

RI・研究所等廃棄物余裕深度処分施設の概念設計

- 概 要 -

(核燃料サイクル開発機構 業務委託報告書)

2002年2月

三菱マテリアル株式会社

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松 4 番地 49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to :
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184,
Japan

核燃料サイクル開発機構
(Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2002

2002年2月

RI・研究所等廃棄物余裕深度処分施設の概念設計

- 概要 -

(核燃料サイクル開発機構 業務委託報告書)

山本正幸*、橋本 学*

要 旨

RI・研究所等廃棄物については、平成12年3月に原子力バックエンド対策専門部会が「RI・研究所等廃棄物処理処分の基本的考え方」において、廃棄物の物理化学的性状と放射能濃度に応じて適切に区分し、それぞれの区分に応じた処分方策を講じるとした基本的考え方が提示された。また、原子炉施設の運転と解体に伴い発生する低レベルは放射性廃棄物のうち、余裕深度処分対象廃棄物に関してはその濃度上限値が法令で定められた。RI・研究所等廃棄物のうち余裕深度処分対象廃棄物に関しては、上記の動向を踏まえ検討が開始されている。平成12年度においては、「一般的な地下利用に十分な余裕を持った深度の処分場概念の検討」が実施され、RI・研究所等廃棄物余裕深度処分施設の概念設計を実施するに於ける課題が抽出された。

本研究においては、それらの課題を検討し、現時点における知見を基にRI・研究所等廃棄物余裕深度処分施設の概念設計を実施し、施設概念を構築するとともに、その安全性に関して評価を行った。

その結果ピット処分対象廃棄物処分施設に対し、更に高性能な人工バリアを設置する必要があることが示されたが、今後は処分場条件をより明確にすることにより施設形態、安全評価の観点からより合理的な施設の設計ができることが判明した。

本報告書は、三菱マテリアル株式会社が核燃料サイクル開発機構との委託研究契約により実施した研究成果に関するものである。

機構担当部課室：東海事業所 環境保全・研究開発センター 処分研究部
処分材料研究グループ

*三菱マテリアル株式会社

The Conceptual Design of Waste Repository for Radioactive Waste from Medical,
industrial and Research Facilities containing comparatively high radioactivity

(Document Prepared by Other Institute, Based on the Trust Contract)

Masayuki Yamamoto* and Naro Hashimoto*

Abstract

Advisory Committee on Nuclear Fuel Cycle Backend Policy reported the basic approach to the RI and Institute etc. wastes on March 2002. According to it, radioactive waste from medical, industrial and research facilities should be classified by their radioactivity properties and physical and chemical properties, and should be disposed in the appropriate types of repository with that classification. For the radioactive waste containing comparatively high radioactivity generated from reactors, NSC has established the Concentration limit for disposal. NSC is now discussing about the limit for the radioactive waste from medical, industrial and research facilities containing comparatively high radioactivity.

Japan Nuclear Cycle Development Institute (JNC) preliminary studied about the repository for radioactive waste from medical, industrial and research facilities and discussed about the problems for design on H12.

This study was started to consider those problems, and to develop the conceptual design of the repository for radioactive waste from medical, industrial and research facilities. Safety assessment for that repository is also performed.

The result of this study showed that radioactive waste from medical, industrial and research facilities of high activity should be disposed in the repository that has higher performance of barrier system comparing with the vault type near surface facility. If the conditions of the natural barrier and the engineering barrier are clearer, optimization of the design will be possible.

This Work was performed by Mitsubishi Materials Corporation under contract with Japan Nuclear Cycle Development Institute.

JNC Liaison : Materials Research Group, Waste Isolation Research Division, Waste Management and Fuel Cycle Research Center, Tokai Works.

* Mitsubishi Materials Corporation

目次

| | |
|-------------------------------|-----|
| 1. はじめに..... | 1 |
| 2. 研究計画..... | 2 |
| 2.1 研究目的..... | 2 |
| 2.2 研究項目..... | 2 |
| 2.3 研究内容..... | 2 |
| 2.4 研究期間..... | 6 |
| 3. 研究成果..... | 7 |
| 3.1 廃棄体特性検討..... | 7 |
| 3.1.1 発生廃棄物特性分類..... | 7 |
| 3.1.2 廃棄体容器仕様検討..... | 13 |
| 3.1.3 廃棄体処理及び固型化方法の妥当性検討..... | 26 |
| 3.1.4 使用済み線源の処分概念検討..... | 33 |
| 3.2 受入・検査設備..... | 48 |
| 3.2.1 廃棄体輸送形態の検討..... | 48 |
| 3.2.2 廃棄体特性対応の検討..... | 49 |
| 3.2.3 必要機能設定..... | 51 |
| 3.3 埋設処分場形態の検討..... | 57 |
| 3.3.1 敷地条件..... | 57 |
| 3.3.2 廃棄体特性に応じた施設形態検討..... | 58 |
| 3.3.3 施設構造の検討..... | 59 |
| 3.3.4 浸透水量の検討..... | 70 |
| 3.3.5 必要設備の検討..... | 78 |
| 3.4 安全評価..... | 91 |
| 3.4.1 安全評価パラメータ設定..... | 91 |
| 3.4.2 地下水移行シナリオの検討..... | 95 |
| 3.4.3 評価対象核種及び重要核種の選定..... | 107 |

| | |
|-------------------------------------|-----|
| 3.5 総合的施設検討..... | 109 |
| 3.5.1 操業計画の策定..... | 109 |
| 3.5.2 総合的施設検討..... | 113 |
| 3.5.3 施設規模の検討..... | 115 |
| | |
| 3.6 RI・研究所等廃棄物余裕深度処分の課題の抽出..... | 127 |
| 3.6.1 廃棄物特性と廃棄体容器 / 輸送容器の課題の抽出..... | 127 |
| 3.6.2 受入検査設備の課題の抽出..... | 127 |
| 3.6.3 埋設施設の課題の抽出..... | 128 |
| 3.6.4 線量評価の課題の抽出..... | 130 |
| | |
| 4. まとめ..... | 133 |
| | |
| 5. おわりに..... | 134 |

目 次

| | | |
|-----------|--|----|
| 図 3.1.1-1 | 各発生場所別の廃棄物発生量(200Lドラム缶換算、50年間発生量) | 11 |
| 図 3.1.1-2 | 各発生場所別の 核種の放射エネルギー | 12 |
| 図 3.1.1-3 | 各発生場所別の ・ 核種の放射エネルギー | 12 |
| 図 3.1.2-1 | 余裕深度処分を対象とした検討における廃棄体容器の例 | 15 |
| 図 3.1.2-2 | 解析モデル図 | 17 |
| 図 3.1.2-3 | 解析モデル図(遮へい計算) | 18 |
| 図 3.1.2-4 | 放射能濃度と輸送規則を満足する遮へい厚さの関係 | 19 |
| 図 3.1.2-5 | 輸送規則を満足する遮へい厚さと廃棄体個数のヒストグラム | 20 |
| 図 3.1.2-6 | Co-60 線源の 1cm 線量当量透過率(材質:鉄) | 21 |
| 図 3.1.2-7 | 廃棄体発生年次展開 | 25 |
| 図 3.1.4-1 | Co-60 ラジオグラフィ用線源 | 36 |
| 図 3.1.4-2 | Cs-137 大線源 | 36 |
| 図 3.1.4-3 | Kr-85 厚さ計用 線源 | 36 |
| 図 3.1.4-4 | Am-241/Be 中性子線源 | 36 |
| 図 3.1.4-5 | 協会製 B 型輸送容器外観図 | 37 |
| 図 3.1.4-6 | 処理・処分方法の設定(概略図) | 39 |
| 図 3.1.4-7 | 300 年管理期間後の濃度が $1e+4\text{Bq/ton}$ となるために 必要なステンレス容器本数(Kr-85) | 44 |
| 図 3.3.3-1 | 処分空洞の建設と操業のブロックフロー | 59 |
| 図 3.3.3-2 | トンネル型施設の断面図 | 63 |
| 図 3.3.3-3 | コンクリートピットの配置平面図 | 64 |
| 図 3.3.3-4 | トンネル型施設の配置平面図 | 65 |
| 図 3.3.3-5 | 平面図(開削サイロ方式) | 68 |
| 図 3.3.3-6 | 断面図(開削サイロ方式) | 69 |
| 図 3.3.4-1 | 解析モデル図(トンネル型施設) | 71 |
| 図 3.3.4-2 | 全水頭コンタ図(ケース2;トンネルの中心を通る垂直断面) | 73 |
| 図 3.3.4-3 | 流速ベクトル図(ケース2;トンネルの中心を通る垂直断面) | 73 |
| 図 3.3.4-4 | 解析モデル図(開削サイロ) | 74 |

| | |
|---|-----|
| 図 3.3.4-5 概略図(地下水の流動方向) | 75 |
| 図 3.3.4-6 全水頭コンタ図(ケース2;施設の中心を通る水平断面) | 76 |
| 図 3.3.4-7 流速ベクトル図(ケース2;施設の中心を通る水平断面)..... | 77 |
| 図 3.3.5-1 構内輸送設備 概念図(ヤードキャリア)..... | 80 |
| 図 3.3.5-2 トンネル型施設 廃棄体定置設備 概念図 (定置クレーン 4.6m ³ 廃棄体取扱い時) | 84 |
| 図 3.3.5-3 サイロ型施設 廃棄体定置設備 概念図 (定置クレーン 4.6m ³ 廃棄体取扱い時) | 90 |
| 図 3.4.1-1 評価モデル概念図 | 94 |
| 図 3.4.2-1 本評価で性能評価上考慮した諸事象..... | 95 |
| 図 3.4.2-2 トンネル型施設、レファレンスケース(河川水利用経路)..... | 100 |
| 図 3.4.2-3 開削サイロ型施設、レファレンスケース(河川水利用経路) | 100 |
| 図 3.4.2-4 ベントナイト混合土の厚さを変更したケース(河川水利用経路)、 トンネル型施設..... | 102 |
| 図 3.4.2-5 トンネル型施設、河川水利用経路の最大線量..... | 104 |
| 図 3.5.3-1 ケース2(新設)のトンネル型施設配置図 | 119 |
| 図 3.5.3-2 ケース2(増設)のトンネル型施設配置図 | 120 |
| 図 3.5.3-3 ケース3(新設)のトンネル型施設配置図 | 121 |
| 図 3.5.3-4 ケース3(増設)のトンネル型施設配置図 | 122 |
| 図 3.5.3-5 ケース2(新設)の開削サイロ型施設配置図..... | 123 |
| 図 3.5.3-6 ケース2(増設)の開削サイロ型施設配置図..... | 124 |
| 図 3.5.3-7 ケース3(新設)の開削サイロ型施設配置図..... | 125 |
| 図 3.5.3-8 ケース3(増設)の開削サイロ型施設配置図..... | 126 |

目 次

| | | |
|-----------|---|----|
| 表 3.1.1-1 | 廃棄物発生機関の一覧表 | 7 |
| 表 3.1.1-2 | 処理方法概要一覧表 | 9 |
| 表 3.1.1-3 | 50年間廃棄体発生量一覧表(RI・研究所等廃棄物 余裕深度処分相当) | 11 |
| 表 3.1.2-1 | 各廃棄体容器の比較表 | 13 |
| 表 3.1.2-2 | 放射能濃度上位 10 核種選定結果 | 17 |
| 表 3.1.2-3 | 廃棄体の表面線量率の結果 | 18 |
| 表 3.1.2-4 | 遮へい厚さを 35cm 必要とするケースの廃棄体容器の表面線量率 | 20 |
| 表 3.1.2-5 | 1m ³ 容器 ラックの発生個数 | 23 |
| 表 3.1.3-1 | 余裕深度処分廃棄物の廃棄体技術基準に係わる考え方 | 27 |
| 表 3.1.4-1 | RI 協会における 使用済み線源の保管量、年間発生予測量 及び処理 / 処分方法案 | 34 |
| 表 3.1.4-2 | RI 協会における 使用済み線源の保管量、年間発生予測量 及び処理 / 処分方法案(中性子線放出核種を含む) | 35 |
| 表 3.1.4-3 | 第3次中間報告における対象核種の取扱いと 10iSv/y 濃度上限値 | 41 |
| 表 3.1.4-4 | 核種別の地層処分 / 余裕深度処分の区分方法 | 41 |
| 表 3.1.4-5 | 処理方法に対する利点 / 欠点整理表 | 43 |
| 表 3.1.4-6 | 短半減期の核種に対する星取り表 | 44 |
| 表 3.1.4-7 | 廃棄物発生量とステンレス容器1本当たりの濃度(参考値) | 46 |
| 表 3.3.4-1 | 基本ケース設定条件一覧表 | 70 |
| 表 3.3.4-2 | 解析ケースの一覧表(トンネル型施設) | 72 |
| 表 3.3.4-3 | 解析ケース一覧表(開削サイロ) | 75 |
| 表 3.3.5-1 | 適用が想定される輸送方法(トンネル型施設 構内輸送設備) | 79 |
| 表 3.3.5-2 | ヤードキャリア1台運用における基本運転計画 | 81 |
| 表 3.3.5-3 | 適用が想定される定置方法(トンネル型施設 廃棄体定置設備) | 83 |
| 表 3.3.5-4 | 廃棄体搬送から定置までの基本運転計画 (コンクリートピット方式 定置クレーン) | 85 |
| 表 3.4.1-1 | 対象廃棄物の分類 | 91 |
| 表 3.4.1-2 | 選定核種 | 92 |

| | |
|---|-----|
| 表 3.4.2-1 検討ケース一覧 | 98 |
| 表 3.4.2-2 トンネル型施設の検討結果..... | 101 |
| 表 3.4.2-3 トンネル型施設の検討結果..... | 106 |
| 表 3.4.4-1 重要核種のまとめ(JNC) | 108 |
| 表 3.4.4-2 重要核種のまとめ(原研 大学関係)..... | 108 |
| 表 3.4.4-3 重要核種のまとめ(使用施設) | 108 |
| 表 3.5.1-1 操業計画(コンクリートピット方式の定置クレーン)..... | 112 |
| 表 3.5.2-1 受入・検査設備の必要設備 | 113 |
| 表 3.5.2-2 埋設施設における必要機器 | 114 |
| 表 3.5.3-1 検討ケースと廃棄体発生量の整理..... | 115 |
| 表 3.5.3-2 検討結果の整理..... | 118 |

1.はじめに

原子炉施設の運転と解体に伴い発生する低レベル放射性廃棄物のうち、政令濃度上限値（「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律施行令」第13条の9第1項第1号）を超える低レベル放射性廃棄物の処分については、「一般的であると考えられる地下利用に対して十分余裕を持った深度（例えば、地表から50～100m程度）」に人工構造物を設置した処分（以下「余裕深度処分」という。）が適切であることが放射性廃棄物安全規制専門部会の中間整理として平成11年3月に提示された。また、これを受けて放射性廃棄物安全基準専門部会において、その濃度上限値が導出され、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律施行令」の一部が改正されて余裕深度処分の政令濃度上限値が制定された。

一方、TRU核種を含む放射性廃棄物及びRI・研究所等廃棄物については原子力バックエンド対策専門部会が平成12年3月に「超ウラン核種を含む放射性廃棄物処理処分の基本的考え方」を取りまとめ、廃棄物の物理化学的性状と放射能濃度に応じて適切に区分し、それぞれの区分に応じた処分方策を講じるとする基本的考え方が提示された。

これらの規制関連の動きを鑑み、平成12年度においてはRI・研究所等廃棄物のうち余裕深度処分対象となる廃棄物について、廃棄体データベースを整備し、現時点において想定される条件設定に基づき処分概念を検討するとともに予備的な安全評価を実施し、概念設計への課題が抽出された。

本年度は、それらの課題を検討するとともに、RI・研究所等廃棄物余裕深度処分施設の概念設計を実施した。

2. 研究計画

2.1 研究目的

平成 12 年度に実施された「一般的な地下利用に十分余裕を持った深度の処分場概念の検討」においては、RI・研究所等廃棄物の余裕深度処分対象廃棄物に関する特性調査、一般的な条件に基づく安全評価を行い、余裕深度処分施設概念設計における課題の抽出を行った。

本概念設計では、平成 12 年度の研究により抽出された課題を検討し、RI・研究所等廃棄物の余裕深度処分施設の安全評価及び概念設計を実施する。

2.2 研究項目

- (1) 廃棄体特性検討
- (2) 受入・検査設備
- (3) 埋設処分場形態の検討
- (4) 安全評価
- (5) 総合的施設検討
- (6) 課題の抽出

2.3 研究内容

2.3.1 廃棄体特性検討

廃棄体特性の検討は、核燃料サイクル開発機構（以下「JNC」という）（東海の再処理、プルトニウム施設廃棄物及びウラン廃棄物を除く）、日本原子力研究所（以下「原研」という）、RI協会、民間研究炉、民間燃料施設から発生する RI・研究所等廃棄物を対象として以下の項目に関して検討を行う。

(1) 発生廃棄物特性分類

JNC 提示の余裕深度処分対象の RI・研究所等廃棄物に関して、発生物量、放射エネルギーに関して廃棄体（物）安全評価上必要となる廃棄体条件を基に集計分類を行う。

(2) 廃棄体容器仕様検討

平成 12 年度の検討においては、廃棄体容器を 200L ドラム缶に限定して検討されたが、本年度は、廃棄体の放射能濃度、収納効率等廃棄体特性及び輸送、受入、定置等の一連のハンドリングを考慮した合理的な廃棄体容器の仕様の検討を行う。

(3) 廃棄体処理及び固型化方法の妥当性検討

廃棄体処理及び固型化方法については、各発生機関が個別に処理、固型化方法を設定するが、それらの方法の予想される技術基準への適合性等の妥当性を検討する。

(4) 使用済み線源の処分概念検討

使用済み線源 (RI 協会発生分) に関して、技術基準への適用性 (ホットスポット遮へい) を考慮した廃棄体作製方法の概念の検討を行う。

2.3.2 受入・検査設備

(1) 廃棄体輸送形態の設定

廃棄体容器と輸送容器の遮へい分担等を考慮した合理的な輸送形態の検討を行う。

(2) 廃棄体特性対応の検討

平成 12 年度検討した表面線量当量以外の廃棄体特性の設備上検討が必要な廃棄体特性 (発熱等) がないか検討する。

(3) 必要機能の設定

平成 12 年度の検討においては、ピット処分における受入・検査設備を基に埋設地側では検査項目として整理番号及び外観検査の 2 項目のみを実施するという条件で受入検査設備の検討が実施されている。しかしながら、他の項目についても埋設地側で行う場合も想定されるため、その場合における必要機能の検討を行う。また、その他必要と考えられる設備 (廃棄物処理設備等) 必要性及び必要な場合の機能検討を行う。更に、廃棄体発生の年度展開に対してある程度変動を考慮した場合の設備の検討を行う。

2.3.3 埋設処分場形態の検討

「2.3.1 廃棄体特性検討」において整理した廃棄体条件を基に、以下の項目に関し検討を行い、合理的な埋設処分施設的设计を行う。

(1) 廃棄体特性に応じた施設形態の検討

平成12年度の研究においては、処分施設形態は一様な条件が設定されているが、廃棄体特性、取扱数量を考慮し、合理的な施設形態の選定を行う。

(2) 施設構造及び必要設備の検討

廃棄体特性、廃棄体容器の仕様の検討結果を基に、操業を考慮した必要設備を検討すると共に、合理的な埋設施設形態を検討する。

(3) 浸透水量の検討

上記で設定した、埋設施設に対して施設浸透水量を算出する。

2.3.4 安全評価

「2.3.1 廃棄体特性検討」及び「2.3.3 埋設処分場形態の検討」の結果を基に、サイトを特定しない一般的な条件を想定し、安全評価を実施し、処分施設の成立性に関する検討を行う。

(1) 安全評価パラメータの設定

下記(2)で行う地下水移行シナリオに対する評価のための安全パラメータを設定する。設定に当たっては、天然バリアに関しては、放射性廃棄物安全基準専門部会が平成12年6月に取り纏めた「低レベル放射性廃棄物の陸地処分の安全規制に関する基準値について(第3次中間報告)」(以下「LLW第3次中間報告」という)を基に、サイトを特定しない一般的なパラメータを設定する。また、人工バリアに関しては昨年度の検討結果を基に設定を行うが、下記の事項に関してはその影響を確認するためにある程度の幅を想定する。

人工バリアの経時変化を考慮したパラメータ

廃棄体に含まれる物質を考慮したパラメータ

廃棄体特性に応じた放出モデル及びそのパラメータ

(2) 地下水移行シナリオの検討

地下水移行シナリオに関しては、LLW第3次中間報告に記載されている下記の4経路に関して安全評価を実施すると共に、上記(1)で幅を持たせて設定したパラメータについては感度解析を実施し、その影響を確認する。また、評価結果の整理においては、発生施設単位ごとの被ばく線量への寄与を確認する。

・河川水利用経路

・河川岸建設作業経路

- ・河川岸居住経路
- ・河川岸農耕経路

(3) 評価対象核種及び重要核種の選定

上記の評価結果を基に、RI・研究所等廃棄物余裕深度処分における評価対象核種の選定を行うと共に、グループ化した廃棄物ごとにD/Cにより重要核種を選定する。また、RI・研究所等廃棄物の余裕深度処分の濃度上限値の検討における基礎資料の作成を行う。

2.3.5 総合的施設検討

(1) 操業計画の策定

想定される廃棄体発生年度展開等を考慮し、操業から閉鎖までの操業計画を策定する。

(2) 総合的施設形態の検討

受入から定置までの一連の施設に関して、必要とされる機器が網羅されているかの確認を行うとともに、コスト算定に備えて、合理的な施設の組合せを検討する。

(3) 施設規模の検討

「2.3.1 廃棄体特性検討」において検討した物量を基本ケースとし、JNC 東海の再処理及びPu施設からの廃棄物を含めたケース、及び、さらにJNC ウラン廃棄物を含めたケースを対象として、受入対象廃棄物が増加した場合の施設規模(受入検査設備及び埋設施設)の検討を行う。

2.3.6 課題の抽出

上記の研究成果に基づき、課題の抽出を行う。

2.4 研究期間

平成 13 年 8 月 10 日 ~ 平成 14 年 2 月 28 日

本検討の実施工程は、以下に示すとおりである。

| 検討項目 | 平成 13 年度 | | | | | | |
|----------------|----------|-------|------|------|-------|-------|------|
| | 8 月 | 9 月 | 10 月 | 11 月 | 12 月 | 1 月 | 2 月 |
| Key Date | | | | | | 中間報告 | 最終報告 |
| (1) 廃棄体特性分類 | ————— | | | | | | |
| (2) 受入・検査設備他検討 | | ————— | | | | | |
| (3) 処分施設形態の検討 | | ————— | | | | | |
| (4) 安全評価 | | | | | ————— | | |
| (5) 総合的施設検討 | | | | | | ————— | |

3. 研究成果

3.1 廃棄体特性検討

3.1.1 発生廃棄物特性分類

JNC より提示された RI・研究所等対象廃棄物の余裕深度処分相当の廃棄物データに関して、放射エネルギー（放射能濃度） 廃棄物発生量などの処分施設の概念設計を行う上で必要となる廃棄物条件をもとに分類、集計をした。

(1) 調査対象機関

対象とする RI・研究所等廃棄物の発生機関は、表 3.1.1-1 に示す合計 8 機関である。

表 3.1.1-1 廃棄物発生機関の一覧表

| 機関 | | 事業所 | 施設 |
|-------------|--------------------|--|-----------|
| 核燃料サイクル開発機構 | | 東海事業所 大洗工学センター 新型転換炉ふげん発電所 高速増殖炉もんじゅ建設所 | |
| 日本原子力研究所 | | 東海研究所 大洗研究所 | |
| 大学 関係 | 東京大学 | 大学院工学系研究科附属 原子力工学研究施設 | |
| | 京都大学 | 原子炉実験所 | |
| 使用 施設 | 日本核燃料開発(株) | | ホットラボ施設 |
| | ニュークリア・デベロップメント(株) | | 燃料ホットラボ施設 |
| | 日立エンジニアリング(株) | 王禅寺事業所 | HTR |
| | (株)東芝 | 研究炉管理センター | ホットラボ施設 |

(2) 集計方法

3.1.1 における廃棄物特性の集計では、廃棄体容器に 200L ドラム缶を用いた場合を設定した。提示された廃棄物データを以下の方針のもと取りまとめた。

廃棄物の分類

- ・ 操業廃棄物と解体廃棄物を区別する。
- ・ 廃棄物の種類を原則として可燃物、難燃物、不燃物、その他（解体金属、廃樹脂、解体コンクリート等）の4種類に分類する。

ただし、可燃物と不燃物が混合した廃棄物の様なものについては、集計上分類することが不可能であったため、無理に分類することはしなかった。

廃棄物の処理方法と廃棄体の仕様

200L ドラム缶（JIS Z 1600 準拠）に原則としてセメントモルタル充てんにより固形化することとした。

廃棄物の処理方法については、アンケート結果に処理方法の記載がある場合にはアンケート結果を尊重した。処理方法の計画がない発生機関の廃棄物に関しては、廃棄物の内容物より、処理方法を設定した。表 3.1.1-2に発生機関別の処理方法の選択についての概要を一覧表で示す。処理方法を廃棄物の内容物より設定した発生機関のうち京都大学と使用施設に属する発生機関については、廃棄物の発生量少ないため、以下の様にできるだけ簡単な処理方法を選択した。

- ・ 可燃物、難燃物：焼却 セメント混練
- ・ 不燃物：セメント充てん（ガラスやコンクリートを含む場合）
圧縮 セメント充てん（アルミニウムを含まない金属類の場合）
溶融 セメント充てん（アルミニウムを含む金属類の場合）
- ・ 可燃物及び不燃物の混合物：焼却 溶融 セメント充てん

廃棄物の処理方法を決定した廃棄物に対しては、平成 12 年度の「低レベル放射性廃棄物管理プログラム」の処理方法と廃棄体仕様のデータに基づき、200L ドラム缶に充てんする廃棄物、セメントモルタルの充てん量、廃棄体の重量を設定した。

表 3.1.1-2 処理方法概要一覧表

| 発生機関 | | 事業所 or 施設 | 操業 / 解体 | 処理方法の選択 |
|-------------|---------------------|----------------------|---------|---|
| 核燃料サイクル開発機構 | | | 操業 / 解体 | 核燃料サイクル開発機構より提示された処理方法を設定した。 |
| 日本原子力研究所 | | 大洗研究所 | 操業 | 「一般的地下利用に十分裕度を持った深度の処分場概念の検討」(平成 13 年 2 月) 報告書(以下平成 12 年度報告書と呼ぶ)に記載される処理方法に従った。 |
| | | 東海研究所 | 操業 | 廃棄物の内容物より判断して処理方法を設定した。 |
| | | 大洗 / 東海研究所 | 解体 | |
| 大学関係 | 東京大学 | 大学院工学系研究科附属原子力工学研究施設 | 解体 | 平成 12 年度報告書に記載される処理方法を設定した。 |
| | 京都大学 | 原子炉実験所 | 操業 / 解体 | 廃棄物の内容物より判断して処理方法を設定した。 |
| 使用施設 | 日本核燃料開発(株) | ホットラボ施設 | 操業 / 解体 | アンケート結果に従った。 |
| | ニュークリア・ディベロップメント(株) | 燃料ホットラボ施設 | 操業 / 解体 | 廃棄物の内容物を参考として処理方法を設定した |
| | 日立エンジニアリング(株) | 王禅寺事業所 | 解体 | |
| | (株)東芝 | 研究炉管理センター | 解体 | |

(3) 結果及び考察

(i) 廃棄物発生量

表 3.1.1-3に 200L ドラム缶相当の 50 年間廃棄物発生量の結果を示す。表 3.1.1-3 の結果は、各発生場所とも 50 年間廃棄物発生量を予測しているが、廃棄物の発生時期の違いにより平成 70 年度まで発生する廃棄物も存在する。

図 3.1.1-1に表 3.1.1-3をもとに各発生場所別に整理した 50 年間廃棄物発生量を示す。平成 12 年度報告書によれば廃棄物の発生量は 9177 本であったが、本年度の集計結果では約 1.6 倍の本数となった。増加した廃棄物の多くは JNC、原研（日本原子力研究所以下「原研」と呼ぶ）を起源とする廃棄物である。この理由としては、昨年度と本年度とでは廃棄物容器に充てんする廃棄物重量が異なることが考えられる。また平成 12 年度報告書と比較して、ニュークリア・ディベロップメント(株)を発生源とする廃棄物の発生本数は平成 12 年度の報告書と比較すると逆に減少している。これは可燃物、難燃物を主体とする廃棄物に関して処理方法に焼却を考えたため、焼却による廃棄物の重量の減少割合として 3%のファクターをかけたためである。

廃棄物の発生本数では、JNC と原研より発生する廃棄物の合計が 14217 本と全体の約 95%を占めている。

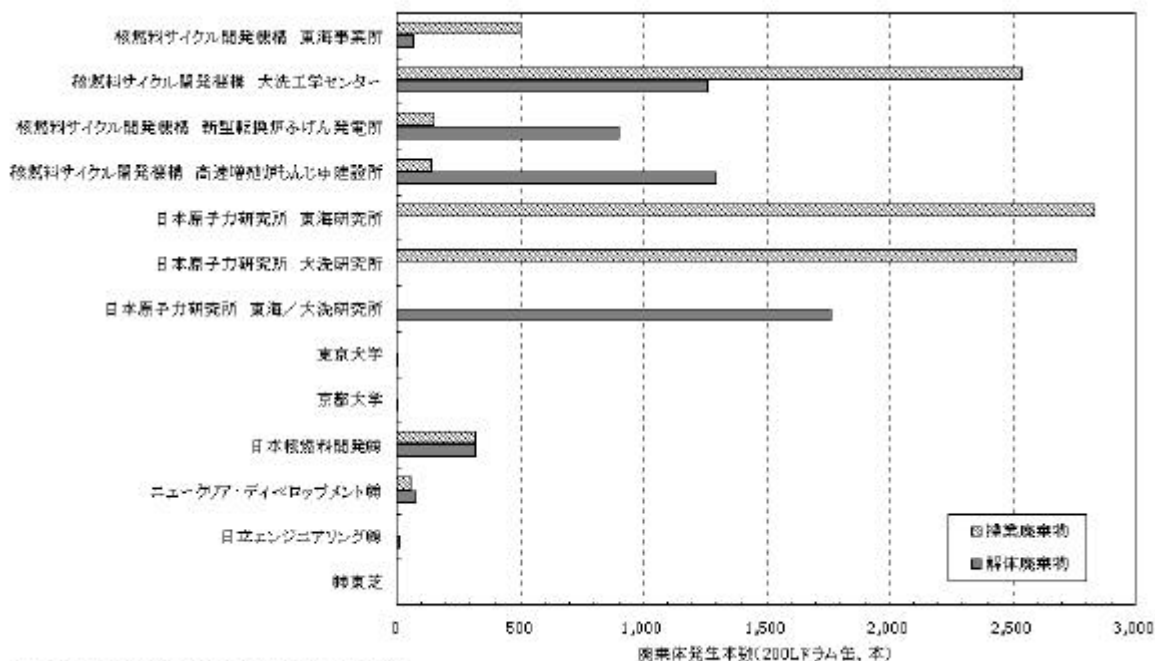
廃棄物の発生時期に関しては、廃棄物の発生時期（施設の解体時期）が設定されていたのは、JNC、(株)東芝、日立エンジニアリング(株)の 3 機関だけであり、その他の発生機関に関しては、解体時期が未定であった。

表 3.1.1-3 50年間廃棄物発生量一覧表 (RI・研究所等廃棄物、余裕深度処分相当)

| 発生機関 | 事業所 | 廃棄物物量(200Lドラム缶 本) | | |
|---------------------|----------------------|-------------------|-------|--------|
| | | 操業廃棄物 | 解体廃棄物 | 合計 |
| 核燃料サイクル開発機構 | 東海事業所 ^{*1} | 500 | 70 | 570 |
| | 大洗工学センター | 2,540 | 1,260 | 3,800 |
| | 新型転換炉ふげん発電所 | 150 | 900 | 1,050 |
| | 高速増殖炉もんじゅ建設所 | 140 | 1,300 | 1,440 |
| 日本原子力研究所 | 東海研究所 | 2,833 | 1,766 | 7,357 |
| | 大洗研究所 | 2,758 | | |
| 東京大学 | 大学院工学系研究科附属原子力工学研究施設 | 0 | 7 | 7 |
| 京都大学 | 原子炉実験所 | 1 | 3 | 4 |
| 日本核燃料開発(株) | ホットラボ施設 | 320 | 320 | 640 |
| ニュークリア・ディベロップメント(株) | 燃料ホットラボ施設 | 60 | 81 | 141 |
| 日立エンジニアリング(株) | 王禅寺事業所 HTR | 0 | 8 | 8 |
| (株)東芝 | 研究炉管理センター | 0 | 1 | 1 |
| 合計 | | 9,302 | 5,716 | 15,018 |

注) 集計結果は推定値であり、今後変化する可能性がある。

*1: 再処理施設、Pu 取扱施設、ウラン取扱施設からの廃棄物を除く。



注) 集計結果は推定値であり、今後変動する可能性がある。

図 3.1.1-1 各発生場所別の廃棄物発生量 (200Lドラム缶換算、50年間発生量)

(ii) 放射能量

各発生場所別の 核種の放射能量を図 3.1.1-2に、また ・ 核種の放射能量を図 3.1.1-3にそれぞれ示す。

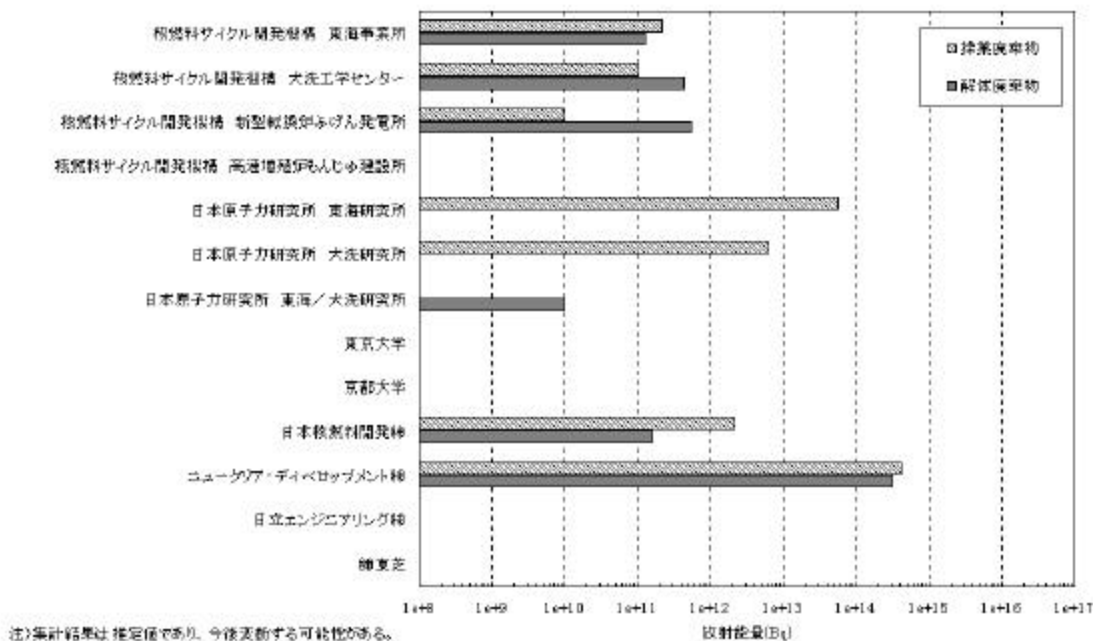


図 3.1.1-2 各発生場所別の 核種の放射能量

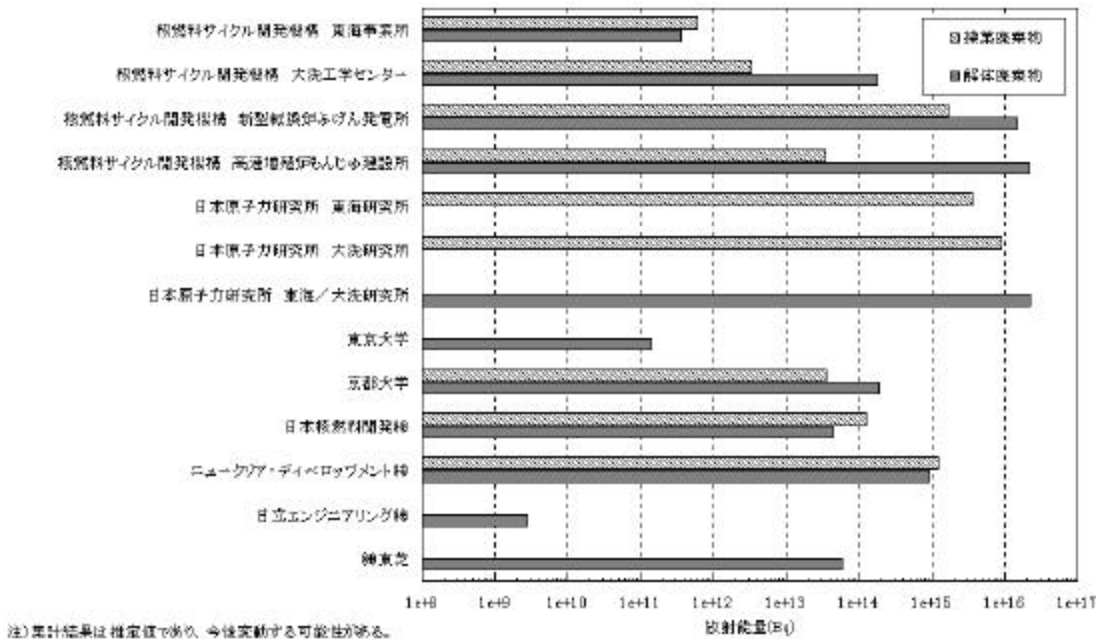


図 3.1.1-3 各発生場所別の ・ 核種の放射能量

3.1.2 廃棄体容器仕様の検討

平成12年度では、廃棄体容器を200Lドラム缶に限定している。しかし本検討で対象としている廃棄物は、放射能濃度が高く、廃棄体容器の表面線量率も高いことが予想される。200Lドラム缶を廃棄体容器に用いた場合には、200Lドラム缶1本ごとに遮へいを施すことになり経済的な負担が大きいと考えられる。一方原子力学会バックエンド部会第14回夏期セミナー資料によれば、余裕深度処分を対象とした廃棄体容器として200Lドラム缶、1m³容器、4.6m³容器が提示されている。

表3.1.2-1に示した各廃棄体容器の比較表によれば、4.6m³容器と1m³容器は200Lドラム缶に比べ処分空洞における収納効率が良く、同じ遮へいを施す場合でも経済的な負担が少ない。また4.6m³容器は、1m³容器に比べ収納効率が大きい、重量が空の状態でも約29tonあり、中身を鉄とすれば約65tonにもなるため、廃棄体製作側にはそれを取り扱うクレーン等の新設が必要となる。1m³容器は重量が空の状態でも約9tonであり、中身を鉄とすれば約17tonとクレーンの新設を考慮しても4.6m³容器よりは経済的負担が少ない。200Lドラム缶では、1m³容器に比べ重量の問題が小さいので経済的な負担は更に小さくなる。

表 3.1.2-1 各廃棄体容器の比較表

| 容器種類 項目 | 200Lドラム缶 | 1m ³ 容器 | 4.6m ³ 容器 |
|------------|----------|--------------------|----------------------|
| 重量 | | | |
| 大きさ | | | |
| 収納効率 | | | |
| 遮へいの付加 | | | |
| 廃棄物の充てん性 | | | |
| 製作側の設備新設 | | | |

凡例： 200Lドラム缶、1m³容器、4.6m³容器の中では最も有利もしくは便利である。

200Lドラム缶、1m³容器、4.6m³容器の中では2番目に有利もしくは便利である。

200Lドラム缶、1m³容器、4.6m³容器の中では最も不利もしくは不便である。

以上の様に200Lドラム缶、1m³容器、4.6m³容器には、それぞれ利点、欠点があり、現時点ではい

ずれかに絞り込むことはできないため、本検討では 1m³ 容器を中心に以降の検討を進め、検討された施設に対し安全評価を実施する。ただし、施設設計やハンドリング機器の設計においては、4.6m³ 容器も取り扱うものとする。

一方 JNC 東海事業所や原研の操業廃液の様に、既に 200L ドラム缶に固形化されているため 1m³ 容器に移し替えることができない。その様な廃棄物の多くは、ドラム缶の表面線量率も小さいと想定されるため、そのまま処分することとする。ただし、ハンドリングを考慮して、1m³ 容器と外寸法を同じにするため、鉄製のラックに入れて取り扱うこととする。

(1) 廃棄体容器の設計検討に必要な項目

廃棄体容器の設計に必要な項目とその後の安全評価に必要な項目を以下に述べる。

| | |
|------------------|-----------------------|
| 廃棄体寸法 | ピット寸法等設定 |
| 廃棄体の表面線量率 | 受入れ施設（管理建屋含む）、埋設設備の設計 |
| 廃棄体個数 | 配置設計 |
| 廃棄体重量 | ハンドリング機器の設計 |
| 廃棄体発生量（年度展開） | 操業計画 |
| 廃棄体の平均放射能濃度、放射能量 | 安全評価 |
| 輸送容器寸法 | 受入れ施設（管理建屋含む）の設計 |

上記の項目について、以降で検討し、設定する。

(2) 廃棄体寸法

原子力学会第 14 回夏期セミナー資料(図 3.1.2-1参照)に基づき、廃棄体容器の寸法を以下に設定する。

- ・ 外寸法：1.3m × 1.3m × 1.3m
- ・ 内寸法：1m × 1m × 1m
- ・ 廃棄体容器の厚さ：15cm（廃棄体容器の平均厚さ）

なおハンドリングのための治具としては、トラニオン方式とツイストロック方式が考えられるが、ツイストロック方式は遮へい上の欠陥となる可能性があるので本検討ではトラ

ニオン方式（高さ 12cm）を採用する。

処分容器， 輸送容器について

| | 処 分 容 器 | 輸 送 容 器 |
|-----------------------|----------------------------|--|
| 対 象 廃 棄 物 | 4.6m ³ 処分容器 | 4.6m ³ 用輸送容器 (B型) |
| | 1 m ³ 処分容器 | 1 m ³ 用輸送容器 (B型) |
| | ドラム缶 | 遮蔽付 2 体輸送容器 (IP-2) (外形は現行輸送容器と同じ) |

図 3.1.2-1 余裕深度処分を対象とした検討における廃棄体容器の例
 (原子力学会バックエンド部会第14回夏期セミナー資料より抜粋)

(3) 廃棄体容器の表面線量率

廃棄体容器の表面線量率を設定するためには、輸送容器表面までの遮へい厚さを決定する必要がある。遮へい計算結果に基づき、輸送容器表面までの遮へい厚さを決定するとともに、本検討の廃棄物を対象とした場合の廃棄体容器の表面線量率を設定した。

(i) 輸送容器表面までの遮へい厚さの検討

輸送容器表面までの遮へい厚さを設定するために、輸送容器表面までの遮へい厚さを設定した。輸送規則によれば、輸送容器に関しては、

- ・ 輸送容器の表面線量率 2mSv/h
- ・ 輸送容器の表面から 1m における線量率 0.1mSv/h

を満足する必要がある。

また本検討で対象とする廃棄物には、種々の核種が存在しており、その中には放射能濃

度が低く、遮へいに対し寄与が小さい核種が含まれる。遮へい計算の実施の前に、遮へいに対し寄与が大きな核種を代表核種として選定し、その代表核種を用いて遮へい計算を実施することとした。

(a) 代表核種の選定

i. 方法

発生機関を JNC、原研、大学関係・使用施設の 3 区分に区分し、それぞれについて放射能濃度が大きな核種を上位 10 核種でピックアップした。次にピックアップされた上位 10 核種の核種について、厚さ 5cm の 1m³ 容器の廃棄物層に放射能濃度 1E+15Bq/m³ を設定し、廃棄物容器の表面線量率を比較した。解析モデル図を図 3.1.2-2 に示す。解析で用いた条件を以下に示す。

- ・ 容器の厚さ：5cm^{*1}
- ・ 放射能濃度：1e+15Bq/m³^{*2}
- ・ 廃棄物密度^{*3}：1.2ton/m³
- ・ 組成^{*3}：水（廃液）

*1：容器の厚さをモデル化する必要があったため任意に設定した。

*2：上位 10 核種のうち放射能濃度が大きな核種の最大放射能濃度に近い任意の値を設定した。放射能濃度と表面線量率は比例関係にあるため結果に影響しない。

*3：廃棄物密度と組成に関しては、廃棄物の種類別のデータを参考とし、全体を保守側に包絡する条件として密度が小さく、組成が軽密度物質となる様に設定した。

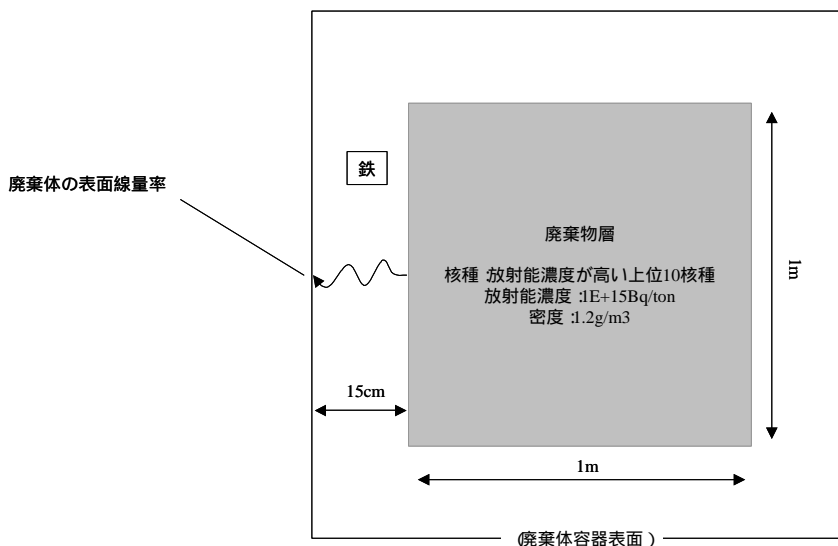


図 3.1.2-2 解析モデル図

ii. 結果

3区分した発生機関別に放射能濃度が高い上位10核種を表3.1.2-2に示す。表3.1.2-2に示した核種に対し、放射能濃度 $1\text{E}+15\text{Bq/ton}$ を設定して遮へい計算を実施した結果は表3.1.2-3に示す結果となった。表3.1.2-3の結果より廃棄体の表面線量率はCo-60が最大を示していることがわかり、また表3.1.2-2よりCo-60は放射能濃度も大きいことがわかる。つまり遮へいに最も効いている核種はCo-60であることがわかるので遮へい計算に用いる代表核種としてCo-60を選定した。

表 3.1.2-2 放射能濃度上位10核種選定結果

| 順位 | 核燃料サイクル開発機構 | | 日本原子力研究所 | | 大学関係、使用施設 | |
|----|-------------|----------------|----------|----------------|-----------|----------------|
| | 核種 | 放射能濃度 (Bq/ton) | 核種 | 放射能濃度 (Bq/ton) | 核種 | 放射能濃度 (Bq/ton) |
| 1 | Co-60 | 8.2E+13 | Co-60 | 1.9E+13 | Ni-63 | 1.7E+15 |
| 2 | Fe-55 | 1.5E+13 | H-3 | 1.5E+13 | Cs-137 | 1.3E+15 |
| 3 | Ni-63 | 5.5E+12 | Cs-137 | 4.4E+12 | Pu-242 | 1.0E+15 |
| 4 | H-3 | 9.5E+11 | Sr-90 | 2.7E+12 | Co-60 | 1.7E+14 |
| 5 | Mn-54 | 8.2E+11 | Ni-63 | 1.1E+12 | Fe-55 | 8.4E+13 |
| 6 | Sb-125 | 3.5E+11 | Eu-154 | 4.4E+11 | Pu-238 | 6.5E+13 |
| 7 | C-14 | 1.0E+11 | Cm-244 | 1.6E+11 | Am-241 | 2.2E+13 |
| 8 | Nb-94 | 1.0E+11 | C-14 | 9.7E+10 | Sb-125 | 1.6E+13 |
| 9 | Ni-59 | 3.7E+10 | Pu-238 | 4.3E+10 | Ru-106 | 7.1E+12 |
| 10 | Eu-152 | 2.7E+10 | Pu-240 | 4.1E+10 | H-3 | 4.8E+12 |

注) 集計結果は推定値であり、今後変動する可能性がある。

表 3.1.2-3 廃棄体の表面線量率の結果

| 核種 | 表面線量率 (mSv/h) |
|--------|------------------|
| Co-60 | 3.4E+05 |
| Nb-94 | 1.4E+05 |
| Eu-154 | 1.3E+05 |
| Eu-152 | 1.1E+05 |
| Mn-54 | 7.6E+04 |
| Cs-137 | 2.9E+04 |
| Sb-125 | 1.7E+04 |
| Ru-106 | 1.4E+04 |
| Sr-90 | 1.6E+03 |
| Pu-242 | 1.0E+01 |

(b) 1m³ 容器を対象とした遮へい計算

1m³ 容器(鉄厚 15cm)を用いた場合に廃棄物層に与える最大放射能濃度ごとに輸送規則を満足する廃棄物層から輸送容器表面までの遮へい厚さを設定した。図 3.1.2-3に解析モデルを示す。解析条件を以下に示す。

- ・ 線源：廃棄物層全体に代表核種として選定された Co-60 を与える。
- ・ 最大放射能濃度： $1.0 \times 10^{10} \sim 4.6 \times 10^{14}$ Bq/ton まで原則として 1 オーダずつ増加させた。
- ・ 廃棄物層の密度：2.1ton/m³：セメント系材料の含有率が多い廃棄物
4.1ton/m³：金属廃棄物の含有率が多い廃棄物
- ・ 廃棄物層の組成：充てん材を含むことからコンクリートとした。

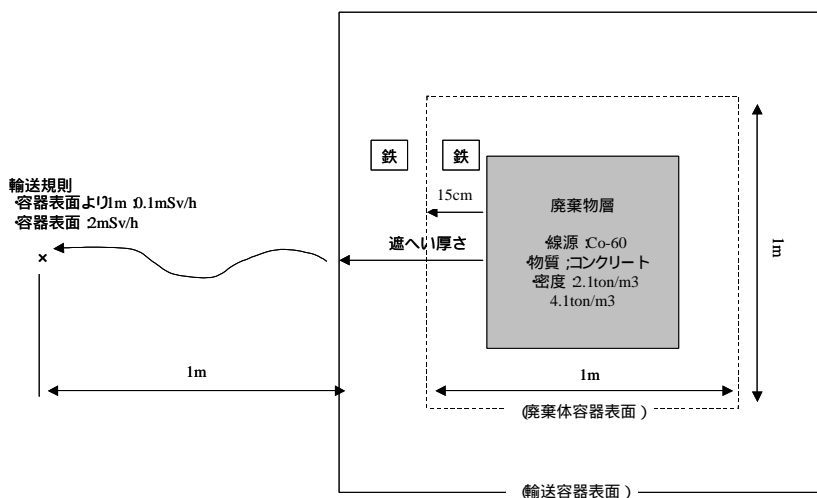


図 3.1.2-3 解析モデル図(遮へい計算)

廃棄物層の密度が 2.1ton/m³、4.1ton/m³ の場合の廃棄物層の放射能濃度と輸送規則を満足するために必要な遮へい厚さの関係を、図 3.1.2-4 に示す。

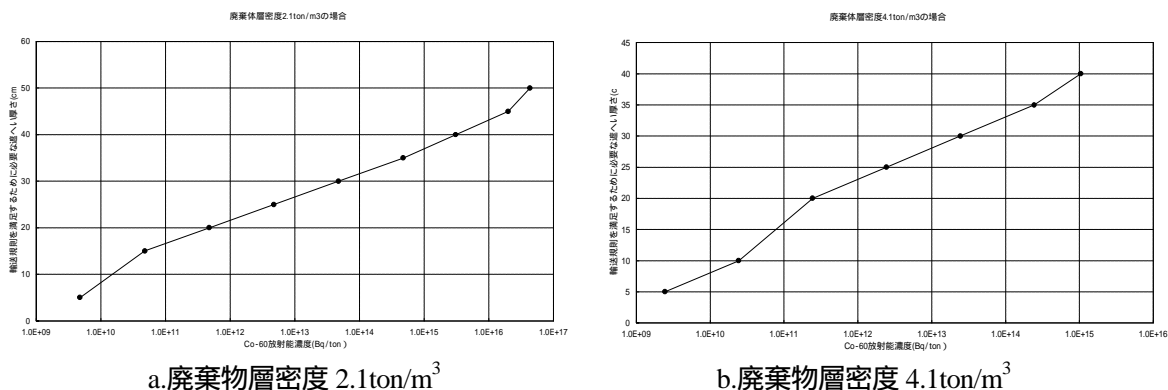


図 3.1.2-4 放射能濃度と輸送規則を満足する遮へい厚さの関係

3.1.1 で集計した廃棄物を 1m³ 容器に移し変えた場合を想定した。1m³ 容器に移し変えられる廃棄物と充てん材の密度は 2.1 ~ 4.1ton/m³ の範囲であり、セメント系材料の含有率が多い廃棄物として密度 3.0ton/m³ 未満、金属廃棄物が多い廃棄物として密度 3.0ton/m³ 以上を設定し、それぞれの廃棄物を割り振り、図 3.1.2-4 の結果より最大放射能濃度により分類し輸送規則を満足する遮へい厚さと廃棄体個数のヒストグラムをとった。

図 3.1.2-5 に結果を示す。図 3.1.2-5 の結果から、輸送規則を満足するために 35cm の遮へい厚さを必要とする廃棄物が最も頻度が多く、廃棄物全体の 44.7% を占めている。遮へい厚さを 40cm 以上必要とする廃棄物は、全体の 0.4% に相当する 12 体である。遮へい厚さを 40cm 以上に設定すると、40cm 未満の遮へい厚さで輸送規則を満足する廃棄物には、過剰な遮へいを施すことになり経済的ではないので、遮へい厚さを 35cm に設定する。輸送容器の厚さとしては、20cm 必要となる。遮へい厚さを 35cm とした場合には、廃棄物全体の 99.6% が輸送規則を満足することになる。35cm を超えた遮へい厚さを必要とする廃棄物については、廃棄体容器の内側に遮へい板を設置して対応することとする。

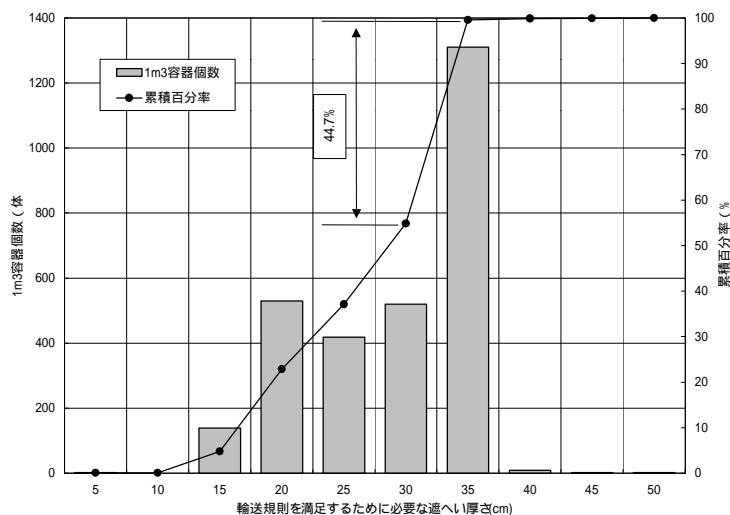


図 3.1.2-5 輸送規則を満足する遮へい厚さと廃棄体個数のヒストグラム

(ii) 廃棄体容器の表面線量率の設定

図 3.1.2-4の結果より輸送容器表面までの遮へい厚さが 35cm となるケースの最大放射能濃度と、廃棄体容器の表面線量率を表 3.1.2-4に示す。表 3.1.2-4の結果は、最大放射能濃度を原則として1 オーダずつふった結果であることから、廃棄体容器の表面線量率 443mSv/h を大きめにまらめて 500mSv/h を設定する。廃棄体容器の厚さを厚くすることにより廃棄体容器の表面線量率を低下させる方法も考えられるが、図 3.1.2-6に示す Co-60 線源の 1cm 線量当量透過率を見ると、廃棄体容器の表面線量率 500mSv/h を例えば六ヶ所サイトの六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センター廃棄物埋設事業変更許可申請書(平成9年1月)に記載される 10mSv/h まで低下させることを考えると廃棄体容器の厚さは 24cm 必要となり、この時の輸送容器の厚さは 11cm 必要となる。この結果は再利用可能な輸送容器より再利用不可能な廃棄体容器の方が厚い結果であり経済的ではないため、あえて廃棄体容器の厚さを厚くすることは考えない。このため廃棄体容器の取り扱い時には、遠隔操作が必要となる。

表 3.1.2-4 遮へい厚さを 35cm 必要とするケースの廃棄体容器の表面線量率

| 廃棄物層の密度 (ton/m ³) | 最大放射能濃度*1 (Bq/ton) | 廃棄体容器の表面線量率 (mSv/h) |
|-------------------------------|------------------------|---------------------|
| 2.1 | 4.8 × 10 ¹⁴ | 443 |
| 4.1 | 2.4 × 10 ¹⁴ | 221 |

注) *1: 線源は全量 Co-60 である

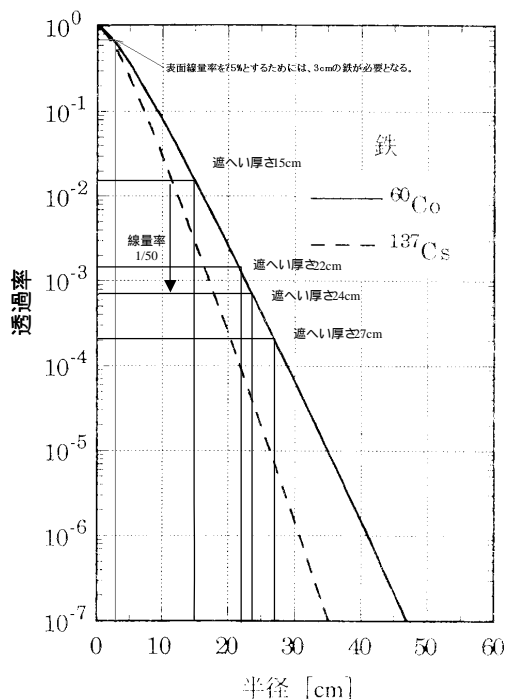


図 3.1.2-6 Co-60 線源の 1cm 線量当量透過率 (材質：鉄)

また廃棄物の中には、既にプラスチック固化体、もしくはアスファルト固化体に処理されてしまった廃棄物がある。相当する廃棄物と 200L ドラム缶換算の平均放射能濃度を以下に示す。

JNC 東海事業所 操業廃液 2.0×10^9 Bq/ton (最大放射能濃度 2.0×10^{10} Bq/ton)

原研東海研究所 操業廃液 2.2×10^{11} Bq/ton (最大放射能濃度 2.2×10^{12} Bq/ton)

注) 集計結果は推定値であり、今後変動する可能性がある。

これらの廃棄物については、操業時には 1m^3 容器と同じ外寸法のラックに 200L ドラム缶を収納するので、200L ドラム缶の表面線量率を設定する。200L ドラム缶の表面線量率が 500mSv/h となる廃棄物層の放射能濃度を廃棄物層の密度 1.3ton/m^3 、廃棄物層に設定する線源が Co-60 の条件のもと計算した結果、廃棄物層の放射能濃度は $1.17 \times 10^{12}\text{Bq/m}^3$ となることがわかった。この結果をもとに、上記 2 種類の廃棄物について比較すると、200L ドラム缶表面の表面線量率は、以下の様に推定される。

JNC 東海事業所 操業廃液 3.97mSv/h

原研東海研究所 操業廃液 670mSv/h

注) 集計結果は推定値であり、今後変動する可能性がある。

JNC 東海事業所の操業廃液と原研東海事業所の操業廃液は、ラック 1 個当たり 4 個 200L ドラム缶を収納するとすれば、JNC 分が 50 体、原研分は 9 体のラックが必要となる。ラックを使用する多くの廃棄物の表面線量率は 1m^3 容器の表面線量率より低い。

表面線量率が低い JNC 東海事業所の操業廃液の表面線量率は 500mSv/h より低い値である。原研東海研究所のアスファルト固化体に関しては、 500mSv/h よりも表面線量率が大きい。 1m^3 容器の表面線量率に 500mSv/h を設定したので設備設計等に対しては、 500mSv/h を超える廃棄物については対応が必要であり、原研東海研究所のアスファルト固化体に対しては、廃棄体の数量が少ないことからラックに必要な遮へい板を設置することで対応する。「核燃料施設遮へい安全ガイド資料 Q&A 編」¹⁾によれば、表面線量率を 500mSv/h (74%以下 ($500/670=74.8$)) に低下させるためには 2~3cm の厚さの鉄が必要である (図 3.1.2-6参照) ので表面線量率が大きい原研東海研究所のアスファルト固化体に関しては、ラックに 3cm の遮へい板を設置する。

(4) 廃棄体個数

1m³容器とラックの発生個数を表 3.1.2-5に示す。

表 3.1.2-5 1m³容器、ラックの発生個数

| 機関 | 事業所 | 廃棄体容器 | 廃棄体個数 (個) | | | |
|-------------|------------------|--------------------------|--------------------|------|------|-----|
| | | | 操業 | 解体 | 合計 | |
| 核燃料サイクル開発機構 | 東海事業所 | 1m ³ 容器 | 59 | 14 | 73 | |
| | | ラック | 50 | 0 | 50 | |
| | 大洗工学センター (系) | 1m ³ 容器 | 99 | 171 | 270 | |
| | 大洗工学センター (系) | 1m ³ 容器 | 381 | 57 | 438 | |
| | 新型転換炉 ふげん発電所 | 1m ³ 容器 | 29 | 171 | 200 | |
| | 高速増殖炉 もんじゅ建設所 | 1m ³ 容器 | 19 | 247 | 266 | |
| 日本原子力研究所 | 大洗研究所 | 1m ³ 容器 | 526 | 336 | 1473 | |
| | 東海研究所 | 1m ³ 容器 | 611 | | | |
| | | ラック | 9 | 0 | 9 | |
| 大学関係 | 東京大学 | 大学院工学系研究科附属 原子力工学研究施設 | 1m ³ 容器 | 0 | 2 | 2 |
| | 京都大学 | 原子炉実験所 | 1m ³ 容器 | 1 | 1 | 2 |
| 使用施設 | 日本核燃料開発㈱ | ホットラボ施設 | 1m ³ 容器 | 62 | 62 | 124 |
| | ニュークリア・デベロップメント㈱ | 燃料ホットラボ施設 | 1m ³ 容器 | 16 | 20 | 36 |
| | 日立エンジニアリング㈱ | 王禅寺事業所 | 1m ³ 容器 | 0 | 5 | 5 |
| | ㈱東芝 | ホットラボ施設 | 1m ³ 容器 | 0 | 1 | 1 |
| 合計 | | 1m ³ 容器 | 1803 | 1087 | 2890 | |
| | | ラック | 59 | 0 | 59 | |

注) 集計結果は推定値であり、今後変動する可能性がある。

(5) 廃棄体重量

1m³容器の重量(空) 9.3ton

1m³容器の重量(廃棄物込み) 13.4ton

(廃棄物密度 4.1ton/m³: 金属廃棄物を含む廃棄物)

17.1ton (廃棄物密度 7.8ton/m³: 鉄)

(6) 廃棄体発生量(年度展開)

本検討では廃棄物の発生時期に関しては、以下の様に設定した。

- ・ JNC: 「低レベル放射性廃棄物管理プログラム」の50年発生量に対し毎年年平均発生量が発生するとし、処理施設の更新時期についても考慮した。
- ・ 原研: JNC とほぼ同時期の平成22年度より処理が始まるとして、処分場閉鎖時まで毎年年平均発生量が発生するとした。

- ・ 大学関係・使用施設：操業廃棄物に関しては、50年間予測量に従い年平均発生量を与える。解体廃棄物に関しては、施設の解体時期が分かっている施設に関しては、解体時期において解体し、5年の冷却期間をおいた後処理を行い廃棄体とする。施設の解体時期が分かっていない施設に関しては、原子炉の寿命として50年を考え、原子炉の運転開始時期より50年後に解体され、5年の冷却期間をおいた後処理を行い廃棄体とする。

上記の設定を行うために設定した条件を以下に示す。

- ・ 廃棄体の発生開始時期：JNC以外の発生機関については、現在から10年後の平成22年に処理施設が設置され、処理が開始されると仮定した。
- ・ 処分場の閉鎖時期：廃棄体の発生が終了する平成70年度とした。
- ・ 処分場の操業期間：本年度の廃棄物の集計結果によれば、施設の解体時期が明らかな発生機関が少なく、特に解体廃棄物については、廃棄物の発生時期が明らかではない期間が多い。本検討では実現可能な処分場の操業期間を考えることとした。TRU廃棄物処分概念検討書²⁾によれば、25年間の操業期間を設定しており、本研究では25年間をまるめて30年間の操業期間を設定する。TRU廃棄物処分概念検討書では200Lドラム缶で226003本の廃棄物を対象としている。本研究では、200Lドラム缶で15018本の廃棄物を対象としているので廃棄物発生量の点からは十分処分可能と考えられる。
- ・ 処分場の操業開始時期：結果として平成40年度となった。

図 3.1.2-7に設定した年度別の発生量を示す。

(7) 放射能濃度、放射エネルギー

3.1.1に示した200Lドラム缶の本数と放射エネルギーをもとに、200Lドラム缶に収納する廃

棄物及びセメント充てん材の割合を変えずに 1m³ 廃棄体容器に収納することとした。

(8) 輸送容器の寸法

遮へい計算結果より、輸送容器の遮へい厚は、20cm とする。また形状に関しては、図 3.1.2-1に示した原子力バックエンド部会第 14 回夏期セミナー資料と同じとする。

(9) 考察

廃棄体容器の仕様については、本検討では 200L ドラム缶以外の廃棄体容器を考え、原子力学会バックエンド部会第 14 回夏期セミナー資料に示されている 1m³ 容器をもとに検討を行った。その結果、埋設施設の概念設計を行うための廃棄体の発生数、輸送容器の遮へい厚さについて設定することができた。一方廃棄体容器の大きさに対する最適化については、本検討では実施していないコスト面からの検討が必要であり、その検討を行うためには廃棄物の大きさに関するデータも必要となると考えられる。

<参考文献>

- 1) 日本原子力研究所 核燃料施設安全性研究委員会、遮へい安全性実証解析専門部会：核燃料施設遮へい安全ガイド資料 Q & A 編(受託研究)、JEARI-Review 96-002、1996
- 2) JNC: TRU 廃棄物処分概念検討書 JNC TY1400 2000-001、2000

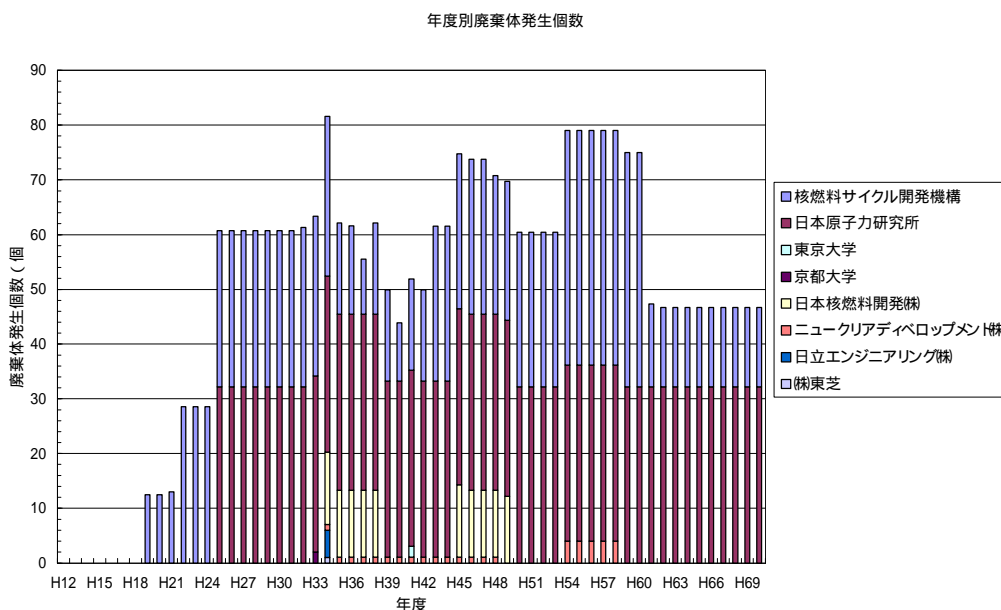


図 3.1.2-7 廃棄体発生年次展開

注) 集計結果は推定値であり、今後変動する可能性がある

3.1.3 廃棄体処理及び固型化方法の妥当性の検討

「3.1.1 発生廃棄体特性分類」においては、各機関がそれぞれ設定した（一部処理方法未定の機関については本検討において類似する廃棄物の処理方法を設定した）廃棄物処理方法を基に廃棄体化された状態を設定した。

設定された処理方法は、基本的にはピット処分相当廃棄物の処理方法を前提に置いている。すなわち、廃液等の均質・均一固化体の処理方法を基本としたセメント固化、アスファルト固化及びプラスチック固化と、雑固体等の充てん固化である。

これらの各機関/事業所等で設定している廃棄物の処理方法と、現在六ヶ所埋設センターにて実際に処分されているピット処分相当の廃棄物の処理方法/基準等を比較し、その対応を整理したものを表 3.1.3-1に示す。

表 3.1.3-1(1) 余裕深度処分廃棄物の廃棄体技術基準に係わる考え方

| 項目 | 関連条文等 | 廃棄体技術基準 | 充填固化体の廃棄確認における考え方 | 余裕深度処分廃棄物の廃棄確認における対応 |
|----------|-------------------|--|---|---|
| (イ)固型化材料 | 埋設告示 第4条第3項第1号 | 固型化材料は、日本工業規格 JIS R5210 (1992)若しくは JIS R5211 (1992)に定めるセメント又はこれらと同等以上の品質を有するセメントであること。 | JIS 規格又はこれと同等以上であることを納品書及び成績書で確認する。 セメントの JIS 規格(JIS R5210, 5211)ではセメントの品質として下記の項目が規定されている。 ・ 比表面積 ・ 凝結(開始 終結時間) ・ 安定性 ・ 圧縮強さ ・ 水和熱 ・ 化学組成 | 充填固化体の確認方法をそのまま適用する。 JIS の改訂を考慮しても、同等以上の品質を有することが確認できるようにする必要がある。 |
| (ロ)容器 | 埋設告示 第4条第3項第2号 | 容器は、日本工業規格 JIS Z1600 (1993)に定める金属製容器又はこれと同等以上の強度及び密封性を有するものであること。 | JIS 規格又はこれと同等以上であることを納品書及び成績書及び製作記録品質に関する確認ができる納品書及び成績書及び製作記録圧出表示及び製作記録のいずれかの方法にて確認する。 ただし、使用経験のない容器を使用する場合は、製作記録は必要ない。 | 余裕深度処分廃棄物の特性を考慮した評価方法を適用する必要がある。 JIS の改訂を考慮しても、同等以上の品質を有することが確認できるようにする必要がある。 なお、放射線遮へい等の観点より、JIS 規格以外の容器を用いることが想定されるので、埋設時の条件を想定し、これら容器の性能(強度、密封性)を形態ごとに実証試験等で確認するか、余裕深度処分廃棄物に係わる「標準的な廃棄体の製作方法」を作成し、その中でマニュアル化することにより所定の性能が確保できる必要がある。 |

表 3.1.3-1(2) 余裕深度処分廃棄物の廃棄体技術基準に係わる考え方

| 項目 | 関連条文等 | 廃棄体技術基準 | 充填固化体の廃棄確認における考え方 | 余裕深度処分廃棄物の廃棄確認における対応 |
|----------------|-----------------------|--|--|--|
| (ハ) 一体となるような充填 | 埋設告示 第4条第3項 第3号 | <p>固型化に当たっては、あらかじめ均質に練り混ぜた固型化材料若しくは固型化材料及び混和材を容器内の放射性廃棄物と一体となるように充填すること。</p> <p>この場合において、容器内に有害な空けきが残らないようにすること。</p> | <p>「充填固化体の標準的な製作方法」に従って製作していることにより確認する。</p> <p>人手作業(廃棄物の分別・収納作業)は、作業内容がマニュアルとして明文化され、これが発電所の品質管理体型の中に適切に位置づけられていることを前提として、製作記録等により次のことを確認する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 実務経験等に基づき選任された管理責任者により作業管理が行われていること。 ・ 定期的に教育、訓練を受けた作業員により作業が実施されていること。 <p>人手作業以外の必要なデータ等は、次の記録で確認する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 製作データ(難溶融物の供給割合、練り混ぜ後の経過時間等): 製作記録 ・ 運転データ(圧縮圧力、溶融温度・時間、計量精度、注入速度等): 定期検査表 ・ 各原材料の品質: 納品書、成績書 <p>また流動性の確認は、廃棄体毎に固型化材料等の流動性を測定したデータ、又は廃棄体毎に流動性への影響因子(各原材料の品質、投入量、練り混ぜ方法等)を管理したデータ等のいずれかにより確認する。なお、後者の場合には、管理したデータ等の妥当性を事前検査表にて確認する。</p> | <p>余裕深度処分廃棄物の特性を考慮した評価方法を適用する必要がある。</p> <p>本基準は、「放射性廃棄物が固型化材料等によって固型化され、更に容器と一体となるような状態を規定したもの」であり、廃棄体内部の空隙を低減するような廃棄体の製作を行うことで、本基準が達成できるという充填固化体での考え方が踏襲できる。しかしながら線量レベルの増加に伴い、その確認方法について以下のような措置をとる必要がある。</p> <p>人手作業の対応</p> <p>余裕深度処分廃棄物に係わる「標準的な廃棄体の製作方法」を作成する。人手作業に係わる廃棄物の分別、収納作業の実施が困難となるため、廃棄物の特性を考慮した遠隔操作、自動化等による分別、収納作業のマニュアル化を図る。なおこの場合、廃棄物の大型化に伴う処理対応についても考慮する。</p> <p>流動性の確認方法</p> <p>流動性の確認については、充填固化体と同様の方法を準用する。</p> |
| (ニ) 有害空隙 | | | <p>養生終了後の上部空隙が10%以下であることを、廃棄体の製作記録での測定結果より確認する。</p> | <p>余裕深度処分廃棄物の特性を考慮した評価方法を適用する必要がある。</p> <p>埋設時の条件を想定した場合の有害な空隙となる上部空隙量を規定し、廃棄体の製作記録結果より、規定値を下回っていることを確認する必要がある。</p> |

表 3.1.3-1(3) 余裕深度処分廃棄物の廃棄体技術基準に係わる考え方

| 項目 | 関連条文等 | 廃棄体技術基準 | 充填固化体の廃棄確認における考え方 | 余裕深度処分廃棄物の廃棄確認における対応 |
|--------------|-----------------------|---|--|---|
| (ホ)放射能濃度 | 埋設規則 第8条第2項 第2号 | 放射能濃度が申請書等に記載した最大放射能濃度を超えないこと。 | 核種に応じた確認方法を適用している。 確認方法としては、以下の手法を用いている。 ・ 非破壊外部測定 ・ key 核種とのSF法による確認 ・ 理論計算法 ・ 平均値法 | 余裕深度処分廃棄物の特性を考慮した評価方法を適用する必要がある。 余裕深度処分廃棄物の放射能濃度を政令基準として反映させる。 なお放射能濃度の確認については、Cl、Ca等、余裕深度処分廃棄物において新たに想定する必要がある核種の濃度算定方法を確立する必要がある。 |
| (ハ)表面密度限度 | 埋設規則 第8条第2項 第3号 | 表面の放射性物質の密度が第14条の第1号ハの表面密度限度の十分の一を超えないこと。 (表面密度限度の十分の一) 線放出核種: 0.4Bq/cm ² 線を放出しない核種: 4Bq/cm ² | スミア測定(核種のみ)による測定記録により確認する。 | 余裕深度処分廃棄物の特性を考慮した評価方法を適用する必要がある。 充填固化体と同様に確認する。ただし、余裕深度処分廃棄物の特性を考慮し、核種の汚染確認を行わない理由についての検討を行う必要がある。 |
| (ト)健全性を損なう物質 | 埋設規則 第8条第2項 第4号 | 廃棄体の健全性を損なうおそれのある物質として長官の定める物質を含まないこと。 (埋設告示第5条) 一 爆発性の物質又は水と接触したときに爆発的に反応する物質 二 揮発性の物質 三 自然発火性の物質 四 廃棄体を著しく腐食させる物質 五 多量にガスを発生させる物質 | 「充填固化体の標準的な製作方法」を遵守することにより、当該物質の混入の可能性はないとしている。ただし、万全を期するため、分別作業に際して下記のいずれかの作業指示を行っている。 ・ 多量の油類や多量の有機溶剤を除去対象物として指定する。 ・ 残留する液状物質を抜き取ることを規定する。 上記事項の確認方法は、人手作業(廃棄物の分別・収納作業)の内容がマニュアルとして明文化され、これが発電所の品質管理体型の中に適切に位置づけられていることを前提として、製作記録、選任記録等により次のとおりとする。 ・ 実務経験等に基づき選任された管理責任者により作業管理が行われていること。 ・ 定期的に教育、訓練を受けた作業員により作業が実施されていること。 | 余裕深度処分廃棄物の特性を考慮した評価方法を適用する必要がある。 本基準は、廃棄体の健全性を損なうおそれのある物質として廃棄体に含むことを防止するために定めたものであり、「充填固化体の標準的な製作方法」を遵守することにより、本基準が達成できるといふ充填固化体での考え方が踏襲できる。しかしながら線量レベルの高騰に伴い、その確認方法について以下のような対処法をとる必要がある。 ・ 余裕深度処分廃棄物に係わる「標準的な廃棄体の製作方法」を作成する。すなわち高線量下における人手作業に係わる廃棄物の分別、収納作業の実施が困難となるため、廃棄物の特性を考慮した遠隔操作、自動化による分別、収納作業のマニュアル化を図る。なおこの場合、廃棄物の大型化に伴う処理対応についても考慮する。 |

表 3.1.3-1(4) 余裕深度処分廃棄物の廃棄体技術基準に係わる考え方

| 項目 | 関連条文等 | 廃棄体技術確認 | 充填固化体の廃棄確認における考え方 | 余裕深度処分廃棄物の廃棄確認における対応 |
|----------|-------------------|-------------------------------------|---|---|
| (チ)耐埋設荷重 | 埋設規則 第8条第2項第5号 | 埋設された場合において受けるおそれのある荷重に耐える強度を有すること。 | <p>「充填固化体の標準的な製作方法」に従い</p> <ul style="list-style-type: none"> 強度の高い廃棄物のみを容器に収納して固型化すること 容器の内側にモルタルの強化帯(内張り層)を設けること <p>のいずれかを適用することにより、埋設荷重に対して十分な強度を有するとしている。</p> <p>「充填固化体の標準的な製作方法」に従っていることにより確認する。</p> <p>人手作業(廃棄物の分別・収納作業)は、作業内容がマニュアルとして明文化され、これが発電所の品質管理体型の中に適切に位置づけられていることを前提として、製作記録等により次のことを確認する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 実務経験等に基づき選任された管理責任者により作業管理が行われていること。 定期的に教育、訓練を受けた作業員により作業が実施されていること。 <p>なお、内張り層を設けるための容器や内籠の仕様については、納入者の納品書、成績書、図面等の記録により確認する。</p> | <p>余裕深度処分廃棄物の特性を考慮した評価方法を適用する必要がある。</p> <p>本基準は廃棄体が埋設された時に受ける荷重による圧壊を防止するために定めたものである。その確認方法については、以下のような対象法がある。</p> <p>余裕深度処分廃棄物に係わる「標準的な廃棄体の製作方法」を作成し、その中でマニュアル化することにより所定の性能が確保できるとするか、もしくは実証試験等に基づく容器形態ごとの検討書により、埋設時の条件を想定した場合の耐埋設荷重を有していることを確認する。</p> |
| (リ)著しい破損 | 埋設規則 第8条第2項第6号 | 著しい破損がないこと。 | <p>著しい破損を定量化し、該当しないことを目視により確認する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 廃棄体から廃棄物が漏出又は露出している 廃棄体の表面の劣化が認められる。 廃棄体の運搬上支障がある変形がある。 | 充填固化体の確認方法をそのまま適用する。 |

表 3.1.3-1(5) 余裕深度処分廃棄物の廃棄体技術基準に係わる考え方

| 項目 | 関連条文等 | 廃棄体技術基準 | 充填固化体の廃棄確認における考え方 | 余裕深度処分廃棄物の廃棄確認における対応 |
|-----------------|-------------------|---|--------------------------------|----------------------|
| (ヌ)放射性廃棄物を示す標識 | 埋設規則 第8条第2項第7号 | 容易に消えない方法により、廃棄体の表面の目につきやすい箇所に放射性廃棄物を示す標識及び当該廃棄体の表面における線量当量率が長官の定める線量当量率を超える場合にあっては長官の定める標識を付け、並びに当該廃棄体に関して前条第1項第1号の申請書に記載された事項と照合できるような整理番号を表示したものであること。 | 目視により確認する。 | 充填固化体の確認方法をそのまま適用する。 |
| (ル)表面線量当量率を示す標識 | | | 表面における線量当量率の測定記録の確認と目視により確認する。 | 充填固化体の確認方法をそのまま適用する。 |
| (7)整理番号 | | | 目視により確認する。 | 充填固化体の確認方法をそのまま適用する。 |

表 3.1.3-1(6) 余裕深度処分廃棄物の廃棄体技術基準に係わる考え方

| 項目 | 関連条文等 | 廃棄体技術基準 | 充填固化体の廃棄確認における考え方 | 余裕深度処分廃棄物の廃棄確認における対応 |
|---------------------|----------------|---|--|---|
| (7) 発生後6ヶ月以上経過 | 廃棄物埋設事業変更許可申請書 | 八 廃棄物埋設 (1) 埋設する廃棄体 埋設設備に埋設を行う廃棄体は、原子力発電所の運転に伴い発生する放射性物質及び本施設の操業に伴って付随的に発生する放射性廃棄物であって、固体状のものであり、あらかじめ廃棄物の分別・処理を行ったものをセメント系充てん材を用いて容器に固型化したものであり、受入れ時においてこれらの廃棄体に含まれる放射性物質は原子力発電所で発生後6ヶ月以上経過しており、かつ廃棄体の表面線量当量率は 10mSv/h を超えないものである。 | 運転記録により確認する。 | 余裕深度処分廃棄物の特性を考慮した評価方法を適用する必要がある。 発熱、放射線分解に伴うガス発生事象の影響を考慮しても、現行の貯蔵期間で問題のないことを確認する必要がある。 |
| (カ) 10mSv/h を超えないこと | | | 測定記録により確認する。 | 余裕深度処分廃棄物の特性を考慮した評価方法を適用する必要がある。 表面線量当量率の上昇が予想されるため、以下の対策により対応する必要がある。 ・ 廃棄体容器の遮へい機能を向上させることにより、廃棄体の表面線量当量率が妥当な値(本検討では 500mSv/h)を超えないようにする。 |
| (3) 除去物質 | | 八 廃棄物埋設 (1) 埋設する廃棄体 () 廃棄物の分別・処理方法 セメント系充てん材が、容器の内部に充てんされ易くなるように、廃棄物を分別し、必要に応じて、廃棄物の切断、圧縮、溶融処理を行う。なお、焼却可能な可燃物は除去し、アルミニウム製品は除去又は鉄と溶融処理し、鉛製品は除去する。 | 「充填固化体の標準的な製作方法」に従って分別作業がなされていることを確認する。 人手作業(廃棄物の分別・収納作業)は、作業内容がマニュアルとして明文化され、これが発電所の品質管理体型の中に適切に位置づけられていることを前提として、製作記録等により次のことを確認する。 ・ 実務経験等に基づき選任された管理責任者により作業管理が行われていること ・ 定期的に教育、訓練を受けた作業員により作業が実施されていること | 余裕深度処分廃棄物の特性を考慮した評価方法を適用する必要がある。 「充填固化体の標準的な製作方法」を遵守することにより、本基準が達成できるという充填固化体での考え方が踏襲できる。しかしながら線量レベルの高騰に伴い、その確認方法について以下のような対処法をとる必要がある。 ・ 余裕深度処分廃棄物に係わる「標準的な廃棄体の製作方法」を作成する。すなわち高線量下における人手作業に係わる廃棄物の分別、収納作業の実施が困難となるため、廃棄物の特性を考慮した遠隔操作、自動化等による分別、収納作業のマニュアル化を図る。 |

3.1.4 使用済み線源の処分概念検討

使用済み線源（RI 協会発生分）に関して、技術基準への適合性を考慮した廃棄体作成方法概念の検討を実施した。

(1) 使用済み線源の保管量及び処理 / 処分方法案

H12 年度「一般的地下利用に十分余度を持った深度の処分場概念の検討」（核燃料サイクル開発機構）によれば、RI 協会における 使用済み線源及び 使用済み線源の保管量、今後 10 年間に発生する年間発生量及び処理処分方法案は表及びに示すとおりである。また、代表的な線源の形状・寸法は図 3.1.4-1～図 3.1.4-4 に示すとおりである。

現在想定されている 使用済み線源の廃棄体形状は以下に示すとおりである。

使用済み線源は核種ごとにステンレス円筒容器（直径約 120mm、高さ約 500mm）に不活性ガスとともに封入する。

封入容器 1 本当たりの重量は約 30kg、放射性物質は Co-60 で約 1PBq、Cs-137 で約 200TBq と予想される。

封入容器は、RI 協会製 線源用 B 型輸送容器(図 3.1.4-5)にて処分場まで輸送し、保護容器を取り除いた後、遮へい容器のみの形で定置する。この遮へい容器自身を廃棄体とするが、廃棄体を受け入れる処分施設の受入基準・施設基準等、今後の検討状況を反映し廃棄体形態は対応可能なものとする。

表 3.1.4-1 RI 協会における 使用済み線源の保管量、年間発生予測量及び処理 / 処分方法案

| 線源の種類 | 半減期 | 放射能 | RI 協会保管量 ^{*1} (線源の個数) | 年間発生予測量 ^{*1} (線源の個数) | 処理・処分方法案 |
|--------|---------|----------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---|
| Co-60 | 5.27 年 | 37GBq 以下 | 1,000 | 200 | ステンレス密閉容器(容量約 6 リットル) ^{*2} に不活性ガスと共に収納し、高レベル放射性廃棄物相当して処分。 ステンレス容器本数: 10 本(現在保管量からの推定値) 容器 1 本当りの放射能: 約 1PBq 重量: 約 30kg/本 |
| | | 37GBq 超 - 370GBq 以下 | 40 | 80 | |
| | | 370GBq 超 - 3.7TBq 以下 | 100 | 400 | |
| | | 3.7TBq 超 - 37TBq 以下 | 300 | 30 | |
| Cs-137 | 30.07 年 | 37GBq 以下 | 900 | 100 | ステンレス密閉容器(容量約 6 リットル) ^{*2} に不活性ガスと共に収納し、高レベル放射性廃棄物相当して処分。 ステンレス容器本数: 2 本(現在保管量からの推定値) 容器 1 本当りの放射能: 約 200TBq 重量: 約 30kg/本 |
| | | 37GBq 超 - 370GBq 以下 | 40 | 10 | |
| | | 370GBq 超 - 3.7TBq 以下 | 30 | 10 | |
| | | 3.7TBq 超 - 37TBq 以下 | 6 | 2 | |
| Ir-192 | 73.83 日 | 370MBq 以下 | 20,000 | 3,000 | 減衰後、低レベル放射性廃棄物相当として処分。 使用済み線源の容積: 200 リットル ^{*3} |
| | | 370MBq 超 - 37GBq 以下 | 1,000 | 1,000 | |
| | | 37GBq 超 - 370GBq 以下 | 700 | 2,000 | |
| Kr-85 | 10.76 年 | 370MBq 以下 | 500 | 10 | RI 協会内で現在検討中。 使用済み線源の容積: 100 リットル ^{*3} |
| | | 370MBq 超 - 37GBq 以下 | 100 | 100 | |
| H-3 | 12.33 年 | 37GBq 超 - 370GBq 以下 | 100 | 10 | RI 協会内で現在検討中。 使用済み線源の容積: 10 リットル ^{*3} |
| | | 3.7TBq 超 - 37TBq 以下 | - | | |

(集計結果は推定値であり、今後変動する可能性がある。)

注) *1: 表中の数量は海外返却予定分を含まない。

*2: ステンレス容器の外形寸法 直径約 120mm、高さ約 600mm (収納容量; 約 4 リットル)

*3: 遮へい体を含まない現在の使用済み線源容積

表 3.1.4-2 RI 協会における 使用済み線源の保管量、年間発生予測量及び処理 / 処分方法案 (中性子線放出核種を含む)

| 線源の種類 | 半減期 | 放射能 | RI 協会保管量 ^{*1} (線源の個数) | 年間発生予測量 ^{*1} (線源の個数) | 容積 ^{*2} (リットル) | 処理・処分方法案 |
|-----------|---------|---------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Am-241 | 432.2 年 | 370MBq 以下 | 2,000,000 | 100,000 | 4,000 | TRU 廃棄物と併せて、原子力 委員会で検討中。 |
| | | 370MBq 超 - 37GBq 以下 | 200 | 20 | 100 | |
| Ra-226 | 1600 年 | 370MBq 以下 | 1,700 | 200 | 30 | |
| | | 370MBq 超 - 37GBq 以下 | 400 | | | |
| Am-241/Be | 432.2 年 | 370MBq 超 - 37GBq 以下 | 300 | 10 | 50 | |
| | | 37GBq 超 - 370GBq 以下 | 6 | | | |
| Ra226/Be | 1600 年 | 37MBq 超 - 37GBq 以下 | 50 | 10 | 5 | |
| Cf-252 | 2.645 年 | 37TBq 以下 | 400 | 10 | 5 | |

(集計結果は推定値であり、今後変動する可能性がある。)

注) *1: 表中の数量は海外返却予定分を含まない。

*2: 遮へい体を含まない現在の使用済み線源容積

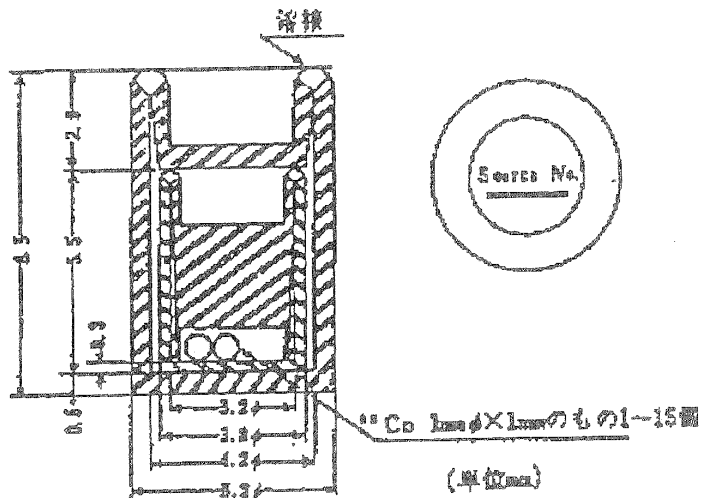


図 3.1.4-1 Co-60ラジオグラフィ用線源

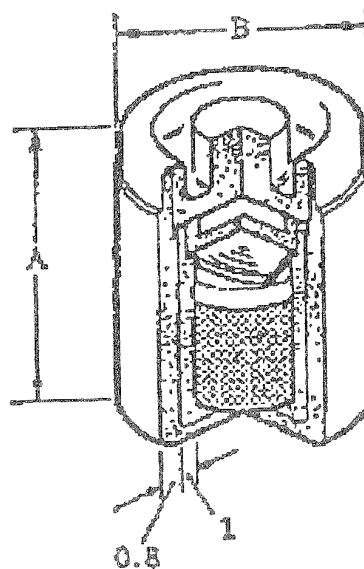


図 3.1.4-2 Cs-137大線源

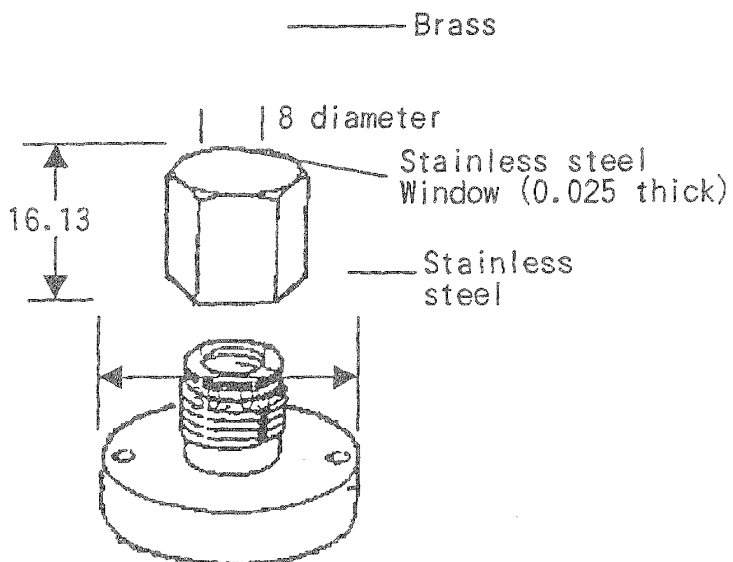


図 3.1.4-3 Kr-85厚さ計用線源

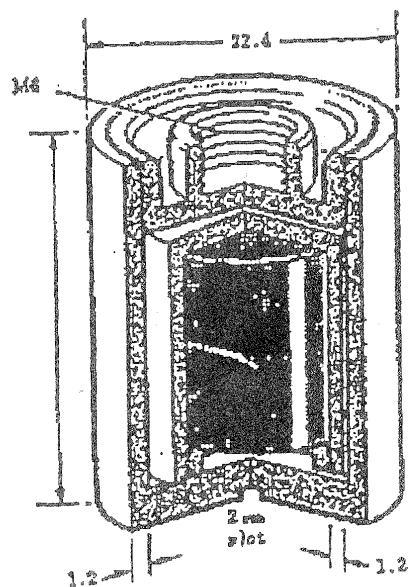


図 3.1.4-4 Am-241/Be中性子線源

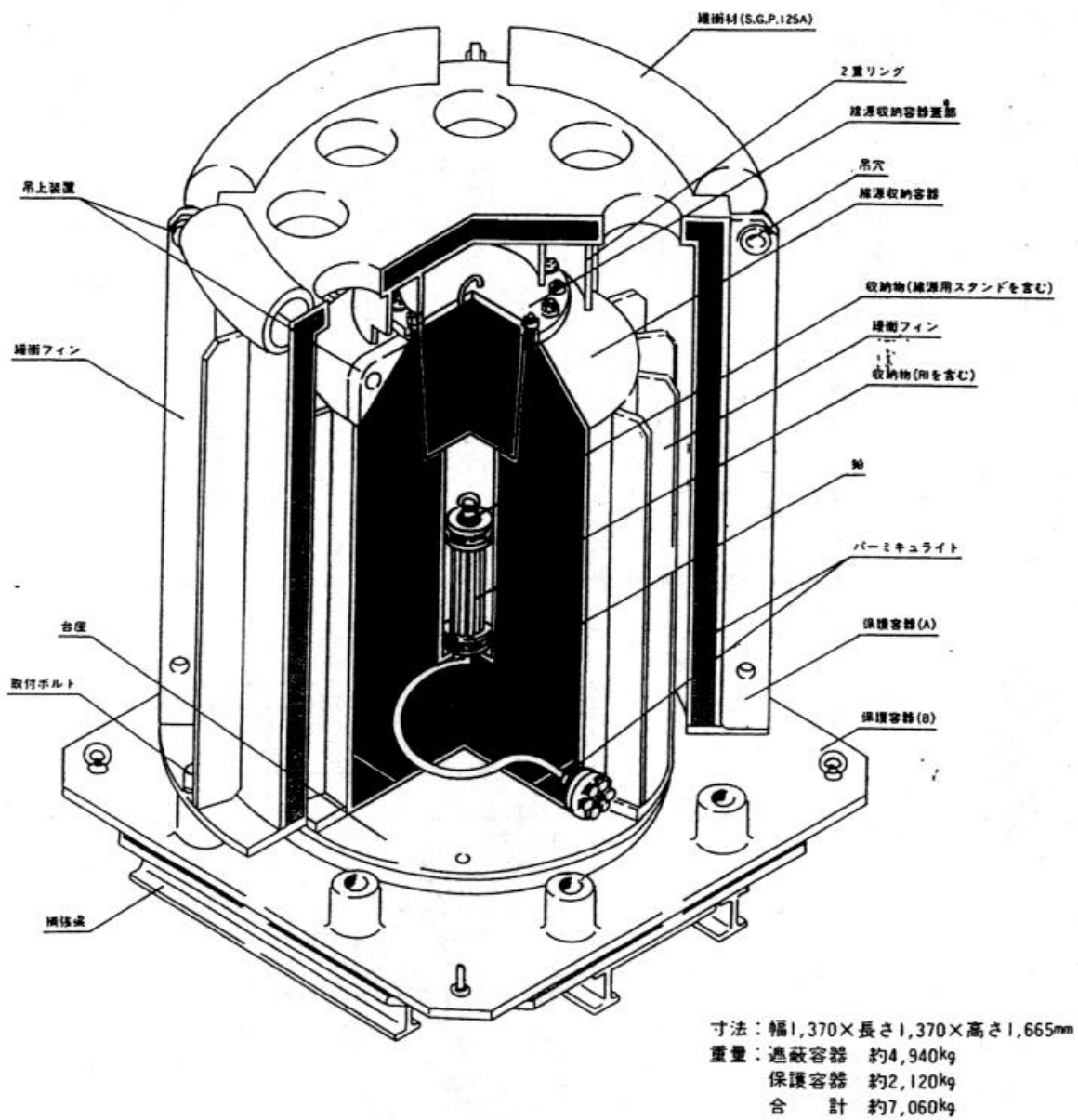


図 3.1.4-5 協会製 B 型輸送容器外観図

(2) 処理・処分方法と安全評価へ与える影響についての検討

表 3.1.4-1、表 3.1.4-2の結果から Co-60、Cs-137、Ir-192 の使用済み線源に関しては、処理・処分方法案が検討されているが、現段階では決定されていない。そこで本項では表 3.1.4-1、表 3.1.4-2に示した以外の処理・処分方法について検討を実施した。ただし、本項での検討結果は、データの不足や将来的な不確実性等の理由により前提条件のもとに実施した結果となっている。

(i) 前提条件

本項の前提条件として、以下の前提条件を置く。

使用済み線源は、年間発生量に従って50年間連続的に発生する。

使用済み線源は、表 3.1.4-1の Co-60、Cs-137 に挙げた処理案で述べられるものと同じステンレス容器に封入した後、処理を行うこととした（使用済み線源の大きさ、重さを仮定した）。ステンレス容器の大きさ、重さに関しては、以下に示す値を仮定した。

- ステンレス容器の大きさ：直径 120mm × 高さ 500mm
- ステンレス容器の重さ：30kg（使用済み線源を含む）
- ステンレス容器の収容容量：4リットル

放射能濃度の参考値を算出する場合、対象核種のうち Co-60、Cs-137 以外の核種については、遮へい材を除いた後放射性核種をステンレス容器内に治めるものとした。

の使用済み線源を収納したステンレス容器は、3.1.2 で述べた 1m³ に収納されて処分されるものとする。

処分場及び処分場に受け入れられる核種の濃度上限値に関しては、第3次中間報告における検討結果に基づくものとする。

(ii) 方法

本項における検討に対しては、以下の手順により安全評価上の問題点の抽出を行う。

処理・処分方法の設定

第3次中間報告に基づく余裕深度処分の濃度上限値についての調査

処理方法に対する評価上の問題点の抽出

処分方法に対する評価上の問題点の抽出

(iii) 結果及び考察

(a) 処理・処分方法の設定

使用済み線源は不燃物であるので、簡単な処理方法としては、

- ・ セメント充てん
- ・ 溶融 セメント充てん
- ・ 圧縮 セメント充てん

が考えられる。溶融と圧縮は、どちらも廃棄物を減容できるが、溶融の場合は他廃棄物とともに溶融することによる希釈効果があり、また廃棄物の濃度を均質化できる利点があることから圧縮よりは溶融が選ばれるものと考えられるため、本項では、セメント充てんと溶融 セメント充てんの2種類について検討した。

図 3.1.4-6に示す概略図に示す様に、3.1.4(2)(i)の前提条件を考慮して、使用済み線源を封入したステンレス容器を1m³容器に収納して、第3次中間報告の前提条件に基づく処分場に余裕深度処分する方法を設定した。

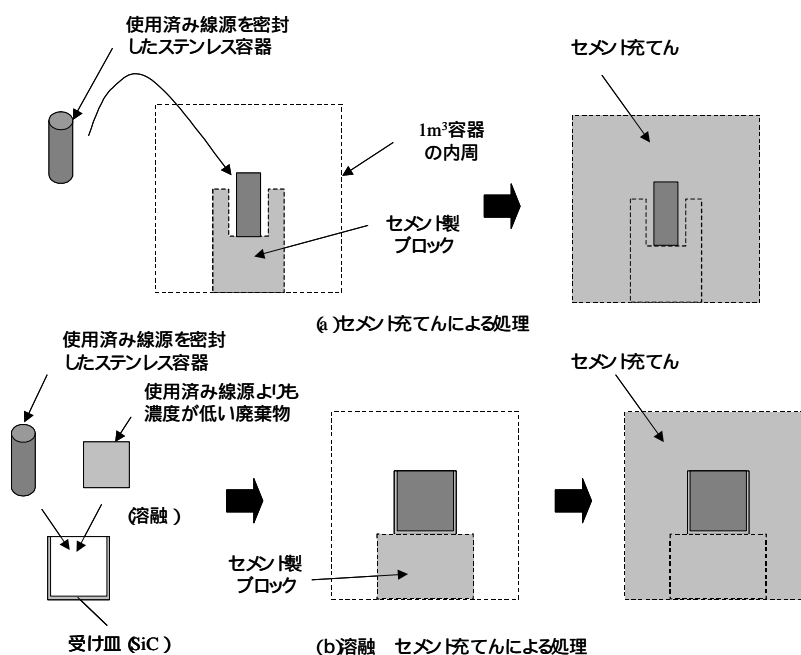


図 3.1.4-6 処理・処分方法の設定 (概略図)

(b) 第3次中間報告に基づく余裕深度処分の濃度上限値についての調査

使用済み線源は、放射エネルギーが大きいことため余裕深度処分よりは高レベル放射性廃棄物として地層処分されるべき廃棄物が存在する可能性がある。原子炉を起源とする廃棄物に関しては、第3次中間報告において濃度上限値が検討されているので、第3次中間報告における対象核種の取扱いと $10 \mu\text{Sv/y}$ 濃度上限値を調査した。結果を表 3.1.4-3に示す。

H-3、Co-60、Cs-137、Am-241 の4核種については、第3次中間報告の線量結果は、いずれも無担体の放射性核種の比放射能を超える値になったとしており、第3次中間報告の前提条件においては、現実的に考えられる廃棄体の濃度では $10 \mu\text{Sv/y}$ を満足することになる。

Ir-192、Ra-226、Cf-252 に対しては、300年間の管理期間の減衰を考慮し、国際原子力機関 (IAEA) が提案するクリアランスレベルの最小値 (IAEA-TECDOC-855 参照) の0.1倍の濃度以下 ($1\text{E}+4\text{Bq/ton}$ 以下) の核種については、線量評価の対象核種から除外している。これらの核種については、余裕深度処分と地層処分の区分値を第3次中間報告から推定することは不可能である。

残りの Be-10、Kr-85 については、Be-10 については検討されており最も保守側の値は $4\text{e}+11\text{Bq/ton}$ 、Kr-85 については評価対象核種として抽出されていない。

以上の結果と 核種については 核種の区分値 1GBq/ton ($=1\text{e}+9\text{Bq/ton}$) をもとに、表 3.1.4-4に示す様に設定した。なお Ir-192、Kr-85 については、区分値の情報が存在しないので、全量余裕深度処分可能として設定した。

表 3.1.4-3 第3次中間報告における対象核種の取扱いと10 μSv/y 濃度上限値

| 核種 | 線量計算対象 / 対象外 | 10 μSv/y濃度上限値 | 線量計算からの除外理由 |
|-----------|--------------|---|--|
| Co-60 | | 無担体の放射性核種の比放射能を超える。 | - |
| Cs-137 | | 無担体の放射性核種の比放射能を超える。 | - |
| Ir-192 | x | - | IAEAクリアランスレベル1E+5Bq/tonの0.1倍の濃度により評価から除外 |
| Kr-85 | x | - | 第3次中間報告では評価対象核種として抽出されていない。 |
| H-3 | | 無担体の放射性核種の比放射能を超える。 | - |
| Am-241 | | 無担体の放射性核種の比放射能を超える。 | - |
| Ra-226 | x | - | IAEAクリアランスレベル1E+5Bq/tonの0.1倍の濃度により評価から除外 |
| Am-241/Be | | Be-10 4e+11Bq/ton Am-241 無担体の放射性核種の比放射能を超える。 | - |
| Ra-226/Be | Beのみ対象 | Be-10 4e+11Bq/ton | Ra-226 4IAEAクリアランスレベル1E+5Bq/tonの0.1倍の濃度により評価から除外 |
| Cf-252 | x | - | IAEAクリアランスレベル1E+5Bq/tonの0.1倍の濃度により評価から除外 |

表 3.1.4-4 核種別の地層処分 / 余裕深度処分の区分方法

| 核種 | 半減期 | 300年の管理期間中の減衰の考慮 | 地層処分 / 余裕深度処分の区分 |
|-----------|--------|------------------|------------------------------|
| Co-60 | 5.27年 | | 全量余裕深度処分として扱う |
| Cs-137 | 30.07年 | x | 全量余裕深度処分として扱う |
| Ir-192 | 73.83日 | | 全量余裕深度処分として扱う ¹ 。 |
| Kr-85 | 10.76年 | | 全量余裕深度処分として扱う ¹ 。 |
| H-3 | 12.33年 | | 全量余裕深度処分として扱う |
| Am-241 | 432.2年 | x | 全量余裕深度処分として扱う |
| Ra-226 | 1600年 | x | 核種区分値1E+9Bq/ton |
| Am-241/Be | 432.2年 | x | Be-10の濃度上限値4e+11Bq/ton |
| Ra-226/Be | 1600年 | x | 核種区分値1E+9Bq/ton |
| Cf-252 | 2.654年 | | 核種区分値1E+9Bq/ton |

注)* 1 第3次中間報告の検討結果からは、10 μSv/y濃度上限値を判断不可能な核種であり、今後検討が必要な核種である。
(処理 処分方法は推定結果であり、今後変動する可能性がある。)

(c) 処理方法に対する評価上の問題点の抽出

i. 処理方法に対する問題点

表 3.1.4-5にセメント充てんにより処理した場合と溶融 セメント充てんにより処

理した場合の利点と欠点を整理した結果を示す。処理方法の違いによる問題点は、以下の点が考えられる。

処理設備が追加されることによる設備コストの増加

減容効果、希釈効果に関連する廃棄体発生量

核種の性状に対する適応性

廃棄体濃度の均質性とホットスポットの問題

上記の問題に関しては、処分に関連する問題であり後述の3.1.4(2)(v)(c)で述べる。

表 3.1.4-5 処理方法に対する利点 / 欠点整理表

| 利点 / 欠点 | セメント充てん | 溶融 セメント充てん |
|---------|---|---|
| 利点 | <ul style="list-style-type: none"> ・ ハンドリング性が良好。 ・ 設備に対するコストが安い。 ・ 核種の性状に関わらず、処理方法の観点からは問題が生じない。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 廃棄体別の濃度を均質化することが可能である。 ・ 廃棄物の減容が可能である。 ・ 低放射エネルギーの廃棄物と共に溶融することにより希釈し、廃棄体の濃度を低減することが可能である。 |
| 欠点 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 減容が期待できない。 ・ 廃棄体の濃度が不均質になる（ホットスポットの問題）。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 溶融処理を行うための設備が必要である。 ・ 核種が気体である場合、収集したガスの処分に対しても注意が必要である。 ・ 希釈する場合には、廃棄体の発生量が増加する。 |

ii. 処分方法に対する問題点

ア. 短半減期核種を用いた使用済み線源

第3次中間報告では、国際原子力機関（IAEA）が提案するクリアランスレベルの最小値の0.1倍（ $1E+4Bq/ton$ ）以下の核種については除外している。300年管理期間内の核種別の減衰効果についても、表3.1.4-5に併記した。核種の減衰効果に対する星取り表は、半減期で10年未満の核種を「効果大」、10年～20年に入る核種を「比較的效果がある」、20年より長い核種については「効果が小さい」とした。3.1.4(2)(iv)の結果で第3次中間報告の線量評価において対象とならなかったIr-192、Kr-85、Cf-252について検討した。Ir-192は、300年間の低減割合が $1e-300$ 以下（計算可能な下限値以下）であり、300年の管理期間を考えれば濃度は減衰し $1e+4Bq/ton$ を下回ることは明らかであるので第3次中間報告で評価上影響が小さいとして考慮していないレベルであると考えることが可能である。Kr-85についても、3.1.4(2)()の前提条件のもとに試算した結果では、ステンレス容器4本を $1m^3$ 容器内に収納することにより、第3次中間報告で評価上影響が小さいとして考慮していないレベルであると考えることが可能である（図3.1.4-7参照）。またCf-252についても300年後に廃棄体の濃度が $1e+4Bq/ton$ となる初期濃度は $1.4e+38Bq/ton$ であり、3.1.4(2)()の前提条件のもとに試算した $1m^3$ 容器の濃度は $2.8e+15Bq/ton$ であるので、第3次中間報告で評価上

影響が小さいとして考慮していないレベルであると考えることが可能である。

表 3.1.4-6 短半減期の核種に対する星取り表

| | 核種 | 300年管理期間内の核種の減衰効果*1 | |
|----|-----------|---------------------|------|
| | | 核種の減衰割合*2 | 減衰効果 |
| 核種 | Co-60 | 7.3e-18 | |
| | Cs-137 | 9.9e-4 | × |
| | Ir-192 | 1e-300以下 | |
| | Kr-85 | 4.0e-9 | |
| | H-3 | 4.7e-8 | |
| 核種 | Am-241 | 6.2e-1 | × |
| | Ra-226 | 8.8e-1 | × |
| | Am-241/Be | 6.2e-1 | × |
| | Ra-226/Be | 8.8e-1 | × |
| | Cf-252 | 7.2e-35 | |

注)*1凡例： 効果大、 比較的效果がある、 ×効果は小さい

*2 :初期濃度に対する300年後の濃度の倍率を示した。

(本結果は推定値であり、今後変動する可能性がある)

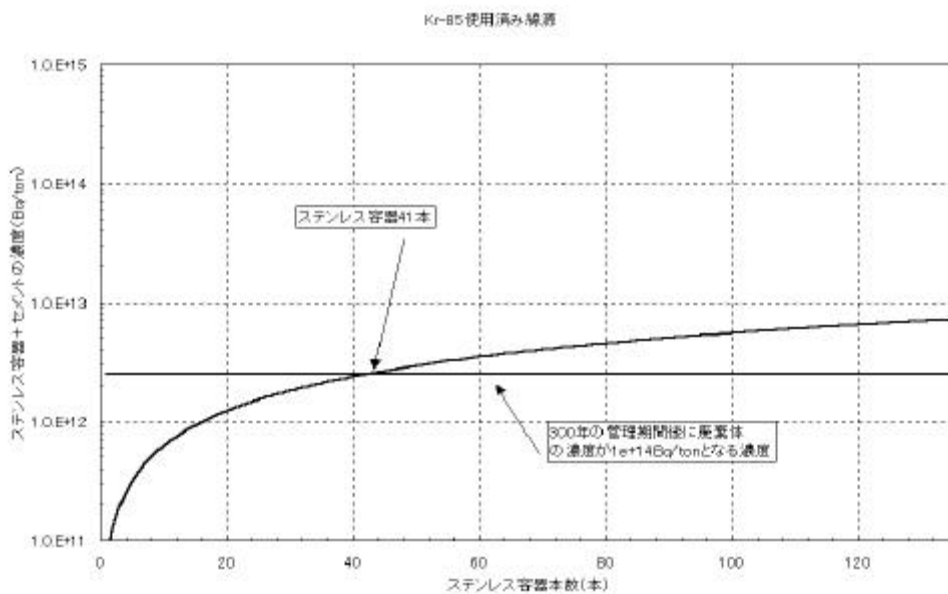


図 3.1.4-7 300年管理期間後の濃度が 1e+4Bq/ton となるために必要なステンレス容器本数 (Kr-85)

注) 集計結果は推定値であり、今後変動する可能性がある。

iii. 濃度の均質化とホットスポットの問題

本研究では地下水シナリオについて取扱っているが、仮に人間侵入シナリオについて評価した場合には濃度が不均質な廃棄物中の高濃度な部分を人間が採取し直接的に廃棄

物に接触するシナリオも想定でき、この様な廃棄物中の濃度の不均質性が安全評価に影響を与えるホットスポットの問題が問題となる。そこで溶融処理を行い濃度が均質化される場合と、セメント充填することにより高濃度な廃棄物も存在する場合を想定し、ステンレス容器 1 本分に対しそれぞれの放射能濃度の比較を行った。

表 3.1.4-7に表 3.1.4-1、表 3.1.4-2の結果をもとに3.1.4(2)(i)の前提条件のもと試算したステンレス容器 1 本分の濃度を参考値として示す。濃度は核種の半減期を考慮せず、ステンレス容器の取りうる最大放射能量を設定した場合の濃度と使用済み線源だけを溶融処理をした場合の濃度について示した。

その結果、溶融処理を行わずセメント充てんにより処分した場合には、核種によっては溶融処理をした場合に比べて約 900 倍高濃度なステンレス容器が存在する場合があることがわかった。

表 3.1.4-7 廃棄物発生量とステンレス容器 1 本当たりの濃度 (参考値)

| 核種 | 半減期 | 廃棄物発生量 | | | | 総Bq量 (Bq) | ステンレス容器 1本当たりの濃度 (Bq/ton) | | |
|-----------|--------|---------|----------------------|-------------|-----------------|--------------|---------------------------|---------|---------|
| | | 既発生量 | 50年後発生量 (既発生量を含む) | | | | セメント充てん | 溶融 | セメント充てん |
| | | | 線源個数 (個) | 線源個数 (個) | ステンレス 容器 (本) | | | | |
| Co-60 | 5.27年 | 1440 | 36940 | 257 | 1.03*1 | 1.4E+17 | 1.8E+17 | 1.9E+16 | |
| Cs-137 | 30.07年 | 976 | 7076 | 15 | 0.06*1 | 6.3E+15 | 1.8E+17 | 1.4E+16 | |
| Ir-192 | 73.83日 | 21700 | 321700 | 742*2 | 2.96*3 | 3.9E+16 | 5.3E+15 | 1.8E+15 | |
| Kr-85 | 10.76年 | 600 | 6100 | 255*2 | 1.02*3 | 1.9E+14 | 2.8E+13 | 溶融不可 | |
| H-3 | 12.33年 | 100 | 600 | 16*4 | 0.06*3 | 1.9E+16 | 2.0E+16 | 溶融不可 | |
| Am-241 | 432.2年 | 2000200 | 7001200 | 3650*2 | 14.60*3 | 1.8E+14 | 1.5E+15 | 1.6E+12 | |
| Ra-226 | 1600年 | 2100 | 12100 | 44*2 | 0.17*3 | 3.9E+14 | 3.4E+14 | 2.9E+14 | |
| Am-241/Be | 432.2年 | 306 | 806 | 33*2 | 0.13*3 | 2.0E+14 | 3.0E+14 | 2.0E+14 | |
| Ra-226/Be | 1600年 | 50 | 550 | 14*2 | 0.06*3 | 2.0E+13 | 4.8E+13 | 4.8E+13 | |
| Cf-252 | 2.654年 | 400 | 900 | 3*2 | 0.01*3 | 3.3E+16 | 3.7E+17 | 3.7E+17 | |

注)1 ステンレス容器 (直径約120mm、高さ約500mm) の収納容量4リットルより、4×ステンレス容器本数から算出

*2 容量からステンレス容器 (直径約120mm、高さ約500mm) の収納容量4リットルを割ることにより算出

*3 遮へい体を含まない使用済み線源の容積である。

*4 遮へい厚さを鉄35cmとする観点から*2により算出した本数にプラス1した。

(集計結果は推定値であり、今後変動する可能性がある。)

(iv) 結果及び考察

使用済み線源に対し、処理方法としてセメント充てん、溶融 セメント充てんを設定してそれぞれの問題点を列挙した。

第3次中間報告では地下水シナリオについて検討されている。第3次中間報告の線量評価結果を用いると、H-3、Co-60、Cs-137、Am-241の4核種については、第3次中間報告の前提条件のもとに実施する地下水シナリオの評価では線量基準を満足すると考えられる。使用済み線源の中には短半減期のものがあり、管理期間を300年とすれば、第3次中間報告の結果から地下水シナリオの評価における線量基準を満足できるか不明であった Ir-192、Kr-85、Cf-252については、Kr-85については廃棄体容器に収納する線源の量を制限する以外には、第3次中間報告において除外されるレベルの廃棄物として考慮することができると考えられる。

しかし第3次中間報告では安全審査時に人間侵入シナリオが検討されるとしている。人間侵入シナリオでは廃棄物のホットスポットの問題があることが一般的に言われている。そこで使用済み線源の放射エネルギーと発生量のデータをもとに溶融処理をして線源の放射性物質濃度が均一になる場合とセメント充填処理により局部的に放射性物質濃度が高い容器が存在する場合について放射性物質濃度を試算した。その結果核種によっては地下水シナリオの場合に比べて約900倍高い濃度となる場合があることがわかった。安全評価シナリオとして

ボーリングコア観察などの人間侵入シナリオが設定される場合には、処分方法によっては地下水シナリオの場合と比べて高濃度の放射性物質と対峙する場合が有り得るため、今後の検討では問題となり得ると考えられる。

3.2 受入・検査設備他検討

3.2.1 廃棄体輸送形態設定

本項では 廃棄体輸送形態の設定を行う。

(1)前提条件

a. 廃棄体

| | 4.6m ³ 容器 | 1m ³ 容器 | ドラム缶ラック |
|--------|----------------------|--------------------|----------|
| 外寸法 | 1.3mL*1.3mW*4.6mH | 1.3mL*1.3mW*1.3mH | |
| 年間受入れ数 | 21 体 / 年 | 97 体 / 年 | 2ラック / 年 |

b. 線量基準

遮へい厚算定の基準は 以下のとおりとする。

・輸送基準(輸送容器に適用):輸送容器表面での線量率、2mSv/h

輸送容器表面から1mの距離での線量率 0.1mSv/h

(2) 必要遮へい厚

「3.1 廃棄体特性検討 3.1.2 廃棄体容器仕様の検討」の項で検討・設定された廃棄体容器仕様及び輸送容器仕様と同様とする。すなわち、廃棄体容器の遮へい厚さは 15cm(鉄)とし、輸送容器の遮へい厚さは 20cm(鉄)とする。

3.2.2 廃棄体特性対応の検討

設備設計の際に考慮すべき廃棄体特性について明確にする。

(1) 検討対象事象の抽出

発熱

廃棄体は主として Co-60 の放射能濃度に比例して発熱するため、受入・検査設備の空調設計にあたっては本発熱量を勘案して設定する必要がある。

ガス発生

廃棄体中に水等が存在すると(固型化材の混練水を含む)、主として Co-60 放射能濃度に応じて水素ガスを発生し、受入・検査設備中へと放出するため、水素ガス濃度をモニタリングするとともに、建屋内の水素ガス濃度が爆発限界に至らないように換気を行う必要がある。

(2) 廃棄体特性の検討

a. 発熱影響評価

放射化金属等の一部の廃棄体は放射エネルギーが大きく、受入・検査設備における空調容量設定のために発熱量の検討を行うこととする。

(a) 前提条件の設定

Co-60 の最大放射能濃度の廃棄体について発熱検討を行うことが保守的であるため「3.1 廃棄体特性検討 3.1.2 廃棄体容器仕様の検討」より、最大放射能濃度の廃棄体として「JNC ふげん」の操業廃棄物(Co-60 最大放射能濃度 $4.2E+15(\text{Bq}/\text{m}^3)$)を切上げた $5E+15(\text{Bq}/\text{m}^3)$ を本検討の対象とする。

(b) 廃棄体の発熱量の設定

Co-60 最大濃度: $5E+15(\text{Bq}/\text{ton})$

廃棄物重量: $1.17\text{ton} / \text{個}$

(容器容積 1m^3 、廃棄物充填率 15%、廃棄物密度 7.8 より)

$$\begin{aligned} \text{発熱量} &= 45.23(\text{W}/\text{ton}) \times 1.17(\text{ton} / \text{個}) \times (5E+15(\text{Bq}/\text{ton}) / 1E+14(\text{Bq}/\text{ton})) \\ &= 2.65(\text{kW} / \text{個}) \end{aligned}$$

(c) 受入・検査設備における発熱体の総量

ここでは上記の最大発熱量の廃棄体が受入・検査設備に同時に 10 体存在すると仮定する。この場合の受入・検査設備に収納されている廃棄体の総発熱量は 26.5kW であるが、設備の規模を考慮すると十分に小さく、空調容量への影響は小さいと考えられる。

また、発熱量はCo-60とともに半減するため、さらに発熱量が小さくなることが期待される。

b. ガス発生影響評価

大部分の RI・研究所等廃棄物は放射線分解ガス発生に対しては考慮が不要であるが、放射化金属等の一部の廃棄体は放射エネルギーが大きく、受入・検査設備における換気容量設定のために放射線分解ガス発生量の検討を行う。

1m³ 廃棄体の最大ガス発生量は約 8(m³/y)である。

ここでは上記の最大ガス発生量の廃棄体が受入・検査設備に同時に 10 体存在すると仮定する。この場合の受入・検査設備に収納されている廃棄体の総ガス発生量は約 80(m³/y)であり 1時間あたりに換算すると約 9(L/h)であるが、設備の規模を考慮すると十分に小さく、換気容量への影響は小さいと考えられる。

また、放射線分解ガス発生量は Co-60 とともに半減するため、さらにガス発生量が小さくなることが期待される。

(3)設備設計要件となる廃棄体特性の設定

以上の検討より、廃棄体特性の観点からの設備設計要件を以下に示す。

発熱

廃棄体の発熱量は 26.5kW として、空調設備容量を設定すること

ガス発生量

水素ガスが9(L/h)で発生するとして、十分に爆発限界に至らないような換気容量を設定すること

3.2.3 必要機能設定

(1)検査項目及び必要機能の検討

a. 検査項目設定検討

昨年度の検討では以下に示す考え方に基づいて、受入・検査設備において最低限実施すべき検査項目として「整理番号の確認」「外観検査」を挙げている。

検査項目については、現時点では余裕深度処分相当廃棄物処分に関する法令／指針等が明確に定まっていないために、確定していない。

そこで、国内で既に実施されている廃棄体確認検査方法を参考にすることとする。国内で実施されている廃棄体確認検査としては、原子力発電所LW廃棄物を対象としたものと返還ガラス固化体を対象としたものが挙げられる。

原子力発電所から発生する低レベル放射性廃棄物の埋設処分においては、廃棄体確認のためのデータ取得は原子力発電所で実施され、処分場の受入／検査建屋で実施されているのは必要最低限の検査項目（整理番号確認、外観検査）に過ぎない。

一方、返還ガラス固化体については、受入施設において実測可能な廃棄体特性（重量、発熱量、放射能濃度等）は再度確認検査を行っている。

したがって、余裕深度処分相当廃棄物においては、今後の法令／基準化次第では、返還ガラス固化体と同様に、内容物の特性把握（表面線量、放射能濃度、重量等）が必要とされる可能性がある。

ただし、余裕深度処分相当廃棄物はB型輸送物となるため、輸送前に収納物の詳細特性データの把握が必然となるため、廃棄体の特性に関わる項目は包含されると考えることが出来る。

したがって、ここでは現行の低レベル放射性廃棄物の処分と同様、必要最低限の検査項目（整理番号確認、外観検査）を想定する。

検査項目：整理番号、外観検査

しかしながら、低レベル放射性廃棄物検査以上の検査項目が規制側より要求された場合には、返還ガラス固化体の受入と同様の検査項目を要求されると考えられ、その場合には検査項目は次のようになると想定される。なお、返還ガラス固化体の受入では、表面汚染検査も行われているが、法令上は表面汚染検査の実施は規定されていないため、表面汚染検査については本検討では対象外とする。

- ・整理番号
- ・外観検査
- ・表面線量
- ・放射能濃度
- ・重量

ただし、放射能濃度については、表面線量の測定により妥当性を確認することも可能であるため、ここでは、表面線量で代表させることとした。

b. 必要機能の検討

(a)従来検討における必要機能の整理

H12 年度検討にて、検査項目を整理番号、外観検査に限定した場合に必要となる受入・検査設備の機能は以下のとおりである。

[輸送容器取扱い設備]

- ・輸送容器の受入 / 払出し
- ・輸送容器のハンドリング
- ・輸送容器に関するデータの採取

[廃棄体検査設備]

- ・廃棄体検査
- ・廃棄体のハンドリング
- ・廃棄体に関するデータの採取

[付帯設備]

- ・管理システム
- ・遮へい設備
- ・換気 / 空調設備 (建屋換気、空調)
- ・電機設備
- ・入退域設備
- ・監視設備 (放射線 汚染 排気 防災の監視)
- ・施設内廃棄物保管庫

(b)検査項目増加に伴う必要機器の抽出

・検査設備

検査項目として表面線量、放射能濃度及び重量測定が加わることで以下に示す検査機器が必要となる。

- ・表面線量検査装置
- ・放射能濃度検査装置
- ・重量測定器

・ハンドリング設備

廃棄体を整理番号確認 / 外観検査装置に取付けるためのハンドリング機器 (天井クレーン等) が既に存在するため、検査項目が増加しても他のハンドリング機器は必要ない。

・建屋

設置する検査装置が増加したことで受入・検査建屋内の検査室スペースの拡大が必

要である。

(c)機器仕様の検討

検査項目を増やすことに伴い増設する検査機器(表面線量検査装置、放射能濃度検査装置、重量測定器)は、他の検査装置(整理番号確認装置、外観検査装置)と同様に、以下の仕様を満足する必要がある。

- ・廃棄体形状への対応
- ・高線量対応
- ・遠隔補修機能

(2)その他必要と考えられる設備の機能検討

従来検討の前提以外の要件が課された場合を想定して、その際に必要となる設備の機能検討を行う。

a. 管理システム

受入れた廃棄体に関する検査項目データの管理を行うための設備が必要となる。

b. 換気・空調設備

受入・検査設備における換気・空調のための設備が必要となる。また、管理区域の換気・空調については他の区域と独立していることが必要である。

c. 電気設備

受入・検査設備における電源のための設備が必要となる。電気容量としてはハンドリング機器、検査機器、附帯設備等を勘案して設定する必要がある。

d. 入退域設備

受入・検査設備において作業を行う運転員のための入退域設備が必要となる。

e. 監視設備

廃棄モニタリング設備、屋外モニタリング設備(放射線監視)等の監視設備が必要となる。

f. 廃棄物処理設備

発生元(RI・研究所等)での廃棄物処理・固型化は小規模な事業者にとって困難なことが予想されるため、集中処理が実施される可能性がある。

集中処理設備を導入する場合には最低限、以下の設備が必要となる。

- ・廃棄物の移し替え機能
- ・固型化材充填機能

(3)廃棄体発生 of 年度展開に対してある程度変動を考慮した設備の検討

本年度検討では $1\text{m}^3 / 4.6\text{m}^3$ / ドラム缶形態での取扱い検討となるため、昨年度の検討を参考に受入・検査設備概念の見直しを行うとともに見直された案に基づいて処理速度を向上させるための方策を検討することで、廃棄体発生 of 年度展開 of 変動に対して裕度を持たせる。

a . 受入・検査設備概念 of 検討

今年度検討ではドラム缶以外に 1m^3 容器や 4.6m^3 容器 of 取扱いも考慮した際に、従来想定していた機器で対応可能であるか確認を行う。

以下では「 1m^3 容器 / ドラム缶」 of 場合と、「 $1\text{m}^3 / 4.6\text{m}^3$ / ドラム缶形態」 of 場合に分けて検討を行う。

(a)「 1m^3 容器 / ドラム缶」 of 場合

. 受入工程

1m^3 輸送カスクはドラム缶4本を収納したラック of 輸送容器と同形状であるため、受入工程における差は取扱重量のみである。このため、ハンドリング機器容量 of 見直しのみで、以下の2手法を採用することは可能である。

- ・ケース1:天井クレーンにて行う(2~3体 / 日 of 処理を十分可能)。
- ・ケース2:トレーラー of 走行と昇降機能により行う(処理速度はケース1より大きい)。

. 輸送容器一時貯蔵工程 (輸送容器一時貯蔵エリアへの定置)

輸送容器形態での取扱いとなるため、受入工程と同様に両者の差異はなく、ハンドリング機器容量 of 見直しのみで、以下の2手法を採用することは可能である。

- ・ケース1:天井クレーンにて行う(2~3体 / 日 of 処理を十分可能)。
- ・ケース2:台車にて行う(同上)。

. 廃棄体拔出し工程 (ドラム缶4本入り of 輸送容器からドラム缶 of 拔出し)

1m^3 容器 of 取扱いを考慮した場合には容量を増大された天井クレーンを用いるのが適切と考える。

- ・ケース1:天井クレーンを用いる(輸送容器2~3体 / 日程度 of 処理を十分可能)

. 廃棄体検査工程 (検査装置を通過することで一連 of 検査を行う)

廃棄体拔出し工程用 of 天井クレーンにて廃棄体を各検査機器に移動させるのが適切と考える。

- ・ケース1:天井クレーン (ドラム缶10数体 / 日程度 of 処理は十分可能)。

(b)「 $1\text{m}^3 / 4.6\text{m}^3$ / ドラム缶形態」 of 場合

・受入工程

4.6m³ 輸送容器総重量と年間取扱い量を勘案すると、専用の昇降機能付きトレーラーを開発・製作することにより天井クレーンの容量を増大させる方が合理的と考える。

・ケース1:天井クレーンにて行う(2~3体/日の処理を十分可能)。

・輸送容器一時貯蔵工程(輸送容器一時貯蔵エリアへの定置)

「1m³/ドラム缶形態」のケースと同様に、受入れ工程の天井クレーンと共用するか、台車の採用が可能である。取扱い容量は4.6m³輸送容器総重量相当とする必要がある。

・ケース1:天井クレーンにて行う(2~3体/日の処理を十分可能)。

・ケース2:台車にて行う(同上)。

・廃棄体拔出し工程(ドラム缶4本入りの輸送容器からドラム缶の拔出し)

「1m³/ドラム缶形態」のケースと同様に、ハンドリング機器は天井クレーンとなる。クレーン容量は4.6m³輸送容器総重量相当とする必要がある。

・ケース1:天井クレーンを用いる(輸送容器2~3体/日程度の処理を十分可能)

・廃棄体検査工程(検査装置を通過することで一連の検査を行う)

「1m³/ドラム缶形態」のケースと同様に、廃棄体拔出し工程用の天井クレーンにて廃棄体を各検査機器に移動させるのが適切と考える。

・ケース1:天井クレーン(ドラム缶10数体/日程度の処理は十分可能)。

b. 処理速度向上案

見直された案に基づいて処理速度を向上させるための方策を検討する。

処理速度の向上方法としては、以下の3通りが考えられる。

- ・検査機器の検査時間の短縮
- ・ハンドリング機器の高速化
- ・設備構成の合理化

本年度は設備構成の合理化の可能性について検討を行う

以下に、設備構成の合理化方策を示す。

廃棄体拔出しエリアのワンスルー配置

輸送容器から廃棄体拔出しに係るサイクルタイムを短縮するために、廃棄体の拔出しに関わる処理エリアを異なる工程を同時実施可能なワンスルーの配置とする。

設備系統の分離

輸送容器の受入・払出しの設備と、廃棄体抽出設備とは設備構成も分離して同時実施が可能なようにする。本方策においては、下記に示すとおり輸送容器受入れ・払出しの設備系統と廃棄体抽出の設備系統をそれぞれ独立して設置することにより、双方の設備を同時運転可能なように設備を構成するものである。

・輸送容器受入・払出しの設備系統

- 輸送容器受入・払出用クレーン 1基
- 輸送容器搬送用台車 1基

・廃棄体抽出の設備系統

- 輸送容器移載用クレーン 1基
- 輸送容器搬送用台車 1基

本方策により、輸送容器の受入・払出設備及び廃棄体抽出設備の双方とも年間操業日数どおりの運用が可能となる。

3.3 埋設処分場形態の検討

3.3.1 敷地条件

本研究においては、「低レベル放射性固体廃棄物の陸地処分の安全規制に関する基準値について(第3次中間報告)平成12年9月14日原子力安全委員会」(以下「第3次中間報告」といふ)に基づき、仮想的な敷地条件を設定する。

第3次中間報告には、「想定した対象廃棄物埋設の環境条件」として、以下のように記載されている。

埋設施設の設置深度 : 地表面から 50m ~ 100m 程度

遅い地下水流速による核種移行

- ・ 地下水流速 : 0.001m/d
- ・ 移行距離 : 200m

比較的遅い地下水流速による核種移行

- ・ 地下水流速 : 0.01m/d
- ・ 移行距離 : 300m

核種が流入する比較的小規模な河川と河川敷 : 年流量 1億 m³

地質は難透水性(粘土・岩)

粘土・岩の力学特性

第3次中間報告には、埋設施設の地下空間規模を決定するための粘土・岩の力学特性が記載されていない。そこで、本検討では、平成12年度に実施した「一般的地下利用に十分余裕を持った深度の処分場概念の検討 核燃料サイクル開発機構」報告書(以下「平成12年度報告書」といふ)に基づき、埋設施設を設置する位置の粘土・岩の力学特性を、地質等級 D1 相当と想定する。同報告書によれば、地質等級 D1 相当の岩盤における地下空洞/トンネルの施工実績として、第2東名清水第3トンネルの事例を挙げ、約 20m スパンの地下空洞規模が実現可能としている。

3.3.2 廃棄体特性に応じた施設形態検討

(1) 施設形状の設定

第3次中間報告においては、海外の処分施設及び我が国の地下施設を参考に、「トンネル型あるいはサイロ型のような地下空洞の内部に鉄筋コンクリート構造体を設け、その内部に対象廃棄物の廃棄体を定置した後、廃棄体の間には充填材を詰めて埋め戻すことが考えられる。」と記載されている。

本検討においても、第3次中間報告と同様、トンネル型施設とサイロ型施設の双方を検討対象とし、概念設計を進めることとする。

(2) 埋設施設形態の設定

本検討においては、以下に示す理由により、コンクリートピット型施設を埋設施設形態の検討対象として設定する。

本検討で対象とする廃棄体は、表面線量率が高く(500mSv/h程度)、遮へいなしに人間が直接廃棄体に近づくことは困難である。

一方、コンクリートピット型施設では、廃棄体定置前にコンクリートピットの施工を行うことから、表面線量率が高い廃棄体からの影響を回避することができるため、本検討で対象とする廃棄体でも、施工を円滑に行うことができる。

(3) 人工バリア構成の検討

本検討の対象廃棄体は、放射能濃度が高く、表面線量率も高い廃棄体である。

そこで、人工バリアには以下の二つの機能が要求される。

放射性物質の移行抑制機能に対応する人工バリア

移行抑制機能については、低拡散バリアと低透水バリアにて担うものとする。

放射線防護機能(遮へい機能)に対応する人工バリア

廃棄体容器、コンクリートピット及び低拡散バリアにて放射線防護機能を担うものとし、

新たな人工バリアは設置しない。

上記、人工バリアの厚さ等については、次節にて検討する。

3.3.3 施設構造の検討

(1) 操業形態の検討

廃棄物埋設地における操業形態について、低レベル放射性廃棄物埋設施設の例を参考に検討する。

本検討では、コンクリートピット型施設を対象としているため、操業(廃棄体構内輸送～覆いの施工)の流れは、トンネル方施設モリス方施設とも、低レベル放射性廃棄物埋設施設の操業の流れと同じになる。

図 3.3.3-1 に処分空洞の建設と操業のブロックフローを示す。

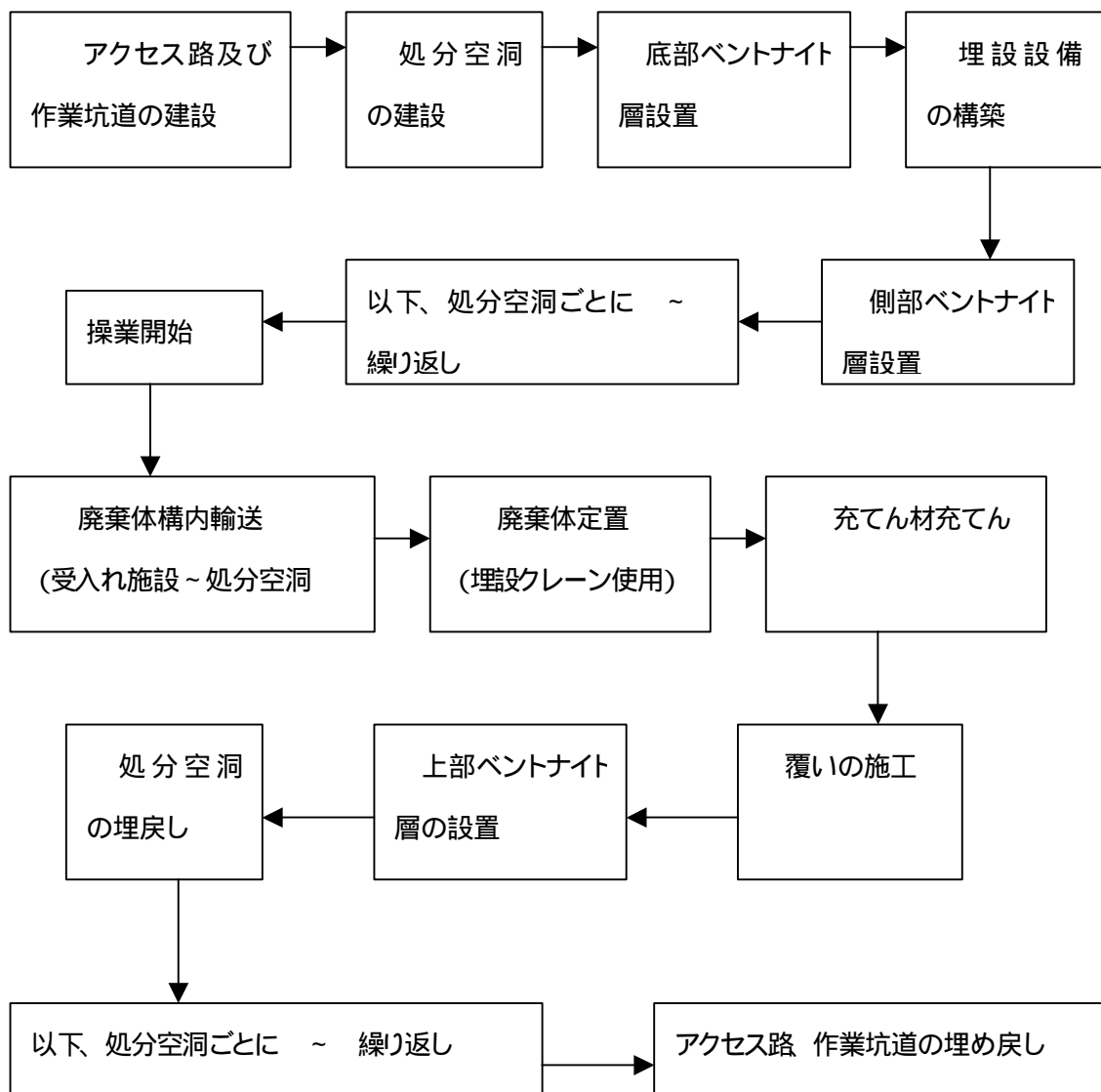


図 3.3.3-1 処分空洞の建設と操業のブロックフロー

(2) 埋設施設の施設構造の検討

() トンネル型施設

(a) 廃棄体定置方法

定置精度等を考慮した各部の寸法は以下のとおりである。

1m³ 容器廃棄体どうしの離れ(トラニオンがある場合) : 390(mm)

1m³ 容器廃棄体どうしの離れ(トラニオンがない場合) : 150(mm)

1m³ 容器廃棄体と壁の離れ(トラニオンがある場合) : 220(mm)

1m³ 容器廃棄体と壁の離れ(トラニオンがない場合) : 100(mm)

1m³ 容器廃棄体と壁の離れ(充てん材の層の部分) : 1,100(mm)

(b) コンクリートピット寸法の検討

本検討では、遮へい設計の厚さを最大部材厚さとして採用する。

コンクリートピット底版 : 1.0m と設定する。

コンクリートピットの側壁 : 1.0m と設定する。

内部仕切り設備 : 1.0m と設定する。

覆い及び仮蓋 : 1.0m と設定する。

(c) 人工バリア形状の検討

人工バリアの厚さを以下のように設定する。

ベントナイト層 : ベントナイト層の厚さ 2.0m を基本とする。

低拡散層(充てん材の層) : 低拡散性を考慮して 1.0m と仮定する。

(d) 処分空洞形状の検討

本検討では、我が国における施工実績(第2東名清水第3トンネル)に基づき、三心円型トンネルを処分空洞に採用する。

(e) 埋設施設概念検討

上記(a)~(d)に基づき、処分空洞内にコンクリートピット及び人工バリアの配置検討を行う。

・ 処分空洞断面の設定

検討結果として、トンネル型施設の断面図を図 3.3.3-2 に示す。

図 3.3.3-2 によれば、第2東名清水第3トンネルと同様の最大スパン(約 17m)では、4行×3段の廃棄体を定置できる。しかし、最大スパンを約 18m にすれば、4行×4段の廃棄体が定置でき、収納効率が一段と高くなる。

本検討では、収納効率が大きい最大スパン 18m 施設を採用する。

したがって、コンクリートピットの内部断面形状は、幅 8.57m × 高さ 7.2m となる。

． コンクリートピット長手方向の設定

本検討では、経済性には劣るものの、その他の利点を優先し、 1m^3 容器廃棄体 3 体分を仕切りの単位(区画の単位)と考える。

したがって、コンクリートピットの1区画の内部寸法は、幅 8.57m × 長さ 6.4m × 高さ 7.2m となる。また、 1m^3 容器廃棄体 2,949 体を収納するためには、62基のコンクリートピットが必要になる。

トンネル型施設におけるコンクリートピットの配置平面図を図 3.3.3-3 に示す。

． 処分空洞の長さの設定

処分空洞として必要な長さは、必要なコンクリートピット数が62基であるため、523.8m となる。

処分空洞は複数の処分空洞に分割するのが望ましい。そこで、1本の処分空洞には、全体の半分(31基)のコンクリートピットが設置されるものとする。処分空洞の長さは 294.4m となる。

． 離間距離の検討

本検討では、空洞安定性の観点から、類似の地下空洞施設(地下石油備蓄タンク)に関する指針・基準を参考に離間距離を約 28m(処分空洞直径の約 1.5 倍)と設定する。

． 処分空洞の配置検討

配置平面図を図 3.3.3-4 に示す。

． 1m^3 容器と 4.6m^3 容器の比較

参考として、 1m^3 容器を埋設する場合と 4.6m^3 容器を埋設する場合のトンネル型施設の施設形状について、下表に示す。

参考 1m³容器と4.6m³容器の比較表

| 項目 | 1m ³ 容器 | 4.6m ³ 容器 | 備考 |
|--------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| 廃棄体発生量 | 2,949 体 | 642 体 | |
| 必要区画数 | 62 区画 | 41 区画 | |
| 1区画寸法 | 幅 8.57m 長さ 6.4m 高さ 7.2m | 幅 8.57m 長さ 7.1m 高さ 7.2m | |
| トンネル延長 | 523.8m | 397.1m | 1本の処分空洞とする場合の長さ |

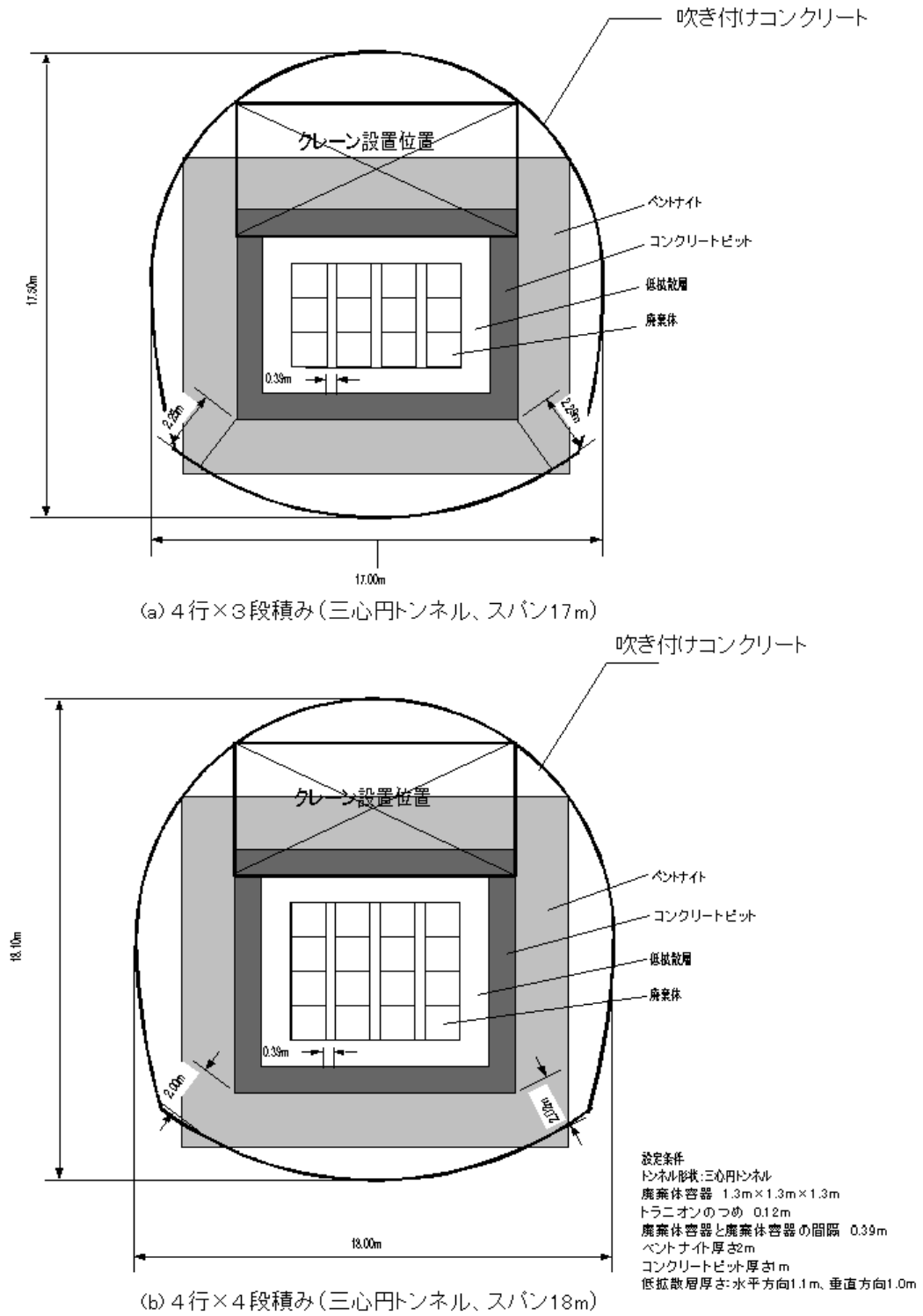


図 3.3.3-2 トンネル型施設の断面図

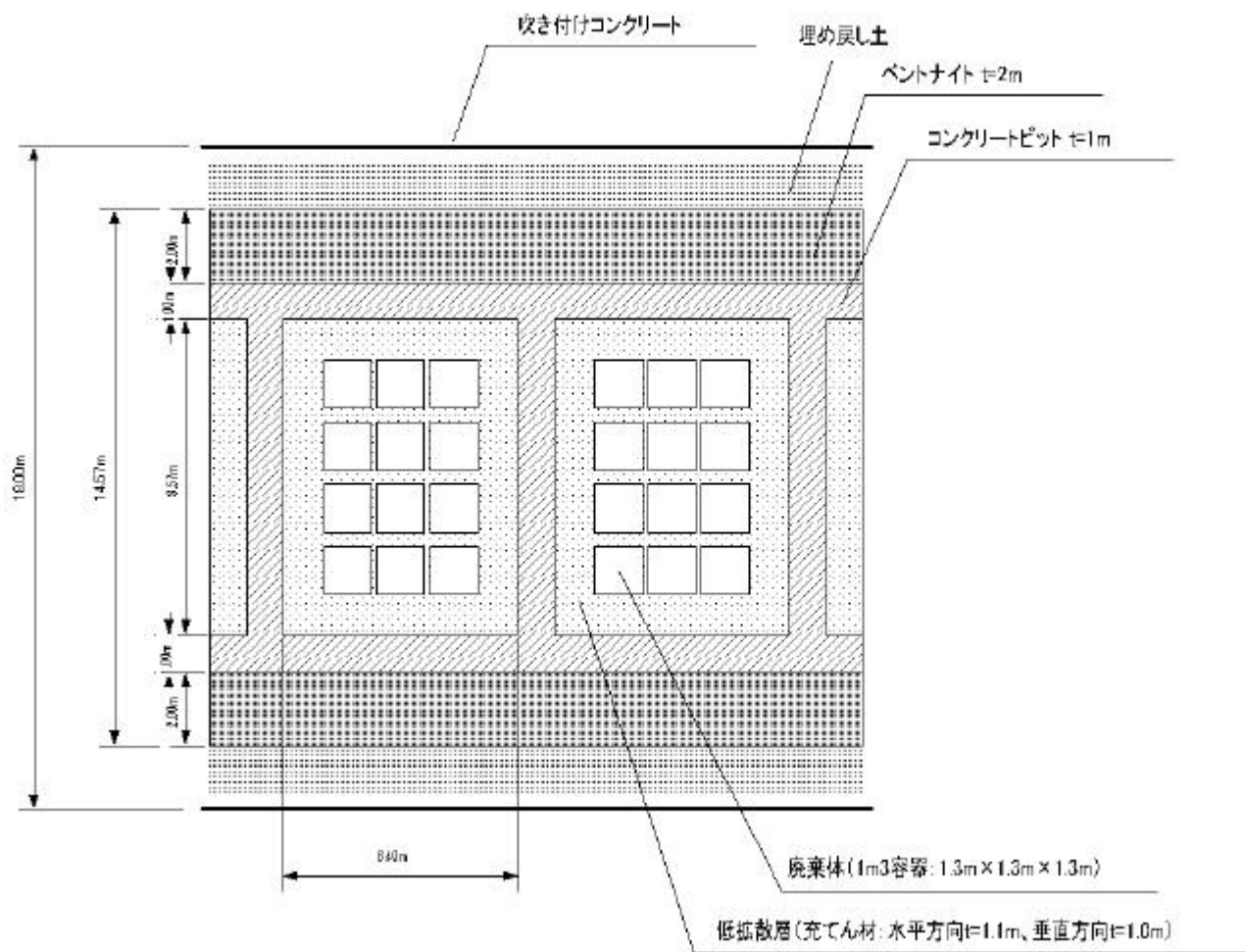


図 3.3.3-3 コンクリートピットの配置平面図

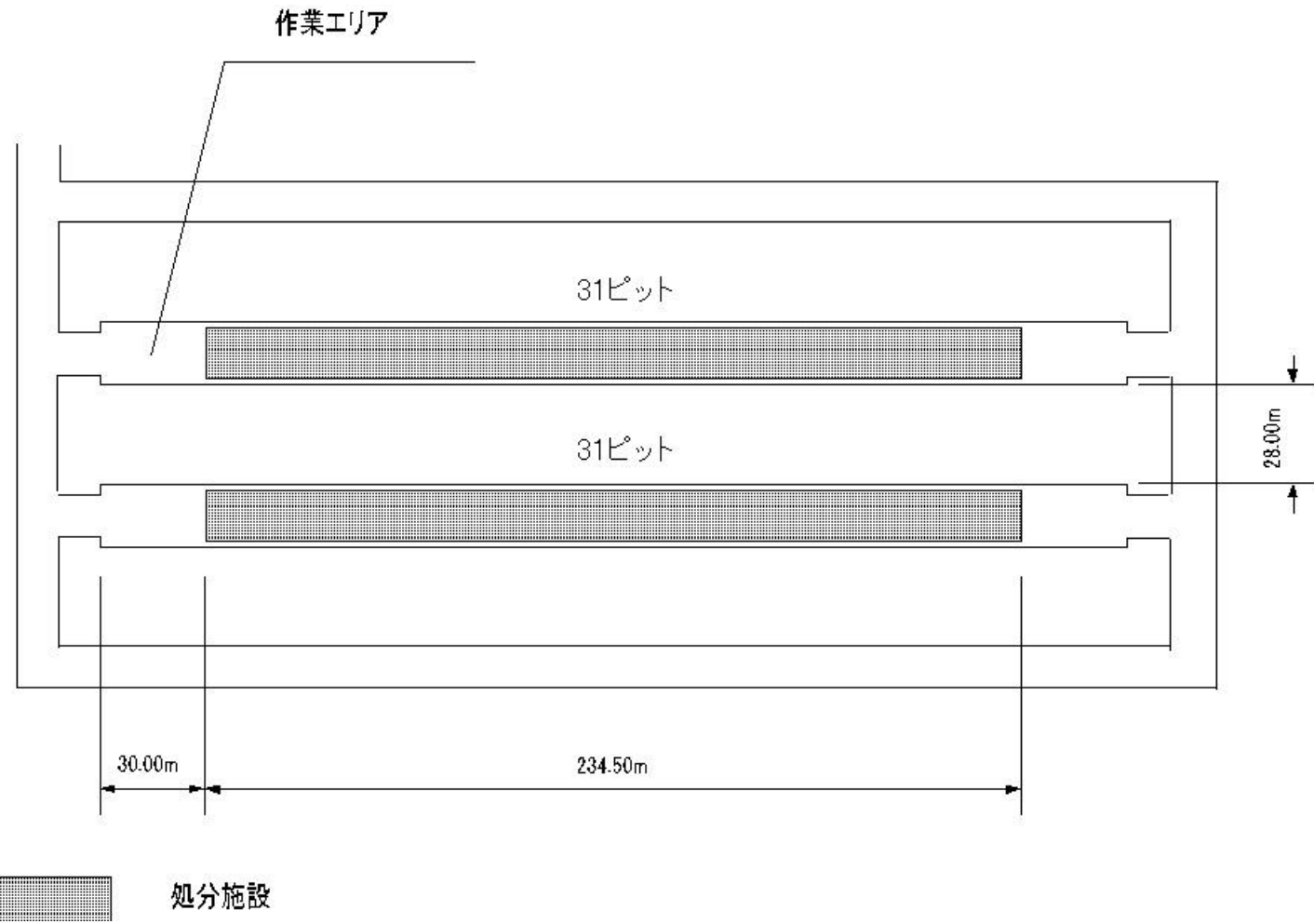


図 3.3.3-4 トンネル型施設の配置平面図

() サイロ型施設

本検討においては、開削サイロ型施設について検討を進める。

(a) 廃棄体定置方法

廃棄体定置方法は、トンネル型施設と同様とする。

(b) コンクリートピット寸法の検討

トンネル型施設と同じコンクリートピットとする。したがって、1区画の内部寸法は、幅 8.57m × 長さ 6.4m × 高さ 7.2m とする。

(c) 人工バリア形状の検討

人工バリアの厚さもトンネル型施設と同様とする。したがって、ベントナイト層の厚さを 2.0m、低拡散バリアの厚さを 1.0m とする。

(d) 人工バリアの設置深度

第3次中間報告では、埋設施設の設置深度を 50m ~ 100m としている。そこで、開削サイロ型施設においては、人工バリアの上面、すなわち、ベントナイト層の上面を GL-50m とする。

(e) 埋設施設の概念検討

上記(a) ~ (d)の基づき、開削サイロ型施設の概念検討を行う。

・ コンクリートピットの段数の設定

必要なコンクリートピット数が62期である等を考慮して、コンクリートピットの段数を4段(とする。これにより、コンクリートピットの高さは 33.8m となる。

・ コンクリートピットの配置と開削サイロの直径

コンクリートピットの配置検討結果(開削サイロ平面図)を図 3.3.3-5 に、開削サイロの断面図を図 3.3.3-6 に示す。

図 3.3.3-6 に示すように、コンクリートピットを十字型に配置することにより、開削サイロの直径は内巻きコンクリートの内部で 55.0m となる。

コンクリートピットの寸法は、以下のとおりである。

- ・ 縦(6区画) $6.4 \times 6 + 1.0 \times 7 = 45.4(\text{m})$ 49.4m(ベントナイト層含む)
- ・ 横(4区画) $8.57 \times 4 + 1.0 \times 5 = 39.28(\text{m})$ 43.28m(ベントナイト層含む)
- ・ 最大寸法(ベントナイト層含む) = 54.98m < 55.0m

・ 開削サイロの配置

上記のように、直径 55m の開削サイロ1基で、全ての廃棄体を収納できる。

． 1m³ 容器と 4.6m³ 容器の比較

参考として、1m³ 容器を埋設する場合と 4.6m³ 容器を埋設する場合の開削サイロ型施設の施設形状について、下表に示す。

参考 1m³ 容器と 4.6m³ 容器の比較表

| 項目 | 1m ³ 容器 | 4.6m ³ 容器 | 備考 |
|---------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| 廃棄体発生量 | 2,949 体 | 642 体 | |
| 必要区画数 | 62 区画 | 41 区画 | |
| 1区画寸法 | 幅 8.57m 長さ 6.4m 高さ 7.2m | 幅 8.57m 長さ 7.1m 高さ 7.2m | |
| 開削サイロ寸法 | 直径 55.0m 16 区画 × 4 段 | 直径 55.6m 14 区画 × 3 段 | 全ての廃棄体を開削サイロ1基に収納する場合 |

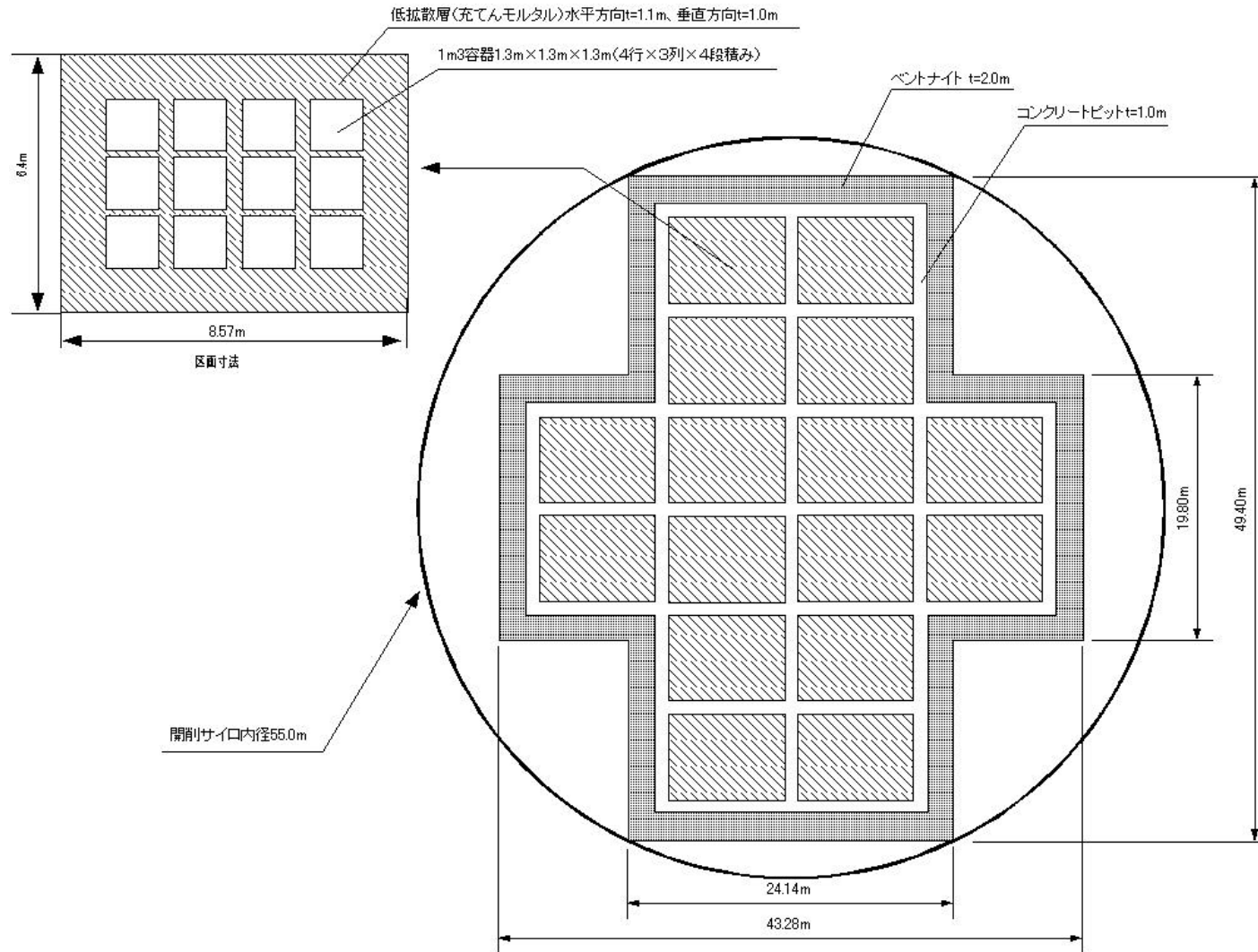


図 3.3.3-5 平面図(開削サイロ方式)

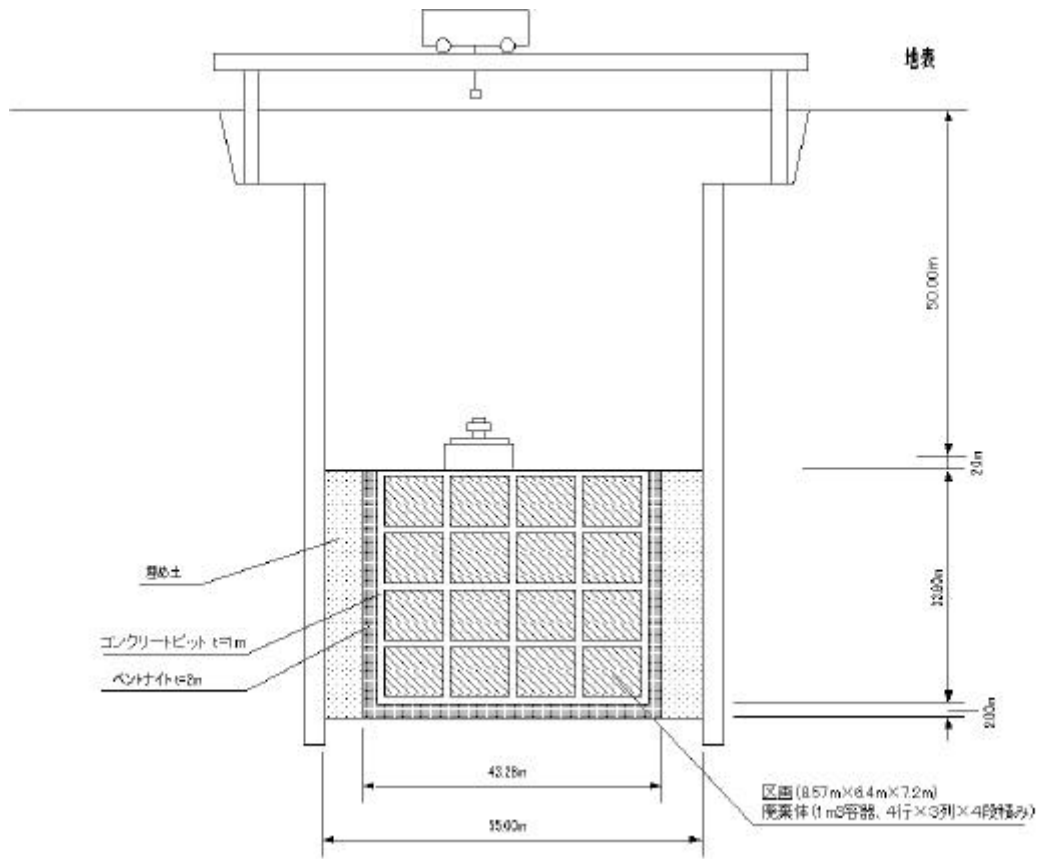


図 3.3.3-6 断面図(開削サイロ方式)

3.3.4 浸透水量の検討

(1) 目的

本節では、廃棄体層を通過する地下水は必ずベントナイトを通ると考え、ベントナイトの内周を通過する地下水流量を浸透水量とし、3.3.1～3.3.3までの検討の結果だされたトンネル型施設と開削サイロ方式の2種類の施設に対し浸透水量を設定する。

(2) 検討条件

浸透水量を設定するのに必要な、天然バリア条件、人工バリア条件を表 3.3.4-1に示す様に設定した。設定理由は以下の通りである。

- ・ 岩盤の透水係数：第3次中間報告の地下水実流速 0.01m/d を設定した時の岩盤の透水係数
- ・ 動水勾配：第3次中間報告の地下水実流速 0.01m/d を設定した時の動水勾配
- ・ ベントナイトの透水係数：70%ベントナイト配合の場合の透水係数として $1e-12m/s$ を設定し、Ca化とベントナイトの施工時のばらつきをそれぞれ1オーダーずつ考慮し $1e-10m/s$ とした。
- ・ セメント系材料の透水係数：ひび割れの制御が困難であることから砂程度の透水係数として設定した。

表 3.3.4-1 基本ケース設定条件一覧表

| パラメータ | 設定値 | 備考 |
|--------------|--------------------|---|
| 地下水流向 | 施設形態、解析ケースにより設定する。 | |
| 岩盤の透水係数 | $1e-7m/s$ | 固定条件 |
| 動水勾配 | 1% | 固定条件 |
| 施設形状、大きさ | 対象施設形態により設定 | |
| ベントナイトの透水係数 | $1e-10m/s$ | 解析ケースによって変動 変動幅: $1e-11m/s \sim 1e-9m/s$ |
| セメント系材料の透水係数 | $1e-5m/s$ | 固定条件 |
| ベントナイトの厚さ | 2m | 解析ケースによって変動 変動幅: 1m, 2m |

(3) 浸透水量の設定

(i) トンネル型施設

(a) 解析モデル

廃棄体の外周における断面の大きさの長辺である 6.37m を保守側に 6.5m とし、トンネルの断面の大きさが 6.5m × 6.5m の施設をモデル化した。解析モデル図を図 3.3.4-1 に示す。地下水の流動方向として、トンネルの長手方向に平行な方向を設定し、ベントナイトの厚さが 1m と 2m、ベントナイトの透水係数については $1e-11\text{m/s}$ ~ $1e-9\text{m/s}$ の範囲を 1 オーダずつふった解析を実施した。

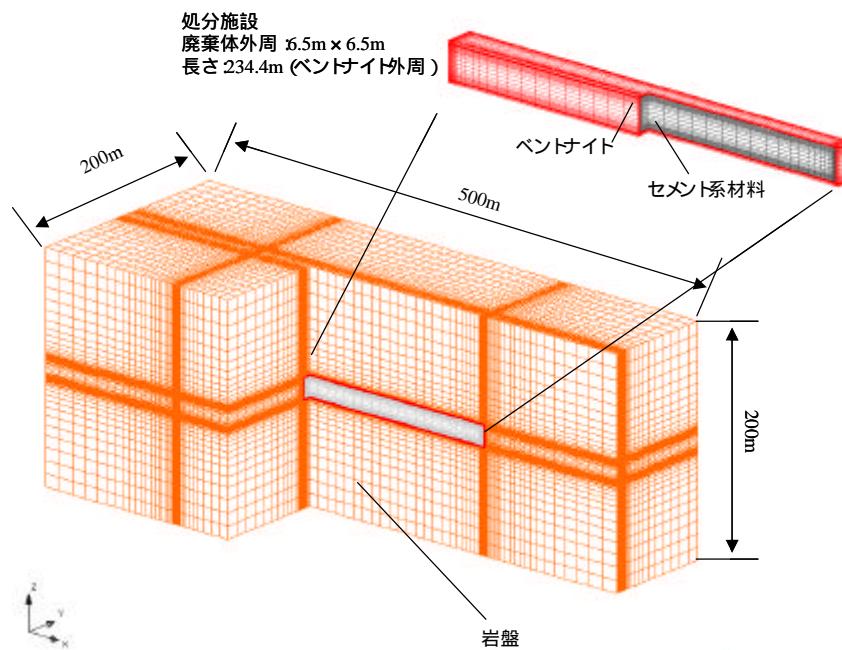


図 3.3.4-1 解析モデル図 (トンネル型施設)

(b) 解析ケース

解析ケースの一覧表を表 3.3.4-2 に示す。岩盤の透水係数、動水勾配については、表 3.3.4-1 に示す値を設定した。

表 3.3.4-2 解析ケースの一覧表(トンネル型施設)

| ケース | 地下水流向 | ベントナイト | | 浸透水量(m ³ /y) | 備考 |
|------|-----------------|--------|-----------|-------------------------|-------|
| | | 厚さ(m) | 透水係数(m/s) | | |
| ケース2 | トンネルの掘削方向に平行 | 2 | 1e-10 | 7.2E+0 | 基本ケース |
| 参考1 | トンネルの掘削方向に対し45° | | | 5.2E+0 | 参考 |
| 参考2 | トンネルの掘削方向に対し垂直 | | | 1.6E+0 | 参考 |
| ケース1 | トンネルの掘削方向に平行 | 2 | 1e-9 | 6.2E+1 | 基本ケース |
| ケース2 | | | 1e-10 | 7.2E+0 | |
| ケース3 | | | 1e-11 | 7.4E-1 | |
| ケース4 | | 1 | 1e-9 | 1.0E+2 | |
| ケース5 | | | 1e-10 | 1.4E+1 | |
| ケース6 | | | 1e-11 | 1.4E+0 | |

(c) 結果及び考察

浸透水量の結果を表 3.3.4-1に併記する。図 3.3.4-2、図 3.3.4-3にトンネルの長手方向に平行でトンネルの中心を通る断面における全水頭コンタ図と流速ベクトル図を示す。全水頭コンタ図を見ると、セメント系材料の部分では全水頭コンタが粗であり、セメント系材料は流れの抵抗となっていないことがわかる。ベントナイト中の全水頭コンタはトンネルの端の部分に近づくに従い密になる。流速ベクトルからは、施設の上流側半分では地下水が施設内へ流入し、施設の下流側半分では施設から外側に流出する結果となっている。

トンネル型施設の解析結果では、ベントナイトの透水係数が 1/10 となれば、浸透水量も約 10 倍となり、ベントナイトの厚さが 2m から 1m になった場合には浸透水量は約 2 倍の変化となる。表 3.3.4-2に併記した浸透水量の結果を後の安全評価で設定する。

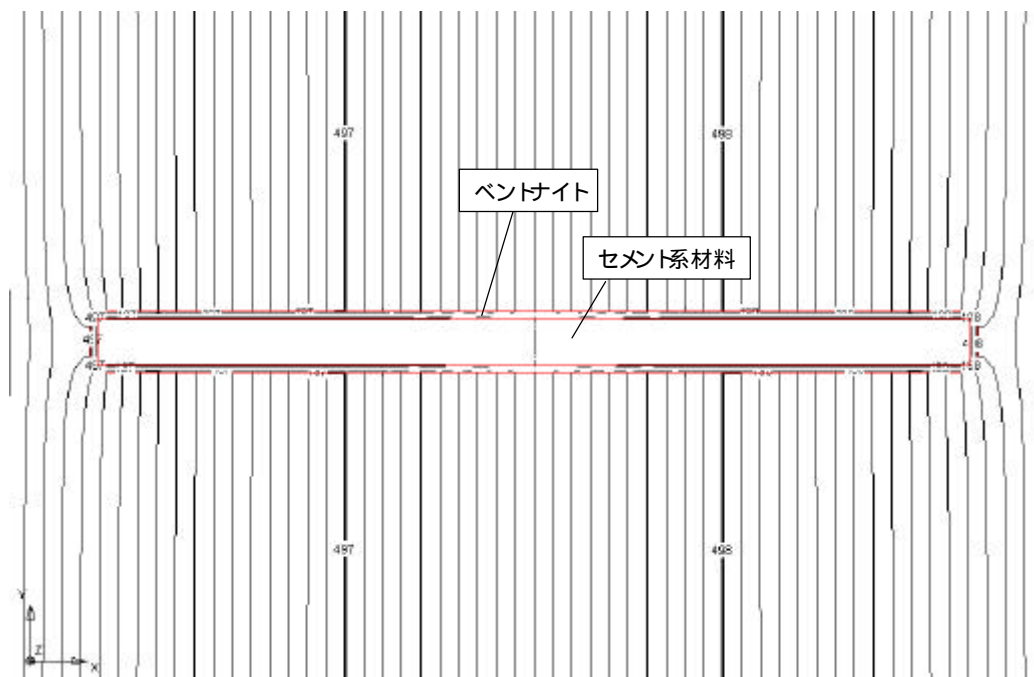


図 3.3.4-2 全水頭コンタ図 (ケース2 ; トンネルの中心を通る垂直断面)

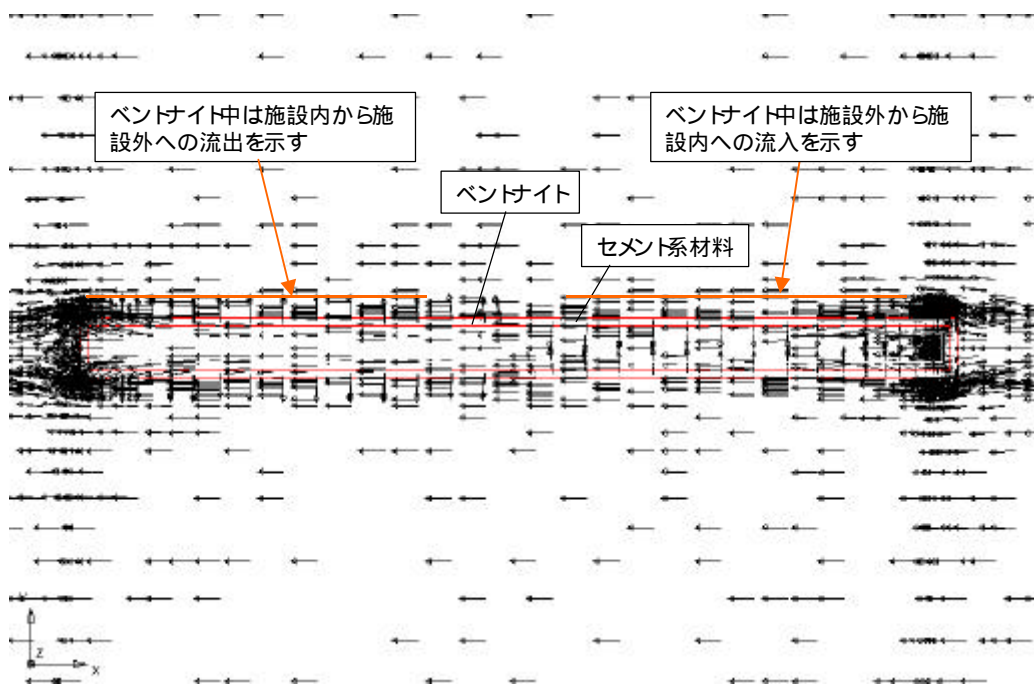


図 3.3.4-3 流速ベクトル図 (ケース2 ; トンネルの中心を通る垂直断面)

(ii) 開削サイロ方式

(a) 解析モデル

3.3.1～3.3.3 までの検討結果をもとに、ベントナイトの外周より内側をモデル化した。

図 3.3.4-4に解析モデル図を示す。

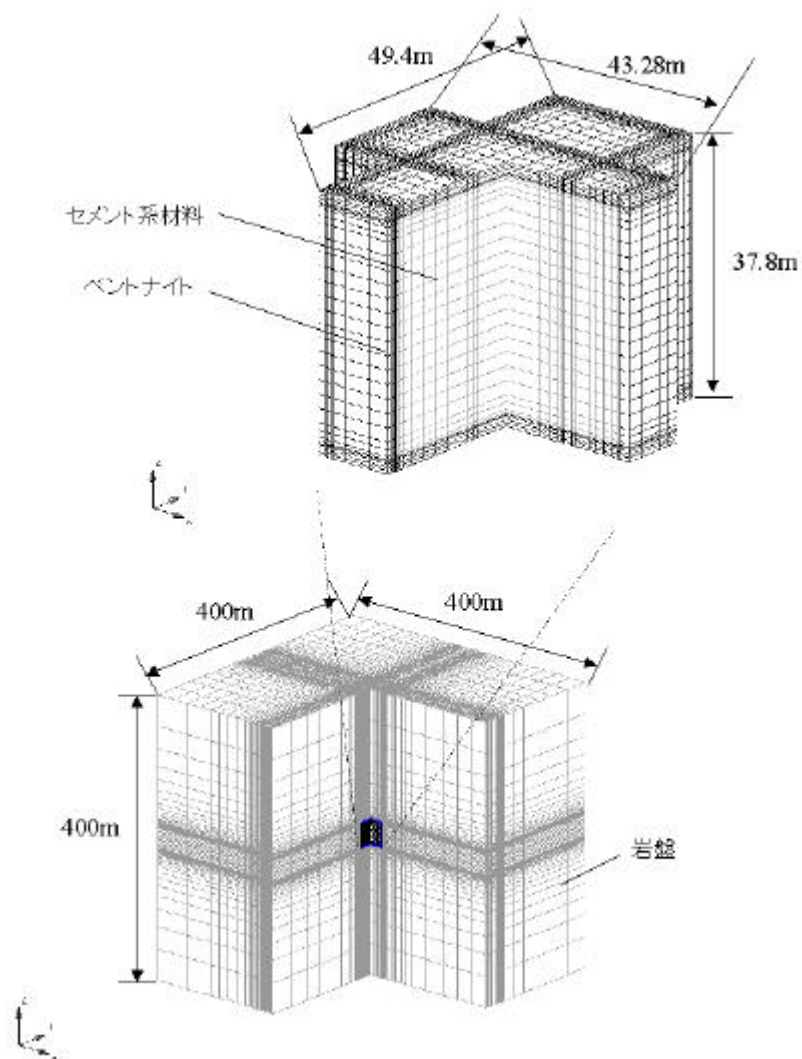


図 3.3.4-4 解析モデル図（開削サイロ）

注) 解析モデル内の原点は、解析モデルの中心である。

(b) 解析ケース

解析で使用する地下水の流動方向は、図 3.3.4-5に示す4種類の地下水の流向を設定し、浸透水量が最も増える地下水の流動方向を設定した。結果として地下水の流向は図 3.3.4-5中の(c)のY軸に平行な流向が最も保守側の浸透水量を与えることがわかったため、開削サイロ方式の施設の浸透水量の設定ではY軸に平行な方向に地下水の流動方向を設定した。

本解析ではトンネル型施設と同じくベンとナイトの厚さを1m,2m、ベントナイトの透水係数を1E-11m/s~1E-9m/sに降ったケースを実施した。

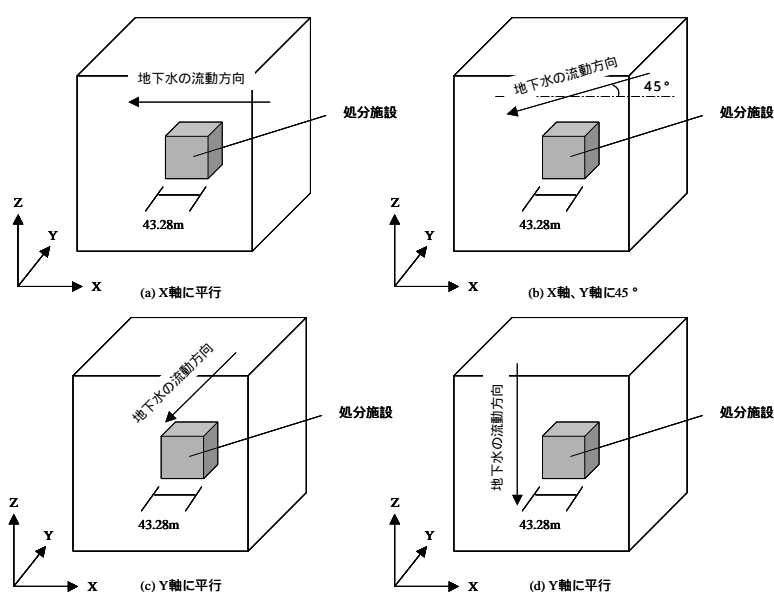


図 3.3.4-5 概略図(地下水の流動方向)

表 3.3.4-3 解析ケース一覧表(開削サイロ)

| ケース | 地下水流向 | ベントナイト | | 浸透水量(m ³ /y) | 備考 |
|-------|-----------|--------|-----------|-------------------------|-------|
| | | 厚さ(m) | 透水係数(m/s) | | |
| ケース1 | X軸に平行 | 2 | 1e-10 | 1.23 | |
| ケース2 | X軸、Y軸に45° | | | 1.22 | |
| ケース3 | Y軸に平行 | | | 1.26 | 基本ケース |
| ケース4 | Z軸に平行 | | | 1.14 | |
| ケース6 | Y軸に平行 | 2 | 1e-11 | 0.13 | |
| ケース3 | | | 1e-10 | 1.26 | 基本ケース |
| ケース7 | | | 1e-9 | 11.80 | |
| ケース8 | | 1 | 1e-11 | 0.24 | |
| ケース9 | | | 1e-10 | 2.36 | |
| ケース10 | | | 1e-9 | 20.70 | |

(c) 結果及び考察

図 3.3.4-6に施設の中心を通る水平断面における全水頭コンタ図、図 3.3.4-7に同じ断面における流速ベクトル図を示す。また浸透水量の結果を表 3.3.4-3に併記した。

開削サイロの場合もトンネル型施設と同じく、

- ・ セメント系材料は、流れの抵抗となっていないために、全水頭コンタは粗となっている。
- ・ ベントナイト中の全水頭コンタは、施設の端に近づくにつれて密になっている。
- ・ ベントナイト中の流速ベクトルの向きは、施設の上流側半分で施設外から施設内へ流入する方向を示し、施設の下流側半分では施設内から施設外へ流出する方向を示す。

の傾向があり、ベントナイトの厚さが半分となると浸透水量へは約2倍、ベントナイトの透水係数が1オーダー大きくなると、浸透水量へは約10倍の影響がある。浸透水量の結果は、後の安全評価で用いる。

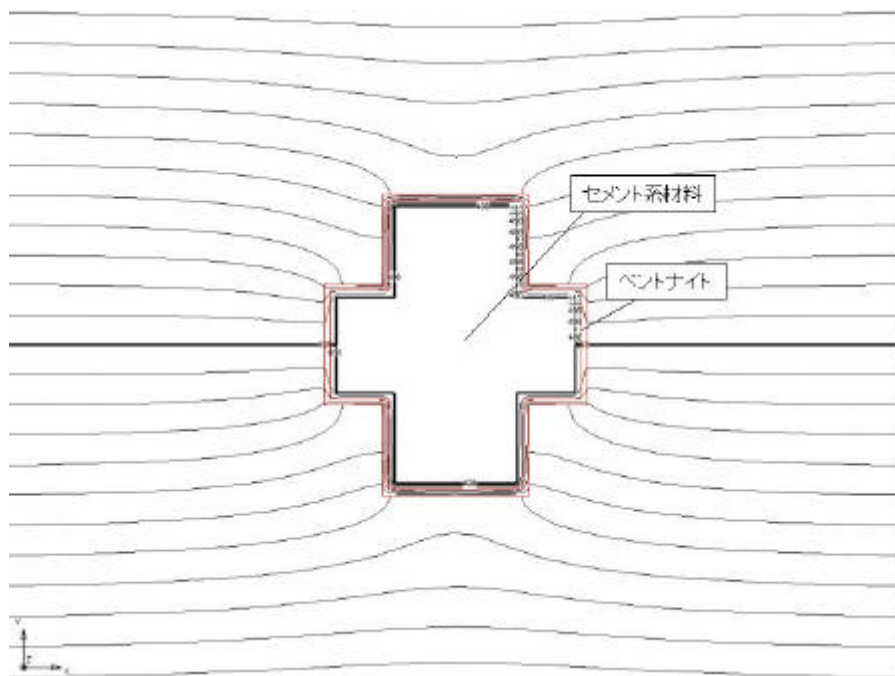


図 3.3.4-6 全水頭コンタ図 (ケース2 ; 施設の中心を通る水平断面)

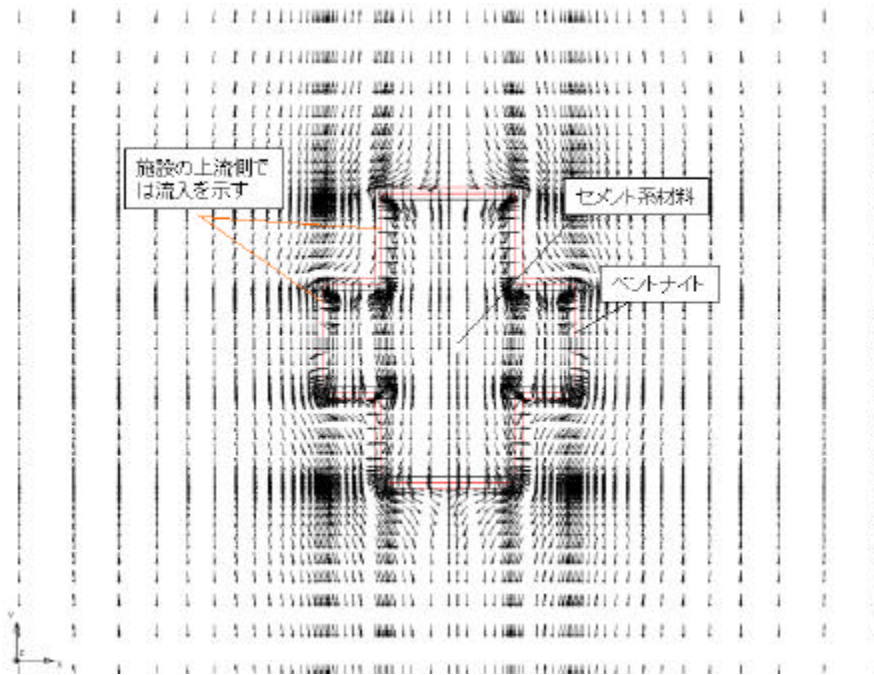


図 3.3.4-7 流速ベクトル図（ケース 2；施設の中心を通る水平断面）

3.3.5 必要設備の検討

(1) 必要機器の検討

地上の受入れ施設から廃棄体定置設備まで廃棄体輸送、及び廃棄体定置について機器概念を以下に検討する。

a. トンネル型施設の必要機器

(a) 構内輸送設備

適用される可能性のある輸送方法としては、以下の2つの方法に大別される。

斜坑を用いる輸送方法

立坑を用いる輸送方法

上記方法を踏まえ、適用が想定される輸送方法を表 3.3.5-1 に示す。

. 廃棄体の構内輸送形態

廃棄体は運搬用遮へい容器に収納する。

運搬用遮へい容器の遮へい厚さを、廃棄体輸送容器と同等の厚さ(20cm程度)とすると、運搬物(廃棄体+運搬用遮へい容器)の重量は 4.6m^3 廃棄体の場合で150ton程度になるものと想定される。

運搬用遮へい容器の共用化を踏まえると、運搬用遮へい容器には 1m^3 廃棄体を3体収納し輸送する形態が合理的と考える。

したがって、廃棄体の構内輸送形態及び運搬用遮へい容器の概要は以下のようになる。

構内輸送設備(ヤードキャリア)の概念を図 3.3.5-1 に示す。

廃棄体収納数

- ・ 1m^3 廃棄体は 3 体収納(重量約 $17\text{ton} \times 3 \text{体} = 51\text{ton}$)
- ・ 4.6m^3 廃棄体は 1 体収納(重量約 64ton)

運搬用遮へい容器

- ・ 容器外寸: 約 $2\text{mW} \times 5.6\text{mL} \times 2\text{mH}$
- ・ 重量 : 約 150ton(4.6m^3 廃棄体 64ton 含む)

表 3.3.5-1 適用が想定される輸送方法(トンネル型施設 構内輸送設備)

| 輸送方法 | 輸送方式 | 汎用技術の適用性 | 勾配等の制約 | 経済性 | 落下等の安全性 |
|----------|---------------------------------|--|--|---|--|
| 斜坑を用いる方法 | 軌道車輛による輸送 (ラック式及び非ラック式がある。) | <ul style="list-style-type: none"> ・軌道は保守頻度が比較的高いが、実績も多く有り信頼性に問題はない ・ラックは外力により破損しやすいため、信頼性は幾分劣る。 | <ul style="list-style-type: none"> ・軌道との粘着の関係から 10% 勾配が限度である。(ただし、ラック式となる。) | <ul style="list-style-type: none"> ・軌道及びラック、並びに架線及び電気設備(電気駆動の場合)の敷設する必要がある。 | <ul style="list-style-type: none"> ・車輛の脱線での廃棄体落下が考えられる。 ・廃棄体の積載位置が 2m 以下のため、廃棄体の損傷に至らない。 |
| | タイヤ自走車輛による輸送 (ヤードキャリア) | <ul style="list-style-type: none"> ・油圧機構に対し整備等の定期保守が必要であるが、修理の頻度は低いことより信頼性に問題はない。 | <ul style="list-style-type: none"> ・積載重量、速度が関係するため限定できないが、実績的には積載重量が大きい(150ton 程度)場合でも 12% 程度の勾配まで対応可能である | <ul style="list-style-type: none"> ・車輛以外の付帯設備が不要で、市販仕様車で適用可能である。 | <ul style="list-style-type: none"> ・車輛の暴走での廃棄体落下が考えられる。 ・廃棄体の積載位置が 2m 以下のため、廃棄体の損傷に至らない。 |
| 立坑を用いる方法 | 巻上機等による直接輸送 (クレーン方式) | <ul style="list-style-type: none"> ・一般産業において実績ある技術が適用可能であり信頼性に問題はない。 | | <ul style="list-style-type: none"> ・地上施設並びに地下施設において、廃棄体の受け渡しを行う搬送設備を必要とする。 | <ul style="list-style-type: none"> ・巻上ワイヤロープの切断による落下が考えられる。 ・廃棄体の落下防止策は、巻上ワイヤロープの多重化のみを考慮すると、立坑の高さは万一の廃棄体落下に対し許容できる高さとする必要がある。 |
| | 廃棄体を機器に載せ巻上機等による輸送 (エレベータ方式) | | × | <ul style="list-style-type: none"> ・油圧式エレベータの最大積載実績は 50ton 程度で、昇降工程は 30m 程度である。 ・ロープ式エレベータは最大積載実績で 30ton 程度である。 | × |

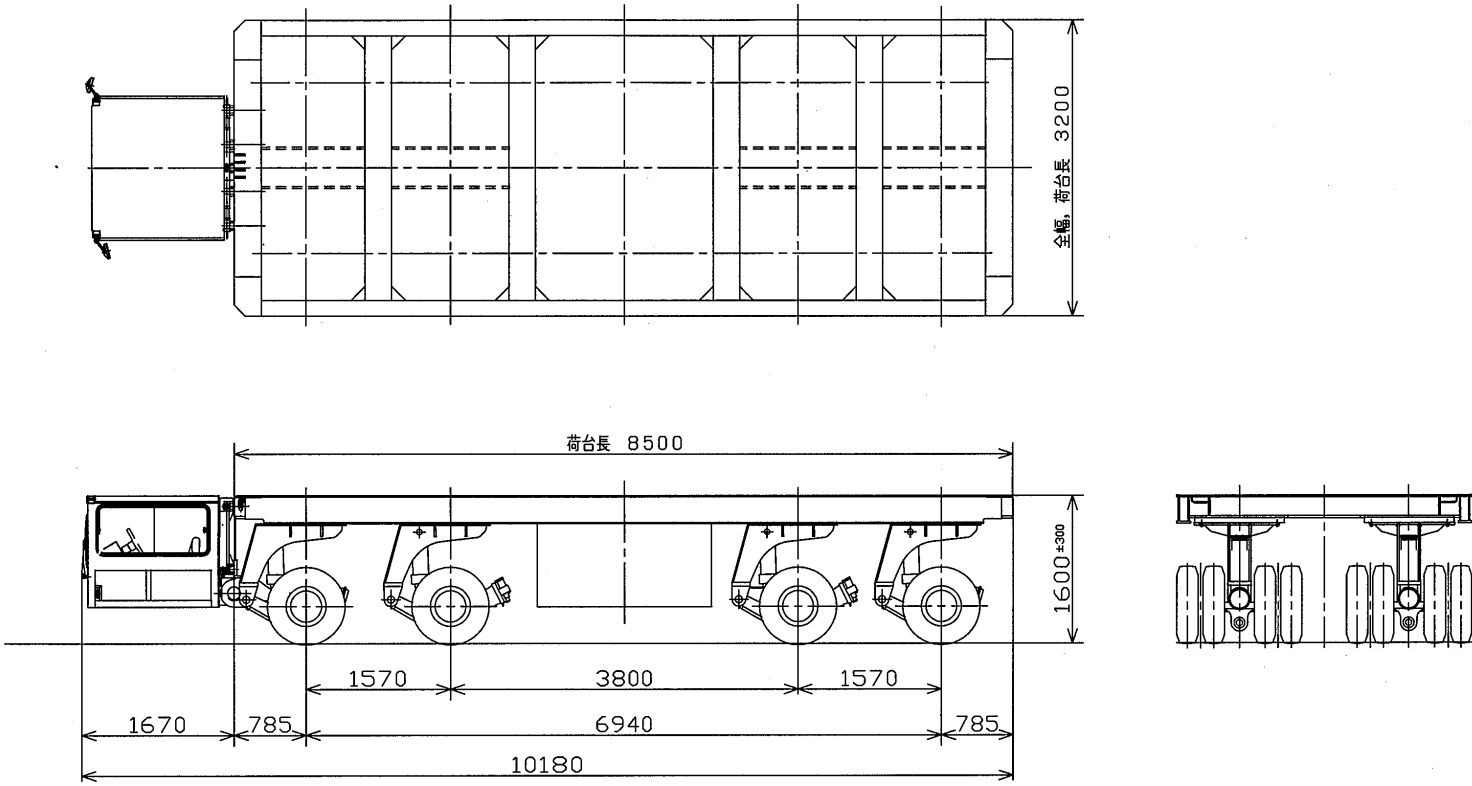


図 3.3.5-1 構内輸送設備 概念図
(ヤードキャリア)

・ 構内輸送設備の(ヤードキャリア)のサイクルタイム

地上の受入れ施設から地下処分空洞の定置設備までのヤードキャリアのサイクルタイムを以下に検討する。

- ・ 地上受入れ施設廃棄体ローディング 15min
- ・ 斜坑走行(下り) 1km/5km/h 15min
- ・ 定置設備廃棄体アンローディング 15min
- ・ 斜坑走行(上り) 1km/3km/h 20min

したがって、本設備の実働時間を6時間 / 日程度とすると、1台のヤードキャリアにおいて概ね1日に5回の搬送が可能になるものと考えられる。

以上より ヤードキャリア1台運用における基本運転計画を表 3.3.5-2 に示す。

表 3.3.5-2 ヤードキャリア1台運用における基本運転計画

| 作業項目 | 1 時間 | 2 時間 | 3 時間 | 4 時間 | 5 時間 | 6 時間 |
|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| 地上受入れ施設 廃棄体ローディング 所要時間: 15 分 | 1 回目 | 2 回目 | 3 回目 | 4 回目 | 5 回目 | |
| 斜坑走行 所要時間: 下り 15 分 : 上り 20 分 | | | | | | |
| 定置設備 廃棄体アンローディング 所要時間: 15 分 | | | | | | |

・ 構内輸送設備概略仕様

- ・ 型 式 : ヤードキャリア(タイヤ自走車輛)
- ・ 車輛寸法: 全幅約 3.2m × 全長約 10m × 荷台高さ約 1.6m
- ・ 車輛重量: 約 40ton
- ・ 最大積載重量: 160ton
- ・ 車輛総重量 : 約 190ton(廃棄体取扱い時)
- ・ 走行速度 : Max10km/h(平坦走行時)、3km/h(7%上り勾配時)
- ・ 最小回転半径: 約 8m
- ・ 運転監視・操作方式: 直接目視・手動操作
- ・ 動力供給方式: ディーゼルエンジンを動力とした油圧駆動方式

- ・ 積載物 : 廃棄体収納の運搬用遮へい容器
- ・ 台 数 : 1台

(b) 廃棄体定置設備

本廃棄体定置設備は、以下の2つの方法が考えられる。

クレーンを用いる定置方法

フォークリフトを用いる定置方法

上記方法の比較を表3.3.5-3に示す。

. 定置クレーンの概念

廃棄体の定置作業は、廃棄体の定置前に定置区画内の所定位置のRC蓋を定置クレーンで開放し、その後に定置クレーンにより廃棄体を定置する。廃棄体定置作業後、再びRC蓋を設置するものとする。

定置クレーンの概念を図3.3.5-2に示す。

表 3.3.5-3 適用が想定される定置方法(トンネル型施設 廃棄体定置設備)

| 埋設方式 | 定置方法 | 汎用技術の適用性 | 遠隔・自動運転への対応性 | 経済性 | 落下等の安全性 |
|-----------------|---------|---|--|---|--|
| コンクリート ピット方式 | 定置クレーン | <ul style="list-style-type: none"> 吊具を覆うように大きな遮へい体を設置した例はないため、信頼性の程度は不確かであるが、基本的には汎用技術の延長であるため信頼性は確保できる。 | <ul style="list-style-type: none"> 特に問題はなく対応可能である。 | <ul style="list-style-type: none"> 吊具を覆う可動式遮へい体の基本構造を確立するための検討を必要とする。 | <ul style="list-style-type: none"> 巻上ワイヤロープの切断による落下が考えられるが、多重化で防止は可能である。 取扱い高さから廃棄体の損傷に至らない。 |
| | フォークリフト | <ul style="list-style-type: none"> 64ton(4.6m³ 廃棄体)にも及ぶ荷役重量を取扱う車輛の実績はない。 | <ul style="list-style-type: none"> 遠隔操作は十分な監視装置(ITV 等)を配置すれば可能であるが、自動運転については細かな車輛動作のコントロールに難点がある。 | <ul style="list-style-type: none"> 35ton 超える重量物の場合は、汎用車輛の流用ができないため構造等に関し十分な検討を必要とする。 | <ul style="list-style-type: none"> 転倒の可能性がある。 取扱い高さから廃棄体の損傷に至らない。 |

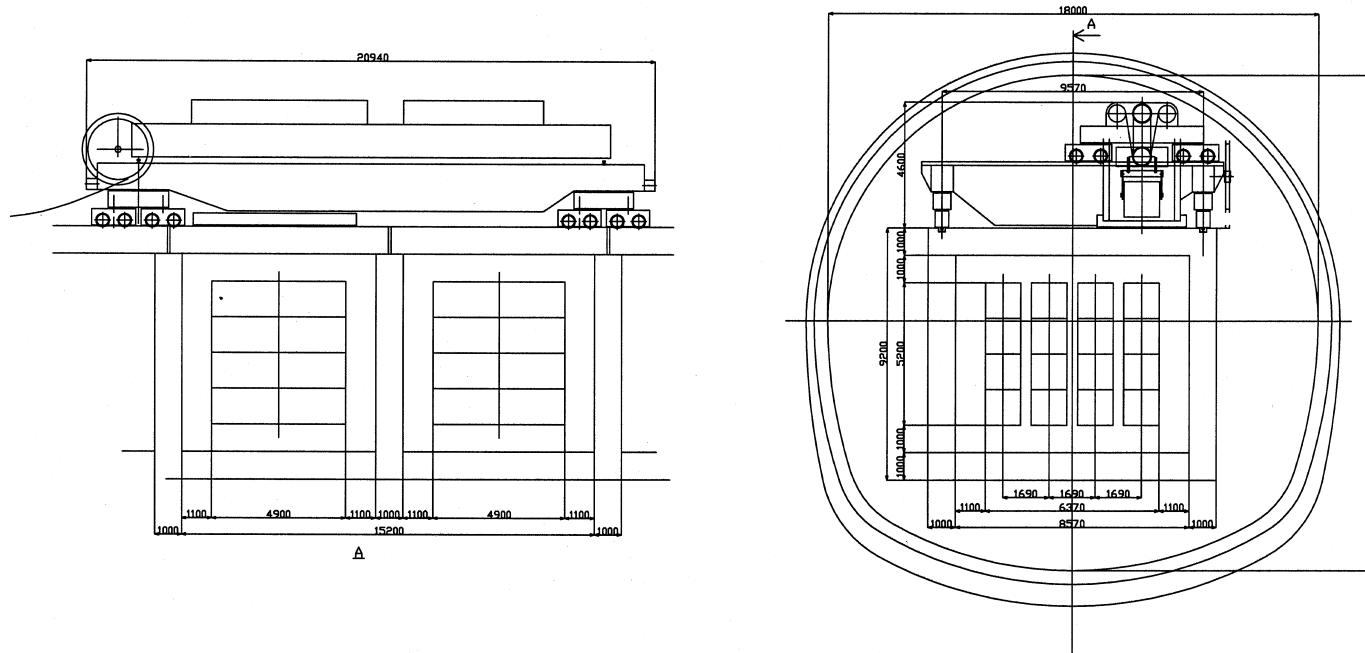


図 3.3.5-2 トンネル型施設 廃棄体定置設備 概念図

(定置クレーン 4.6m³ 廃棄体取扱い時)

・ 定置設備のサイクルタイム

定置クレーンの速度仕様は、以下の程度として検討する。

走行速度：20m/min 程度(トンネル空洞長手方向)

横行速度：10m/min 程度(トンネル空洞幅方向)

昇降速度：2m/min 程度

トンネル方式の処分空洞における埋設設備の長さを300m程度と想定すると、最も走行距離の長い区画への定置を念頭においた場合のサイクルタイムは65分程度(約1時間5分)になるものと想定される。

- ・ 廃棄体受け渡し 15min
- ・ 走行 約16min × 往復 32min
- ・ 横行 約1min × 往復 2min
- ・ RC蓋(撤去、設置) 約3min × 2 6min
- ・ 昇降(廃棄体定置) 約5min × 2 10min

したがって、1日に5回の定置が可能になるものと考えられる。

以上より、ここでは廃棄体搬送から定置までの基本運転計画を表3.3.5-4に示す。

表 3.3.5-4 廃棄体搬送から定置までの基本運転計画

(コンクリートピット方式 定置クレーン)

| 作業項目 | 1時間 | 2時間 | 3時間 | 4時間 | 5時間 | 6時間 |
|------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 地上受け入れ施設 廃棄体ローディング 所要時間: 15分 | 1回目 | 2回目 | 3回目 | 4回目 | 5回目 | |
| 斜坑走行 所要時間: 下り15分 : 上り20分 | | | | | | |
| 定置設備 廃棄体アンローディング 所要時間: 15分 | | | | | | |
| クレーン走行+横行 所要時間: 17分 | | | | | | |
| RC蓋撤去/設置 所要時間: 各3分 | | | | | | |
| 廃棄体定置(昇降) 所要時間: 10分 | | | | | | |

. 定置設備概略仕様

- ・ クレーン形状 : 橋型クレーン
- ・ 外形寸法 : スパン×長さ×高さ 約 10m×約 20m×約 5m
- ・ クレーン自重 : 約 500ton
- ・ 定格荷重 : 約 70ton
- ・ 総重量 : 廃棄体取扱い時 約 570ton
- ・ 巻上速度 : 約 2m/min
- ・ 横行速度 : 約 10m/min (トンネル空洞幅方向)
- ・ 走行速度 : 約 20m/min (トンネル空洞長手方向)
- ・ 走行方式 : ピット外壁天端部レール軌道方式
- ・ 運転監視・操作方式 : 遠隔監視・手動 (又は自動) 操作
- ・ 動力供給方式 : ケーブルリール方式
- ・ 取扱対象物 : 廃棄体収納の運搬用遮へい容器積載
 - 4.6m³ 廃棄体×1 体 (64 ton)
 - 1.0m³ 廃棄体×3 体 (17 ton×3 体=51 ton)
 - RC 蓋 (約 1m 厚コンクリートとして 約 25ton)
- ・ 遮へい機能 : 約 20cm 厚鉄板 (廃棄体吊具周り及び RC 蓋吊具周り)

b. サイロ型施設の必要設備

(a) 構内輸送設備

トンネル型施設での検討と同様に、構内輸送設備は輸送物の重量が大きいことを勘案しタイヤ自走車輻方式(ヤードキャリア)による廃棄体輸送が適切と考える。

なお、構内輸送設備(ヤードキャリア)のサイクルタイムについては、トンネル型施設での検討と同程度のサイクルタイムになるものと想定される。

(b) 廃棄体定置設備

本廃棄体定置設備は、開削サイロ底部の埋設設備に廃棄体を定置するものである。

. 定置設備の概念

廃棄体定置設備としては、開削サイロ天端上に直行するレールを敷設したクレーンで、地上の受入れ施設から開削サイロ天端上までの運搬用兼用の廃棄体収納の廃棄体定置用遮へい容器ごと吊下し、遮へいした状態で廃棄体を定置するものとする。

以下に定置設備の概要を示す。定置設備概念を図 3.3.5-3 に示す。

ア. 設備構成の概要

以下の装置から構成する。

定置クレーン

廃棄体定置用遮へい容器

RC 蓋開閉用遮へい容器

イ. 運転方法の概要

1) 定常運転の概念及び概略サイクルタイム

クレーンで RC 蓋開閉用遮へい容器を所定の区画上へ移動 (約 20min)

クレーンで RC 蓋開閉用遮へい容器上蓋を開放し仮置き (約 5min)

クレーンで廃棄体定置用遮へい容器を吊上げ (約 20min)

クレーン横行 (約 10min)

廃棄体定置用遮へい容器を吊下げ(RC 蓋開閉用遮へい容器上に載せる)

(約 10min)

RC 蓋開閉装置で RC 蓋を吊上げ移動 (約 1min)

廃棄体定置用遮へい容器下部扉を開く (約 1min)

廃棄体定置用遮へい容器昇降装置で廃棄体を降下し定置 (約 5min)

廃棄体定置用遮へい容器昇降装置吊具と廃棄体を切離し吊具を上昇

(約5min)

廃棄体定置用遮へい容器下部扉を閉める (約 1min)

RC 蓋を元の位置にセット (約 5min)

吊具上昇 (約 5min)

クレーン戻り走行・横行 (約 10min)

2) トラブル発生時における対応の概念

遮へい容器等の遮へい体内に駆動源等の機構を設ける必要が考えられる場合は、当該廃棄体内部に設置されるものを最小とし、極力、外部に駆動源等の機構を配置することを基本とする。

上記 のことより、機器にトラブルが発生した場合には作業員が直接対応することを基本とする。

3) 上記よりサイクルタイムは 100 分程度(1 時間 40 分)になるものと想定される。

. 定置設備概略仕様

ア. 定置クレーン

- ・ クレーン形状 : 橋型クレーン
- ・ 外形寸法 : スパン×長さ×高さ 約 80m×約 16m×約 17m
- ・ クレーン自重 : 約 1,800ton
- ・ 定格荷重 : 約 300ton
- ・ 総重量 : 廃棄体取扱い時 約 2,100ton
- ・ 巻上速度 : 約 10m/min
- ・ 横行速度 : 約 10m/min (トンネル空洞幅方向)
- ・ 走行速度 : 約 20m/min (トンネル空洞長手方向)
- ・ 走行方式 : サイロ天端部レール軌道方式
- ・ 運転監視・操作方式 : 遠隔監視・手動(又は自動)操作
- ・ 動力供給方式 : ケーブルリール方式
- ・ 取扱対象物 : 廃棄体収納の廃棄体定置用遮へい容器
: RC 蓋開閉用遮へい容器
- ・ 遮へい機能 : なし

イ . 廃棄体定置用遮へい容器

- ・ 外形寸法 : 幅×長さ×高さ 約 2m×約 6m×約 4m
- ・ 遮へい容器自重 : 約 90ton
- ・ 総重量 : 廃棄体取扱い時 約 150ton
- ・ 巻上速度 : 約 10m/min
- ・ 運転監視・操作方式 : 遠隔監視・手動 (又は自動) 操作
- ・ 動力供給方式 : ケーブルリール方式
- ・ 取扱対象物 :
 - 4.6m³ 廃棄体×1 体 (約 64ton)
 - 1.0m³ 廃棄体×3 体 (約 17ton×3 体=51ton)
- ・ 遮へい機能 : 約 20cm 厚鉄板

ウ . RC 蓋開閉用遮へい容器

- ・ 外形寸法 : 幅×長さ×高さ 約 6m×約 8m×約 4m
- ・ 遮へい容器自重 : 約 270ton
- ・ 総重量 : 廃棄体取扱い時 約 450ton
- ・ 巻上速度 : 約 2m/min
- ・ 横行速度 : 約 10m/min
- ・ 運転監視・操作方式 : 遠隔監視・手動 (又は自動) 操作
- ・ 動力供給方式 : ケーブルリール方式
- ・ 取扱対象物 : RC 蓋約 25ton (厚さコンクリート約 1m)
- ・ 遮へい機能 : 約 20cm 厚鉄板

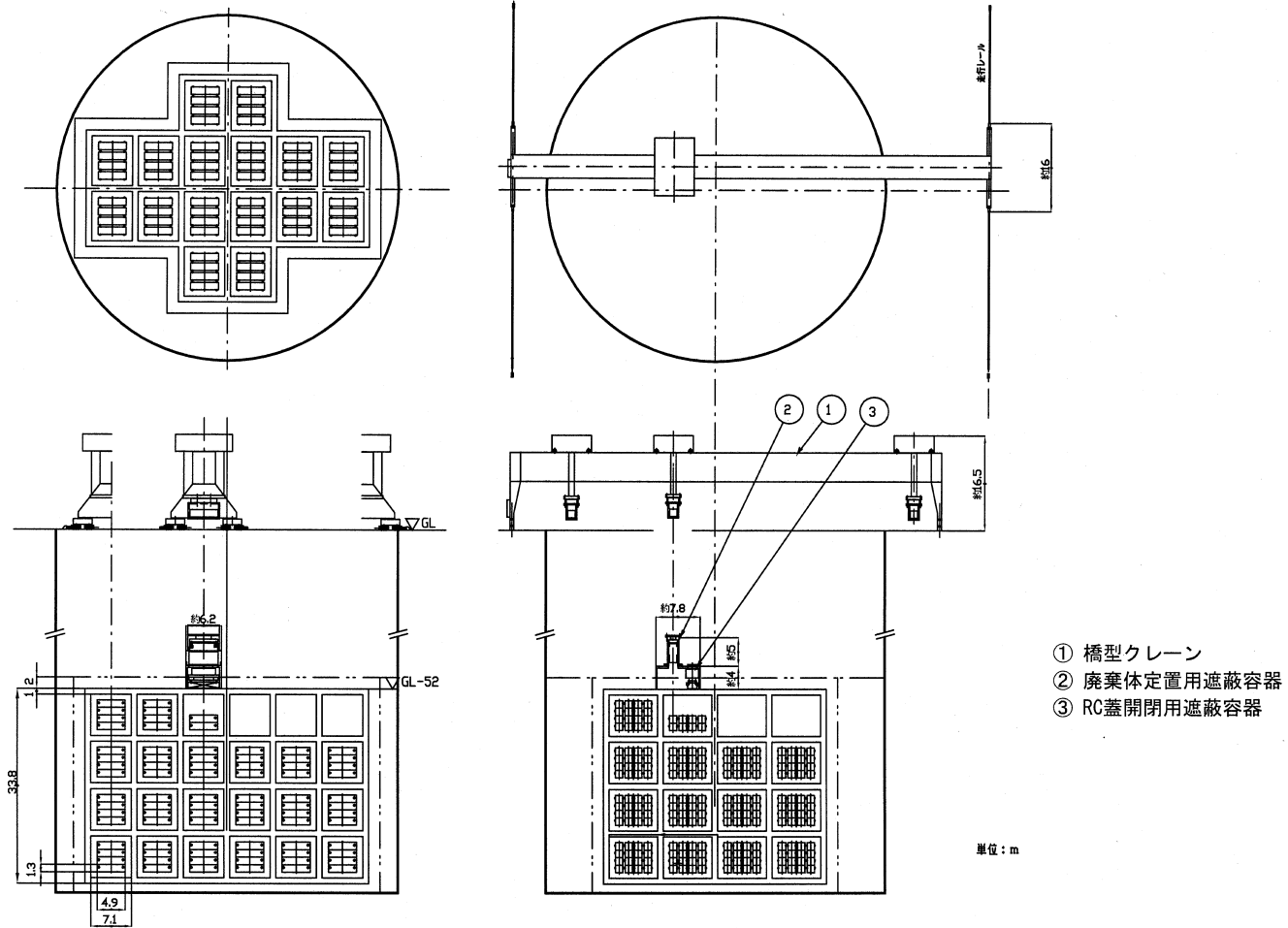


図 3.3.5-3 サイロ型施設 廃棄体定置設備 概念図

(定置クレーン 4.6m³ 廃棄体取扱い時)

3.4 安全評価

ここでは、「3.1 廃棄物特性検討」及び「3.3 埋設処分場形態の検討」の結果を基に、サイトを特定しない一般的な条件を想定し、線量評価を実施し、処分施設の成立性に関する検討を行う。

3.4.1 安全評価パラメータ設定

(1) 対象とする廃棄物のインベントリ等の整理

「3.1 廃棄物特性検討」において対象廃棄物の特性を検討した。ここでは、その結果を基に、線量評価を行う際に必要なデータを整理した。

整理したデータは以下の通りである。

- ・ 対象廃棄物のインベントリの整理
- ・ 物理的核種閉じ込め性が期待できる廃棄物について

(i) 対象廃棄物のインベントリの整理

「3.1 廃棄物特性検討」の検討より、各機関から発生する廃棄物は計 69 種類であった。ここでは、各機関から発生する廃棄物を、操業あるいは解体に伴い発生する廃棄物に分類し（以下、「廃棄物グループ」と記す）各機関から発生する廃棄物毎のデータを、廃棄物グループ毎に整理した。

表 3.4.1-1 対象廃棄物の分類

| 廃棄物発生機関 | | 廃棄物グループ | | 各廃棄物グループの対象廃棄物 |
|---------------------|--------------------|---------|----|------------------------------------|
| 核燃料 サイクル 開発機構 | 東海事業所 | Gr.1 | 操業 | 1, 2, 3, 4, 5 |
| | | Gr.2 | 解体 | 6, 7, 8, 9 |
| | 大洗工学センター | Gr.3 | 操業 | 10, 11, 12, 16, 17, 18 |
| | | Gr.4 | 解体 | 13, 14, 15, 19, 20, 21 |
| | ふげん | Gr.5 | 操業 | 22, 23, 24 |
| | | Gr.6 | 解体 | 25 |
| | もんじゅ | Gr.7 | 操業 | 26 |
| | | Gr.8 | 解体 | 27 |
| 日本原子力 研究所 | 大洗事業所 | Gr.9 | 操業 | 28, 29, 30, 31 |
| | 東海 / 大洗事業所 | Gr.10 | 解体 | 32 |
| | 東海事業所 | Gr.11 | 操業 | 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41 |
| 大学関係 | 東京大学 | Gr.12 | 解体 | 42 |
| | 京都大学 | Gr.13 | 操業 | 43 |
| | | Gr.14 | 解体 | 44 |
| 使用施設 | 日本核燃料開発(株) | Gr.15 | 操業 | 45, 47 |
| | | Gr.16 | 解体 | 46, 48 |
| | ニュークリアディベロップメント(株) | Gr.17 | 操業 | 49, 51, 53, 55, 56, 58, 60, 62 |
| | | Gr.18 | 解体 | 50, 52, 54, 57, 59, 61, 63 |
| | 日立エンジニアリング(株) | Gr.19 | 解体 | 64, 65, 66, 67, 68 |
| | (株)東芝 | Gr.20 | 解体 | 69 |

(ii) 物理的核種閉じ込め性が期待できる廃棄物について

本検討では、物理的核種閉じ込め性が期待できる廃棄物として、金属材料からの浸出率を考え、放射化金属廃棄物と溶融された金属廃棄物を対象に検討を行った。

物理的核種閉じ込め性が期待できる廃棄物とそれを含む廃棄物グループ、及び、廃棄物グループに含まれる放射化金属である廃棄物の割合について整理した。

(2) 評価対象核種の選定

FP核種・AP核種については、「TRU廃棄物処分概念検討書」（以下、「TRUレポート」と記す）を参考に対象核種が天然バリア中を移行し生物圏に到達した時の核種フラックスと、経口摂取及び吸入摂取の最大許容濃度から各核種の毒性度を算出し、影響度の大きい核種を選出する。天然バリア条件は、「低レベル放射性固体廃棄物の陸地処分の安全規制に関する基準について（第3次中間報告）」（以下、「第3次中間報告」と記す）を参考にし、天然バリア条件の幅を考慮して設定した。

崩壊連鎖を考慮する核種については、崩壊系列を考慮し、卓越された流れに含まれる核種を選定した。崩壊系列の親核種は、処分直後の核種フラックスと、経口摂取及び吸入摂取の最大許容濃度から各核種の毒性度を算出し、影響度の大きい核種を選出した。

選定核種を表 3.4.1-2に示す。

表 3.4.1-2 選定核種

| | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|---------|
| H-3 | Be-10 | C-14 | Cl-36 | Ca-41 | Co-60 | Ni-59 | Ni-63 | Se-79 | Sr-90 |
| Zr-93 | Nb-94 | Mo-93 | Tc-99 | Ag-108m | Sn-126 | I-129 | Cs-135 | Cs-137 | Ho-166m |
| Pb-210 | Po-210 | Ra-226 | Ra-228 | Ac-227 | Th-228 | Th-229 | Th-230 | Th-232 | Pa-231 |
| Pa-233 | U-233 | U-234 | U-235 | U-236 | U-238 | Np-237 | Pu-239 | Pu-240 | Pu-241 |
| Pu-242 | Am-241 | Am-243 | Cm-244 | Cm-245 | | | | | |

(3) 安全評価の条件設定

(i) 人工バリア

本検討では、施設形状はトンネル型と開削サイロ型を想定しており、一般的であると考えられている地下利用に十分余裕を持った深度（例えば 50～100m程度）に埋設すると設定した。廃棄物層は劣化した状態であり、廃棄物層内は砂と同等の特性であると設定した。

本検討では、放射性核種の漏出を抑制する機能を有する人工バリアとして、低拡散バリア

と低透水バリアを設定した。低拡散バリアは、セメント系充填材を使用し、コンクリートピットと廃棄体の間に 1m 設置した。低透水バリアは、ベントナイト混合土を使用し、コンクリートピットの周囲に 2m 設置した。

人工バリアについては、下記の事項について、人工バリア条件の幅を考慮する。

(a) 人工バリアの経時変化を考慮したパラメータ

人工バリア材の経時的な劣化現象を考慮した解析に関し、現状、バリア材の物質移行特性や吸着特性などについて経時的な変化を踏まえた評価パラメータ設定を行うための根拠となる余裕深度処分施設を対象とした劣化解析などが実施されていない。このため、本年度の検討では、これまで実施されている人工バリア材が変質した状態と人工バリア材が有する初期条件が継続した場合という状態を設定した。

(b) 廃棄体に含まれる物質を考慮したパラメータ

「3.1 廃棄体特性検討」の検討結果より、処分の安全評価上影響を及ぼすと考えられる有害物質に関しては、データが集約されていない。このため、安全評価においては有機物や硫酸塩等の塩類が存在した場合を想定して、その影響について感度解析的に評価を行った。

(c) 廃棄体特性に応じた放出モデル及びそのパラメータ

廃棄体の物理的核種閉じ込め性については、(1)項より、放射化金属廃棄物と溶融された金属廃棄物を対象に、金属母材からの浸出率を設定した。

金属廃棄物の処理方法が溶融処理の場合は、全核種が金属中に混合されるため、全核種について浸出率を設定した。一方、金属廃棄物の処理方法が溶融処理でない場合は、金属母材中に存在する核種のみ浸出率を設定した。この際、浸出率を設定する核種は、TRU レポートを参考に、C-14、Cl-36、Co-60、Ni-59、Ni-63、Zr-93、Nb-94、Mo-93、Tc-99 を設定した。

(d) ベントナイト混合土の厚さを変更した場合

本検討においては、RI・研究所等廃棄物余裕深度処分施設におけるベントナイト混合土の厚さとしては、2m をレファレンスケースとして設定している。ただし、合理化を目的とした検討も行われており、ベントナイト混合土の厚さを 1m に変更した場合についても検討を行った。

(ii) 天然バリア

本評価で用いるモデル概念を図 3.4.1-1 に示す。本評価は施設設置サイトを特定しないため、天然バリア条件については「第3次中間報告」と同様の設定とした。

天然バリア中の核種の移行距離は 500m を設定した。廃棄物施設近傍（廃棄物埋設施設下流端から 200m）とそれ以外の領域では地質環境条件が異なることから、廃棄物施設近傍の地下水実流速は 0.001m/d、廃棄物施設近傍距離以外（200m～500m）の地下水実流速は 0.01m/d を設定した。

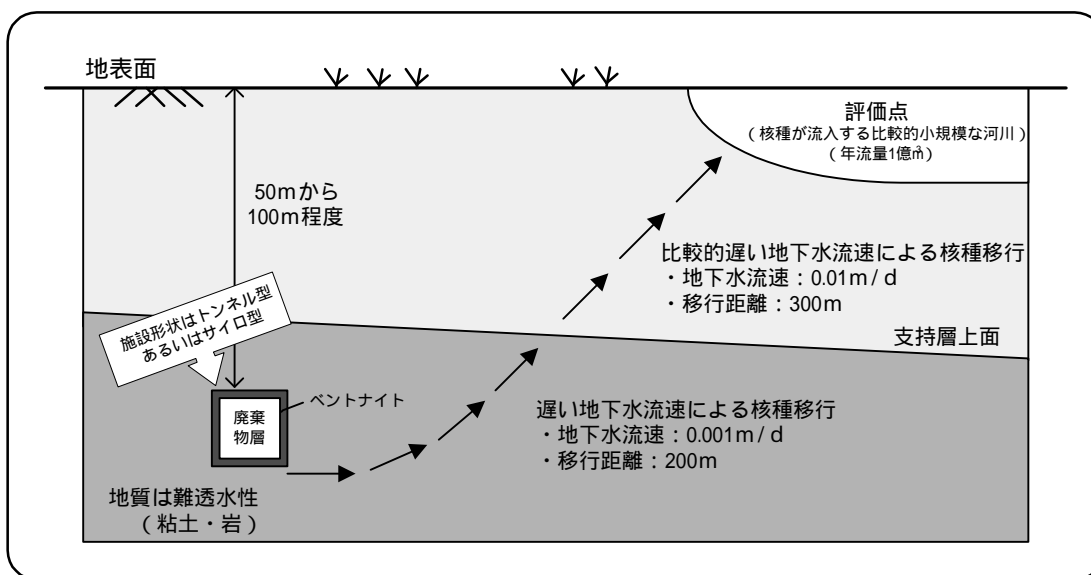


図 3.4.1-1 評価モデル概念図

3.4.2 地下水移行シナリオの検討

処分場閉鎖後の廃棄体から漏出した放射性核種が、地下水中を移行することによる被ばくについて検討を行った。

(1) 性能評価モデル

処分場閉鎖後の廃棄体から漏出した放射性核種が、地下水中を移行することによる被ばくについて、本検討で性能評価上考慮した諸事象について図 3.4.2-1に示す。

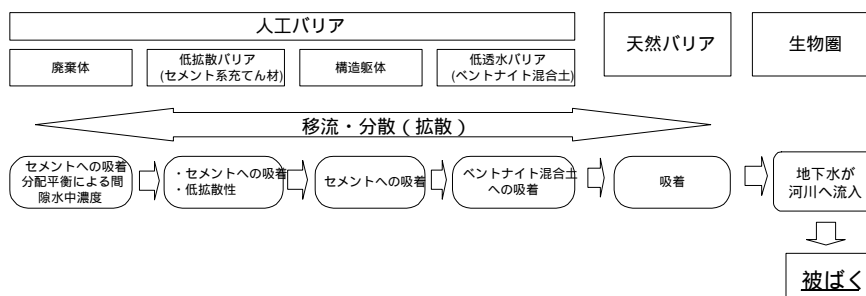


図 3.4.2-1 本評価で性能評価上考慮した諸事象

(2) インベントリ

本検討において設定した対象廃棄物のインベントリを再整理した。

AC 核種の選定において、核種移行評価上、省略した崩壊系列の流れに含まれる短半減期や毒性度が低い核種の影響については、そのインベントリを娘核種の初期インベントリに加えて評価を行うことにより考慮した。

(3) 評価パラメータ

(i) レファレンスケース

(a) 人工バリア

本検討では、施設形状はトンネル型と開削サイロ型を対象に検討を行っている。その構造は、廃棄体、低拡散バリア(セメント系充てん材)、構造躯体、低透水バリア(ベントナイト混合土)であり、人工バリアとしての機能には、吸着性、拡散性、透水性がある。

レファレンスケースでは、人工バリアが劣化及び変質した状態を想定した。

i. 吸着性

廃棄体、低拡散バリア(セメント系充てん材)、構造躯体で構成されるセメント系材料の分配係数は、TRU レポートの設定を基(C-14 は、より現実的な値を設定)に、保守的な設定、すなわち、分配係数が低い値を設定した。

ベントナイト混合土についても、TRU レポートの設定を基(C-14 は、より現実的な値を設定)に、保守的な設定、すなわち、分配係数が低い値を設定した。

ii. 低拡散性

低拡散性については、材料及び部材により有する性能が変わるため、セメント系材料で構成されている領域の中で、セメント系充てん材に対し低拡散性を期待している。

ただし、本検討のレファレンスケースでは、人工バリアが劣化及び変質した状態を設定しているため、セメント系充てん材に対し、低拡散バリアの機能を設定していない。

iii. 透水性

人工バリアは劣化及び変質している状態を想定しているため、廃棄体、低拡散バリア、構造躯体は砂と同程度の特性であると設定し、透水係数は $1E-5m/s$ を設定した。ベントナイト混合土の透水係数は、 $1E-10m/s$ を設定した。

(b) 天然バリア

「第 3 次中間報告」と同様の設定とした。

(ii) 人工バリアの経時変化を考慮したパラメータ

本検討のレファレンスケースでは、人工バリア材(セメント系充てん材、ベントナイト混合土)の変質後を想定してパラメータを設定している。

人工バリアの経時変化を考慮したケースでは、人工バリア材が変質する前の初期性能が継続した場合の人工バリア材のパラメータを設定して検討を行う。

本ケースにおいて設定した人工バリア材に期待する機能について以下に示す。

i. 吸着性

セメント系材料及びベントナイト系材料の分配係数については、TRU レポートを参考に、人工バリア材の初期性能の設定として、セメント系材料については Region の値、ベントナイト系材料は、 $pH=8.5$ の値を設定した。

ii. 低拡散性

低拡散性については、材料及び部材により性能が変わるため、セメント系材料で構成されている領域の中で、セメント系充てん材に対し低拡散性を設定した。

iii. 透水性

ベントナイト混合土が初期性能を維持すると設定するため、ベントナイト混合土の透

水係数は $1E-11m/s$ を設定した。

(iii) 廃棄体に含まれる物質を考慮したパラメータ

「3.1 廃棄体特性検討」の検討結果より、処分の安全評価上影響を及ぼすと考えられる有害物質に関してはデータが集約されていないことから、安全評価においては有機物や硫酸塩等の塩類が存在した場合の影響について、感度解析的に評価を行った。

有害物が廃棄体に含まれた場合の影響として、ベントナイト混合土の遮水性能が低下すると想定し、ベントナイト混合土の透水係数をレファレンスケースの設定値($1E-10m/s$)より1桁高い $1E-9m/s$ と設定した。また、吸着効果についても有害物の影響による核種の化学形態の変化を想定し、人工バリア材の分配係数をレファレンスケースの設定の $1/10$ 倍の値とした。

(iv) 廃棄体特性に応じた放出モデル及びそのパラメータ

本検討では、物理的核種閉じ込め性が期待できる廃棄物として、金属材料からの浸出率を考え、放射化金属廃棄物と溶融された金属廃棄物を対象に、金属母材からの浸出率を設定した。金属母材中に含まれる核種は、金属の腐食に伴い廃棄物層に放出する。本検討では金属の形状や腐食率などが不明ため、核種の放出期間を1万年及び10万年と設定した。

金属廃棄物の処理方法が溶融処理である場合は、全核種が金属中に混合されるため、全核種について浸出率を設定した。一方、金属廃棄物の処理方法が溶融処理でない場合は、金属母材中に存在する核種のみ浸出率を設定した。この際、浸出率を設定する核種は、TRU レポートを参考に、C-14、Cl-36、Co-60、Ni-59、Ni-63、Zr-93、Nb-94、Mo-93、Tc-99 を設定した。

(v) ベントナイトの厚さを変更した場合

本検討においては、RI・研究所等廃棄物余裕深度処分施設におけるベントナイト混合土の厚さとしては2mをレファレンスとして検討を進めている。ただし、合理化を目的とした検討も行われており、ベントナイト混合土の厚さを1mに変更した場合についても検討を行った。

(4) 生物圏条件

生物圏で生じる被ばくシナリオ及び設定パラメータは「第3次中間報告」と同様に設定

した。想定する被ばくシナリオは、河川水利用経路、河川岸建設作業経路、河川岸居住経路、河川岸農耕経路である。

(5) 検討ケース

本検討において検討したケースを表 3.4.2-1に示す。

本線量評価で設定するインベントリは、全廃棄物グループの合計値を用いることを基本とした。ただし、各廃棄物グループのインベントリの整理結果から、廃棄物グループ毎の被ばく線量への寄与の推測が可能である。レファレンスケースでは、廃棄物グループ毎の被ばく線量を算出し、寄与の推測が可能であることを確認する。

表 3.4.2-1 検討ケース一覧

| Case No. | 設定したケース | 廃棄物層 | 低拡散バリア (セメント系充てん材) | 構造躯体 | 低透水バリア (ベントナイト混合土) | ベントナイト 混合土の厚さ | 浸出率 | |
|----------|----------------------------|---|---|---|--|------------------|------|--------------------------|
| case1 | レファレンスケース | 劣化した状態 (透水係数: 1E-5m/s) (拡散係数: 7E-10m/s) (λ : 0.35) (分配係数: Region - の最小値) | 変質した状態であり、 低拡散バリア性が低下 (透水係数: 1E-5m/s) (拡散係数: 7E-10m/s) (λ : 0.35) (分配係数: Region - の最小値) | 劣化した状態 (透水係数: 1E-5m/s) (拡散係数: 7E-10m/s) (λ : 0.35) (分配係数: Region - の最小値) | 変質した状態 (透水係数: 1E-10m/s) (拡散係数: 3E-10m/s) (λ : 0.4) (分配係数: pH=12.5, pH=8.5の最小値) | 2m | 瞬時放出 | |
| case2 | | | | | | 1m | | |
| case3 | 人工バリア材が有する 初期性能を維持したケース | 劣化した状態 (透水係数: 1E-5m/s) (拡散係数: 7E-10m/s) (λ : 0.35) (分配係数: Region) | セメント系充てん材が有する 低拡散バリア性能を維持 (透水係数: 1E-5m/s) (拡散係数: 1E-10m/s) (λ : 0.15) (分配係数: Region) | 劣化した状態 (透水係数: 1E-5m/s) (拡散係数: 7E-10m/s) (λ : 0.35) (分配係数: Region) | ベントナイト混合土が有する 低透水バリア性能を維持 (透水係数: 1E-11m/s) (拡散係数: 3E-10m/s) (λ : 0.4) (分配係数: pH=8.5) | 2m | | |
| case4 | | | 1m | | | | | |
| case5 | | | 2m | | | | | |
| case6 | | | 1m | | | | | |
| case7 | 有害物が廃棄物中に 含まれたケース | 劣化した状態 (透水係数: 1E-5m/s) (拡散係数: 7E-10m/s) (λ : 0.35) (分配係数: レファレンスの1/10) | 変質した状態であり、 低拡散バリア性が低下 (透水係数: 1E-5m/s) (拡散係数: 7E-10m/s) (λ : 0.35) (分配係数: レファレンスの1/10) | 劣化した状態 (透水係数: 1E-5m/s) (拡散係数: 7E-10m/s) (λ : 0.35) (分配係数: レファレンスの1/10) | 有害物の影響を考慮 (透水係数: 1E-9m/s) (拡散係数: 3E-10m/s) (λ : 0.4) (分配係数: レファレンスの1/10) | 2m | | |
| case8 | | | | | | 1m | | |
| case9 | 浸出率を考慮したケース | 劣化した状態 (透水係数: 1E-5m/s) (拡散係数: 7E-10m/s) (λ : 0.35) (分配係数: レファレンスと同じ) | 変質した状態であり、 低拡散バリア性が低下 (透水係数: 1E-5m/s) (拡散係数: 7E-10m/s) (λ : 0.35) (分配係数: レファレンスと同じ) | 劣化した状態 (透水係数: 1E-5m/s) (拡散係数: 7E-10m/s) (λ : 0.35) (分配係数: レファレンスと同じ) | 変質した状態 (透水係数: 1E-10m/s) (拡散係数: 3E-10m/s) (λ : 0.4) (分配係数: レファレンスと同じ) | 2m | | 浸出率を考慮 (放出期間) 1万年 |
| case10 | | | | | | 1m | | |
| case11 | | | | | | 2m | | 浸出率を考慮 (放出期間) 10万年 |
| case12 | | | | | | 1m | | |

(6) 結果及び考察

(i) 処分施設の成立性の検討

(a) 被ばく線量の経時変化と被ばく線量への寄与が高い核種について

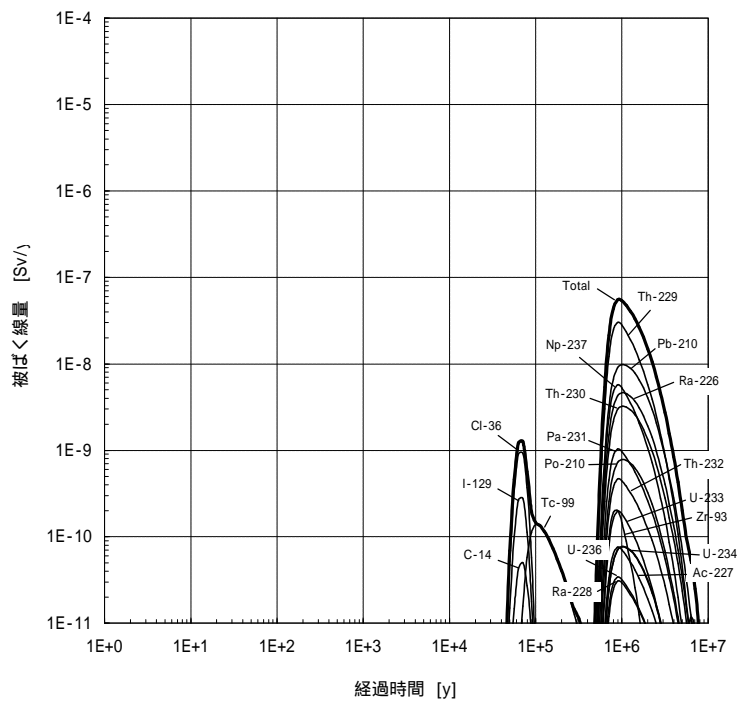
レファレンスケースでの設定条件は、人工バリア(廃棄体、低拡散バリア、構造躯体、低透水バリア)は劣化及び変質した状態を想定した。天然バリアは、施設設置サイトを特定していないため、「第3次中間報告」と同様の設定とした。

トンネル型施設でのレファレンスケース(河川水利用経路)の被ばく線量の経時変化を図3.4.2-2に示す。図3.4.2-2より、最大線量は $5.5E-8$ Sv/yであり、最大線量の決定核種はTh-229、最大線量となる時間は100万年頃であった。最大線量となる時間は100万年程度と非常に遅い時間であるのに対し、決定核種となるTh-229の半減期は $7.3E+03$ 年と比較的短い、Th-229は、崩壊系列において親核種となるNp-237(HL: $2.1E+06$ 年)と放射平衡となり、生物圏に到達する。このため、被ばく線量への寄与が比較的高いと考えられる核種は、Np-237やU-238を起源とするTh-229(Np-237)、Pb-210(U-238)、Ra-226(U-238)、Th-230(U-230)等、FP・AP核種については、Cl-36、I-129、Tc-99、C-14が挙げられる。これらの核種は、Th-229などのACT核種と比べ、分配係数の設定が小さいため、ピークとなる時間は7万年頃となる。

開削サイロ型施設でのレファレンスケース(河川水利用経路)の被ばく線量の経時変化を図3.4.2-3に示す。図3.4.2-3より、最大線量は $1.5E-8$ Sv/yであり、最大線量の決定核種はTh-229、最大線量となる時間は100万年頃であった。最大線量の決定核種はTh-229であり、Np-237を親核種として生成される。被ばく線量への寄与が比較的高いと考えられる核種は、トンネル型施設と同様、Np-237やU-238を起源とするTh-229(Np-237)、Pb-210(U-238)、Ra-226(U-238)、Th-230(U-230)等、FP・AP核種については、Cl-36、I-129、Tc-99、C-14が挙げられる。

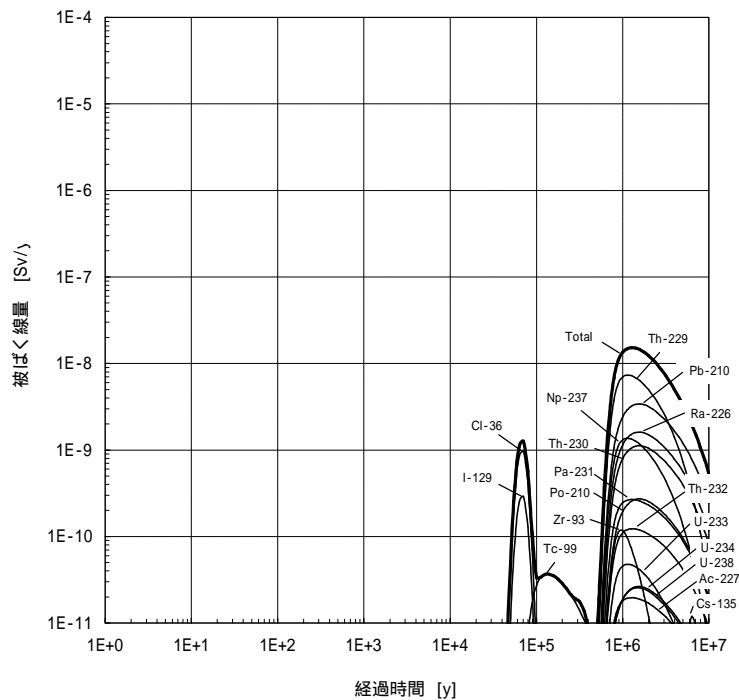
トンネル型施設と開削サイロ型施設については、施設形態が異なることによる被ばく線量の違いはあるものの、経時変化や決定核種に関する傾向は同じであるため、人工バリアの設定条件を変更したケースの考察は、トンネル型施設で代表する。

なお、河川岸建設作業経路、河川岸居住経路、河川岸農耕経路については、生物圏の設定パラメータの違いはあるが、被ばく線量への寄与が比較的高いと考えられる核種については、トンネル型施設、開削サイロ型施設共に、河川水利用経路と同様の傾向となっている。



(トンネル型施設)
レファレンスケース、河川水利用経路

図 3.4.2-2 トンネル型施設、レファレンスケース (河川水利用経路)



(開削サイロ型施設)
レファレンスケース、河川水利用経路

図 3.4.2-3 開削サイロ型施設、レファレンスケース (河川水利用経路)

(b) 人工バリアの設定条件を変更した場合について

i. 各検討ケースにおける決定核種について

トンネル型施設の評価結果を表 3.4.2-2 に示す。

表 3.4.2-2 より、人工バリアの設定条件を変更した全ケースについて、 $10 \mu\text{Sv/y}$ を下回る結果となった。

決定核種は、ほとんどが Th-229 であった。Th-229 の半減期は $7.3\text{E}+03$ 年と比較的短い。崩壊系列において親核種となる Np-237 (HL: $2.1\text{E}+06$ 年) により生成される。

ただし、case5、case6(人工バリア材が有する初期性能を維持したケースの低拡散バリアの拡散係数を $1\text{E}-11\text{m}^2/\text{s}$ と設定したケース)については、Cl-36 あるいは Pb-210 が決定核種となった。

case3 ~ case6 は、人工バリア材が有する性能を見込んでいるため、施設からの放出が抑えられる。このため、最大線量となる時間は 600 万年頃とレファレンスケースよりも遅くなる。Th-229 の親核種である Np-237 の半減期は 210 万年であるため、Np-237 の減衰に伴い Th-229 の被ばく線量も減少することから、Cl-36 や Pb-210(親核種は U-238(HL: $4.5\text{E}+9$ 年))が決定核種となった。

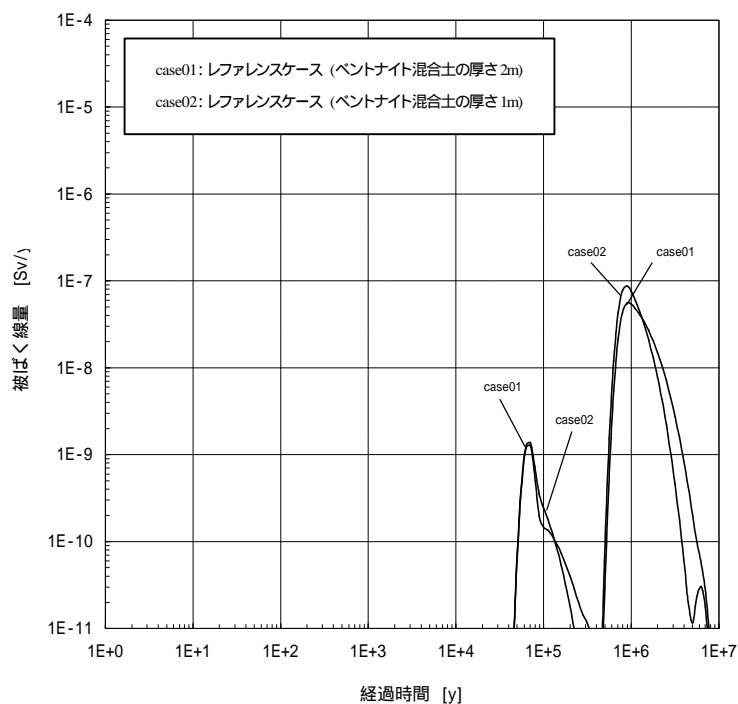
表 3.4.2-2 トンネル型施設の検討結果

| | 河川水利用経路 | | 河川岸建設作業経路 | | 河川岸居住経路 | | 河川岸農耕経路 | |
|--------|----------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|
| | 最大線量 [Sv/y] | 決定核種 | 最大線量 [Sv/y] | 決定核種 | 最大線量 [Sv/y] | 決定核種 | 最大線量 [Sv/y] | 決定核種 |
| case01 | 5.5E-08 | Th-229 | 3.5E-08 | Th-229 | 4.1E-08 | Th-229 | 1.1E-07 | Th-229 |
| case02 | 8.7E-08 | Th-229 | 5.5E-08 | Th-229 | 6.5E-08 | Th-229 | 1.7E-07 | Th-229 |
| case03 | 4.4E-09 | Th-229 | 2.0E-09 | Th-229 | 2.4E-09 | Th-229 | 7.5E-09 | Th-229 |
| case04 | 6.7E-09 | Th-229 | 3.1E-09 | Th-229 | 3.8E-09 | Th-229 | 1.2E-08 | Th-229 |
| case05 | 1.2E-09 | Cl-36 | 2.8E-10 | Th-229 | 3.8E-10 | Th-229 | 3.9E-09 | Cl-36 |
| case06 | 1.8E-09 | Pb-210 | 5.9E-10 | Th-229 | 7.6E-10 | Th-229 | 4.1E-09 | Cl-36 |
| case07 | 2.5E-07 | Th-229 | 1.7E-07 | Th-229 | 2.0E-07 | Th-229 | 5.1E-07 | Th-229 |
| case08 | 2.4E-07 | Th-229 | 1.6E-07 | Th-229 | 1.9E-07 | Th-229 | 5.0E-07 | Th-229 |
| case09 | 5.5E-08 | Th-229 | 3.5E-08 | Th-229 | 4.1E-08 | Th-229 | 1.1E-07 | Th-229 |
| case10 | 8.7E-08 | Th-229 | 5.5E-08 | Th-229 | 6.5E-08 | Th-229 | 1.7E-07 | Th-229 |
| case11 | 5.5E-08 | Th-229 | 3.5E-08 | Th-229 | 4.1E-08 | Th-229 | 1.1E-07 | Th-229 |
| case12 | 8.7E-08 | Th-229 | 5.5E-08 | Th-229 | 6.5E-08 | Th-229 | 1.7E-07 | Th-229 |

ii. ベントナイト混合土の厚さの違いによる被ばく線量への影響

本検討においては、RI・研究所等廃棄物余裕深度処分施設における、ベントナイト混合土の厚さとしては 2m をレファレンスとして検討を進めている。ただし、合理化を目的とした検討も行われており、ベントナイト混合土の厚さを 1m とした場合の検討を行った。

トンネル型施設のベントナイト混合土の厚さを変更したレファレンスケース(case02)の結果を図 3.4.2-4に示す。ベントナイト混合土の厚さを 1mにした場合の被ばく線量とレファレンスの線量を比較すると、約 1.5 倍の値となった。施設内は拡散支配であることから、ベントナイト混合土の厚さが 2m から 1m になることで拡散距離が短縮されるため、施設からの核種放出量が増えることにより、被ばく線量が高くなったと考えられる。



(トンネル型施設)
レファレンスケースのベントナイト混合土の厚さの違い

図 3.4.2-4 ベントナイト混合土の厚さを変更したケース(河川水利用経路) トンネル型施設

iii. 人工バリアの設定条件の違いによる被ばく線量への影響

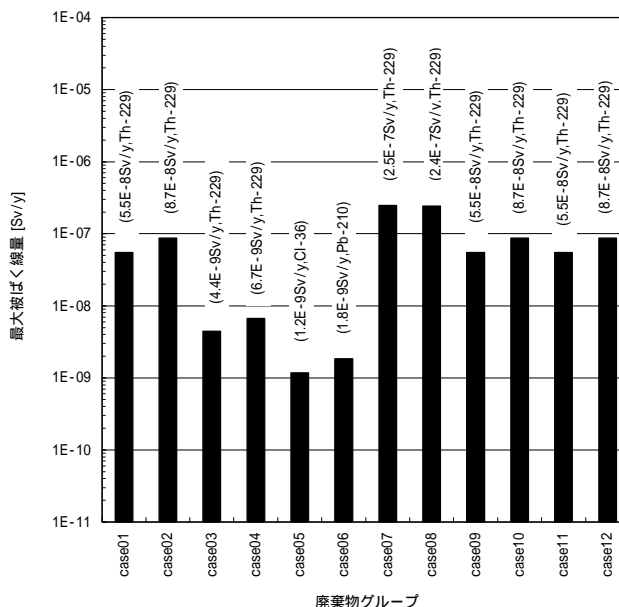
トンネル型施設の人工バリアの設定条件を変更した全ケースについて、最大線量を比較した結果を図 3.4.2-5に示す。これらの図は、横軸は人工バリアの設定条件を変更した場合のケース名、縦軸は最大被ばく線量を示している。

図 3.4.2-5より、レファレンスケース(case01)と比較し、被ばく線量が高くなるケースは、case07、case08(有害物が廃棄物中に含まれた場合)であった。本検討では、安全評価上影響を及ぼすと考えられる有害物に関するデータが集約されていないことから、感度解析的に評価を行っている。今後は、安全評価において影響を及ぼすと考えられる有害物を廃棄物ごとに抽出し、検討を行うことが必要であると考えられる。

case9~12の最大線量は、レファレンスケース¹と同じ値となった。case9~12は、物理的核種閉じ込め性が期待できる廃棄物として金属材料からの浸出率を考え、放射化金属廃棄物と溶融された金属廃棄物を対象に、金属母材からの浸出率を設定したケースである。レファレンスケース、及び、case9~12の決定核種はTh-229であり、Th-229やTh-229の親核種であるNp-237は、浸出率が期待できるインベントリの割合(全廃棄物に対する放射化金属廃棄物と溶融された金属廃棄物の割合)が小さいため、浸出率による効果が得られず、レファレンスケースで想定している瞬時放出の結果と同じとなった。

レファレンスケースと比較し、被ばく線量が低くなるケースは、case03~case06であった。レファレンスケースは人工バリアが劣化及び変質した状態を想定しているのに対し、case03~case06は人工バリアが変質する前の人工バリア材が有する初期性能が継続した状態を想定したものである。被ばく線量が低減した理由としては、低拡散バリアの低拡散性を見込み、拡散係数の設定を $7E-10m/s$ から $1E-10m/s$ と小さく設定したため、施設内は拡散支配であることから、施設外への核種の放出を抑えることができたと考えられる。また、低拡散バリアの拡散係数が $1E-11m/s$ の条件下では、さらに線量の低減化が期待できる結果となっている。

¹ ベントナイト厚さの設定が異なることから、case09,case11はcase01、case10,case12はcase02に対応する。



()内は、最大線量値、決定核種を示す。

(トンネル型施設、河川水利用経路)

図 3.4.2-5 トンネル型施設、河川水利用経路の最大線量

(c) 処分施設の成立性の検討

トンネル型施設、開削サイロ型施設のレファレンスケース、及び、人工バリアの設定条件を変更した全ケースについて、最大被ばく線量は 10 μSv/y を下回る結果となった。

また、ほとんどの検討ケースにおいて、決定核種は Th-229 であり、被ばく線量への寄与が比較的高いと考えられる核種は、崩壊連鎖を考慮する核種では、Np-237 や U-238 を起源とする Th-229(Np-237)、Pb-210(U-238)、Ra-226(U-238)、Th-230(U-230)等、FP・AP 核種については、Cl-36、I-129、Tc-99、C-14 であった。

ベントナイト混合土の厚さを 1m とした場合においても、10 μSv/y を満足する結果となった。

よって、本検討で設定した人工バリア、及び、天然バリアの条件下では、廃棄物処分施設は成立すると考えられる。

なお、本検討では、天然バリア中の移行に関する設定が好条件であったため、C-14 は半減期による減衰効果により、線量は低くなっていた。RI・研究所等廃棄物余裕深度処分では、施設設置サイトが特定されていないことから、バリア性能が期待できないような天然バリアの場合は、C-14 の減衰効果が期待できない可能性があるため、その様な設定条件下では、C-14 は重要核種となる。

(ii) 被ばく線量に寄与する廃棄物グループの抽出

ここでは、各検討ケースにおいて、被ばく線量結果に対する各廃棄物グループの寄与について検討する。検討としては、各廃棄物のインベントリの整理結果から、廃棄物グループごとの被ばく線量への寄与を確認することとした。

まず、崩壊連鎖を伴う核種については、()項より、被ばく線量が最大となる時間は、100万年程度と非常に遅い時間であることから、線量評価においてキー核種となる短半減期核種は単独で移行できず、長半減期核種の移行中に生成された核種が生物圏に到達する。このため、各崩壊系列に含まれる長半減期核種量が重要となる。そこで、各崩壊系列に含まれる長半減期核種として、Th-232(4n 系列, HL:1.4E+10y)、Np-237(4n+1 系列, HL:2.1E+6y)、U-238(4n+2 系列, HL:4.5E+9y)、U-235(4n+3 系列, HL:7E+8y)を代表とし、インベントリの整理を行った。この際、崩壊系列において、Th-232, Np-237, U-238, U-235 より上流に位置する核種のインベントリについても加えて整理した。

FP・AP 核種については、地下水移行経路の評価結果から、Cl-36 がキー核種となるため、Cl-36 のインベントリについて整理を行った。

次に、全廃棄物グループの Total インベントリを用いたレファレンスケースの結果から、被ばく線量への寄与の高い廃棄物グループの推測が可能であることを確認する。

トンネル型施設のレファレンスケースにおける河川水利用経路の最大線量の上位 5 核種は、Th-229(3.0E+8Sv/y)、Pb-210(9.0E-9Sv/y)、Np-237(5.7E-9Sv/y)、Ra-226(4.3E-9Sv/y)、Th-230(3.0E-9Sv/y)であった。

Th-229、Pb-210、Np-237、Ra-226、Th-230 の被ばく線量とこれらの核種を多く含む廃棄物グループのインベントリの関係から、被ばく線量への寄与が高いと考えられる廃棄物グループは以下の様に推測できる。

Gr.11(原研,東海事業所,操業廃棄物)

Gr.17(ニュークリアディベロップメント(株),操業廃棄物)

Gr.18(ニュークリアディベロップメント(株),解体廃棄物)

Gr.04(JNC,大洗工学センター,解体廃棄物)

Gr.03(JNC,大洗工学センター,操業廃棄物)

Gr.01(JNC,東海事業所,操業廃棄物)

以上のように検討方法で選出した被ばく線量への寄与の高い廃棄物グループと廃棄物グループごとに計算を行ったレファレンスケースの結果から得られる被ばく線量への寄与

の高い廃棄物グループを比較した結果、一致してすることから、各廃棄物のインベントリの整理結果から被ばく線量への寄与の高い廃棄物グループの推測が可能であることが確認できた。

そこで、上述した方法を用いて、本検討で想定した人工バリアの設定条件を変更したケースについて、被ばく線量への寄与の高い廃棄物グループを推定した。結果を表 3.4.2-3、に示す。表 3.4.2-3の結果から、最大被ばく線量への寄与が高い核種を多く含む主な廃棄物グループを以下に示す。

Gr.11(原研,東海事業所,操業廃棄物)

Gr.17(ニュークリアディベロップメント(株),操業廃棄物)

Gr.18(ニュークリアディベロップメント(株),解体廃棄物)

Gr.06(JNC,ふげん,解体廃棄物)

Gr.10(原研,東海/大洗事業所,解体廃棄物)

Gr.08(JNC,もんじゅ,解体廃棄物)

表 3.4.2-3 トンネル型施設の検討結果

| | 河川水利用経路 | | 河川岸建設作業経路 | | 河川岸居住経路 | | 河川岸農耕経路 | |
|--------|-------------------------|--------|-----------|--------|---------|--------|-------------------------|--------|
| | 廃棄物グループ | 決定核種 | 廃棄物グループ | 決定核種 | 廃棄物グループ | 決定核種 | 廃棄物グループ | 決定核種 |
| case01 | Gr.11 | Th-229 | Gr.11 | Th-229 | Gr.11 | Th-229 | Gr.11 | Th-229 |
| case02 | Gr.11 | Th-229 | Gr.11 | Th-229 | Gr.11 | Th-229 | Gr.11 | Th-229 |
| case03 | Gr.11 | Th-229 | Gr.11 | Th-229 | Gr.11 | Th-229 | Gr.11 | Th-229 |
| case04 | Gr.11 | Th-229 | Gr.11 | Th-229 | Gr.11 | Th-229 | Gr.11 | Th-229 |
| case05 | Gr.06 Gr.10 Gr.08 | Cl-36 | Gr.11 | Th-229 | Gr.11 | Th-229 | Gr.06 Gr.10 Gr.08 | Cl-36 |
| case06 | Gr.17 Gr.18 Gr.11 | Pb-210 | Gr.11 | Th-229 | Gr.11 | Th-229 | Gr.06 Gr.10 Gr.08 | Cl-36 |
| case07 | Gr.11 | Th-229 | Gr.11 | Th-229 | Gr.11 | Th-229 | Gr.11 | Th-229 |
| case08 | Gr.11 | Th-229 | Gr.11 | Th-229 | Gr.11 | Th-229 | Gr.11 | Th-229 |
| case09 | Gr.11 | Th-229 | Gr.11 | Th-229 | Gr.11 | Th-229 | Gr.11 | Th-229 |
| case10 | Gr.11 | Th-229 | Gr.11 | Th-229 | Gr.11 | Th-229 | Gr.11 | Th-229 |
| case11 | Gr.11 | Th-229 | Gr.11 | Th-229 | Gr.11 | Th-229 | Gr.11 | Th-229 |
| case12 | Gr.11 | Th-229 | Gr.11 | Th-229 | Gr.11 | Th-229 | Gr.11 | Th-229 |

3.4.3 評価対象核種及び重要核種の選定

ここでは、第3次中間報告で評価された $10 \mu\text{Sv/y}$ 相当濃度 (C) と本検討で整理した対象廃棄物に含まれる放射性核種濃度 (D) の比である相対重要度 (D/C) を算出し、重要核種の選定を実施した。

なお、本検討では、第3次中間報告と同様に、放射性核種組成を算出する際に使用した材料に含まれる不純物元素濃度等のばらつきを考慮した変動幅 (2桁) に、放射性核種ごとの D/C の検討するための枠を広げることとしてさらに 1桁を考慮して、D/C が上位 3桁の範囲に入るものを重要核種として抽出を行った。

各廃棄物グループの相対重要度(D/C)を求めた結果を表 3.4.3-1～表 3.4.3-3に示す。

表 3.4.3-1～表 3.4.3-3より、重要核種として抽出された核種は、廃棄物グループによって傾向が異なっている。本検討で対象としている RI・研究所等廃棄物は、発生機関によって発生する廃棄物が異なることから、各機関から発生する廃棄物の特徴を踏まえて検討を行う必要がある。

表 3.4.3-1～表 3.4.3-3の結果を整理すると、重要核種として抽出された核種は以下の通りであった。原子炉施設から発生する廃棄物を対象とした余裕深度処分の検討は、第3次中間報告で行われており、重要核種は C-14、Cl-36、Tc-99、Np-237 であった。本検討で対象としている廃棄物は、上記の核種に加え、Th-232、Np-237、U-238、U-235 のような核種が含まれている。これらの核種は半減期が長いいため、放射平衡となった娘核種による被ばくを考慮する必要がある。

- ・ FP 核種 , AP 核種

C-14、Cl-36、Ca-41、Zr.93、Tc-99、I-129、Cs-135

- ・ 崩壊連鎖を考慮する核種

4n 系列 : Th-232、Pu-240

4n+1 系列 : Np-237、Am-241、Cm-245

4n+2 系列 : U-234、U-238、Pu-242

4n+3 系列 : U-235、Pu-239、Am-243

表 3.4.3-1 重要核種のまとめ (JNC)

| | 核燃料サイクル開発機構 | | | | | | | |
|-----|----------------------------|----------------------------|-----------------|-------|---------------------------|-----------------|-------|----------------|
| | 東海事業所 | | 大洗工学センター | | ふげん | | もんじゅ | |
| | 操業 | 解体 | 操業 | 解体 | 操業 | 解体 | 操業 | 解体 |
| | Gr.1 | Gr.2 | Gr.3 | Gr.4 | Gr.5 | Gr.6 | Gr.7 | Gr.8 |
| 1桁目 | Tc-99, I-129, Np-237 | Tc-99, I-129, Np-237 | U-238 | U-238 | C-14, Cl-36, Pu-240 | Cl-36, Zr-93 | Cl-36 | Cl-36 |
| 2桁目 | Cl-36 | Cl-36 | - | - | U-235 | C-14 | Ca-41 | C-14, Tc-99 |
| 3桁目 | C-14 | C-14 | Cl-36, U-235 | U-235 | U-234 | Tc-99, U-238 | C-14 | - |

表 3.4.3-2 重要核種のまとめ (原研、大学関係)

| | 日本原子力研究所 | | | 大学関係 | | | |
|-----|-------------------------------------|----------|--------------------------------------|-------|-------|-------|--|
| | 大洗事業所 | 東海/大洗事業所 | 東海事業所 | 東京大学 | 京都大学 | | |
| | 操業 | 解体 | 操業 | 解体 | 操業 | 解体 | |
| | Gr.9 | Gr.10 | Gr.11 | Gr.12 | Gr.13 | Gr.14 | |
| 1桁目 | Cl-36, Am-241, U-234 | Cl-36 | Np-237, U-238 | - | - | - | |
| 2桁目 | Cs-135 Pu-239 | C-14 | Th-232, U-234 | - | - | - | |
| 3桁目 | C-14, Zr-93, Tc-99, Pu-240 | Tc-99 | Tc-99, I-129, Am-241, U-235 | - | - | - | |

表 3.4.3-3 重要核種のまとめ (使用施設)

| | 使用施設 | | | | | |
|-----|---|---|-----------------------|------------------|-----------------------------|-------|
| | 日本核燃料開発(株) | | ニュークリア デベロップメント(株) | | 日立エソ ニアリング(株) | 東芝(株) |
| | 操業 | 解体 | 操業 | 解体 | 解体 | 解体 |
| | Gr.15 | Gr.16 | Gr.17 | Gr.18 | Gr.19 | Gr.20 |
| 1桁目 | Tc-99, Am-241, Np-237, U-238, U-234 | Tc-99, Am-241, Np-237, U-238, U-234 | Pu-242 | Pu-242 | Tc-99, Am-241, Np-237 | Cl-36 |
| 2桁目 | Cm-245, Pu-239 | Cm-245, Pu-239 | U-234 | U-234 | U-238, U-234 | - |
| 3桁目 | Pu-240, Am-243, U-235 | Pu-240, Am-243, U-235 | Tc-99, Am-241 | Tc-99, Am-241 | Cm-245, Am-243 | C-14 |

3.5 総合的施設検討

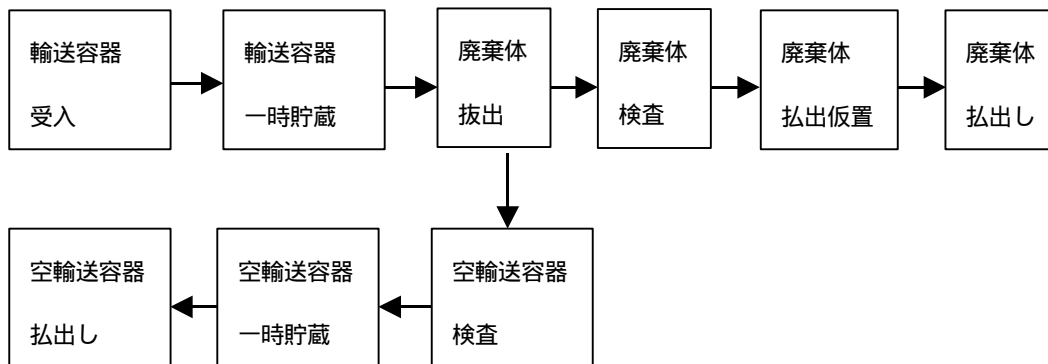
3.5.1 操業計画の策定

想定される廃棄体発生年度展開を考慮し、操業から閉鎖までの操業計画を策定する。

(1) 受入・検査設備

a. 基本ブロックフロー

「管理建屋の廃棄体取扱設備検討」にて設定した基本ブロックフローに従って、操業計画を検討する。



なお、各工程において実施すべき項目を以下に示す。

| 工程 | 実施項目 | 工程 | 実施項目 |
|-------------|---|--------------|--|
| 1 輸送容器 受入れ | ・構内輸送車両からの輸送容器の吊り降ろし | 7 空輸送容器 検査 | ・空輸送容器検査室への搬送 ・空輸送容器蓋取外し ・表面汚染検査 ・空輸送容器蓋取付け |
| 2 輸送容器 一時貯蔵 | ・一時貯蔵場所への搬送 ・定置 | 8 空輸送容器 一時貯蔵 | ・一時貯蔵場所への搬送 ・定置 |
| 3 廃棄体 抽出 | ・縦起し位置への搬送 ・衝撃吸収カバーの取り外し ・縦起し(4.6m ³ 容器のみ) ・輸送容器蓋ボルト取外し ・廃棄体抽出し室への移動 ・輸送容器蓋外し ・廃棄体抽出し ・輸送容器蓋取付け | 9 空輸送容器 払出 | ・払出し場所への搬送 ・構内輸送車両への輸送容器の載せ込み |
| 4 廃棄体 検査 | ・整理番号確認 ・外観検査 ・表面線量測定 | | |
| 5 廃棄体 払出仮置 | ・払出仮置室への吊り降ろし ・横倒し(4.6m ³ 容器のみ) ・一時仮置き場所への搬送 ・定置 | | |
| 6 廃棄体 払出 | ・ヤードキャリアへの積み込み | | |

b. 前提条件

. 年間受入れ数量

年間受入量については、操業期間を30年と仮定し、その間に2890体を埋設することから1m³容器97体/年、ドラム缶ラック2体/年(ドラム缶4本収納)の受入数となる。

. 操業時間

年間操業時間: 200日/年

操業時間(実働): 6時間/日

c. 操業計画

. 受入工程

() 1 航海あたりの輸送数量

RI・研究所等廃棄物専用輸送船の埋設施設への荷降ろし回数を10航海/年及び定検期間2ヶ月/年と仮定すると、輸送容器受入はほぼ1ヶ月に1回程度となり、その際に受け入れる輸送容器数は10体程度となる。

() 必要な受入速度

受入・輸送容器一時貯蔵工程は、原則として輸送船停泊中(数日～1週間程度)に受入～一時貯蔵を済ます必要があると考え、輸送容器の受入速度としては最低でも2～3体/日が求められる(操業時間は6(時間/日)と仮定)。

ハンドリング機器としてケース1(船から輸送容器の荷降ろし及び取扱い施設における輸送容器の受入を天井クレーンにより行う)の場合では、受入1系統で対応可能と思われる。

また、ハンドリング機器がケース2(船からの輸送容器の荷降ろし及び取扱い施設における受入をトレーラーの走行と昇降機能により行う)の場合には、さらに処理速度が上がる事が期待できる。

なお、空輸送容器は、実入り輸送容器取扱いに比較し、取扱い速度が早くすることが可能と考えることから、受入速度に影響するものではないと考える。

. 輸送容器一時貯蔵工程

輸送容器の一時貯蔵は受入工程に引き続いているため、処理速度は受入工程と同様の2～3体/日である。ハンドリング機器がケース1(/ケース2の双方において、1系統で十分に対応可能と考える。

. 廃棄体拔出し工程

() 操業日数の設定

ここでは受入・検査設備の年間操業時間を 200 日、一日の操業時間を6時間と仮定する。

() 必要な受入速度

年間 200 日の操業期間より、廃棄体取出し工程における処理速度は輸送容器 0.5 体 / 日、廃棄体 0.6 体 / 日を求められるが、実際には輸送容器 2 ~ 3 体 / 日、廃棄体 10 体以上の処理速度は十分に有すると思われるため、廃棄体搬出し工程には十分な余裕があると考えられる。

・ 廃棄体検査工程

設定された検査項目(整理番号、外観検査、表面線量、重量、表面汚染)に対応するための検査装置については、以下のような仮定を行う。

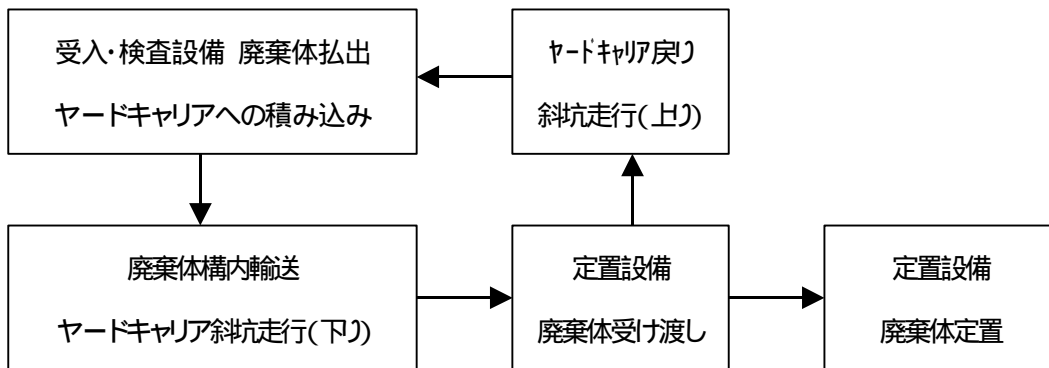
- ・検査装置A: 整理番号 / 外観検査
- ・検査装置B: 表面線量 / 重量測定
- ・検査装置C: 表面汚染測定

廃棄体検査室に移送された廃棄体はこれらの3検査装置を順次通過することで一連の検査が終了する。検査装置の処理速度に支配因子となるが、1日2体程度は十分対応可能と思われる。

(2) 廃棄体輸送・定置設備

a. 基本ブロックフロー

基本ブロックフローは以下の通りである。



b. 前提条件

受入・検査設備からの廃棄体払出: 2~3 体 / 日

操業時間(実働):6時間/日

ヤードキャリア及び定置クレーンのサイクルタイムは3.3.5 項の検討に基づく

c. 操業計画

廃棄体定置を 2~3 体/日とした時の地上受入れ施設廃棄体払い出し~廃棄体構内輸送~定置までの操業計画を表 3.5.1-1 に示す。

表3.5.1-1 操業計画

(コンクリートピット方式の定置クレーン)

| 作業項目 | 1 時間 | 2 時間 | 3 時間 | 4 時間 | 5 時間 | 6 時間 |
|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| 地上受入れ施設 廃棄体払い出し 所要時間: 15 分 | 1 体目 | 2 体目 | 3 体目 | 4 体目 | 5 体目 | |
| 斜坑走行 所要時間: 下り 15 分 : 上り 20 分 | | | | | | |
| 定置設備 廃棄体受け渡し 所要時間: 15 分 | | | | | | |
| クレーン走行 + 横行 所要時間: 17 分 | | | | | | |
| RC 蓋撤去 / 設置 所要時間: 各 3 分 | | | | | | |
| 廃棄体定置(昇降) 所要時間: 10 分 | | | | | | |

3.5.2 総合的施設検討

(1) 受入・検査設備における必要機器

受入れから定置までの一連の施設に関して、必要とされる機器を取扱い対象容器に応じて設定する。

表3.5.2-1 受入・検査設備の必要設備

| | | | |
|-----------------------|--|--|---|
| ドラム缶 | | | |
| 1m ³ | - | | |
| 4.6m ³ | - | - | |
| 受入工程 | ・天井クレーン (α 昇降機能付トレー) (ドラム缶ラック用輸送容器重量相当) | ・天井クレーン (α 昇降機能付トレー) (1m ³ 輸送容器重量相当) | ・天井クレーン (4.6m ³ 輸送容器重量相当) |
| 輸送容器 一時貯蔵 工程 | ・天井クレーン (α 台車) (ドラム缶ラック用輸送容器重量相当) | ・天井クレーン (α 台車) (1m ³ 輸送容器重量相当) | ・天井クレーン (α 台車) (4.6m ³ 輸送容器重量相当) |
| 廃棄体 拔出工程 | ・天井クレーン (or 床走行クレーン) (or 昇降機能付遮蔽容器) (ドラム缶4本+ラック重量相当) | ・天井クレーン (1m ³ 廃棄体重量相当) | ・天井クレーン (4.6m ³ 廃棄体重量相当) |
| 検査工程 | ・天井クレーン (or 床走行クレーン) (or 昇降機能付遮蔽容器) ・検査装置 (ドラム缶用) - 整理番号確認 - 外観検査 - 放射エネルギー測定 - 表面線量 - 重量測定 | ・天井クレーン (1m ³ 廃棄体重量相当) ・検査装置 (ドラム缶+角型容器用) - 整理番号確認 - 外観検査 - 放射エネルギー測定 - 表面線量 - 重量測定 | ・天井クレーン (4.6m ³ 廃棄体重量相当) ・検査装置(同左) |
| 廃棄体 払出 仮置 工程 | ・天井クレーン (ドラム缶4本+ラック重量相当) | ・天井クレーン (1m ³ 廃棄体重量相当) | ・天井クレーン (4.6m ³ 廃棄体重量相当) |
| 払出工程 | ・天井クレーン (ドラム缶4本+ラック重量相当) | ・天井クレーン (1m ³ 廃棄体重量相当) | ・天井クレーン (4.6m ³ 廃棄体重量相当) |

(2) 埋設施設における必要機器

地上の受入れ施設から廃棄体定置設備までの廃棄体搬送、及び廃棄体定置についての機器概念検討を踏まえ、必要機器の概要を表3.5.2-2に示す。

表3.5.2-2 埋設施設における必要機器

| 施設・工程 | 必要機器 | 概略仕様 |
|------------|------------|---|
| 1. トンネル型施設 | | |
| (1)廃棄体構内輸送 | | |
| 斜坑 | ヤードキャリア | 車輻寸法：3.2mW×10mL×1.6mH 最大積載重量：約160ton 走行速度：10km/h（平坦走行時）3km/h（7%上り勾配時） 運転監視・操作方式：直接目視・手動操作 積載物：運搬用遮蔽容器 |
| | 運搬用遮蔽容器 | 容器外寸：約2mW×5.6mL×2mH 重量：約150ton（4.6m ³ 廃棄体約64ton含む） |
| 立坑 | ヤードキャリア | （斜坑でのヤードキャリア相当） |
| | 巻上機（クレーン） | （今回検討対象外） |
| | 運搬用遮蔽容器 | （斜坑での運搬用遮蔽容器相当） |
| (2)廃棄体定置 | 定置クレーン | 形状：橋型クレーン 外形寸法：約10mスパン×20mL×5mH クレーン自重：約500ton 定格荷重：約70ton 速度：約2m/min（巻上）約10m/min（横行） 約20m/min（走行） 走行方式：ピット外壁天端部レール軌道方式 運転監視・操作方式：遠隔監視・手動（又は自動）操作 動力供給方式：ケーブルリール方式 しゃへい機能：約20cm厚鉄板 （廃棄体吊具周り及びRC蓋吊具周り） |
| | フォークリフト | （今回検討対象外） |
| 2. サイロ型施設 | | |
| (1)廃棄体構内輸送 | ヤードキャリア | （斜坑でのヤードキャリア相当） |
| | 廃棄体定置用遮蔽容器 | 外形寸法：約2mW×6mL×4mH 遮蔽容器自重：約90ton 速度：約10m/min（巻上） 運転監視・操作方式：遠隔監視・手動（又は自動）操作 動力供給方式：ケーブルリール方式 しゃへい機能：約20cm厚鉄板 |
| (2)廃棄体定置 | 定置クレーン | 形状：橋型クレーン 外形寸法：約80mスパン×16mL×17mH クレーン自重：約1800ton 定格荷重：約300ton 速度：約10m/min（昇降）約20m/min（空昇降時） 約10m/min（横行）約20m/min（走行） 走行方式：サイロ天端部レール軌道方式 運転監視・操作方式：遠隔監視・手動（又は自動）操作 動力供給方式：ケーブルリール方式 しゃへい機能：なし |
| | RC蓋開閉用遮蔽容器 | 外形寸法：約6mW×8mL×4mH 遮蔽容器自重：約270ton 速度：約2m/min（巻上）約10m/min（横行） 運転監視・操作方式：遠隔監視・手動（又は自動）操作 動力供給方式：ケーブルリール方式 取扱対象物：RC蓋約25ton（厚さコンクリート約1m） しゃへい機能：約20cm厚鉄板 |

3.5.3 施設規模の検討

(1) 受入検査設備

受入検査設備及び埋設施設の検討において受入対象廃棄物が増加した場合の施設規模に関して検討する。

a. 前提条件

(a) 対象物量

各ケースの対象物量を表 3.5.3-1 に示す。

表 3.5.3-1 検討ケースと廃棄体発生量の整理

| 機関 | 事業所 | | 廃棄体容器 | 廃棄体個数 (個) | |
|-----------------|----------------------|--------------------------|--------------------|--------------|-----|
| | | | | 操業 | 解体 |
| 核燃料サイクル開発機構 | 東海事業所 | 余裕深度処分対象廃棄物(*1) | 1m3容器 | 59 | 14 |
| | | | ラック | 50 | 0 |
| | | 再処理施設(*2) | 1m3容器 | 1194 | 760 |
| | | | ラック | 3325 | 0 |
| | | ウラン取扱施設(*3) | 1m3容器 | 1515 | 94 |
| | Pu施設(*2) | 1m3容器 | 228 | 931 | |
| | 大洗工学センター | (系)(*1) | 1m3容器 | 99 | 171 |
| | | (系)(*1) | 1m3容器 | 381 | 57 |
| | 新型転換炉ふげん発電所(*1) | | 1m3容器 | 29 | 171 |
| | 高速増殖炉もんじゅ建設所(*1) | | 1m3容器 | 19 | 247 |
| 人形峠環境技術センター(*3) | | 1m3容器 | 2968 | 153 | |
| 日本原子力研究所 | 大洗研究所(*1) | | 1m3容器 | 526 | 336 |
| | 東海研究所(*1) | | 1m3容器 | 611 | |
| | | | ラック | 9 | 0 |
| 大学関係 | 東京大学 | 大学院工学系研究科附属原子力工学研究施設(*1) | 1m3容器 | 0 | 2 |
| | 京都大学 | 原子炉実験所(*1) | 1m3容器 | 1 | 1 |
| 使用施設 | 日本核燃料開発㈱ | ホットラボ施設(*1) | 1m3容器 | 62 | 62 |
| | ニュークリア ディベロップメント㈱ | 燃料ホットラボ施設(*1) | 1m3容器 | 16 | 20 |
| | 日立エンジニアリング㈱ | 王禅寺事業所(*1) | 1m3容器 | 0 | 5 |
| | ㈱東芝 | ホットラボ施設(*1) | 1m3容器 | 0 | 1 |
| * 1 | ケース 1の対象廃棄体量 | 基本ケース | 2,949個 (99個 / 年) | | |
| * 2 | ケース 2の対象廃棄体量 | ケース 1 + 再処理施設 + Pu施設 | 9,387個 (313個 / 年) | | |
| * 3 | ケース 3の対象廃棄体量 | ケース 2 + ウラン取扱施設 + 人形峠 | 14,117個 (471個 / 年) | | |

(b) 操業時間

年間操業時間: 200 日 / 年

操業時間(実働): 6時間 / 日

b. 処理速度の検討

基本ケース

年間受入れ廃棄体数は 99 体であり、1 日平均取扱い個数は 0.5 体である。このため、処理速度向上方策を特に取り込む必要はないと考える。

+再処理 + Pu 取扱施設

年間受入れ廃棄体数は 313 体であり、1 日平均取扱い個数は 1.6 体である。基本ケースより取扱い数量が増大することと取扱い数量の変動を考慮すると、処理速度向上案を導入した施設形態が望まれる。

+ 人形峠 + ウラン取扱施設

年間受入れ廃棄体数は 471 体であり、1 日平均取扱い個数は 2.36 体である。ケースより取扱い数量が増大することと取扱い数量の変動を考慮すると、処理速度向上案 或いは を導入した施設形態が望まれる。

(2) 合理的な施設の組合せの検討

埋設施設の組合せを考慮する場合は、トンネル型施設と開削サイロ型施設の建設費の特徴を考慮する必要がある。開削サイロ型施設は、仕様が同じであれば、建設費は基数に比例する。そのため、処分単価(廃棄体又は廃棄物の単位当たりの費用)は、廃棄体数が増えても変化しないという特徴がある。しかし、トンネル型施設では、廃棄体量が多いほど処分単価は安くなる。この理由は、処分空洞へアプローチするためのアクセス路は一定の費用しかかからないため、処分空洞の基数が増えるほどアクセス路のコストが薄められ、処分単価が安くなることによる。したがって、開削サイロ型施設とトンネル型施設を組み合わせることは、トンネル型施設の廃棄体数が減少することであり、トンネル型施設の処分単価が高くなるということである。また、開削サイロ型施設の処分単価は変わらないため、トータルとしての処分単価は高くなる。

そのため、本検討では、トンネル型施設と開削サイロ型施設の組合せはないものとし、次節では、それぞれ単独の施設形態を想定して、廃棄体数が増加する場合の施設規模の検討を行う。

(3) 埋設施設の施設規模の検討

() 廃棄体量の整理

施設規模の検討に使用する廃棄体発生量をケース分けし、以下に整理する。

| ケース名 | 発生場所 | 発生量(体) | 発生頻度(体/年) |
|-----------------|----------------------|--------|-----------|
| ケース1 (基本ケース) | JNC、原研、大学 使用施設 | 2,949 | 99 |
| ケース2 | ケース1 + 再処理施設 + Pu 施設 | 9,387 | 313 |
| ケース3 | ケース2 + 人形峠 + ウラン取扱施設 | 14,117 | 471 |

() トンネル型施設の施設規模の検討

先述したとおり、埋設施設形態を組み合わせることは、経済性が低下することになるため、ここではトンネル型施設とサイロ型施設の双方について、施設規模の検討を行う。また、各ケースについて、当初から各ケースの廃棄体発生量が決定している場合と基本ケースはそのままの規模として扱い、その後、増設する場合について検討する。

(a) ケース1(基本ケース)の検討

「3.3 埋設処分場形態の検討」に示すとおりである。

(b) ケース2の検討

ケース2の埋設施設配置図を図 3.5.3-1 及び図 3.5.3-2 に示す。

(c) ケース3の検討

ケース3の埋設施設配置図を図 3.5.3-3 及び図 3.5.3-4 に示す。

() サイロ型施設の施設規模の検討

サイロ型施設としては、基本ケースで検討した開削サイロ形施設とする。

(a) ケース1(基本ケース)の検討

「3.3 埋設処分場形態の検討」に示すとおりである。

(b) ケース2の検討

ケース2の埋設施設配置図を図 3.5.3-5 及び図 3.5.3-6 に示す。

(c) ケース3の検討

ケース3の埋設施設配置図を図 3.5.3-7 及び図 3.5.3-8 に示す。

() 検討結果の整理

以上の検討結果を整理して、表 3.5.3-2 に示す。

表3.5.3-2 検討結果の整理

| ケース名 | | トンネル型施設 | 開削サイロ型施設 | 備 考 |
|-----------------|----|--|--|-------------|
| ケース1 (基本ケース) | | <ul style="list-style-type: none"> ・処分空洞 2本 ・処分空洞長さ =294.4m ・区画数 = 62 区画 ・最大埋設能力 = 2,976 体 | <ul style="list-style-type: none"> ・サイロ基数 = 1 基 ・上面 = GL-50.0m ・下面 = GL-87.8m ・16 区画 × 4 段 ・最大埋設能力 = 3,072 体 | |
| ケース2 | 新設 | <ul style="list-style-type: none"> ・処分空洞 5本 ・処分空洞長さ =361.0m ・区画数 = 196 区画 ・最大埋設能力 = 9,408 体 | <ul style="list-style-type: none"> ・サイロ基数 = 2 基 ・上面 = GL-50.0m ・下面 = GL-96.0m ・20 区画 × 5 段 ・最大埋設能力 = 9,408 体 | 最大施設の仕様を示す。 |
| | 増設 | <ul style="list-style-type: none"> ・処分空洞 5本 ・処分空洞長さ =412.8m ・区画数 = 196 区画 ・最大埋設能力 = 9,408 体 | <ul style="list-style-type: none"> ・サイロ基数 = 4 基 ・上面 = GL-50.0m ・下面 = GL-87.8m ・16 区画 × 4 段 ・最大埋設能力 = 9,408 体 | 最大施設の仕様を示す。 |
| ケース3 | 新設 | <ul style="list-style-type: none"> ・処分空洞 7本 ・処分空洞長さ =375.8m ・区画数 = 295 区画 ・最大埋設能力 = 14,160 体 | <ul style="list-style-type: none"> ・サイロ基数 = 3 基 ・上面 = GL-50.0m ・下面 = GL-96.0m ・20 区画 × 5 段 ・最大埋設能力 = 14,160 体 | 最大施設の仕様を示す。 |
| | 増設 | <ul style="list-style-type: none"> ・処分空洞 7本 ・処分空洞長さ =412.8m ・区画数 = 295 区画 ・最大埋設能力 = 14,160 体 | <ul style="list-style-type: none"> ・サイロ基数 = 5 基 ・上面 = GL-50,0m ・下面 = GL-96.0m ・20 区画 × 5 段 ・最大埋設能力 = 14,160 体 | 最大施設の仕様を示す。 |

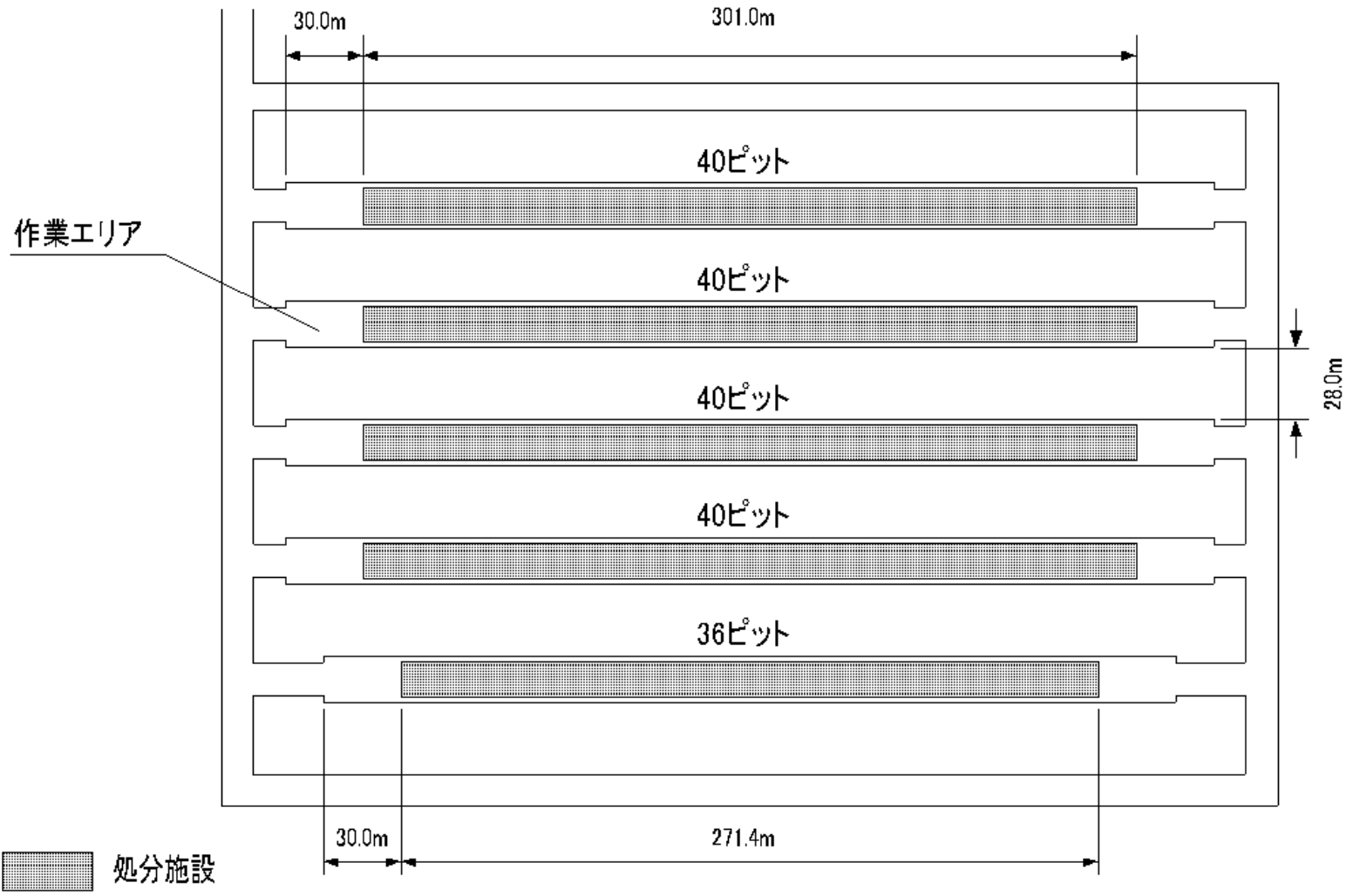


図3.5.3-1 ケース2(新設)のトンネル型施設配置図

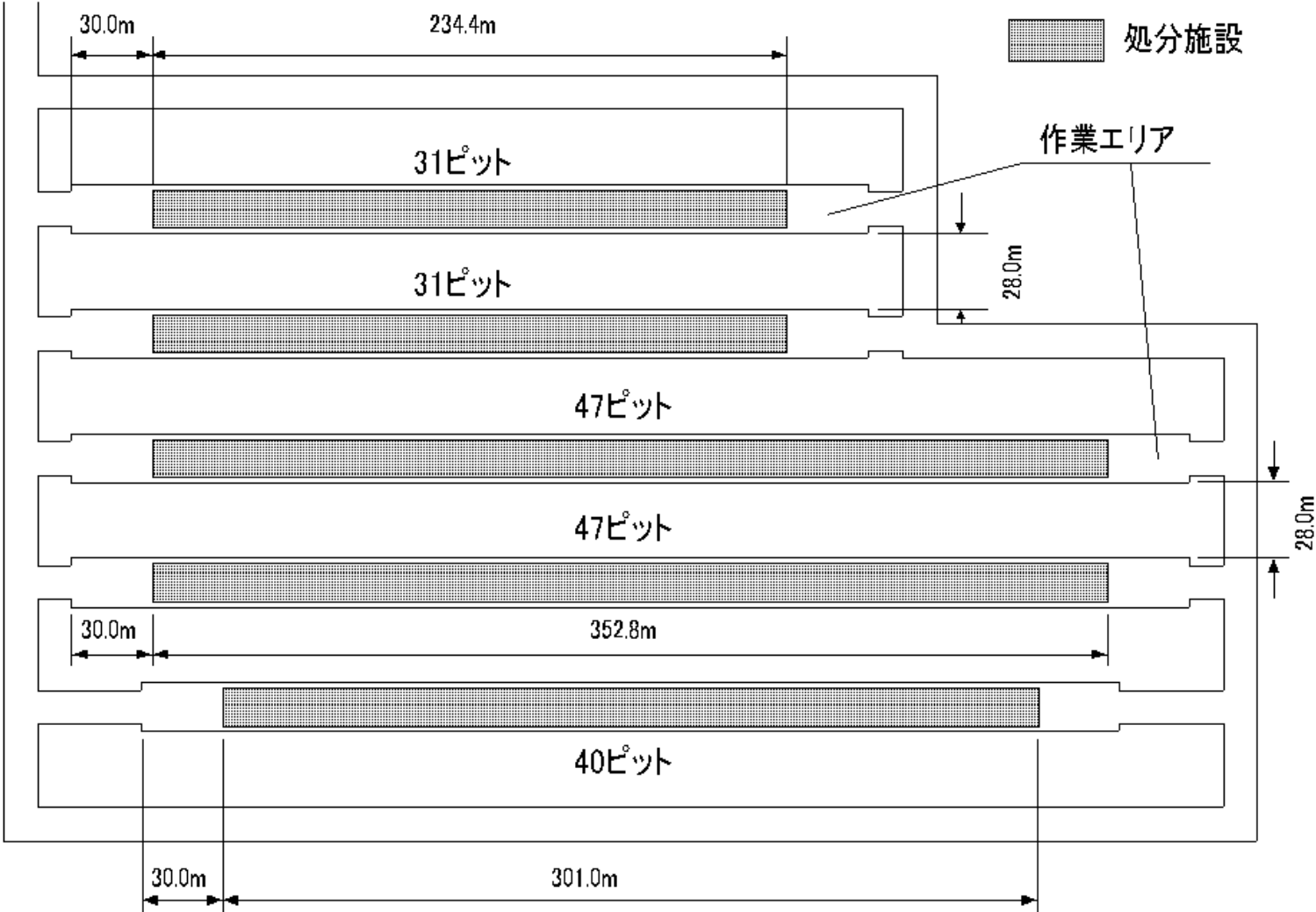


図3.5.3-2 ケース2(増設)のトンネル型施設配置図

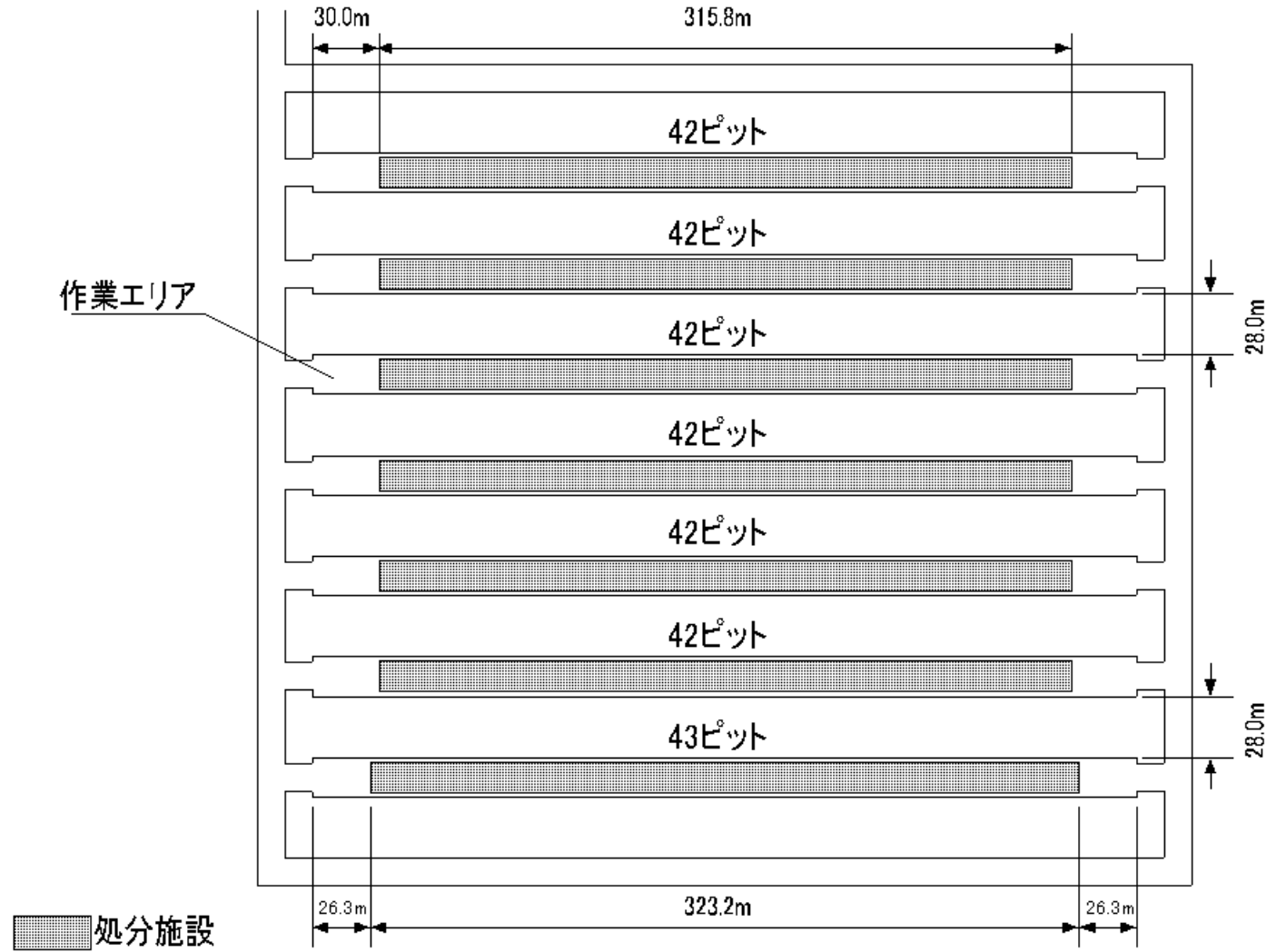


図3.5.3-3 ケース3(新設)のトンネル型施設配置図

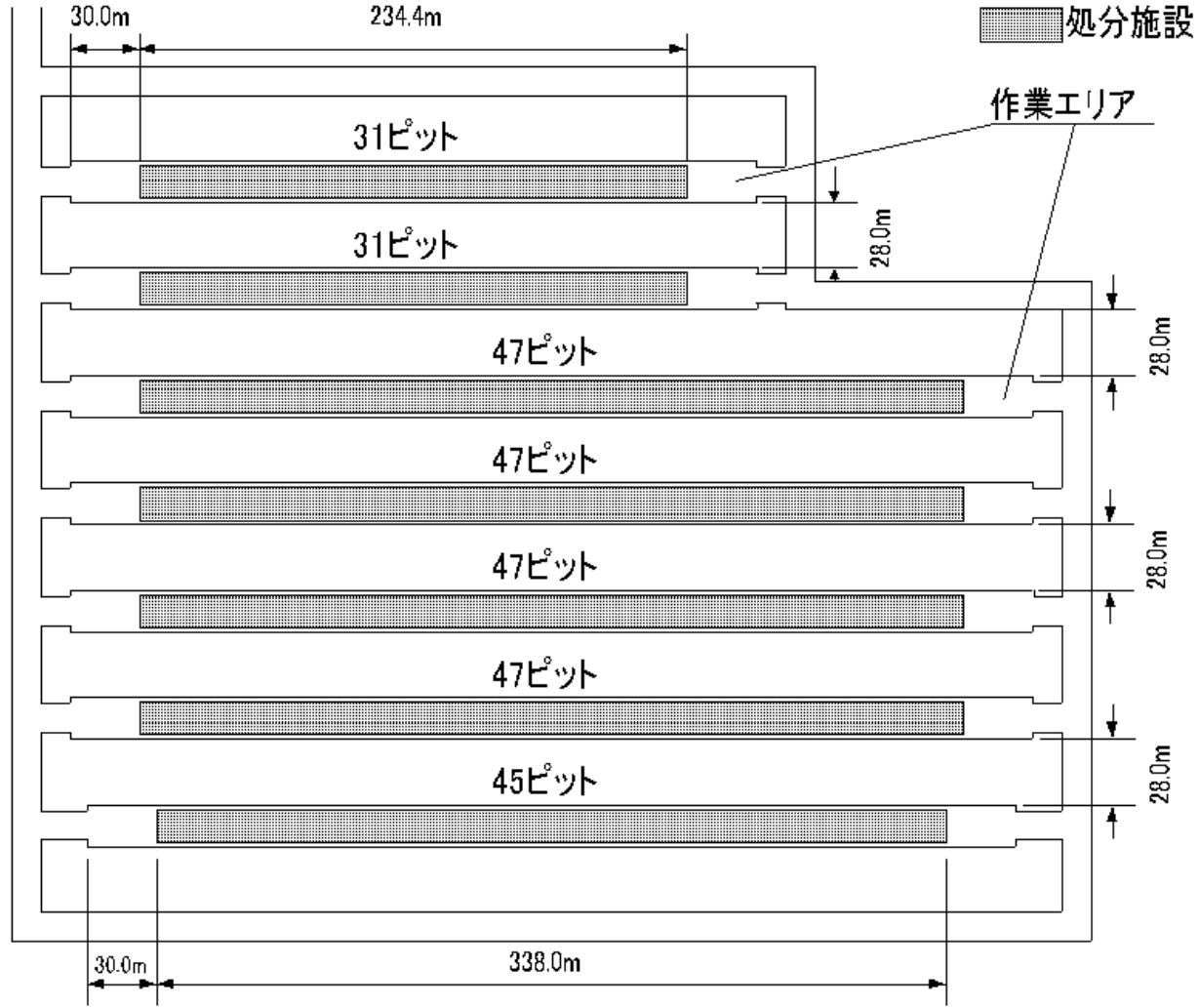


図3.5.3-4 ケース3(増設)のトンネル型施設配置図

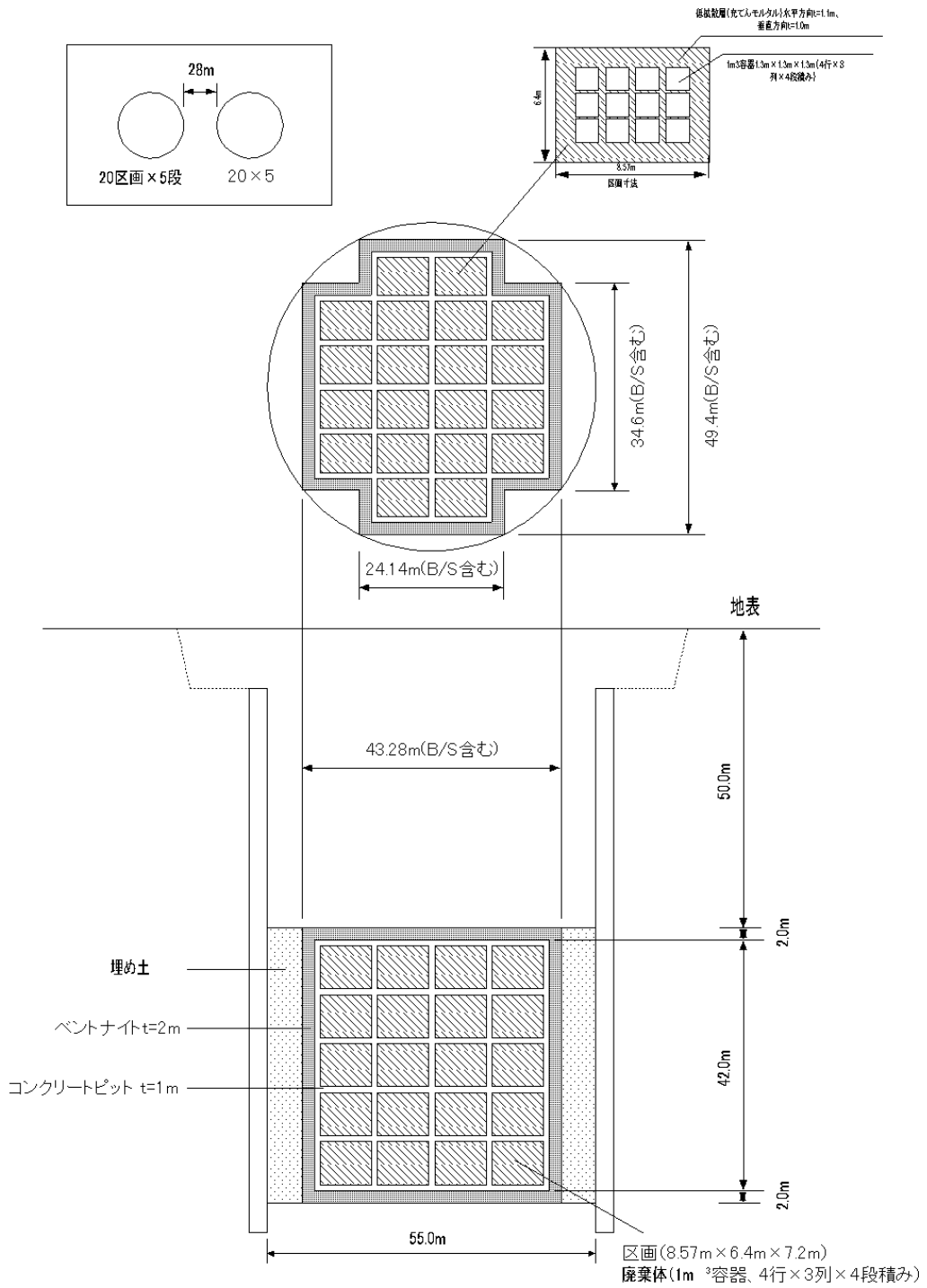


図3.5.3-5 ケース2(新設)の開削サイロ型施設配置図

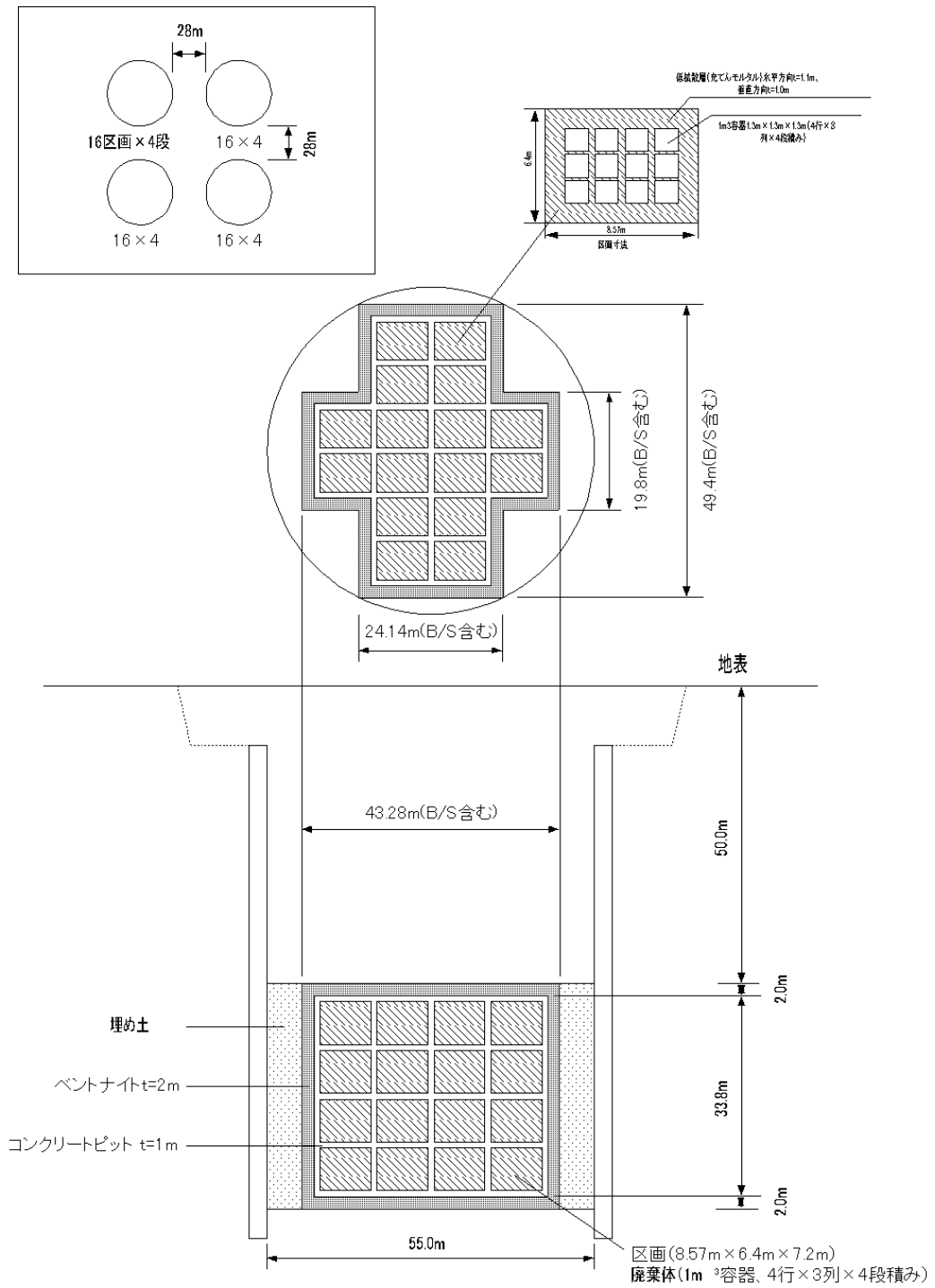


図3.5.3-6 ケース2(増設)の開削サイロ型施設配置図

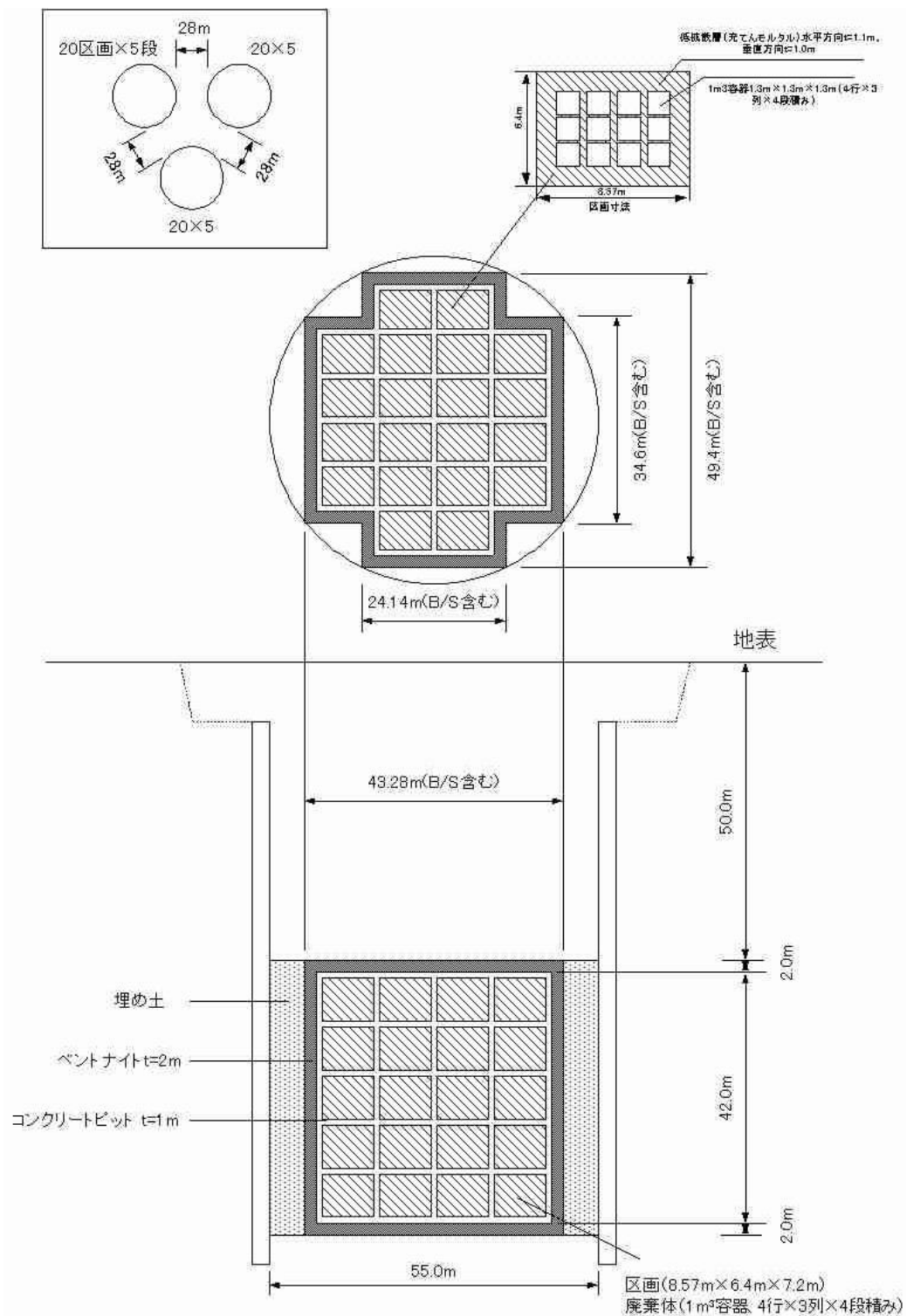


図3.5.3-7 ケース3(新設)の開削サイロ型施設配置図

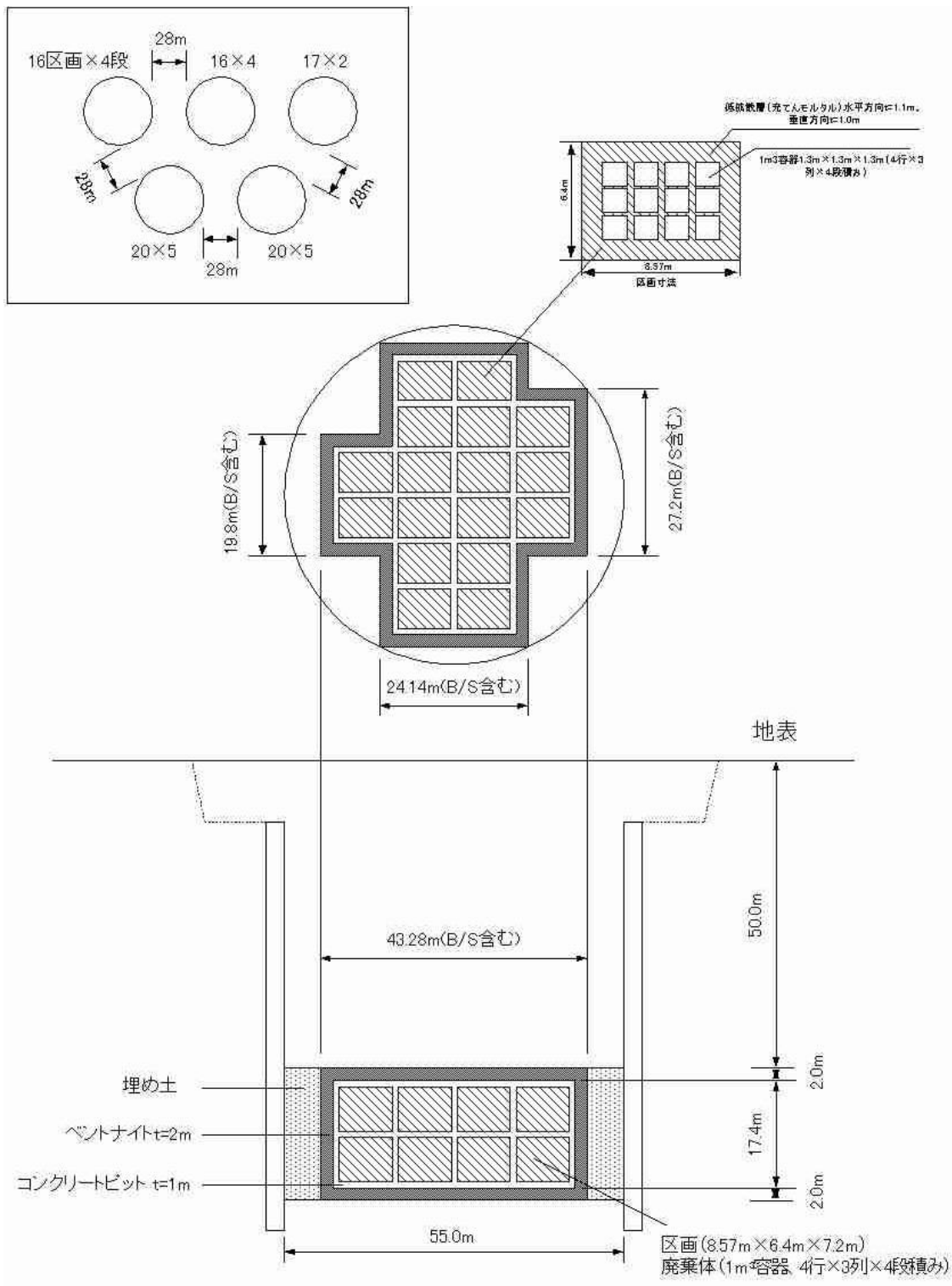


図3.5.3-8 ケース3(増設)の開削サイロ型施設配置図

3.6 RI・研究所等廃棄物余裕深度処分の課題の抽出

3.6.1 廃棄物特性と廃棄体容器 / 輸送容器の課題の抽出

(1) 廃棄物特性

(i) 核種組成のデータの密度

廃棄物の調査データを見ると、発生機関によって提示している核種組成の粗密が見られる。現在問題となっている核種と処分場の評価の様な長期間を対象とする場合で問題となる核種は異なるので、核種組成のデータについては、発生機関別のデータの粗密がない様に統一する様な改善が必要と考えられる。

(ii) 廃棄物発生量データの年度展開

本年度の調査データでは、特に解体廃棄物の発生時期については、データの設定を行っている発生機関が少なかった。廃棄物発生量の集計結果では、核燃料サイクル開発機構と日本原子力研究所を起源とする廃棄物が全体の廃棄物発生量の約 95%を占めているので、両機関で廃棄物発生量の前提条件を統一すれば、廃棄物の年度展開に関してはより詳細な検討に使用可能と考える。

(2) 廃棄体容器

本検討では、廃棄体容器の外寸法に関しては原子力学会バックエンド専門部会第 14 回夏期セミナーにて報告された廃棄体容器の外寸法 (1m³ 容器) を用い、廃棄物は裁断され処理後 1m³ 容器に収納可能と考えた。しかし実際には 1m³ 容器に収納不可能な廃棄物も存在する可能性もある。廃棄体容器の寸法については、廃棄物の大きさのデータも加えて検討する必要がある。

3.6.2 受入検査設備の課題の抽出

(1) 必要機能の設定

本検討では、処分場以外で廃棄体製作を行うことを前提として検討を行ったが、廃棄体製作を処分場で行う場合も十分想定されるため、処分場で廃棄体製作の対象として考えられる廃棄物種類、廃棄物特性及び取扱い数量等を設定することにより必要機能の検討を行うことが必要である。

(2) 取扱い数量の設定

本検討では、取扱い数量の変動について対象施設を変動させて検討を行うことによ

り、取扱い数量の大きな変動については対応性検討が実施できたが、各ケースにおける年間取扱い数量については、処分場の操業期間中年平均で受け入れることとしているため、平均値に対して変動を考慮した場合についても検討する必要がある。

3.6.3 埋設施設の課題の抽出

(1) 埋設ハンドリング設備の課題の抽出

(i) トンネル型施設ハンドリング設備

構内輸送設備であるヤードキャリアは、動力源にディーゼルエンジンを使用しているため排気ガスに対する換気の配慮が必要である。

定置作業においては、定置クレーンの各機器等に万一の故障が発生した時を考慮し、可能な限り処分空洞内の線量を低く抑える必要があることより、区画には定置前に RC 蓋を設置するとともに、廃棄体を取扱い時には廃棄体を取り囲むようにしゃへい体を設ける必要がある。

また、RC 蓋長手方向に蓋と蓋との間に隙間が生じるため、区画内定置済み廃棄体からのストリーミングを防止しつつ、RC 蓋のハンドリングを合理的に行える工夫が必要である。

吊具周りにしゃへい体を設けることにより、定置クレーン自重が大きくなりクレーン高さが高くなるため、クレーン高さの低減化を図る必要がある。

なお、定置設備として吊具を覆う大きな可動式しゃへい体を設置した例はないものの、基本的には汎用技術の延長であるが実績がないため実証試験等を行う必要がある。

(ii) サイロ型施設ハンドリング設備

クレーンでの機器等の取扱い高さが区画上段でも 50m 以上にもなることから、所定位置への機器等の吊り下げ時のクレーンの荷振れ対策が必要である。

また、所定の位置に機器等を吊り下げることが確実にするために、ガイド等（例えば凹凸形状での嵌合）を考慮する必要がある。

なお、廃棄体取扱い高さが 50m 以上にもなることから、廃棄体落下シナリオの観点からの対応を構築しておく必要がある。

(2) 埋設施設の課題の抽出

(i) 岩盤特性データ

本検討では、処分空洞規模が設置される岩盤を軟岩として、我が国の施工実績等から処分空洞規模を設定したが、処分空洞の規模を合理的に決定するためには、岩盤の一軸圧縮強度、三軸圧縮強度、側圧係数等の岩盤特性データが必要になる。この岩盤特性データにより、トンネル型施設では、支保工の仕様（吹付けコンクリート厚さ、二次覆工厚さ等）が決定され、サイロ型施設では、内巻きコンクリート厚さ等が決定される。

また、トンネル型施設及びサイロ型施設の配置を検討するうえでは、可能な限り、均一な岩盤に埋設施設を配置するのが合理的である。そのため、岩盤の分布状況に関するデータが必要になる。

(ii) コンクリートピットの構造計算

本検討では、コンクリートピットの構造計算は実施せず、壁厚等は遮へい設計からの要求のみで決定したが、合理的な施設とするためには、コンクリートピットに作用する荷重（自重、土圧、地震力、埋設クレーン荷重等）を考慮して構造計算を行い、構造的に必要な壁厚等を算定し、遮へい設計結果と見比べて、コンクリートピットの仕様を決定する必要がある。

(iii) 埋設施設の建設工程検討

処分空洞の規模（トンネル型施設では処分空洞延長、サイロ型施設ではサイロ直径等）を決定する要因としては、処分空洞の建設工程を検討する必要がある。すなわち、操業中の処分空洞と建設中の処分空洞を組み合わせ、全体がスムーズに流れるような処分空洞規模とするための検討を実施する必要がある。

この検討により、R I・研究所等廃棄物余裕深度処分における申請、許認可、建設、操業といった一連の工程を明確にすることが可能となる。

(iv) 廃棄体の発熱による影響の把握

本検討の対象廃棄体は発熱する可能性が大きい。廃棄体が発熱する場合、コンクリートや充てん材（モルタル）などのセメント系材料に対する力学的影響、セメント系材料やベントナイト層の透水係数や拡散係数といった放射性物質の移行抑制機能に対する影響が懸念される。そこで、廃棄体が発熱することによる人工バリアへの影響について、文献調査や試験を実施し、その成果を埋設施設の設計に反映する必要がある。

(3) 浸透水量検討の課題の抽出

(i) 考慮していない構造物が浸透水量へ与える影響

本検討では、例えばトンネル型施設においては吹き付けコンクリート、二次覆工、開削サイロについては連壁などのコンクリート構造物については、セメント系材料のひび割れ、劣化などの影響を考え、砂もしくは岩盤程度の透水係数を有するとしている。

しかし廃棄物を設置した初期段階では、コンクリート構造物も遮水性能を発揮するものと考えられるので、それらの構造物が浸透水量へ与える影響については確認を行う必要がある。

(ii) 岩盤の透水係数の不均質性

本検討では、施設周辺の岩盤を一つの透水係数として設定している。微視的な岩盤の透水係数の不均質性を考慮することは困難と考えられるが、シームの様な難透水性の層が岩盤中に局在する、もしくは比較的大きな割れ目が存在するといった断層まではいかないまでも比較的規模の大きな地質学的な特徴については、施設周辺の水理場を支配する可能性があるため確認を行う必要がある。

3.6.4 線量評価の課題の抽出

(1) 人工バリアの経時的な劣化

人工バリア材及び天然バリアにおける経時的な劣化現象を考慮した解析としては、現状バリア材の物質移行特性や吸着特性などについて経時的な変化を踏まえた評価パラメータ設定を行うための根拠となる余裕深度処分施設を対象とした劣化解析などが実施されていないことから、本年度の検討ではこれまで実施されている劣化した状態と初期条件が継続した場合という状態としては両極端なものを対象として実施した。今後は、より現実的な評価を実施するため、余裕深度処分施設を対象としたバリア材劣化解析などを実施し、経時的な評価パラメータ設定を可能とすると共に、それに基づき線量評価を実施し、R I・研究所等廃棄物を対象とした余裕深度処分の合理的な処分施設概念の検討を実施することが必要であると考えられる。

(2) 線量評価上影響を及ぼす有害物質の同定

本年度の廃棄物データの整理では、処分の安全評価上影響を及ぼすと考えられる有害物質に関してはデータが集約されていないことから、安全評価においては既存の研究成

果を踏まえ感度解析的に影響を評価した。しかし、今後 R I ・ 研究所等廃棄物の余裕深度処分により詳細な概念検討においては、今一度廃棄物発生源に立ち戻り、安全評価において影響を及ぼすと考えられる有害物資を廃棄物ごとに抽出することが必要であると考えられる。その際の抽出のポイントとしては、核種の化学形態を変化させバリア材への吸着特性に影響を与える錯体形成を生じるものや、人工バリア材の劣化などに有意な影響を与える硫酸塩などの塩類などが挙げられる。

(3) 化学毒性の観点

R I ・ 研究所等廃棄物の余裕深度処分における処分概念の検討では、当該廃棄物からの放射線学的な安全性の観点からの検討が進められている。一方、近年硝酸性窒素の環境基準が定まるなど、放射性廃棄物の処分においても環境基準への適合という側面も考慮する必要があると考えられる。そこで、R I ・ 研究所等廃棄物についても放射線学的な安全性のみではなく、化学毒性の観点からも、廃棄物データの見直しなども含めて検討が必要であると考えられる。

(4) 金属廃棄物の浸出特性

RI ・ 研究所等廃棄物にはさまざまな材質及び形状、形態の金属廃棄物が含まれており、それらの廃棄物については金属母材の腐食に伴う核種放出が考えられる。しかし、現状それらの廃棄物中からの核種の浸出特性に関しては十分なデータが得られていないため、今後核廃棄物ごとに金属廃棄物からの核種の浸出特性等についてデータを蓄積、整理することが必要であると考えられる。

(5) 天然バリア条件の幅の考慮

本研究では、天然バリア条件については「第 3 次中間報告」で検討が行われた条件を設定し、人工バリアにおける条件に関しては人工バリアの劣化や廃棄物中の有害物質の影響等を考慮した解析ケースを設定して検討を実施した。その結果、本検討で設定した条件のもとでは設定した解析ケースすべてにおいて処分の成立性が確保される結果となっている。今後は、「第 3 次中間報告」で示されているもの以外の天然バリア条件での RI ・ 研究所等廃棄物の余裕深度処分概念の検討及び処分の成立性の検討についても行う必要があると考えられる。天然バリア条件としては、分配係数、核種の移行距離、地下水流速等が挙げられる。

天然バリア条件の幅としては、例えば、岩種や核種の存在形態を考慮し、「TRU 廃棄物処分概念検討書」や「六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センター 廃棄物埋設事業変

更許可申請書」等の設定値を含めた範囲が考えられる。

4. まとめ

原子炉施設の運転と解体に伴い発生する低レベル放射性廃棄物のうち、政令濃度上限値（「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律施行令」第13条の9第1項第1号）を超える低レベル放射性廃棄物の処分については、「一般的であると考えられる地下利用に対して十分余裕を持った深度（例えば、地表から50～100m程度）」に人工構造物を設置した処分（以下「余裕深度処分」という。）が適切であることが放射性廃棄物安全規制専門部会の中間整理として平成11年3月に提示された。また、これを受けて放射性廃棄物安全基準専門部会において、その濃度上限値が導出され、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律施行令」の一部が改正されて余裕深度処分の政令濃度上限値が制定された。

一方、TRU核種を含む放射性廃棄物及びRI・研究所等廃棄物については原子力バックエンド対策専門部会が平成12年3月に「超ウラン核種を含む放射性廃棄物処理処分の基本的考え方」を取りまとめ、廃棄物の物理化学的性状と放射能濃度に応じて適切に区分し、それぞれの区分に応じた処分方策を講じるとする基本的考え方が提示された。

これらの規制関連の動きを鑑み、平成12年度においてはRI・研究所等廃棄物のうち余裕深度処分対象となる廃棄物について、廃棄体データベースを整備し、現時点において想定される条件設定に基づき処分概念を検討するとともに予備的な安全評価を実施し、概念設計への課題が抽出された。

本年度は、それらの課題を検討するとともに、RI・研究所等廃棄物余裕深度処分施設の概念設計を実施し、次年度における検討課題を抽出した。

5. おわりに

RI・研究所等廃棄物のうち、余裕深度処分対象となる廃棄物について、今年度は新たな廃棄物データ（廃棄物量、廃棄物特性等）が提示された。

この廃棄物データに基づき、処分施設の概念設計、操業計画及び安全評価等の検討を行い、成立性のある処分施設概念を提示することができた。

廃棄物データを整理した結果、表面線量率が高い廃棄体になることが示唆され、それに対応するための設備について、廃棄体受入から埋設までの各操業段階における一連の検討を行い、必要設備を提示することができた。

また、処分施設概念について安全評価を実施した結果、余裕深度処分施設としての安全性確保の見通しが得られるとともに、今後検討すべき課題を抽出することができた。

以上の検討結果に基づき、余裕深度処分施設の経済性と安全性を今後さらに向上させるために、各検討項目ごとに検討課題を提示することができた。