

JNC TN8400 99-050

地層処分場の操業システムに関する検討

(研究報告)

1999年11月

核燃料サイクル開発機構
東海事業所

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下さい。

〒319-1194 茨城県那珂郡東海村大字村松 4-33

核燃料サイクル開発機構 東海事業所
運営管理部 技術情報室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Information Section,
Administration Division,
Tokai Works,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-33 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1194
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)
1999

地層処分場の操業システムに関する検討

(研究報告)

報告者：本間信之，千葉恭彦*，棚井憲治

要　旨

本報では、地層処分の技術的成立性を明らかにするため、処分場の操業段階におけるガラス固化体の受け入れから人工バリア定置までの作業の具体的な方法について工学的な検討を実施した結果を報告する。

まず、検討を行ううえで必要となるいくつかの前提条件を提示し、次に地上施設、アクセス施設、地下施設の区分で各施設における作業の内容と手順について検討した。

さらに、各工程で必要となる具体的な機器、設備、および配置、系列数について検討し、各施設の概念を示した。これらをもとに実際の操業にかかる時間について検討した。また、操業段階で想定される事故事象をまとめ、既存の原子力関連施設を参考に放射線管理の考え方についても整理を行った。

最後に今後検討されるべき課題をまとめた。

Operation System Concept for High-Level Radioactive Wastes Disposal Facility

Nobuyuki HONMA, Takahiko CHIBA *, Kenji TANAI

Abstract

This paper reports on the evaluations of operational activities for a High Level Radioactive Wastes Disposal Facility, from initial acceptance of vitrified waste at a surface facility to emplacement engineered barriers in underground facilities. The purpose of this analysis is to confirm the technical feasibility of geological disposal.

First, the basic design and repository system requirements are identified. Second, operational activities in surface facilities, access facilities and underground facilities are described. The required procedures and equipment, suitable for specific emplacement concepts and configurations for engineered barrier systems are discussed for specific examples. Countermeasures for potential adverse events or conditions are based on extensive civil engineering and mining experiences in Japan and abroad. The time schedule is also evaluated on the basis of these concepts.

In addition, the concept of stationary and mobile radiation control areas is studied based on experiences and practice in current nuclear facilities.

Finally future research and development items are summarized.

Barrier Performance Group, Waste Isolation Research Division, Waste Management and Fuel Cycle Research Center, Tokai Works

* Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co. Ltd.

目 次

1. はじめに	1
2. 処分場の概念と前提条件	2
2.1 処分施設の基本概念	2
2.2 前提条件	3
3. 作業内容および手順	7
3.1 地上施設での作業	7
3.1.1 オーバーパック封入施設での作業フロー	8
3.2 アクセス施設での作業	13
3.2.1 アクセス施設での作業フロー	13
3.3 地下施設での作業	15
3.3.1 地下施設での作業フロー	15
3.4 操業の管理	19
3.4.1 各施設での検査項目	19
3.4.2 操業の制御と管理方法	20
4. 施設および設備の概念	21
4.1 地上施設	21
4.1.1 主要機器の検討	21
4.1.1.1 オーバーパック封入施設	21
4.1.1.2 ベントナイトブロック製作施設	24
4.1.2 地上施設の配置検討	24
4.2 アクセス施設搬送設備	29
4.2.1 アクセス方式の比較検討	29
4.2.1.1 立坑方式	29
4.2.1.2 斜坑方式	30
4.2.1.3 アクセス方式の比較検討まとめ	30
4.2.2 搬送設備の検討	31
4.2.3 主要機器の検討	34
4.3 坑底積み替え、地下搬送および定置設備	45
4.3.1 搬送方式の比較	45
4.3.2 緩衝材設置方式の比較	46
4.3.3 主要機器の検討	47
4.3.3.1 坑底積み替え設備	47
4.3.3.2 地下搬送および定置設備	55
4.3.3.3 緩衝材現地締め固め方式について	62

4.4 操業用機器と坑道形状の関係	65
4.5 換気設備その他	70
4.6 システム全体概念	70
5. 操業スケジュール	73
5.1 系列数検討	73
5.1.1 地上施設	73
5.1.2 アクセス施設	74
5.1.3 地下施設	74
5.2 タイミングチャート	75
6. 操業における放射線管理	82
6.1 管理区域設定の基本的考え方	82
6.2 管理区域の移動	86
6.3 管理区域での管理項目	88
6.4 放射線管理に必要な設備	88
7. 想定事故事象	89
7.1 想定される事故事象	89
7.2 事故対策への取り組み	90
8. まとめと今後の課題	91
参考文献	93

図 目 次

図 2-1 人工バリアの概念	2
図 2-2 処分施設の基本概念	2
図 2-3 人工バリア定置レイアウトのバリエーション	3
図 2-4 ガラス固化体キャニスターの概念	4
図 2-5 オーバーパック仕様	5
図 2-6 緩衝材ブロック定置方式の概念	5
図 2-7 検討に用いる坑道断面形状	6
図 3-1 廃棄体の搬送経路	7
図 3-2 オーバーパック封入施設における基本的な作業手順	7
図 3-3 キャスク受入れ工程	8
図 3-4 ガラス固化体抜き出し工程	8
図 3-5 キャスク搬出工程	9
図 3-6 ガラス固化体検査工程	9
図 3-7 オーバーパック供給工程	10
図 3-8 オーバーパック封入工程	10
図 3-9 廃棄体搬出工程	11
図 3-10 オーバーパック封入施設における廃棄体ハンドリング概念	12
図 3-11 アクセス施設における基本的な作業手順	13
図 3-12 アクセス施設における廃棄体ハンドリング概念	14
図 3-13 地下施設における基本的な作業手順	15
図 3-14 積み替え設備作業フロー	16
図 3-15 積み替え設備ハンドリング概念	16
図 3-16 処分坑道横置き定置方式の作業概念	17
図 3-17 処分坑道横置き定置方式の作業概念	17
図 4-1 ベントナイトブロック製作施設の例	24
図 4-2 オーバーパック封入施設の設備配置の例	25
図 4-3 地上施設全体レイアウト	27
図 4-4 立坑エレベータ概念図	35
図 4-5 立坑搬送台車 概念図（廃棄体用）	37
図 4-6 立坑搬送台車 概念図（緩衝材用）	39
図 4-7 斜坑搬送台車 概念図（廃棄体用）	41
図 4-8 斜坑搬送台車 概念図（緩衝材用）	43
図 4-9 廃棄体積み替え施設ハンドリングフロー	49
図 4-10 坑底積み替え施設配置案（坑道横置き定置方式の場合）	53
図 4-11 坑底積み替え施設配置案（処分坑堅置き定置方式の場合）	54
図 4-12 下部緩衝材定置装置 概念図（坑道横置き定置方式）	56
図 4-13 上部緩衝材定置装置 概念図（坑道横置き定置方式）	57

図 4-14 廃棄体定置装置 概念図（坑道横置き定置方式）	58
図 4-15 定置装置搬送台車 概念図（坑道横置き定置方式）	59
図 4-16 緩衝材定置装置 概念図（処分坑縦置き定置方式）	60
図 4-17 廃棄体定置装置 概念図（処分坑縦置き定置方式）	61
図 4-18 緩衝材現地締め固め装置 動作概要	63
図 4-19 緩衝材現地締め固め装置の概念	64
図 4-20 廃棄体最小定置間隔	65
図 4-21 立坑断面形状	66
図 4-22 最小坑道断面形状（硬岩系岩盤）	67
図 4-23 最小坑道断面形状（軟岩系岩盤：安全通路を両側に設置）	68
図 4-24 最小坑道断面形状（軟岩系岩盤：安全通路を片側に設置）	69
図 4-25 定置システムの設備構成（処分坑道横置き定置方式の場合）	71
図 4-26 定置システムの設備構成（処分孔縦置き定置方式の場合）	72
図 6-1 オーバーパック封入施設に対する管理区域の設定例	84
図 6-2 管理区域の設定例	86
図 6-3 管理区域の移動の概念	87

表 目 次

表 2-1 ガラス固化体仕様の概要	4
表 3-1 坑道横置き定置方式の作業手順	17
表 3-2 処分坑縦置き定置方式の作業手順	18
表 3-3 オーバーパック封入施設における検査項目の例	19
表 3-4 アクセス施設における検査項目の例	19
表 3-5 地下施設における検査項目の例	19
表 4-1 キャスク受入れ工程での必要機器	21
表 4-2 ガラス固化体抜き出し工程での必要機器	21
表 4-3 キャスク搬出工程での必要機器	22
表 4-4 ガラス固化体検査工程での必要機器	22
表 4-5 空オーバーパック供給工程での必要機器	22
表 4-6 オーバーパック封入工程での必要機器	23
表 4-7 廃棄体検査工程での必要機器	23
表 4-8 廃棄体搬出工程での必要機器	23
表 4-9 積み込み・積み下ろし方式の比較（立坑）	29
表 4-10 アクセス施設搬送方式の比較（斜坑）	30
表 4-11 アクセス施設における搬送方式の評価	31
表 4-12 廃棄体搬送に使用する機器の方式	33
表 4-13 緩衝材搬送に使用する機器の方式	33
表 4-14 地下施設における搬送方式	46
表 4-15 廃棄体積み替え設備	47
表 4-16 緩衝材積み替え設備	47
表 5-1 地上施設ハンドリング工程	76
表 5-2 アクセス施設ハンドリング工程	79
表 5-3 地下施設ハンドリング工程	80
表 6-1 遮へい設計区分	83
表 6-2 汚染区分	83
表 6-3 地上施設の管理区域の設定例	83
表 6-4 工程毎の最大空間線量当量	85
表 6-5 管理区域に必要な設備	88
表 7-1 気象条件から想定される事故事象	89
表 7-2 作業環境条件から想定される事故事象	89
表 7-3 設備条件から想定される事故事象	90

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分では、深部地下の天然の地層と地質環境の条件を考慮に入れて適切に設計された工学的対策からなる多重の障壁（バリア）によって、処分された放射性廃棄物を人間環境から隔離するという多重バリアシステムの考え方方が基本となっており、各国の地層処分概念に取り入れられている。このうち工学的に施された対策（人工の構造物）は人工バリアと呼ばれている。

本報では、地層処分の技術的成立性を明らかにするため、処分場におけるガラス固化体の受け入れから人工バリア定置までの作業の具体的な方法について工学的な検討を実施したものである。まず、これら一連の工程を地上施設、アクセス施設、地下施設の3つに区分し、各施設における作業の内容と手順について検討した。次に、必要となる設備類について検討し各施設の概念を示した。これらの検討をもとに具体的なタイムスケジュールの提示を行った。また、操業段階で想定される事故事象をまとめ、処分場における放射線管理区域の考え方については既存の原子力関連施設を参考に整理を行った。最後に今後検討されるべき課題をまとめた。

2. 処分場の概念と前提条件

2.1 処分施設の基本概念

我が国では図2-1に示すように、放射性廃棄物自体を加工して安定な形態としたガラス固化体、ガラス固化体を格納し封入する堅固な容器（オーバーパック）、地下に埋設する際にオーバーパックと地層の間に充填される緩衝材から構成される人工バリアが検討されている。したがって操業時の処分場には、放射性廃棄物（ガラス固化体）を受け入れてオーバーパックに封入し、緩衝材とともに地下坑道内の所定の位置まで搬送して定置する機能が必要となる。

処分施設の基本概念を図2-2に示す。

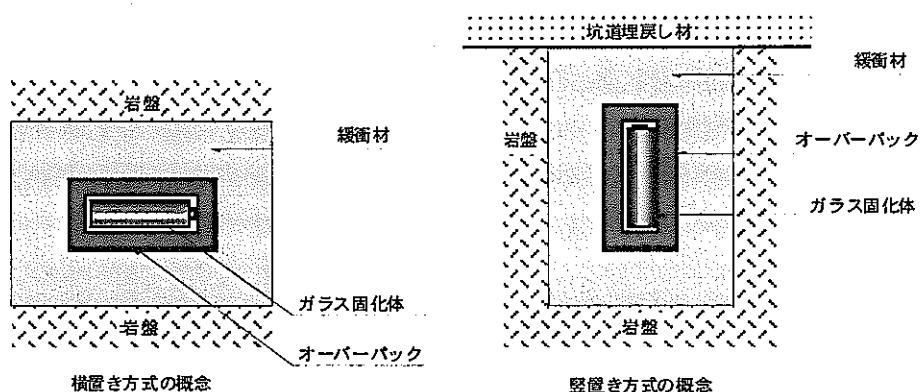


図2-1 人工バリアの概念（動燃事業団、1992）

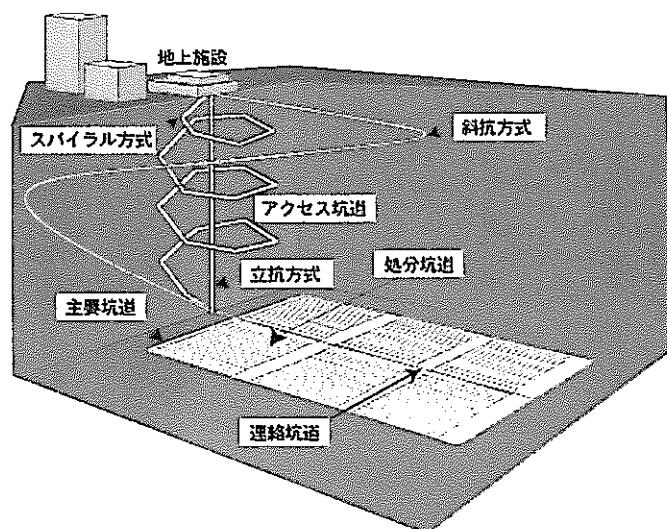


図2-2 処分施設の基本概念

2.2 前提条件

ここでは本報告書において処分場の操業に関する検討を実施するために設定した前提条件について示す。

(1) 人工バリアの位置レイアウト

人工バリアの位置には図 2-3 に示すようにいくつかのレイアウトが検討されている。レイアウトには、人工バリアを処分坑道に直接定置するタイプと処分坑道から処分孔を一定間隔で掘削しそこに定置するタイプとがあり、それぞれに縦置きと横置きのバリエーションが考えられる。ここでは、図 2-3 に示された 4 つのタイプのうち処分坑道横置き方式と処分孔縦置き方式の 2 ケースを取り上げた。

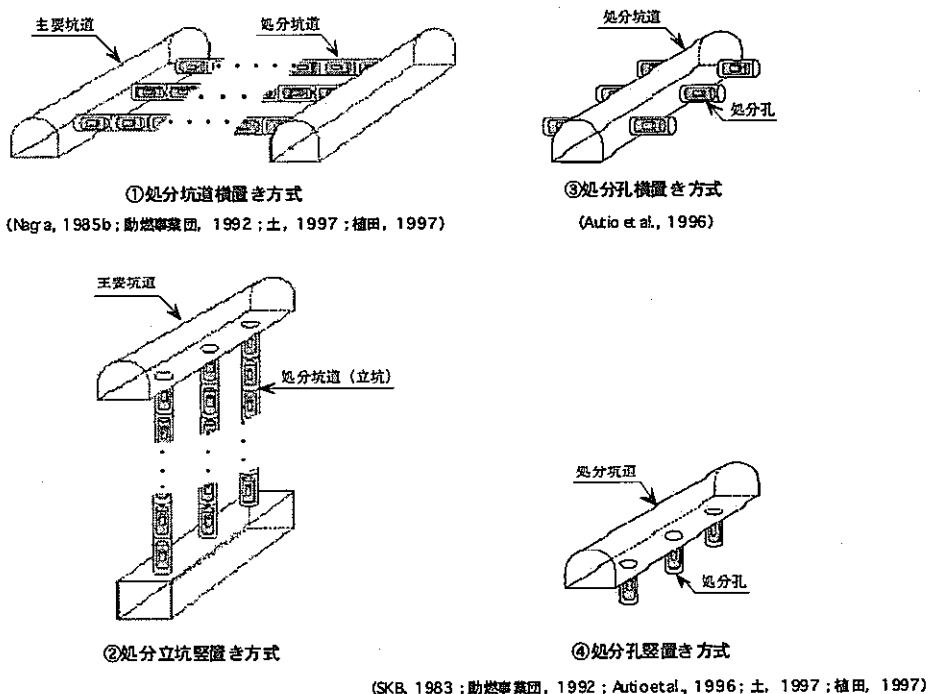


図 2-3 人工バリア定置レイアウトのバリエーション

(2) 処分場の規模・ガラス固化体総処分量、一日あたりの処分本数

処分場の規模を決定する要素の一つであるガラス固化体総処分本数は、総合エネルギー調査会原子力部会の報告（総合エネルギー調査会原子力部会, 1999）に基づき、40,000 本とした。

処分場の操業期間は、全体工程の検討から、処分孔縦置き方式の場合 40 年、坑道横置き方式の場合 50 年を前提としており（棚井ほか 1999），年間の操業日数を 200 日と考え、一日あたりの処分本数は処分孔縦置き方式には 5 本／日、坑道横置き方式の場合には 4 本／日とする。

(3) ガラス固化体仕様

我が国の原子力発電所から取り出された使用済燃料は、国内および海外の再処理工場（核燃料サイクル開発機構東海再処理工場、日本原燃株式会社再処理工場、仏国核燃料会社 [COGEMA] ラ・アーグ再処理工場、および英國核燃料会社 [BNFL] セラフィールド再処理工場）で再処理され、その時発生する高レベル放射性廃液がガラス固化される（原子力委員会、1998）。ガラス固化体の寸法、重量等の基本仕様、および発熱量や放射能量に影響を与える燃焼条件や再処理条件、固化条件は、前記の各再処理工場によってそれぞれ異なるが、ここでは日本原燃株式会社の再処理工場で製造されるガラス固化体を想定した。中間貯蔵期間は30年とする。表2-1に仕様の概要を、図2-4に形態・寸法を示す。

表2.1 ガラス固化体仕様の概要（日本原燃株式会社、1992）

主な諸元	
再処理工場	JNFL
初期濃縮度	4.5%
燃焼度	45000MWD／MTU
重量	約500kg／本
寸法	外径 約430mm
	高さ 約1340mm
	容器板厚 約6mm
発熱量	約2.3kw／本
材質	固化ガラス ほうけい酸ガラス
	容器 ステンレス鋼

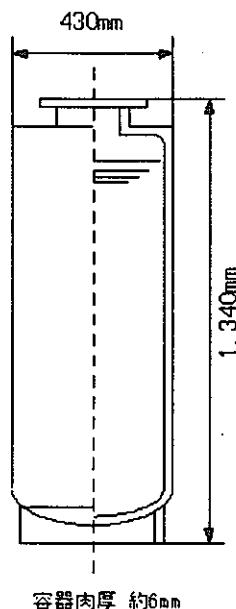


図2-4 ガラス固化体キャニスターの概念

(4) オーバーパック仕様

オーバーパックは炭素鋼とし直径 840mm、高さ 1765mm、板厚 190mm の単純円筒形とする。オーバーパックをハンドリングする際に必要となる吊り部等の構造については暫定的にガラス固化体と同様の形状としてハンドリング方法・設備検討を行う。

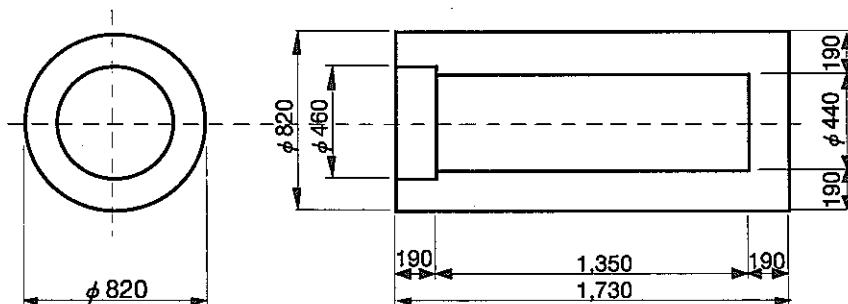


図 2-5 オーバーパック仕様（本間ほか, 1999）

(5) 緩衝材定置方式

緩衝材の定置には、材料を圧縮成型しブロック状にしたもの地下へ搬送し積み重ねるブロック定置方式、材料を地下で直接充填し締め固める現地締め固め方式、CIP (Cold Isostatic Pressing) により地上で一体成型した緩衝材を地下へ搬送し定置する一体型方式などの手法が検討されている（千々松ほか, 1999；電力中央研究所・電気事業連合会, 1999）。本検討では、ブロック定置方式を第 1 に検討を行い、その他現場締固め方式についても検討を行う。

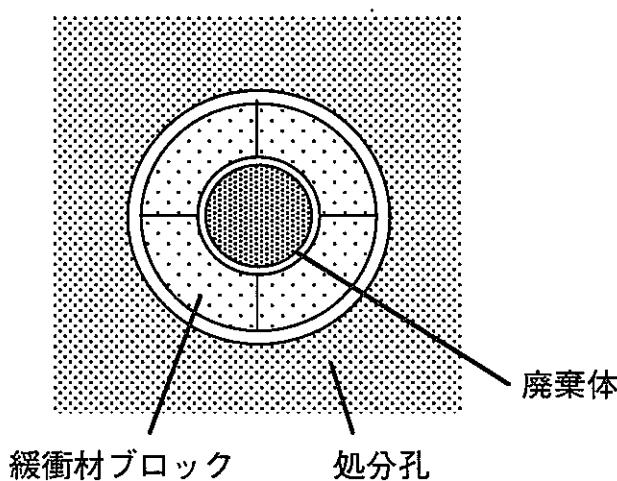


図 2-6 緩衝材ブロック定置方式の概念

(6) 緩衝材仕様

緩衝材は厚さ 700mm のブロック状とし、材質はクニゲル V 1 / ケイ砂混合体（混合比 70 / 30）とし乾燥密度 1.6Mg/m^3 （充填後状態）とした。

(7) 地下へのアクセス方式

物品の搬送を地下へ垂直に掘削した坑道を用いる立坑方式と、傾斜を持った坑道を用いる斜坑方式のそれぞれについて検討を行う。

(8) 処分深度

硬岩系岩盤（結晶質岩）：1000m, 軟岩系岩盤（堆積岩）：500m とする。

(9) 坑道断面形状

アクセス施設および地下施設の設備・機器の検討は、以下に示す坑道断面形状を基に行い、詳細な検討結果が出た後あらためて比較、検討を行う。各坑道の基本形状を図 2-7 に示す。

① 立坑

円筒形： $\phi 6500 \text{ mm}$ （結晶質岩、堆積岩とも）

② 連絡坑道・主要坑道（斜坑を含む）

硬岩系岩盤：幌型 高さ 5000 mm × 幅 5000 mm, 上部 R 2500 mm

軟岩系岩盤：上部 R 2500 mm, 側壁 R 5000 mm, 下部 R 4500 mm

③ 処分坑道（坑道横置き定置）・処分孔（処分孔豎置き定置）

円筒形： $\phi 2220 \text{ mm}$

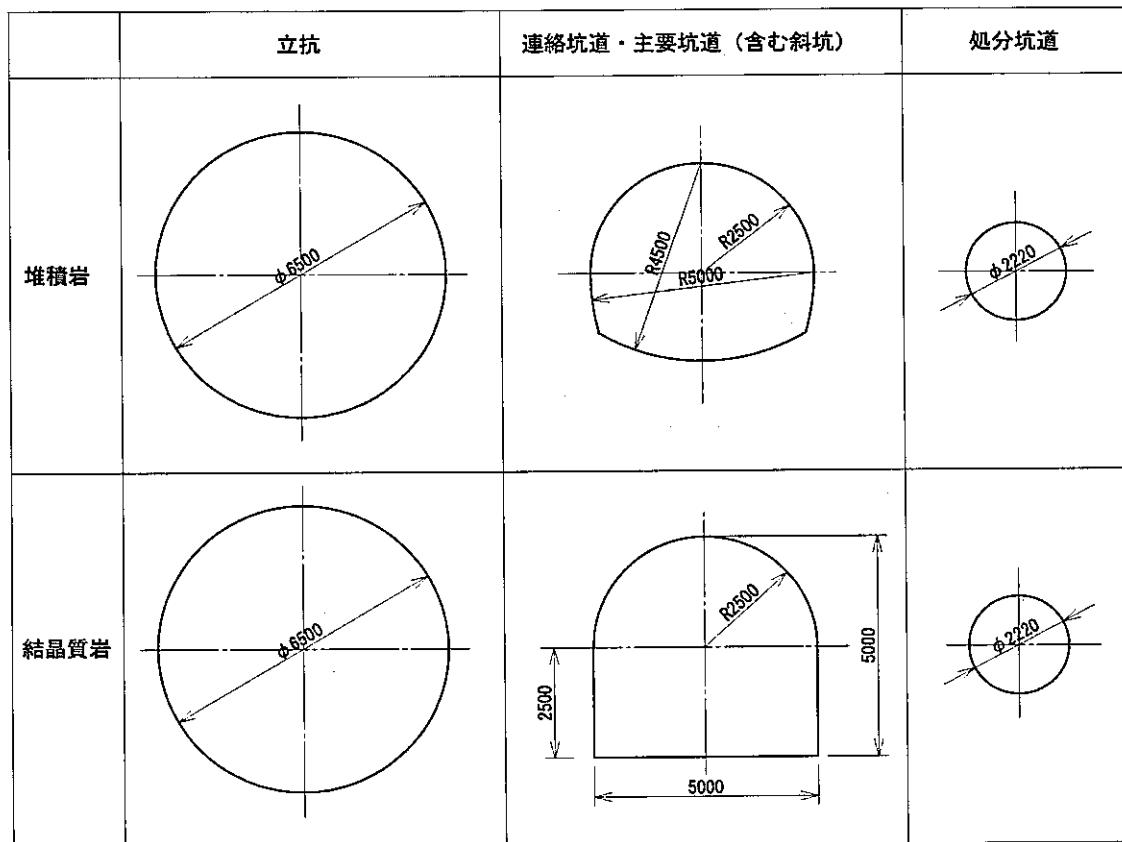


図 2-7 検討に用いる坑道断面形状

3. 作業内容および手順

廃棄体は図3-1に示すように地上施設からアクセス施設を経て最終的に地下施設へと搬送され定置、処分される。ここでは作業内容の検討とその手順について、地上施設、アクセス施設、地下施設の順に検討した。

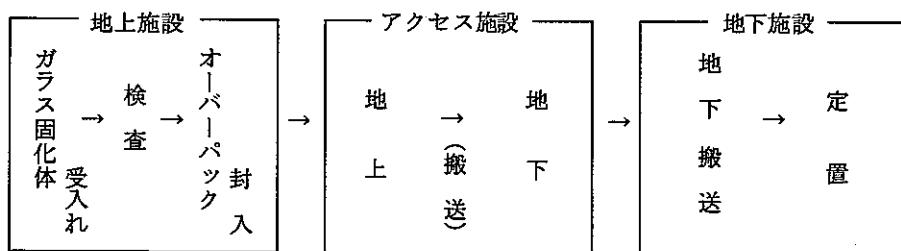


図3-1 廃棄体の搬送経路（岡本ほか, 1992）

3.1 地上施設での作業

地上施設にはオーバーパック封入施設をはじめ、緩衝材の製作施設（千々松ほか, 1999）や処分場の建設および閉鎖に関わる施設（棚井ほか, 1999；杉田ほか, 1999）等が必要と考えられるが、ここではオーバーパック封入施設についてその作業内容をまとめる。

オーバーパック封入施設では、ガラス固化体を収納したキャスク（輸送容器）を受け入れてガラス固化体をキャスクから抜き出し、オーバーパックに封入して廃棄体として搬出する作業が行われる。また、ガラス固化体やそれを収容するキャスク、廃棄体に対して適切な検査を実施し、受入れ時や地下施設への搬出前にそれらの健全性を確認しておくことが必要である。したがって、オーバーパック封入施設の主要な機能は、キャスクの受け入れ／検査、ガラス固化体の抜き出し／検査／オーバーパックへの封入、廃棄体の検査／搬出となる。図3-2にオーバーパック封入施設における基本的な作業手順を示す。

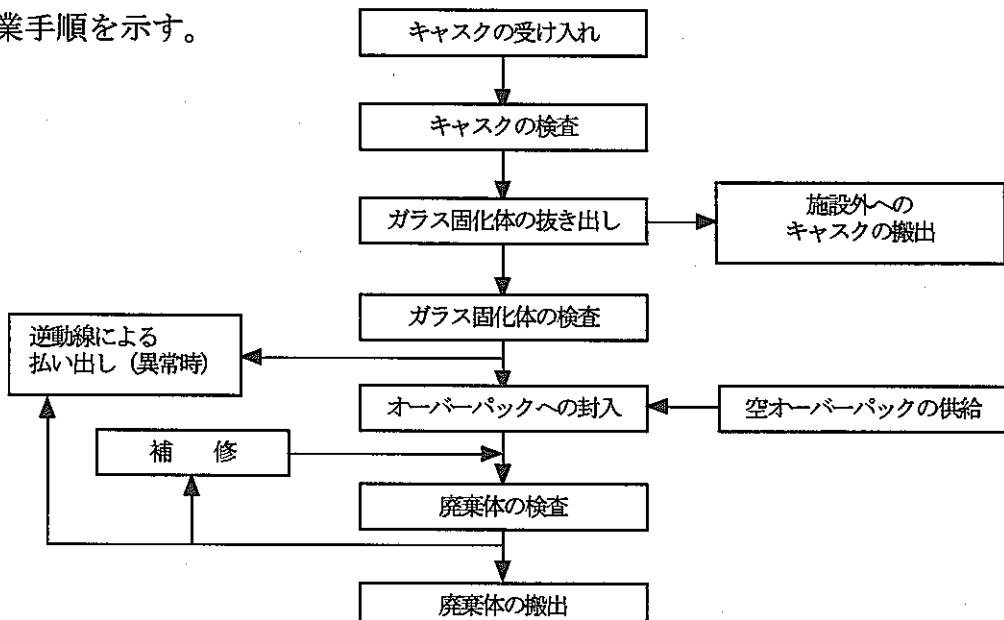


図3-2 オーバーパック封入施設における基本的な作業手順

3.1.1 オーバーパック封入施設での作業フロー

図 3-2 の各工程における具体的な作業について以下にまとめます。

(1) キャスクの受入れ・検査工程

図 3-3 に本工程における作業のブロックフローを示す。ガラス固化体を封入したキャスクはトレーラにより横向きの状態で施設に搬入されると考えられる。まず荷降ろし前に受け入れ検査として標識と外観的な異常の有無を目視確認する。この際他のキャスクがガラス固化体抜き出し作業中の場合は一時保管する。

次に輸送時の衝撃吸収のためのカバーを取り外し、ガラス固化体の抜き出しに備え、キャスクを縦向きに起こす。キャスクの蓋の取り外しは、ガラス固化体が暴露するため別室に搬送して行う。搬送後、キャスクの蓋を取り外す前に内部のガス検査を実施する。この検査は、輸送時のガラス固化体損傷によるキャスク内部の汚染を蓋を取り外す前に検知し、施設の汚染防止を図るために必要な作業である。キャスクの蓋を取り外していないため、ここまで作業は全て作業員による直接作業が可能である。

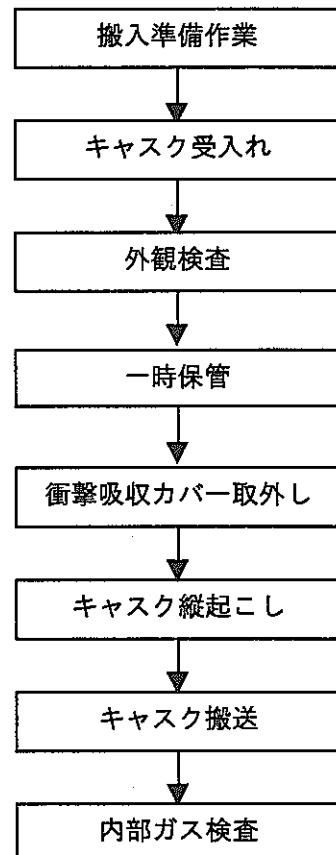


図 3-3 キャスク受入れ工程

(2) ガラス固化体抜出し工程

キャスクの受入れと内部ガス検査の終了後、キャスクからガラス固化体を抜き出す。まず別室に搬送されたキャスクの蓋を取り外す。その後専用クレーンにより固化体をキャスクから抜き出す。ガラス固化体はそのまま専用クレーンにてガラス固化体検査室に搬送され仮置きされる。固化体が抜き出されたキャスクは再び蓋を取り付け施設外に搬出される。

キャスクの蓋ボルトを取り外す工程までは作業員による直接作業が可能であるが、蓋の取り外し後はガラス固化体が直接暴露するため、蓋の着脱とガラス固化体の抜き出しは遠隔作業で行う必要があると考えられる。

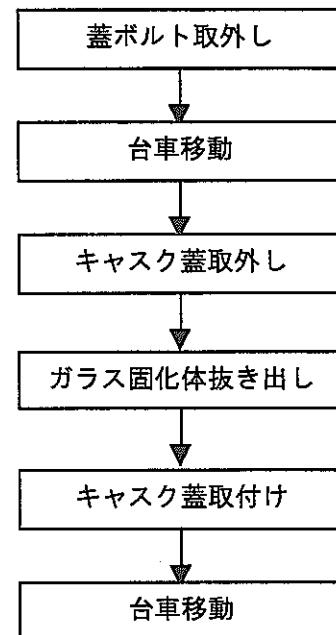


図 3-4 ガラス固化体抜き出し工程

(3) キャスク搬出工程

ガラス固化体を抜き出した後のキャスクは内部の汚染検査を実施し、汚染の無いことを確認した後蓋を取り付け固化体抜き出し施設外部の搬出エリアへ搬送される。搬出エリアにて再び横倒しにした後、搬入時と同様キャスク保護のための衝撃吸収カバーを取り付け、搬出検査を実施した後施設内より搬出する。搬出検査としては表面汚染密度検査、放射能量測定、外観検査等が考えられる。

キャスクの蓋取り付けまでの作業は内部の汚染の可能性があることから遠隔作業となる。蓋の再取り付け後は作業者による直接作業が可能である。

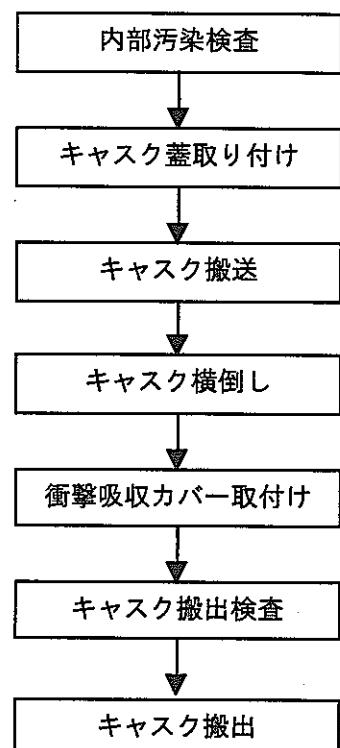


図 3-5 キャスク搬出工程

(4) ガラス固化体検査工程

キャスクから取り出されたガラス固化体に対し異常の有無を確認するため検査を実施する。検査項目としては、標識確認、外観検査、発熱量測定、寸法・重量測定、放射能濃度測定、閉じこめ検査などが考えられる。検査に合格したガラス固化体はオーバーパック封入検査室へ搬送されるが、不合格となったガラス固化体の処置としては、施設内で補修する他に逆運動線により別施設へ搬送し補修する方法が考えられる。本検討では逆運動線により別施設で補修するものとする。

ガラス固化体を直接ハンドリングする工程のためすべての作業は遠隔作業となる。各検査装置間の移動には専用クレーンを使用する。

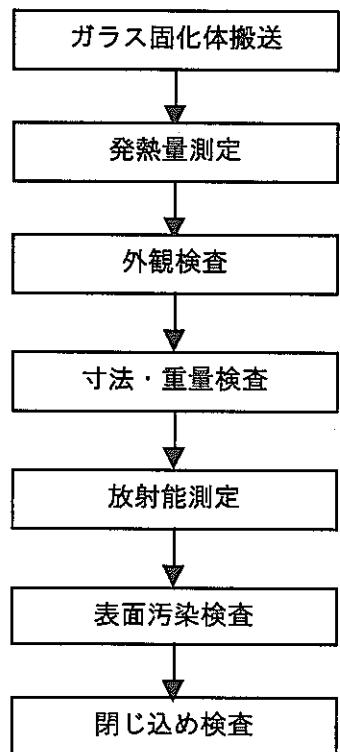


図 3-6 ガラス固化体検査工程

(5) 空オーバーパック供給工程

ガラス固化体抜き出し工程と並行してガラス固化体を封入するためのオーバーパックを施設外より搬入する。施設外より空のオーバーパックを搬入し、搬送時の養生を取り外す。その後仮置きエリアへ搬送しガラス固化体挿入の準備のため仮置きする。空のオーバーパックは放射性物質ではないためこれらの工程はすべて作業要員による直接作業が可能である。

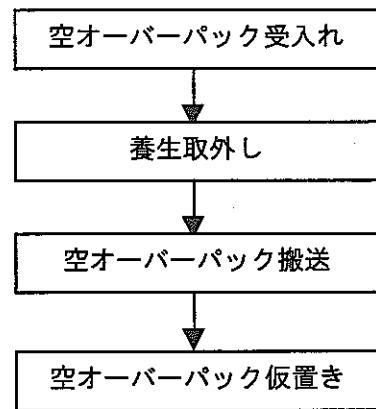


図 3-7 オーバーパック供給工程

(6) オーバーパック封入工程

空のオーバーパックを封入検査室に搬送する。検査に合格したガラス固化体が専用クレーンにて空のオーバーパックに挿入される。その後溶接によりオーバーパックの蓋が取り付けられる。

ガラス固化体の封入が終了したオーバーパックを「廃棄体」とする。

ガラス固化体を直接ハンドリングする工程を含むため本工程の作業は遠隔操作となる。

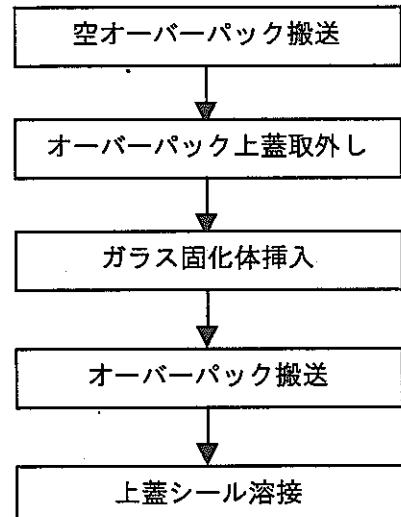


図 3-8 オーバーパック封入工程

(7) 廃棄体検査工程

ガラス固化体の封入されたオーバーパックは、廃棄体として搬出されるための検査が行われる。検査項目としては外観検査、溶接部検査、表面汚染検査、放射線量測定漏れ試験等が考えられる。溶接部の検査には一般に放射線透過試験、超音波探傷試験、浸透探傷試験などが行われるが、廃棄体は表面における放射線の線量当量率が高いため放射線透過試験の実施は困難であり、超音波探傷試験が適当であると思われる。

検査に合格した廃棄体は、地下施設への搬送のためアクセス施設へ搬送される。一方、異常が確認された廃棄体は補修、再検査を行う。廃棄体は表面線量当量率が高いため補修は遠隔作業となる。

考えられる補修作業としては溶接部の欠陥が検出された場合による補修溶接と、落下等により変形した場合の変形部の修正、削除である。オーバーパックの再使用が不可能と判断される場合はガラス固化体を抜き出して廃棄する。ガラス固化体を抜き出したオーバーパックは二次廃棄物として施設外へ搬出される。オーバーパック本体は基本的に放射性物質の汚染は無く、また放射化も軽微であることが想定されるため、低レベルあるいはごく低レベル放射性廃棄物としての取り扱いが可能と考えられる。

(8) 廃棄体出荷工程

ガラス固化体が封入され各種検査の終了した廃棄体はクレーンによりアクセス施設へ搬出される。搬出の際にはキャスクカー（廃棄体搬送用台車）に搭載してハンドリングを行うものとする。

廃棄体は表面線量当量が高いため搭載作業は遠隔操作となる。

キャスクカーへの廃棄体の搭載方法はアクセス方式及び地下での定置方法、定置機器との取り合いによりいくつか異なる方式が考えられるが、ここでは立坑方式によるアクセスでは基本的に廃棄体を縦向きに、斜坑方式では横向きと仮定する。詳細については後述する。

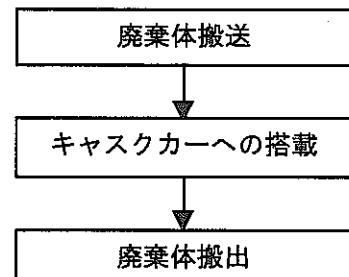


図 3-9 廃棄体搬出工程

以上のオーバーパック封入施設における廃棄体のハンドリングに関わる一連の作業フローを図 3-10 に示す。

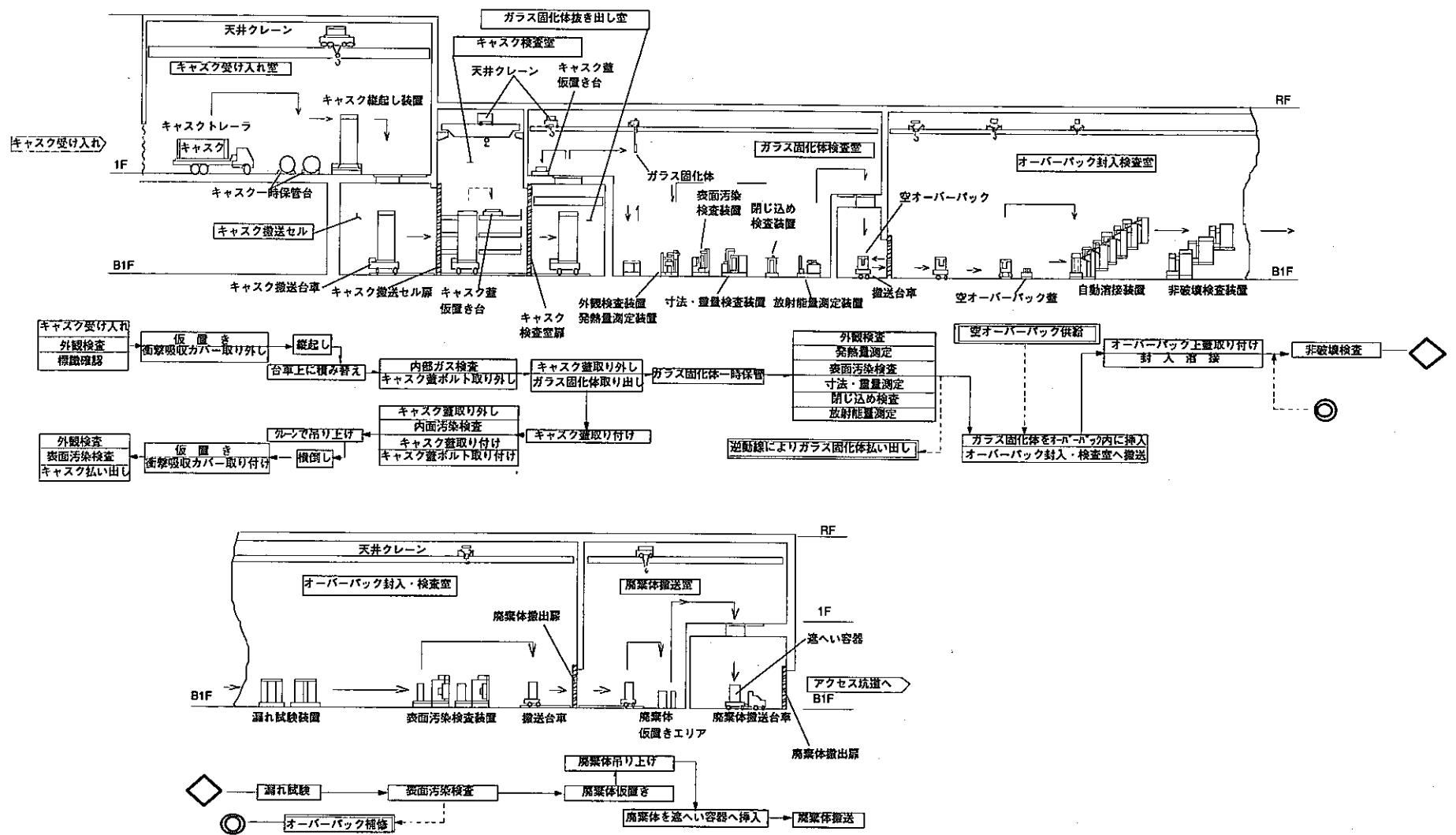


図 3-10 オーバーパック封入施設における廃棄体ハンドリング概念

3.2 アクセス施設での作業

アクセス施設における主要な作業は、地上の各施設から出荷されてくる廃棄体および緩衝材の地下施設までの搬送である。地下数百m以深への搬送であることから、落下事故などの防止対策や機器の保守点検性について留意する必要がある。図3-11にアクセス施設における基本的な作業手順を示す。

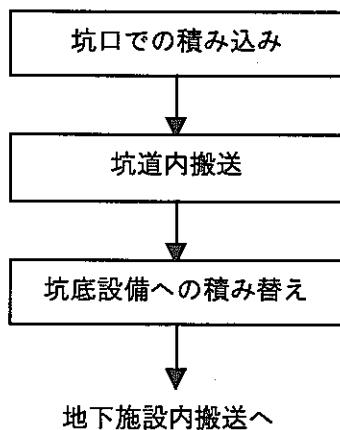


図3-11 アクセス施設における基本的な作業手順

3.2.1 アクセス施設での作業フロー

アクセス施設での作業は、まずアクセス坑道の坑口にて廃棄体および緩衝材を搬送設備に積み込み、地上施設から地下施設まで搬送する。地下施設までのアクセス方式としては一般に地上から地下施設まで垂直に接続する坑道を用いる立坑方式（主にエレベータ搬送）、らせん状または直線状等の坑道で徐々に深度を下げていく斜坑方式（主に車両搬送）の2つが考えられる。

(1) 坑口での搬送台車積み込み工程

地上施設から搬送された廃棄体、緩衝材を坑口にて搬送設備に積み込む。

(2) 坑道内搬送工程

廃棄体、緩衝材を地下施設まで搬送する。

(3) 坑底施設への搬出工程

地下施設に到着した廃棄体、緩衝材を坑底設備へ搬出する。

図3-12にアクセス施設におけるハンドリングの概念を立坑エレベータ方式を一例として示す。

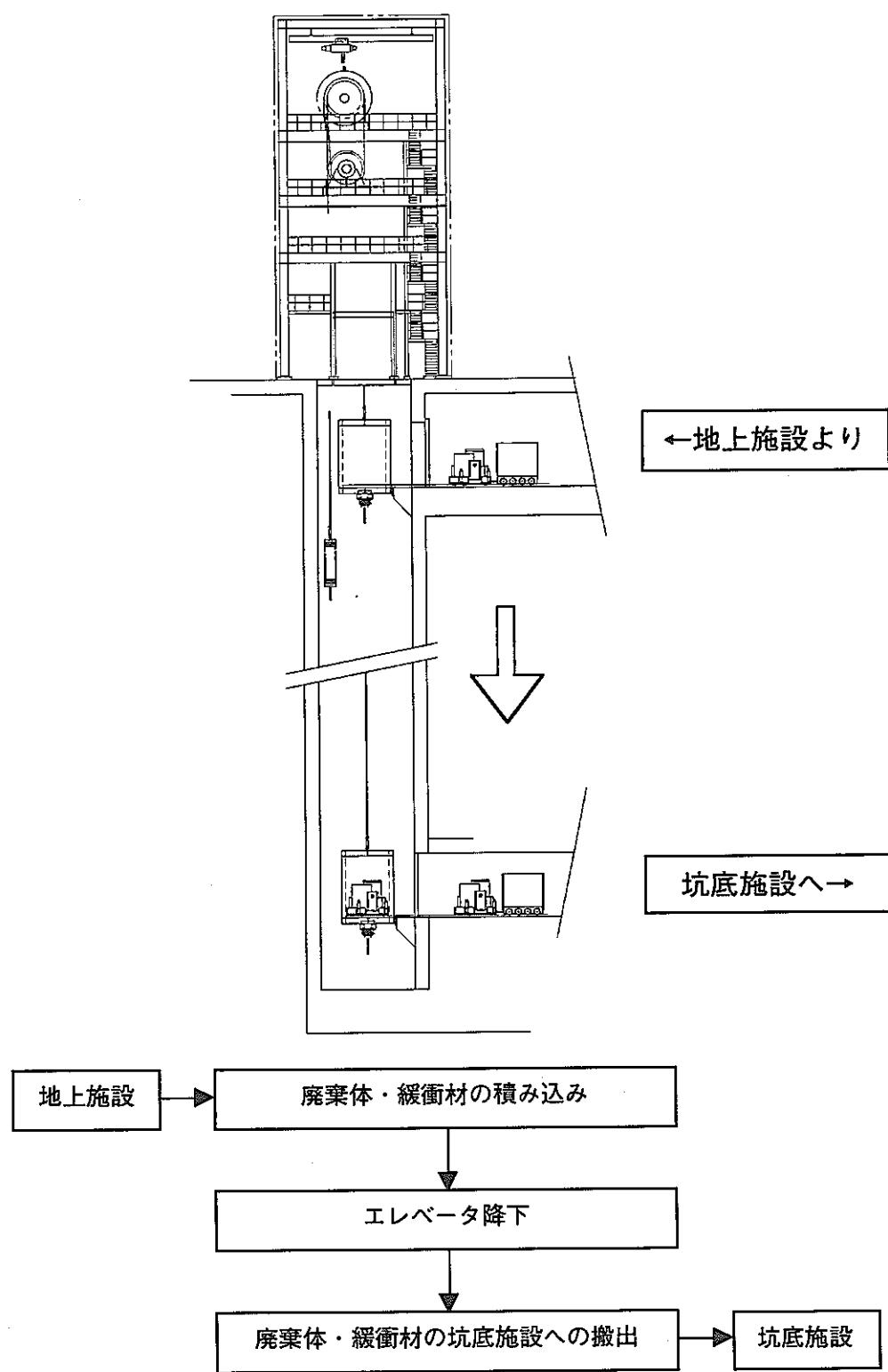


図 3-12 アクセス施設における廃棄体ハンドリング概念
(立坑エレベータ搬送の例)

3.3 地下施設での作業

地下施設における主要な作業は、アクセス施設を通って搬送されてきた廃棄体および緩衝材の定置装置への積み替え工程以降の定置位置までの搬送と定置である。

アクセス施設から定置施設への廃棄体の積み替えの手順はアクセス方式及び定置方式によって異なる。

定置は、緩衝材や埋め戻し材の膨出防止のため処分坑道の始端部にプラグが設置された状態で行われる。プラグは、当該坑道の全ての定置作業（処分孔豎置き定置の場合には埋め戻しまで）が終了した時点でその終端部にも設置される。廃棄体のような重量物を狭い処分孔道内で取扱う極めて制約の大きい作業となることから、作業の確実性やトラブル発生時の対応について特に留意が必要となる。作業手順は廃棄体の定置方式（処分坑道横置き定置方式、処分坑道豎置き定置方式）と緩衝材の施工方式（ブロック施工方式、現場締固め方式）によって異なる。緩衝材にベントナイトブロックを用いた場合を例に、地下施設における基本的な作業手順を図 3-13 に示す。

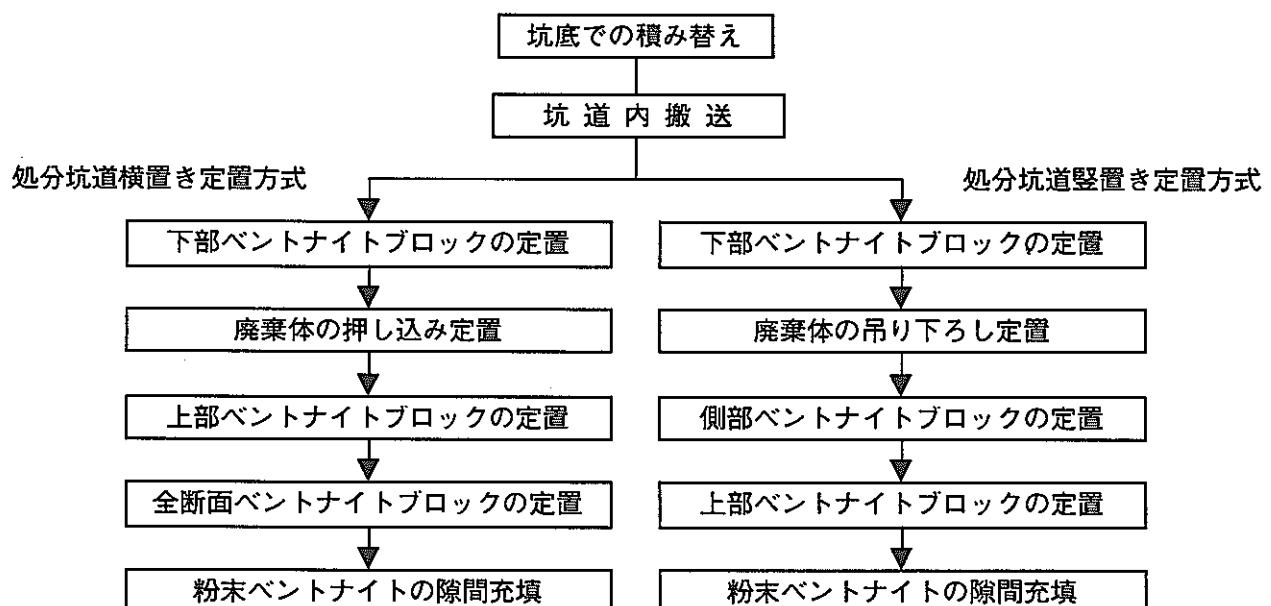


図 3-13 地下施設における基本的な作業手順

3.3.1 地下施設での作業フロー

(1) 坑底設備における廃棄体、緩衝材の積み替え作業

坑底設備ではアクセス設備からの廃棄体、緩衝材の受入れと定置設備への積み替えを行う。具体的な積み替え作業はアクセス方式及び定置方式によって異なるが、これについては後述する。

図 3-14 に積み替えの作業フローを、図 3-15 にハンドリングの概念を示す。

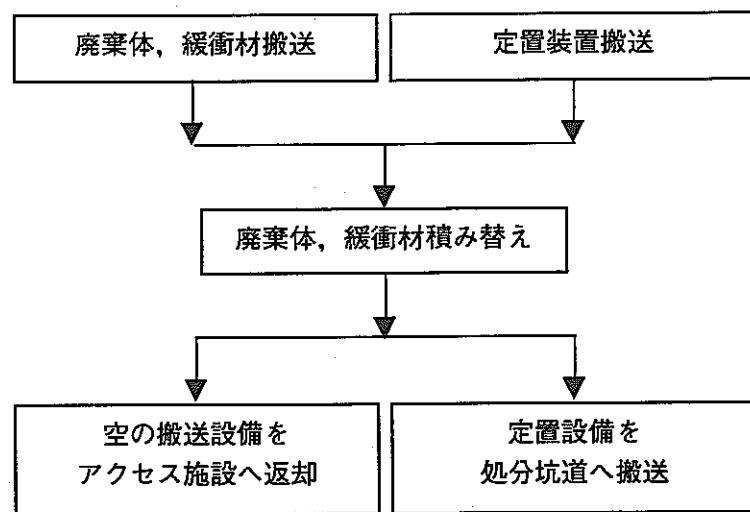


図 3-14 積み替え設備作業フロー

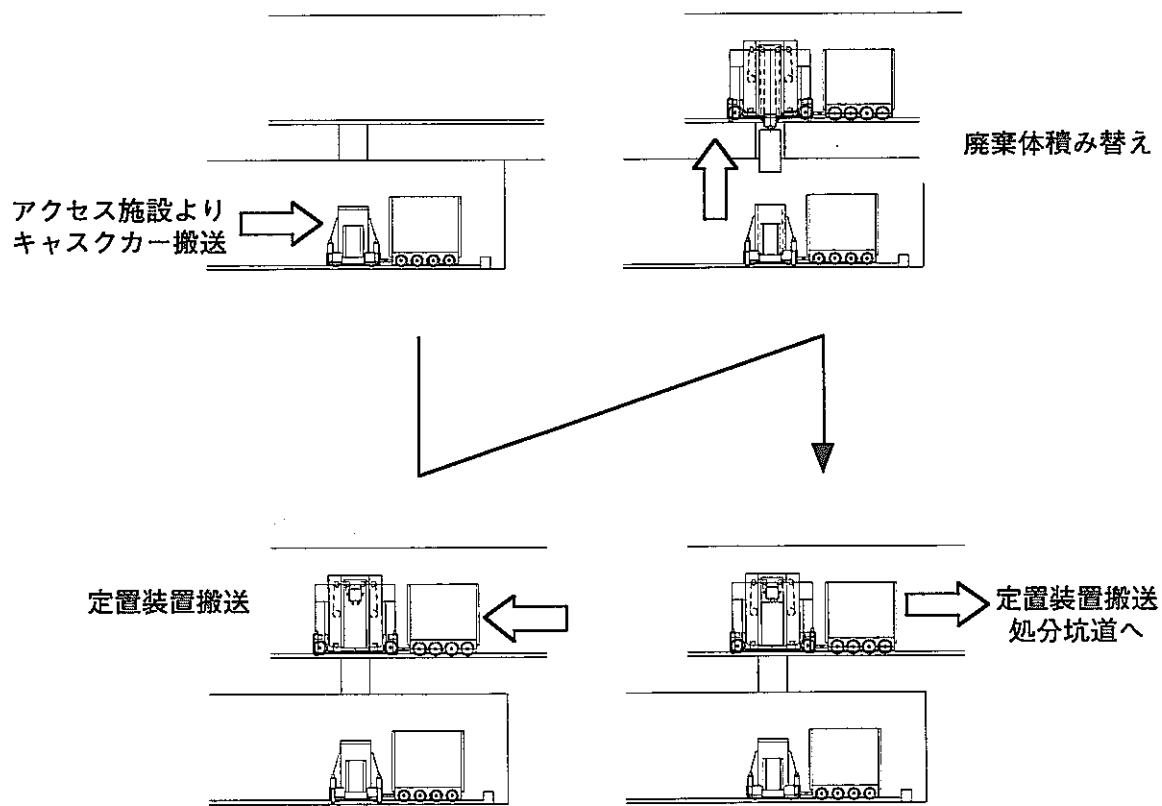


図 3-15 積み替え設備ハンドリング概念

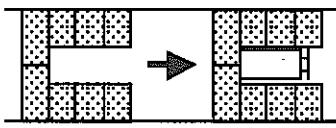
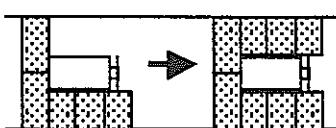
(2) 坑道内搬送及び定置作業

坑底での積み替え完了後、廃棄体、緩衝材は定置位置まで搬送される。搬送された廃棄体、緩衝材は処分坑道においてともに定置される。ここでは緩衝材は廃棄体の下部、側部、上部用に分割されたブロック状のものを用いるものとする。

①坑道横置き定置方式

表3-1に示すように上部緩衝材の定置順序により2つの作業順序が考えられるが、廃棄体定置の前に上部緩衝材を定置すると廃棄体定置時に廃棄体と緩衝材が干渉する可能性があるため、定置の確実性を考慮すると上部緩衝材を廃棄体定置の後に定置する方法が望ましい。

表3-1 坑道横置き定置方式の作業手順

作業手順	手順概念	ハンドリング上の考慮点
上部緩衝材を廃棄体定置前に定置する場合		緩衝材定置位置誤差により、廃棄体と緩衝材が干渉し、廃棄体の定置が困難になる可能性あり
上部緩衝材を廃棄体定置後に定置する場合		上部緩衝材を定置する際のハンドリング精度を要求される。

処分坑道横置き定置方式の場合、廃棄体を定置する処分坑道が径2.2mの狭い空間であるため、定置作業に関わる設備の動作スペースに余裕が少なく、またレールなどの附帯設備の設置も、施工後の撤去の問題を含めて極めて困難となる。したがって定置作業は、坑道壁面をガイドとして車輪により自走する設備により、緩衝材や廃棄体を坑道軸方向に押し込むように定置する方法とする。廃棄体・緩衝材の定置終了後、それらの隙間を隙間充填材にて充填する。処分坑道横置き定置の作業概念を図3-16に示す。

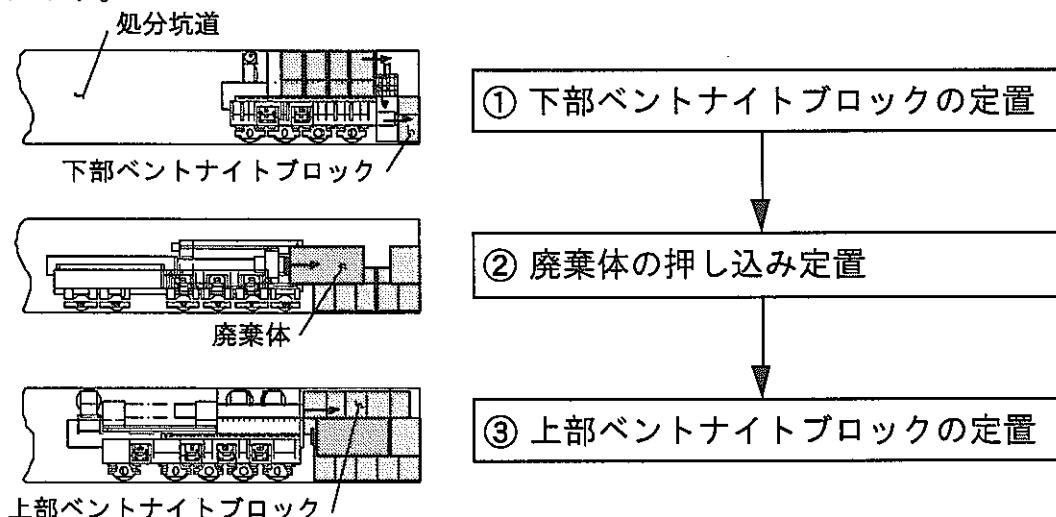


図3-16 坑道横置き定置方式の作業概念

②処分孔堅置き定置方式

処分坑道堅置き定置では表3-2に示すように横置き定置と同様に側部緩衝材の定置順序により2つの作業順序が考えられる。どちらを採用するべきかは今後の検討課題である。

表3-2 処分坑堅置き定置方式の作業手順

作業手順	手順概念	ハンドリング上の考慮点
側部緩衝材を廃棄体定置前に定置する場合		廃棄体を定置する際のハンドリング精度が要求される。
側部緩衝材を廃棄体定置後に定置する場合		側部緩衝材を定置する際のハンドリング精度が要求される。

処分孔堅置き定置方式では、処分坑道が比較的大きいため、処分坑道から鉛直下方に掘られた処分孔の直上まで定置装置が直接アクセス可能である。したがって、ベントナイトブロックと廃棄体の定置に関わる設備が、主要・連絡坑道および処分坑道に敷設したレール上を走行して処分孔直上まで直接アクセスし、搭載したベントナイトブロックや廃棄体を処分孔内に吊り降ろす方法とする。廃棄体・緩衝の定置終了後、それらの隙間を隙間充填材にて充填する。処分孔堅置き定置の作業概念を図3-17に示す。

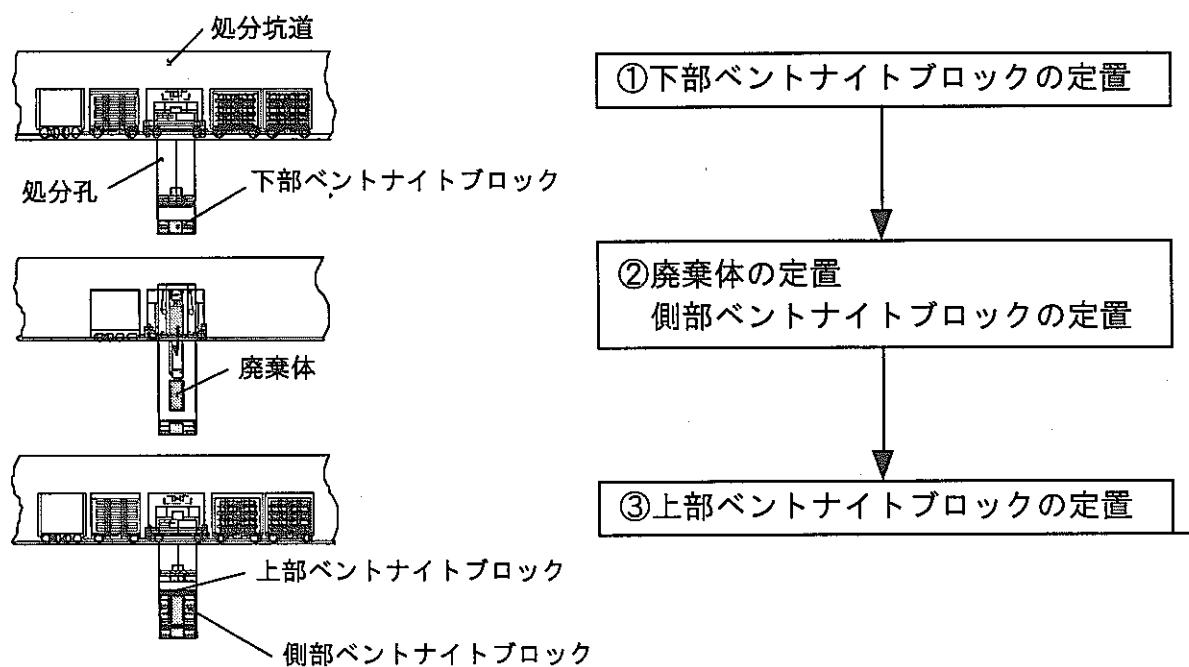


図3-17 処分孔堅置き定置方式の作業概念

3.4 操業の管理

3.4.1 各施設での検査項目

(1) 地上施設（オーバーパック封入施設）

オーバーパック封入施設においてキャスク、ガラス固化体および廃棄体に対し実施が必要と思われる検査項目を表3-3に整理する。

表3-3 オーバーパック封入施設における検査項目の例

対象	検査時期	検査項目
キャスク	ガラス固化体抜き出し前 (気密蓋取外し前)	標識確認、外観検査、内部ガス検査
	ガラス固化体抜き出し後 (施設からの搬出前)	内面汚染検査、表面汚染密度検査、放射能量測定、外観検査
ガラス固化体	オーバーパックへの封入前	標識確認、外観検査、発熱量測定、寸法・重量測定、表面汚染密度検査、放射能濃度測定、閉じ込め検査
オーバーパック	ガラス固化体挿入前 (受け入れ時)	記録確認、外観検査
	ガラス固化体封入後 (施設からの搬出前)	外観検査、溶接部検査、表面汚染検査、放射線量測定

(2) アクセス施設

アクセス施設において必要となる検査項目を表3-4に整理する。

表3-4 アクセス施設における検査項目の例

対象	検査時期	検査項目
廃棄体	受け入れ時	
	搬送前	放射線量測定、表面汚染検査、廃棄体固定状態
緩衝材	受け入れ時	
	搬送前	緩衝材固定状態
	搬送中	温度測定、湿度測定

(3) 地下施設

地下施設において必要となる検査項目を表3-5に整理する。

表3-5 地下施設における検査項目の例

対象	検査時期	検査項目
廃棄体 および 緩衝材	アクセス施設から定置設備 への積み替え時	外観検査
	搬送前	廃棄体および緩衝材の固定状態
	定置前、定置中 および定置後	外観検査、寸法確認、定置状態の確認 隙間充填状態の確認（緩衝材） 密度測定（緩衝材現地締固め方式）

3.4.2 操業の制御と管理方法

高レベル放射性廃棄物を取り扱う処分場の操業においては、地上、アクセス、地下の各施設における作業に遠隔操作を用いることが多くなると考えられる。ここでは各施設の遠隔操作を含む物流管理等の操業の制御・管理方法の概念をまとめるとする。

(1) 地上施設

地上施設に関しては、既存の核燃料サイクル関連施設における操業制御・管理方式を流用することが可能である。

基本的な考え方としては、モニターテレビを使用した中央制御方式により監視する方法とし、直接作業及び非定常作業（保守作業）などはインターロックおよび警報を中央監視室等で監視のもと現場操作が可能な方式を採用することが考えられる。また換気・排気系や冷却水系、電源系などの安全に関わる制御・監視系は、安全のため各システムの多重化等の対策が必要になるとされる。

その他に地上施設においては、アクセス施設や地下施設を含めた総合的な物流、インターロックや警報の情報を監視する必要がある。

(2) アクセス施設

立坑エレベータに関しては、駆動系は地上に集中する。したがって地上施設において運行の制御・監視を実施することが妥当であると考えられる。エレベータケージの動作に関しては、センサ及びモニターカメラ等を設置し運転状況を把握する。

斜坑の搬送装置に関しては、作業員による直接操作と遠隔操作両方が可能であり、直接操作の場合は動作状況は直接把握することが可能であるため、地上でのインターロックおよび警報の情報把握と、物流情報の把握を実施する。

遠隔操作の場合は、上記に加えて、各種センサやモニターカメラによる搬送用台車の動作状況把握が必要となる。

(3) 地下施設

地下施設の制御・管理は、地上での集中制御と地下での中央制御+地上でのインターロックおよび警報監視という2方式が考えられる。地下での作業は基本的に遠隔操作が望ましく、地下施設に常駐する作業員数を最小限に抑えるためには、地上施設での集中制御を採用する必要がある。

地上施設での集中制御は、インターロックおよび警報監視や物流制御に加えて個々の機器の操作指令を地上施設から与えるため、情報伝達経路が長くなる。このため安全上の観点から伝達経路の多重化等の措置が必要になるとされる。

4. 施設および設備の概念

以下では3章の作業内容の検討に基づき、地上施設から地下施設までの一連の人工バリアの定置作業に必要となる施設および設備の概念を検討する。

4.1 地上施設

4.1.1 主要機器の検討

4.1.1.1 オーバーパック封入施設

オーバーパック封入施設において工程別に必要になると考えられる機器を以下の表4-1～表4-8にまとめる。

①キャスク受入れ工程（キャスク受入れ室）

表4-1 キャスク受入れ工程での必要機器

作業項目	作業機器	搬送機器
搬入準備作業	—	—
キャスク受入れ	クレーン	キャスクトレーラ
外観検査	—	—
一時保管台へ搬送	一時保管台	クレーン
衝撃吸収カバー取外し	—	クレーン
キャスク縦起こし	キャスク正立装置	クレーン
台車上へ搬送	台車	クレーン
キャスク搬送	台車	—
内部ガス検査	内部ガス検査装置	—

②ガラス固化体抜き出し工程（ガラス固化体抜き出し室）

表4-2 ガラス固化体抜き出し工程での必要機器

作業項目	作業機器	搬送機器
蓋ボルト取り外し	—	—
台車移動	キャスク搬送台車	—
キャスク蓋取外し	キャスク蓋仮置き台	室内クレーン
ガラス固化体抜き出し	一時仮置きラック	室内クレーン
キャスク蓋取付け	—	室内クレーン
台車移動	キャスク搬送台車	—

③キャスク搬出工程（キャスク検査室）

表 4-3 キャスク搬出工程での必要機器

作業項目	作業機器	搬送機器
内部汚染検査	内部汚染検査装置	室内クレーン
キャスク蓋取り付け	—	室内クレーン
キャスク搬送	キャスク搬送台車	クレーン
キャスク横倒し	縦起し治具	クレーン
衝撃吸収カバー取付け	—	クレーン
キャスク搬出検査	搬出検査装置	クレーン
キャスク搬出	キャスクトレーラ	—

④ガラス固化体検査工程（ガラス固化体検査室）

表 4-4 ガラス固化体検査工程での必要機器

作業項目	作業機器	搬送機器
ガラス固化体搬送	—	室内クレーン
発熱量測定	発熱量測定装置	—
外観検査	外観検査装置	—
寸法・重量検査	寸法・重量検査装置	—
放射線量測定	放射線量測定装置	—
表面汚染検査	表面汚染検査装置	—
閉じ込め検査	閉じ込め検査装置	—
閉じ込め検査（分析）	閉じ込め検査装置 (分析)	—

⑤オーバーパック供給工程（オーバーパック保管室）

表 4-5 オーバーパック供給工程での必要機器

作業項目	作業機器	搬送機器
空オーバーパック受入れ	—	クレーン
養生取外し	—	—
空オーバーパック搬送	空オーバーパック搬送台車	クレーン
空オーバーパック仮置き	—	クレーン

⑥オーバーパック封入工程（オーバーパック搬送室、収納検査室）

表 4-6 オーバーパック封入工程での必要機器

作業項目	作業機器	搬送機器
空オーバーパック搬送	オーバーパック搬送台車	クレーン
オーバーパック上蓋取外し	—	室内クレーン
ガラス固化体挿入	—	室内クレーン
オーバーパック搬送	オーバーパック搬送台車	室内クレーン
上蓋シール溶接（含準備）	溶接機	室内クレーン

⑦廃棄体検査工程（オーバーパック収納検査室）

表 4-7 廃棄体検査工程での必要機器

作業項目	作業機器	搬送機器
廃棄体搬送	オーバーパック搬送台車	—
超音波探傷検査	超音波探傷検査装置	室内クレーン
ヘリウムリーク試験	ヘリウムリーク試験装置	室内クレーン
表面汚染密度検査	表面汚染密度検査装置	室内クレーン
廃棄体搬送	オーバーパック搬送台車	室内クレーン
台車移動	廃棄体搬送台車	—
廃棄体仮置き	—	—

⑧廃棄体搬出工程（廃棄体搬送室）

表 4-8 廃棄体搬出工程での必要機器

作業項目	作業機器	搬送機器
廃棄体搬送	廃棄体搬送台車	—
キャスクカーへの搭載	キャスクカー	室内クレーン
廃棄体搬出	キャスクカー	—

4.1.1.2 ベントナイトブロック製作施設

図 4-1 にベントナイトブロック製作施設の一例を示す。

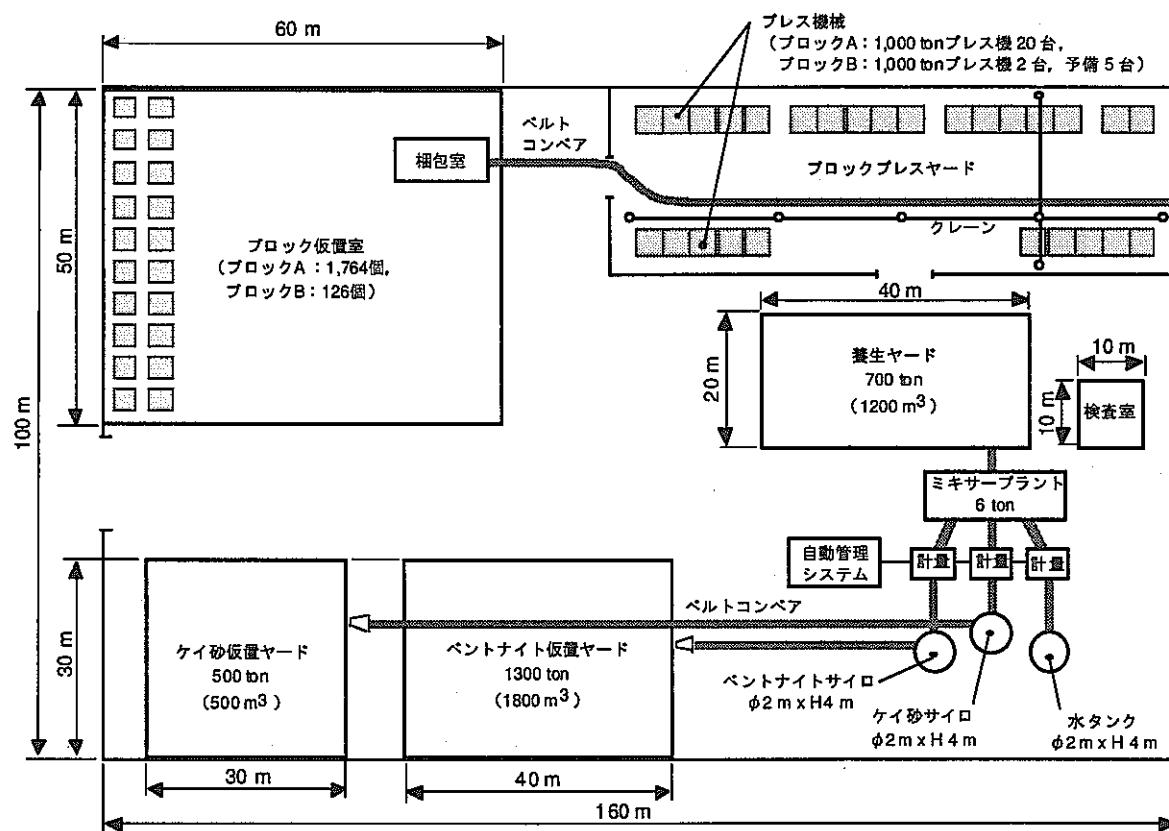
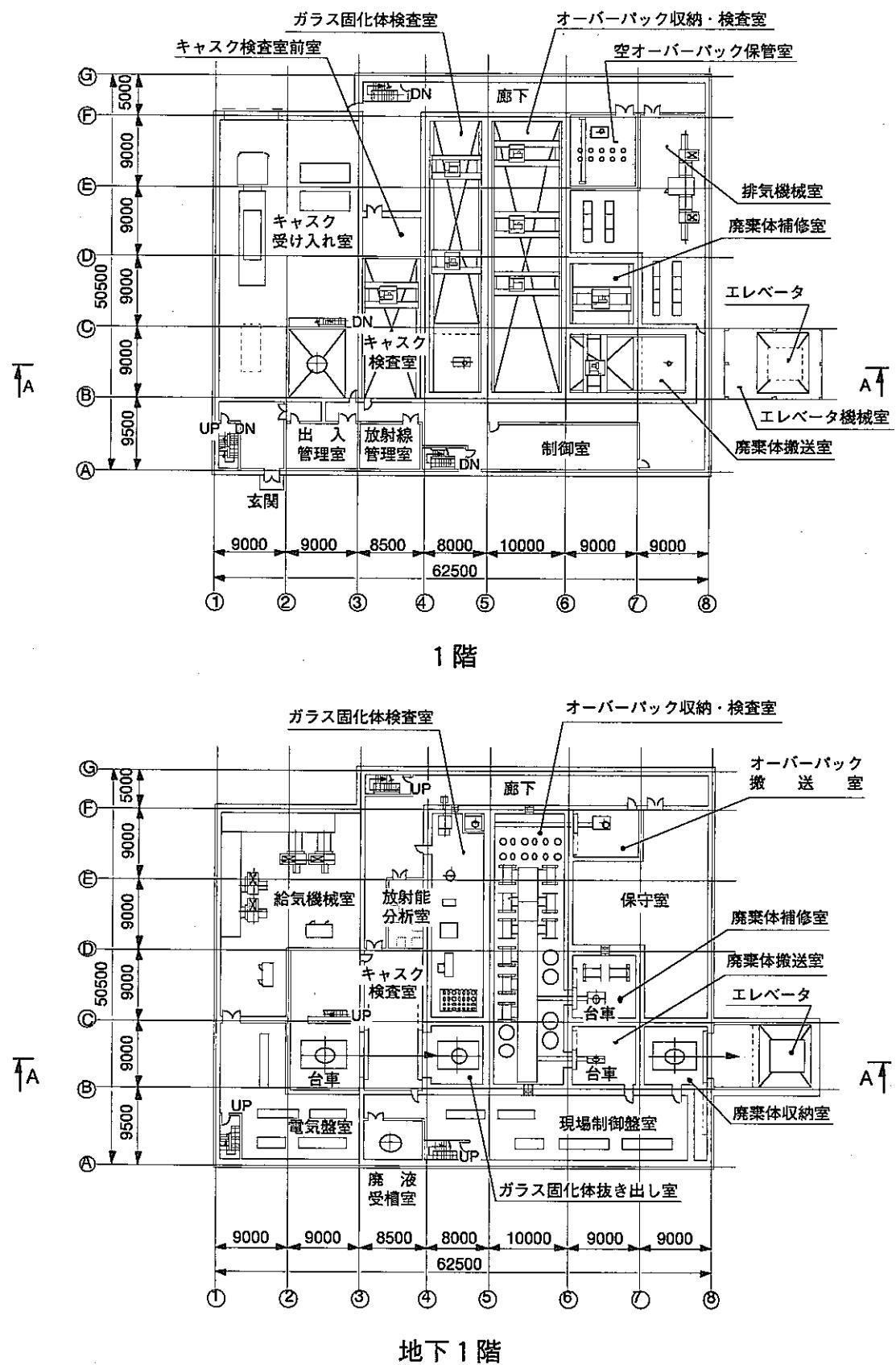


図 4-1 ベントナイトブロック製作施設の例

上図に示す施設は 15 日分の処分に要する材料を貯蔵できるよう試算した結果得られたものである（千々松ほか, 1999）。材料は仮置ヤードからベルトコンベアでサイロに運ばれ、所定量毎にミキサーブラントで練り混ぜが行われる。所定の期間、養生された後、プレス機械を用いベントナイトブロックが製作される。プレス機械も 1 日当たりに処分一日分のブロック数を製作することを考慮して必要台数が決定されている。製作されたブロックは梱包室で梱包された後、地下施設への搬送までの間、本施設内で一時保管される。

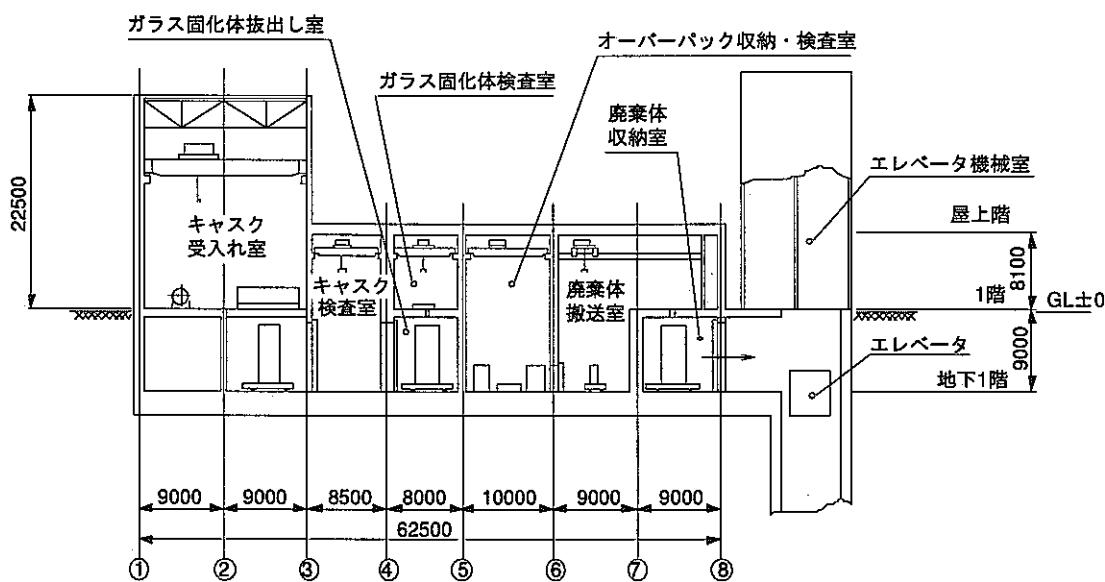
4.1.2 地上施設の配置検討

オーバーパック封入施設には、オーバーパック封入機能の他に、附帯機能として、運転管理、放射線管理、防火・消火、二次廃棄物管理、およびユーティリティー供給が必要となる。これら必要な機能と作業手順を考慮したオーバーパック封入施設内の設備配置の例を図 4-2 に示す。また、処分場の建設・閉鎖に関わる施設、緩衝材製作施設等を含めた地上施設全体のレイアウト例を図 4-3 に示す。

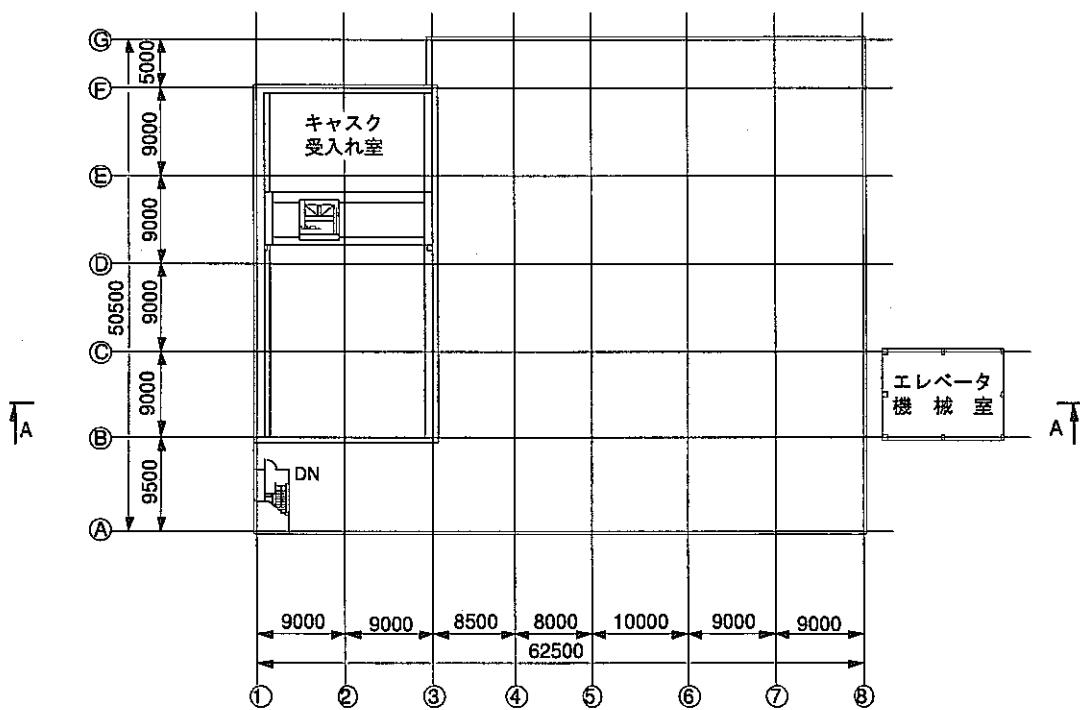


単位: mm

図 4-2 オーバーパック封入施設の設備配置の例 (1/2)



A-A 断面



屋上階

単位: mm

図 4-2 オーバーパック封入施設の設備配置の例 (2/2)

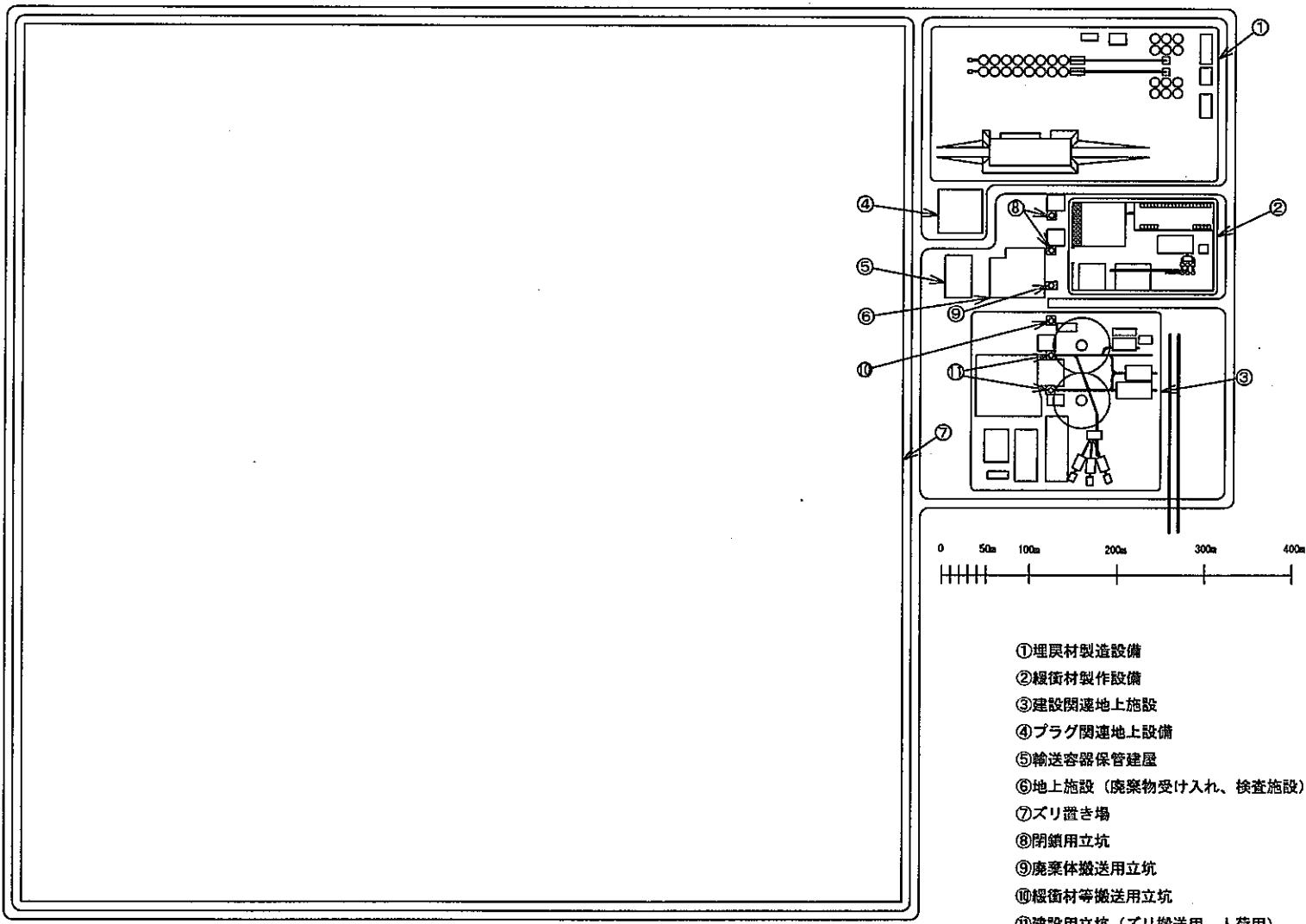


図 4-3 (1/2) 地上施設全体レイアウト (硬岩系岩盤)

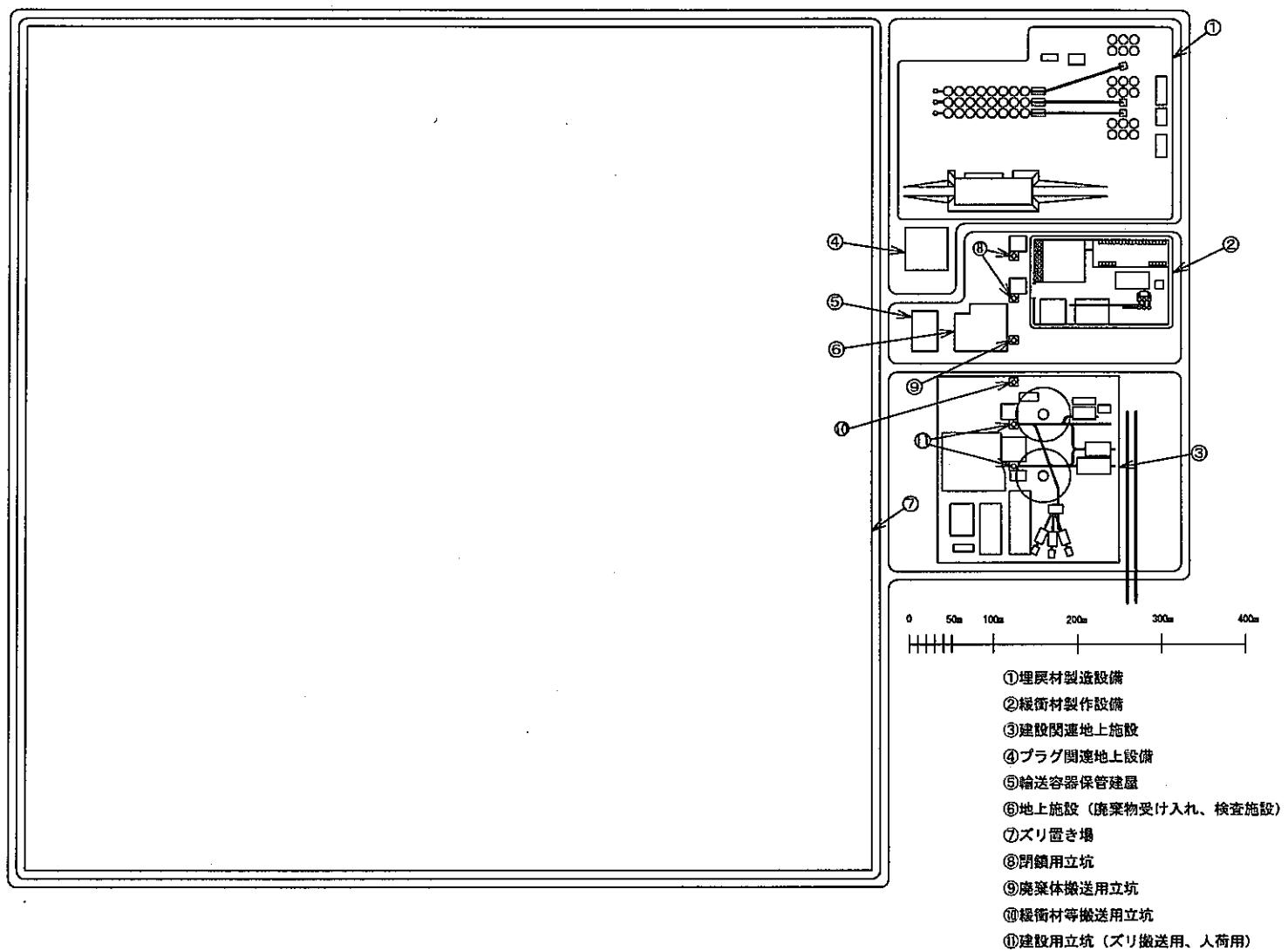


図 4-3 (2/2) 地上施設全体レイアウト (軟岩系岩盤)

4.2 アクセス施設搬送設備

前記の通りアクセス設備の機能としては以下の3つがある。

- ① 地上施設における廃棄体、緩衝材の積み込み
- ② 地上施設から地下施設への廃棄体、緩衝材の搬送
- ③ 地下施設における廃棄体、緩衝材の積み下ろし

②の地下施設までのアクセス方式としては、主に立坑方式および斜坑方式の2つの方式が考えられる。①の積み込み、③の積み下ろしについては、地上施設、地下施設それぞれの設備の取合条件によりその方式が決定する。

ここでは立坑方式と斜坑方式のそれぞれのアクセス方法の比較・検討を行い、地上施設の積み込み・積み下ろしの一連のハンドリング概念の検討と具体的な設備の検討を行う。

4.2.1 アクセス方式の比較検討

4.2.1.1 立坑方式

(1) 地下施設への搬送方式

立坑の垂直搬送での代表的方式はエレベータによる搬送である。現有技術では大深度、大重量の垂直搬送機器はエレベータ方式以外には存在せず、また過去の実績も豊富に有する。ただし今後の技術開発の進捗によってはより高効率な代替技術の採用も有りうる。

(2) 積み込み・積み下ろし方式

地上施設における廃棄体の積込み、地下施設における廃棄体の積み下ろしの方式としては、① 車両に搭載する方式（軌道式、無軌道式（タイヤ式））② パレットに搭載する方式（フォークリフト、コンベヤ）の各方式が考えられる。これらの比較を表4-9に示す。

表 4-9 積み込み・積み下ろし方式の比較（立坑）

	車両による方式		パレットによる方式	
	軌道方式	無軌道方式	フォークリフト	コンベヤ
地下施設	○ 軌道のみ必要	◎ 地下施設不要	△ フォークリフト	✗ コンベヤ
遠隔操作性	◎ 位置決め性良好	○ 位置決め困難	○ 位置決め困難	◎ 位置決め性良好
転倒防止	◎ 低重心化で対応	◎ 低重心化で対応	△ 廃棄体固定	△ 廃棄体固定

積み込みや積み下ろし作業の遠隔化の観点から、本検討では、車両による積み込み・積み下ろし方式を採用し設備概念の検討を行う。また、位置決めの容易さなど車両は軌道式とする。

4.2.1.2 斜坑方式

斜坑方式では立坑法式と異なり垂直搬送機器への積込み・積み下ろしが不要となるため地下施設への搬送方式のみを比較する。方式としては、① 軌道式車両による、② 無軌道式車両による、③ コンベヤ方式、の3方式が考えられる。これらの比較を表4-10に示す。

表4-10 アクセス施設搬送方式の比較（斜坑）

	車両による方式		パレットによる方式
	軌道方式	無軌道方式	コンベヤ方式
アクセス施設	○ 軌道のみ	◎ 設備不要	✗ コンベヤ
地下施設	○ 軌道のみ	◎ 設備不要	✗ コンベヤ
遠隔操作対応性	◎ 良好	○ 方向制御必要	◎ 良好
坑道傾斜への対応	△ 無軌道方式に劣る	○ 軌道方式に勝る	◎ 無軌道方式に勝る
転倒防止	◎ 低重心により対応可	◎ 低重心により対応可	△ 車両方式に劣る

以上から斜坑方式の場合には車両による搬送方式（軌道式、無軌道式）が候補となる。

4.2.1.3 アクセス方式の比較検討まとめ

立坑エレベータ方式は、建設時の坑道掘削距離が最小となるほか、エレベータ搬送であるため搬送に車両を利用する斜坑方式と比べて短時間での搬送が可能となる。一方、斜坑方式は、その勾配が比較的緩やかな場合には安全対策が立坑方式の落下防止対策に比べて容易であるという利点を有する。

斜坑方式には、無軌道式車両を使用する方法と軌道式車両を使用する方法の2つが考えられる。無軌道式車両は方向制御が必要となるが、一般に、軌道式車両と比較して坑道の傾斜を大きくできる。ただし、軌道式でもラック&ピニオン方式¹⁾を採用することで、無軌道式車両以上の坑道傾斜とすることが可能である。

機器の保守作業については、立坑エレベータ方式の場合、ワイヤの点検が必要であ

¹⁾ 山岳鉄道等で一般的に使用される方式で、車両（動力車）に取り付けられた歯車（ピニオン）が歯軌条（ラックレール）に噛み込み走行するもの。

るが、駆動系は地上部に集中するため比較的作業は容易である。斜坑で無軌道式車両を使用する場合は、搬送に関わる附帯設備を坑道内に敷設する必要がないため、機器の保守作業を全て地上で行うことが可能である。一方、斜坑で軌道式車両を使用する場合には、坑道全域に渡り敷設した軌道の点検が必要となる。

以上のアクセス施設における搬送方式の比較をまとめたものを表 4-11 に示す。

表 4-11 アクセス施設における搬送方式の評価

比較項目	立坑	斜坑	
	エレベータ搬送	無軌道式車両搬送	軌道式車両搬送
坑道長さ (坑道傾斜)	最短	軌道式車両以上の傾斜に 対応可能	ラック & ピニオン方式を探 用すれば、無軌道式車両以 上の傾斜に対応も可能
搬送時間	比較的短い	比較的長い	比較的長い
安全対策	十分な落下対策が必要	方向制御とブレーキ機構が 必要	ブレーキ機構が必要
機器の 保守作業	ワイヤの点検が必要であ るが、駆動系は地上に集中 するため比較的容易	坑道内に附帯設備がなく、 地上での作業が可能であ り、比較的容易	坑道全域に渡り敷設した軌 道の点検が必要

斜坑方式においては無軌道式車両を使用する方法と軌道式車両を使用する方法が候補となるが、本検討では坑道内に軌道等の附帯設備を敷設する必要がなく、安全管理上重要な保守作業が容易となる無軌道式車両の搬送設備について検討を行う。

4.2.2 搬送設備の検討

アクセス方式および地下施設での廃棄体定置方式により、廃棄体および緩衝材ブロックの搬送一定置の方式は ①立坑—堅置き、②立坑—横置き、③斜坑—堅置き、④斜坑—横置き、の 4 つの組み合わせが考えられる。

ここでは検討に先立ち、坑口での積み込み、地下施設への搬送、坑底での積み下ろし方式についていくつかの前提条件の設定を行った後、具体的な搬送設備方式を検討する。

(1) 廃棄体搬送の条件設定

①搬送中の姿勢

搬送中の廃棄体の姿勢は坑道形状や搬送設備など制約から、立坑搬送では縦向きに固定、斜坑搬送では横向きに固定するものとする。

②廃棄体の搬送車両への積み込み

廃棄体は地上施設でのハンドリングの容易さを考慮してすべて縦向きで搬送車両に積み込むものとする。積み込みには搬送車両（キャスクカー）の上方よりクレーン

等を用いて積み込むトップローディング方式と、キャスクカー自体に廃棄体積み込み機能を持たせ下方より積み込むボトムローディング方式の2つの方式が考えられる。本検討では構造の簡略化のためにトップローディング方式を採用する。地下での積み替え時には定置機構の機能（吊上げ機構）を用いることで対応する。

斜坑搬送においては廃棄体は前述の通り横向きで搬送する。積み込み時（縦向き）と搬送時の姿勢が異なるので地上施設での廃棄体の横転作業が必要となる。また、立坑一横置定置および斜坑一堅置定置の場合は、搬送時と定置時の廃棄体の姿勢が異なるため、地下への搬送後に廃棄体の横転操作が必要となる。

この横転操作の際に、キャスクカー自身に廃棄体の横転機能を持たせることで、地上施設あるいは坑底施設への横転設備（あるいは横転機）の設置の必要がなくなる。

また、廃棄体の搬送にあたっては放射線管理の観点から、アクセス施設を管理区域に設定する必要がないよう、搬送機器に後述する輸送についての放射線管理基準を満足する遮へい機能を持たせることとする。

(2) 緩衝材ブロック搬送の条件設定

①搬送中の姿勢

緩衝材ブロック搬送中の姿勢は、地下での定置方向との関係を考慮し横置き定置ではブロックを横向き、堅置き定置ではブロックを縦向きにして搬送するものとする。

②緩衝材ブロックの搬送車両への積み替え

坑道横置き定置の場合は、廃棄体定置の場合と同様に横置き定置設備の定置機構を使って引き出す方式とする。

処分孔堅置き定置の場合は、横置きの場合と同様に堅置き定置装置の定置機構を使って積み替える方式とするが、必要な緩衝材ブロックを積み替えるためには、定置装置が縦方向に大きくなり地下坑道の縦方向のスペースが足らなくなるおそれがある。したがってスペース効率および作業効率を考慮しブロック搬送台車と定置装置は独立させ、両者を連結させて処分孔まで搬送するものとした。処分孔に搬送後、緩衝材ブロックは搬送台車より定置装置に平行に送りだされ、吊り下ろし定置される方式とする。緩衝材ブロックのハンドリングにはトレイ状の治具（パレット）を用いるものとし、パレット毎にハンドリングする方式とする。したがってブロックの定置後、空パレットの回収を行う台車も必要となる。

これまでにまとめたアクセス施設における搬送機器の方式をアクセス方式と定置方式別に廃棄体搬送機器は表 4-12 に、緩衝材搬送機器は表 4-13 に示す。

表 4-12 廃棄体搬送に使用する機器の方式

アクセス方式	定置方式	機器の方式	備 考
立坑	横置き	横転機能付きキャスクカー 軌道式車両 縱置き搬送	キャスクカーから定置装置への積み替えは定置装置のハンドリング機能を利用して行う。
	縱置き	キャスクカー 軌道式車両 縱置き搬送	
斜坑	横置き	横転機能付きキャスクカー 無軌道式車両 横置き搬送	
	縱置き	横転機能付きキャスクカー 無軌道式車両 横置き搬送	

表 4-13 緩衝材搬送に使用する機器の方式

アクセス方式	定置方式	機器の方式	備 考
立坑	横置き	緩衝材は横向きで搬送する 軌道式車両	搬送車両から定置装置への積み替えは定置装置のハンドリング機能を利用して行う。
	縱置き	パレット式 緩衝材は縱置きで搬送する 軌道式車両	パレットは定置装置に積み変えず定置装置に連結させ処分孔まで搬送する。
斜坑	横置き	緩衝材は横向きで搬送する 無軌道式車両	搬送車両から定置装置への積み替えは定置装置のハンドリング機能を利用して行う。
	縱置き	パレット式 緩衝材は縱置きで搬送する 無軌道式車両	定置装置と分ける。

4.2.3 主要機器の検討

前述に基づき搬送設備の検討を行う。

(1) 立坑搬送の場合

①立坑エレベータ

立坑エレベータの構造概念を図 4-4 に示す。立坑エレベータについては深度 1,000 m, 運搬荷重約 21 Ton (ガラス固化体約 0.5 Ton + オーバーパック約 5.6 Ton + キャスクカ一約 15 Ton) を想定したものであり、現状技術で十分対応が可能と考えられる。

②廃棄体立坑搬送設備

廃棄体の積み込み設備（廃棄体立坑搬送設備）の構造概念を図 4-5 に示す。

廃棄体立坑搬送設備は軌道式車両で、処分坑道横置き定置の場合には廃棄体の立坑内の搬送姿勢（縦向き）と最終的な定置の向きの違いにより廃棄体の横転機構を装備する。処分孔堅置き定置の場合には本機構は必要ない。

③緩衝材立坑搬送設備

緩衝材の積み込み設備（ベントナイトブロック立坑搬送設備）の構造概念を図 4-6 に示す。

緩衝材（ベントナイトブロック）立坑搬送設備も軌道式車両である。最終的な定置方式の違いによって構造が異なっている。

(2) 斜坑搬送の場合

①廃棄体斜坑搬送設備

廃棄体の積み込み設備（廃棄体斜坑搬送設備）の構造概念を図 4-7 に示す。

廃棄体斜坑搬送設備は無軌道式車両で、廃棄体の斜坑搬送時の姿勢は坑道寸法及び搬送時の安定性を考慮して横向きである。地上施設において、廃棄体をクレーン等により吊り降ろして縦向き姿勢で収容するため処分孔堅置き定置、処分坑道横置き定置のいずれの場合にも廃棄体の横転機構を装備する。処分坑道横置き定置の場合には搬送中と定置時の廃棄体の姿勢が同じ横向きのため坑底での横転作業は必要ない。

②緩衝材斜坑搬送設備

緩衝材の積み込み設備（緩衝材斜坑搬送設備）の構造概念を図 4-8 に示す。

緩衝材（ベントナイトブロック）立坑搬送設備も最終的な定置方式の違いによって構造が異なっている。

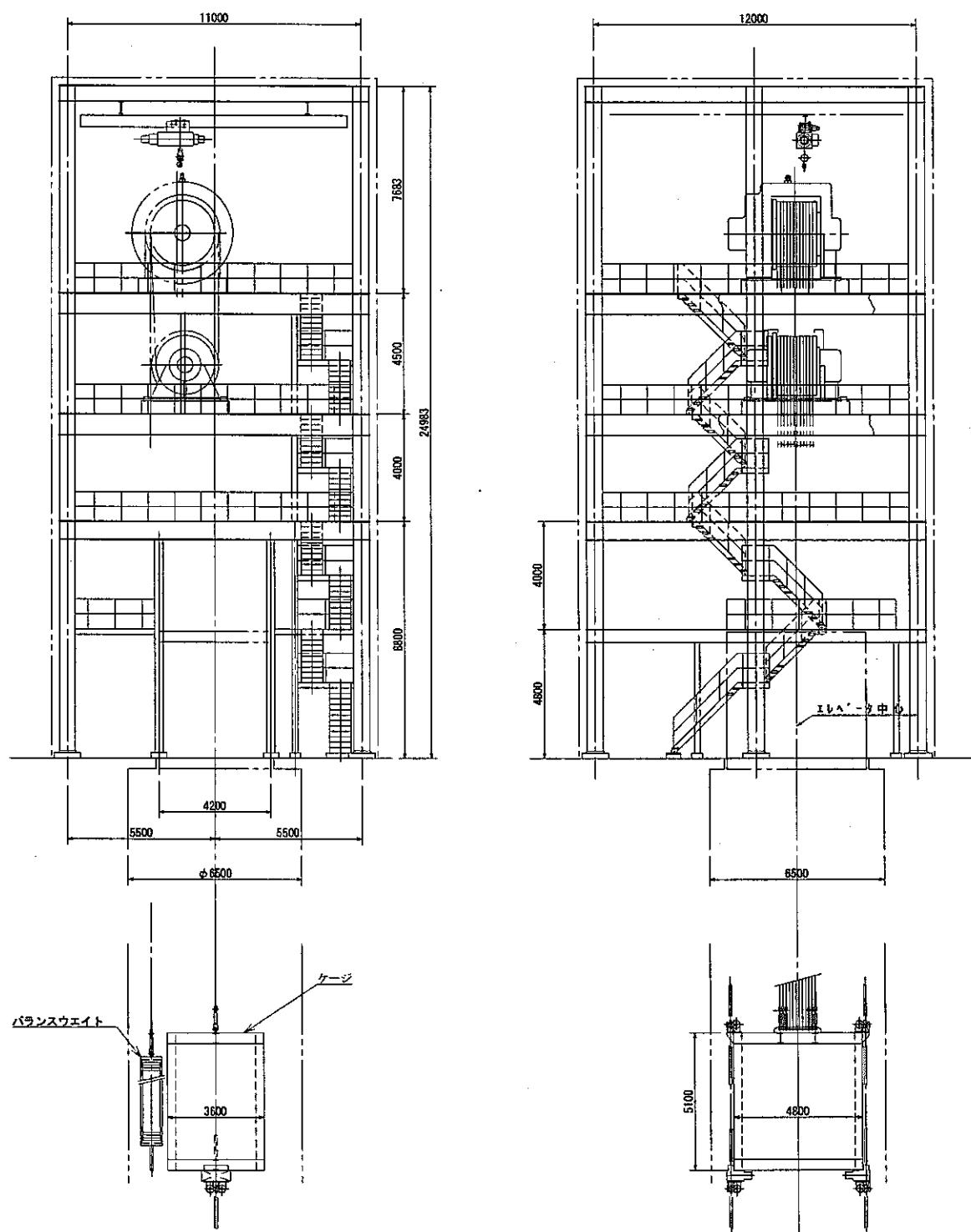


図 4-4 (1/2) 立坑エレベータ概念図

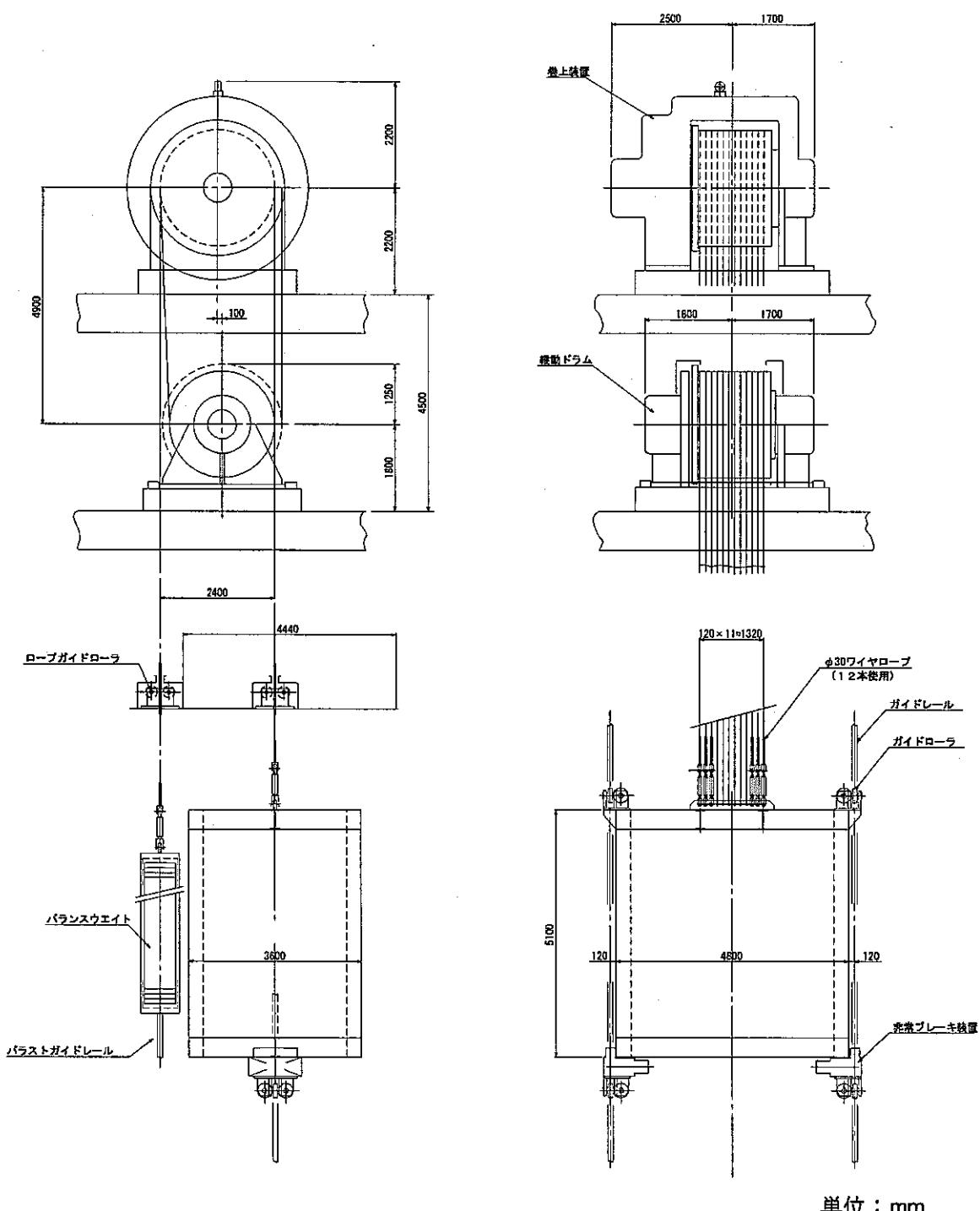
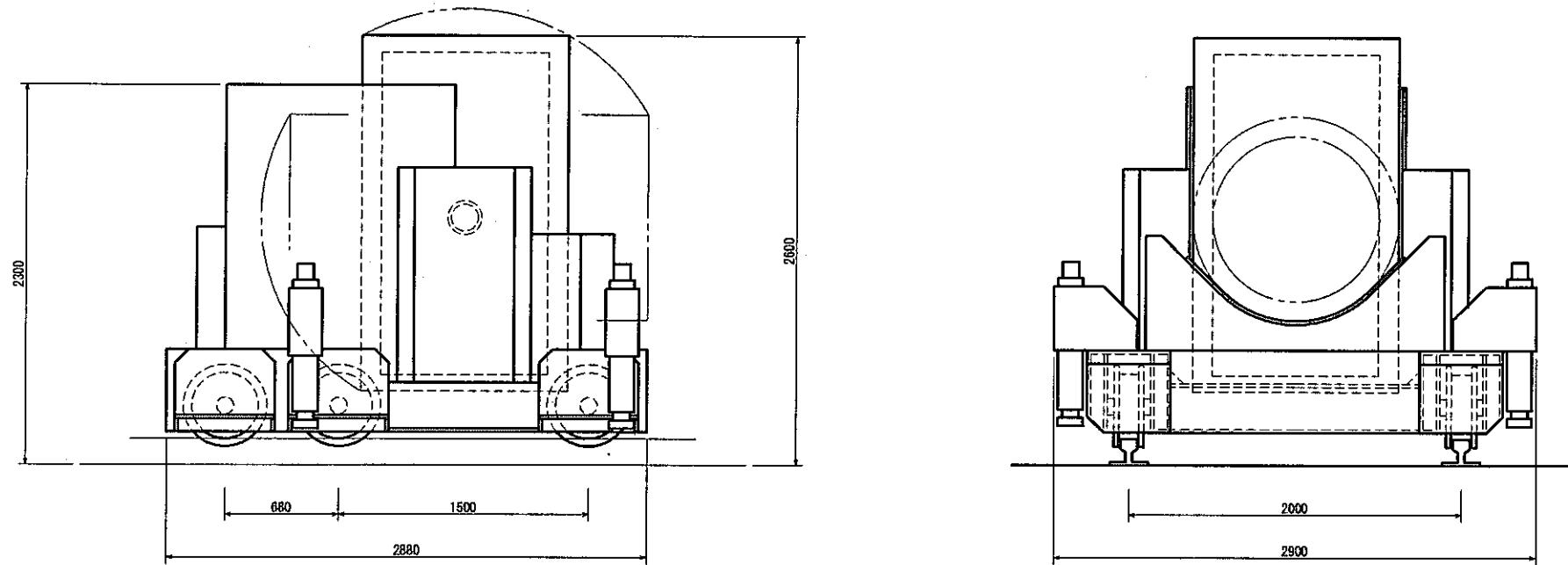
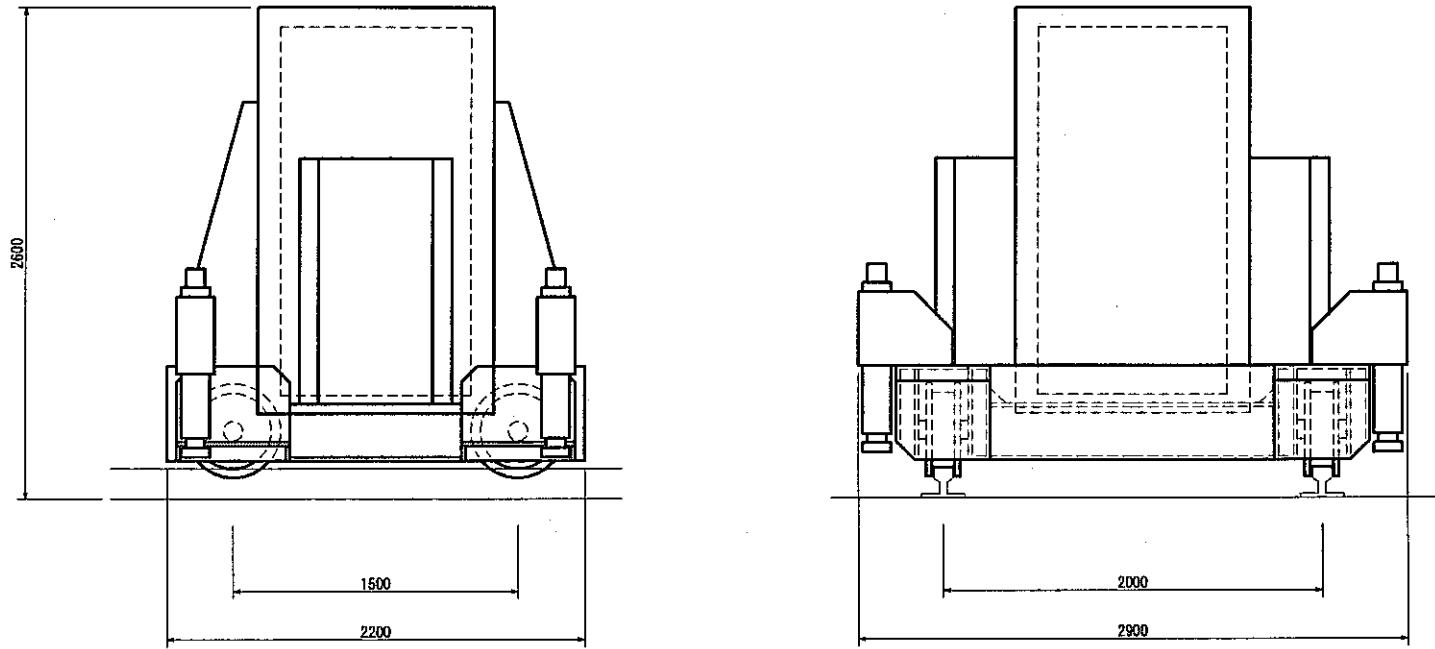


図 4-4 (2/2) 立坑エレベータ概念図



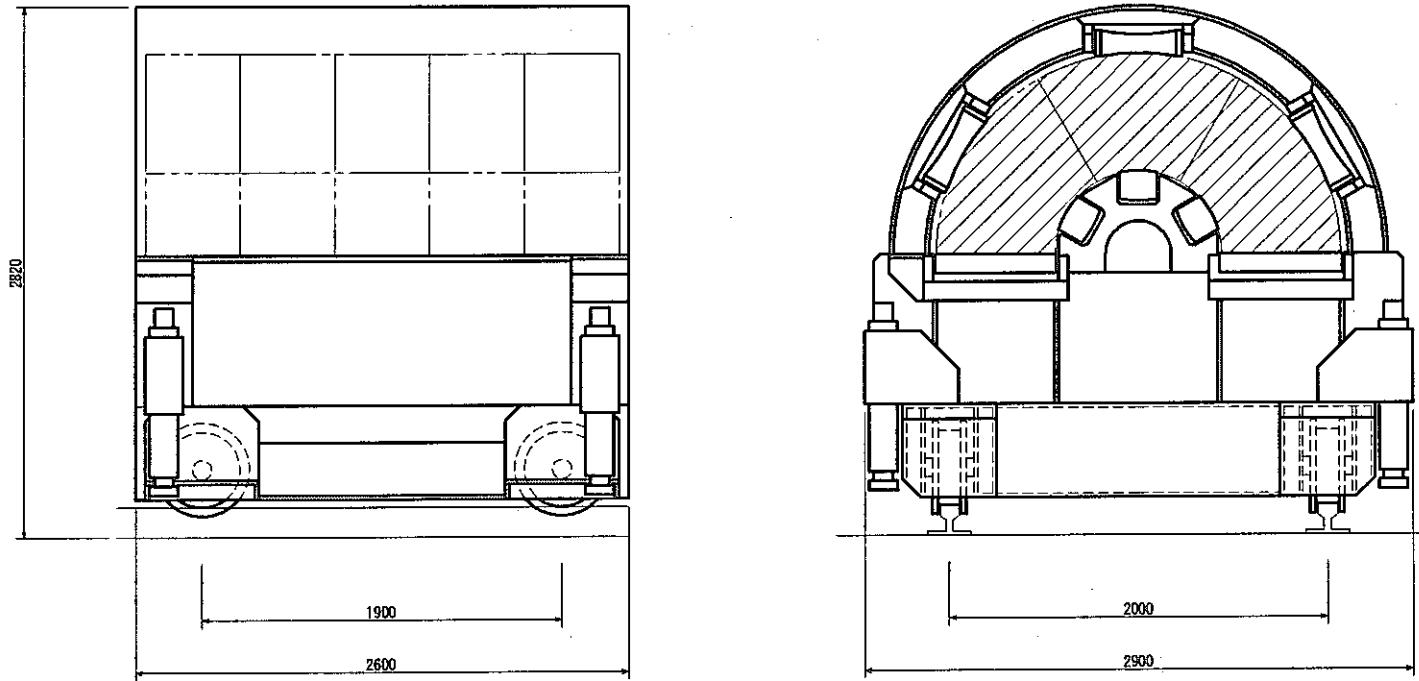
单位 : mm

図 4-5 (1/2) 立坑搬送用台車 概念図（廃棄体用：坑道横置き定置）



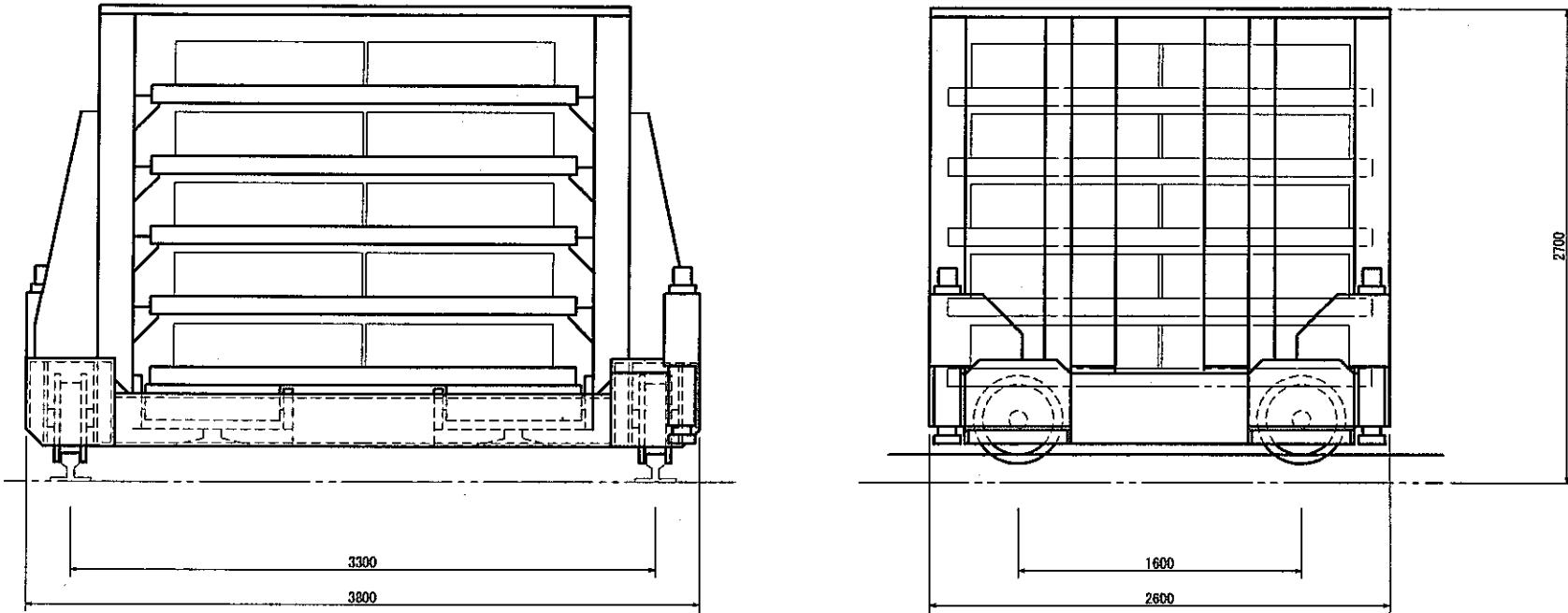
単位：mm

図 4-5 (2/2) 立坑搬送用台車 概念図（廃棄体用：処分孔堅置き定置）



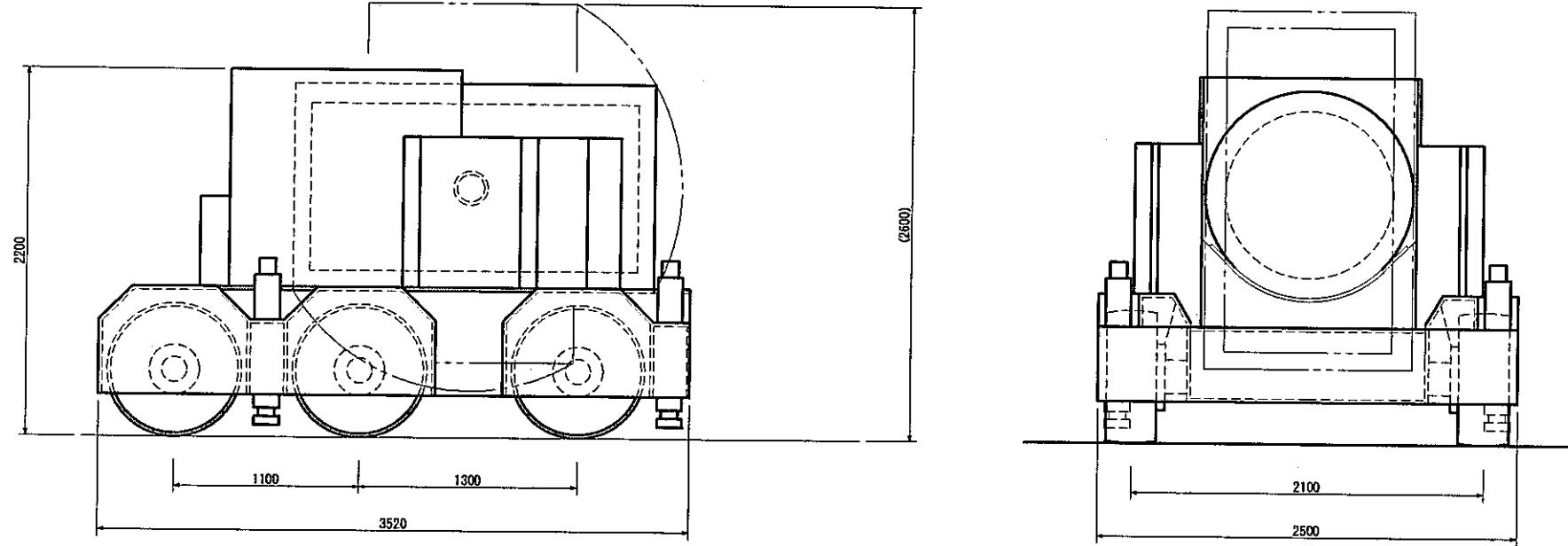
単位：mm

図 4-6 (1/2) 立坑搬送用台車 概念図（緩衝材用：坑道横置き定置）



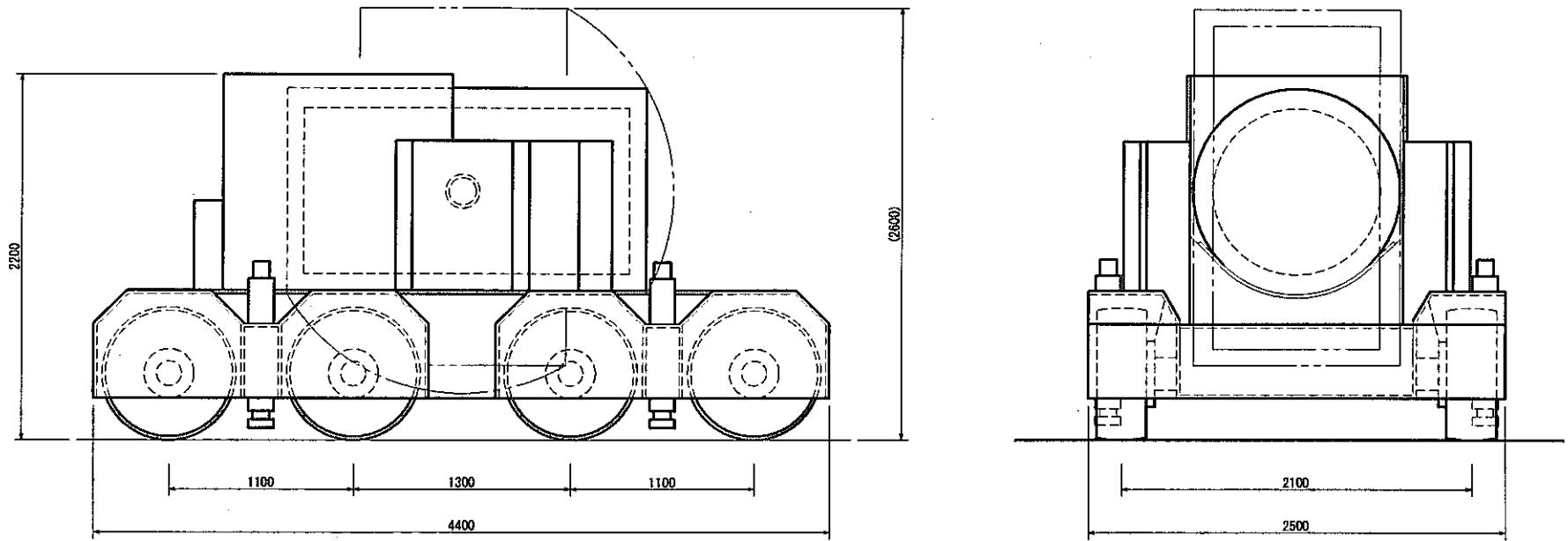
単位 : mm

図 4-6 (2/2) 立坑搬送用台車 概念図 (緩衝材用 : 処分孔堅置き定置)



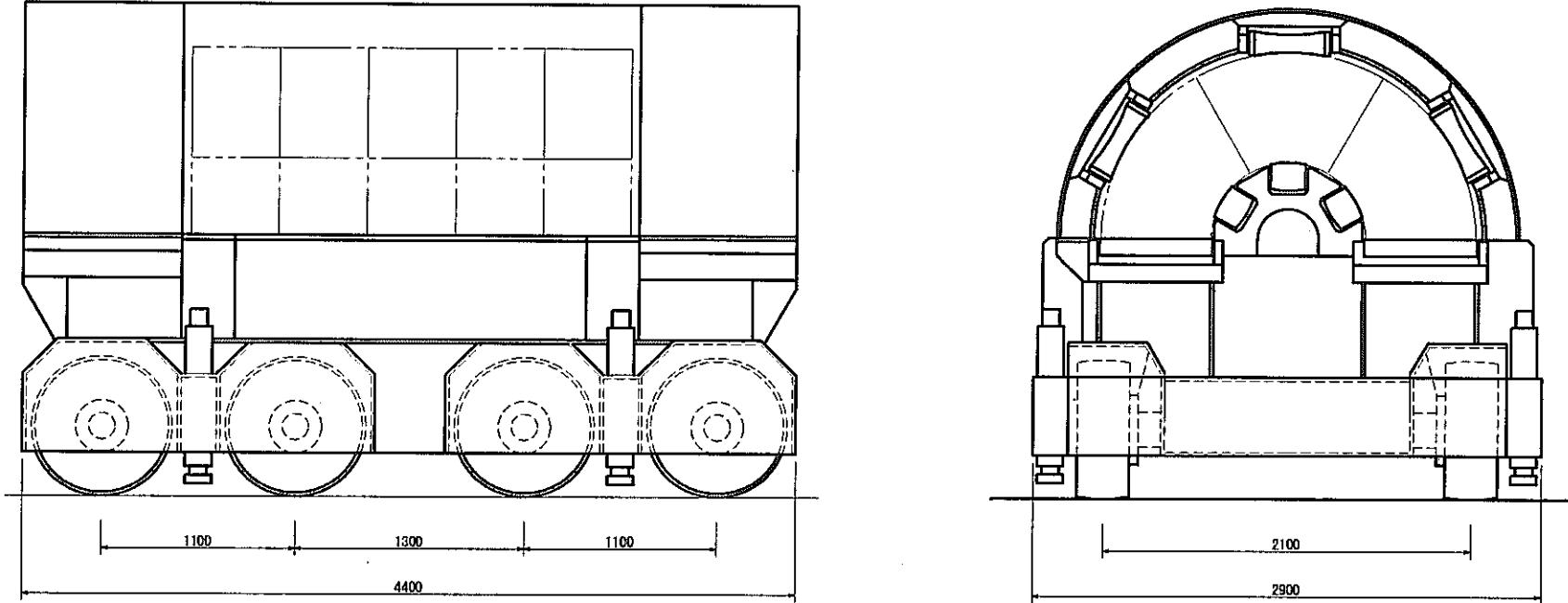
単位：mm

図 4-7 (1/2) 斜坑搬送用台車 概念図（廃棄体用：坑道横置き定置）



単位：mm

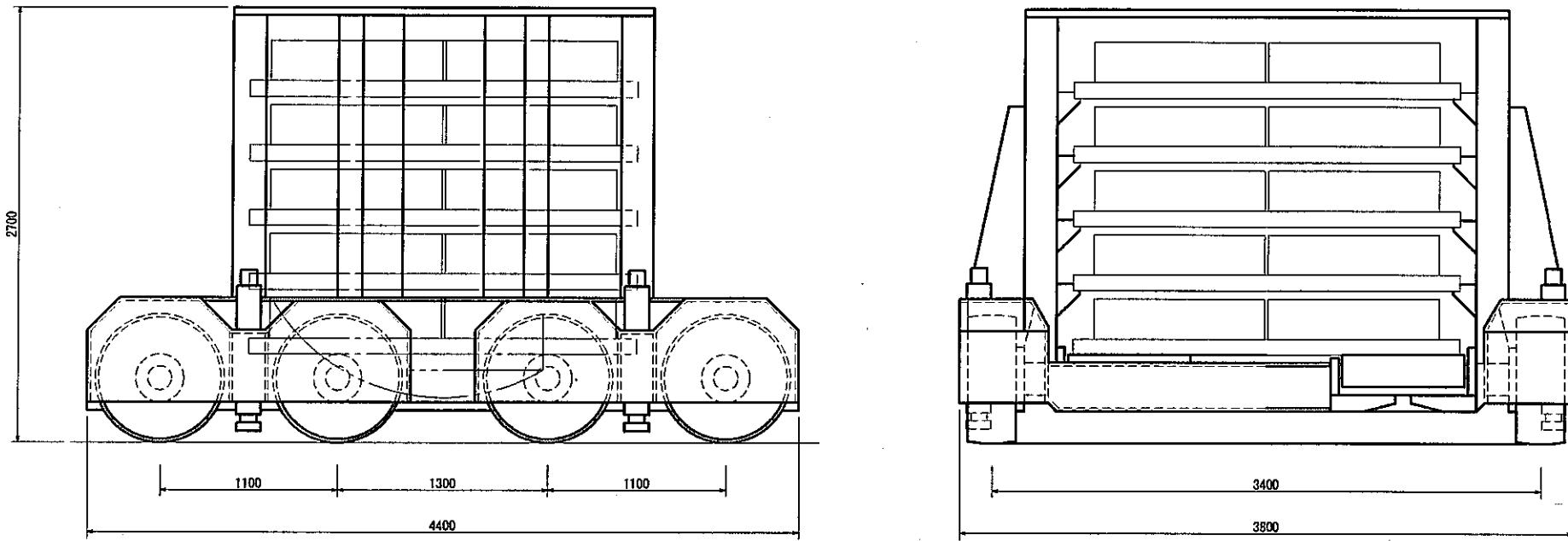
図 4-7 (2/2) 斜坑搬送用台車 概念図（廃棄体用：処分孔堅置き定置）



単位：mm

図 4-8 (1/2) 斜坑搬送用台車 概念図（緩衝材用：坑道横置き定置）

- 44 -



単位：mm

図 4-8 (2/2) 斜坑搬送用台車 概念図（緩衝材用：区分孔堅置き定置）

4.3 坑底積み替え、地下搬送および定置設備

地下施設にはアクセス施設から搬送されてきた廃棄体および緩衝材の地下施設への積み替え設備と処分坑道までの搬送設備、定置設備が必要である。ここでは積み替え設備、搬送、定置設備の検討を行う。

4.3.1 搬送方式の比較

地下施設での廃棄体、緩衝材の搬送方式について以下に比較検討を行う。

(1) 軌道方式

軌道方式の長所としては、走行経路が軌道により拘束されるため方向制御の必要がなく、中央での集中制御に向いている点が挙げられる。したがって後述する無軌道式と比較して作業の遠隔化に有利である。しかし一方では、走行経路に軌道を敷設する必要があり、設備負担と保守負担の点では無軌道方式と比較して劣る。ただし、処分施設が大深度地下であり部分的に管理区域に設定されると、作業は可能な限り遠隔・無人で実施する必要があり、軌道方式は目的に適した方式であると考えられる。

(2) 無軌道方式

一般的に無軌道式の長所としては、走行経路の自由度が高い点と付帯設備が不要な点が挙げられる。しかしながら本施設のように狭い坑道内を走行する場合は、走行経路の自由度の高さは精密な方向制御や姿勢制御が必要となり、制御システムの負荷が高くなるという欠点がある。ただし、処分坑道自体を走行ガイドとして利用する機器を採用した場合、無軌道式であっても方向制御の必要が無くなるため、軌道方式のような付帯設備が不要な無軌道式の利点が生かせる。

(3) コンベヤ方式

コンベヤ方式の長所としては、連続的に大量の物品を搬送できる点であり、このことから工場の生産ラインや物流システム関連で使用されている。コンベヤ方式の欠点は、走行経路にコンベヤを布設する必要があることである。軌道方式では可動部のない軌道を敷設するだけでよいが、コンベヤ方式では可動部を有するコンベヤを走行経路に敷設する必要があり、軌道方式よりさらに設備負担と保守負担の面で劣る。高レベル廃棄物処分施設では、恒常的、連続的に物品を搬送する必要がなく、物量的にも軌道方式で十分対応可能であるため、コンベヤ方式の利点を生かすことが困難であると考える。

以上地下施設の搬送においてコンベヤ方式の採用は現実的でなく、軌道式および無軌道式ではそれぞれの長所に応じて使い分けが可能であると考えられる。表 4-14 に本検討で採用した地下施設での搬送方式適用箇所を示す。

表 4-14 地下施設における搬送方式

搬送方式	適用箇所
軌道式	主要坑道（坑道横置き定置／処分孔豎置き定置） 処分坑道（処分孔豎置き定置）
無軌道式	処分坑道（処分孔豎置き定置）

また、地下施設における廃棄体搬送機器については、放射線管理の観点から、定置位置までの連絡坑道を管理区域に設定する必要がないよう、後述する輸送についての放射線管理基準を満足する放射線遮へい機能を持たせることとする。

4.3.2 緩衝材設置方式の比較

廃棄体の定置作業の検討において、廃棄体は仕様が明確であるのに対し、緩衝材に関しては性能評価上の要求仕様として密度と材質（ベントナイト含有率）が指定されているのみで、設計的には自由度がある。ここでは緩衝材の形態とハンドリング方式についての比較検討を行う。

(1) ブロック型緩衝材定置方式

ブロック型の緩衝材を地上施設にて製作し、地下に搬送して廃棄体とともに定置する方式である。本方式の利点は、地上で性能および品質を確認できる点と、固体のためハンドリングが容易である点である。欠点としては、定置誤差の管理が必要となり定置機器に精度の確保と定置位置確認システムが要求される点、定置後短期間ではブロック同士の隙間が水みちとなる可能性があり、ブロック間の隙間充填処理が必要である点などが考えられるが、これらは現有技術およびその応用で対応可能である。

(2) 粉体搬送現地締め固め方式

粉体状の緩衝材を地下に搬送し、定置位置において締め固める方式である。本方式の利点は、現地で圧密するために施工後に水みちが形成されない点、および坑道内壁の凹凸が存在する場合でも、粉体を充填した後に締め固めるためブロック型のような定置精度の管理が必要ない点である。欠点としては、地下で締め固めた後の密度測定を実施する必要がある点、密度分布が発生する可能性がある点、圧縮していない粉体を搬送するためブロック型と比較して搬送の物量が多い点が挙げられる。本方式の解決すべき課題としては作業の自動化と施工時間の短縮、施工後の品質確認方法の確立等が挙げられる。

本検討ではブロック型緩衝材定置方式を第1の候補として検討を行う。ブロック分割数は坑道横置き定置の場合については6分割、豎置き定置の場合は4分割とした。
(千々松ほか 1999)

4.3.3 主要機器の検討

4.3.3.1 坑底積み替え設備

坑底積み替え設備は廃棄体用、緩衝材用の2系統必要である。

表 4-15 廃棄体積み替え設備

設備名称	区分
(エレベータ)	アクセス施設
駆動装置	設備機器
廃棄体定置装置	設備機器
積み替えエリア	作業エリア
駆動装置待機エリア	作業エリア
廃棄体定置装置待機エリア	作業エリア
保守エリア（故障時等対応用）	作業エリア
キャスクカー待機エリア	作業エリア

表 4-16 緩衝材積み替え設備

設備名称	区分
(エレベータ)	アクセス施設
駆動装置	設備機器
緩衝材定置装置	設備機器
積み替えエリア	作業エリア
駆動装置待機エリア	作業エリア
緩衝材定置装置待機エリア	作業エリア

(1) 廃棄体の積み替え

立坑／坑道横置き定置方式では、廃棄体搬送台車（キャスクカー）に縦向きに積み込まれた廃棄体を横置き定置のために横転させる。横転後、横置き定置装置の廃棄体ハンドリング機構（廃棄体の横移動）を利用して定置装置に積み替える。このため同じフロアでの積み替え作業となる。廃棄体を下ろしたキャスクカーは次の搬送工程に備え地上施設に返却され、定置装置は動力車に牽引されて処分坑道へ移動する。

立坑／処分孔堅置き定置方式では、搬送時、定置時いずれにおいても廃棄体は縦向きであるため廃棄体の横倒しは不要である。ただし積み替えに堅置き定置装置のハンドリング機構（廃棄体の上下移動）を利用するため、キャスクカーと定置装置の走行フロアを上下に分ける必要がある。

斜坑／坑道横置き定置方式では、キャスクカー、横置き定置装置とも廃棄体を横向きに搭載しており、本施設における廃棄体の横倒しは不要である。廃棄体の積み替えは横置き定置装置のハンドリング機能を利用し、同じフロアでの積み替え作業となる。

斜坑／処分孔堅置き定置方式では、地下への搬送時に廃棄体が横向きのため横転作業が必要である。定置装置への積み替えは立坑／処分孔堅置き方式と同様に堅置き定置装置のハンドリング機構（廃棄体の上下移動）を利用するためキャスクカーと定置装置の走行フロアを分ける必要がある。

(2) 緩衝材の積み替え

処分孔堅置き定置方式では、立坑搬送の場合は前述の通り軌道式搬送台車を用いるため、緩衝材堅置き定置装置と連結を行い積み替え作業は必要ない。斜坑搬送の場合は無軌道式搬送設備のため、坑底での軌道の端部において軌道式搬送台車への積み替えを行う。

坑道横置き定置方式では、緩衝材横置き定置装置の定置機能を用い廃棄体積み替えの場合と同様に積み替え作業を行う。積み替えのフロアを分ける必要はない。

参考として図4-9に廃棄体のハンドリング概念を示す。

坑底設備の配置に関しては、主要坑道の離間距離を40mとし、それら主要坑道間に配置することを前提に、基本的に主要坑道と同一の断面をもつ坑道で構成されるものとして検討した。

図4-10に坑道横置き定置の場合の坑底設備配置案を、図4-11に処分孔堅置き定置の場合の坑底設備配置案をそれぞれ示す。

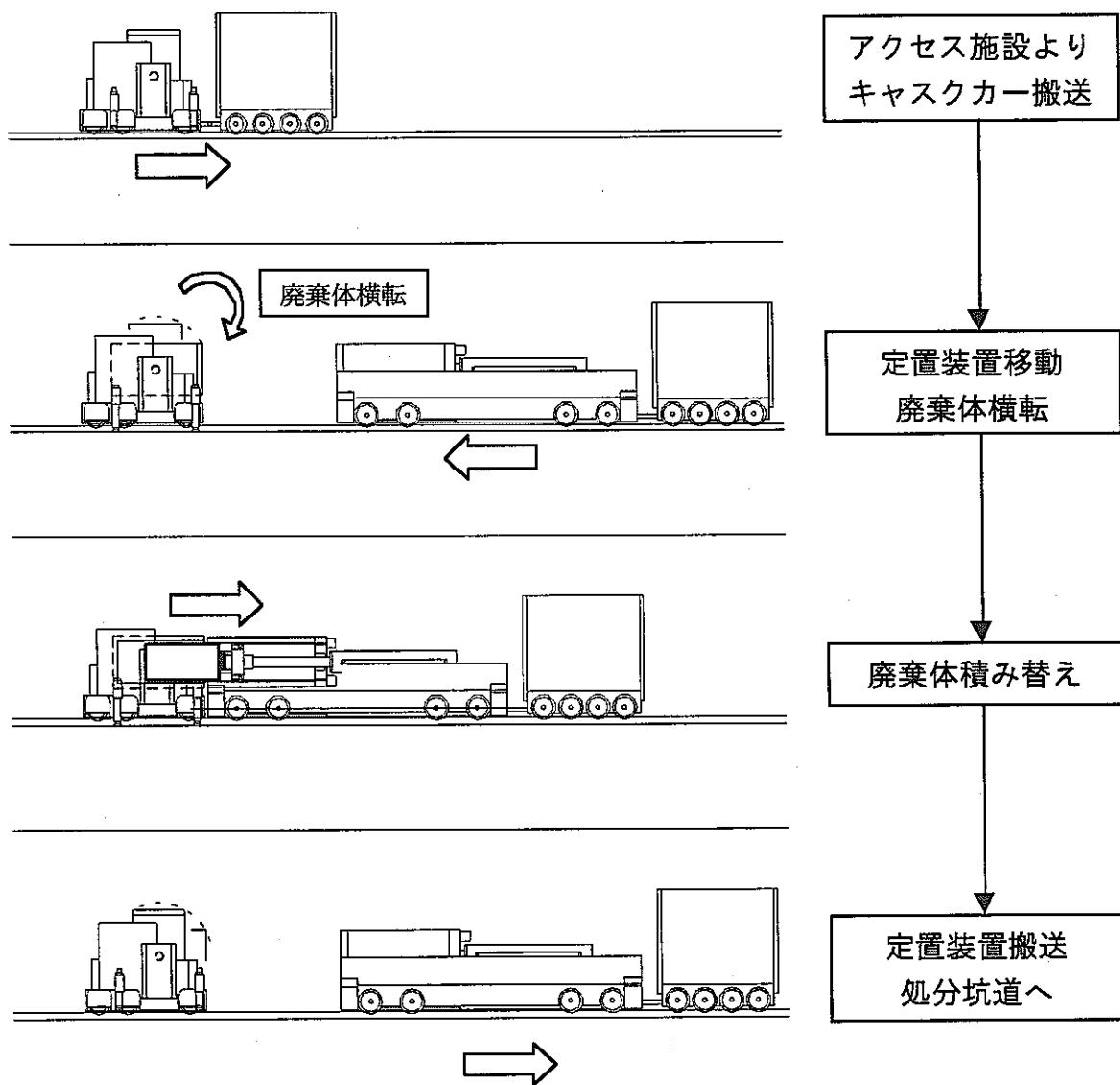


図 4-9 (1/4) 廃棄体積み替え施設ハンドリングフロー
(立坑／坑道横置き定置方式)

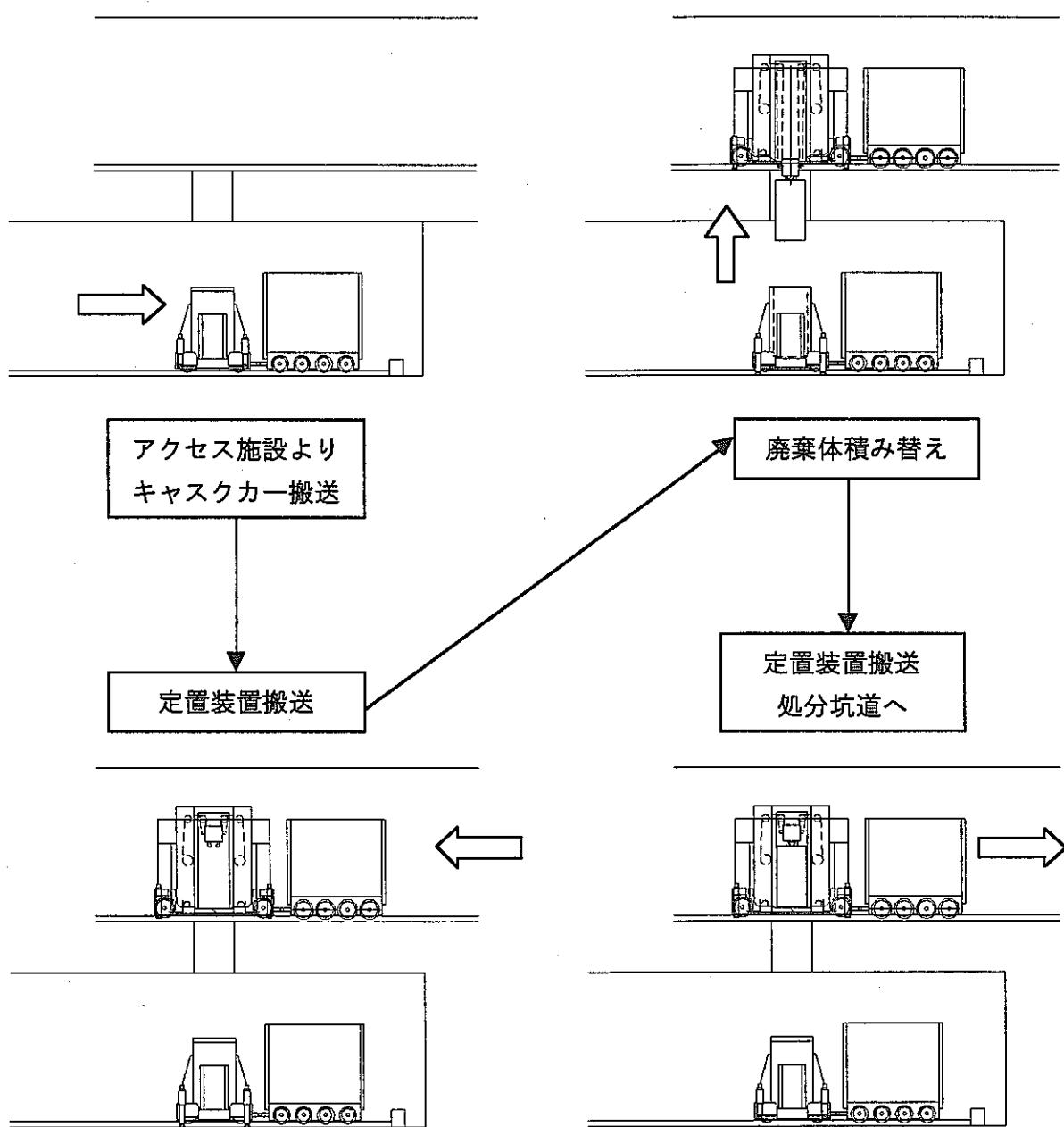


図 4-9 (2/4) 廃棄体積み替え施設ハンドリングフロー
(立坑／処分坑縦置き定置方式)

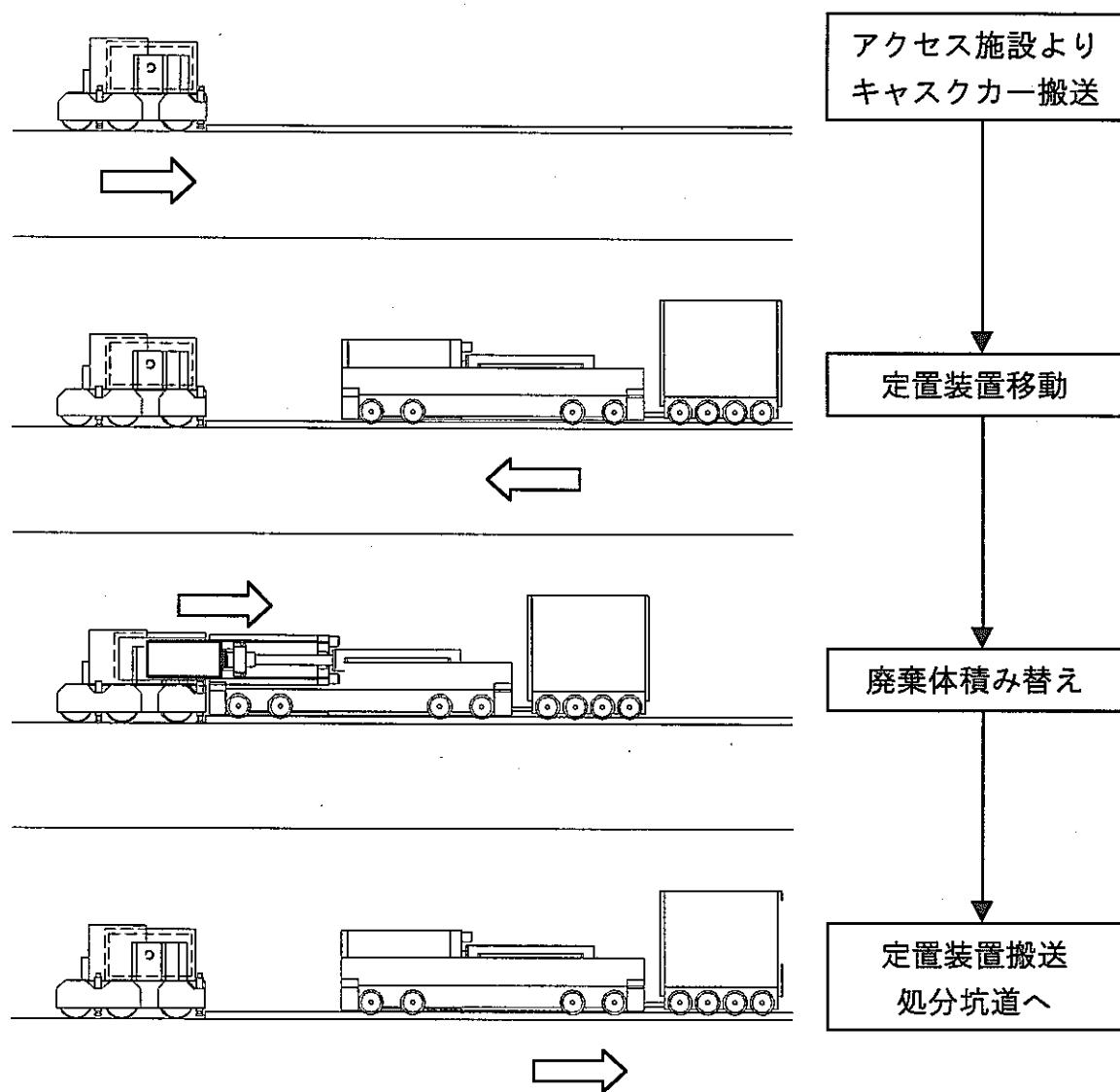


図 4-9 (3/4) 廃棄体積み替え施設ハンドリングフロー
(斜坑／坑道横置き定置方式)

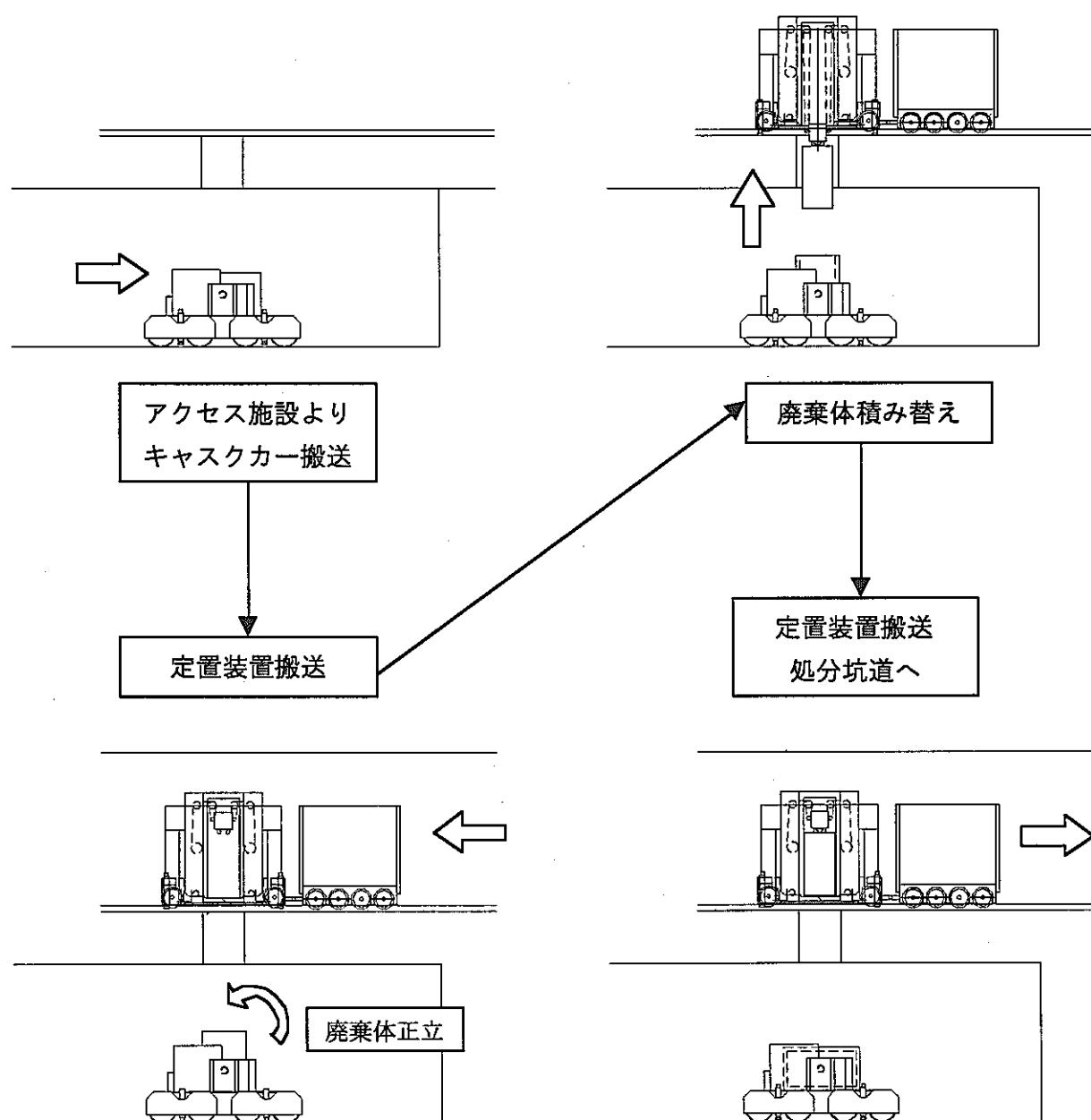


図 4-9 (4/4) 廃棄体積み替え施設ハンドリングフロー
(斜坑／処分坑堅置き定置方式)

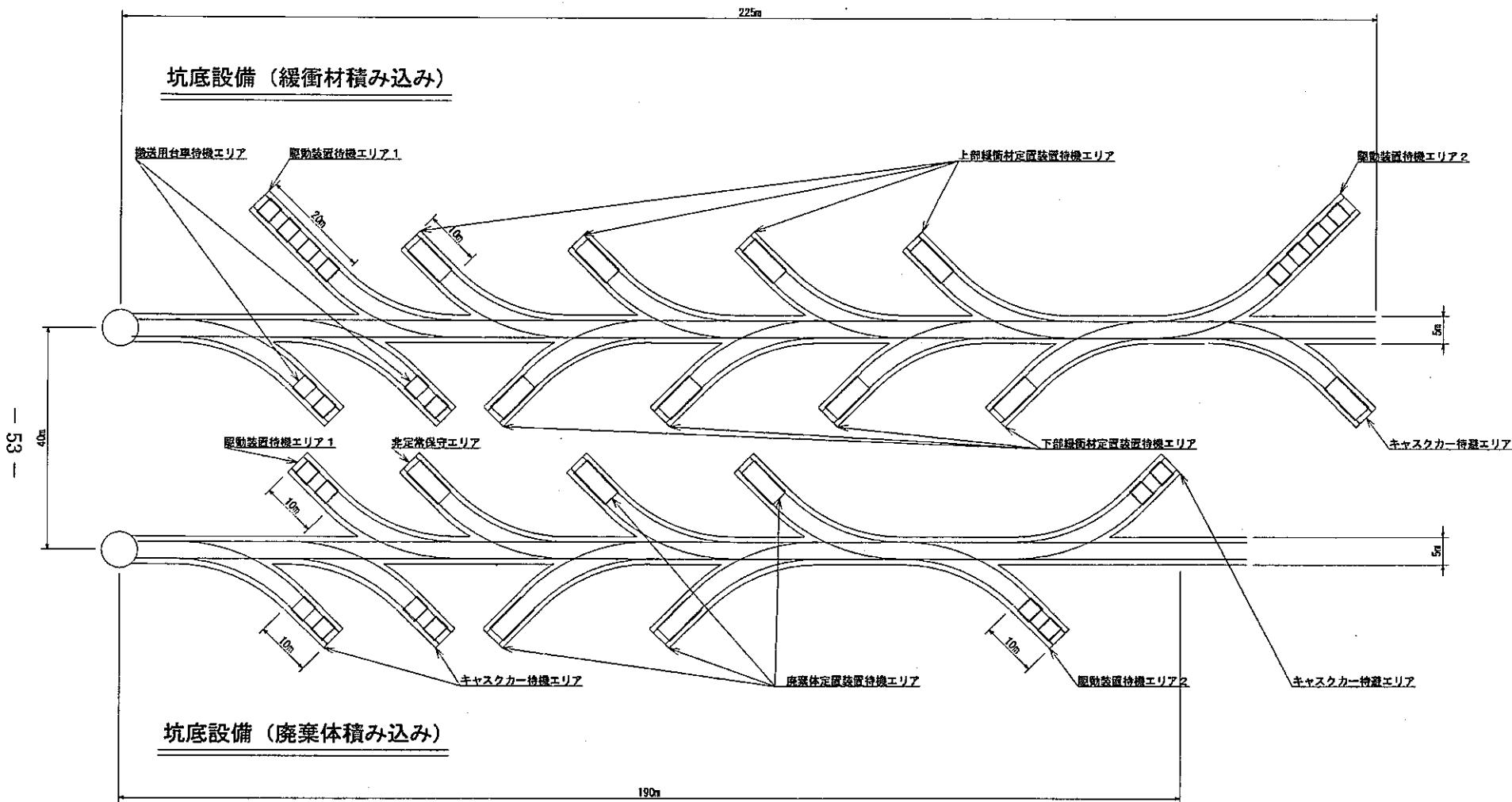


図 4-10 坑底積み替え施設配置案（坑道横置き定置方式の場合）

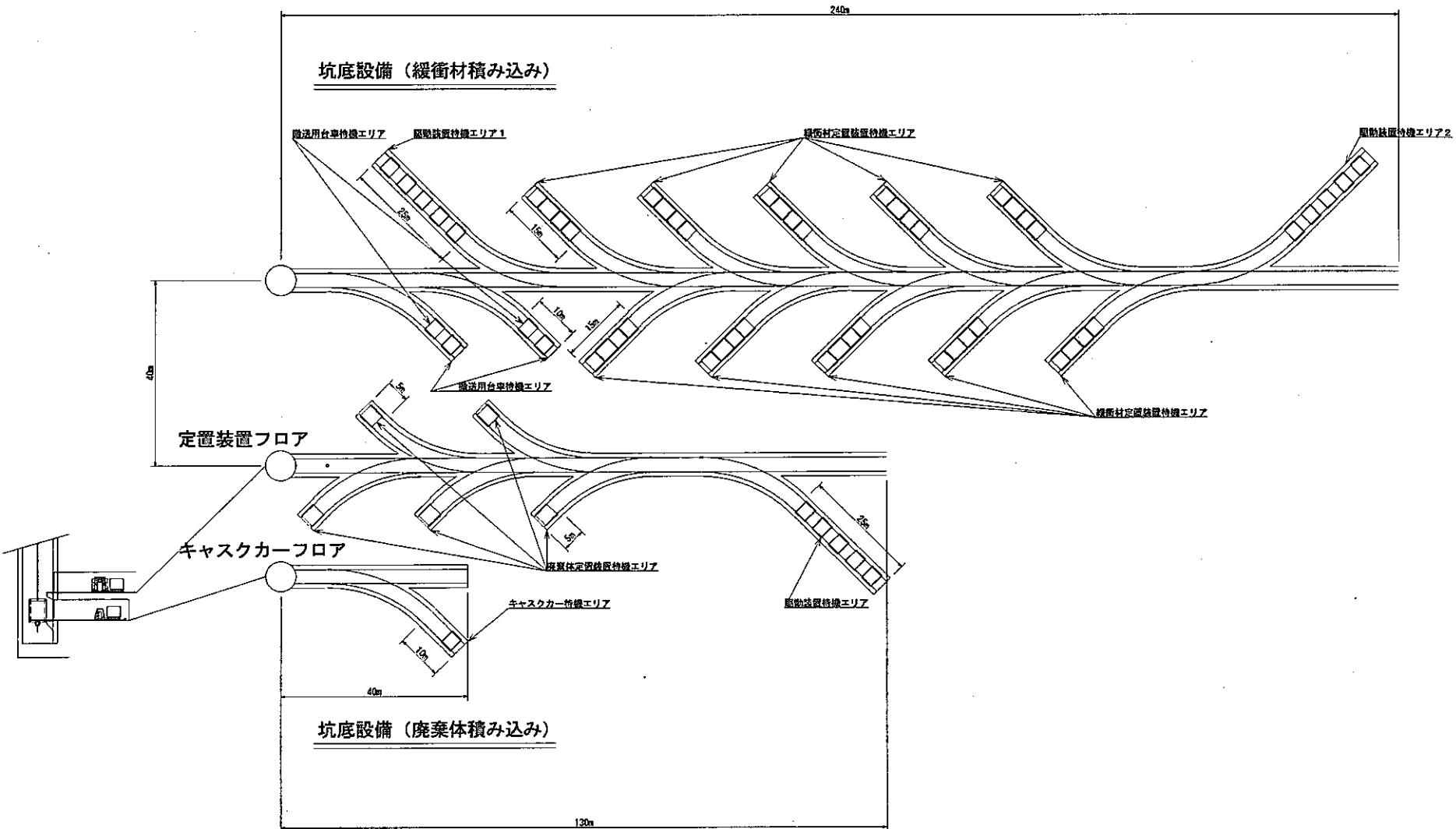


図 4-11 坑底積み替え施設配置案（処分孔堅置き定置方式の場合）

4.3.3.2 地下搬送および定置設備

(1) 坑道横置き定置の場合

前述のとおり処分坑道横置き方式の場合の定置作業は、①下部ベントナイトブロックの定置、②廃棄体の押し込み定置、③上部ベントナイトブロックの定置、という手順となる。「①下部ベントナイトブロックの定置」では、定置設備本体が所定の位置の近傍までアクセス可能であるが、「③上部ベントナイトブロックの定置」では下部緩衝材と廃棄体が既に定置済みであるため、定置設備本体が所定の位置近傍まで直接アクセスすることはできない。したがって下部ベントナイトブロックと上部ベントナイトブロックの定置設備はそれぞれ異なる機構を有する専用設備となっている。

下部緩衝材定置設備の構造概念を図4-12に、上部緩衝材定置設備の構造概念を図4-13に、廃棄体定置設備の構造概念を図4-14にそれぞれ示す。

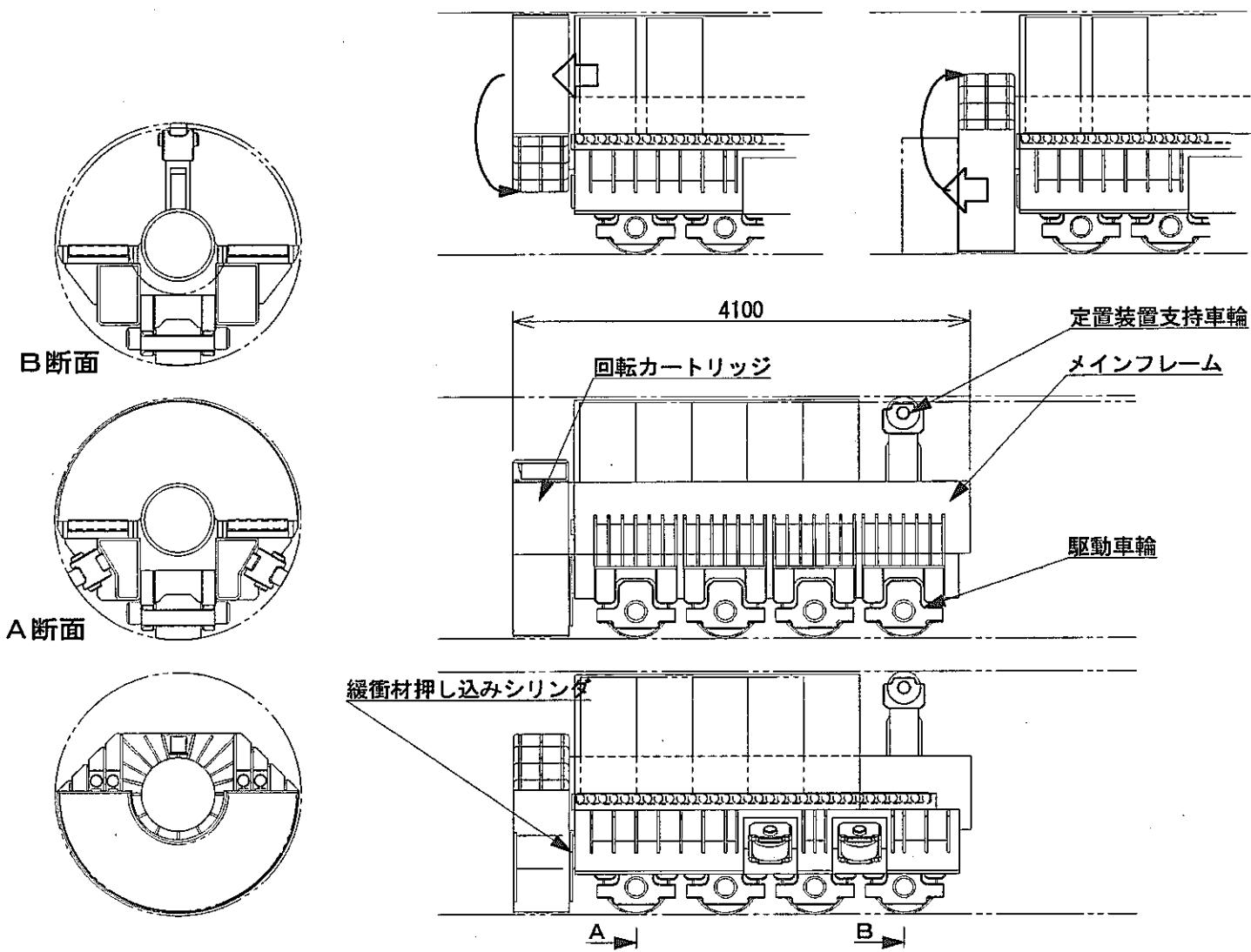
これらベントナイトブロックと廃棄体の定置設備は径2.2mの処分坑道内走行に特化した車輪を備えているため、処分坑道に到る前の主要坑道および連絡坑道内を直接走行することはできない。したがって、ベントナイトブロックと廃棄体の主要坑道および連絡坑道内の搬送は、定置設備ごと専用の搬送台車に搭載して行うものとした。

定置設備搬送台車の構造概念を図4-15に示す。

(2) 処分孔堅置き定置の場合

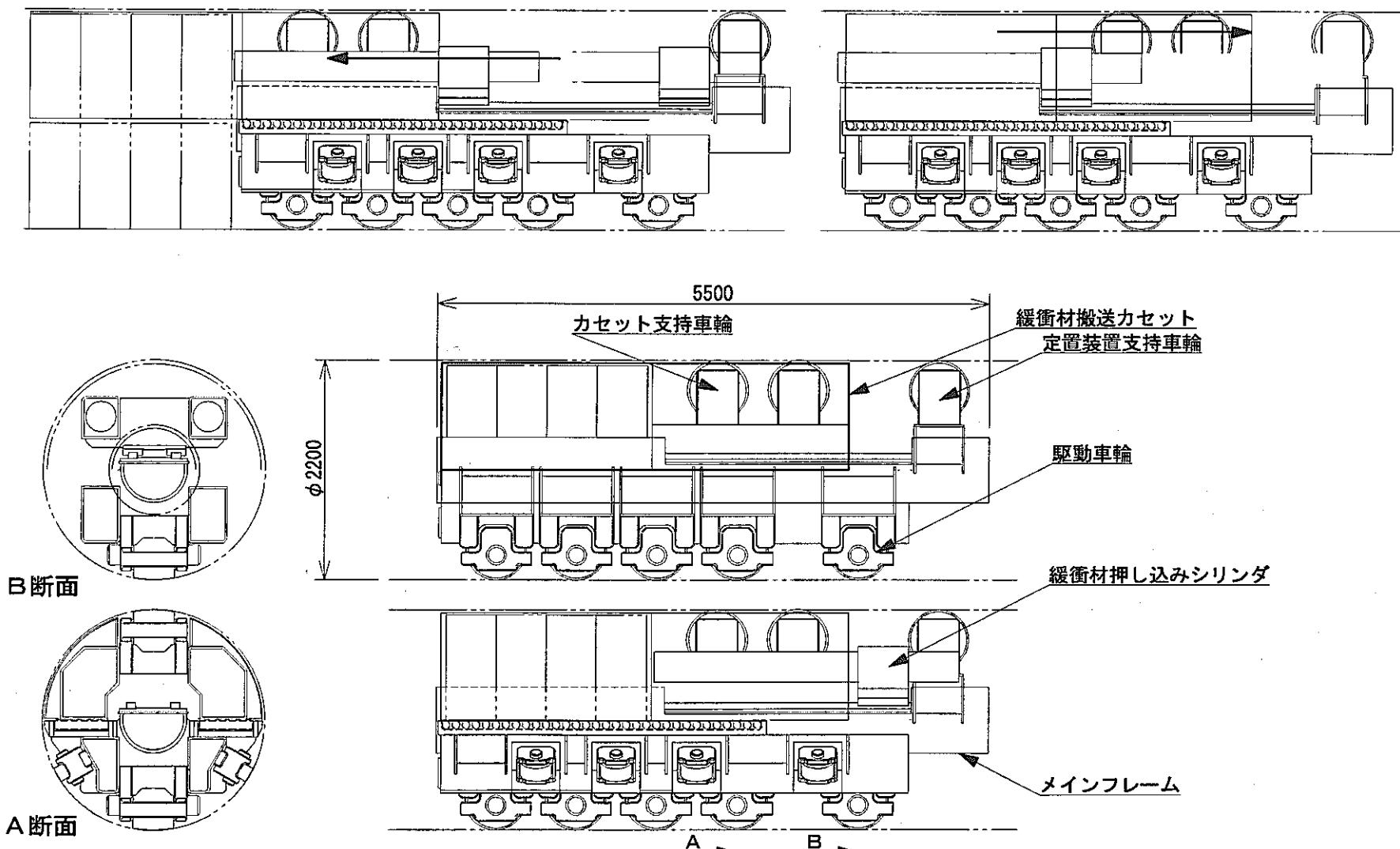
処分孔堅置き定置の場合の定置作業は、①下部ベントナイトブロックの定置、②側部ベントナイトブロックの定置、③廃棄体の吊り下ろし定置、④上部ベントナイトブロックの定置、という手順となる。ベントナイトブロックの定置設備、ベントナイトブロック搬送設備、パレット回収設備を独立させ連結させる方式とする。ベントナイトブロックは、定置する層毎にパレット上に並べられた状態でベントナイトブロック搬送設備に搭載され、主要・連絡坑道から処分坑道を通って所定の処分孔位置まで運ばれる。所定の処分孔に到達後、ベントナイトブロックはパレット毎、ローラコンベアで定置設備に送られ、定置設備の真空吸着式の吊り降ろし機構にて把持される。空パレットをローラコンベアにてパレット回収に送った後、ベントナイトブロックは処分孔内に吊り降ろされる。

図4-16に緩衝材定置装置の概念図を、図4-17に廃棄体定置装置の概念図をそれぞれ示す。



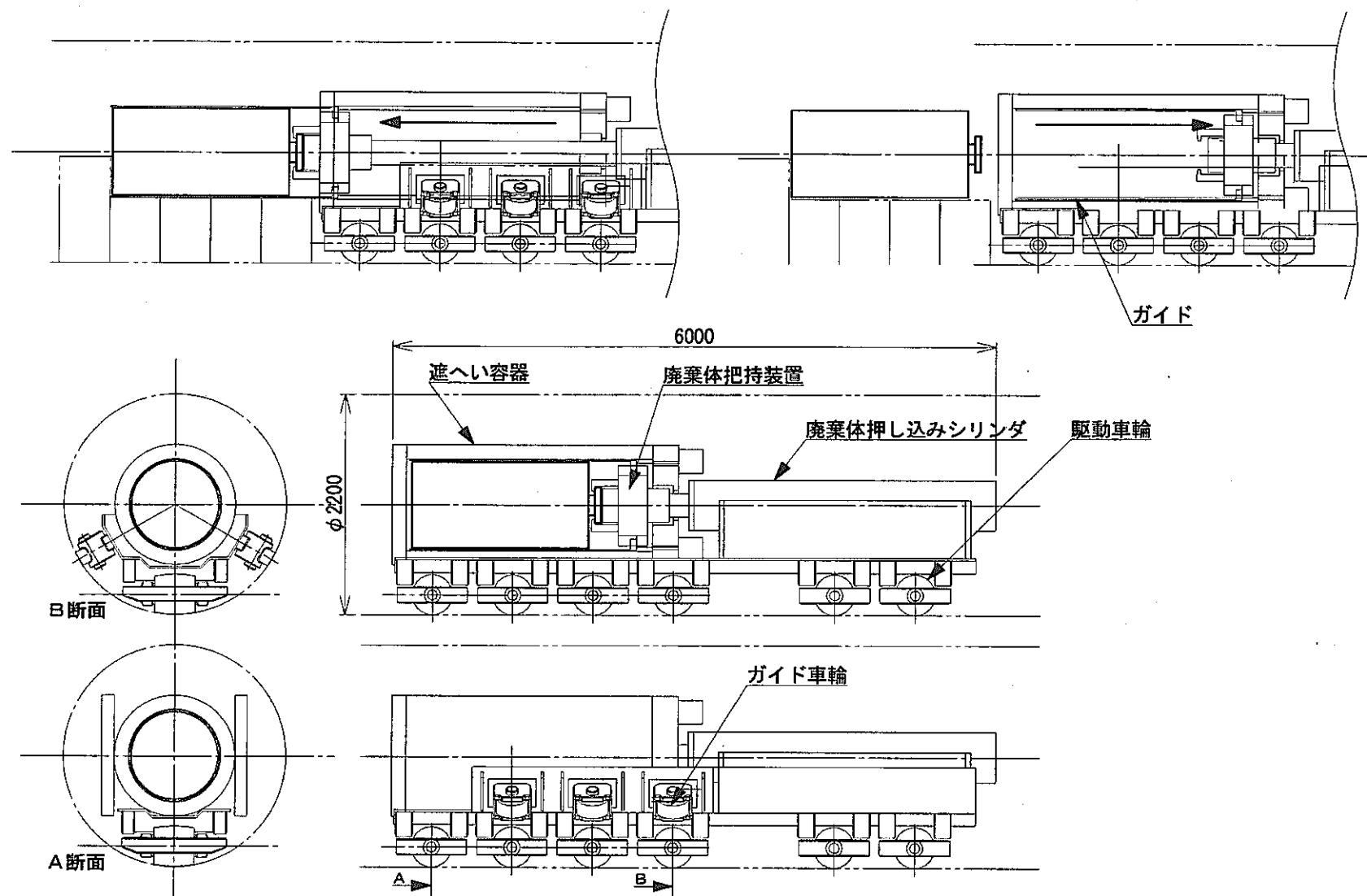
単位: mm

図 4-12 下部緩衝材定置装置 概念図（坑道横置き定置方式）



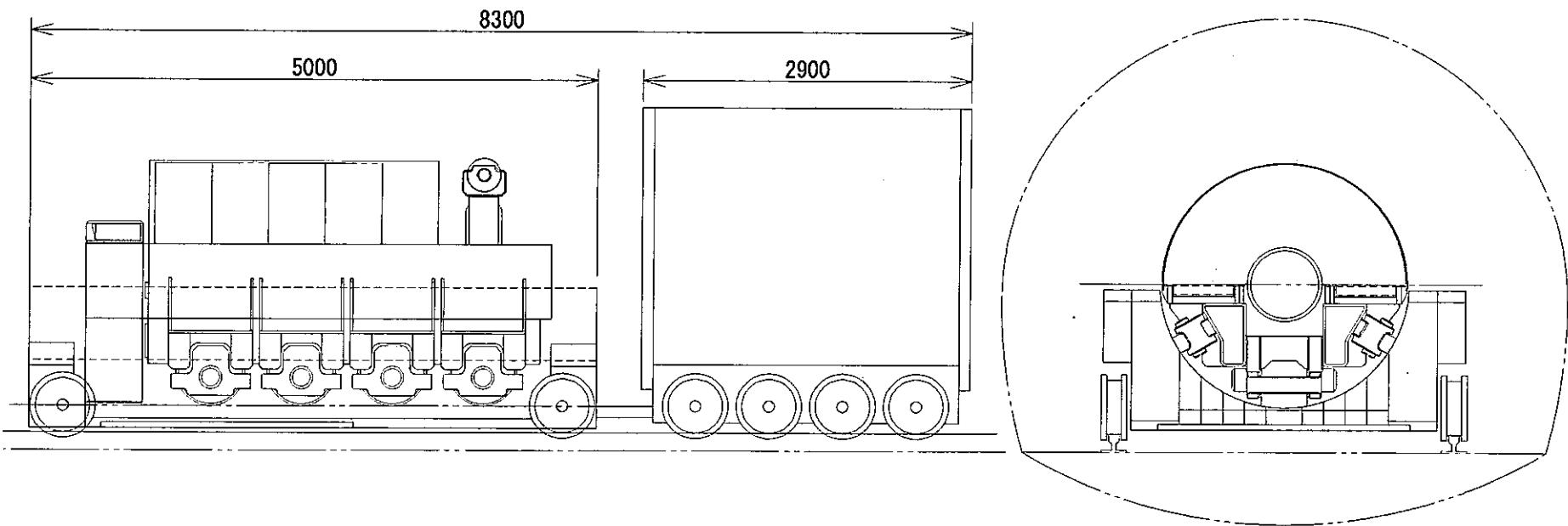
単位: mm

図 4-13 上部緩衝材定置装置 概念図（坑道横置き定置方式）



単位: mm

図 4-14 廃棄体定置装置 概念図（坑道横置き定置方式）



単位 : mm

図 4-15 定置装置搬送台車 概念図（坑道横置き定置方式）

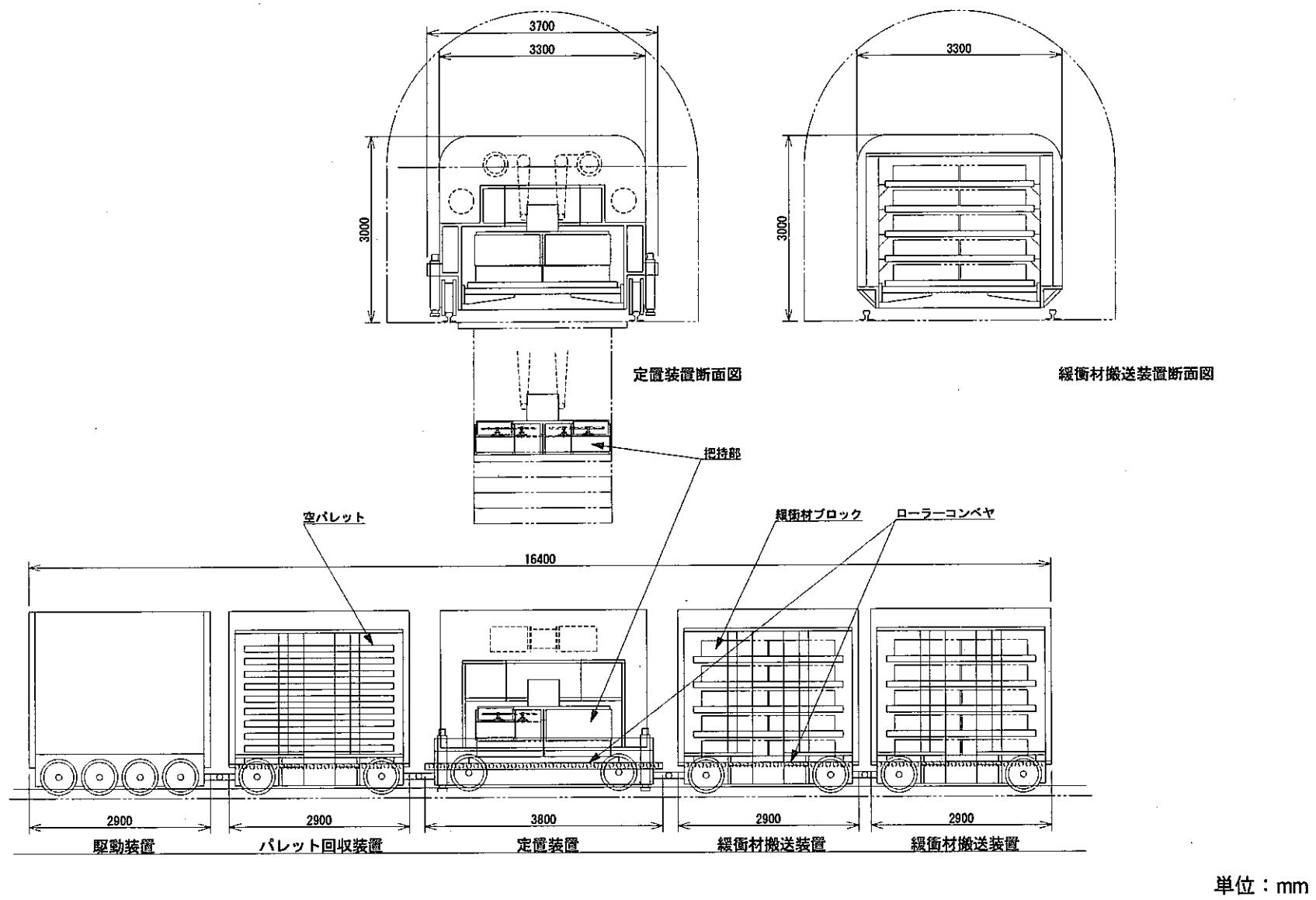
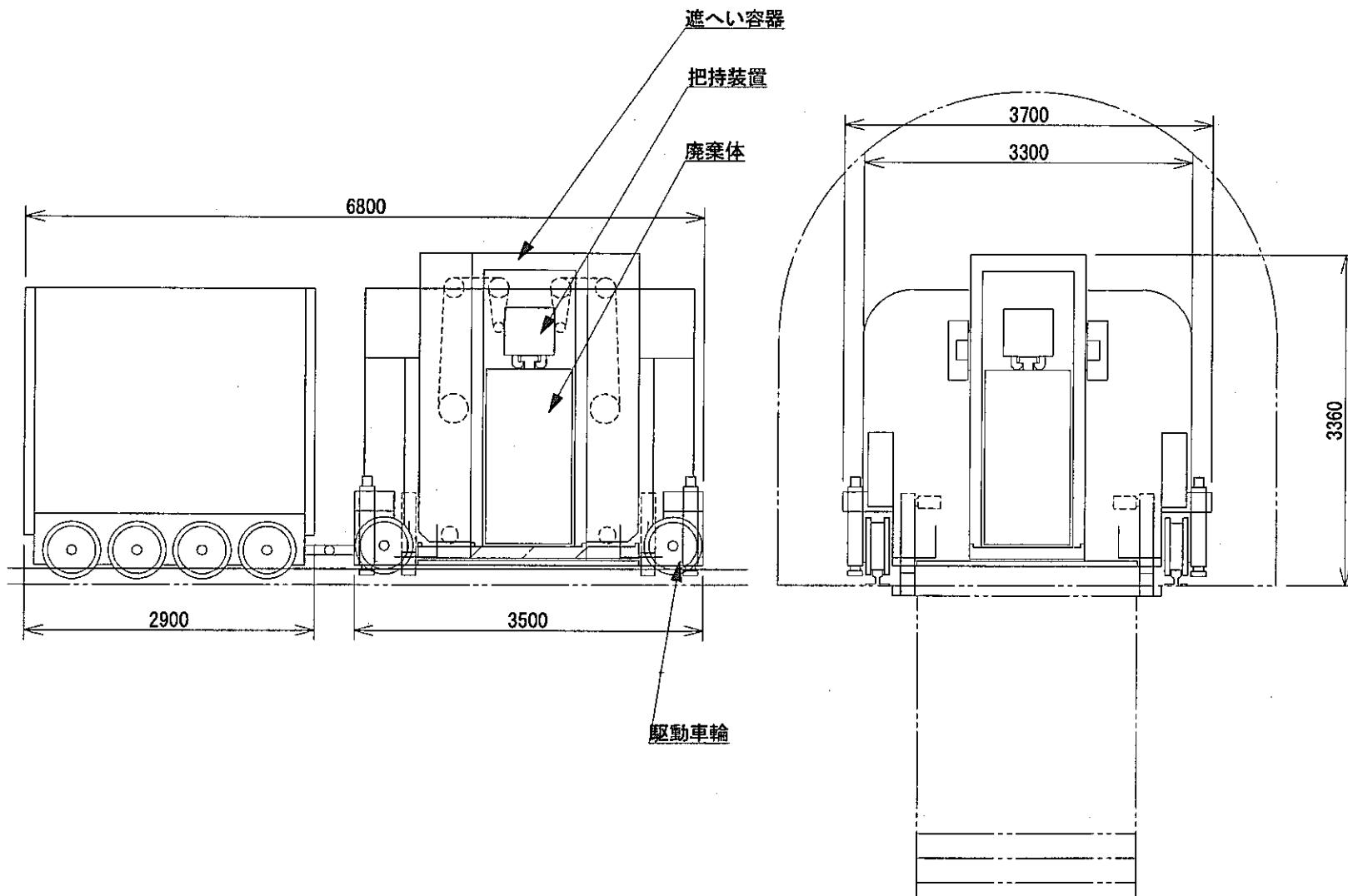


図 4-16 緩衝材定置装置 概念図（処分孔堅置き定置方式）



単位: mm

図 4-17 廃棄体定位装置 概念図（処分孔堅置き定位方式）

4.3.3.3 緩衝材現地締め固め方式について

緩衝材定置のもう一つの方式である緩衝材現地締め固め方式についてその作業概念と設備概念の検討を行う。

(1) 作業概念

緩衝材現地締め固めでは、定置位置近傍まで圧縮成型されていない粉体の緩衝材を搬送する。したがって、地上で作成したブロック型緩衝材を定置する場合に比べて同量の緩衝材を搬送する場合でも体積が大きくなる。

緩衝材現地締め固め装置の基本機能は緩衝材の施工位置への供給とシール、そして緩衝材の圧縮である。

緩衝材は粉体でハンドリングするが、粉体の吸湿防止と粉塵爆発の防止のために施工位置までの搬送は密閉式とする必要がある。密閉式の粉体供給で、重力による落下を利用しない場合は、スクリューコンベヤ式や回転容積式等搬送方法式が考えられる。

また緩衝材を施工位置に供給する際には粉塵の発生が考えられ、粉塵爆発防止および地下の換排気系の負荷低減のため、仕切りを設けて施工区間を簡易的に区切ることで粉塵が処分坑道内を飛散しないよう考慮する必要がある。

緩衝材は最終的に 1.6Mg/m^3 の密度まで締め固める必要がある。このために 5~10 MPa 程度の圧力が必要となる。

緩衝材の圧縮には①軸方向圧縮、②径方向圧縮、の 2 つの方法がある。この 2 方式は相反する長短所を有しているため、2 方式を共用して初期圧縮に軸方向圧縮を使用し最終的な圧縮に径方向圧縮を使用することで、施工時間を短縮しつつ所定の圧縮密度に到達する装置を構成することが可能である。

軸方向圧縮は処分坑道の長手方向に圧縮する方式で、ストロークが大きくとれるという長所がある。圧縮の反力は装置を介して処分坑道内壁で受けることになるため、推力には限界がある。また、軸方向圧縮の圧縮用プレートは、外周部にシールゴムを配することで、シール機構として兼用することが可能である。

径方向圧縮は処分坑道の中心から外側に向けて圧縮する方式で、対向するシリンダーがお互いの反力を打ち消し合うため大きな推力を加えることが可能であるという長所を有する。ただし推力を大きくするためにはダイヤフラム式（膜厚式）シリンダーを使用することになり、大きなストロークを得ることは困難である。

(2) 設備の概念

以上の検討に基づいた緩衝材現地締め固め装置の動作概念と構造を図 4-18 および図 4-19 に示す。

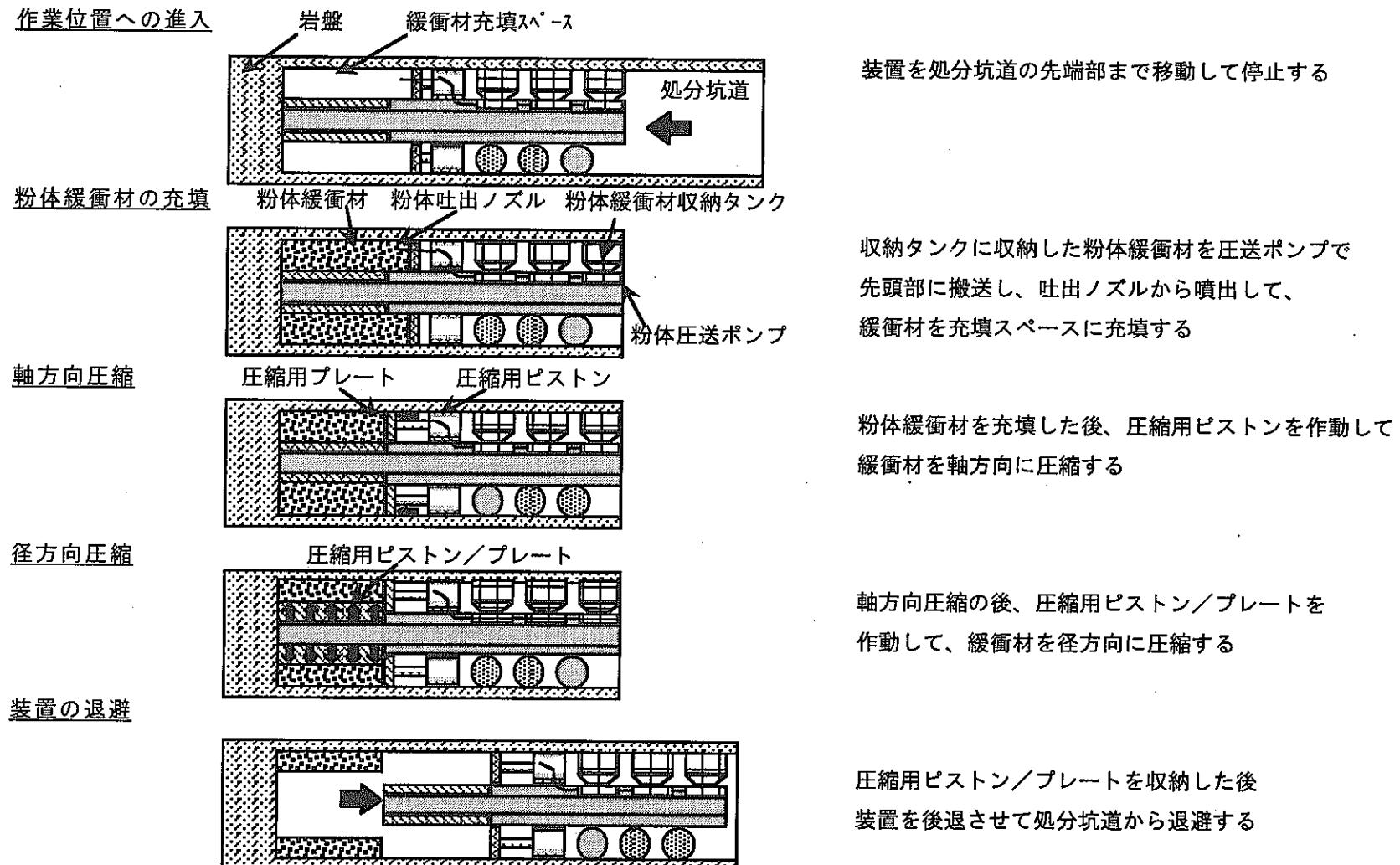


図 4-18 緩衝材現地締め固め装置 動作概要

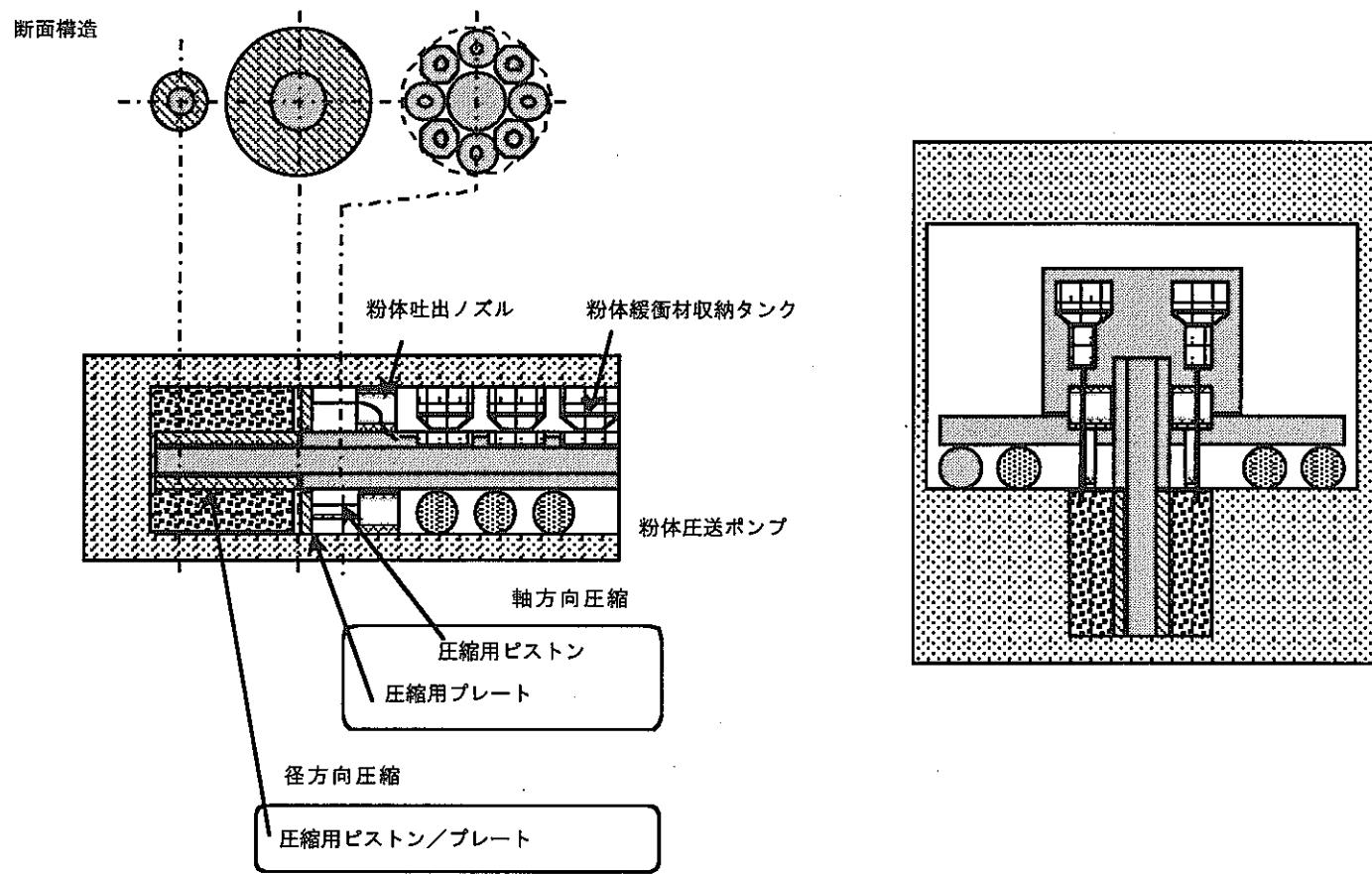


図 4-19 緩衝材現地締め装置の概念

4.4 操業用機器と坑道形状の関係

ここでは第1章で前提条件として提示した坑道断面形状と、設備の要求寸法との関係をまとめます。

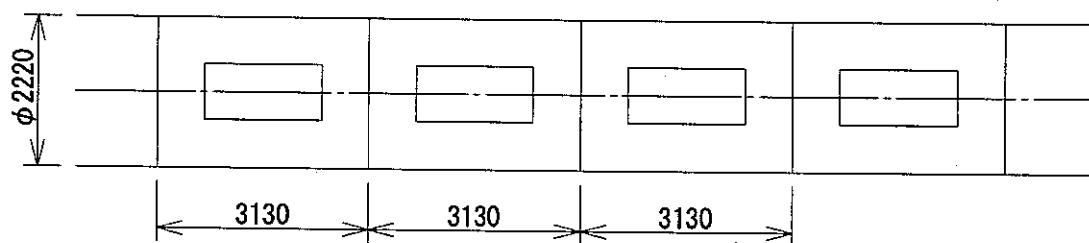
(1) 廃棄体定置間隔

①坑道横置き定置の場合

坑道横置き定置の場合はハンドリング上の制約条件はない。したがって廃棄体最小定置間隔は廃棄体の長さ+緩衝材厚さとなり、 $1730 + 700 \times 2 = 3130\text{ mm}$ となる。

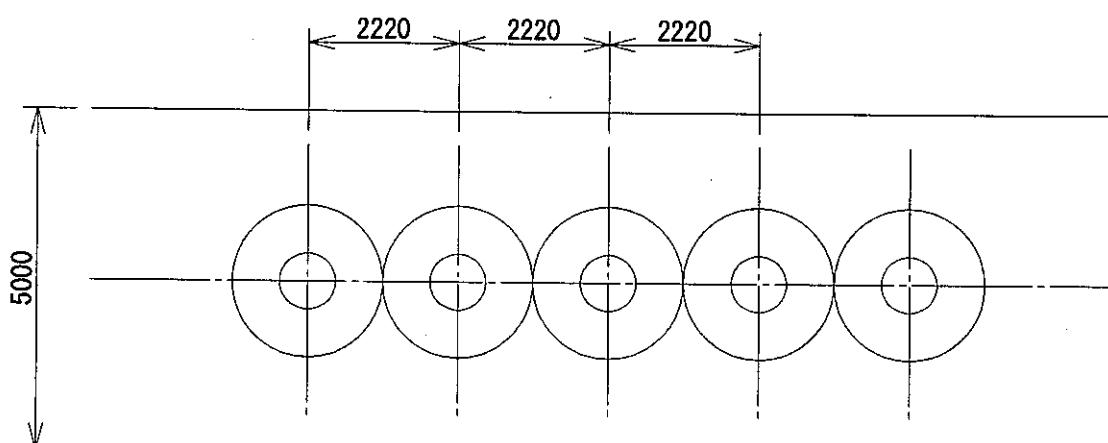
②処分孔豎置き定置の場合

処分孔豎置き定置の場合も同様にハンドリング上の制約条件はない。したがって廃棄体最小定置間隔は処分孔の直径に依存し 2220 mm となる。



坑道横置き定置

単位 : mm



処分坑豎置き定置

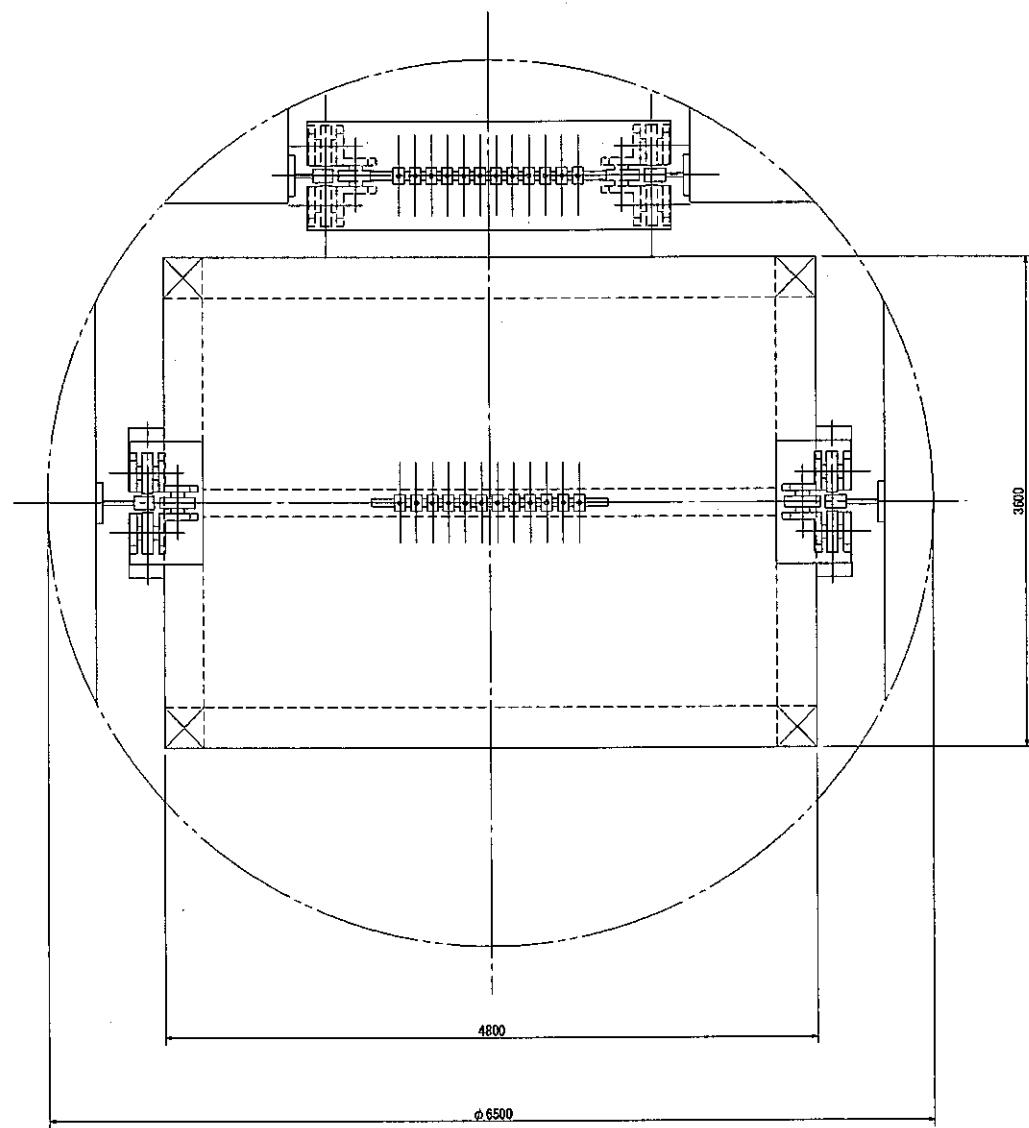
単位 : mm

図 4-20 廃棄体最小定置間隔

(2) 各坑道の断面寸法と機器寸法

①立坑

図 4-21 に立坑エレベータの断面形状を示す。エレベータケージ、カウンターウエイト、ガイド類を配置すると、前提条件で示した立坑の直径である $\phi 6500 \text{ mm}$ に対して余裕は少ない。



単位 : mm

図 4-21 立坑断面形状

②連絡坑道および主要坑道（含む斜坑）

連絡坑道および主要坑道の寸法は機器の必要寸法に加えて、作業者の退避用の安全通路を考慮する必要がある。したがって、安全通路を設置する場合と設置しない場合の2ケースを検討した。安全通路は機器の両側に幅0.6m、高さ1.8mを確保できるよう検討した。また安全通路を設置しない場合でも、曲率部における機器の動作余裕等を考慮すると機器の周囲に最低200mmのスペースを確保する必要がある。

a. 硬岩系岩盤の場合

坑道形状は幌型として検討した。図4-22に検討結果を示す。

第1章での前提条件で示した坑道形状

高さ5000mm×幅5000mm、上部R2500mmに対して、必要な寸法は、

安全通路有りの場合：高さ4250mm×幅4900mm、上部R2450mm

安全通路無しの場合：高さ3950mm×幅4100mm、上部R2050mm

となり、安全通路を設置する場合でも前提条件で示した坑道形状に収まる。

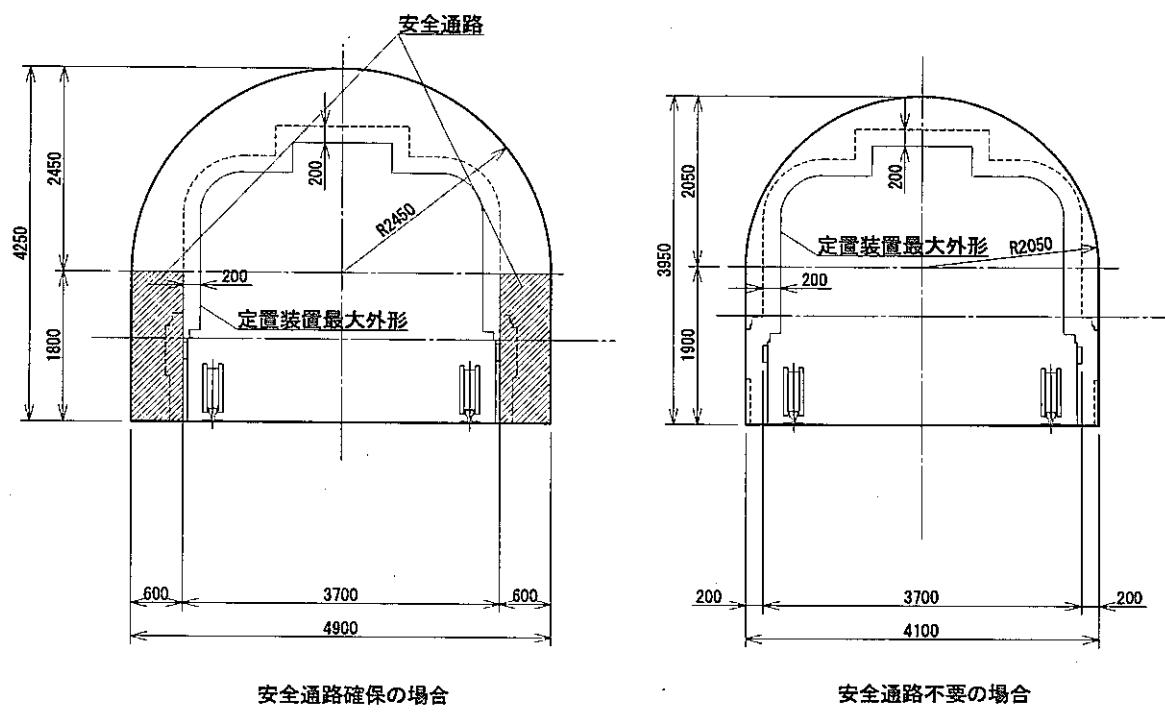


図4-22 最小坑道断面形状（硬岩系岩盤）

単位：mm

b. 軟岩系岩盤の場合

坑道形状は上部の曲率を 1R とした場合に側壁を 2R、下部を 1.8R として検討した。

前提条件の 上部 R 2500mm，側壁 R 5000 mm，下部 R 4500 mm 対して、必要な寸法は、

安全通路有りの場合：上部 R 2650 mm，側壁 R 5300 mm，下部 R 4770 mm

安全通路無しの場合：上部 R 2350 mm，側壁 R 4700 mm，下部 R 4230 mm

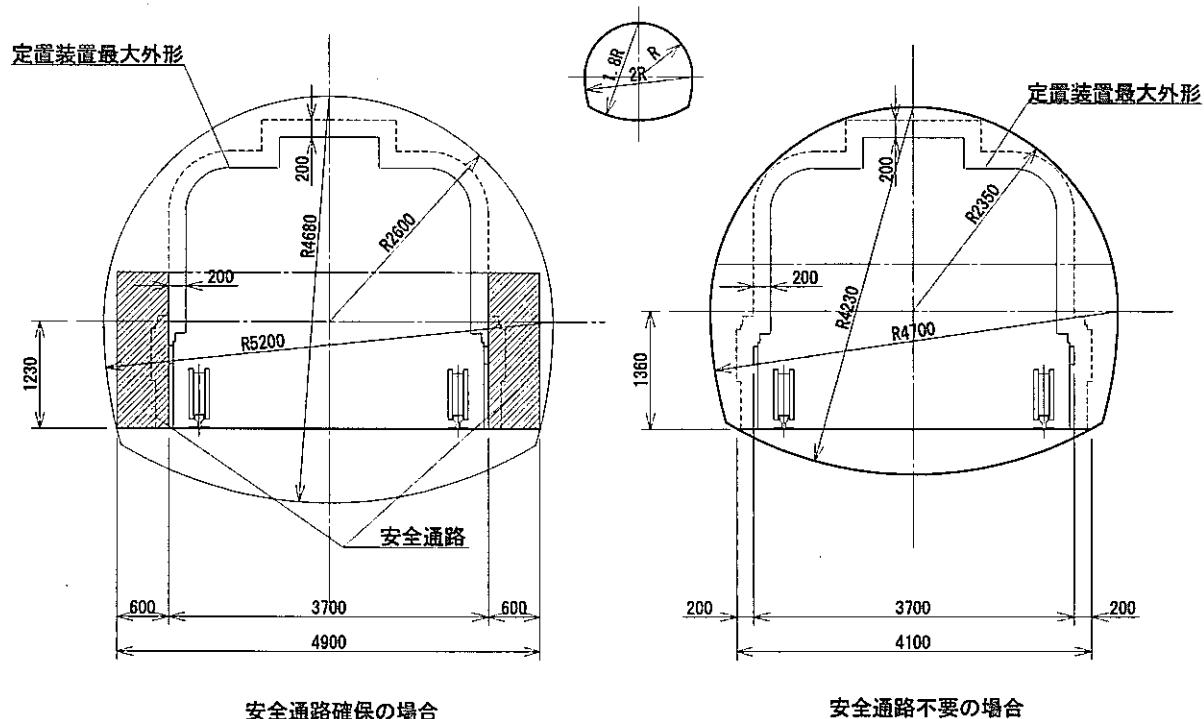
となり、安全通路を設置する場合には、前提条件で提示した坑道形状に収まらない。

そこで、安全通路を片側のみとした場合を考えると、

上部 R 2500 mm，側壁 R 5000 mm，下部 R 4500 mm

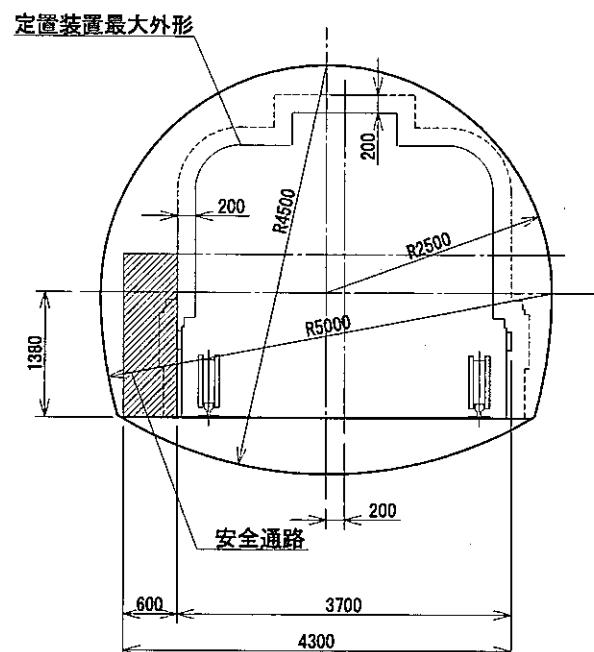
となり、前提条件で提示した坑道形状に収まる。

検討結果を図 4-23, 図 4-24 に示す。



単位 : mm

図 4-23 最小坑道断面形状（軟岩系岩盤：安全通路を両側に設置）



安全通路（片側）確保の場合

単位：mm

図 4-24 最小坑道断面形状（軟岩系岩盤：安全通路を片側に設置）

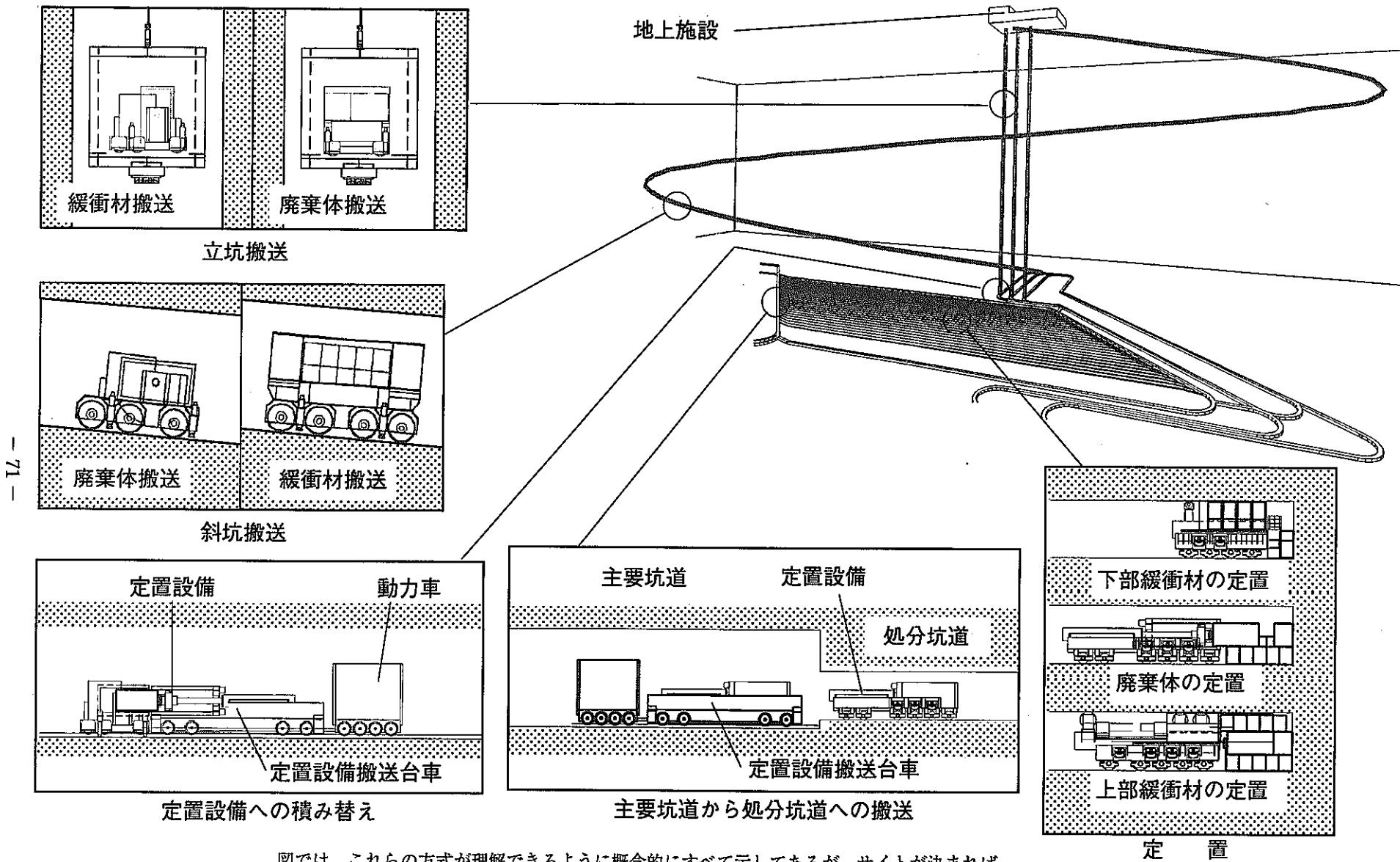
4.5 換気設備その他

地上施設の換気設備は、建屋内の負圧維持による外部への放射性物質の放出防止、排気の浄化による周辺環境の防護、施設機能の維持（発熱の除去、凍結防止）および従事者に対する適切な作業環境の維持など、既存の原子力関連施設と同様な考え方で設計が可能と考えられる。

一方、アクセス施設および地下施設では、坑道の建設と建設済み区画への廃棄体定置作業が並行して行われることから、後述する管理区域の考え方との整合が重要である。実際には海外の検討例（L.Grondin, 1994）にも示されているように、換気系統を建設区画と処分区画とで完全に独立させ2系統とすることが適切と考えられる。手段としては換気扉やエアロックの使用が考えられるが、円滑な物流を損なうことがないよう配慮が必要である。また、換気設備は管理区域の考え方とも密接に関連することから、管理区域の移動にも柔軟に対応可能なシステムの構築が重要となる。

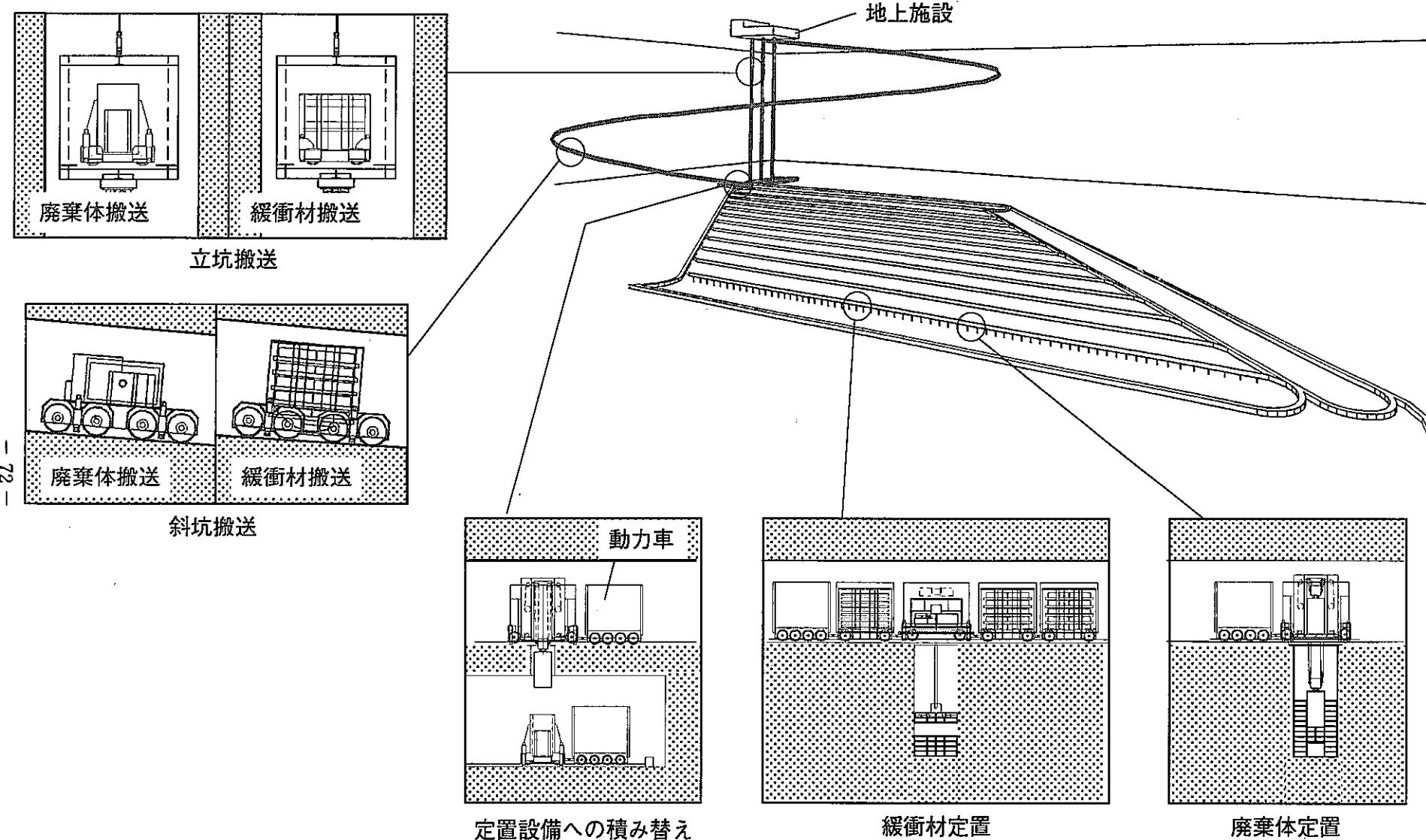
4.6 システム全体概念

以上のとおり構築した人工バリア定置までの設備構成を処分坑道横置き定置方式の場合については図4-25に、処分孔豎置き定置方式の場合については図4-26に一例としてそれぞれ示す。



図では、これらの方程式が理解できるように概念的にすべて示してあるが、サイトが決まれば、
その地質環境条件や敷地条件なども考慮して、最適な方式あるいはその組み合わせが設定される。

図 4-25 定置システムの設備構成（処分坑道横置き定置方式の場合）



図では、これらの方程式が理解できるように概念的にすべて示してあるが、サイトが決まれば、
その地質環境条件や敷地条件なども考慮して、最適な方式あるいはその組み合わせが設定される。

図 4-26 定置システムの設備構成（処分孔堅置き定置方式の場合）

5. 操業スケジュール

ここでは処分場の操業に必要となる施設・設備の系列数、および操業1日あたりのタイムスケジュールについて検討した。

5.1 系列数検討

5.1.1 地上施設

地上施設の各工程ごとに必要となる設備機器の系列数を検討した。

①キャスク受入工程

返還固化体用の輸送キャスクを想定した場合、ガラス固化体の収納数量が28本であり、ガラス固化体の抜き出しに要する日数は、受入1日、抜き出し1日、搬出1日で計3日である。処分場で処分する廃棄体（ガラス固化体）の数量は坑道横置き定置の場合で4本／日、処分孔堅置き定置の場合で5本／日であり、1週間に1キャスク分と考える。キャスク受入工程の機器は1系列とする。

②ガラス固化体抜き出し工程

キャスク受入工程と同様に各機器を1系列有する設備とする。

③キャスク払出し工程

キャスク受入工程と同様に各機器を1系列有する設備とする。

④ガラス固化体受入れ工程

キャスク受入工程と同様に各機器を1系列有する設備とする。

⑤空オーバーパック受入／搬送工程

空オーバーパックの受入は直接作業であるため、大規模な機器は必要としない。また、1日4本ないし5本の受入数量であるため各機器を1系列有する設備とする。

⑥オーバーパック封入工程

オーバーパックの封入設備のうち、溶接機に関しては設備系統数の検討が必要である。オーバーパックの溶接にはおよそ6.5時間を要するものとした。オーバーパックの搬送や溶接の段取りに要する時間を考慮すると、溶接機1台で1日1体のオーバーパック処理が限度であり、溶接機は4系列ないし5系列必要である。

⑦廃棄体検査工程

a. UT検査装置系列数

UT検査にはおよそ4時間を要するものとした。段取りなどの時間を考慮すると、UT検査装置1台で1日2体の廃棄体検査が限度であり、UT検査装置は2系列ないし3系列必要である。

b. ヘリウムリーク試験装置系列数

ヘリウムリーク試験には1時間要する。UT検査終了後に処理をするため、ヘリウム試験装置は2系列必要である。

⑧台車系列数

溶接機とUT検査装置、ヘリウムリーク試験装置で同時に処理する廃棄体が8体（処分孔豎置き定置で10体）であり、ガラス固化体の挿入および払出にそれぞれ1台稼働すると考えて、10台（処分孔豎置き定置で12台）必要である。

⑨廃棄体搬出

地上施設の固定機器（クレーンなど）は各機器を1系列有する設備とする。キャスクカートについては4系列ないし5系列とする。

5.1.2 アクセス施設

①アクセス坑道

アクセス坑道は立坑搬送、斜坑搬送とともに搬送工程の独立性を考慮し廃棄体搬送用に1本、緩衝材搬送用に1本、換気用に1本の合計3本必要と考えられる。

②立坑搬送機器

立坑搬送の場合、立坑エレベータは廃棄体搬送に1基、緩衝材搬送用に1基必要となる。搬送用車両は廃棄体の1日の処分本数から4～5系列必要と考えられる。

③斜坑搬送機器

斜坑搬送の場合は立坑と同様に、廃棄体搬送車両及び緩衝材搬送車両とともに4～5系列必要と考えられる。

5.1.3 地下施設

①廃棄体定置装置

搬送用動力車が4～5系列、定置装置本体4～5系列必要と考えられる。坑道横置き定置の場合はさらに定置装置搬送用台車が4～5系列必要となる。

②緩衝材定置装置

定置装置本体は上部緩衝材用、下部緩衝材用でそれぞれ4～5系列づつ必要となる。したがって動力車は倍の8～10系列必要となる。坑道横置き定置の場合は搬送台車横置き定置の場合はさらに定置装置搬送用台車が8～10系列必要となる。

5.2 タイミングチャート

これまでの検討結果をもとに、地上施設、アクセス施設、地下施設の各ハンドリング工程に掛かる作業時間を検討し、操業1日あたりのタイミングチャートを作成した。表5-1～5-3に示す。なお地下施設についてはブロック、廃棄体1本分のハンドリングについての検討を行った。

表 5-1 (1/3) 地上施設ハンドリング工程

工程／作業名称	分	機器名称	時間																								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
キャスク受入工程																											
搬入準備作業	20	キャスクトレーラ																									
キャスク受入	10																										
外観検査	10																										
キャスク仮置き	20	キャスク受け入れ室 天井クレーン																									
衝撃吸収カバー取外し	70																										
キャスク搬起こし	30																										
台車上へ搬送	20	キャスク搬送台車																									
キャスク固定	70																										
台車移動	20																										
内部ガス検査	365																										
ガラス固化体抜出し工程																											
蓋ボルト取外し	60	キャスク検査室 天井クレーン																									
台車移動	20	キャスク搬送台車																									
キャスク蓋取外し	20	ガラス固化体検査室 天井クレーン																									
ガラス固化体抜出し (28本)	15/本	ガラス固化体検査室 天井クレーン																									
キャスク蓋取付け	20	ガラス固化体検査室 天井クレーン																									
台車移動	10	キャスク搬送台車																									
キャスク搬出工程																											
キャスク蓋取外し	20	キャスク検査室 クレーン																									
内部汚染検査	600	内部汚染検査装置																									
キャスク蓋取付け	20	キャスク検査室 クレーン																									
蓋ボルト締め	60	キャスク搬送台車																									
台車移動	10																										
キャスク固定解除	70																										
キャスク搬送	20	キャスク受入室 天井クレーン																									
キャスク横倒し	60																										
衝撃吸収カバー取付	70																										
キャスク搬送	20																										
キャスク搬出検査	10	トレーラ																									
キャスク搬出	10																										

表 5-1 (2/3) 地上施設ハンドリング工程

■ 廃棄体：1本目
■ 廃棄体：3本
□ 廃棄体：2本目[▲] 廃棄体：4本目
— 廃棄体：5本目

工程／作業名称	分	機器名称	時間																								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
ガラス固化体受入工程																											
ガラス固化体搬送	10	ガラス固化体検査室 テレスコピックレーン																									
発熱量測定	30	発熱量測定装置																									
外観検査	60	外観検査装置																									
寸法・重量検査	20	寸法・重量測定装置																									
放射能量測定	45	放射能量測定装置																									
表面汚染検査	120	表面汚染検査装置																									
閉じ込め検査	170	閉じ込め検査装置 (2~3体まとめ)																									
閉じ込め検査(分析)	210	—																									
空オーバーパック搬送工程																											
空オーバーパック受入	10	トレーラ																									
養生取り外し	30	—																									
空オーバーパック搬送	60	キャスク受け入れ室 天井クレーン																									
空オーバーパック搬送	10	搬送台車																									
空オーバーパック仮置	30	オーバーパック保管室 天井クレーン																									
オーバーパック封入工程																											
空オーバーパック搬送	10	オーバーパック保管室 天井クレーン																									
空オーバーパック搬送	10	オーバーパック搬送台車																									
オーバーパック上蓋取外し	20	オーバーパック封入検査室 天井クレーンA																									
空オーバーパック搬送	10	オーバーパック搬送台車																									
ガラス固化体挿入	20	ガラス固化体検査室 テレスコピックレーン																									
オーバーパック搬送	10	オーバーパック搬送台車																									
オーバーパック蓋取付け	10	オーバーパック封入検査室 天井クレーンA																									
オーバーパック搬送	10	オーバーパック封入検査室 天井クレーンA																									
上部シール溶接 (準備含む)	390	自動溶接装置A																		一時冷却							
	390	自動溶接装置B																		一時冷却							
	390	自動溶接装置C																		一時冷却							
	390	自動溶接装置D																		一時冷却							
	390	自動溶接装置E																		一時冷却							

表 5-1 (3/3) 地上施設ハンドリング工程

廃棄体: 1本目
 廃棄体: 2本目
 廃棄体: 3本目
 廃棄体: 4本目
 廃棄体: 5本目
 待ち時間

工程/作業名称	分	機器名称	時 間																								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
廃棄体検査工程																											
廃棄体搬送	10	オペレーター封入検査室 天井クレーンB																									
UT検査	240	UT検査装置A																									
		UT検査装置B																									
		UT検査装置C																									
廃棄体搬送	10	オペレーター封入検査室 天井クレーンB																									
ヘリウムリーク試験	60	ヘリウムリーク 試験装置A																									
		ヘリウムリーク 試験装置B																									
廃棄体搬送	10	オペレーター封入検査室 天井クレーンB																									
反転	20	反転装置																									
廃棄体搬送	10	オペレーター封入・検査室 天井クレーンC																									
表面汚染密度検査	120	表面汚染密度検査装置 A																									
		表面汚染密度検査装置 B																									
廃棄体搬送	10	オペレーター封入・検査室 天井クレーンC																									
台車移動	10	廃棄体搬送台車																									
廃棄体仮置き	10	廃棄体搬送室 天井クレーン																									
廃棄体搬送工程(立坑)																											
遮蔽容器内挿入	20	搬送室クレーン																									
遮蔽容器蓋取付け	20																										
蓋ボルト締付け	60	—																									
搬送台車移動	20	造へい容器搬送台車																									
エレベーターに固定	10	立坑エレベーター																									
地下施設へ																											
廃棄体搬送工程(斜坑)																											
遮蔽容器内挿入	20	搬送室クレーン																									
遮蔽容器蓋取付け	20																										
蓋ボルト締付け	60	—																									
遮蔽容器積込み	40	搬送室クレーン																									
斜坑搬送装置に固定	10	斜坑搬送台車																									
地下施設へ																											

表 5-2 アクセス施設ハンドリング工程

■ 廃棄体：1本目 ■ 廃棄体：3本
■ 廃棄体：2本目 ■ 廃棄体：4本目

工程／作業名称(分)	機器名称	時	間	時	間	時	間	時	間	時	間	時	間	時	間	時	間	時	間	時	間	時	間	時	間	時	間	時	間	時	間
立坑エレベーター		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24						
搬送台車(立坑装復)固定	10 立坑エレベーター			■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□
搬送(立坑エレベーター)	10 ↓			■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□
搬送台車(立坑装復)取外	10 -			■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□
搬送台車移動	10 違へい容器搬送台車			■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□
—返却工程—																															
搬送台車(空) 固定	10 立坑エレベーター			■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□
搬送(立坑エレベーター)	10 ↓			■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□	■	□

表 5-3 (1/2) 地下施設ハンドリング工程

工程／作業名称	分	機器名称	時間	
---------	---	------	----	--

下部緩衝材搬送～定置		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
緩衝材移し替え		10	定置装置搬送台車																						
緩衝材搬送（主要坑道）		60																							
緩衝材搬送（処分坑道）		20																							
定置装置位置決め		10																							
緩衝材定置		15*4																							
定置位置確認		10																							
定置装置返送（処分坑道）		10																							
定置装置返送（主要坑道）		30	定置装置搬送台車																						

廃棄体搬送～定置		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
廃棄体移し替え		10	定置装置搬送台車																						
廃棄体搬送（主要坑道）		60																							
廃棄体搬送（処分坑道）		20																							
定置装置位置決め		10																							
廃棄体定置		40																							
定置位置確認		10																							
定置装置返送（処分坑道）		10																							
定置装置返送（主要坑道）		30	定置装置搬送台車																						

表 5-3 (2/2) 地下施設ハンドリング工程

工程／作業名称	分	機器名称	時間																								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
上部緩衝材搬送～定置																											
緩衝材移し替え	10	定置装置搬送台車																									
緩衝材搬送（主要坑道）	60																										
緩衝材搬送（区分坑道）	20	定置装置																									
定置装置位置決め	10																										
緩衝材定量	30																										
定位置位置確認	10																										
定置装置返送（区分坑道）	10																										
定置装置返送（主要坑道）	30	定置装置搬送台車																									
中間部緩衝材搬送～定置			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
緩衝材移し替え	10	定置装置搬送台車																									
緩衝材搬送（主要坑道）	60																										
緩衝材搬送（区分坑道）	20	定置装置																									
定置装置位置決め	10																										
緩衝材定量	40																										
定位置位置確認	10																										
定置装置返送（区分坑道）	10																										
定置装置返送（主要坑道）	30	定置装置搬送台車																									

6. 操業における放射線管理

放射性廃棄物を取り扱う地層処分場の操業では作業の安全確保のため放射線の適切な管理が必要になる。ところが現状地層処分事業に対する法的規制は存在しないため、以下の検討においては、廃棄物埋設事業および廃棄物管理事業に適用されている「核原料物質、核燃料物質および原子炉の規制に関する法律（昭和 32 年 6 月 10 日法律第 166 号）」（以下、「炉規制法」という。）を参考に、地層処分における各施設に対する放射線管理区域の設定の考え方について検討を行った。

6.1 管理区域設定の基本的考え方

炉規制法では、以下の①～③の条件のいずれかを超えるおそれのある区域を管理区域とすることが定められている。

① 外部放射線に関わる線量当量

1 週間につき $300 \mu \text{Sv}$

② 空気中の放射性物質濃度

1 週間にについての平均濃度が科学技術庁告示第 20 号別表第 1 第 4 欄の濃度の 3/10

③ 表面汚染密度： 放射性物質によって汚染されたものの表面の放射性物質の密度が科学技術庁告示第 20 号第 5 条表面密度限度の 1/10

ここで、①は外部被ばくに、②と③は内部被ばくに関わる条件である。すなわち管理区域は、各施設を空間線量当量の大小、汚染の可能性の大小によってそれぞれレベル分けした上で設定されることとなっている。

(1) 地上施設

地上施設における管理区域の設定については、キャスク（ガラス固化体輸送容器）、ガラス固化体および廃棄体（ガラス固化体を封入したオーバーパック）を取扱うことから、これらから発せられる放射線の線量当量率とそれぞれの汚染の可能性に応じて各区域をレベル分けすることにより管理区域を設定する。

レベル区分は六ヶ所村再処理施設、廃棄物管理施設（日本原燃（株））での設計実績を参考に以下のように設定する。表 6-1 に空間線量当量率についての遮へい設計区分（レベル I 1～I 5）を、表 6-2 に表面に関する汚染区分（レベル C1～C4）を示す。

表 6-1 遮へい設計区分（出典：廃棄物管理事業許可申請書）

区 分		基準線量当量率
管理区域外	I 1 : 管理区域外	$\leq 6 \mu\text{Sv/h}$
管理区域内	I 2 : 週 48 時間以内しか立ち入らない場所	$\leq 10 \mu\text{Sv/h}$
	I 3 : 週 10 時間程度しか立ち入らない場所	$\leq 50 \mu\text{Sv/h}$
	I 4 : 週 1 時間程度しか立ち入らない場所	$\leq 500 \mu\text{Sv/h}$
	I 5 : 通常は立ち入らない場所	$> 500 \mu\text{Sv/h}$

注) 上表の区分欄に示す時間は毎週必ず作業が行われるわけではなく、立入りに対する制限は線量当量率、作業に要する時間個人の線量当量等を考慮して決定する。

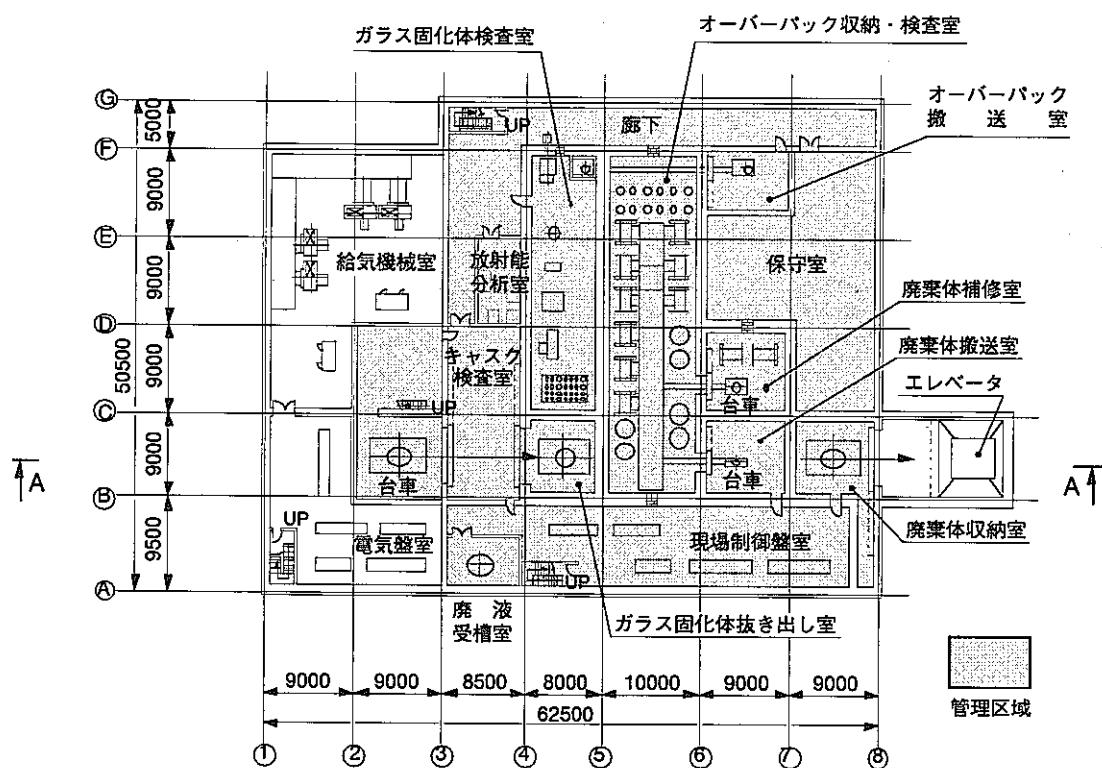
表 6-2 汚染区分

区 分		汚染の程度
管理区域外	C1 : 管理区域外	汚染の可能性なし
管理区域内	C2 : 汚染のおそれ、程度が小	汚染の可能性と程度を考慮して設定する。
	C3 : 汚染のおそれ、程度が中	
	C4 : 汚染のおそれ、程度が大	

これらをもとに地上施設の主な区域に対する管理区域の設定例を表 6-3、図 6-1 に示す。ここで、廃棄物搬送動線、換気経路および区域と区域を結ぶ廊下等は運用のしやすさを考慮して便宜上管理区域と設定する。

表 6-3 地上施設の管理区域の設定例

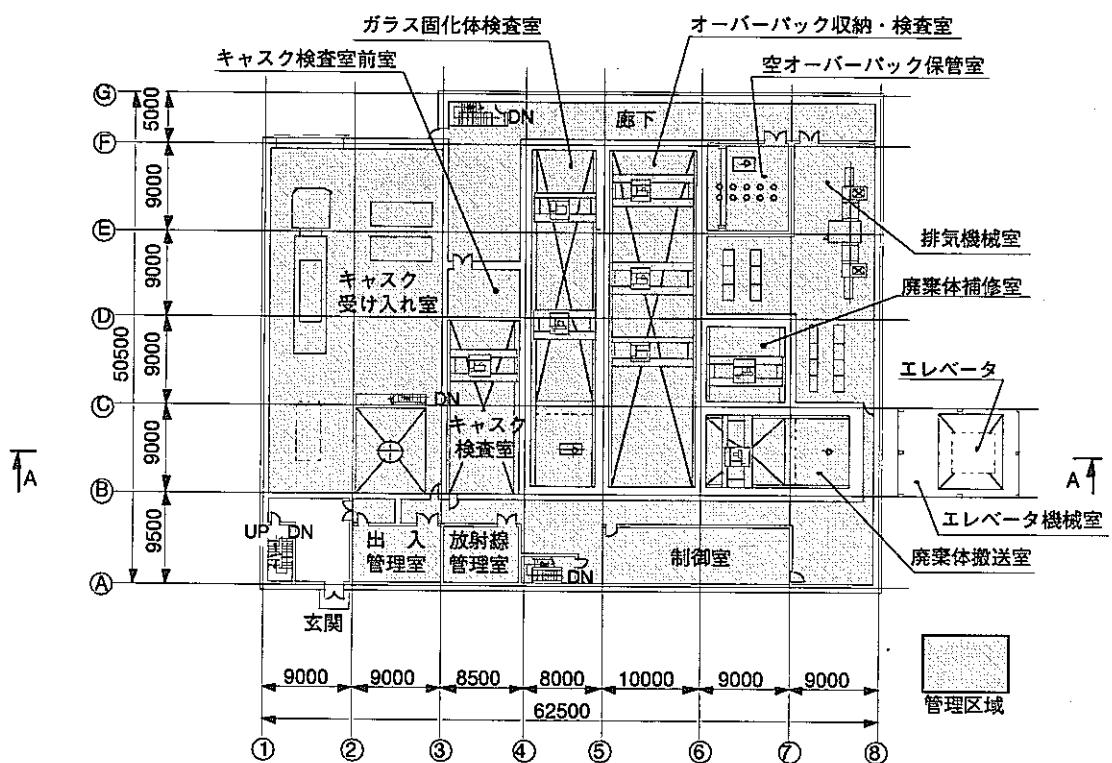
区 域	遮へい設計区分	汚染区分	備 考
ガラス固化体を収納した キャスクを取扱う区域	蓋取り外し前	I 4	C1
	蓋取り外し後		C2 以上
ガラス固化体を 取扱う区域	検査前	I 5	C2 以上
	検査後		C1
廃棄体を取扱う区域	I 5	C1	管理区域
廃棄体を収納した搬送装置を取扱う区域	I 4	C1	管理区域



地下1階

単位: mm

図 6-1 (1/2) オーバーパック封入施設に対する管理区域の設定例



1階

単位: mm

図 6-1 (2/2) オーバーパック封入施設に対する管理区域の設定例

(2) アクセス施設および地下施設における管理区域

アクセス施設および地下施設では廃棄体として汚染の無いことが確認されたものだけを受入れるため、基本的には汚染の可能性のない施設と位置付けられる。このことからアクセス施設および地下施設においては、廃棄体から発せられる放射線の線量当量率のレベル分けのみで管理区域を設定することが可能と考えられる。炉規制法第51条の16第1項および第2項に定められている事業所内の運搬に関する措置に基づけば、搬送物又は搬送車両の表面において 2 mSv/h 以下および表面から 1 m の位置において $100 \mu \text{Sv/h}$ 以下（以下、「輸送基準」という。）であれば搬送経路を管理区域として設定する必要はない。

前述した定置システムの概念構築に際しては、アクセス坑道を含めた地下坑道内の廃棄体搬送には、輸送基準を満足するだけの能力を有する遮へい機能付きの搬送設備を用いることを前提として検討している。したがって、アクセス施設および地下施設においては、廃棄体が直接暴露するアクセス施設坑底での廃棄体の積み替え区域と定置作業を行う処分坑道のみを管理区域として対応が可能と考えられる。

地上施設から地下施設までの廃棄体の搬送、定置の各工程において予想される最大空間線量当量率を設定する。

表 6-4 工程毎の最大空間線量当量

工 程	対象施設	遮へい上の取り扱い	最大空間線量当量率
搬送工程	アクセス坑道	廃棄体は搬送装置その他に付属の遮へい装置にて遮へいされる	2 mSv/h 以下
	主要坑道		
	連絡坑道		
積み替え工程	地下施設内 廃棄体積み替え施設	廃棄体が暴露する	数 mSv/h 程度
定置工程	処分坑道	定置直後は廃棄体が暴露する	数 mSv/h 程度

廃棄体の暴露する工程が含まれる地下施設内廃棄体積み替え施設および処分坑道においては空間線量当量率が数 mSv/h 程度となり、地上施設の管理区域検討で設定した管理区域の境界条件である $6 \mu \text{Sv/h}$ を超えるため管理区域に設定する必要があるものと考えられる。

一方、搬送工程が含まれるアクセス坑道、主要坑道および連絡坑道については最大空間線量当量率が 2 mSv/h 程度となるものの廃棄体搬送装置が通過するのみであり輸送基準に準じて作業員の廃棄体への接近等を制限すれば必ずしも管理区域に設定する必要はない。

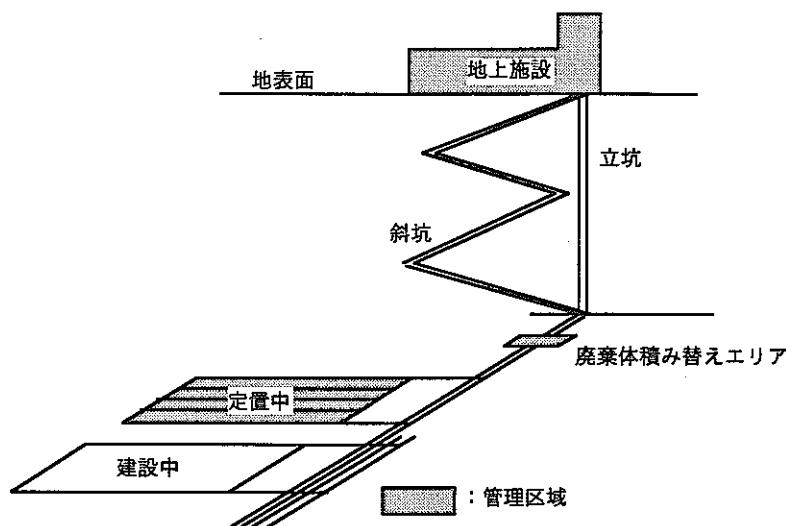


図 6-2 管理区域の設定例

また、施設レイアウトの都合上管理区域が点在するような場合、作業員、物品の出入り管理が煩雑になることが考えられるが、管理区域に指定する必要のない区域を管理区域に設定することで施設全体の操業効率を向上させる対応も考えられる。

6.2 管理区域の移動

現状の地層処分事業のコンセプトでは、地下の処分区画の建設、建設済み区画への廃棄体定置、および定置の完了した区画の埋め戻し作業が並行して行われる。廃棄体定置の完了した区画は随時埋め戻され、廃棄体の定置作業は次の区画へと移行していくことになる。したがって地層処分事業における地下施設に対しては、廃棄体定置の完了した区画（又は坑道）は緩衝材の定置に伴い空間線量率が十分に低下した時点で管理区域を解除し、放射線管理に関わる設備類を撤去するとともに、次の定置区画（又は坑道）を管理区域とするためこれらを移動していく方法が考えられる。

(1) 移動単位

先に示した設備概念に基づき廃棄体1体当たりの定置に要する作業時間を評価すると、40,000本の廃棄体を40～50年で定置する現状の処分事業計画では、4～5本の処分坑道において同時に定置作業を進めていくことが必要となることから、管理区域として管理が必要な範囲、すなわち上述の管理区域の移動単位は少なくとも処分坑道4～5本毎となる。

管理区域の移動の概念を図6-3に示す。

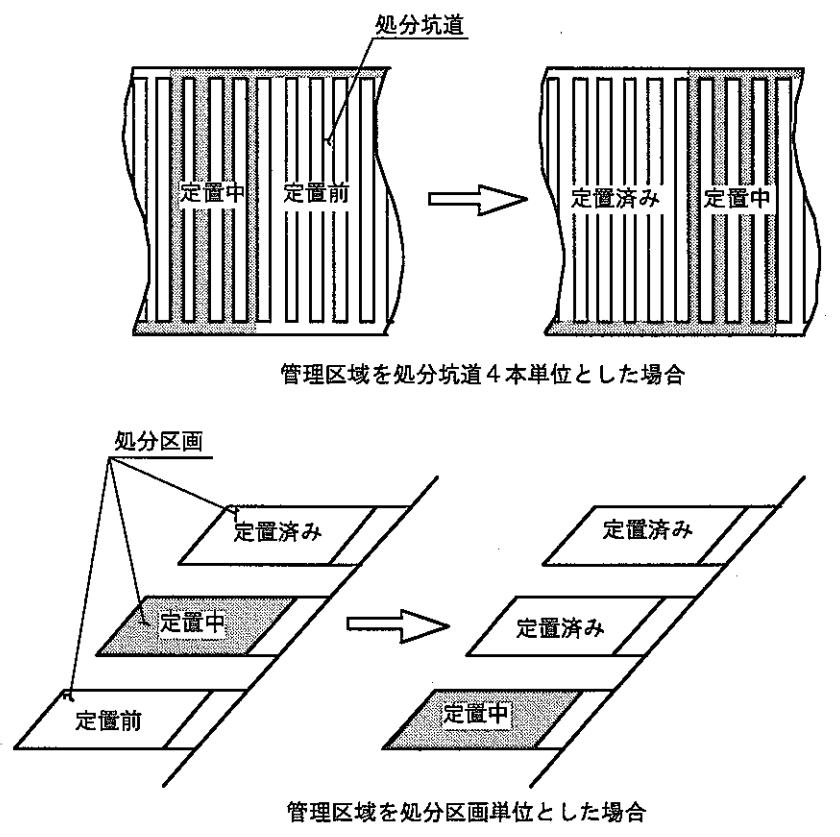


図 6-3 管理区域の移動の概念

(2) 移動単位と移動頻度

上述のように処分坑道4～5本単位で管理区域を移動させる場合の他に、処分パネル毎に移動させていく事も可能である。両者を比較すると、前者では管理区域範囲が小さいため管理自体の負担は最小限に抑えることが可能であるが、管理区域の移動頻度が増すために設備の撤去・再設置などの負担が後者よりも大きくなることが考えられる。その反面、後者では管理区域範囲が広くなるため管理自体の負担は増加するが管理区域移動についての負担は前者に比べて小さい。いずれの方法が適切であるかについては処分場全体のシステムとしての運用性や経済性についての考慮が必要であり、今後検討を要する。

6.3 管理区域での管理項目

一般的に、放射線管理区域内における管理事項としては、

- ・壁、柵、扉などによる区画
- ・標識の設置
- ・人の出入り管理
- ・物品の搬出入管理
- ・飲食、喫煙の禁止

などの他、放射線モニタリングに関わるものとして、

- ・個人モニタリング
- ・空間線量モニタリング
- ・空気汚染モニタリング
- ・排水汚染モニタリング
- ・表面汚染の測定

などが挙げられる。これらの項目についての管理・測定を系統的かつ定期的に実施し安全を確認する。

地上施設（オーバーパック封入施設）では、外部被ばく（空間線量）と内部被ばく（汚染）の両方の観点から適切な管理が必要となるが、既存の原子力施設と同様な管理方法で十分に対応が可能と考えられる。

一方、アクセス施設および地下施設は、すでに述べたとおり放射性物質による汚染の可能性のない施設としての取り扱いが可能と考えられ、基本的には外部被ばくに対する管理が重要となる。しかしながら、安全が確保されていることの確認という意味において、汚染に関わるモニタリングについても適切に実施することが望ましい。

6.4 放射線管理に必要な設備

処分場の操業段階における放射線管理には、以下の表 6-5 に示す設備が必要になると考えられる。

表 6-5 放射線管理に必要な設備

分類	設備	目的
出入り管理設備	ハンドフットモニタ、更衣設備、退出モニタ、サーベイメータ	管理区域への作業者、物品の出入り管理
放射線監視設備	エリアモニタ、ダストモニタサンプリング装置等	管理区域内の放射線量、放射能濃度の監視
試料分析設備	放射能分析装置、化学分析装置	管理用試料の分析
個人管理用設備	フィルムバッヂ、ホールボディカウンタ	作業者の被ばく管理
放射線防護具類	防護服、マスク、呼吸器	作業者の放射線防護

7. 想定事故事象

7.1 想定される事故事象

処分場の操業段階で発生する可能性のある事故事象について、気象条件、地質条件、設備条件、作業条件など発生要因別に想定される事象をまとめる。

(1) 気象条件から想定される事故事象

気象条件を要因とする想定事故事象を表7-1に示す。台風などによる強風による地上施設の損壊、集中豪雨による坑内水の増加、洪水による坑道の水没、また豪雪による地上施設の損壊、落雷による電子機器の故障、火災などが考えられる。

表7-1 気象条件から想定される事故事象

要因	想定される事故事象
台風、集中豪雨、洪水	地上施設損壊、地下施設の水没
豪雪	地上施設損壊
落雷	火災、停電、電子機器の故障

(2) 作業環境条件から想定される事故事象

作業環境条件を要因とする想定事故事象を表7-2に示す。廃棄体取扱い作業ではガラス固化体の損傷による放射性物質の漏えいと環境・人体への汚染が考えられる。

坑内環境汚染については、緩衝材取り扱い作業によるペントナイト粉末の飛散などから作業者の塵肺の発生の可能性がある。また並行して行われる建設作業からの騒音は難聴の原因となる。廃棄体の定置作業では作業空間が狭いいため、搬送定置車両への挟まれ事故や巻き込まれ事故が考えられる。また定置作業により換気断面の縮小や換気経路の遮断等が考えられ、十分な換気が確保されない場合には酸欠等の可能性がある。

表7-2 作業環境条件から想定される事故事象

要因	想定される事故事象
廃棄体取扱い作業	放射性物質の漏えいによる施設の汚染と人体への被ばく
高騒音作業	難聴
坑内環境汚染	粉塵による塵肺、酸欠、ガス中毒
作業空間	接触事故（車両による挟まれ、巻き込まれ）

(3) 設備条件から想定される事故事象

設備条件を要因とする想定事故事象を表 7-3 に示す。

表 7-3 設備条件から想定される事故事象

要 因	想定される事故事象
電力設備 (発電・給電・送電)	漏電, 感電 各設備の機能喪失
荷役設備	搬入・搬出物の落下, 廃棄体, 緩衝材の落下による破損, 接触事故
廃棄体搬送・定置設備	搬送車両の逸走, 衝突, 脱線, 転覆 エレベータ落下
給排水設備	作業環境悪化, 火災時の災害拡大 坑道の水没, 周辺環境の汚染
換気設備	酸欠, ガス中毒
通信設備	事故の発生と拡大, 避難の遅れ
保安設備	事故の発生

(4) 地質条件から想定される事故事象

地質条件から想定される事故事象は例えば岩盤の崩壊, 落盤, 地下水の異常出水などが考えられる。崩壊, 落盤などの事象は, 坑道の掘削段階や支保が完全でない場合において発生する可能性が高い。ただし操業段階においても無支保の坑道や一時的に支保を撤去した箇所等では崩壊落盤の発生を考慮する必要がある。また地下水の異常出水は坑道の掘削により地下水位が低下した操業段階では発生の可能性は低いと考えられるが, 他の建設段階の区画からの出水により操業段階の区画への流入と水没の可能性がある。

7.2 事故対策への取り組み

以上処分場の操業段階において発生要因別に想定される事故事象をまとめた。これらの想定事故事象のうち, 高レベル放射性廃棄物処分場の操業段階において特徴的であり, 特に注意されるべき事象は, 廃棄体搬送に関わる事象(クレーンからの落下, エレベータの落下, 搬送車両の逸走等)による 廃棄体損傷および放射性物質漏えいによる作業者の被ばくである。これら対策への取り組みとしては 今後より詳細な仕様(処分場, 操業用機器)の明確化, 想定不具合の分析による設計へのフィードバックが重要である。

地下の処分場での事故事象は各自単独で発生, 収束するものではなく, 別の事象の発生へ波及し被害の拡大をまねく可能性を有する。したがってこれら操業段階に想定される事象に対する対処のみならず建設, 閉鎖作業での事象と関連させ対策を講じることが重要と考えられる。

8. まとめと今後の課題

ここまでに示した、ガラス固化体の受け入れから人工バリア定置までの作業内容とそれらに関わる施設および設備は、あくまでその概念を一例として提示したものであり、その実用化に際しては、開発、検証すべき課題がいくつか存在する。

まず地上施設については、オーバーパックの封入に関して、遠隔操作による蓋の溶接および溶接部の検査の施工性、装置の耐放射線性や欠陥発生時の補修方法も含めた検証が必要と考えられる。本検討では欠陥の見つかったガラス固化体は封入施設より搬出し別施設で補修するものとしたが、仮に同一施設内で補修工程を設置する場合は、ガラス固化体に対する健全性の考え方を明確にするとともに必要となる判定基準、検査項目を設定のうえ補修の種類や程度、必要となる設備を検討する必要がある。同様に廃棄体補修については、表面線量当量率が高いため補修作業は遠隔作業となる。作業としてはオーバーパックの補修溶接、変形部分の削除などが考えられる。オーバーパックの変形がどの程度まで許容されるのか、また交換となった場合のガラス固化体を抜き出したオーバーパックの処置（放射性廃棄物とするか否か）など、基準策定も含めて今後検討が必要である。

アクセス施設については、搬送技術そのものは既存の技術の延長上にありその実用化は比較的容易と考えられる。しかしながら、廃棄体を積載し大深部への往復を行う施設であるため、エレベータの落下や斜坑搬送車両の制御喪失時の対策などの安全性についての確認や、一連の搬送作業の遠隔化に向けた実規模試験も必要となる。

地下施設については、廃棄体定置技術に関して、廃棄体および緩衝材の施工方法および施工品質（定置状態）遠隔操作性について実規模試験を通じた検証が必要となる。

その場合何をもって施工完了とするか（具体的な定置精度や施工品質の確認方法を含む）など、実施工時の品質管理方法について基準等の策定についても今後検討をする。

処分坑道横置き定置方式と処分孔豎置き定置方式を比較すると、前記の方法では、作業スペースなどより厳しい制約条件下での概念構築となっているため、例えば、定置に関わる各機構や処分坑道の内壁面をガイドとした走行技術など、検証すべき要素技術は処分孔豎置き定置方式の場合に比べ多く、基準の策定を含めた処分坑道仕様の明確化と実規模試験を通じた検証による設計へのフィードバックが実現性の可否判断に必要となる。

地下施設における放射線管理に関しては、地層処分に特有の問題として、地下施設の管理区域内から発生する湧水の取り扱いが挙げられる。既存の原子力関連施設では、管理区域から発生する固体および液体は放射性廃棄物として処理されているが、地下

坑道における湧水は恒常的なものであり、その起源の特定も困難である。したがって、湧水を放射性廃棄物とする場合には、施設全体を管理区域として設定する必要性が生じ管理上大きな負担となる。

また操業段階では管理区域内でのモニタリングが実施される。現状、閉鎖後の処分区画において放射性核種漏えいの有無を確認するためにモニタリングを実施する計画となっているが、相互に流用が可能なものは流用する設計とする方が合理的である。地下施設は基本的には汚染の可能性のない施設であるため、これら湧水の問題も含め、合理性の観点から処分場の放射線管理に対する新たな概念構築と基準策定が必要と考えられる。

謝 辞

本検討の実施にあたっては、株式会社大林組、石川島播磨重工業株式会社の諸賢に協力を得た。ここに謝意を表す。

参考文献

Nagra (1995) : Project Gewahr 1985, NGB 85-09

Autio et al., (1996) : Assessment of Alternative Disposal Concepts, POSIVA-96-12

SKB (1983) : Final Storage of Spent Nuclear Fuel-KBS-3, I General

土宏之 (1997) : 処分施設における廃棄体定置・ハンドリングの検討, 地層処分研究情報交換会 (INTEGRATE'97) 報告書, PNC TN1100 97-004

植田浩義 (1997) : 緩衝材の設計方法と設計例, 地層処分研究情報交換会 (INTEGRATE'97) 報告書, PNC TN1100 97-004

岡本二郎, 五月女敦, 原啓二 (1992) : 高レベル放射性廃棄物処分場の操業システム, PNC TN8410 92-167

千々松正和, 杉田裕, 雨宮清 (1999) : 緩衝材の製作・施工技術に関する検討, JNC TN8400 99-035

棚井憲治, 岩佐健吾, 長谷川宏, 郷家光男, 堀田政國, 納田勝 (1999) : 地層処分場のレイアウトに関する検討, JNC TN8400 99-044

杉田裕, 藤田朝雄, 棚井憲治, 長谷川宏, 古市光昭, 奥津一夫, 三浦一彦 (1999) : 地層処分場における地下施設の埋め戻し, JNC TN8400 99-039

本間信之, 千葉恭彦, 棚井憲治 (1999) : オーバーパック設計の考え方, PNC TN8400 99-047

総合エネルギー調査会原子力部会 (1999) : 総合エネルギー調査会原子力部会中間報告—高レベル放射性廃棄物処分事業の制度のあり方—

原子力委員会 (1998) : 原子力白書—平成10年版—, 大蔵省印刷局

日本原燃株式会社 (1992) : 六ヶ所再処理・廃棄物事業所再処理事業指定申請書 平成元年3月, 平成4年11月一部補正

電力中央研究所・電気事業連合会 (1999) : 高レベル放射性廃棄物地層処分の事業化技術

JNC TN8400 99-050

財団法人 原子力環境整備センター (1995) : 放射性廃棄物ハンドブック

動力炉・核燃料開発事業団 (1992) : 高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術
報告書 —平成3年度—, PNC TN1410 92-081

T N28V T型核燃料輸送物 設計承認申請書

日揮(株) (1990) : 地層処分における操業システムの研究 平成元年度, PNC SJ4281
90-001

核原料物質、核燃料物質および原子炉の規制に関する法律(昭和32年6月10日法律
第166号)

L.Grondin et al., (1994) : The disposal of Canada's Nuclear Fuel Waste : Preclosure Assessment
of a Conceptual System, N-03784-940010(UFMED), COG-93-6, Canada