

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)

2004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
電話：029-282-1122（代表）
ファックス：029-282-7980
電子メール：jserv@jnc.go.jp

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)
2004

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)

景山仁志*、赤堀邦晃*

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「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」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、平成14年度までの検討において概念検討に関わる一通りの評価検討が実施された。

本研究では最新の廃棄体特性データをもとに遮へいの観点から廃棄体容器の最適化を図り、その結果に基づく処分施設の成立性の検討と処分コストの算定を実施した。

その結果、

地下水移行シナリオを仮定した場合、処分施設は目標線量である $10\mu\text{Sv}/\text{年}$ を満足すること。

想定した処分施設条件における処分コストの概算値。

が示された。

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

February, 2004

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

(Summary Report)

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

Hitoshi Kageyama*, Kuniaki Akahori*

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) has studied about the feasibility and the cost of the disposal for radioactive waste from medical, industrial and research facilities.

This study was started to renew to latest data of the radioactive waste. And at the point of shielding from radiation, the waste was categorized by activity of nuclide in waste container. Then the safety assessment and the prediction of cost of the disposal performed.

The result of this study showed as follow;

- (1) According to groundwater scenario, the summed doses for the repository are below of the regulatory guideline of 10 μ Sv/year.
- (2) A rough estimate values of a disposal cost under the assumed situation were indicated with the arguments.

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
2.3.1 廃棄体特性最適化検討	2
2.3.2 埋設施設形態最適化検討.....	3
2.3.3 施設成立性の検討	3
2.3.4 経済性の最適化検討.....	4
2.3.5 概念設計課題抽出	5
2.4 研究期間.....	5
3. 研究成果	6
3.1 廃棄体特性検討	6
3.1.1 廃棄物特性データの集計.....	6
3.1.2 廃棄体容器のしゃへい厚さの検討	10
3.2 埋設施設形態の最適化検討	17
3.2.1 前提条件の整理.....	17
3.2.2 トンネル型埋設施設.....	19
3.2.3 開削サイロ型埋設施設	24
3.2.4 施設浸入水量の検討.....	26
3.3 施設成立性の検討.....	29
3.3.1 評価対象核種及び重要核種の選定	29
3.3.2 安全評価の検討ケース及び使用パラメータの設定.....	32
3.3.3 安全評価のための核種移行解析	34

3.4	経済性の最適化検討	43
3.4.1	検討条件の整理	44
3.4.2	RI 廃棄物対象処分施設の経済性評価	63
3.4.3	処分施設のオプションケースの経済性評価	66
3.5	概念設計の課題抽出	71
3.5.1	廃棄体特性検討	71
3.5.2	埋施設形態の最適化検討	72
3.5.3	施設成立性の検討	73
3.5.4	経済性の最適化検討	73
3.6	おわりに	74

目 次

図 3.1.1-1	発生機関別の廃棄体発生量の集計結果	9
図 3.1.2-1	検討のフロー図	11
図 3.1.2-2	線源を Co-60 としたしゃへい計算の解析モデル図	13
図 3.1.2-3	線源の放射能濃度と輸送規則を満足するしゃへい厚さの関係	13
図 3.1.2-4	1.3m 容器廃棄体とラックの発生量の年度展開	16
図 3.2.2-1	処分施設の垂直断面図（トンネル型施設）	22
図 3.2.2-2	処分施設の水平断面図（トンネル型埋設施設）	22
図 3.2.2-3	アクセス坑道、作業坑道の垂直断面図	23
図 3.2.2-4	処分施設平面配置図（トンネル型施設）	23
図 3.2.3-1	処分施設の平面図（開削サイロ型施設）	25
図 3.2.3-2	処分施設の垂直断面図（開削サイロ型施設）	25
図 3.2.4-1	解析モデル図（トンネル型埋設施設）	27
図 3.2.4-2	解析モデル図（開削サイロ型埋設施設）	28
図 3.3.3-1	「第 2 次とりまとめ」におけるシナリオの分類	34
図 3.4.1-1	処分空洞の建設と操業のブロックフロー	46
図 3.4.1-2	坑道掘削から二次覆工の施工までのイメージ図	47
図 3.4.1-3	処分坑道の断面図	50
図 3.4.1-4	処分坑道のレイアウト図	51
図 3.4.1-5	アクセス坑道の縦断面図	55
図 3.4.1-6	アクセス坑道、作業坑道の断面図	56

表 目 次

表 3.1.1-1	調査機関の一覧表.....	8
表 3.1.1-2	廃棄体発生量集計結果.....	8
表 3.1.2-1	廃棄物の分類結果（1.3m 容器対象廃棄物）.....	14
表 3.1.2-2	1.3m 容器廃棄体とラックの発生予測数.....	14
表 3.2.1-1	人工バリア構成の設定一覧表.....	19
表 3.2.4-1	天然バリア条件および人工バリア条件.....	26
表 3.2.4-2	解析ケースおよび施設浸透水量の結果.....	27
表 3.2.4-3	解析ケースおよび施設浸透水量の結果（開削サイロ型埋設施設）.....	28
表 3.3.1-1	重要核種のまとめ.....	30
表 3.3.1-2	重要核種のまとめ（対象廃棄物全体）.....	31
表 3.3.2-1	核種移行解析の解析ケース一覧表.....	33
表 3.3.3-1	地下水移行解析に使用した評価コード.....	40
表 3.3.3-2	各検討ケースの線量評価結果.....	41
表 3.3.3-3	各評価経路の線量評価結果（基本ケース）.....	42
表 3.4-1	検討ケース一覧表.....	43
表 3.4.1-1	対象廃棄体の発生数（基本ケース、オプションケース）.....	45
表 3.4.1-2	区画内の廃棄体定置数、区画寸法、必要区画数の一覧表.....	48
表 3.4.1-3	検討ケースにおいて求められる設備の必要能力.....	57
表 3.4.1-4	受入・検査設備の機器リスト.....	61
表 3.4.1-5	埋設施設における必要設備の機器リスト.....	62
表 3.4.2-1	基本ケースの積算結果.....	65
表 3.4.3-1	オプションケース - 1 の積算結果.....	66
表 3.4.3-2	オプションケース - 2 の積算結果.....	67
表 3.4.3-3	オプションケース - 3 の積算結果.....	68
表 3.4.3-4	オプションケース - 4 の積算結果.....	69
表 3.4.3-5	積算結果のまとめ.....	70

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、RI・研究所等廃棄物については平成10年5月に原子力バックエンド専門部会により「RI・研究所等廃棄物処理処分の基本的考え方」が取りまとめられ、基本的な処分方策が示された。またRI・研究所等廃棄物のうち核種濃度が高い廃棄物については、平成12年3月に原子力バックエンド専門部会により「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」が取りまとめられ、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。

これらの法規制に基づき平成13年度に実施された「RI・研究所等廃棄物余裕深度処分施設の概念設計」では、RI・研究所等廃棄物の余裕深度処分場の基礎的な概念設計が実施され、施設の成立性が検討されるとともに、施設の概念設計を実施する上での課題が抽出された。続く平成14年度に実施された「RI・研究所等廃棄物余裕深度処分施設の概念設計」では、平成13年度に抽出された課題についての検討を実施するとともに、廃棄物特性データを見直し施設形態と安全評価を実施することで施設の成立性を確認した。また平成14年度では処分コストの試算も実施した。

本年度では、廃棄物の特性データを最新のデータに見直すとともに、専用の角型容器については廃棄体容器の遮へい厚さについて放射能濃度に応じた最適化を図る。また施設の成立性に関しては、最新の廃棄物特性データに基づく安全評価を行い、施設の成立性について再確認する。

更に処分コストについては、コスト算定に関わる処分施設の設備などの施設関連事項および処分場の操業工程などの操業関連事項についての設定根拠を明確にし、それらの根拠に基づく処分コストの算定を実施した。

2. 研究計画

2.1 研究目的

平成 14 年度までに実施された RI・研究所等廃棄物余裕深度処分施設の概念設計に関する研究では、処分施設の施設形態の検討から処分コストの試算までの一通りの処分施設の概念設計を実施した。

本年度は、平成 14 年度までに実施した概念設計の結果をもとに、最新の廃棄物特性データに基づき処分施設の最適化を行うとともに、RI・研究所等廃棄物余裕深度処分施設の概念設計のとりまとめを行う。

2.2 研究項目

- (1) 廃棄体特性最適化検討
- (2) 埋設施設形態最適化検討
- (3) 施設成立性の検討
- (4) 経済性の最適化検討
- (5) 概念設計課題抽出

2.3 研究内容

2.3.1 廃棄体特性最適化検討

廃棄体特性最適化検討では、核燃料サイクル開発機構（以下「JNC」と呼ぶ）、日本原子力研究所、大学関係、民間研究炉、民間燃料施設から発生する余裕深度処分相当の RI・研究所等廃棄物を対象として以下の項目について検討を行う。

(1) 発生廃棄物特性分類

JNC 殿提示の RI・研究所等廃棄物の余裕深度処分相当の廃棄物について、廃棄体容器に 200L ドラム缶を使用した場合の廃棄物の発生量、廃棄体の放射エネルギーと放射能濃度について集計を行う。

(2) 廃棄体容器仕様検討

(1) の集計結果に基づき廃棄体容器に外寸法が 1.3m × 1.3m × 1.3m の角型容器を使用した場合の廃棄体発生量および廃棄体の表面線量率について検討を行う。

平成 14 年度の検討では、内容積が 1m³ の角型容器の使用を仮定した。角型容器の厚さは 15cm であり輸送規則を満足しない場合には必要量の鉄板で補助遮へいすることとした。しかし、廃棄物の中には放射能濃度が低く、廃棄体容器に 15cm の遮へいを必要としない廃棄物が存在し、そのような廃棄物に対しては 15cm の厚さの角型容器は過剰な遮へいである可能性があった。このため、本年度は(1)で見直された廃棄物データに基づき、角型容器の遮へい厚さについて廃棄物をグループ化し、廃棄体容器の遮へい厚さについて見直しを行う。

2.3.2 埋設施設形態最適化検討

2.3.1 の検討結果を踏まえ、トンネル型方式とサイロ方式の施設形態について最新の廃棄物の特性を考慮した埋設施設の配置(レイアウト)を検討する。

2.3.3 施設成立性の検討

2.3.1、2.3.2 の検討結果に基づく安全評価を実施し、埋設地を特定しない一般的な条件で、天然バリア、人工バリアの変動などを考慮した施設の成立性を検討する。

施設成立性の検討

放射性廃棄物安全基準専門部会が取りまとめた「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)」における 10 μSv/y 相当濃度(C)と 3.1.1、3.1.2 の集計の結果得られる廃棄体の平均放射性物質濃度(D)から相対重要度(D/C)を評価する。また施設形態をトンネル方式、開削サイロ型方式とし以下のパラメータを変動させた核種移行解析を行うことにより、安全評価に対する感度を確認する。なお本項の安全評価では、「RI・研究所等廃棄物余裕深度処分施設の概念設計」で設定した基本ケースの条件を基本ケースとして使用することとし、生物圏への放射性物質の移行経路シナリオは、「河川水利用経路」とする。

- ・ セメント系材料の分配係数

- ・ 緩衝材の厚さ
- ・ 緩衝材の透水係数
- ・ 緩衝材の維持期間

評価経路の検討

2.3.3 の検討結果に加え、放射性物質の生物圏への移行経路シナリオを「河川水利用経路」以外とした場合についても安全評価を実施し、「RI・研究所等廃棄物余剰深度処分施設の概念設計」で示された重要核種に影響がないことを確認する。

本項の検討では、施設形態をトンネル型施設と開削サイロ型施設とし、2.3.3 の検討において設定した基本ケースを設定することとする。また河川水利用経路以外の放射性物質の生物圏への移行経路シナリオとしては以下のシナリオを想定する。

- ・ 河川岸建設作業経路
- ・ 河川岸居住経路
- ・ 河川岸農耕経路

2.3.4 経済性の最適化検討

経済性検討の設定条件整理

処分施設の施設形態についてはトンネル方式とサイロ方式があるが、本検討では現状で施工実績の高いトンネル方式を前提とする。

処分施設の設備リストや施設レイアウトなどの施設関連事項、処分場の操業工程などの操業関連事項を検討ケースごとに整理する。

処分コストの算定

算定項目ごとに設定根拠を明確にし、前項までに検討した施設形態、操業形態に関して処分コストを算定する。

コスト最適化検討

2.3.4 の処分コストの算定と同様の算定方法を用いて以下の条件となった場合の処分コストの算定を行う。

- (1) JNC 東海事業所分の TRU 核種を含む廃棄物を合同処分した場合
- (2) JNC 分の TRU 核種を含む廃棄物とウラン廃棄物を合同処分した場合
- (3) 処分施設の緩衝材の厚さを 1m に減少させた場合

なお(1) (2)については、廃棄物物量の変化が処分コストへ与える影響について検討し、廃棄物の種類が変化することによる人工バリアの変動は考慮しないこととする。

また(3)については、処分坑道の断面形状が変化せず廃棄体の収納効率が増加した場合と廃棄体の収納効率が増加せず処分坑道の断面の大きさが変化した場合について処分コストの比較検討を行う。

2.3.5 概念設計課題抽出

上記の研究成果に基づき処分施設の概念設計に関する課題の抽出を行う。

2.4 研究期間

平成 15 年 9 月 16 日 ~ 平成 16 年 2 月 13 日

本検討の実施工程は、以下に示すとおりである。

本研究の実施工程

検討項目	平成 15 年度					
	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月
Key Date						最終報告
(1) 廃棄体特性最適化検討	—————					
(2) 埋設施設形態最適化 検討		—————				
(3) 施設成立性の検討			—————			
(4) 経済性の最適化検討			—————			
(5) 概念設計の課題抽出					—————	

3. 研究成果

3.1 廃棄体特性検討

本研究では、RI 研究所等廃棄物の余裕深度処分相当の廃棄物を取扱う。本研究で取扱う廃棄物は 核種の放射能濃度が高く、廃棄体の取扱いには必要なしゃへいを施す必要がある。廃棄体容器は現在のところ低レベル放射性廃棄物の処分で 200L ドラム缶が使用されているが、このような厚いしゃへいを必要とする廃棄物には内容積が大きな専用の廃棄体容器が使用される可能性があり、余裕深度処分検討では角型容器の使用が検討されている。しかし現在のところ、200L ドラム缶の使用についても完全には否定されていない。そこで、3.1.1 では廃棄体容器に 200L ドラム缶を使用した場合を想定し、処分場の安全評価に必要な廃棄体発生量、放射能量（放射能濃度）を集計することとする。また 3.1.2 では廃棄体容器に専用の角型容器を使用した場合の廃棄体発生量について検討することとし、3.2 以降では角型容器の使用を前提条件とする。

3.1.1 廃棄物特性データの集計

核燃料サイクル開発機構より提示された RI・研究所等廃棄物の余裕深度処分相当の廃棄物データに基づき、廃棄体特性、放射能量（放射能濃度）、および廃棄物発生量などの処分施設の概念設計を検討する上で必要となる廃棄物条件をもとに分類・整理した。なお、大学・民間使用施設を起源とする廃棄物については平成 14 年度のデータを踏襲した。

(1) 調査対象機関

本研究では、「RI・研究所等廃棄物余裕深度処分余裕深度処分施設の概念設計」(平成 14 年度)と同じ表 3.1.1-1 に示す合計 8 機関を対象とした。

(2) 集計方法

(i) 廃棄物の分類

- 廃棄物は、操業廃棄物と解体廃棄物に分類する。

注)核燃料サイクル開発機構大洗工学センターの処理 2 次廃棄物は、廃棄物発生量を集計では操業廃棄物として取扱った。

- 廃棄物の種類は、原則として以下の 4 種類に分類する。ただし、可燃物と不燃物とが混ざる廃棄物のように、下記の分類方法では分類できない廃棄物に関してはあえ

て可燃物と不燃物を分けることはせず、その他に属する他の廃棄物とも別々に取扱った。

- ・ 可燃物
- ・ 難燃物
- ・ 不燃物
- ・ その他（解体金属、廃樹脂、解体コンクリートなど）

(ii) 廃棄物の処理方法

核燃料サイクル開発機構、日本原子力研究所を起源とする廃棄物については、調査結果に基づき設定した。大学関係・民間使用施設を起源とする廃棄物については、「RI・研究所等廃棄物余裕深度処分施設の概念設計」の処理方法を踏襲した。

(3) 集計結果

廃棄体発生量の集計結果を表 3.1.1-2 に示す。廃棄体発生量は、200L ドラム缶相当で合計 16987 本である。その内訳は、操業廃棄物が 10018 本、解体廃棄物が 6969 本である。表 3.1.1-2 には平成 14 年度の廃棄体発生量の結果を併記した。平成 15 年度の廃棄物発生量は、平成 14 年度の廃棄体発生量と比べて核燃料サイクル開発機構の東海事業所、大洗工学センター、日本原子力研究所の東海研究所のデータが大きく異なっている。核燃料サイクル開発機構の廃棄物は、本年度、処理方法、放射性物質の濃度分布、廃棄体の仕様、RI 廃棄物 / 再処理廃棄物 / ウラン廃棄物の区分方法が見直された。また日本原子力研究所の東海事業所の廃棄物では Pu 試験が実施された場合の解体廃棄物が見込まれていたが、本年度では対象外となった。廃棄体発生量が平成 14 年度と異なるのは以上の要因によるものである。

廃棄物の発生機関別の集計結果を図 3.1.1-1 に示す。廃棄物の発生機関別では、日本原子力研究所からの廃棄物が最も多く 9626 本（約 59%）であり、次に核燃料サイクル開発機構の 6577 本（約 41%）となっている。両者の合計値は 16189 本であり、廃棄物全体の約 95%を占めている。

表 3.1.1-1 調査機関の一覧表

機 関		事 業 所	施 設
核燃料サイクル開発機構*1		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 むつ事業所	-
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	KUR
民間使用 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

*1：東海事業所の再処理・Pu 燃施設から発生する廃棄物およびウラン廃棄物を除く。

表 3.1.1-2 廃棄体発生量集計結果

発 生 機 関		平成15年度		平成14年度	
		200Lドラム缶 換算本数(本)		200Lドラム缶 換算本数(本)	
		操業	解体	操業	解体
核燃料サイクル開発機構	東海事業所	4	10	482	70
	大洗工学センター*1	4098	49	2520	1200
	ふげん発電所	231	865	140	900
	もんじゅ建設所	37	1283	101	1300
日本原子力研究所	東海研究所	4690	280	4690	6290
	大洗研究所	576	3900	576	3900
	むつ事業所	0	180	0	180
大学関係	東京大学	1	0	1	0
	京都大学	1	3	1	3
民間使用施設	日本核燃料開発(株)	320	320	320	320
	ニュークリア・デベロップメント(株)	60	70	60	70
	日立エンジニアリング(株)	0	8	0	8
	(株)東芝	0	1	0	1
合 計	操業、解体単体	10018	6969	8891	14242
	操業+解体	16987		23133	

注)集計結果は推定値であり、今後変動する可能性がある。
発生場所別に廃棄物量を集計した後、小数点1桁目を切り上げた。

*1:処理2次廃棄物については、操業廃棄物として集計した。

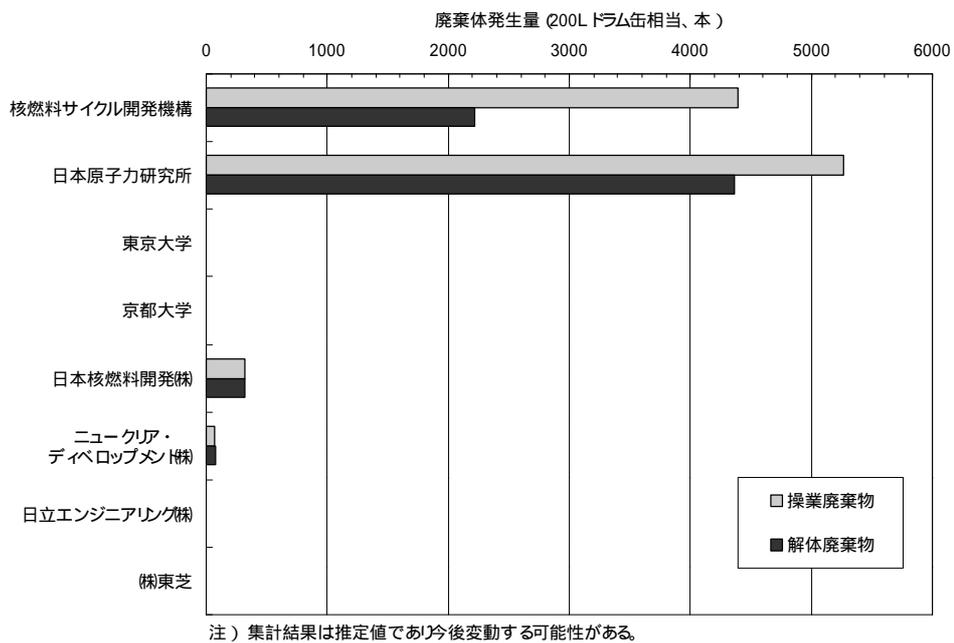


図 3.1.1-1 発生機関別の廃棄体発生量の集計結果

3.1.2 廃棄体容器のしゃへい厚さの検討

前年度までの研究では、廃棄体容器に内寸法が $L1m \times W1m \times H1m$ の角型容器と 200L ドラム缶を 4 本収納するラックの使用を前提条件として検討を行った。ラックは既に 200L ドラム缶を使用した処分が決まっている廃棄物と大学・民間使用施設から発生する廃棄物を使用対象とし、それ以外の廃棄物には角型容器を使用することを前提条件とした。

角型容器の使用を前提条件とする廃棄物に関しては、前年度の研究では大部分の廃棄物が輸送規則を満足するしゃへい厚さを 35cm とし、輸送容器と廃棄体容器の厚さをそれぞれ 20cm と 15cm とした。またラックの使用を前提条件とする廃棄物に関しては、200L ドラム缶の表面線量率が角型容器と同程度となるしゃへい厚さについて検討した。

しかし廃棄物の中には、放射能濃度が低く厚いしゃへいを必要としない廃棄物が存在し、その様な廃棄物に対しては廃棄体容器のしゃへい厚さを薄くした方が経済的に有利となる。本項では外寸法が $1.3m \times 1.3m \times 1.3m$ の角型容器（以下 1.3m 容器と呼ぶ）を使用した場合を想定し、廃棄物を廃棄体容器のしゃへい厚さについて分類し、それらの発生量を予測する。

また受入れ設備や廃棄体の定置作業時の被ばくに対しては廃棄体容器の表面線量率が重要となる。前年度までの研究では処分施設内の受入れ設備、埋設クレーンなどの諸設備は廃棄体容器の表面線量率 500mSv/h を前提条件として検討が進められている。本項では廃棄体容器の表面線量率に対しても検討し、処分施設内の諸設備の前提条件を満足するかどうか確認する。また処分場の操業工程および諸設備の機能に対しては、廃棄体の年間発生量（年度展開）も重要であり、本項では 1.3m 容器とラックの年度展開についても言及する。

(1) 検討の手順

図 3.1.2-1 に本項での検討におけるフロー図を示す。本項では 1.3m 容器および外寸法が $1.3m \times 1.3m \times 1.3m$ のラックを対象として検討する。検討に際して設定した前提条件については、次節に示す。廃棄体のしゃへいに関しては、まず法規制上遵守する必要がある輸送規則を満足する様に、廃棄体容器のしゃへい厚さに対して廃棄物を分類し、1.3m 容器およびラックの発生量を予測する。また受入れ設備から廃棄体の定置までのしゃへいに関しては、廃棄物ごとに 1.3m 容器の表面線量率を算出し処分施設内の諸設備の前提条件である 500mSv/h を満足するかどうか確認する。最後に廃棄体の年発生量（年度展開）を求め、前年度までの研究での廃棄体の年発生量との比較を行う。

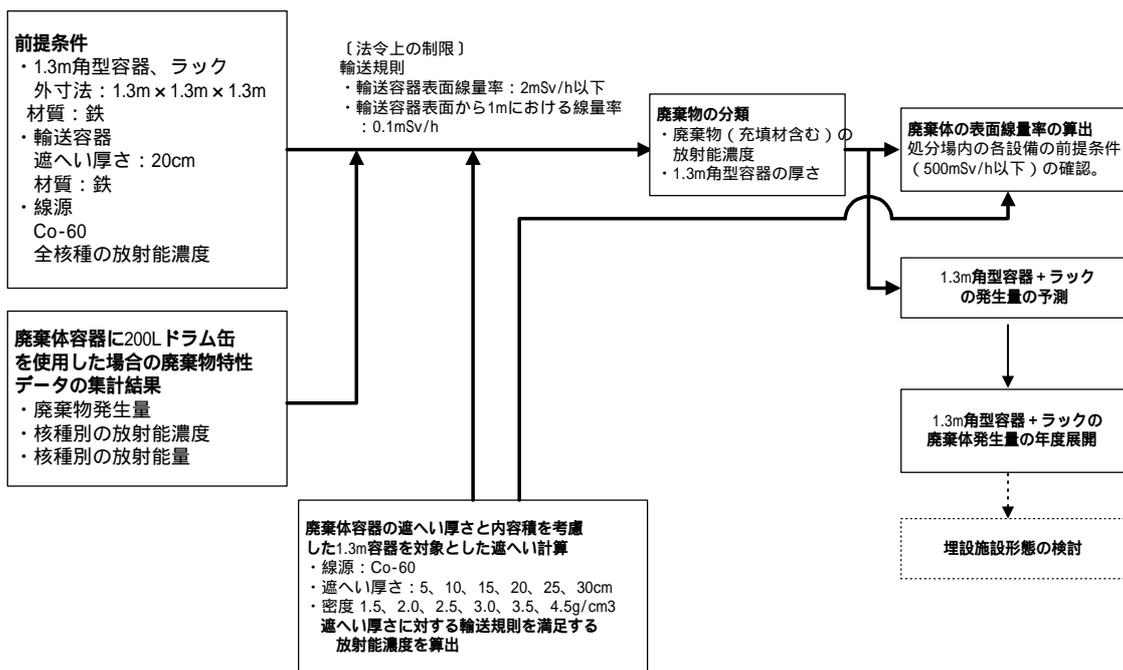


図 3.1.2-1 検討のフロー図

(2) 前提条件

廃棄体容器、輸送容器、しゃへい計算に用いる線源に対しては、以下の前提条件を設定する。

廃棄体容器

・ 1.3m 容器

対象廃棄物：核燃料サイクル開発機構、日本原子力研究所の廃棄物で現在 200L
ドラム缶のまま処分することが決定されていない廃棄物

外寸法：1.3m×1.3m×1.3m

材質：鉄

厚さ：5cm から 15cm の範囲を 5cm 間隔で検討する。

廃棄物：廃棄体容器に 200L ドラム缶を使用した場合と同じ廃棄物量、充てん
材の割合で収納する。

注) 平成 14 年度での検討結果を踏襲すれば外寸法が 1.3m×1.3m×4.9m の角型容器の使用も考
えられる。1.3m×1.3m×4.9m の角型容器は、1.3m 容器を横方向に 3 個並べた大きさであ
ることから、ここでは 1.3m 容器だけを取扱う。

- ・ 200L ドラム缶 4 本組ラック

対象廃棄物：現在 200L ドラム缶のまま処分する廃棄物と大学関係・民間使用施設の廃棄物

外寸法：1.3m × 1.3m × 1.3m

材質：鉄

輸送容器

輸送容器の形状、材質、部材の厚さについては「RI・研究所等廃棄物余裕深度処分施設の概念設計」の前提条件、検討結果を踏襲する。

厚さ：20cm

材質：鉄

しゃへい検討で使用する線源

線源：保守側に Co-60 を設定する。

廃棄物の放射能濃度：保守側に全核種の放射能濃度を Co-60 線源の放射能濃度とする。

注) 廃棄物の大部分は 核種よりも 核種を多く含む廃棄物であるが、中には放射能濃度が低い核種だけを含む廃棄物が存在する。核種だけを含む廃棄物についてもある程度の薄いしゃへいを考慮するため、全核種の放射能濃度を Co-60 線源の放射能濃度として取扱った。なお 核種が主体の廃棄物に対しては 核種の放射エネルギーを加えても大きな差はでないこと、また 核種だけを含む廃棄物は放射能濃度が低いため厚いしゃへいが必要となる結果にならない。

(3) 廃棄体容器の厚さに着目した廃棄物分類と廃棄体発生量予測

1.3m 容器廃棄体を輸送容器に収納した場合の輸送容器と 1.3m 廃棄体の表面線量率と輸送容器表面から 1m の線量率を求めるために図 3.1.2-2 に示す解析モデルでしゃへい計算を実施した。その結果、図 3.1.2-3 に示す Co-60 線源の放射能濃度と輸送規則を満足するために必要な廃棄体容器と輸送容器を合わせたしゃへい厚さの関係が得られた。

ここで 3.1.1 で集計した 200L ドラム缶内の核種を全て Co-60 と考え、図 3.1.2-3 の結果を適用して廃棄物の種類別に輸送規則を満足するために必要な廃棄体容器と輸送容器を合わせたしゃへい厚さを求めた。求めたしゃへい厚さから輸送容器の厚さ

(20cm) を引くことにより輸送規則を満足する廃棄体容器の厚さを求めた。廃棄体容器の厚さを 5cm 間隔で区分し、1.3m 容器の使用対象廃棄物を分類した結果を表 3.1.2-1 に示す。1.3m 容器廃棄体の発生数は 2341 体となり、これにラックの発生数(200L ドラム缶 4 本をラック 1 体とした)を加えた結果、1.3m 容器廃棄体とラックの発生数は合計で 2729 体となった。

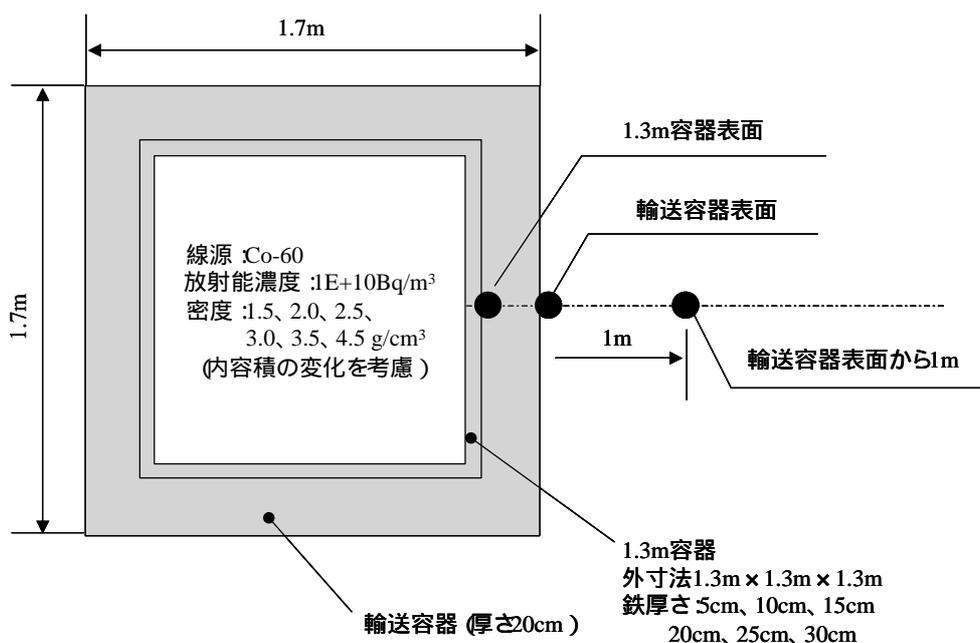


図 3.1.2-2 線源を Co-60 としたしゃへい計算の解析モデル図

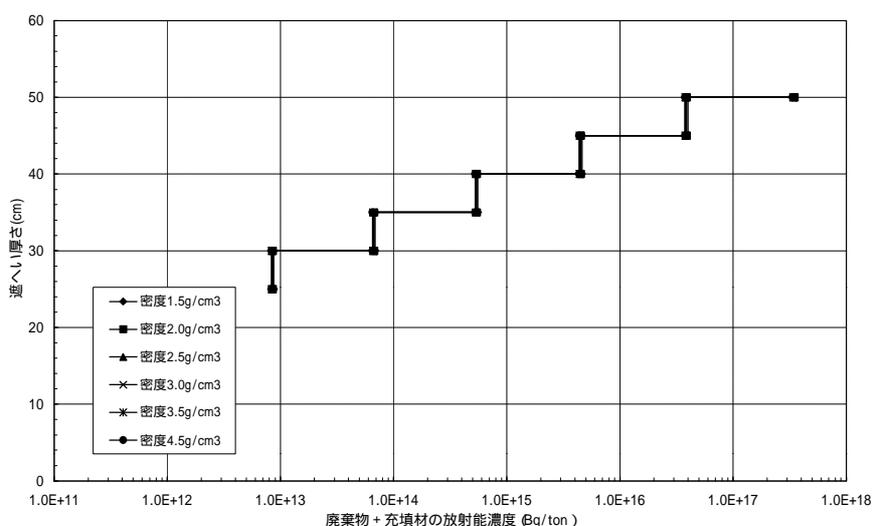


図 3.1.2-3 線源の放射能濃度と輸送規則を満足するしゃへい厚さの関係

表 3.1.2-1 廃棄物の分類結果 (1.3m 容器対象廃棄物)

グループ	しゃへい厚さ (cm)		1.3m 容器廃棄体 発生予測数 (体)
	輸送容器 表面まで	廃棄体容器 表面まで	
1	25	5	823
2	30	10	727
3	35	15	785
4	40 以上	20 以上	6
合計値			2341

注) 集計値は推定値であり、今後変動する可能性がある。

表 3.1.2-2 1.3m 容器廃棄体とラックの発生予測数

発生機関		1.3m容器 (体)		ラック (体)	
		操業	解体	操業	解体
核燃料サイクル開発機構	東海事業所	5	3	0	0
	大洗工学センター ^{*1}	489	15	171	0
	ふげん発電所	30	130	0	0
	もんじゅ建設所	5	149	0	0
日本原子力研究所	東海研究所	591	43	13	0
	大洗研究所	80	780	0	0
	むつ事業所	0	21	0	0
大学関係	東京大学	0	0	0	1
	京都大学	0	0	1	1
民間使用施設	日本核燃料開発㈱	0	0	81	81
	ニュークリア・ディベロップメント㈱	0	0	16	19
	日立エンジニアリング㈱	0	0	0	3
	㈱東芝	0	0	0	1
合計	操業、解体単体	1200	1141	282	106
	操業 + 解体	2341		388	
	1.3m容器 + ラック	2729			

注) 集計結果は推定値であり、今後変動する可能性がある。

*1: 処理 2次廃棄物については、操業廃棄物として集計した。

(4) 廃棄体の表面線量率の確認

3.1.2(3)で実施した 1.3m 容器を対象としたしゃへい計算の結果、1.3m 容器の表面線量率が最も高い廃棄物は、日本原子力研究所の大洗研究所を起源とする解体廃棄物(表面線量率 410mSv/h)であり、1.3m 容器廃棄体の発生数は 780 体と必ずしも少なくない発生数であった。このことから 410mSv/h を 500mSv/h とまるめれば前年度までの検討で処分場内の諸設備の前提条件となることから前年度までの処分場の諸設備の検

討結果が利用できることがわかった。

(5) 廃棄体発生量の年度展開

処分場について、平成 14 年度の仮定を踏襲し操業期間 30 年間とし、操業開始を平成 40 年度、閉鎖を平成 70 年度と仮定する。

廃棄物の発生期間を、

- ・ 核燃料サイクル開発機構については「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、処理設備の更新時期についても考慮した。大洗工学センターの年度展開については、東海事業所と同じ平成 21 年度から平成 60 年度まで年間平均発生量が発生するとした。
- ・ 日本原子力研究所については、サイクル機構とほぼ同時期の平成 22 年度より処理が開始されるとし、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・民間使用施設については、施設の解体後 5 年の冷却期間を置いた後処理を行い 4 ~ 5 年程度の間で廃棄体を作製することとした。施設の解体時期が未定の施設に関しては、原子炉の寿命として 50 年を想定し、原子炉の運転開始時期より 50 年後に解体されるものとした。廃棄物の処理については未確定な廃棄物が多いため、処理施設の設置時期については民間施設の解体時期が重なる平成 34 年度とした。

として廃棄体発生量の年度別発生量を計算した結果を図 3.1.2-4 に示す。年度別の廃棄体発生量の最大値は 84 体 / 年となり、平成 14 年度の研究の廃棄体受入れ数である 122 体 / 年 (1m³ 廃棄体 115 体、ラック 7 体) を上回らないことがわかった。また廃棄体発生数の総数を操業期間 30 年で割って求めた廃棄体の年平均発生数は 91 体 / 年であり、やはり平成 14 年度の研究の廃棄体受入れ数を上回らないことがわかった。

このため処分場の受入施設、地下設備については、平成 14 年度の検討結果を使用することができる。

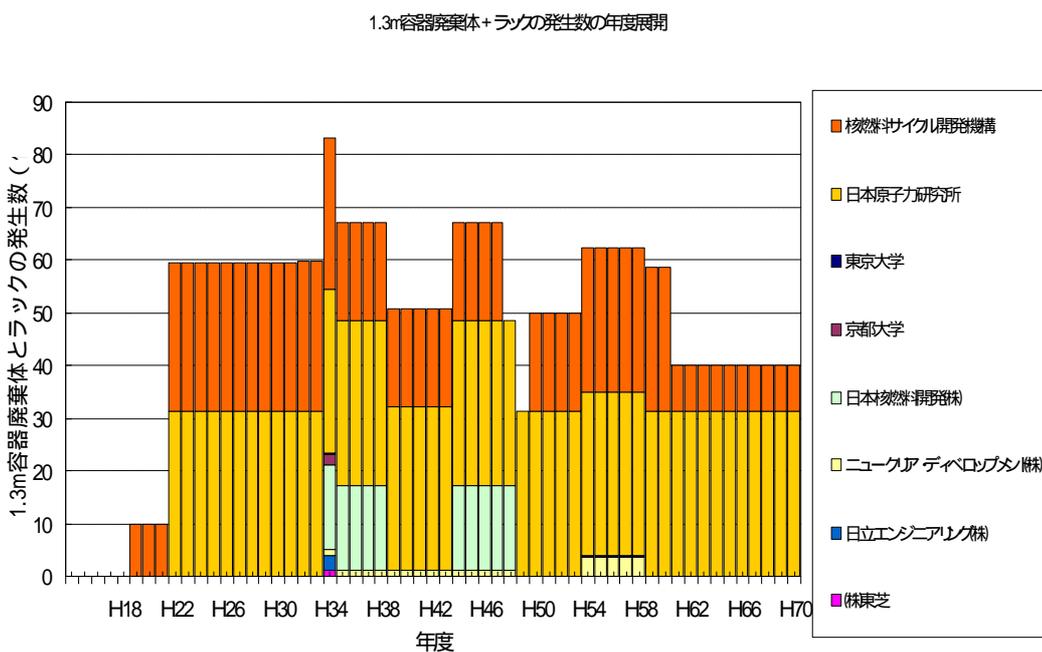


図 3.1.2-4 1.3m 容器廃棄体とラックの発生量の年度展開

3.2 埋設施設形態の最適化検討

本項では最新の廃棄物特性データに基づき、埋設施設の施設形態について検討を行う。また安全評価で必要となる施設浸透水量の設定についても行う。

3.2.1 前提条件

(1) 敷地条件

本研究では、具体的なサイトが設定されていないため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次中間報告と呼ぶ」)に基づき、仮想的な敷地条件を設定する。

第3次中間報告では「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：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。ここでは、約20m スパンのトンネル掘削実績がある第2東名清水第3トンネルの事例をもとに、地質等級を D1 相当^{*1}とする。

注)道路トンネルでの地山・岩盤分類では、ボーリングコアの採取率が低く(40%程度となることが多い)、RQDは20%以下である。ハンマーでたたくと容易に崩れ、岩は

脆く指先で容易に剥がれる軟質の岩盤である。

(2) 施設形状

第3次中間報告と同様にトンネル型埋設施設と開削サイロ型埋設施設を対象とする。鉄筋コンクリート製構造体を設け、廃棄体を鉄筋コンクリート製構造体の内部に定置することとする。また廃棄体と鉄筋コンクリート製構造体の間は、充てん材を詰めて埋め戻すこととする。

(3) 埋設施設形態の設定

本研究で取扱う廃棄体は表面線量率が高く、廃棄体の定置時に直接人間が廃棄体に接近することが困難である。埋設設備の施工方法も、人間が直接的に廃棄体に接近する工法は避けられるべきであると考えられる。ここでは、廃棄体定置前に鉄筋コンクリートでコンクリートピットを設置し、その内部に廃棄体を定置後、廃棄体とコンクリートピットの間をモルタルなどの充てん材により充填するコンクリートピット型施設を対象とする。

(4) 人工バリアの構成

我が国における余裕深度処分では 1m^3 廃棄体(3.1.2の 1.3m 容器と同じ外寸法である) 4.6m^3 廃棄体、 200L ドラム缶が検討されている。 200L ドラム缶を使用した場合には、個々のドラム缶に厚いしゃへい材が必要となり経済的に不利であること、また 4.6m^3 廃棄体は 1m^3 廃棄体を3個横方向に並べた大きさであることから、 1m^3 廃棄体と同じ外寸法を基準の大きさとして考える。ここでは、3.1.2で検討した 1.3m 容器廃棄体と 1.3m 容器と同じ外寸法のラックを対象廃棄体とする。

表 3.2.1-1 に廃棄体の定置方法、コンクリートピット、緩衝材、低拡散層(充てん材の層)の寸法を示す。人工バリアの寸法は、六ヶ所サイトの2号廃棄物埋設施設を参考にして設定した。廃棄体どうしの間隔などの寸法については、廃棄体の定置方法については法規制上の制限はないので、ここではコンクリートピットの施工精度、埋設クレーンの定置精度を考慮して設定した。コンクリートピットの厚さに対しては、コンクリートピット周辺でのトラブル時の修理などを想定し、コンクリートピットのしゃへい性能として最低 1m の厚さを設定した。緩衝材の厚さは、2号廃棄物埋設施設の設定値より

2m を設定した。また低拡散層に相当する充てん材の材質はモルタルとし、その厚さは 2号廃棄物埋設施設の設定値 40cm に対し、本研究で対象とする廃棄物の放射エネルギーが高いことから、核種移行抑制機能（低拡散機能）を考慮して 1.0m を仮定した。

表 3.2.1-1 人工バリア構成の設定一覧表

項目	設定値	備考	
廃棄体の定置方法	トランオン方式	廃棄体の定置方法に関しては、特に法規制などの制限はない。 コンクリートピットの施工精度、埋設クレーンの定置精度を考慮して設定。	
・ 1m3廃棄体のトランオンの寸法	120mm		
・ 1m3廃棄体の定置誤差	60mm		
・ 1m3廃棄体どうしのクリアランス	30mm		
・ 1m3廃棄体と壁のクリアランス	20mm		
・ 壁の施工精度 (区画内側への倒れなど)	20mm		
・ 1m3廃棄体どうしの離れ (トランオンあり)	390mm		(トランオン寸法)+ (クリアランス)+ (定置誤差)
・ 1m3廃棄体どうしの離れ (トランオンなし)	150mm		(クリアランス)+ (定置誤差)
・ 1m3廃棄体と壁との離れ (トランオンあり)	220mm		(トランオン寸法)+ (クリアランス)+ (定置誤差)+ (壁の施工精度)
・ 1m3廃棄体と壁との離れ (トランオンなし)	100mm		(クリアランス)+ (定置誤差)+ (壁の施工精度)
・ 1m3廃棄体と壁との離れ (充填材部)	1100mm	(必要層厚)+ (クリアランス)+ (定置誤差)+ (壁の施工精度)	
コンクリートピット寸法		浅地中処分では、内部仕切り設備で仕切られた区画に対しては開口部面積50m ² 、区画容量250m ³ の規制がある。 余裕深度処分に対しては今後制定されると考えられる。 対象廃棄体の表面線量率が高く、仕切りを設けない場合には廃棄体が露出する期間が長くなることからコンクリートピットの長手方向に内部仕切りを設ける。対象廃棄体容器として1m3容器と4.6m3容器があり、4.6m3容器は1m3容器の3個分であることから内部仕切りの間隔を1m3容器3個分に設定する。	
・ コンクリートピット底版	1m	2号廃棄物埋設施設での設定値80cmから設定。	
・ コンクリートピット側壁	1m	2号廃棄物埋設施設での設定値60cmから設定。	
・ 内部仕切り設備	1m	2号廃棄物埋設施設での設定値40cmから設定。	
・ 覆い及び仮蓋	1m	2号廃棄物埋設施設での設定値60cmから設定。	
人工バリア構成			
・ 緩衝材	2m	2号廃棄物埋設施設の設定値を使用。	
・ 低拡散層	(側壁部)	1.1m	=1m3廃棄体と壁との離れ (充填材部)
	(上面部)	1m	低拡散性を考慮して1mを仮定する。
	(底面部)	1m	

3.2.2 トンネル型埋設施設

(1) トンネルの掘削断面

処分坑道の断面は、清水第3トンネルの施工事例と 1.3m 容器廃棄体の収納効率を考慮してスパンが 18.1m の三心円トンネルとする。埋設クレーンの可動範囲として水平方向をコンクリートピットと同じ幅、垂直方向に 5m とすれば、1.3m 容器廃棄体は水平方向 4 行、垂直方向 4 段の 4 行 4 段積みが可能である。処分坑道の垂直断面図を図 3.2.2-1 に示す。

(2) 区画寸法

コンクリートピット内に定置された表面線量率が高い廃棄体が長時間露出することを防ぐために、コンクリートピットの長手方向には内部仕切り設備を設けることとする。内部仕切り設備の設置間隔については、設置間隔が短い方が廃棄体の露出時間を短くできること、廃棄体には4.6m³ 廃棄体の使用も視野に入れることから、4.6m³ 廃棄体1個分の長さとする。その結果、1区画当たりの廃棄体の定置数は4行3列4段の合計48体となり、1区画の寸法は以下ようになる。

$$\begin{aligned} \text{長さ方向} &= (\text{廃棄体の長さ}) + (\text{廃棄体と廃棄体の離れ(トコワなし)}) \\ &+ (\text{廃棄体とコンクリートピット側壁との離れ}) \\ &= 1.3 \times 3 + 0.15 \times 2 + 1.1 \times 2 = 6.4\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{幅方向} &= (\text{廃棄体の幅}) + (\text{廃棄体と廃棄体の離れ(トコワあり)}) \\ &+ (\text{廃棄体とコンクリートピット側壁との離れ}) \\ &= 1.3 \times 4 + 0.39 \times 3 + 1.1 \times 2 = 8.57\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{高さ方向} &= (\text{廃棄体の高さ}) + (\text{コンクリートピットの外蓋の厚さ}) \\ &+ (\text{コンクリートピットの底版の厚さ}) \\ &= 1.3 \times 4 + 1 \times 2 = 7.2\text{m} \end{aligned}$$

上記の区画寸法の結果から、処分坑道の水平平面図を図 3.2.2-2 に示す。

(3) 処分坑道の長さの設定

3.1.2の結果から、1.3m容器廃棄体とラックの発生量は合計で2729体である。1区画あたり48廃棄体収納することから合計57区画の区画が必要となる。

処分坑道の長さとレイアウトは、処分場周辺の岩盤の地質、水理条件と浸出先までの距離などから実際には検討されるべきであるが、ここでは海外の低中レベル処分場の処分坑道長の調査結果に基づき長くても300m程度の長さとなるように設定した。

合計57区画の区画を1本の処分坑道で処分した場合、処分坑道の両端に充てん材の充てん作業などに使用する長さ30mの作業エリアを設けると、処分坑道の長さは486.8mとなり、300m程度の長さには当てはまらない。そこで処分坑道内の作業性を考え、29区画と28区画を処分する2本の処分坑道に分けて処分することとした。2本の処分坑道の長さは、処分坑道の両端の作業エリアを含め29区画配置で279.2m、28区画配置で272.2mとなる。

(4) 処分坑道の離間距離

本研究では、空洞の安定性の観点から、類似の地下空洞（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）とする。

(5) アクセス坑道と作業坑道

アクセス坑道

アクセス坑道は地上と処分坑道とを繋ぐ斜坑である。アクセス坑道には、廃棄体運搬車両とトンネル建設工事車両が通行する。アクセス坑道をトンネル建設用と廃棄体運搬用に分けることも考えられるが、廃棄体の運搬頻度が少ないことから 1 本のアクセス坑道を供用することとする。

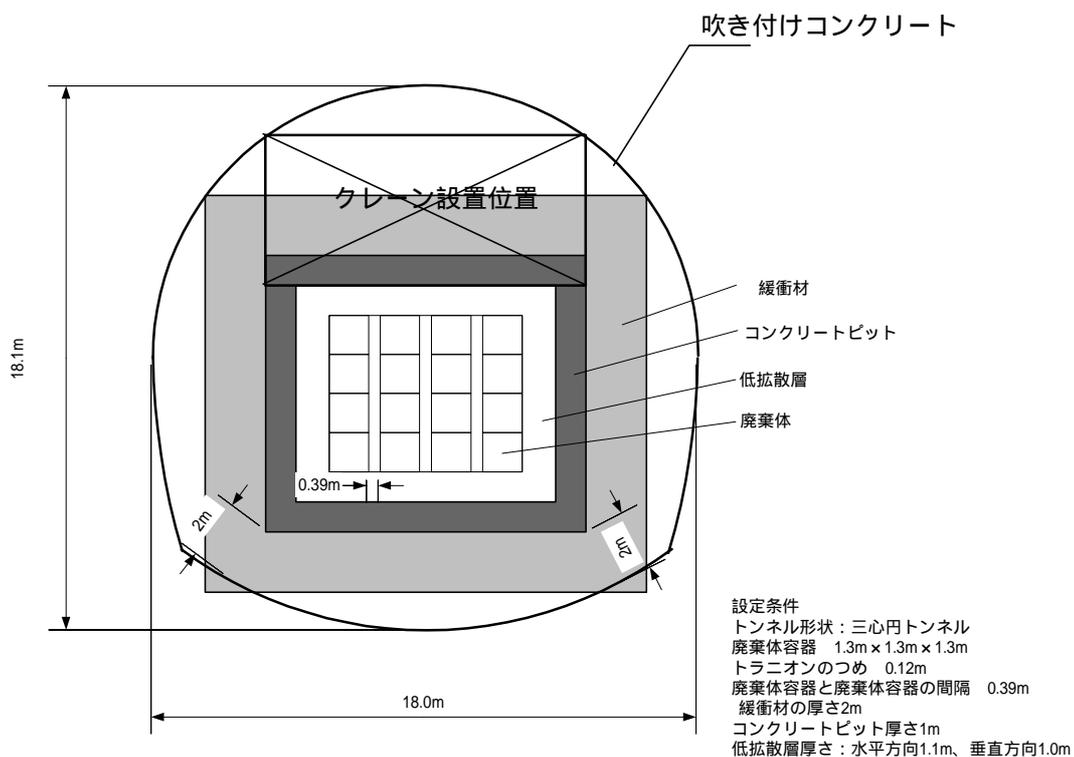
アクセス坑道の寸法は廃棄体運搬車両がすれ違うことを想定して設定した。アクセス坑道の垂直断面図を図 3.2.2-3 に示す。アクセス坑道の勾配は道路構造令の最大勾配より 6% とし、車両の暴走防止を考慮して、斜路 120m + 水平部 10m の構成とする。また、地表面部分は、トンネル構造にできないため、地表面から約 250m（GL-14.2m）までは、U型擁壁及びボックスカルバート構造とする。したがって、トンネル型埋設施設の設置深度を G.L.-50m とすると、処分坑道の高さが 18.1m であることから、アクセス坑道の長さは約 1,135m 必要となる。

作業坑道

作業坑道とは、処分坑道の周囲に設置されアクセス坑道と処分坑道をつなぐトンネルである。本設計では、廃棄体構内輸送車両から埋設クレーンへの廃棄体の積み替えを処分坑道内で行うこととする。このため作業坑道の寸法はアクセス坑道と同様でよい。

(6) 処分坑道の配置検討

上記（3）（4）（5）の検討結果から、処分坑道の配置平面図を図 3.2.2-4 に示す。



三心円トンネル、スパン18m、廃棄体4行×4段積み

図 3.2.2-1 処分施設の垂直断面図（トンネル型施設）

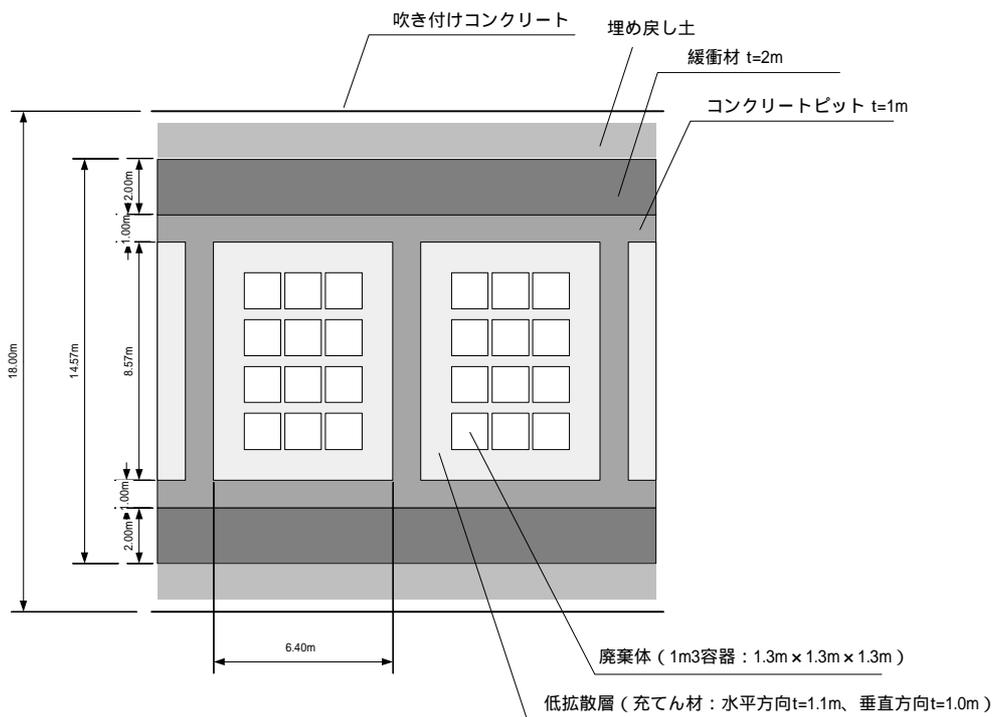


図 3.2.2-2 処分施設の水平断面図（トンネル型埋設施設）

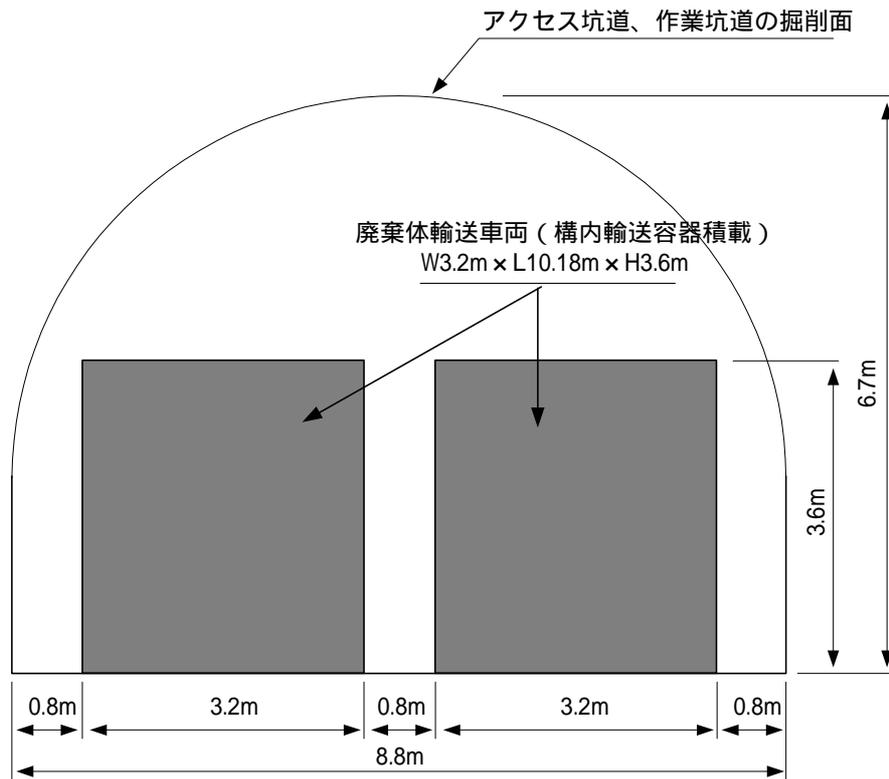


図 3.2.2-3 アクセス坑道、作業坑道の垂直断面図

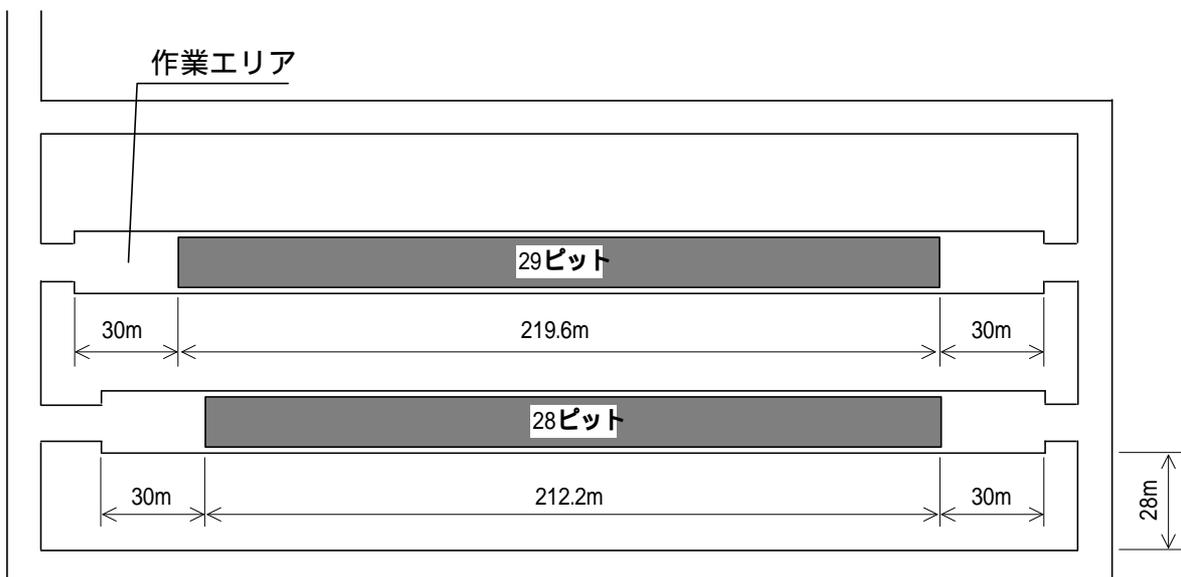


図 3.2.2-4 処分施設平面配置図（トンネル型施設）

3.2.3 開削サイロ型埋設施設

サイロ型埋設施設には地中サイロ方式と開削サイロ方式があるが、我が国のように堆積岩主体の岩盤では大規模な地中サイロ型施設の施工実績がないため、本検討では開削サイロ型埋設施設について検討する。開削サイロは地上から地中連続壁を設置し、その後内巻きコンクリートを打設しながら掘り進む工法(逆巻き工法)が一般的である。ここでは過去の施工実績(東京ガス(株)根岸工場)から開削サイロの最大径を70m程度とする。廃棄体の定置には定置クレーンを使用することとする。開削サイロの地中連続壁での最大径は定置クレーンの橋脚部の寸法を考えれば55mとなる。また開削サイロの掘削深度については、過去の施工実績と地表土の掘削深度を考え最大G.L.-90mとする。

(1) 廃棄体の定置方法

トンネル型埋設施設と同様とする。

(2) コンクリートピット寸法

トンネル型埋設施設と同様とし、1区画の内部寸法は幅8.57m×長さ6.4m×高さ7.2mとする。

(3) 人工バリア形状の検討

人工バリアの厚さもトンネル型埋設施設と同様とする。したがって緩衝材の厚さは2m、低拡散バリアの厚さを1mとする。

(4) 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。ここでは人工バリアの上面、すなわち緩衝材の上面をG.L.-50mとする。

上記(1)から(4)に基づき、開削サイロの概念設計を行う。

廃棄体発生数は2729体であり、必要な区画数は合計57区画である。図3.2.3-1の開削サイロの平面図に示すように1段当たり20区画のコンクリートピットを配置するとすれば、コンクリートピットを3段積み上げることにより全ての廃棄体を収納できる。コンクリートピットの最上段は17区画の配置となる。コンクリートピット最上段の緩衝材上面の深度はG.L.-50mであり、コンクリートピット最下段の緩衝材底面の深度はG.L.-79.6mとなる。

図3.2.3-2に埋設施設の垂直断面図を示す。

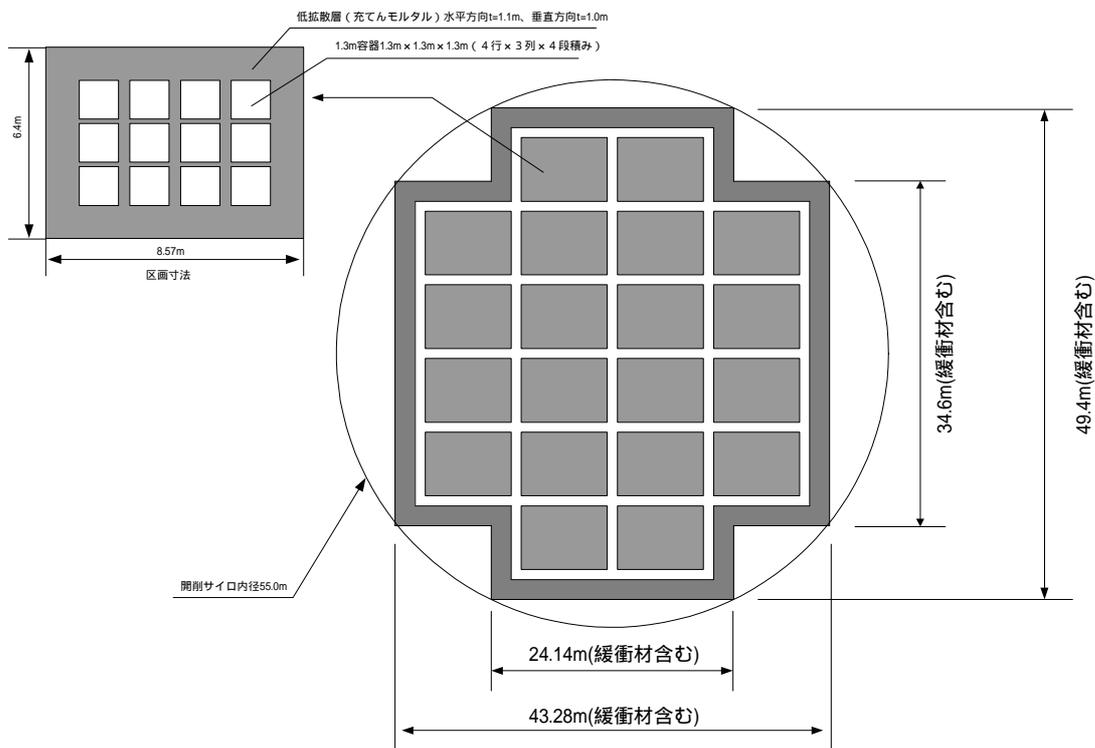


図 3.2.3-1 処分施設の平面図（開削サイロ型施設）

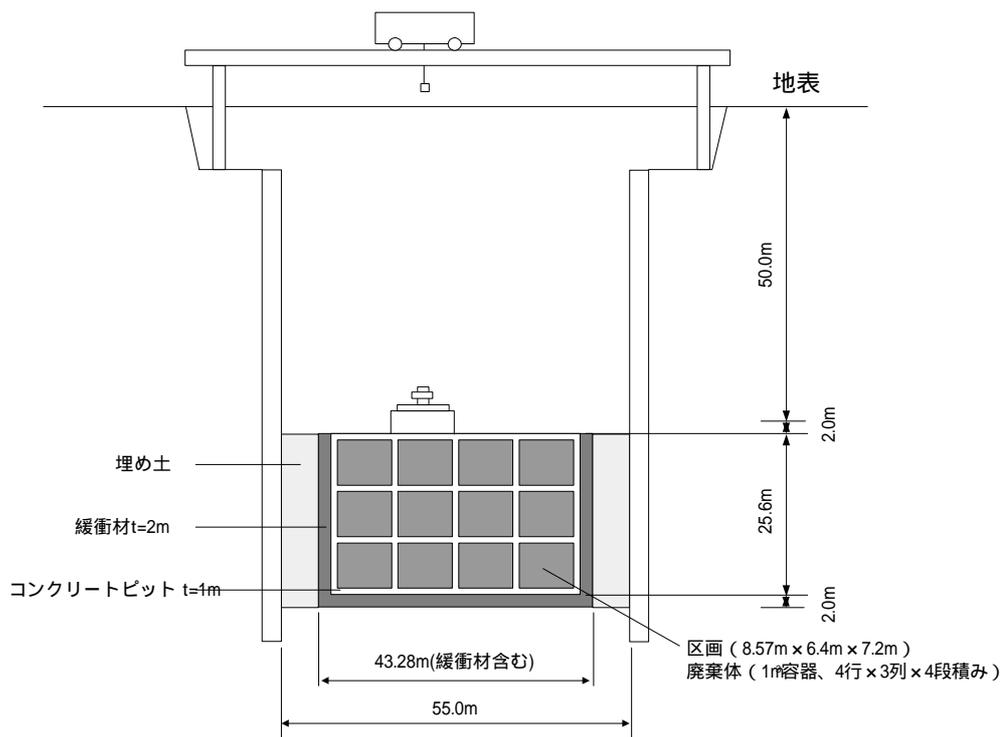


図 3.2.3-2 処分施設の垂直断面図（開削サイロ型施設）

3.2.4 施設浸透水量の検討

本項では 3.2.2 および 3.2.3 で検討された処分施設に対し安全評価で必要となる施設浸透水量を設定する。ここで施設浸透水量は、緩衝材の内周を通過する地下水流量として定義する。

天然バリア条件及び人工バリア条件

天然バリア条件については、「第3次中間報告」をもとに設定した。また人工バリア条件については、六ヶ所低レベル放射性廃棄物1号および2号埋設施設での設定値をもとに設定した。表 3.2.4-1 に設定値の一覧表を示す。

表 3.2.4-1 天然バリア条件および人工バリア条件

分類	パラメータ	設定値	備考
天然バリア	岩盤の透水係数	1E-7m/s	「第3次中間報告」の施設近傍での地下水流速 0.001m/day を参考に設定する。
	動水勾配	1%	
人工バリア	緩衝材の厚さ	1m, 2m	六ヶ所低レベル放射性廃棄物2号埋設施設の設定値 2m を基本ケースとし、1mの場合についてもケースに加える。
	緩衝材の透水係数	1E-9m/s, 1E-10m/s, 1E-11m/s	70wt%ベントナイト配合で密度 1.6Mg/m ³ 以上の圧縮ベントナイトを考え、施工前の透水係数を 1E-12m/s とする。Ca 型化と施工のばらつきを1オーダーずつ考え 1E-10m/s を基本ケースとする ²⁾ 。
	コンクリートピットの厚さ	1m	六ヶ所低レベル放射性廃棄物1、2号埋設施設の設定値。
	低拡散層(充てん材)の厚さ	1m	六ヶ所低レベル放射性廃棄物1、2号埋設施設の設定値より 1.1m をまらめて 1m とする。
	セメント系材料 ^{*1} の透水係数	1E-5m/s	六ヶ所低レベル放射性廃棄物1、2号埋設施設の設定値。
	廃棄体の積上げ段数	4行×4段積み	処分空洞径 18m における設定値。
	ピット1区画の寸法	幅 8.57m×長さ 6.4m×高さ 7.2m	

注) *1 : 廃棄体、充てん材、コンクリートピットをセメント系材料として評価する。

(1) トンネル型埋設施設

3.2.2 に示したトンネル型埋設施設の施設浸透水量を設定するために3次元浸透流解析を実施した。使用した解析モデルを図 3.2.4-1 に示す。トンネル型埋設施設は、L500m × W100m × H100m の解析領域内に処分施設の1/8だけをセメント系材料(廃棄体層、低拡散バリア層、コンクリートピット層)、緩衝材、岩盤に区分してモデル化した。ここで対象施設の垂直断面の形状は幅 10.57m、高さ 7.2m であるが、モデル化した処分施設の垂直断面の形状は保守側に幅 10.57m、高さ 10.57m の正方形とした。また地下水流向は、トンネルの掘削方向に平行な方向に設定した。対象施設の1本分の施設浸透水量は、浸透流解析の結果得られる施設浸透水量を4倍して算出した。解析ケースと施設浸透水量の設定結果を表 3.2.4-2 に示す。

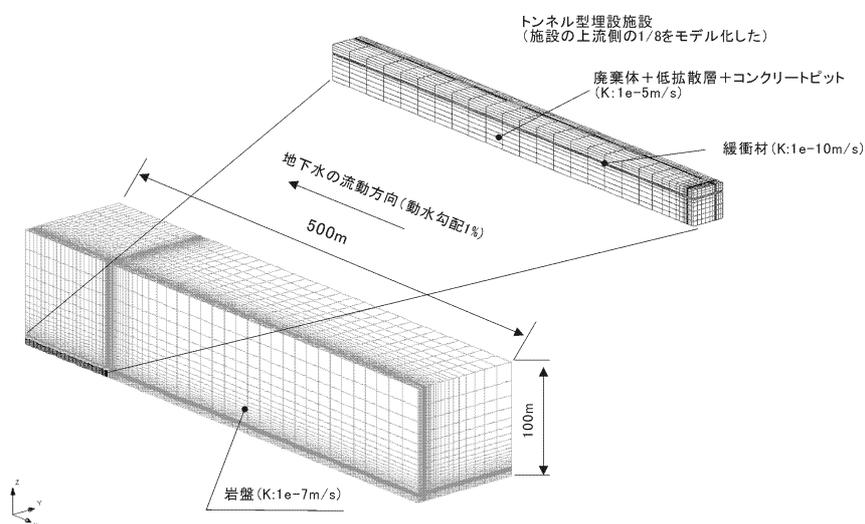


図 3.2.4-1 解析モデル図(トンネル型埋設施設)

表 3.2.4-2 解析ケースおよび施設浸透水量の結果

ケース	緩衝材		施設浸透水量(m ³ /y)		
	厚さ(m)	透水係数(m/s)	施設の長さ		合計
			28ピット(212.2m)	29ピット(219.6m)	
1	2	1E-11	0.67	0.71	1.38
2		1E-10	6.56	7.01	13.58
3		1E-9	56.46	59.93	116.38
4	1	1E-11	1.26	1.34	2.60
5		1E-10	12.17	13.01	25.18
6		1E-9	92.94	98.18	191.12

(2) 開削サイロ型埋設施設

3.2.3 の開削サイロ型埋設施設の施設浸透水量を設定するために3次元浸透流解析を実施した。使用した解析モデルを図 3.2.4-2 に示す。開削サイロ型埋設施設は L400m × W400m × H400m の解析領域内にセメント系材料（廃棄体、充てん材、コンクリートピット）、緩衝材、岩盤に区分してモデル化した。地下水流向は、感度解析を行った結果から施設浸透水量が大きくなる方向を選択して設定した（図 3.2.4-2 中では YZ 平面に平行で Y 軸に 45° 傾けた方向）。解析ケースおよび施設浸透水量の設定結果を表 3.2.4-3 に示す。

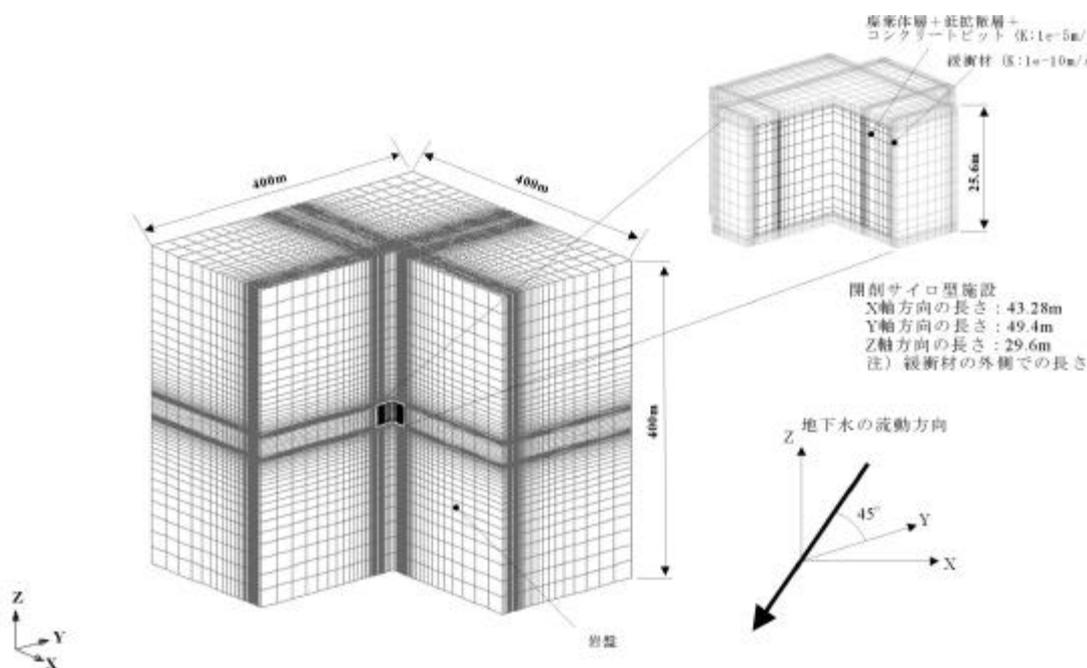


図 3.2.4-2 解析モデル図（開削サイロ型埋設施設）

表 3.2.4-3 解析ケースおよび施設浸透水量の結果（開削サイロ型埋設施設）

ケース	緩衝材		施設浸透水量(m ³ /y)
	厚さ(m)	透水係数(m/s)	
1	2	1E-11	0.15
2		1E-10	1.47
3		1E-9	13.86
4	1	1E-11	0.28
5		1E-10	2.72
6		1E-9	24.15

3.3 施設成立性の検討

3.3.1 評価対象核種及び重要核種の選定

今回の評価対象核種は、「LLW 第3次中間報告」及び「TRU 廃棄物処分概念検討書」において評価対象とされている放射性核種から選定した。

放射性廃棄物安全基準専門部会が平成12年6月にとりまとめた「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。)における $10\mu\text{Sv}/\text{yr}$ 相当濃度(C)と今回対象廃棄体の放射性物質濃度(D)から相対重要度(D/C)を評価し、重要核種を選定した。重要核種は放射性核種ごとに被ばく経路の重畳を考慮した $10\mu\text{Sv}/\text{yr}$ 相当濃度の最小値(C)と対象廃棄物中の平均放射性核種濃度(D)の比である相対重要度(D/C)が上位3桁の範囲に入る核種である。なお、FP核種及びAP核種については原子力安全委員会 放射性廃棄物安全基準専門部会において導出された $10\mu\text{Sv}/\text{yr}$ 相当濃度を使用したが、TRU核種については崩壊連鎖を考慮して $10\mu\text{Sv}/\text{yr}$ 相当濃度を導出した。

また今回対象とした廃棄物の重要核種は、発生施設及び廃棄物種類(操業廃棄物,解体廃棄物)ごとに大きく異なるため、全体を包括した重要核種を選定することは困難であり、各事業所の廃棄物種類ごとに設定する必要があると考えられる。重要核種の選定にあたっては、各事業所の廃棄物種類ごとに設定し、その結果をもとに重複する核種を除き、対象廃棄物全体の重要核種として取りまとめることとした。

各施設における重要核種のまとめは表3.3.1-1に示すとおりである。表3.3.1-1をもとに更に廃棄物全体で整理した表を表3.3.1-2に示す。

表 3.3.1-1 重要核種のまとめ

	核燃料サイクル開発機構								
	東海事業所		大洗工学センター			ふげん発電所		もんじゅ建設所	
	操業廃棄物	解体廃棄物	操業廃棄物	解体廃棄物	処理2次	操業廃棄物	解体廃棄物	操業廃棄物	解体廃棄物
1桁目	Np-237	Np-237	U-238	U-238	Tc-99, U-238, Pu-238, Pu-241, Am-241	C-14, Cl-36	Cl-36, Zr-93	U-238	U-238
2桁目	-	Cl-36, Tc-99, U-234, U-238, Pu-238, Pu-241, Am-241	Cl-36	Pu-238, Pu-241, Am-241	Sn-126, U-235, Np-237, Pu-239	Tc-99, U-235	C-14	-	-
3桁目	Tc-99, I-129	I-129, U-235 Pu-239	Tc-99, U-235	Tc-99, Sn-126, U-235, Np-237, Pu-239	C-14, I-129, Pu-240, Pu-242, Am-242m	U-234	Tc-99, U-238	U-235	U-235

	日本原子力研究所				
	東海研究所		大洗研究所		むつ事業所
	操業廃棄物	解体廃棄物	操業廃棄物	解体廃棄物	解体廃棄物
1桁目	U-238	Cl-36	U-234, U-238, Pu-238	Cl-36	Cl-36
2桁目	U-234, Np-237	C-14	Cl-36, Tc-99, U-235, Np-237	-	-
3桁目	Cl-36, U-235, Pu-238	Ca-41, Tc-99, U-234, U-238	Cs-135, Pu-239, Am-241	C-14	C-14, Tc-99

	東京大学	京都大学		日本核燃料開発(株)		ニュークリア・ デベロップメント (株)		日立エンジ ニアリング (株)	(株)東芝
	操業廃棄物	操業廃棄物	解体廃棄物	操業廃棄物	解体廃棄物	操業廃棄物	解体廃棄物	解体廃棄物	解体廃棄物
1桁目	-	-	-	Tc-99	Tc-99	Pu-242	Pu-242	Tc-99	Cl-36
2桁目	-	-	-	-	-	Pu-238	Pu-238	-	-
3桁目	-	-	-	-	-	Tc-99, Am-241	Tc-99, Am-241	-	C-14

表 3.3.1-2 重要核種のまとめ（対象廃棄物全体）

放射性核種					
C-14	Cl-36	Ca-41	Zr-93	Tc-99	Sn-126
I-129	Cs-135	U-234	U-235	Np-237	U-238
Pu-238	Pu-239	Pu-240	Am-241	Pu-241	Pu-242
Am-242m					

3.3.2 安全評価の検討ケース及び使用パラメータの設定

(1) 基本的な考え方

平成 12 年度から平成 14 年度までの研究では核種移行評価に使用するパラメータ等が異なるため、線量評価結果（支配核種及び最大線量等）が異なる。本年度の評価においては、上記の相違を包括できるように核種移行解析を実施し、使用パラメータと線量評価結果の関係が対応付けられるように感度解析を実施する。

そのため、核種移行解析で使用するパラメータのうち、線量に大きく影響する下記パラメータについて感度解析を実施し、最大線量と支配核種の間関係を評価・整理する。

天然バリアの地下水流速

人工バリアの実効拡散係数

人工バリア（セメント，ベントナイト）及び天然バリアの分配係数（組合せ）

人工バリアへの地下水流入量

(2) 検討ケース及び使用パラメータ

上記の基本的な考え方に基づき、設定した解析ケースは表 3.3.2-1 に示すとおりである。今回は人工バリアと天然バリアのそれぞれについて解析項目を選定し、各項目について基本ケースと感度解析パラメータを設定した。

核種移行解析に使用したパラメータのうち、核種インベントリは、3.1 節において整理した各廃棄体の放射性物質濃度（Bq/t）に廃棄体重量（t）と廃棄体数量を乗じて算出したものである。また、水理及び核種吸着に関するパラメータは、「LLW 第 3 次中間報告」で使用された数値を基本とし、分配係数については「TRU 廃棄物処分概念検討書」及び日本原燃(株)埋設事業許可申請書等の公開文献を参考にして設定した。なお、ベントナイトのダルシー流速は 3.2.4 項の施設浸透水量解析結果に基づき、設定したものである。

表 3.3.2-1 核種移行解析の解析ケース一覧表

バリア	感度解析項目		基本ケース	感度解析パラメータ	特記事項
人工バリア	施設形態		トンネル型	サイロ型	
	廃棄体 充填材	分配係数	第3次 中間報告	TRU 廃棄物処分概念検討書のレフ アレンスケース設定値 (Region , , の最小値) TRU 廃棄物処分概念検討書 + 維持 期間の想定*1 - Region : ~ 100 年 - Region : 100 ~ 10,000 年 - Region : 10,000 年以降 第3次中間報告 + 参照データ	*1: 水理解析結果に基づけば、今回の 余裕深度処分施設の地下水浸透水 量は「TRU 廃棄物概念検討書」のそ れよりも大きいため、各 Region の 維持期間は同検討書で設定されてい る維持期間よりも短く設定した。
	緩衝材	有効厚さ	2 m	1 m	
		維持期間	特定しない	1E+03 年 1E+04 年 1E+05 年 1E+06 年	
		透水係数	1E-10 m/s	1E-09m/s 1E-11m/s	
天然バリア	分配係数		第3次 中間報告	TRU 廃棄物処分概念検討書の堆積 岩 第3次中間報告 + 参照データ	

3.3.3 安全評価のための核種移行解析

(1) 基本的な考え方

安全評価において考慮すべきシナリオは、サイクル機構が平成 11 年 11 月にとりまとめた「我が国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 - 地層処分研究開発第 2 次取りまとめ」(JNC TN1400 99-023)(以下、「HLW 第 2 次取りまとめ」という。)に示されているように、「地下水シナリオ」と「接近シナリオ」に大別され、さらに「地下水シナリオ」は「基本シナリオ」と「変動シナリオ」に分類される。

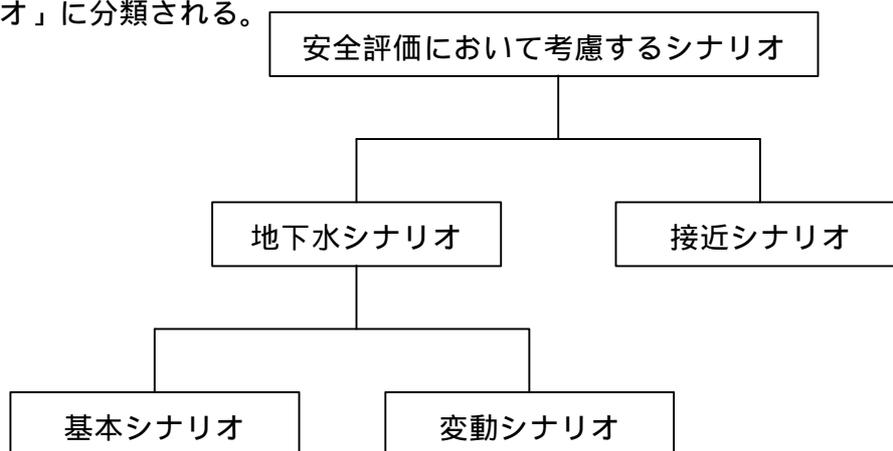


図 3.3.3-1 「第 2 次とりまとめ」におけるシナリオの分類

一方、「LLW 第 3 次中間報告」においては、

- ・地下水移行シナリオ
- ・人間接近シナリオ
- ・操業中シナリオ

の 3 シナリオがとりあげられているが、「人間接近シナリオ」及び「操業中シナリオ」は濃度上限値の算出において考慮すべきシナリオとしては適切でないとされ、被ばく経路としては「地下水移行シナリオ」のみが選定されている。この「地下水移行シナリオ」は、HLW 第 2 次とりまとめにおける「地下水シナリオ」の「基本シナリオ」に相当する。

したがって、今回は「地下水移行シナリオ」に基づき、検討対象廃棄物の安全性を評価することとした。核種移行解析は、「LLW 第 3 次中間報告」の検討結果を踏まえて処分サイトを特定しない条件において実施するが、一部パラメータに

についてはより現実的な数値を使用する。

(2) 評価シナリオ及び解析コード

今回の安全評価において検討した評価シナリオ及び解析コードは以下に示すとおりである。

(i) 評価シナリオ

地下水移行シナリオは、「LLW 第3次中間報告」と同じ核種移行モデルに基づき評価した。同報告では下記4経路について線量が評価されているが、平成14年度の検討において、「河川岸建設作業経路」、「河川岸居住経路」及び「河川岸農耕経路」については生物圏の設定パラメータの相違はあるが、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、「河川水利用経路」と同じ傾向を示すことが確認されている。

今回は平成14年度と同じく代表的な「河川水利用経路」(被ばく経路1~6)を評価するとともに、基本ケースについては「河川岸建設作業経路」(被ばく経路7, 8)、「河川岸居住経路」(被ばく経路9, 10)、「河川岸農耕経路」(被ばく経路11~14)の評価も行うこととした。

- ・「河川水利用経路」(被ばく経路1~6)
- ・「河川岸建設作業経路」(被ばく経路7, 8)
- ・「河川岸居住経路」(被ばく経路9, 10)
- ・「河川岸農耕経路」(被ばく経路11~14)

「河川水利用経路」における被ばく経路は、下記の6経路である。

- 飲料水摂取
- 農作物摂取
- 農耕作業吸入
- 農耕作業外部
- 畜産物摂取(飼育水)
- 水産物摂取

「河川岸建設作業経路」における被ばく経路は、下記の2経路である。

- 建設作業外部
- 建設作業吸入

「河川岸居住経路」における被ばく経路は、下記の2経路である。

居住外部

居住吸入

「河川岸農耕経路」における被ばく経路は、下記の 4 経路である。

農耕作業外部

農耕作業吸入

農作物摂取

畜産物摂取

(ii) 解析コード

「LLW 第 3 次中間報告」では、地下水移行シナリオにおける線量は日本原子力研究所で開発された GSA-GCL が使用されている。当該評価コードは、下記のソースタムモデル、天然バリアモデル及び生物圏モデルから構成されている。

ソースタムモデルは、廃棄体、人工バリア材、その周辺の地質媒体から構成されるコンパートメントを設定し、各コンパートメント間の移流、拡散及び崩壊による物質収支を評価するものである。

天然バリアモデルは、並行吸着による遅延も考慮し、移流・分散（拡散）及び崩壊を考慮して放射性核種の移行を解析するものである。

生物圏モデルは、河川水や工作土壌等の環境媒体を設定し、移行係数を使用したコンパートメントモデルに基づき、水、土壌及び食物等の放射性核種濃度を解析し、線量換算係数を使用して吸入摂取、経口摂取及び外部の 3 形態の被ばく線量を算出するものである。

今回本検討においては、上記コードと同様の機能を有した 1 次元核種移行解析コード MENTOR を使用した。当該コードは、電力共通研究及び TRU 廃棄物処分概念検討書における安全評価において使用されている評価コードであり、上記の GSA-GCL と類似の機能を有する。その機能は表 3.3.3-1 に示すとおりである。

(iii) 解析結果

地下水移行シナリオにおける線量の結果は、表 3.3.1-2 に示すとおりである。基本ケースにおける各評価経路の線量結果は表 3.3.3-3 に示すとおりである。今回の評価結果に基づけば、下記の結論が得られた。

施設形態の比較

施設形態について感度解析した結果では、トンネル型とサイロ型とも目標線量の $10 \mu\text{Sv/y}$ を満足していることから、処分の安全は確保できる見通しが得られた。サイロ型の線量がトンネル型よりも約 $1/4$ 低い理由は、サイロ型の比表面積がトンネル型のそれよりもより小さく、施設浸透水量が低いためである。トンネル型の支配核種は C-14、Ra-226 と Pb-210 であり、これに Cl-36、Th-230 が続く。サイロ型の支配核種もトンネル型と同じく C-14、Ra-226 と Pb-210 であり、これに Cl-36、Th-230 が続く。

セメント系材料の分配係数の比較

セメント系材料の分配係数を感度解析した結果では、いずれのケースも目標線量の $10 \mu\text{Sv/y}$ を満足している。「TRU 廃棄物処分概念検討書」のデータベースを使用した場合には、「第 3 次中間報告」よりも約 2 倍程度線量が上昇するが、これは両者における TRU 核種の分配係数が異なるためである。「TRU 廃棄物処分概念検討書」のレファレンスケース(Region、及びの最小値使用)と各 Region 期間を想定してそれぞれに分配係数を設定したケースの差異はみられなかった。また、基本ケース(第 3 次中間報告)と「第三次中間報告 + 参照データ」(第三次中間報告の一部データを参照データに置換したケース)との差異もみられなかった。支配核種は、いずれのデータベースにおいても第 2 ピークの Ra-226 及び Pb-210 であるが、データベースの相違により第 1 ピークの C-14 の線量に対する寄与が変化する。

緩衝材厚さの比較

緩衝材の厚さを感度解析した結果では、いずれのケースも目標線量の $10 \mu\text{Sv/y}$ を満足している。緩衝材厚さが 1 m の場合には、施設浸透水量が上昇するとともに、緩衝材の拡散バリア厚さが $1/2$ となるために、線量が約 2 倍に上昇する。緩衝材厚さが 1 m の場合の支配核種にほとんど差異はない。

緩衝材の維持期間の比較

緩衝材の維持期間を感度解析した結果では、いずれのケースも目標線量の $10 \mu\text{Sv/y}$ を満足している。緩衝材の維持期間が 1,000 年 ~ 100 万年の場合には基本ケースに比較して線量が約 6 倍になる。維持期間が 1,000 年と 100 万年の支配核種は、いずれの場合も Ra-226 及び Pb-210 である。

緩衝材の透水係数の比較

緩衝材の透水係数を感度解析した結果では、いずれのケースも目標線量の $10 \mu\text{Sv/y}$ を満足している。緩衝材の透水係数が上昇するにつれて線量が上昇しているが、これは(1)において示したように緩衝材の透水係数の上昇に伴い、施設浸透水量が上昇するためである。緩衝材の透水係数が $1\text{E-}09\text{m/s}$ の支配核種は Ra-226 及び Pb-210 である。透水係数 $1\text{E-}11\text{m/s}$ の場合支配核種は C-14 であるが、Ra-226 と Pb-210 の合計値がこれを上回る。

天然バリアの分配係数の比較

天然バリアの分配係数を感度解析した結果では、いずれのケースも目標線量の $10 \mu\text{Sv/y}$ を満足しているが、「TRU 廃棄物処分概念検討書」のデータを使用した場合には第 1 ピークの線量が著しく上昇し、ほとんど裕度がない。これは C-14 の分配係数の相違によるものである。「第三次中間報告 + 参照データ」(第三次中間報告の一部データを参照データに置換したケース)も同じ傾向を示しており、C-14 及び Cl-36 の線量が著しく上昇する。天然バリアの分配係数が線量に与える影響は大きく、支配核種も変化することから、今後十分な検討が必要であると考えられる。

評価経路の比較

基本ケースにおける各評価経路の線量結果は、表 3.3.3-3 に示すとおりであり、重畳を考慮した 4 経路のいずれも目標線量の $10 \mu\text{Sv/y}$ を満足している。支配核種は、いずれの評価経路においても第 2 ピークの Th-229、Ra-226 及び Pb-210 である。

評価経路については、今回の評価では「河川岸農耕経路」の線量が最も高い値を示したものの、「河川水利用経路」と同程度であり、線量への寄与が高いと考えられる核種も同じ傾向を示す。

まとめ

今回設定したパラメータの感度解析範囲では、いずれのケースにおいても目標線量である $10 \mu\text{Sv/yr}$ を満足した。線量に大きく影響するパラメータとしては、緩衝材の維持期間、緩衝材の透水係数、天然バリアの分配係数等があげられる。一方、セメント系材料の分配係数および緩衝材厚さが線量に与える影響は数倍以内であり、比較的小さいことが確認された。

また、今回は 4 経路について線量を評価し、いずれの経路においても目標線量を満足することを確認した。

表 3.3.3-1 地下水移行解析に使用した評価コード

解析コード名称：MENTOR
使用目的：人工バリア及び天然バリア中の核種移行解析・線量評価
コード使用箇所：性能評価（核種移行解析）
計算モデル：1次元有限差分モデル+1次元半解析解モデル
計算フロー： <div style="text-align: center;"> <pre> graph TD A[入力データの読み込み] --> B[タイムステップの設定] B --> C[人工バリア内の計算] C --> D[天然バリア内の計算] D --> E[生物圏へのフラックス・濃度計] E --> F[線量の計算] F --> G[結果の出力] </pre> </div>
解析手法： 人工バリア：多孔質媒体モデルにより移流分散方程式を有限差分法で数値解析 天然バリア：亀裂媒体モデル及び多孔質媒体モデルにラプラス変換による半解析解適用
オリジナル作成者：日揮（株）
改定者及びその内容：日揮（株），出力項目の追加及びインターフェイス改良他
類似解析コード及び該当コードの特徴：RAPRAN，GSA-GCL，TIGER，CRYSTAL等 EBSパラメータの経時変化，複数のEBS媒体をモデル化，複数の崩壊連鎖，溶解度，分配係数の同位体分配及び非線形吸着等
入力データ項目： モデルデータ（体積，面積，距離，真密度及び空隙率等） 水理データ（地下水流速） 核種データ（インベントリ，崩壊定数，溶解度，分配係数，実効拡散係数，線量換算係数等）
コードの検証、使用実績、公開、非公開： 原研、電中研及び日揮間でベンチマーク計算を実施した。また、JNC委託研究業務にてMENTOR，TIGER及びCRYSTAL間でベンチマーク計算を実施（JNC TJ8400 99-009）電力共通研究及びTRU廃棄物処分概念検討書にて使用実績あり，非公開

表 3.3.3-2 各検討ケースの線量評価結果

検討ケース		最大線量 [Sv/y]	時間 [年]	主要核種	
基本ケース		3.8E-08	1.5E+06	Ra226	Pb210
施設形態	サイロ型	1.0E-08	2.7E+06	Ra226	Pb210
セメント系材料 分配係数	TRU 廃棄物概念検討書 (レファレンスケース)	6.8E-08	1.1E+06	Ra226	Pb210
	TRU 廃棄物概念検討書 + 維持期間の想定	6.6E-08	1.1E+06	Ra226	Pb210
	第3次中間報告 + 参照データ	3.8E-08	1.5E+06	Ra226	Pb210
緩衝材有効厚さ	1[m]	6.6E-08	1.2E+06	Ra226	Pb210
緩衝材維持期間	1E+3[y]	2.0E-07	5.4E+05	Ra226	Pb210
	1E+4[y]	2.0E-07	5.4E+05	Ra226	Pb210
	1E+5[y]	2.1E-07	6.3E+05	Ra226	Pb210
	1E+6[y]	2.3E-07	1.5E+06	Ra226	Pb210
緩衝材透水係数	1E-9[m/s]	1.4E-07	7.4E+05	Ra226	Pb210
	1E-11[m/s]	1.2E-08	2.7E+06	Ra226	Pb210
天然バリア分配係数	TRU 廃棄物概念検討書 堆積岩	3.8E-06	2.9E+03	C14	Cl36
	第3次中間報告 + 参照データ	1.0E-06	1.0E+04	C14	Tc99

表 3.3.3-3 各評価経路の線量評価結果（基本ケース）

地下水シナリオ評価経路			最大線量 [Sv/y]	時間 [年]	主要核種	
河川水利用経路	飲料水摂取	No.1	2.2E-09	1.5E+06	Pb210	Ra226
	農作物摂取	No.2	2.0E-08	1.5E+06	Ra226	Th230
	農耕作業吸入	No.3	3.9E-10	1.4E+06	Th229	Th230
	農耕作業外部	No.4	1.0E-09	1.5E+06	Ra226	Th230
	畜産物摂取	No.5	3.4E-11	4.0E+04	Cl36	C14
	水産物摂取	No.6	2.4E-08	2.9E+04	C14	Cl36
	重畳考慮	No.1~6	3.8E-08	1.5E+06	Ra226	Pb210
河川岸建設作業経路	建設作業外部	No.7	7.2E-10	1.5E+06	Ra226	Th229
	建設作業吸入	No.8	9.2E-10	1.3E+06	Th229	Th230
	重畳考慮	No.7,8	1.6E-09	1.4E+06	Th229	Ra226
河川岸居住経路	居住外部	No.9	5.0E-09	1.5E+06	Ra226	Th229
	居住吸入	No.10	1.6E-10	1.3E+06	Th229	Th230
	重畳考慮	No.9,10	5.2E-09	1.5E+06	Ra226	Th229
河川岸農耕経路	農耕作業外部	No.11	1.4E-09	1.5E+06	Ra226	Th229
	農耕作業吸入	No.12	9.2E-10	1.3E+06	Th229	Th230
	農作物摂取	No.13	9.4E-08	1.6E+06	Pb210	Ra226
	畜産物摂取	No.14	1.2E-08	4.0E+04	Cl36	Tc99
	重畳考慮	No.11~14	9.7E-08	1.5E+06	Pb210	Ra226

3.4 経済性の最適化検討

本項では 3.2 で示した処分施設の経済性を評価する。3.2 ではトンネル型埋設施設と開削サイロ型埋設施設を対象とし、それぞれの施設について処分施設の概念設計を実施した。ここでは施工実績が多いトンネル型埋設施設を対象として処分コストを評価する。コスト評価にあたっては、前提となる処分坑道のレイアウト、処分場の操業工程、操業期間などの前提条件を 3.4.1 で述べ、処分コストの試算結果を 3.4.2 で述べる。

また処分コストの検討では、オプションケースとして

RI・研究所等廃棄物 + 核燃料サイクル開発機構の再処理系廃棄物
+ 核燃料サイクル開発機構のウラン廃棄物

RI・研究所等廃棄物を対象とし緩衝材の厚さを 1m としたケース

を設定しコスト評価を行う。オプションケースについては、前提条件を 3.4.1 項に整理し、評価結果については 3.4.3 で述べる。

3.4 節で対象とする検討ケースの一覧表を表 3.4-1 に示す。

表 3.4-1 検討ケース一覧表

検討ケース	説明	対象廃棄物	緩衝材厚さ(m)	処分空洞スパン(m)	前提条件	処分コスト試算結果		
基本ケース	3.2で述べたRI-研究所等廃棄物の処分場のコスト評価	RI・研究所等廃棄物*1	2m	約18m	3.4.1	3.4.2		
オプション-1	廃棄物発生量変動ケース	基本ケース+ 核燃料サイクル開発機構の再処理系廃棄物*2				1m	約17m	3.4.3
オプション-2		オプション-1 + 核燃料サイクル開発機構のウラン廃棄物*3						
オプション-3	緩衝材の厚さ減少ケース	RI-研究所等廃棄物*1	1m	約17m				
オプション-4				約18m				

注) *1 :核燃料サイクル開発機構、日本原子力研究所、東京大学、京都大学、日本核燃料開発㈱、日本ニュークリア・ディベロップメント㈱、日立エンジニアリング㈱、(株)東芝を起源とするRI・研究所等廃棄物の余裕深度処分相当の廃棄物

*2 :核燃料サイクル開発機構東海事業所の再処理工場、MOX施設、CPFの余裕深度処分相当の廃棄物

*3 :核燃料サイクル開発機構東海事業所のウラン系廃棄物と人形峠環境技術センターの余裕深度処分相当の廃棄物

3.4.1 検討条件の整理

処分場の経済性を評価するにあたり、前提条件を以下にまとめる。

(1) 対象廃棄体の発生数

廃棄体容器には、3.1.2 で前提条件とした 1.3m 容器（外寸法：1.3m × 1.3m × 1.3m）と 200L ドラム缶廃棄体を 4 本収納可能で 1.3m 容器と外寸法が同じラックを使用する（以下廃棄物を収納した 1.3m 容器と 200L ドラム缶を収納したラックを単に本項 3.4 では廃棄体と呼ぶこととする）。

表 3.4-1 中の基本ケースの廃棄体発生数については 3.1.2 で算出した。また基本ケースと同じ RI 系廃棄物だけを対象とするオプション-3、オプション-4 のケースは基本ケースと同じ廃棄体発生数である。またオプション-1、オプション-2 の再処理系廃棄物、ウラン廃棄物の廃棄体発生数の集計に対しては、核燃料サイクル開発機構より提示された 200L ドラム缶の発生数を以下の条件により集計した。

- ・ 200L ドラム缶のまま処分することが決まっている廃棄物についてはラックを使用し、それ以外の廃棄物は 1.3m 容器を使用する。
- ・ 角型容器：200L ドラム缶 5 本を 1 体とする。
- ・ ラック：200L ドラム缶 4 本を 1 体とする。

廃棄体発生数の集計結果を表 3.4.1-1 に示す。

表 3.4.1-1 対象廃棄体の発生数（基本ケース、オプションケース）

	発生場所	施設名等	廃棄体発生量(体)			
			1.3m容器		ラック	
			操業	解体	操業	解体
RI・研究所等 廃棄物	東海事業所		5	3	0	0
	大洗工学センター*1		489	15	171	0
	ふげん発電所		30	130	0	0
	もんじゅ建設所		5	149	0	0
	東海研究所		591	43	13	0
	大洗研究所		80	780	0	0
	むつ事業所		0	21	0	0
	東京大学		0	0	0	1
	京都大学		0	0	1	1
	日本核燃料開発㈱		0	0	81	81
	ニュークリア・ディベロップメント㈱		0	0	16	19
	日立エンジニアリング㈱		0	0	0	3
㈱東芝		0	0	0	1	
再処理廃棄物	東海事業所	再処理施設	5114	291	3986	0
		MOX燃料施設	77	76	0	0
		CPF	10	23	0	0
ウラン廃棄物	東海事業所	東海U系	1086	42	0	0
	人形峠環境 研究センター	-	1968	138	0	0
基本ケース、オプション-3、オプション-4 (RI・研究所等廃棄物)			2341		388	
			2729			
オプション-1 (RI・研究所等廃棄物 + 再処理廃棄物)			7932		4374	
			12306			
オプション-2 (RI・研究所等廃棄物 + 再処理廃棄物 + ウラン廃棄物)			11166		4374	
			15540			

注) 集計値は推定値であり、今後変動する可能性がある。

(2) 処分施設の建設・閉鎖に関する前提条件

(i) 処分空洞の建設工程

図 3.4.1-1 に処分空洞の建設と操業、閉鎖のブロックフローを示す。 から の坑道の建設での掘削から二次覆工の施工までのイメージ図を図 3.4.1-2 に示す。

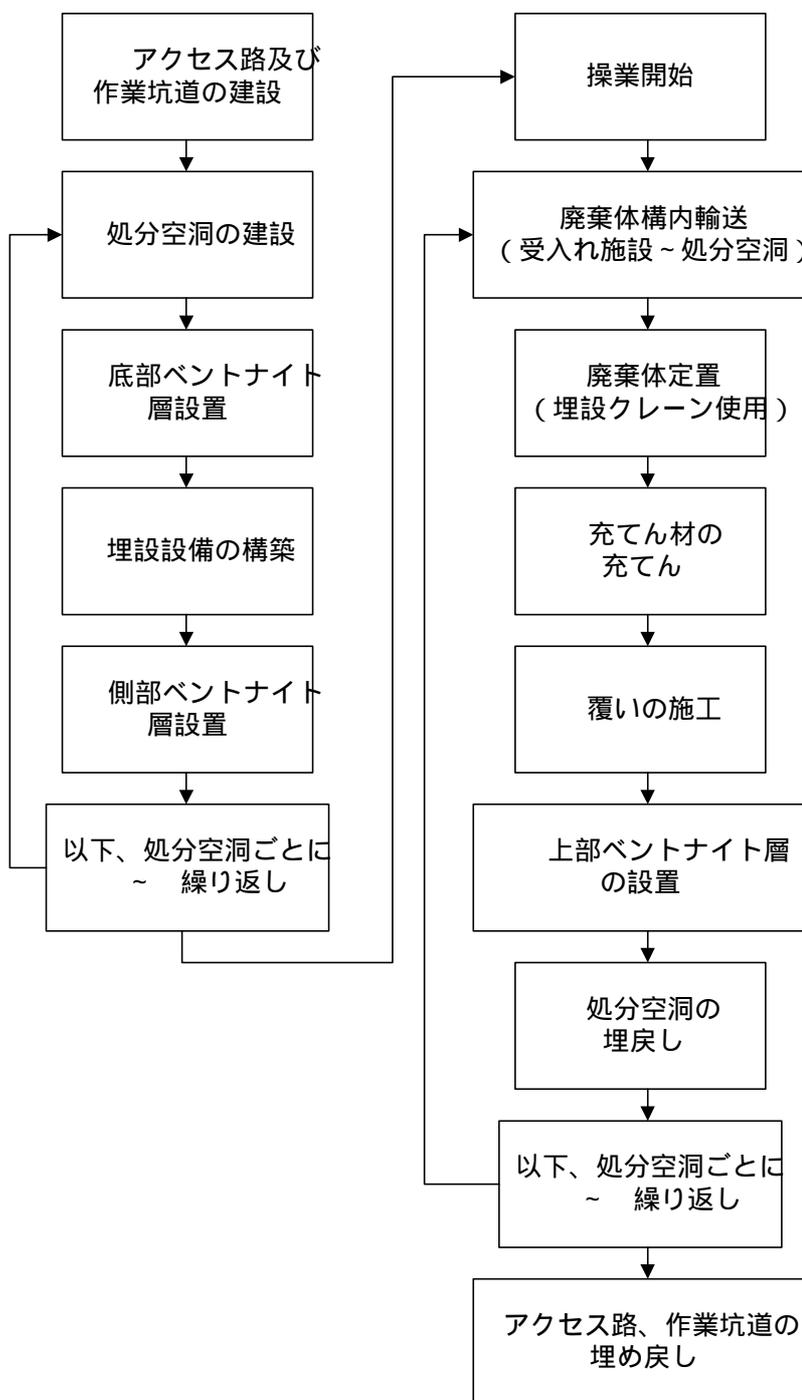


図 3.4.1-1 処分空洞の建設と操業のブロックフロー

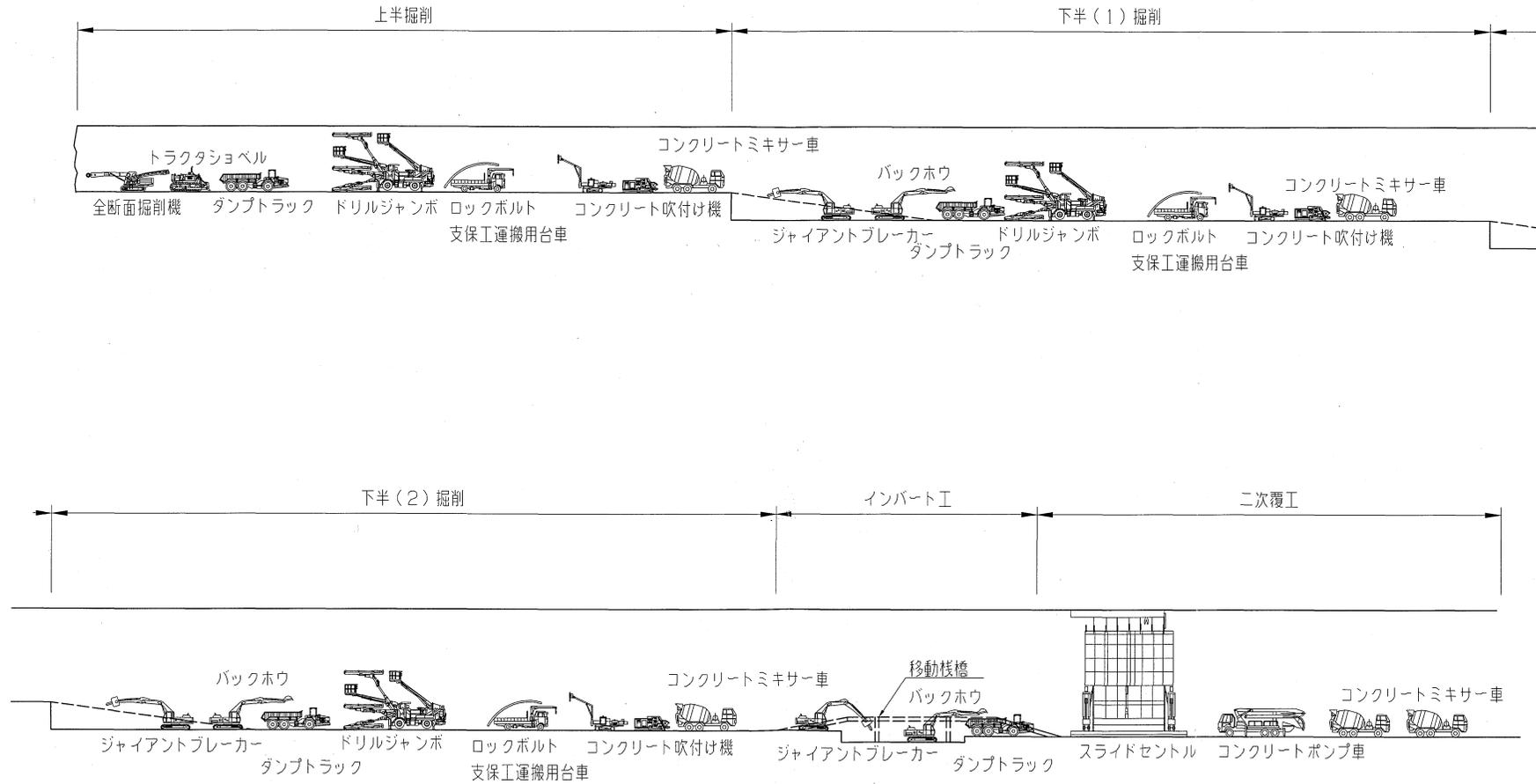


図 3.4.1-2 坑道掘削から二次覆工の施工までのイメージ図

(ii) 人工バリア構成および厚さ

人工バリア構成の厚さについては、3.2の検討結果を使用する。

(iii) 区画内の廃棄体定置数、区画寸法と区画数

表 3.4.1-2 に検討ケース別の区画内の廃棄体定置数、区画寸法、必要区画数を整理した。3.2と同様に埋設クレーンを使用して廃棄体を定置することとする。埋設クレーンの水平方向の稼動範囲はコンクリートピットと同じ幅、垂直方向の稼動範囲は5mとする。基本ケースでは、3.2の検討結果から1区画内に廃棄体を4行3列4段で積み上げ、合計48体が定置可能である。オプション-1～オプション-3の1区画内の廃棄体の定置数は基本ケースと同じとする。坑道径を基本ケースと同じとし緩衝材の厚さを1mに減少させ廃棄体の収納数を増加させるオプション-4では、廃棄体を1区画あたり5行3列4段で積み上げ、合計60体が定置可能である。

表 3.4.1-2 区画内の廃棄体定置数、区画寸法、必要区画数の一覧表

検討ケース	1区画内の廃棄体定置数 (体)	区画寸法*1	必要区画数 (区画)
基本ケース	48	長さ 6.4m × 幅 8.57m × 高さ 7.2m	57
オプション-1			257
オプション-2			325
オプション-3	48	長さ 6.4m × 幅 8.57m × 高さ 7.2m	57
オプション-4	60	長さ 6.4m × 幅 10.26m × 高さ 7.2m	46

注) *1: 長さはトンネルの掘削方向、幅はトンネルの幅方向、高さは垂直方向を示す。

(iv) 処分坑道断面

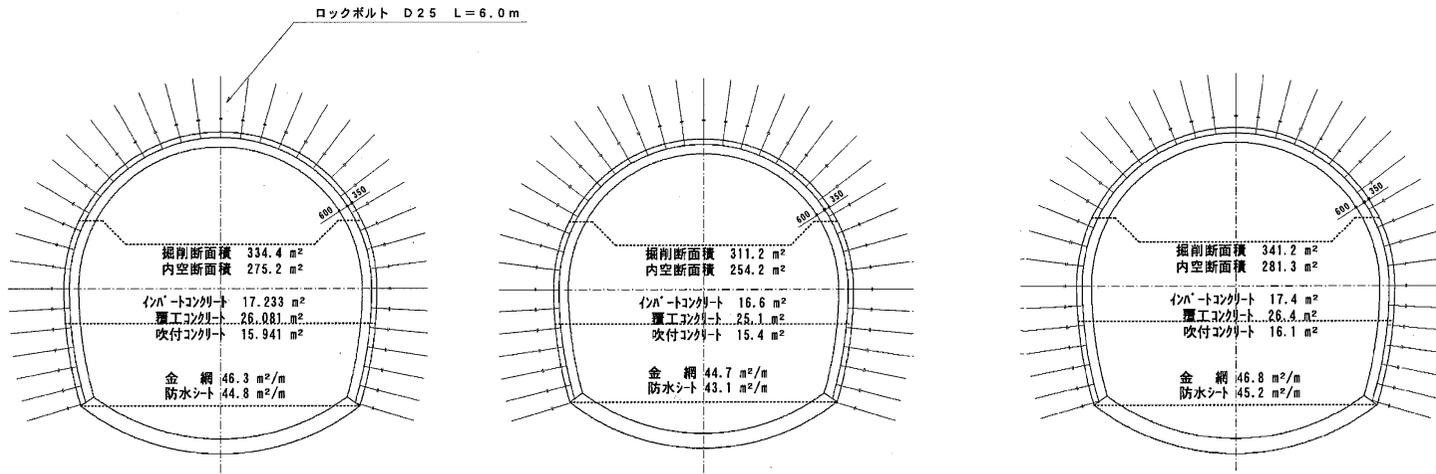
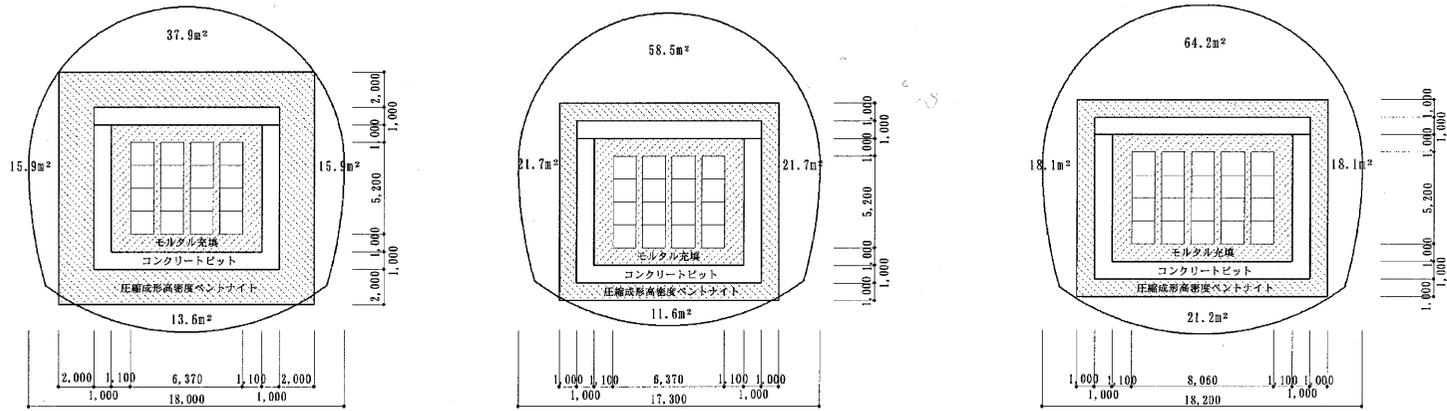
処分坑道の断面図を図 3.4.1-3 に示す。廃棄体発生数の変化ケースである基本ケース、オプション-1、オプション-2では、処分空洞の断面の大きさを3.2の検討結果をもとに設定する。緩衝材の厚さを低減するオプション-3、オプション-4では、表 3.4.1-2 に示した1区画内の廃棄体定置数を満たすように処分空洞の断面の大きさを修正する。

また処分空洞周辺の岩盤はD1級の岩盤であるため、「国土交通省 土木工事積算基準」及び既存の施工実績等に基づき、支保パターンを設定する。ここでは、以下のように支保パターンを設定する。

- ・ ロックボルトの間隔：D 25 L=6m @1m（坑道軸方向及び円周方向）
- ・ 吹き付けコンクリートの厚さ：30cm
- ・ 鋼製支保工：H-200@1m
- ・ 二次覆工の厚さ：50cm

(v) 処分場のレイアウト

処分坑道のレイアウトを図 3.4.1-4 に示す。基本ケースは、3.2 の検討結果を使用する。オプション-1～オプション-4 については、必要区画数から 3.2 の検討と同様に処分坑道長が 300m 程度までの長さとなるように処分坑道長を設定した。

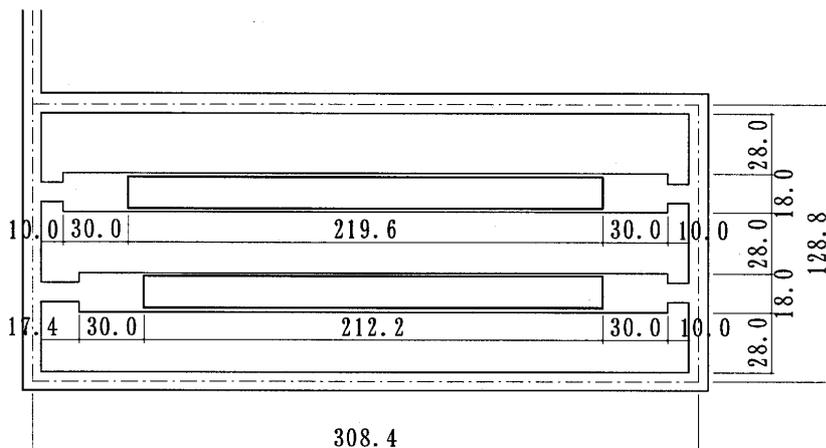


(A) 基本ケース、オプション-1、オプション-2

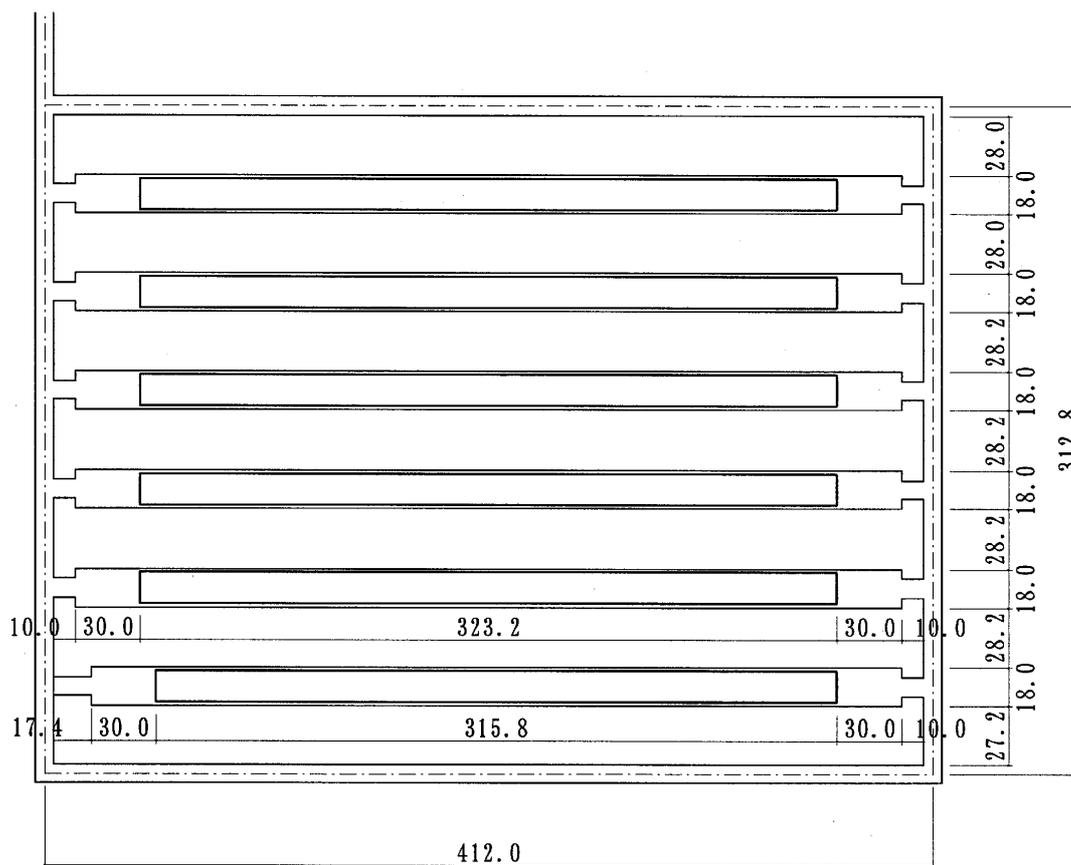
(B) オプション-3

(C) オプション-4

図 3.4.1-3 処分坑道の断面図

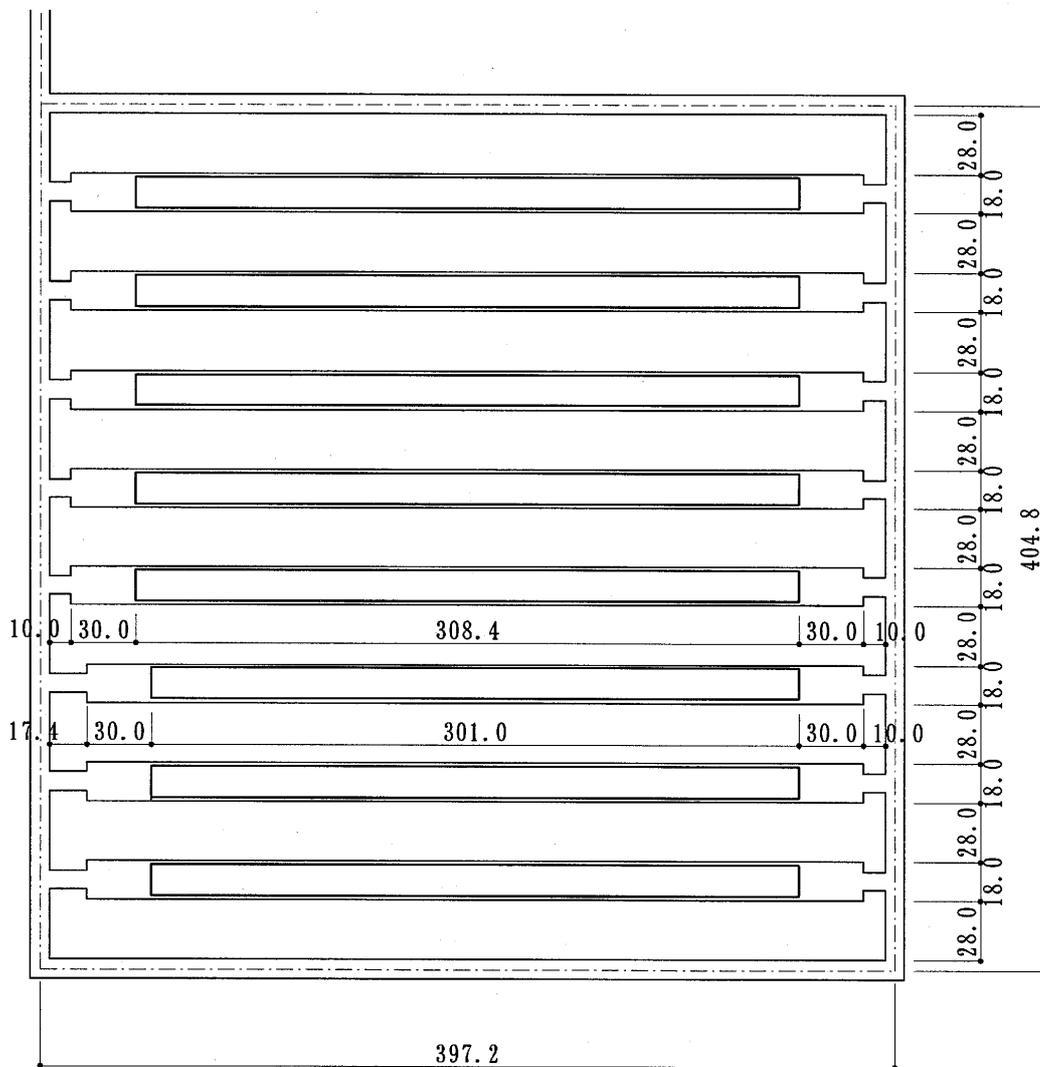


(a) 基本ケース



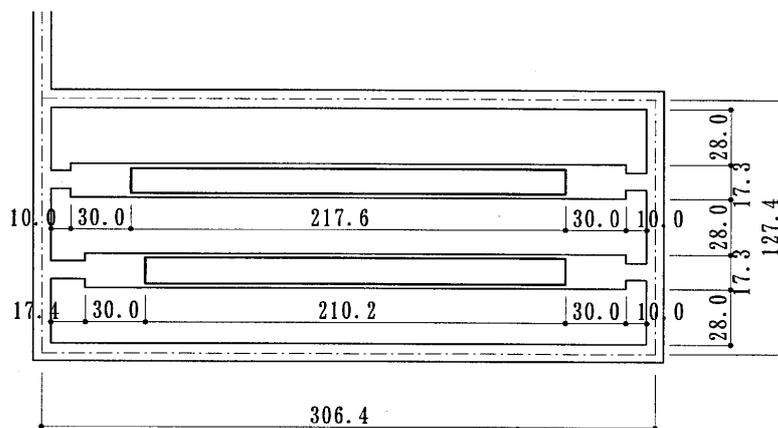
(b) オプション-1

図 3.4.1-4 処分坑道のレイアウト図

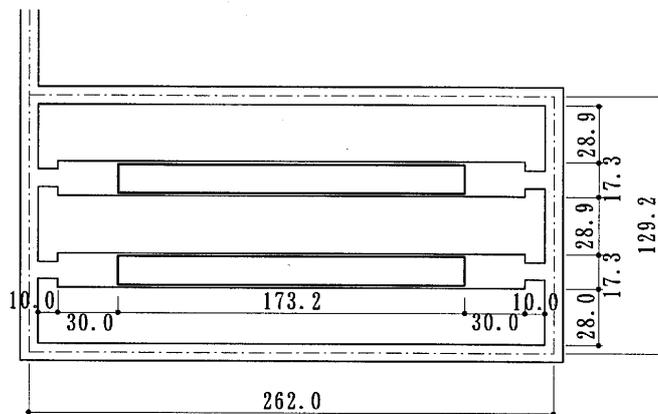


(c) オプション-2

図 3.4.1-4 処分坑道のレイアウト図(その2)



(d) オプション-3



(e) オプション-4

図 3.4.1-4 処分坑道のレイアウト図 (その3)

(vi) アクセス坑道・作業坑道

3.2の検討結果から、アクセス坑道と作業坑道は同じ断面形状とする。アクセス坑道は地表面を坑口とし、坑口から G.L.-14.4m まで（延長 = 250m まで）U字型擁壁（開削工事）とする。アクセス坑道の勾配は道路構造令の最大勾配より 6%とし、車両の逸走防止などを考慮して斜路部 120m + 水平部 10m の構成とする。図 3.4.1-5 にアクセス坑道の縦断面図を示す。また図 3.4.1-6 にアクセス坑道と作業坑道の断面図を示す。アクセス坑道と作業坑道は、「国土交通省 土木工事積算基準」及び既存の施工実績等に基づき、支保パターンを設定する。ここでは、ロックボルト（D25 L = 4 m @1m）吹き付けコンクリート厚さ 30cm、二次覆工厚さ 50cm とする。

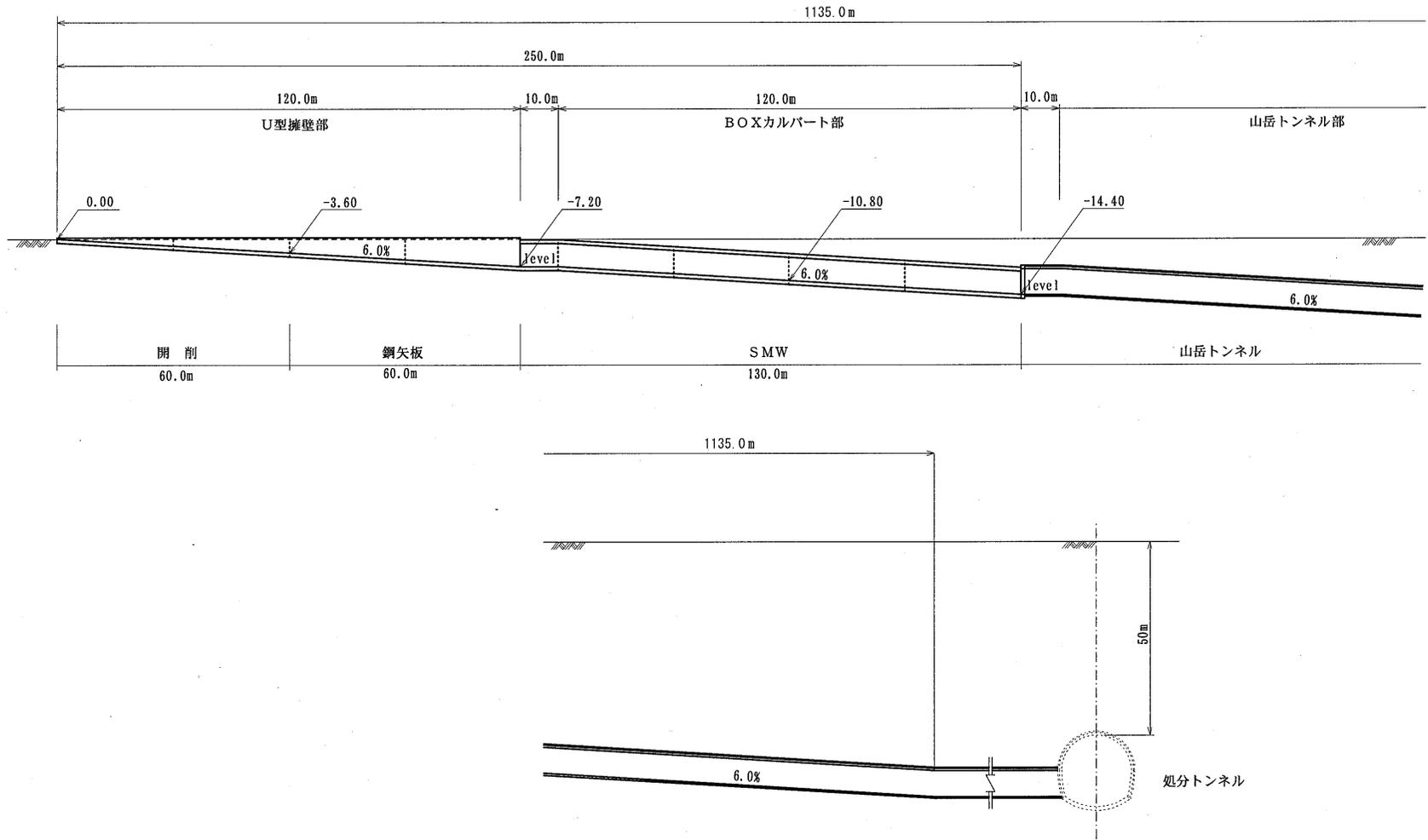


図 3.4.1-5 アクセス坑道の縦断面図

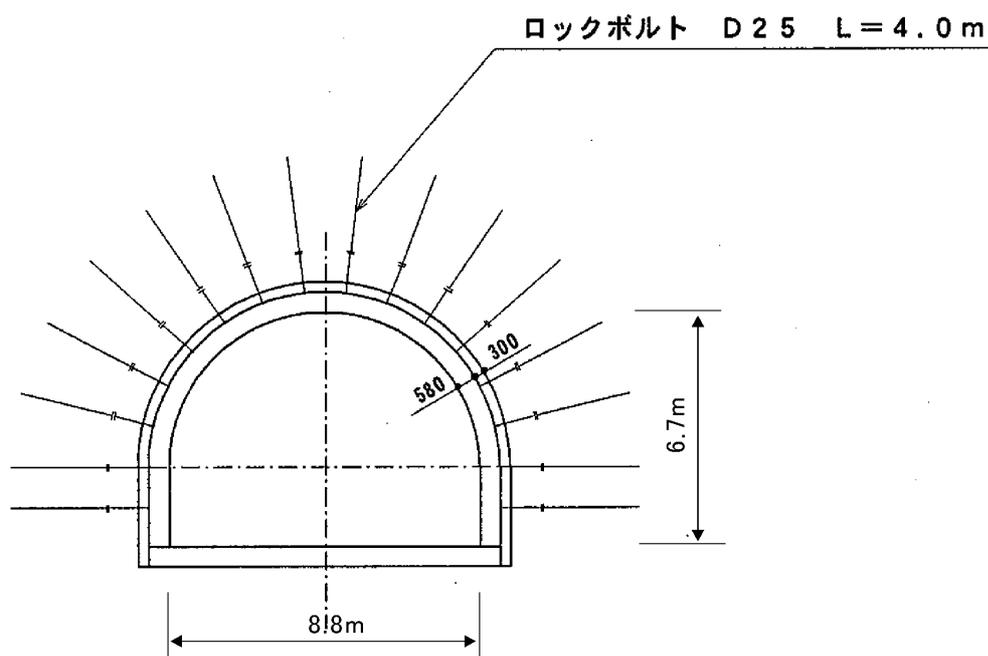


図 3.4.1-6 アクセス坑道、作業坑道の断面図

(3) 処分場の操業に関する前提条件

(i) 操業基本条件

3.1.2 の前提条件をもとに以下のように設定する。

- ・ 処分場の操業期間：30 年
- ・ 年間操業日数：200 日
- ・ 操業時間（実働）：8 時間 / 日（6 時間 / 日）

(ii) 受入・検査設備関係

(a) 受入・検査設備に関わる機能並びに構成

当該設備の必要機能並びに構成を検討する上で重要な前提条件としては、取扱廃棄体の種類、形状、線源強度、輸送形態、年間受入数量等があるが、これら条件のうち前年度と今年度検討前提条件との間での大きな相違点は、年間受入数量である。

したがって、ここでは従前の検討結果を踏まえつつ、本年度検討で示された年間受入数量の変化に対する検討を加える。

i. 各検討ケースにおける必要設備能力について

表 3.4.1-1 に示される廃棄体発生量に基づき、5 つの検討ケースで求められる設備の必要能力の目安を表 3.4.1-3 に整理する。（なお、本整理にあたっては、従前検討同様に施設の操業期間 30 年、200 日 / 年操業を前提としている。）

表 3.4.1-3 検討ケースにおいて求められる設備の必要能力

検討ケース	年間受入必要量〔体 / 年〕		日当たりの必要処理能力〔体 / 日〕	
	〔操業期間 30 年として平均化〕		〔年 200 日操業として平均化〕	
	角型容器	ラック	角型容器	ラック
基本ケース オプション - 3 オプション - 4	78.0	12.9	0.4	0.1
	91.0		0.5	
オプション - 1	264.4	145.8	1.3	0.7
	410.2		2.1	
オプション - 2	372.2	145.8	1.9	0.7
	518.0		2.6	

ii. 各検討ケースに対応する設備のあり方

表 3.4.1-3 に整理された 1 日当たりの必要処理能力を見た場合、最も大きな値となるオプション-2 においても 2.6 体/日であり、平成 13 年度の受入・検査設備概念設計結果におけるオプション-3 での必要処理能力 2.36 体/日と同様の要求レベルにあると捉えられる。

したがって、基本的には H13 年度並びに H14 年度において検討されてきた受入・検査設備の機能並びに構成にて、基本ケースとオプション-1～オプション-4 までの検討ケースへの設備対応は可能と判断される。

以下に受入・検査設備に関わる必要機能と設備構成を整理する。

ア. 受入・検査設備の必要機能

輸送容器取扱設備(輸送容器受入工程、輸送容器一時貯蔵工程、輸送容器払出工程)

- ・ 実入輸送容器の構内輸送車輛からの吊り降ろし
- ・ 一時貯蔵場所への輸送容器の搬送,定置
- ・ 空輸送容器の構内輸送車輛への吊り降ろし
- ・ 輸送容器衝撃吸収カバーの取外し,取付け

廃棄体検査設備(廃棄体拔出工程、廃棄体検査工程、廃棄体仮置払出工程)

<輸送容器取扱関連>

- ・ 廃棄体拔出し位置への輸送容器の搬送
- ・ 輸送容器蓋が 1 取外し
- ・ 輸送容器蓋取外し
- ・ 廃棄体拔出し
- ・ 輸送容器蓋取付け
- ・ 空輸送容器検査位置への輸送容器の搬送
- ・ 空輸送容器の蓋取外し,表面汚染検査,蓋取付け
- ・ 輸送容器蓋が 1 取付け
- ・ 輸送容器取扱設備への輸送容器の搬送

<廃棄体取扱関連>

- ・ 廃棄体拔出し [廃棄体検査室への廃棄体の搬送]

- ・ 廃棄体検査(整理番号確認,外観検査,表面線量測定,放射能量測定,重量測定)
- ・ 一時仮置き場所への廃棄体の搬送,定置
- ・ 廃棄体の構内輸送設備への搬送
付帯設備
- ・ 管理システム
- ・ 遮蔽設備
- ・ 換気 / 空調設備(建屋換気、空調)
- ・ 電気設備
- ・ 入退域設備
- ・ 監視設備(放射線、汚染、排気、防災の監視)
- ・ 廃棄物処理設備

イ. 受入・検査設備の構成

H13,14 年度の検討結果を踏まえた主要設備の機器リストを表 3.4.1-4 に示す。

(iii) 埋設施設関係

()における検討結果より、廃棄体定置設備を代表とする本設備に求められる処理能力も表 3.4.1-3 に示す値となる。

したがって、本設備についても H13 年度並びに H14 年度において検討されてきた当該設備の機能並びに構成にて、基本ケースおよびオプション-1～オプション-4 の検討ケースへの設備対応は可能と判断される。

以下に必要機能と設備構成を整理する。

(a) 埋設施設における必要設備に求められる必要機能

構内輸送設備

- ・ 廃棄体の廃棄体検査設備からの荷受け
- ・ 廃棄体の埋設場所への搬送
- ・ 廃棄体の廃棄体定置設備への受け渡し

廃棄体定置設備

- ・ 廃棄体の構内輸送設備からの荷受け,吊り降ろし
- ・ 埋設設備具備 RC 蓋の取外し,取付け
- ・ 廃棄体の埋設区画内への搬送,定置

充てん材充てん設備

- ・ 廃棄体定置済み区画へのセメント系充てん材の充てん覆い施工設備
- ・ 充てん材充てん済み区画への覆いコンクリートの打設付帯設備
- ・ 換気設備
- ・ 濁水処理,排水設備
- ・ 電気設備

(b) 埋設施設における必要設備の構成

H13,14 年度の検討結果を踏まえた主要設備の機器リストを表 3.4.1-5 に示す。

(iv) 受入・検査設備および埋設施設の人員計画

必要と想定される操業・人員は、3.4.1(3)() .の検討結果より、5つの検討ケースのいずれに対しても H14 年度の検討結果を使用できると考えられる。以下に当該人員計画を示す。

計 39 名

[内訳]

受入・検査設備関連：合計 34 名

- ・ 運転要員：10 名

制御室：運転統括：1,設備操作：2,モニタ監視：1

現場：統括：1,作業員：4,現場監視：1

- ・ 各部署：12 名(電気・機械・放管・品管各部署共統括者 1 名,担当：2 名)
- ・ 一般管理：12 名

埋設施設における必要設備関連：合計 5 名

- ・ ヤードキャリア運転員：1 名
- ・ 運転統括：1 名(制御室)
- ・ 設備操作：2 名(制御室)
- ・ モニタ監視：1 名(制御室)

表 3.4.1-4 受入・検査設備の機器リスト

設備名	工程名	機器名称	概略仕様
輸送容器取扱設備	輸送容器受入工程	輸送容器一時貯蔵天井クレーン	形式：天井クレーン
	輸送容器一時貯蔵工程		定格荷重：1m ³ 輸送容器重量相当
	輸送容器払出工程		
廃棄体検査設備	廃棄体拔出工程	廃棄体拔出し室移動台車	形式：搬送台車 定格荷重：1m ³ 輸送容器重量相当
		検査室天井クレーン	形式：天井クレーン(インセルクレーン) 定格荷重：1m ³ 廃棄体重量相当
	廃棄体検査工程	検査室天井クレーン	形式：天井クレーン(インセルクレーン) 定格荷重：1m ³ 廃棄体重量相当
		廃棄体拔出しゲート	床開閉式(拔出室-検査室間)
		検査装置	取扱対象物：ドラム缶, 1m ³ 廃棄体 検査項目 ・ 整理番号確認, 外観検査 ・ 表面線量 ・ 放射エネルギー測定 ・ 重量測定
		廃棄体移動ゲート	床開閉式(検査室-保管室間)
	廃棄体払出仮置工程	廃棄体保管室天井クレーン	形式：天井クレーン(インセルクレーン) 定格荷重：1m ³ 廃棄体重量相当

表 3.4.1-5 埋設施設における必要設備の機器リスト

設備名	機器名称	概略仕様
構内輸送設備	ヤードキャリア	車輛寸法：約 3.2mW × 約 10mL × 約 1.6mH(荷台高さ) 最大積載重量：約 160ton 走行速度：10km/h(平坦走行時)、3km/h(6%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 台数：1台
	運搬用遮蔽容器	容器外寸法：約 2mH × 約 5.6mL × 約 2mH 重量：約 150ton(廃棄体積載時最大)
廃棄体定置設備	定置クレーン	形式：橋形クレーン 外形寸法：約 10mW × 約 20mL × 約 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) 台数：1台
充てん材充てん設備 (*1)	コンクリートポンプ車	20tonトラックミキ
	コンクリートポンプ車	注入能力 60m ³ /h 程度
	コンクリート注入管引抜装置	ドラムリールへの巻取り方式
	充てん供給配管	80A(ピットリフティングポイント接続)
	液位測定装置	レーザ式
覆い施工設備	コンクリートポンプ車	20tonトラックミキ
	コンクリートポンプ車	注入能力 30m ³ /h 程度
	コンクリート供給配管	80A(ピットリフティングポイント接続)
	その他	パイプレータ

3.4.2 RI・研究所等廃棄物対象処分施設の経済性評価

ここでは、基本ケースの建設費、操業費等の積算を行う。

(1) 埋設施設の建設費の積算

建設費の積算は、「国土交通省 土木工事積算基準 平成15年度版」、「建設物価 平成16年1月号」等に基づくものとする。

積算項目は以下のとおりである。

- ・ トンネル構築工事（3段ベンチカット工法）
- ・ コンクリートピット構築工事
- ・ ベントナイト設置工事
- ・ 充てん材充てん工事
- ・ 埋め戻し工事
- ・ その他工事（残土処分、仮設工事、仮設経費、現場経費、一般管理費等）

なお、安全評価においては、コンクリートピットに止水等の機能を持たせず、吸着バリアとしてのみ評価しているため、コンクリートピットの積算では、大型鋼製型枠（ノンセパレータ工法）ではなく、通常の型枠、セパレータを使用するものとして積算する。

また、ベントナイト工事については、圧縮ベントナイト（30cm×30cm×厚さ5cm）を積み上げる方式とする。

(2) 受入検査施設等の建設費の積算

ここでは、廃棄体の受け入れから廃棄体定置までの一連の工程に必要な機器設備等について積算する。積算項目は以下のとおりである。

地下設備として、

- ・ 廃棄体ハンドリング設備（廃棄体定置設備、廃棄体構内輸送設備等）
- ・ その他設備（充てん材充てん設備、排水処理設備等）

地上設備として、

- ・ 受入検査建屋
- ・ 構内輸送車両保管庫

- ・ 建屋内設備（廃棄体ハンドリング設備、換気空調設備、運転管理設備等）

（3） 操業費の積算

操業費の積算項目は以下のとおりである。

- ・ 維持保修費
- ・ 人件費

維持保修費とは、施設及び設備の維持補修に必要な費用であり、人件費は、廃棄体の受け入れから定置までの一連の操業工程に必要な人件費である。

ここでは、類似施設の例を参考に、維持比率を地下設備と受入施設の建設費の1%とする。また、人件費については、前節の検討結果より39人体制での操業を基本とする。

（4） 閉鎖費の積算

処分事業の最終段階においては、構築された施設・設備は解体・撤去される計画である。ここでは、類似施設の経済性評価例を参考に、閉鎖に必要な費用を地下設備と受入施設の建設費の10%とする。

以上の積算結果を表 3.4.2-1 に示す。

表 3.4.2-1 によれば、基本ケース（廃棄物量 = 約 3,490m³）の総額は約 817 億円である。また、廃棄物 1m³ 当たりのコストは、約 2,340 万円である。

なお、本検討の経済性評価の対象外とした項目は以下に示すとおりである。これらの項目はサイト条件、安全審査からの要求度、税制度等に依存するものであり、現時点では不確定要素が多いことからコスト算定の対象外とした。

- ・ 技術開発費（現位置での実証試験等）
- ・ 調査費（サイト選定、地質・水理調査、現位置試験等）
- ・ 地域振興、地域共生費
- ・ 許認可費（安全審査対応等）
- ・ 土地取得費
- ・ ユーティリティー費（電気等）
- ・ モニタリング費（操業中、閉鎖後）
- ・ その他（核燃料物質等取扱税、廃棄確認費、保険料、固定資産税、消費税等）

表 3.4.2-1 基本ケースの積算結果

項目		単位	数量	金額(百万円)	
建設費	処分施設	トンネル建設工事	式	1	5,159
		(1) アクセス坑道	式	1	1,846
		(2) 作業坑道	式	1	1,293
		(3) 処分坑道	式	1	2,020
		ピット構築工事	式	1	795
		ベントナイト設置工事	式	1	8,790
		充てん材充てん工事	式	1	195
		埋め戻し工事	式	1	1,494
		(1) 処分坑道	式	1	578
		(2) 作業坑道	式	1	342
		(3) アクセス坑道	式	1	574
		仮設工事及び仮設経費	式	1	10,262
		地下設備	式	1	4,800
		(1) 廃棄体ハンドリング設備	式	1	2,500
		(2) その他設備	式	1	2,300
		小計			
	受入施設	受入建屋	式	1	15,500
		構内輸送車両保管庫	式	1	100
		建屋内設備	式	1	13,500
		小計			
建設費合計				60,595	
操業費	維持保守 (30年×339百万円/年)	式	1	10,170	
	人件費 (1170年・人×6.4百万円/年)	式	1	7,488	
	小計				17,658
閉鎖費	解体撤去	式	1	3,400	
合計				81,653	

注) 積算結果は推定値であり今後変化する可能性がある。

3.4.3 処分施設のオプションケースの経済性評価

ここでは、オプションケース - 1 からオプションケース - 4 の経済性評価を行う。

積算条件等は、基本ケースと同様である。

オプションケース - 1 からオプションケース - 4 の積算結果を表 3.4.3-1 から表 3.4.3-4 にそれぞれ示す。

表 3.4.3-1 オプションケース - 1 の積算結果

項目		単位	数量	金額(百万円)	
建設費	処分施設	トンネル建設工事	式	1	12,288
		(1) アクセス坑道	式	1	1,846
		(2) 作業坑道	式	1	2,144
		(3) 処分坑道	式	1	8,298
		ピット構築工事	式	1	3,576
		ベントナイト設置工事	式	1	39,084
		充てん材充てん工事	式	1	878
		埋め戻し工事	式	1	3,154
		(1) 処分坑道	式	1	2,119
		(2) 作業坑道	式	1	477
		(3) アクセス坑道	式	1	558
		仮設工事及び仮設経費	式	1	31,704
		地下設備	式	1	4,800
		(1) 廃棄体ハンドリング設備	式	1	2,500
		(2) その他設備	式	1	2,300
		小計			
	受入施設	受入建屋	式	1	15,500
		構内輸送車両保管庫	式	1	100
		建屋内設備	式	1	13,500
		小計			
建設費合計				124,584	
操業費	維持保守 (30年×339百万円/年)	式	1	10,170	
	人件費 (1170年・人×6.4百万円/年)	式	1	7,488	
	小計				17,658
閉鎖費	解体撤去	式	1	3,400	
合計				145,642	

注) 積算結果は推定値であり今後変化する可能性がある。

表 3.4.3-2 オプションケース - 2 の積算結果

項目		単位	数量	金額(百万円)		
建設費	処分施設	トンネル建設工事	式	1	14,837	
		(1) アクセス坑道	式	1	1,846	
		(2) 作業坑道	式	1	2,372	
		(3) 処分坑道	式	1	10,619	
		ピット構築工事	式	1	3,632	
		ベントナイト設置工事	式	1	49,500	
		充てん材充てん工事	式	1	1,110	
		埋め戻し工事	式	1	4,344	
		(1) 処分坑道	式	1	3,139	
		(2) 作業坑道	式	1	634	
		(3) アクセス坑道	式	1	571	
		仮設工事及び仮設経費	式	1	38,526	
		地下設備	式	1	4,800	
		(1) 廃棄体ハンドリング設備	式	1	2,500	
		(2) その他設備	式	1	2,300	
		小計			116,749	
		受入施設	受入建屋	式	1	15,500
			構内輸送車両保管庫	式	1	100
			建屋内設備	式	1	13,500
	小計				29,100	
建設費合計			145,849			
操業費	維持保守 (30年×339百万円/年)	式	1	10,170		
	人件費 (1170年・人×6.4百万円/年)	式	1	7,488		
	小計			17,658		
閉鎖費	解体撤去	式	1	3,400		
合計				166,907		

注) 積算結果は推定値であり今後変化する可能性がある。

表 3.4.3-3 オプションケース - 3 の積算結果

項目		単位	数量	金額 (百万円)	
建設費	処分施設	トンネル建設工事	式	1	5,038
		(1) アクセス坑道	式	1	1,823
		(2) 作業坑道	式	1	1,257
		(3) 処分坑道	式	1	1,958
		ピット構築工事	式	1	800
		ベントナイト設置工事	式	1	3,995
		充てん材充てん工事	式	1	195
		埋め戻し工事	式	1	1,785
		(1) 処分坑道	式	1	874
		(2) 作業坑道	式	1	343
		(3) アクセス坑道	式	1	568
		仮設工事及び仮設経費	式	1	8,431
		地下設備	式	1	4,800
		(1) 廃棄体ハンドリング設備	式	1	2,500
		(2) その他設備	式	1	2,300
		小計			25,044
		受入施設	受入建屋	式	1
	構内輸送車両保管庫		式	1	100
	建屋内設備		式	1	13,500
	小計				29,100
建設費合計				54,144	
操業費	維持保守 (30年×339百万円/年)	式	1	10,170	
	人件費 (1170年・人×6.4百万円/年)	式	1	7,488	
	小計			17,658	
閉鎖費	解体撤去	式	1	3,400	
合計				75,202	

注) 積算結果は推定値であり今後変化する可能性がある。

表 3.4.3-4 オプションケース - 4 の積算結果

項目		単位	数量	金額(百万円)		
建設費	処分施設	トンネル建設工事	式	1	4,738	
		(1) アクセス坑道	式	1	1,838	
		(2) 作業坑道	式	1	1,157	
		(3) 処分坑道	式	1	1,743	
		ピット構築工事	式	1	718	
		ベントナイト設置工事	式	1	3,720	
		充てん材充てん工事	式	1	185	
		埋め戻し工事	式	1	1,501	
		(1) 処分坑道	式	1	605	
		(2) 作業坑道	式	1	317	
		(3) アクセス坑道	式	1	579	
		仮設工事及び仮設経費	式	1	7,964	
		地下設備	式	1	4,800	
		(1) 廃棄体ハンドリング設備	式	1	2,500	
		(2) その他設備	式	1	2,300	
		小計				23,626
		受入施設	受入建屋	式	1	15,500
	構内輸送車両保管庫		式	1	100	
	建屋内設備		式	1	13,500	
	小計					29,100
建設費合計					52,726	
操業費	維持保守 (30年×339百万円/年)	式	1	10,170		
	人件費 (1170年・人×6.4百万円/年)	式	1	7,488		
	小計				17,658	
閉鎖費	解体撤去	式	1	3,400		
合計					73,784	

注) 積算結果は推定値であり今後変化する可能性がある。

以上の積算結果より、処分費用の総額と廃棄物量 1m³ 当たりのコストをまとめて(基本ケースも含めて)表 3.4.3-5 に示す。

表 3.4.3-5 積算結果のまとめ

ケース名	総額(億円)	廃棄物 1m ³ 当たりコスト(万円)
基本ケース (廃棄物量約 3,490m ³)	817	2,340
オプションケース - 1 (廃棄物量約 12,269m ³)	1,456	1,187
オプションケース - 2 (廃棄物量約 15,503m ³)	1,669	1,077
オプションケース - 3 (廃棄物量約 3,490m ³)	752	2,155
オプションケース - 4 (廃棄物量約 3,490m ³)	738	2,114

注) 積算結果は推定値であり今後変化する可能性がある。

表 3.4.3-5 によれば、廃棄物量が多いケースほど総額は大きいですが、廃棄物 1m³ 当たりのコストは小さくなる傾向が明確になっている。これは、処分坑道などの変動費は廃棄物量と連動して大きくなるが、アクセス路などの固定費の割合が小さくなるためである。

基本ケースとオプションケース - 3 及びオプションケース - 4 を比較すると、各ケースとも廃棄物量は同じであるが、ベントナイトの厚さが基本ケースでは 2m、オプションケース - 3 及びオプションケース - 4 では 1m であり、ベントナイトの厚さが 1m 違うことにより、廃棄物 1m³ 当たりのコストは 200 万円前後の差になっている。すなわち、ベントナイトのコストが処分施設の経済性に大きな影響を与えていることがわかる。

オプションケース - 3 及びオプションケース - 4 では、処分空洞の大きさを変えて、廃棄体の定置効率を変えた場合の影響を見ることができ、処分坑道の断面を小さくするより、廃棄体の収納効率を大きくする方が経済性は向上することがわかる。

3.5 概念設計の課題抽出

本項では「RI・研究所等廃棄物の余裕深度処分施設の概念設計」で残った課題を、3.1 から 3.4 の研究項目に沿ってまとめることとする。

3.5.1 廃棄体特性検討

「廃棄体特性検討」では、RI・研究所等廃棄物の余裕深度処分相当の廃棄物を対象として安全評価に必要な廃棄物発生量、放射エネルギー、放射性物質濃度をまとめた。課題としては、以下の事項が挙げられる。

【廃棄物特性の集計】

- 1) 処分場の成立性に関する安全評価の観点で、本研究で集計した廃棄物データに不足していると考えられるデータを以下に示す。

廃棄物を余裕深度処分する場合、処分場建設の許認可時などに処分場の長期安全性を示す必要がある。HLW2000年レポートやTRU廃棄物処分概念検討書、各国の性能評価レポートでは廃棄物に含有する人工バリアに影響を与える可能性がある物質(可溶性塩や有機物など)の影響が評価されている。本研究では、可溶性塩や有機物に関する定量的なデータが存在しないため、安全評価のシナリオでは考慮していない。

また不燃物(金属類)に分類される廃棄物に対しては、放射化金属であるかどうか調査する必要がある。安全評価では、核種インベントリを瞬時放出として取扱っている。しかし廃棄物の中には放射化金属があり、その様な場合には廃棄物マトリクスを溶解を考慮した方が現実的であると考えられる。

また廃棄物容器の大きさの観点では、廃棄物の大きさのデータが必要と考えられる。本研究では余裕深度処分検討されている廃棄体容器を参考とした。本来であれば、廃棄物の大きさも考慮して廃棄体容器の大きさが検討されると考えられる。

また本研究では、廃棄物の発生量に50年間の発生予測数を設定している。廃棄物の中には50年間の中で早期に発生する廃棄物もあると考えられる。処分場の受入れ設備や埋設設備の規模は、処分場の操業期間と処分場が受け入れる廃棄体数によって決まる。このため廃棄物の発生量がより明確になった段階においては、受入れ設備や埋設設備の規模も変更される可能性がある。

項目		影響
人工バリア性能に影響を与える可能性がある含有物	・可溶性塩（硝酸塩、硫酸塩、ホウ酸など）	・セメント系材料の劣化 ・緩衝材の膨潤圧の低下 ・処分坑道のレイアウト etc.
核種の移行に影響を与える可能性がある含有物	・有機物	・核種の移行速度
放射性核種の溶解に関するデータ	・金属類の状態(放射化金属など)	・安全評価での核種インベントリの与え方
廃棄体容器に関連するデータ	・廃棄物の大きさ	・廃棄体容器の大きさ
処分場の操業に影響するデータ	・廃棄物の年発生量	・処分場の操業開始の時期と操業期間 ・受入れ設備、埋設設備の規模

- 2) 本研究での廃棄物の分類方法は、可燃物、難燃物、不燃物というように廃棄物の処理方法に着目している。余裕深度処分では、人工バリアに影響を与える物質を含む廃棄物は処分坑道を他の廃棄物と区別するように検討されている。このため、廃棄物の分類についても、廃棄物の含有物を考慮した分類が考えられる。

【廃棄体容器の検討】

- 1) 本研究では処分場の操業時期が明確でないために、各発生機関で取得された現在の放射能濃度をもとに廃棄体容器の厚さを検討した。しゃへいの観点からキーとなる核種はCo-60やCs-137であり、これらの核種は短半減期である。このため廃棄物を更に貯蔵して放射能濃度を下げることにより、しゃへいに必要な容器の厚さを低減できる可能性がある。

3.5.2 埋設施設形態の最適化検討

【埋設施設の形態検討】

- 1) 処分場の地質岩盤条件は「第3次中間報告」の粘土・凝灰岩を前提としている。本研究では、処分施設の力学的安定性に関しては過去の施工実績から掘削可能と判断した。しかし本来は、有限要素法などの利用による解析により処分空洞もしくは開削サイロの力学的安定性を確認する必要があると考えられる。

このような場合には、より前提とする条件を明確にし、また解析に必要となる岩盤の力学特性（一軸圧縮強度や弾性係数など）を取得する必要がある。

- 2) 軟岩を対象とした坑道周辺の緩み域の厚さについては、現在のところ知見がない。本

研究では大きめの値として 5m を設定しているが、詳細な知見が必要と考えられる。

【施設浸透水量の設定】

- 3) 本研究はサイトジェネリックな検討であり、地下水流向はいずれの方向にもとりうる。本研究では坑道周辺に存在する可能性がある水理的なゆるみ域 (EDZ) については、地下水流向が安全評価に与える感度が大きいことから検討から除外している。サイトが詳細に調査された段階では、EDZ を考慮する必要が生じる可能性が考えられる。
- 4) 本研究では岩盤の透水係数の不均質性を均質として取扱えると仮定して検討を行った。しかし、実際の処分場には、処分坑道を横切る亀裂、断層が存在する場合や、また岩盤マトリクスの透水係数が不均質に存在する場合も想定できる。これらについては処分計画がより進んだ段階においては検討されることが考えられる。

3.5.3 施設成立性の検討

- 1) 廃棄物からの核種の放出は、本研究では全て瞬時放出としている。しかし廃棄物の中には、放射化金属などが含まれる可能性がある。そのような場合には、核種インベントリの取扱いを変更する必要があると考えられる。
- 2) 本研究の地下水移行シナリオは、あくまで基本シナリオを想定している。今後調査が進んだ段階においては、処分システムに影響を及ぼす事象を整理し、変動シナリオを実施する必要があると考えられる。変動シナリオには、例えばアクセス坑道が核種の移行経路となるシナリオや、ガス移行が核種移行に影響するシナリオが考えられる。

3.5.4 経済性の最適化検討

- 1) 処分コストの積算結果に対しては、前提条件が重要である。本研究では処分場の操業期間、岩盤条件、処分場の形態に仮定をしておき、その結果導き出した施設形態について処分コストを積算した。しかし今後処分施設について詳細な検討がなされ、処分場の操業期間や処分施設の形態が本研究での前提条件に比べ変化した場合には、処分コストの積算結果も変化する可能性がある。
- 2) RI・研究所等廃棄物の単独処分では廃棄物発生量が少なく、経済性の観点から不利であると考えられる。しかし、RI・研究所等廃棄物以外の廃棄物との共同処分を考えるとにより処分コストを低減できると考えられる。

3.6 おわりに

本研究では、「RI・研究所等廃棄物余裕深度処分施設の概念設計」(以下 H14 年度研究と呼ぶ)と同じ合計 8 機関からの余裕深度処分相当の廃棄物を対象とし処分施設の概念設計および処分コストの積算を実施した。本年度では、核燃料サイクル開発機構と日本原子力研究所の廃棄物について、廃棄物の処理方法、廃棄体の仕様、放射能濃度分布などを見直し、廃棄物の特性データを集計し直した。

集計した廃棄物特性データをもとに専用の角型容器を想定し、しゃへの観点から必要な容器の厚さを検討した。本年度は、H14 年度研究と異なり廃棄物をその放射能濃度に応じてグループ化し、濃度が低い廃棄物に対しては薄い廃棄体容器を適用した。その結果、50 年間の 1.3m 廃棄体(ラックを含む)の発生数は 2,729 体と見積もられた。

上記の廃棄体発生数をもとに「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」(放射性廃棄物安全基準専門部会、平成 12 年 6 月、以下「第 3 次中間報告」と呼ぶ)での設定条件に基づき、トンネル型埋設施設と開削サイロ型埋設施設について概念設計を実施し、これらの処分施設に対して安全評価を実施した。安全評価では、各廃棄物発生機関の廃棄物種類別に重要核種(10 μ Sv/yr 相当濃度の最小値(C)と対象廃棄物中の平均放射性核種濃度(D)の相対濃度(D/C)の上位 3 桁に入る核種)を選定した。また安全評価では、「地下水シナリオ」を中心として評価し、安全評価パラメータのうち天然バリアの地下水流速、人工バリアの実効拡散係数、人工バリアと天然バリアの分配係数、人工バリアへの地下水流入量について感度解析を実施した。また「地下水シナリオ」の被ばく経路の違いについても評価を実施した。その結果、「地下水シナリオ」においては全ての解析ケースで目標線量(10 μ Sv/yr)を満足することがわかった。

さらにトンネル型埋設施設を対象として処分コストの積算を実施し、その結果を整理した。処分コストは、廃棄体発生量の変動と緩衝材厚さの低減についても考慮した。廃棄物発生量の変動に関しては、処分コストは廃棄物発生量の増加に従い増加するが、廃棄物 1m³ 当たりの処分コストは低減する結果を得た。また緩衝材の厚さに関しては、処分コストは処分空洞の断面積を低減させるよりも処分断面当たりの廃棄体の収納効率を上げる方が有利である結果を得た。