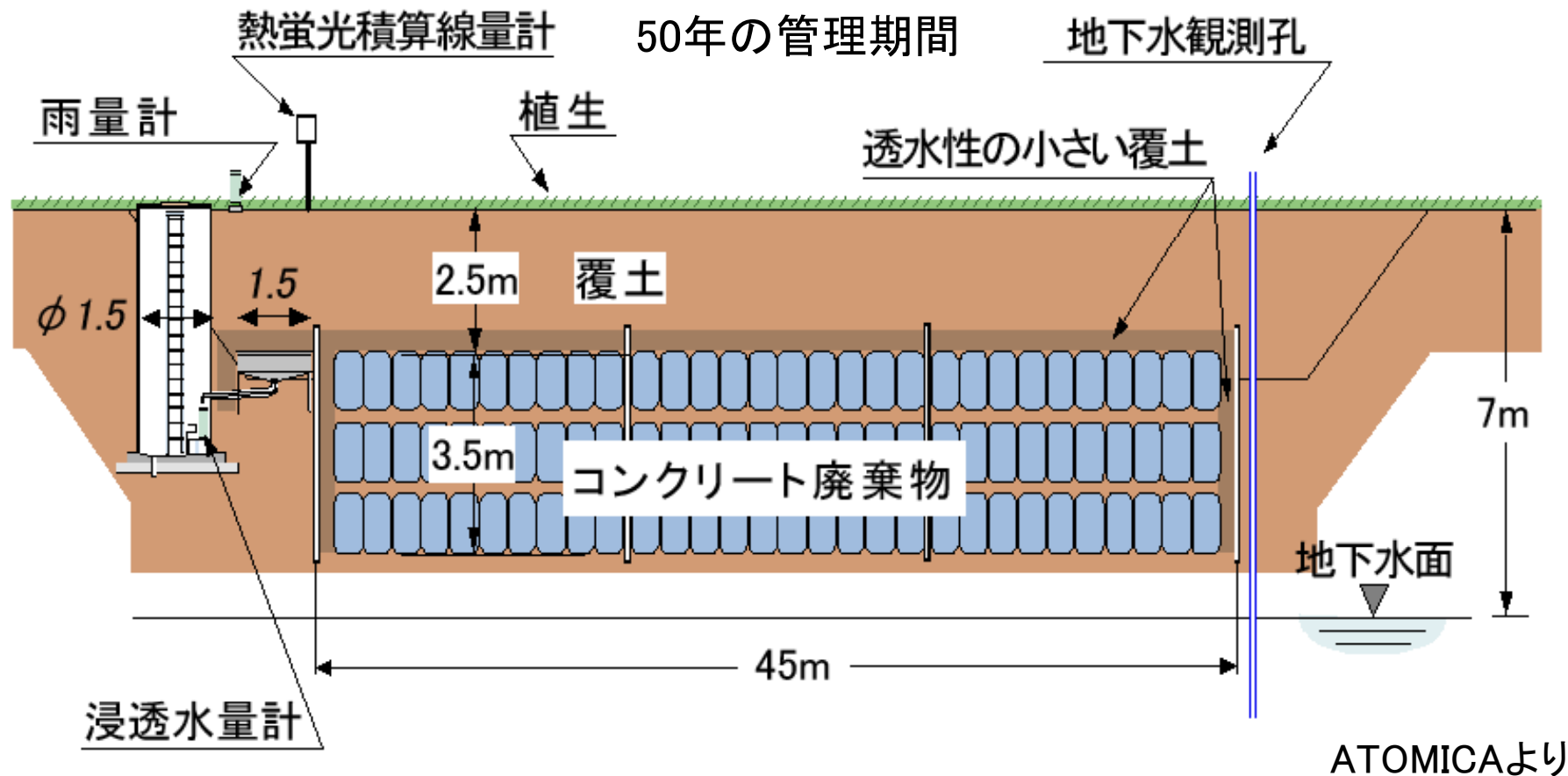


資源エネルギー庁HPより

液体廃棄物を濃縮した廃液や放射能レベルの低い使用済樹脂、可燃物を焼却した焼却灰などをセメントなどでドラム缶に固形化したものや、配管やフィルターなど固体状の廃棄物

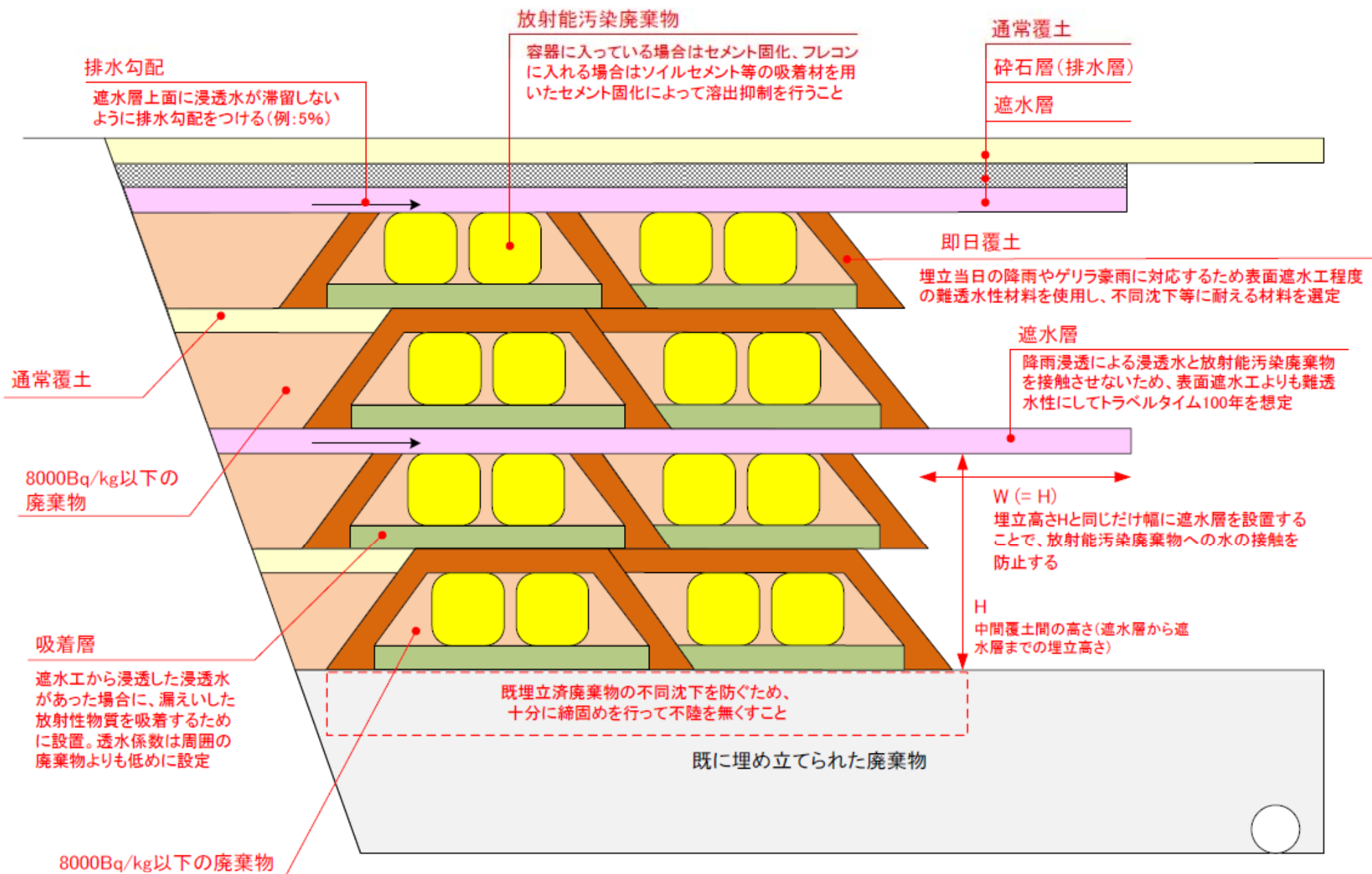
低レベル放射性廃棄物の処分方法

浅地中トレンチ処分(上限値: Cs-137 10^8 Bq/ton)



コンクリートや金属など、化学的、物理的に安定な性質の廃棄物

理想的な処分構造のイメージ



処分構造の要件案

- 固化により溶出を抑制した上で、容器および部分キャッピングによってCs廃棄物への水の接触を遮断することで溶出を抑制することを第一目標とし、仮に水と接触したとしても、担保として下部の吸着層によってCsを捕捉すること。
- 固化によるCsの溶出の抑制
- 容器によるCs廃棄物の雨水からの遮断
- 部分キャッピングによるCs廃棄物の雨水からの遮断
 - 部分キャッピングは表面遮水工よりも難透水性であること。
 - 不同沈下に対しての変形追随性を有すること。
 - 部分キャッピングは最終的な即日覆土とは別に施工してもよい。
 - 部分キャッピングの耐用年数は少なくとも100年程度を想定すること。
 - 部分キャッピングの上部に碎石等の排水層を設置すること。
 - 部分キャッピングの上面は排水勾配を有すること。
 - 可能であれば遮水性と同時に遮蔽性も有すること。
- 即日覆土による管理
 - 即日覆土は最低でも30 cm程度の厚みを有すること。
 - 即日覆土も表面遮水工と同等の遮水性能であること。
 - 土質材料のみを利用して遮水性が確保できない場合、GCL等を用いて難透水性を確保すること。
 - 即日覆土の耐用年数は少なくとも30年程度を想定すること。
- 緩衝層の設置
 - Cs廃棄物と水が接触したとしても十分な吸着能力を有する緩衝層をCs廃棄物の下部に敷設すること。
 - 不同沈下等に対して変形追随性を有する材料であること。
 - 水みち等を極力作らないように施工すること。

長期的な管理

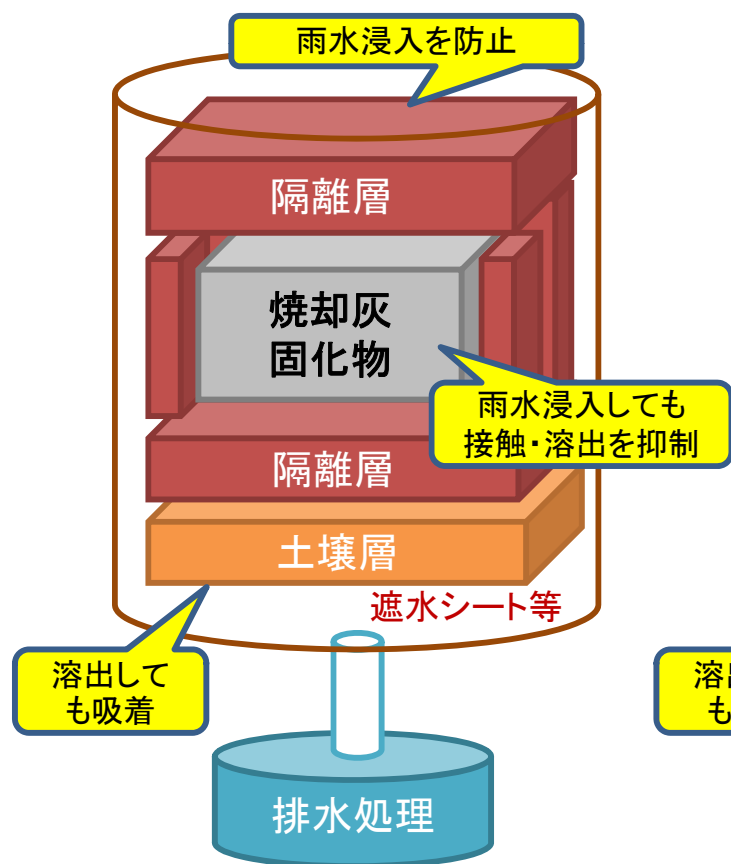
50年～300年の管理期間

- 跡地の利用制限
 - 終了の確認
 - 空間線量率の確認
 - 形質変更・用途の制限
 - 埋立部分の形質変更禁止
 - 居住等、人が長時間滞在する用途の禁止
 - 雨水進入防止・モニタリング・排水管理の継続
- 管理主体の明確化
- 埋め立たことの記録・記憶

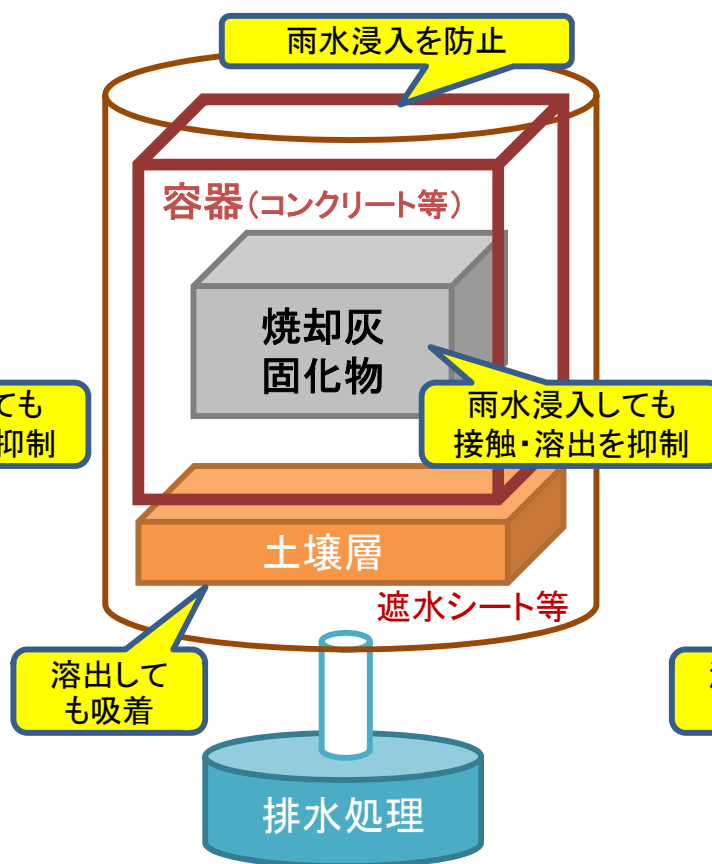
8,000Bq/kgを超え100,000Bq/kg以下の焼却灰等の処分方法の概要 【一般廃棄物最終処分場(管理型最終処分場)での処理イメージ】

以下の1)～3)のいずれかによる。

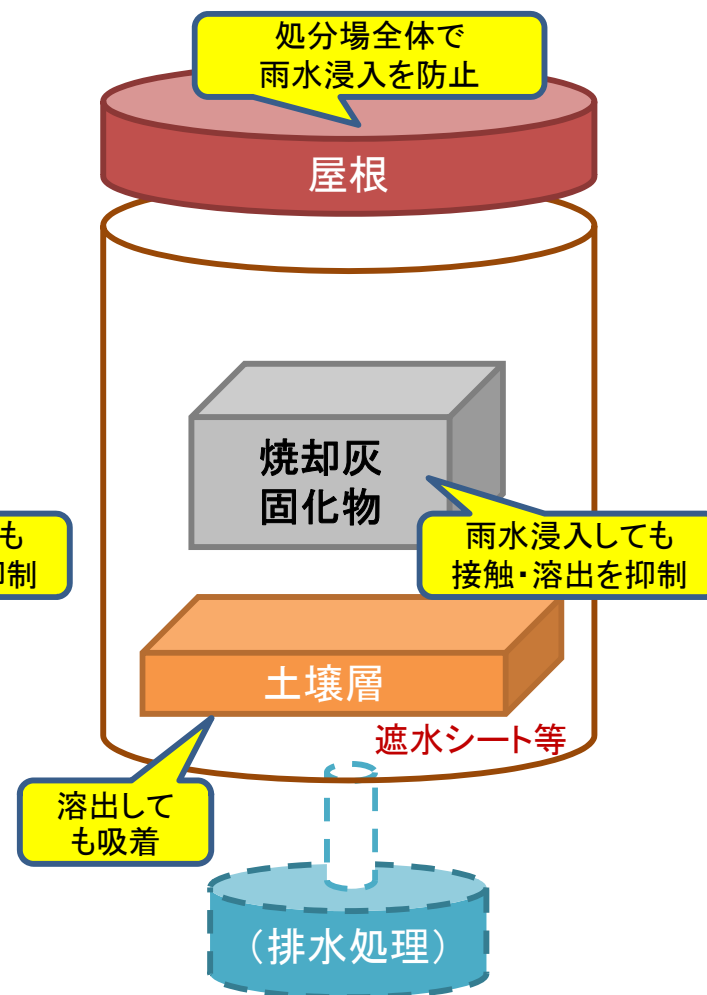
1) 隔離層の設置
による埋立て



2) 長期間の耐久性
のある容器等
による埋立て



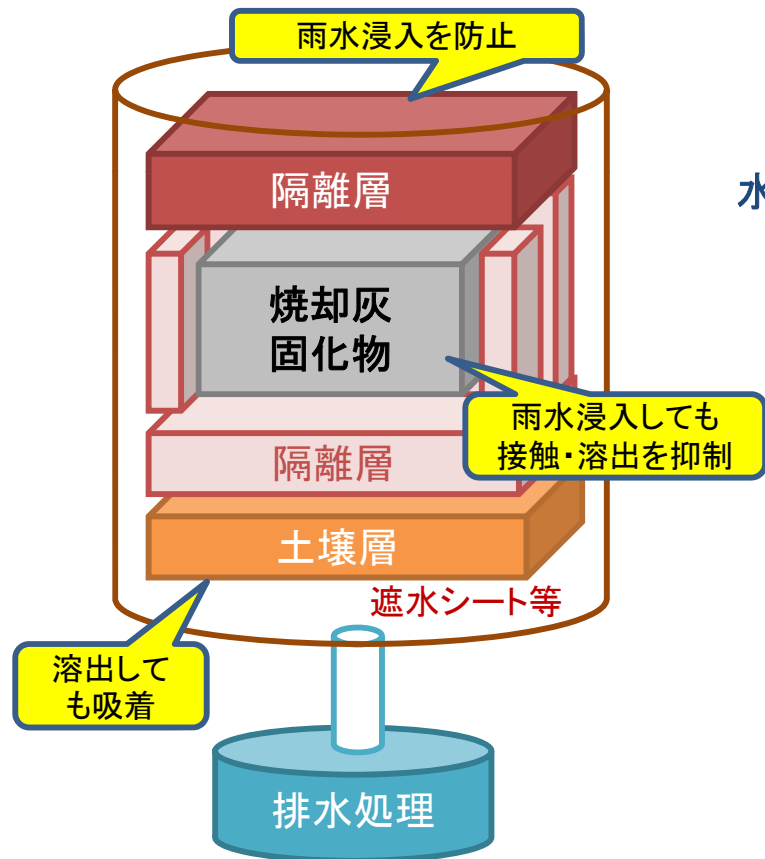
3) 屋根付き処分場
での埋立て



1) 隔離層の設置による埋立て(詳細)

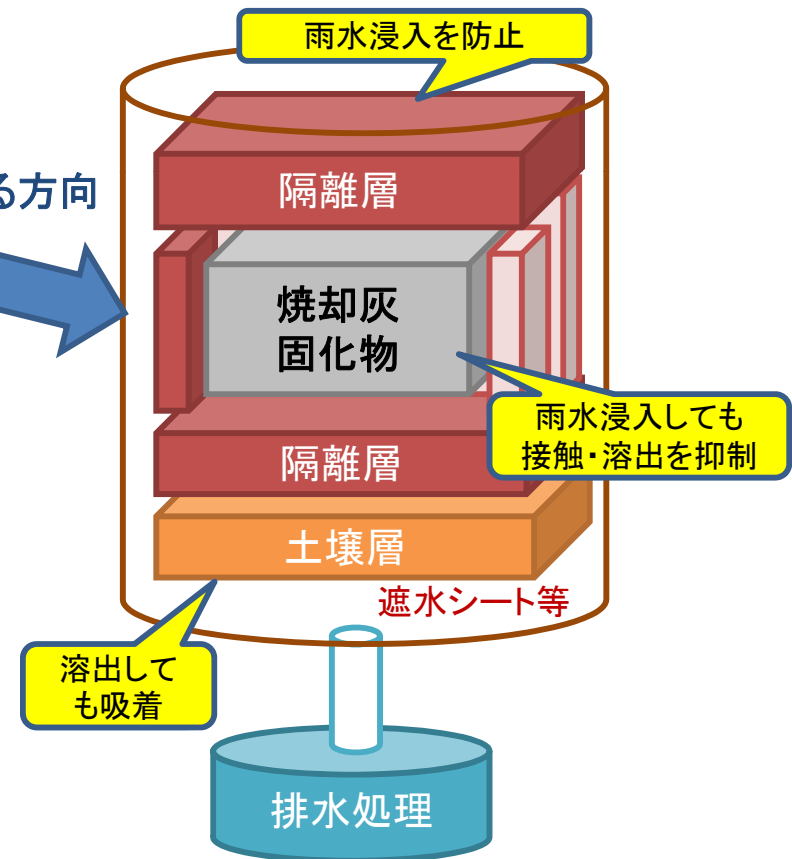
① 十分な強度を満たす場合

- ・1 m³当たり150kg以上セメントを混合
- ・埋立処分を行う際における一軸圧縮強度が0.98メガパスカル以上の強度



厚さ30cm程度以上の土壌の層。
透水係数の低いベントナイト等の土壌、
透水係数 $K=1.0 \times 10^{-6}$ cm/s以下。

② セメント固化物が①の要件を満たさない場合



厚さ30cm程度以上の土壌の層。
透水係数 $K=1.0 \times 10^{-6}$ cm/s以下でなくても構わないが、
なるべく透水係数の低い粘土混合土等の土壌を用いる。

現在の一時保管の方針

2011/6/23 & 7/28

1. **8,000 Bq/kg以下(の主灰?)**は、一般廃棄物最終処分場((産業廃棄物)管理型最終処分場)で埋立可能

2. **8,000 Bq/kgを超えるもの(と飛灰?)**は一時保管

(1) 一時保管の方法(8,000Bq/kg超100,000Bq/kgまで)

次の①～③のいずれかの方法により一時保管を行う。

①放射線を遮へいできる場所におけるドラム缶等での保管

②一般廃棄物最終処分場((産業廃棄物)管理型最終処分場)での保管

③その他の保管方法

－ 周辺住民への影響を公衆の許容レベル(1mSv/年)以下とする。

－ 作業員の被ばくレベルは、10,000 Bq/kgを超える場合は、電離放射線障害防止規則に準じて管理される。

(2) 一時保管の方法(100,000Bq/kg超)

①適切に放射線を遮へいできる施設での保管

伊勢崎市清掃リサイクルセンター21一般廃棄物最終処分場(第三期)浸出水処理施設放流水における放射性セシウム流出対策について

(独)国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター

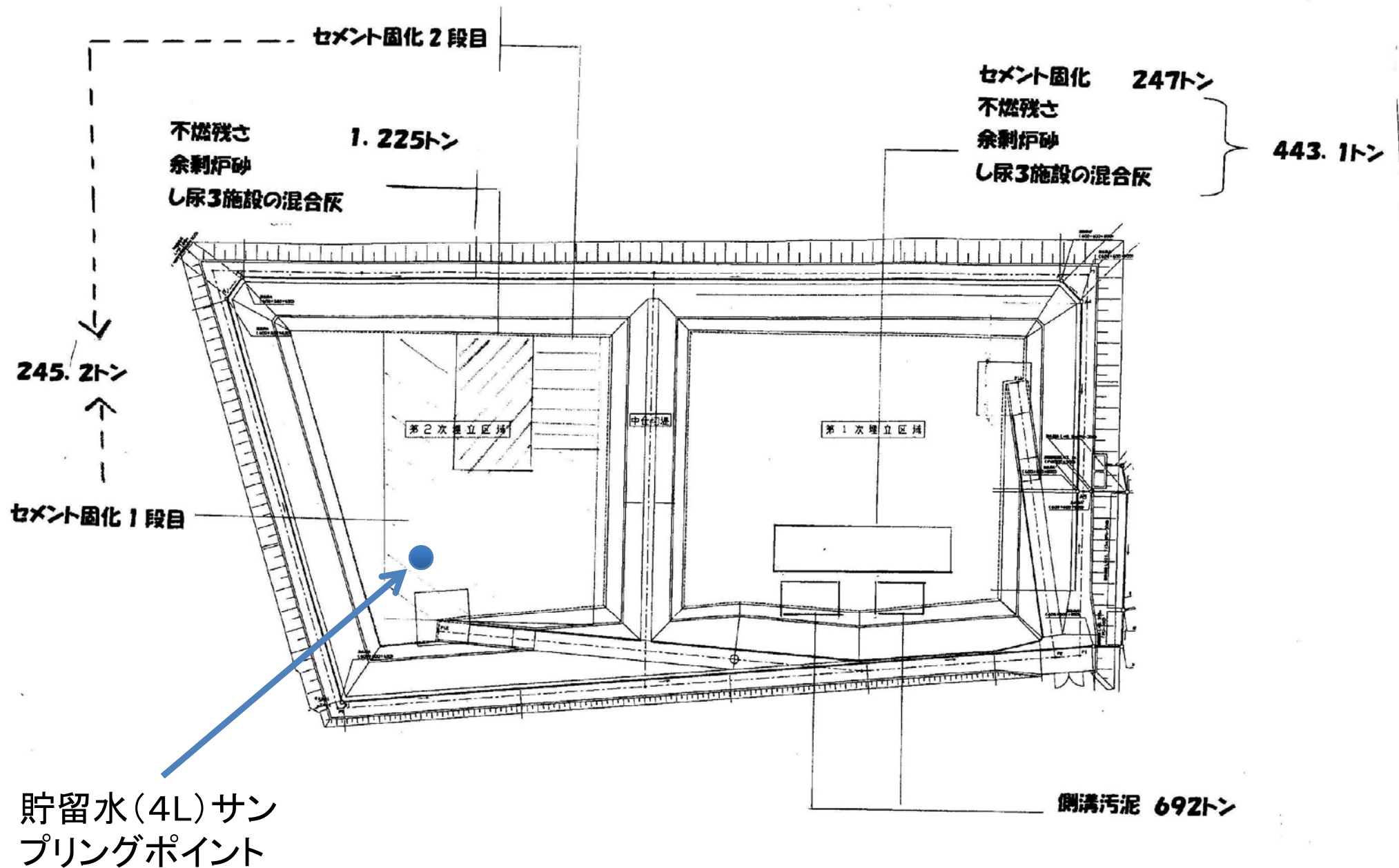
• 最終処分場諸元

- 埋立面積: 24,760m²／埋立容量: 110,300m³／埋立終了時高さ: 6.2m
 - 第一次埋立地と第二次埋立地に中仕切堤で分割されている
- 計画埋立期間: 平成14年4月から平成28年9月
 - 平成23年4月以降は第二次埋立地を使用
- 埋立物: **流動床炉飛灰セメント固化物**, 不燃残さ, 余剰炉砂, し尿処理施設余剰汚泥焼却灰(主灰飛灰混合), 側溝汚泥など
- 浸出水処理フロー(第一期～第三期共通): 第一凝集沈殿→生物処理→第二凝集沈殿→砂ろ過→活性炭吸着→消毒→放流(市内水路→利根川)

• 放射性セシウム流出の状況

- 流動床炉飛灰の放射能濃度は¹³⁴Cs+¹³⁷Csで**1,810Bq/kg**
- 第二次埋立地の底部遮水工上に碎石を敷き、その上に30cm程度廃棄物を埋立
 - 第二次埋立地における流動床炉飛灰の埋立量は約2,500t/8,100t(全体)
- 台風等による降雨により埋立部の上部が湛水
 - 9/16で約70cm, 10/7で約1m
- 7月15日の測定時より、浸出水および処理施設放流水より放射性セシウムを検出、9月12日には¹³⁴Csが**69 Bq/kg**, ¹³⁷Csが**80 Bq/kg**(濃度限度の2.04倍)
 - 原水では¹³⁴Csが108 Bq/kg, ¹³⁷Csが115 Bq/kg
- 現在は全ての埋立地からの浸出水の浸出水処理施設への流入を停止、施設からの放流を停止し、施設内で水を循環

H23.3.11以降の埋立部



湛水の状況



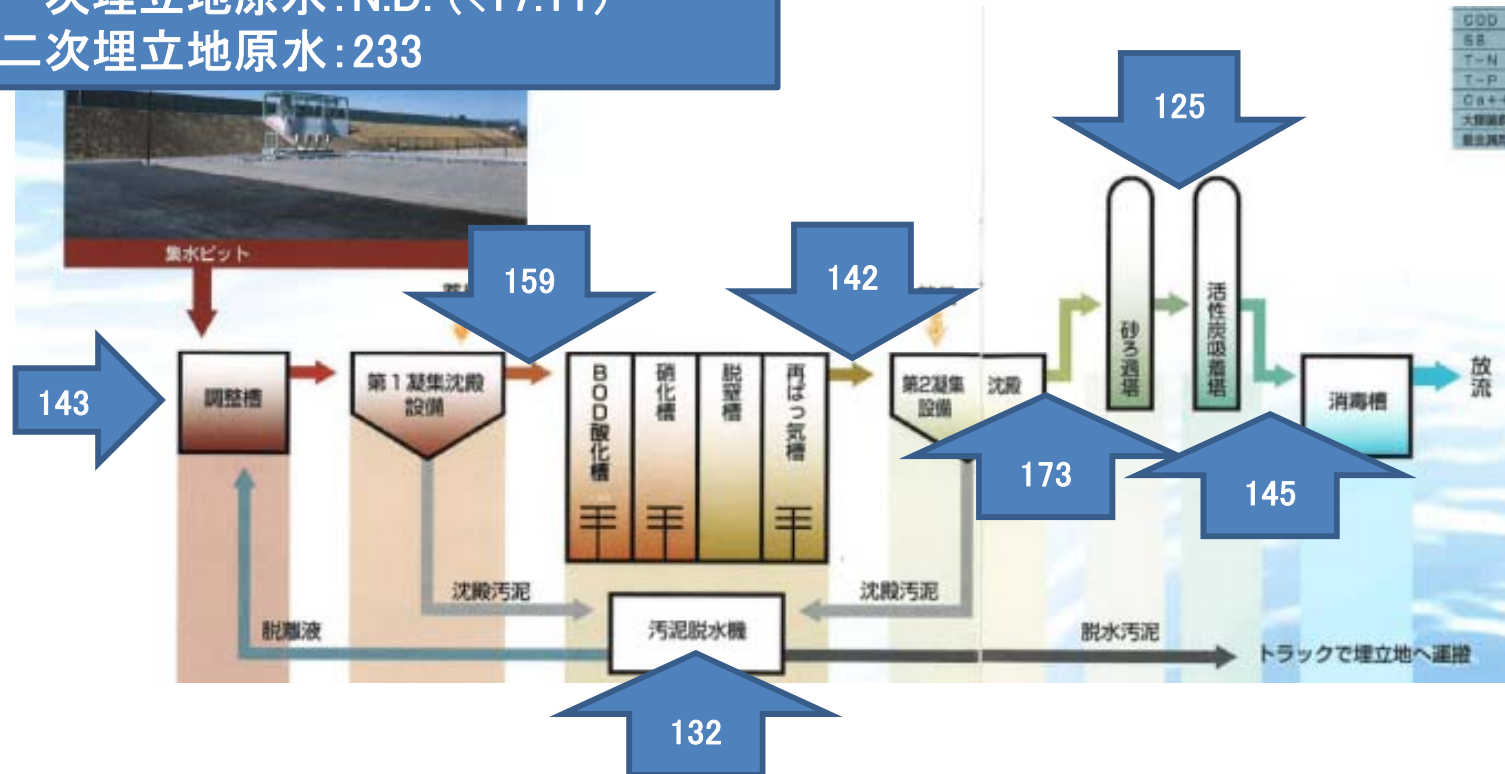
湛水部の放射性セシウム濃度は**27.6** (^{134}Cs 15.6+ ^{137}Cs 12.0) Bq/L
(20110916採取)

浸出水処理工程における放射性セシウムの挙動

(20110916採取: $^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$, Bq/L)

第一次埋立地原水: N.D. (<17.11)

第二次埋立地原水: 233



1. 放射性セシウムは湛水が下部の流動床炉飛灰セメント固化物に浸透し、集水管に達する過程で溶出(湛水部の放射性セシウム濃度は原水より小さい)
2. 現在の浸出水処理工程では放射性セシウムはほとんど除去されない。

伊勢崎事案における対応

- 目標：浸出水処理施設放流水における放射性セシウム濃度を検出限界以下（ ^{134}Cs および ^{137}Cs それぞれ10 Bq/L以下）にして放流する。
- 浸出水処理工程における対策
 - － 調整槽に貯留されている浸出水の処理
 - 調整槽に粉末ゼオライトを投入し、放射性セシウム濃度が検出限界以下になるまで放流水を調整槽に循環させる。
 - 処理工程の最下流部にゼオライト吸着塔を設置する（時期未定）。
 - 以上より、処理に必要なゼオライト量とゼオライト吸着に必要な滞留時間を特定する。
 - － 埋立地内に貯留されている浸出水の処理
 - 集水ピットから調整槽に導入した浸出水を上記の方法で回分処理する。
 - － 使用後のゼオライト粉末等は8,000 Bq/kg以下で回収、できるだけ脱水して、焼却灰埋立下部の土壤層として用いる。
 - 脱水時の排水中の放射性セシウム濃度を予め確認する。また、溶出試験により再溶出が無いことを確認する。
- 埋立地における対策
 - － 第一次埋立部表面に覆土を施用する（現在は埋立物が露出）。
 - － 湛水を上部よりポンプアップして、第一次埋立地に浸透させる。なお、浸透部には念のためゼオライトを置く。
 - － 水が引いた後に埋め立てていた焼却灰をいったん脇（焼却灰以外の埋立部）に寄せて、下層に予め吸着能を確認した土（および使用後のゼオライト粉末）を敷く。
 - － 焼却灰を即日覆土を用いるサンドイッチ・セル方式で埋め立てる。なお、以降の埋め立てにおいては底部に予め吸着能を確認した土（および使用後のゼオライト粉末）を敷いてから行う。

放射性セシウム濃度が8,000 Bq/kg以下の焼却残さ等を埋め立てている最終処分場におけるセシウム流出対策

焼却残さ等に塩化物等の形態で含有される放射性セシウムは、特に焼却飛灰において溶出率が高く、8,000 Bq/kg以下であっても、条件によっては濃度限度(134Cについて60 Bq/L、137Cについて90 Bq/L)を上回る濃度で浸出水に溶出する。8,000 Bq/kgという数字は埋立作業者の被曝限度より定められた基準であり、埋め立て後の浸出水中の放射性セシウム濃度とは何ら関係がない。また、現状で飛灰などに対して行われているキレート処理やセメント固化(セメント混合)ではセシウムの溶出はまったく抑止できない。従って、浸出水への溶出を防止するためには、これまでの通知に示された、水が溜まりやすいところを避け、下部に土壤層を設ける、こと以外に以下の事項に留意する。

(0) 基本的な考え方として、従来の表面や内部の透水性を高め、雨水の浸透により安定化を促す埋立方式を、放射性セシウムを含む焼却残さ等に対しては透水性の低い覆土や表面遮水等で、埋立地内に雨水を浸透させない埋立方式に転換すべきである。

(1) 埋立は、水が溜まりやすく溶出した放射性セシウムが直ちに浸出水集水管に達してしまう最下層ではなく、数段は埋立が進んでいる区画で、かつ、浸出水集水管(法面集排水管を含む)の位置から離れたところで行う。

(2) 焼却残さは、腐敗しない不燃物であっても、飛散防止や埋立地内における放射性セシウムの移動を抑止する必要がある。下部には必ず土壤層を設置する。さらに、腐敗物に倣った即日・中間覆土が必要である。さらに、焼却残さを広くばらまかないでセル方式にて埋め立てる。なお、覆土材として透水性の高い砂や礫ではなく、粘土分を含む土壤(関東ローム等)を用いる。ただし、粘土そのものを用いると排水障害が起きるので注意する。

(3) 焼却残さ等と雨水との接触を防ぐために、埋め立てした区画の上部には透水性の低い覆土(粘土やズリ等)やシート等でキャッピングし、雨水の浸透を遮断する。また、表面には施工時で5%程度の傾斜を設け、雨水を横方向に排除すること。加えて、焼却残さ等をバラではなくフレコンパック等に充填して埋め立てることも有効と考えられる。

(4) 放射性セシウムは飛灰における溶出率が8割以上と高く、また、飛灰と主灰の混合はこの溶出率に大きな影響を与えない。したがって、主灰と飛灰を分離し、飛灰に対してフレコンパック充填や粘土層で周囲を囲むなど、重点的な雨水の遮断を施すことが効果的である。

(5) 放射性セシウム濃度が8,000 Bq/kg以下であっても、8,000 Bq/kg以上の方法に従った浸出水および放流水の放射性セシウム濃度等のモニタリングを行い、次項に示す浸出水処理施設における対策を講ずる。

放射性セシウム濃度が8,000 Bq/kg以下の焼却残さ等を埋め立てている最終処分場におけるセシウム流出対策

浸出水等に陽イオンとして溶存するセシウムは、凝集沈殿・砂濾過、生物処理、活性炭吸着、キレート樹脂処理等の現行の浸出水処理工程ではほとんど除去されない。除去のためにはゼオライト等を用いた吸着法や逆浸透膜法等を用いる必要がある。放射性セシウムを含む焼却残さ等を埋め立てている最終処分場において、放流水経由での流出を防ぐためには以下の対策が考えられる。

(0) 放射性セシウム濃度が8,000 Bq/kg以下であっても、8,000 Bq/kg以上の方法に従った浸出水および放流水の放射性セシウム濃度等のモニタリングを行う^[1]。

(1) 降雨後には浸出液原水および放流水の放射性セシウムの分析の頻度を増やす。

(2) 浸出液の処理量を増やして、放射性セシウムを含む焼却残さ等を埋め立てた領域を湛水させない。

(3) 湛水している領域にゼオライトを投入する。

(4) 浸出液に濃度限度をこえる放射性セシウムが検出された場合に備え、粒状ゼオライト^[2]を購入、保管しておく。濃度限度を超える恐れがある場合には、即応的措置としては以下の方法を用いる。ただし、いずれの場合においても、ゼオライトへの放射性セシウムの吸着量が大きくなると、ゼオライト自体の放射線量が増すため、使用後の取り扱いや処分が困難となることに留意する。

(ア) 曝気や循環を行っている原水調整槽にゼオライトを投入する。原水調整槽から流出したゼオライトは凝集処理工程で除去する。

(イ) 砂ろ過塔のろ材を、ゼオライトに交換する。またはゼオライト吸着塔を増設する。

(5) 恒久的な措置としては、ゼオライト吸着塔の設置のほかに、逆浸透膜(RO膜)法を導入する対策も効果的である。

^[1] 当面は、「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則の規定に基づく線量限度等を定める告示(平成十三年三月二十一日経済産業省告示第百八十七号)」別表第一で定められた濃度限度(三月間の平均濃度がセシウム134で60Bq/L、セシウム137で90Bq/L)

^[2] 塩類濃度が高い浸出液の場合は、国立環境研究所の報告によれば、飽和吸着量まで吸着したゼオライトは、浸出液濃度の500～1000倍(重量ベース)の放射能濃度に達する可能性がある。

平成二十三年三月十一日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法の概要

目 的

放射性物質による環境の汚染への対処に関し、国、地方公共団体、関係原子力事業者等が講ずべき措置等について定めることにより、環境の汚染による人の健康又は生活環境への影響を速やかに低減する

責 務

- 国：原子力政策を推進してきたことに伴う社会的責任に鑑み、必要な措置を実施
- 地方公共団体：国の施策への協力を通じて、適切な役割を果たす
- 関係原子力事業者：誠意をもって必要な措置を実施するとともに、国又は地方公共団体の施策に協力

制 度

基本方針の策定

環境大臣は、放射性物質による環境の汚染への対処に関する基本方針の案を策定し、閣議の決定を求める

基準の設定

環境大臣は、放射性物質により汚染された廃棄物及び土壌等の処理に関する基準を設定

監視・測定の実施

国は、環境の汚染の状況を把握するための統一的な監視及び測定の体制を速やかに整備し、実施

放射性物質により汚染された
廃棄物の処理

放射性物質により汚染された土壌等
(草木、工作物等を含む)の除染等の措置等

放射性物質により汚染された 廃棄物の処理

- ① 環境大臣は、その地域内の廃棄物が特別な管理が必要な程度に放射性物質により汚染されているおそれがある地域を指定
- ② 環境大臣は、①の地域における廃棄物の処理等に関する計画を策定
- ③ 環境大臣は、①の地域外の廃棄物であって放射性物質による汚染状態が一定の基準を超えるものについて指定
- ④ ①の地域内の廃棄物及び③の指定を受けた廃棄物（特定廃棄物）の処理は、国が実施
- ⑤ ④以外の汚染レベルの低い廃棄物の処理については、廃棄物処理法の規定を適用
- ⑥ ④の廃棄物の不法投棄等を禁止

放射性物質により汚染された土壌等 （草木、工作物等を含む）の除染等の措置等

- ① 環境大臣は、汚染の著しさ等を勘案し、国が除染等の措置等を実施する必要がある地域を指定
- ② 環境大臣が①の地域における除染等の措置等の実施に係る計画を策定し、国が実施
- ③ 環境大臣は、①以外の地域であって、汚染状態が要件に適合しないと見込まれる地域（市町村又はそれに準ずる地域を想定）を指定
- ④ 都道府県知事等（※）は、③の地域における汚染状況の調査結果等により、汚染状態が要件に適合しないと認める区域について、土壌等の除染等の措置等に関する事項を定めた計画を策定
- ⑤ 国、都道府県知事、市町村長等は、④の計画に基づき、除染等の措置等を実施
- ⑥ 国による代行規定を設ける
- ⑦ 汚染土壌の不法投棄を禁止

※政令で定める市町村長を含む

※原子力事業所内の廃棄物・土壌及びその周辺に飛散した原子炉施設等の一部の処理については関係原子力事業者が実施

特定廃棄物又は除去土壌（汚染廃棄物等）の処理等の推進

国は、地方公共団体の協力を得て、汚染廃棄物等の処理のために必要な施設の整備その他の放射性物質に汚染された廃棄物の処理及び除染等の措置等を適正に推進するために必要な措置を実施

費用の負担

- 国は、汚染への対処に関する施策を推進するために必要な費用についての財政上の措置等を実施
- 本法の措置は原子力損害賠償法による損害に係るものとして、関係原子力事業者の負担の下に実施
- 国は、社会的責任に鑑み、地方公共団体等が講ずる本法に基づく措置の費用の支払いが関係原子力事業者により円滑に行われるよう、必要な措置を実施

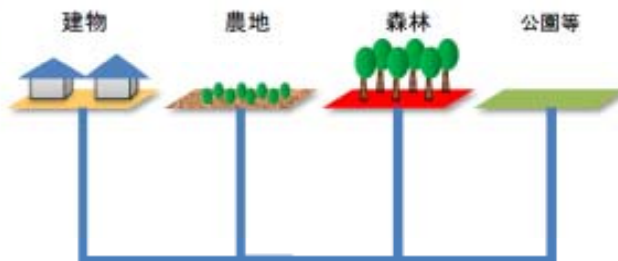
検討条項

- 本法施行から3年後、施行状況を検討し、所要の措置
- 放射性物質に関する環境法制の見直し
- 事故の発生した原子力発電所における原子炉等についての必要な措置

中間貯蔵施設の整備に係る工程表(ロードマップ)

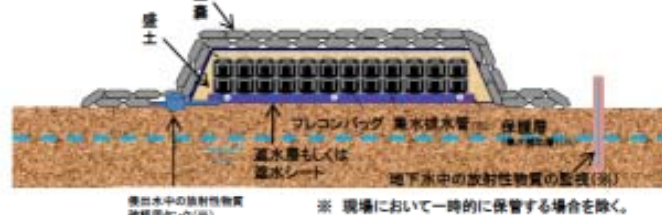
除染に伴い発生する土壌・廃棄物の処理(福島県内)

①本格除染の開始



②仮置場での保管(3年程度)

市町村毎、コミュニティ毎で確保



③中間貯蔵施設での保管(30年以内)

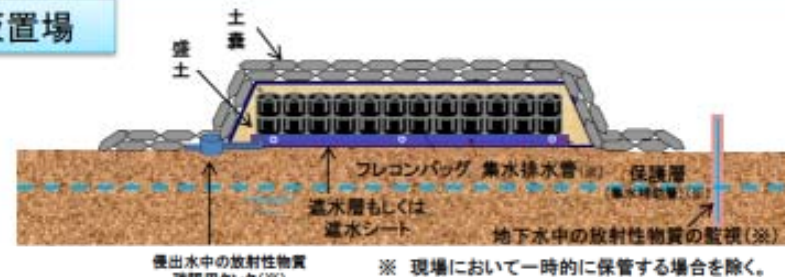
福島県内のみ
(県外からは持ち込まない)



④最終処分:福島県外にて処分

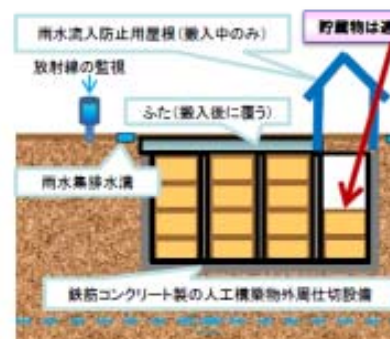
各施設の構造(イメージ)

仮置場

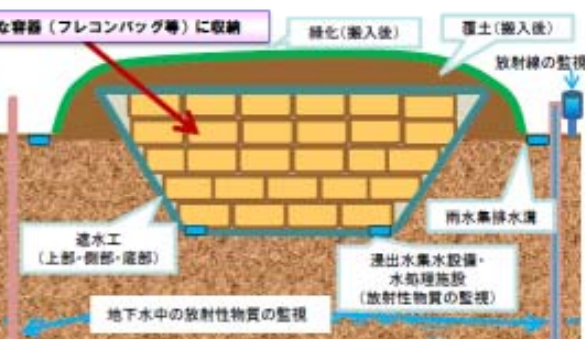


中間貯蔵施設内の保管施設

高濃度・溶出性対応型施設の例



低濃度・非溶出性対応型施設の例



指定廃棄物の処分施設(既存管理型処分場を活用)

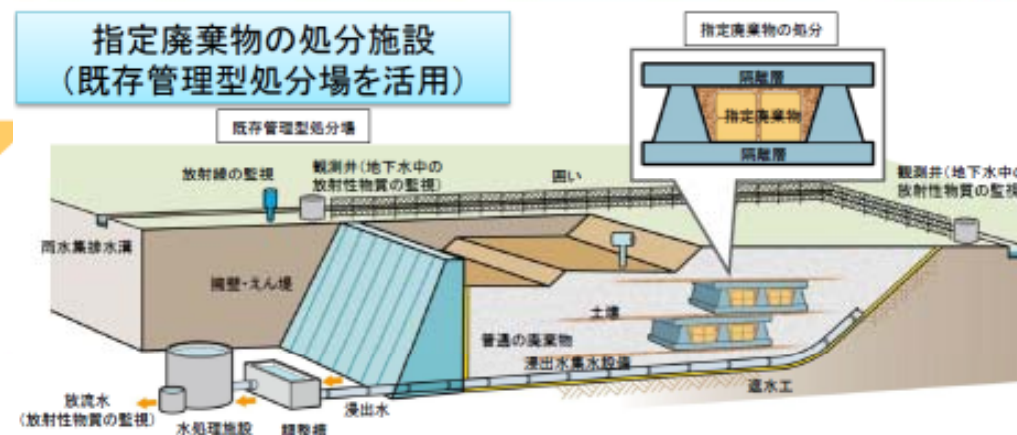


図2

特定廃棄物及び除染に伴う廃棄物の処理フロー
(福島県内)

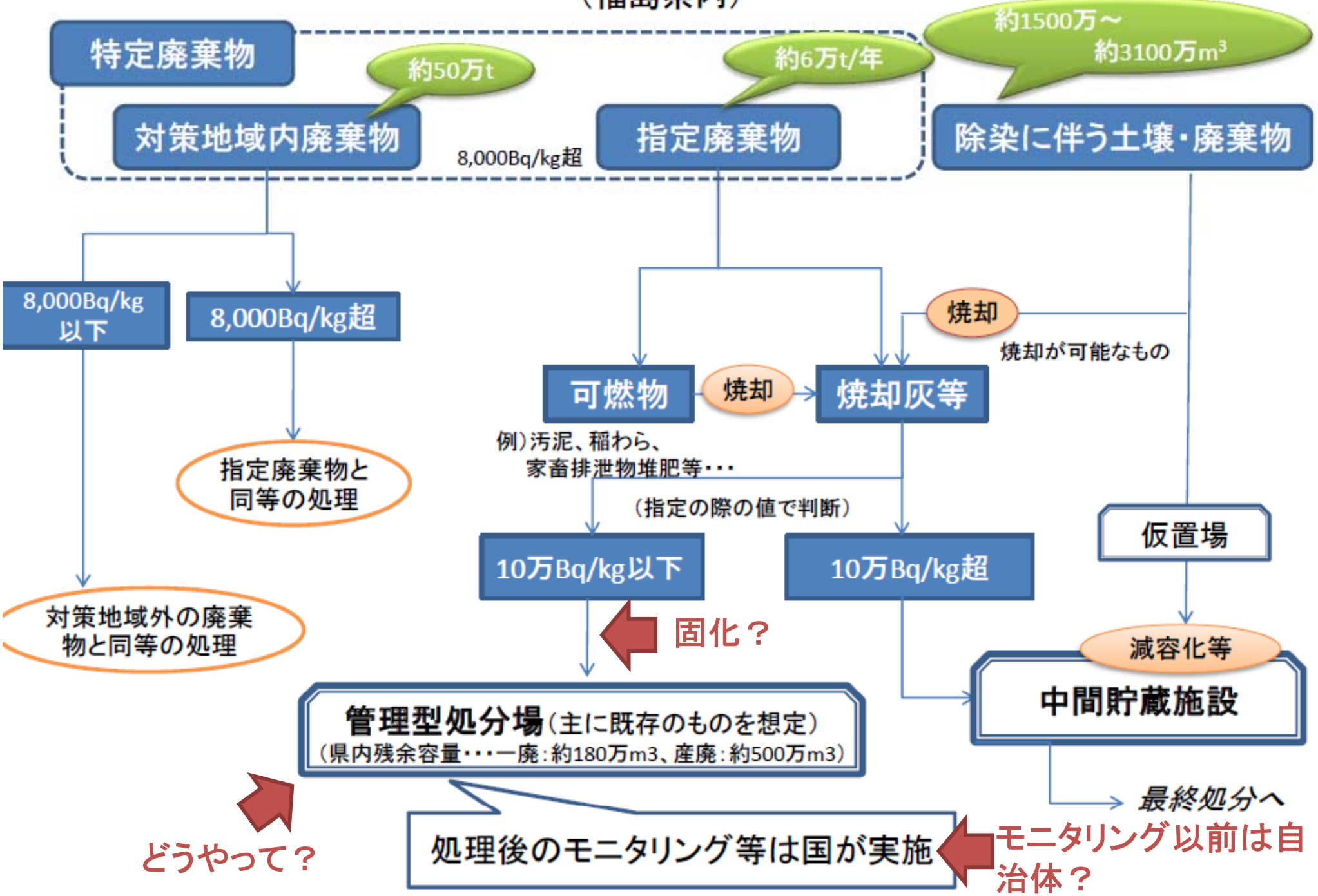


図3

特定廃棄物及び除染に伴う廃棄物の処理フロー
(福島県以外の各都道府県内)

