PNC TJ4281 89-001(2)

処分場概念構築のための高レベル廃棄物物流評価研究

(動力炉・核燃料開発事業団　委託研究成果報告書)

(昭和63年度)

1989年1月

日揮株式会社

複製又はこの資料の入手については，下記にお問い合わせ下さい。
〒107　東京都港区赤坂１－９－13
動力炉・核燃料開発事業団
技術協力部　技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:Technical Evaluation and Patent Office, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 9-13, 1-chome, Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107, Japan

動力炉・核燃料開発事業団（Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation）

PNC TJ4281 89-001(2)

1989年1月

処分場概念構築のための高レベル廃棄物物流評価研究

要　　旨

高レベル廃棄物地層処分場の概念は，安全性，経済性等多くの要因により構築されるものであり，高レベル廃棄物の物流もその要因の一つであると考えられる。本研究では，物流を構成する種々の要素を検討することにより，物流が処分場に与える影響を明らかにすることとし，以下の検討を行った。

① 高レベル廃棄物の発生スケジュールの評価

原子力発電計画，再処理計画等を調査し，物流評価の基礎となるデータを得る。

② 高レベル廃棄物の物流評価

処分場内の物流シナリオを設定し，シナリオの主要なパラメータを変動させることにより，物流システムの運転性を検討する。

③ 処分場の運転スケジュールの評価

処分場の運転スケジュールが，高レベル廃棄物の貯蔵，処分に係わる経費に与える影響について検討する。

④ 処分場の概念の検討

物流システムの設備概念を想定し，想定事故が概念に与える影響を検討する。

＊　本報告書は日揮株式会社が動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果である。

PNC TJ4281 89-001(2)

JANUARY, 1989

Preliminary Study on Operation System Needed to Compose Geological Repository Concept for High-Level Waste

Abstract

Geological Repository Concept for High-Level Waste is injfluenced by many subjects ;e.g.safety,economics. In these subjects, Operation system occupies important part coresponding to the repository.

In this study ,asseing the items relating to operation system, work on following items has been excuted to clarify how operation system affects the repository concept.

①Estimation of the production schedule of the High Level Waste

Rserching on nuclear power genarting plan and reprocessing plan, We collect base data needed to asess operation system.

②Estimation of operation system of High Level Waste

Trying to establish operation scenario,we simulate operation of the repository.In this simulation with various parameters,we asess operationability of the repository.

③Estimation of operation schedule of High Level Waste

We asess how operation schedule affects economics of intermediate storage and disposal.

④Estimation of the repository concept

Trying to establish operation system facility,we asess how accident scenario affects the repository concept.

* Work performed by JGC Corporation under the auspices of the Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corp.

目　　次

1.　研究計画 …… 1－1

1.1　目　的 …… 1－1

1.2　高レベル廃棄物の発生スケジュール …… 1－1

1.3　高レベル廃棄物の物流評価 …… 1－2

1.4　処分場の運転スケジュール …… 1－2

1.5　処分場概念の検討 …… 1－2

2.　高レベル廃棄物の発生スケジュール …… 2－1

2.1　評価手順 …… 2－1

2.2　前提条件 …… 2－3

2.3　炉型導入シナリオ …… 2－5

2.4　発生スケジュールの評価 …… 2－7

3.　高レベル廃棄物の物流評価 …… 3－1

3.1　廃棄物の取り扱いフロー …… 3－2

3.2　評価条件 …… 3－16

3.3　計算方法と結果 …… 3－21

4.　処分場の運転スケジュール …… 4－1

4.1　操業条件 …… 4－1

4.2　コストデータ …… 4－6

4.3　評価結果及び検討 …… 4－8

5.　処分場概念の検討 …… 5－1

5.1　設備の概念 …… 5－8

5.2　事故事象の抽出 …… 5－66

5.3　事故発生後の影響の検討 …… 5－70

5.4　事故発生防止，拡大防止対策の検討 …… 5－82

5.5　技術開発項目 …… 5－103

6.　平成元年度の研究計画 …… 6－1

図のリスト

図２－１　評価手順の全体フロー …… ２－２
図２－２　発電規模予測 …… ２－９
図２－３　使用済み燃料の累積発生量とその内訳 …… ２－９
図２－４　使用済燃料の平均燃焼度 …… ２－10
図２－５　中間貯蔵必要量 …… ２－10
図２－６　高レベル廃棄物（ガラス固化体換算）の累積発生量 …… ２－11
図２－７　中間貯蔵量（2030年運開）（１／４） …… ２－18
図２－７　中間貯蔵量（2040年運開）（２／４） …… ２－18
図２－７　中間貯蔵量（2050年運開）（３／４） …… ２－19
図２－７　中間貯蔵量（2060年運開）（４／４） …… ２－19
図２－８　中間貯蔵量（2030年運開）（１／４） …… ２－21
図２－８　中間貯蔵量（2040年運開）（２／４） …… ２－21
図２－８　中間貯蔵量（2050年運開）（３／４） …… ２－22
図２－８　中間貯蔵量（2060年運開）（４／４） …… ２－22

図３－１　立坑の掘削費 (2) …… ３－７
図３－２　斜坑の掘削費 (2) …… ３－８
図３－３　廃棄物のハンドリングフロー（立坑） …… ３－14
図３－４　廃棄物のハンドリングフロー（斜坑） …… ３－15
図３－５　オーバーパックの概念図 …… ３－20
図３－６　稼働時間（1000M深） …… ３－25
図３－７　立坑本数（1000M深） …… ３－25
図３－８　稼働時間（500M深） …… ３－26
図３－９　立坑本数（500M深） …… ３－26
図３－10　稼働時間（1000M深） …… ３－29
図３－11　稼働時間（500M深） …… ３－29
図３－12　稼働時間（1000M深）（積み替え無し） …… ３－32
図３－13　稼働時間（500M深）（積み替え無し） …… ３－32

図３－14　斜坑と立坑の比較（1000m深）…… ３－34

図４－１　受け入れ速度による変化（10年冷却）（１／４）…… ４－10
図４－１　受け入れ速度による変化（30年冷却）（２／４）…… ４－10
図４－１　受け入れ速度による変化（50年冷却）（３／４）…… ４－11
図４－１　受け入れ速度による変化（70年冷却）（４／４）…… ４－11
図４－２　冷却年数による変化（1200本／年）（１／４）…… ４－12
図４－２　冷却年数による変化（1800本／年）（２／４）…… ４－12
図４－２　冷却年数による変化（2400本／年）（３／４）…… ４－13
図４－２　冷却年数による変化（3600本／年）（４／４）…… ４－13
図４－３　受け入れ速度による変化（10年冷却）（１／４）…… ４－16
図４－３　受け入れ速度による変化（30年冷却）（２／４）…… ４－16
図４－３　受け入れ速度による変化（50年冷却）（３／４）…… ４－17
図４－３　受け入れ速度による変化（70年冷却）（４／４）…… ４－17
図４－４　冷却年数による変化（1200本／年）（１／４）…… ４－18
図４－４　冷却年数による変化（1800本／年）（２／４）…… ４－18
図４－４　冷却年数による変化（2400本／年）（３／４）…… ４－19
図４－４　冷却年数による変化（3600本／年）（４／４）…… ４－19
図４－５　受け入れ速度による変化（10年冷却）（１／４）…… ４－22
図４－５　受け入れ速度による変化（30年冷却）（２／４）…… ４－22
図４－５　受け入れ速度による変化（50年冷却）（３／４）…… ４－23
図４－５　受け入れ速度による変化（70年冷却）（４／４）…… ４－23
図４－６　冷却年数による変化（1200本／年）（１／４）…… ４－24
図４－６　冷却年数による変化（1800本／年）（２／４）…… ４－24
図４－６　冷却年数による変化（2400本／年）（３／４）…… ４－25
図４－６　冷却年数による変化（3600本／年）（４／４）…… ４－25
図４－７　受け入れ速度による変化（10年冷却）（１／４）…… ４－28
図４－７　受け入れ速度による変化（30年冷却）（２／４）…… ４－28
図４－７　受け入れ速度による変化（50年冷却）（３／４）…… ４－29

図４－７　受け入れ速度による変化（70年冷却）（４／４）…… ４－29
図４－８　冷却年数による変化（1200本／年）（１／４）…… ４－30
図４－８　冷却年数による変化（1800本／年）（２／４）…… ４－30
図４－８　冷却年数による変化（2400本／年）（３／４）…… ４－31
図４－８　冷却年数による変化（3600本／年）（４／４）…… ４－31
図４－９　冷却年数による変化（５万円）…… ４－36
図４－９　冷却年数による変化（25万円）…… ４－36
図４－９　冷却年数による変化（50万円）…… ４－37
図４－９　冷却年数による変化（75万円）…… ４－37
図４－10　冷却年数による変化（５万円）…… ４－43
図４－10　冷却年数による変化（25万円）…… ４－43
図４－10　冷却年数による変化（50万円）…… ４－44
図４－10　冷却年数による変化（75万円）…… ４－44

図５－１　処分場における事故の考え方 …… ５－２
図５－２　処分場事故の検討フロー …… ５－７
図５－３　地上施設におけるハンドリングブロックフロー …… ５－10
図５－４　仏におけるハンドリング設計例 [1] …… ５－11
図５－５　廃棄物のメカニカルハンドリングフロー …… ５－12
（米　ユッカマウンテン）[2]（１／４）
図５－５　廃棄物のメカニカルハンドリングフロー …… ５－13
（米　ユッカマウンテン）（２／４）
図５－５　廃棄物のメカニカルハンドリングフロー …… ５－14
（米　ユッカマウンテン）（３／４）
図５－５　廃棄物のメカニカルハンドリングフロー …… ５－15
（米　ユッカマウンテン）（４／４）
図５－６　エレベータの種類 …… ５－19
図５－７　西独のＭＡＮ　ＧＨＨ社の立坑システム …… ５－21
図５－８　立坑の概念図（１／３）…… ５－24

図５－８　立坑の概念図（２／３）…… ５－25
図５－８　立坑の概念図（３／３）…… ５－26
図５－９　ホイストシステムの概念図（１／６）…… ５－27
図５－９　ホイストシステムの概念図（２／６）…… ５－28
図５－９　ホイストシステムの概念図（３／６）…… ５－29
図５－９　ホイストシステムの概念図（４／６）…… ５－30
図５－９　ホイストシステムの概念図（５／６）…… ５－31
図５－９　ホイストシステムの概念図（６／６）…… ５－32
図５－10　パッケージの搬送 …… ５－34
図５－11　各種の結電方式 …… ５－35
図５－12　第３レール方式の概念図 …… ５－37
図５－13　英国の中レベル廃棄物貯蔵施設における鉄道方式の検討 …… ５－38
図５－14　英国の中レベル廃棄物貯蔵施設における鉄道方式の検討 …… ５－39
図５－15　跨座型の懸念図 …… ５－42
図５－16　アプト式の構造 …… ５－44
図５－17　ストルブ式歯レール …… ５－45
図５－18　複線コース巻および単線コース巻 …… ５－46
図５－19　トラック牽引システム（１／２）…… ５－47
図５－19　トラック牽引システム（２／２）…… ５－48
図５－20　トラック牽引システムのハンドリング手順 …… ５－50
図５－21　トラック牽引システムの車両 …… ５－49
図５－22　ユッカマウンテンの定置方式 [2]（垂直）（１／２）…… ５－55
図５－22　ユッカマウンテンの定置方式 [2]（水平）（２／２）…… ５－56
図５－23　ハンフォードのハンドリング装置概念図 [6] …… ５－57
図５－24　最終貯蔵所における廃棄物キャニスター取扱（１／２）…… ５－58
図５－24　最終貯蔵所における廃棄物キャニスター取扱（２／２）…… ５－59
図５－25　ＫＢＳ－３のハンドリング概念図 [7] …… ５－60
図５－26　坑道定置方式 [3]（１／３）…… ５－62
図５－26　坑道定置方式 [3]（２／３）…… ５－63

図５－26　坑道定置方式 [3]（３／３） …… ５－64
図５－27　衝突速度と粒子の発生率（＜10μm） …… ５－72
図５－28　衝突速度と落下高さ [4] …… ５－76
図５－29　ガラス固化体の微粉発生率 [4] …… ５－77
図５－30　カナダで用いられている６本綱ケーペ式巻上装置 …… ５－84
図５－31　端階強制減速装置説明図 …… ５－86
図５－32　斜坑内退避線 …… ５－89
図５－33　暴走防止装置 …… ５－90
図５－34　遮蔽壁設置例 …… ５－91
図５－35　車両制動装置 …… ５－95
図５－36　トラック牽引システム制動装置 …… ５－96
図５－37　牽引システム制動装置 …… ５－97

表のリスト

表２－１　２０３０年までの再処理量予測 …… ２－12
表２－２　稼働中及び計画中のＬＷＲ（一部ＧＣＲを含む）の主要仕様 …… ２－13
表２－３　ＬＷＲを除く各炉型主要仕様 …… ２－14
表２－４　各炉型における１基当りの使用済燃料の年間発生量 …… ２－15
表２－５　ガラス固化体の発生量予測 …… ２－16

表３－１　廃棄物ハンドリング上の所要時間　（立坑） …… ３－４
表３－２　廃棄物ハンドリング上の所要時間　（立坑，地下積み込み） …… ３－５
表３－３　廃棄物ハンドリング上の所要時間　（斜坑） …… ３－６
表３－４　廃棄物ハンドリング上の所要時間　（処分孔定置） …… ３－11
表３－５　廃棄物ハンドリング上の所要時間　（坑道定置） …… ３－12
表３－６　物流の評価条件と結果（立坑） …… ３－23
表３－７　物流の評価条件と結果（斜坑） …… ３－28
表３－８　物流の評価条件と結果（斜坑，積み替えなし） …… ３－31

表４－１　処分場の操業条件（2030年ケース） …… ４－２
表４－１　処分場の操業条件（2050年ケース） …… ４－３
表４－１　処分場の操業条件（2070年ケース） …… ４－４
表４－２　廃棄物の処分密度と全坑道長 …… ４－６
表４－３　経済性評価データ …… ４－７
表４－４　中間貯蔵，処分費（貯蔵単価５万円） …… ４－９
表４－５　中間貯蔵，処分費（貯蔵単価25万円） …… ４－15
表４－６　中間貯蔵，処分費（貯蔵単価50万円） …… ４－21
表４－７　中間貯蔵，処分費（貯蔵単価75万円） …… ４－27
表４－８　中間貯蔵，処分費（貯蔵単価５万円） …… ４－32
表４－８　中間貯蔵，処分費（貯蔵単価25万円） …… ４－33
表４－８　中間貯蔵，処分費（貯蔵単価50万円） …… ４－34
表４－８　中間貯蔵，処分費（貯蔵単価75万円） …… ４－35

表４－９　中間貯蔵，処分費（貯蔵単価５万円）…… ４－39
表４－９　中間貯蔵，処分費（貯蔵単価25万円）…… ４－40
表４－９　中間貯蔵，処分費（貯蔵単価50万円）…… ４－41
表４－９　中間貯蔵，処分費（貯蔵単価75万円）…… ４－42

表５－１　事故の考え方 …… ５－４
表５－２　地上施設の搬送設備の種類 …… ５－16
表５－３　エレベータ安全装置類の機能 …… ５－20
表５－４　国内の立坑 …… ５－22
表５－５　線路の勾配（％）…… ５－40
表５－６　地上・地下搬送設備の種類 …… ５－52
表５－７　地下施設の搬送設備 …… ５－65
表５－８　地上設備における事故 …… ５－67
表５－９　地上・地下搬送設備における事故 …… ５－68
表５－10　地下施設における事故 …… ５－69
表５－11　事故発生確立の評価例 (5) …… ５－80
表５－12　事故発生後の影響 …… ５－81
表５－13　事故事象とその防止対策 …… ５－98
表５－14　事故発生防止，拡大防止対策 …… ５－102
表５－15　技術開発項目（１／５）…… ５－105
表５－15　技術開発項目（２／５）…… ５－106
表５－15　技術開発項目（３／５）…… ５－107
表５－15　技術開発項目（４／５）…… ５－108
表５－15　技術開発項目（５／５）…… ５－109

表６－１　物流システムに係る作業項目 …… ６－２

1. 研究計画

1.1 目 的

地層処分研究開発第2段階前半の目標である「地層処分システムの確立」のためには，処分場概念の構築が必要である。本研究は，処分概念を具体的に示すため，考え得る処分シナリオを設定し，概念に影響を及ぼす要因について各種解析を行う。高レベル廃棄物地層処分場の概念は安全性，経済性等様々な要因により構築されるものであり，高レベル廃棄物の物流もその要因の一つと考えられる。

物流としては，使用済燃料の発生から再処理・ガラス固化冷却のための中間貯蔵を経て処分場に到るまでの施設間の輸送・受け入れ・貯蔵量並びに処分場内での受け入れから固化体の定置に到るまでの廃棄物のフローが考えられる。

本研究は上記高レベル廃棄物の物流を評価して地層処分場の運転スケジュール，処分場アクセス方法等を検討することにより高レベル廃棄物の物流の観点から考えた地層処分場の概念を構築することを目的とし，以下の検討を行う。

① 高レベル廃棄物の発生スケジュール

② 高レベル廃棄物の物流評価

③ 処分場の運転スケジュール

④ 処分場概念の検討

⑤ 平成元年度の研究開発計画の作成

1.2 高レベル廃棄物の発生スケジュール

高レベル廃棄物の物流評価に必要となる前提条件・制約条件を調査して物流シナリオの構築に資する。

(1) 高レベル廃棄物発生スケジュールに係る前提条件

① 原子力施設開発計画

- 発電計画
- 再処理計画
- 高レベル廃棄物貯蔵計画
- その他

② 高レベル廃棄物特性

・ 燃料燃焼度

・ 再処理・ガラス固化工程

・ 固化体放射能量

・ 固化体発熱量

1.3 高レベル廃棄物の物流評価

廃棄物の物流評価のため，現状の知見に基づき物流シナリオを設定する。次に物流システムの主要なパラメータを変動させ，運転性に与える影響についてサーベイを行う。

(1) 立坑方式の運転性

(2) 斜坑方式の運転性

1.4 処分場の運転スケジュール

処分場の運転スケジュールが，中間貯蔵容量及び廃棄物の貯蔵・処分に係る経費に与える影響について，検討を行う。

(1) ガラス固化体冷却年数の影響

(2) 処分場受入速度の影響

1.5 処分場概念の検討

処分場の廃棄物物流システムが適切なものであるためには，事故発生をも十分考慮したものである必要がある。

物流システムの設備概念を想定し，想定事故が概念に与える影響を検討する。

(1) 放射線安全上の影響

(2) 経済的リスクに対する影響

2. 高レベル廃棄物の発生スケジュール

次節以降で行う高レベル廃棄物の物流の評価のための基礎データを与えるものとして，高レベル廃棄物の発生スケジュールについて検討した。以下にその詳細を示す。

2.1 評価手順

今回行った評価全体フローを，図２－１に示す。

炉型導入シナリオについては，現在得られる情報をもとに，2030年までのシナリオを設定した。考慮した炉型は，軽水炉（既存のもの），改良型軽水炉，プルサーマル，新型転換炉及び高速増殖炉である。

将来の発電規模予測及び再処理計画は，前提条件として所与のものであるとした。

このうち，まず，炉型導入シナリオと将来の発電規模予測とから，使用済燃料の発生量及びその平均燃焼度を評価した。次いで，使用済燃料の発生量と再処理計画とから中間貯蔵量を，また，使用済燃料の平均燃焼度と再処理計画とから高レベル廃棄物の発生量を評価した。高レベル廃棄物の発生量を評価するのに使用済燃料の平均燃焼度が必要なのは，使用済燃料の平均燃焼度に応じて高レベル廃棄物特性が変化し，高レベル廃棄物の発生率（単位再処理量当たりのガラス固化体発生本数）も変化するものとしているためである。

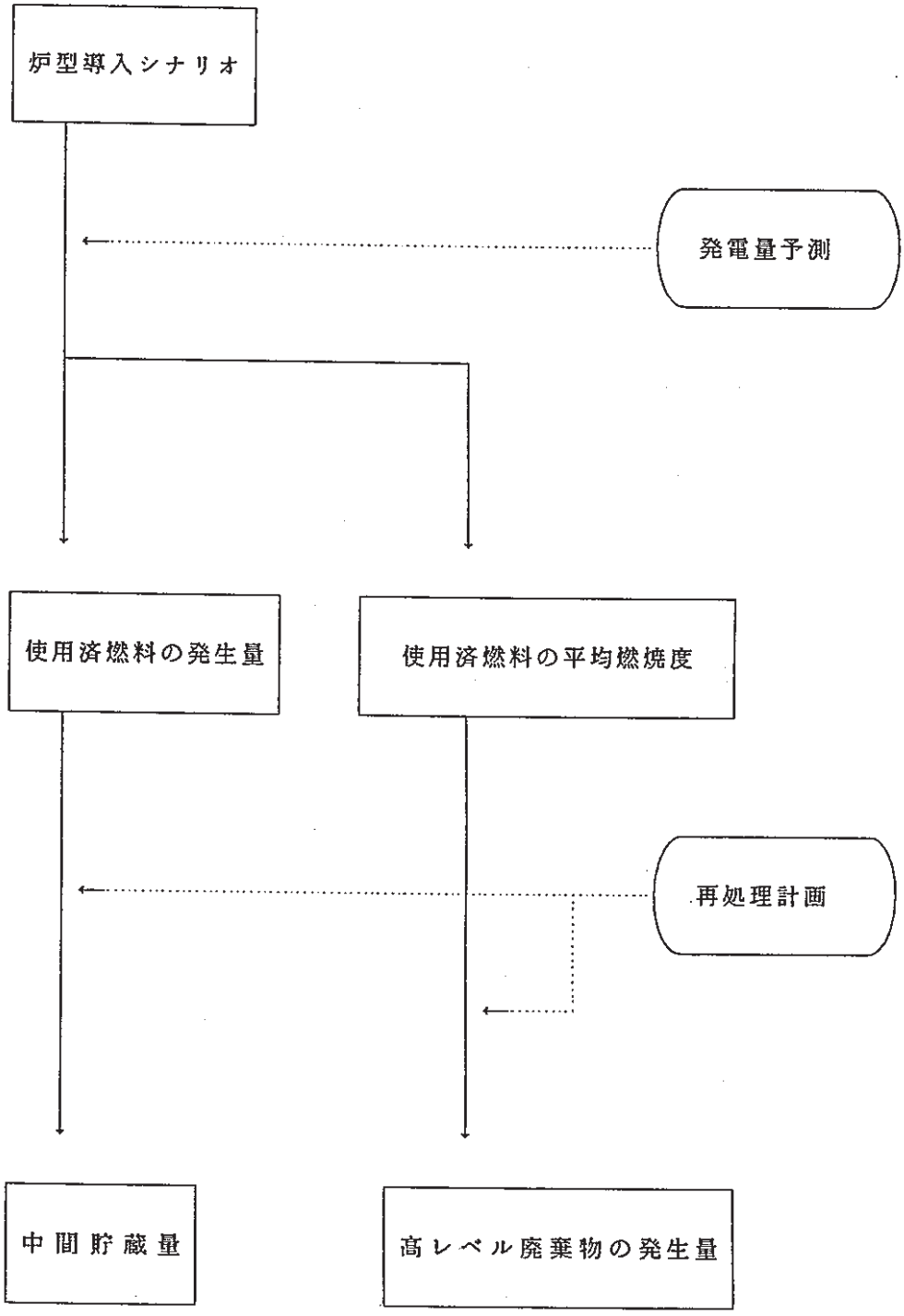


図２－１　評価手順の全体フロー

2.2 前提条件

(1) 発電規模

今後の我が国における原子力発電量について，現在，以下のような予測がなされている。

・ 総合エネルギー調査会需要部会見通し（昭和62年10月14日）

1986年　2580万kW（実績）

1995年　4150万kW

2000年　5350万kW

2005年　6500万kW

・ 科学技術庁「原子力開発長期戦略研究会」（昭和59年９月）

1985年　2452万kW

2000年　5300万kW

2030年　10700万kW

これに基づき，今後の原子力発電規模を図２－２のように想定した。すなわち，

1995年　4150万kW

2000年　5350万kW

2005年　6500万kW

2030年　10700万kW

とし，これ以外の年度における発電量は，上記のデータから補間した。なお，これまで（1988年まで）の発電規模の推移は，既存の原子力発電所の設備容量の推移である。

(2) 再処理計画

本研究では，高レベル廃棄物の発生源として，海外再処理（ＢＮＦＬ，ＣＯＧＥＭＡ），動燃事業団東海再処理工場及び民間再処理工場（第一，第二）を想定した。

ｉ．海外再処理（ＢＮＦＬ，ＣＯＧＥＭＡ）

ＢＮＦＬ，ＣＯＧＥＭＡに委託されている使用済燃料の再処理量は，4478

tUであり，これを1993年から2003年までの10年間に均等変換される予定になっている。したがって，この間，447.8tU/年の再処理量を想定した。

ii．動燃事業団東海再処理工場

東海再処理工場は，昭和52年にホット試験を開始した以後，昭和56年からは本格運転を行ってきており，昭和62年３月末までの累積処理量は，322tUである。今後の再処理量については処理能力（0.7tU/日）を勘案して，1995年までは70tU年，それ以後は2010年まで140tU/年と想定した。

iii．民間第一再処理工場

民間第一再処理工の運転開始時期については，総合エネルギー調査会原子力部会が発表した「原子力ビジョン－21世紀の原子力を考える－」を参考に，1995年を想定した。

再処理量については，2000年以降，800tU/年のフル稼働に入るものとし，それまでは，以下のように徐々に処理量が増加するものと想定した。

1995年	160tU/年
1996年	320tU/年
1997年	480tU/年
1998年	640tU/年
1999年	800tU/年

iv．民間第二再処理工場

民間第二再処理工場の運転開始時期についても，前述の「原子力ビジョン－21世紀の原子力を考える－」を参考に，2010年を想定した。

再処理量については，2014年以降，800tU/年のフル稼働に入るものとし，それまでは，以下のように徐々に処理量が増加するものと想定した。

2010年	200tU/年
2011年	400tU/年
2012年	600tU/年
2013年	800tU/年

以上から，本研究で想定した再処理量の予測を表２－１にまとめる。

2.3　炉型導入シナリオ

使用済燃料の発生量を予測するためには，我が国における今後の炉型導入シナリオを設定する必要がある。その際，以下の５種類の炉型を考慮した。

- 既存軽水炉（ＬＷＲ　一部ＧＣＲを含む）
- 高速増殖炉（ＦＢＲ）
- 新型転換炉（ＡＴＲ）
- 軽水炉プレサーマル（Ｐｕ－ＬＷＲ）
- 改良型軽水炉（Ａ－ＬＷＲ）

これ以外の炉型（例えば高転換軽水炉等）については，使用済燃料の発生量にあたえる影響は小さいものと考えられるので評価対象外とした。

(1)　ＬＷＲ

現在稼働中及び計画中のＬＷＲ（一部ＧＣＲを含む）としては，東海発電所から巻１号までの48基を評価対象とした。通商産業省資源エネルギー庁編「原子力発電便覧‘87 年度版」を参考に，これらＬＷＲの主要仕様を表２－２にまとめる。

これら既存の軽水炉について，設備稼働率の上場，高燃焼度化あるいはプルトニウム利用等により，今後，その主要仕様が変更されることも考えられるが，その影響は改良型軽水炉あるいは軽水炉プルサーマルを考慮することで十分反映されるものと考え，本研究では，耐用年数30年の間，主要仕様の変更はないものとした。なお，耐用年数30年としているため，2026年には既存型のＬＷＲからの使用済燃料の発生は停止することになる。

(2)　ＦＢＲ

昭和62年６月に原子力委員会が改定した「原子力開発利用長期計画」の中に，ＦＢＲについて次のような記述がある。

「原型炉「もんじゅ」については…1992年に臨界に至らしめるよう…建設を進めることとする。」

「実証炉については…1990年代後半に着工することを目標に計画を進めることとする。」

「軽水炉と経済性・安全性において競合し得る高速増殖炉のための技術体系の確立は…2020年代から2030年頃を目指すこととする。」

これを参考に，本研究におけるＦＢＲの導入シナリオを次のように設定する。

・ 1992年　もんじゅ（28万kW）運転開始

・ 2000年　実証炉（80万kW級）１基導入

・ 2020年　実証炉（ 100万kW級）１基導入

これらＦＢＲの主要仕様を，他の炉型の主要仕様とともに表２－３にまとめる。なお，これらＬＷＲ（一部ＧＣＲを含む）を除く他の炉型の主要仕様については，基本的に1985年２月「原子力工業」に掲載された「原子力開発の長期戦略(2)」から引用した。

(3)　ＡＴＲ

前述の「原子力開発利用長期計画」の中に，ＡＴＲについて次のような記述がある。

「…1990年代半ばの運転開始を目標に60万６千キロワットの実証炉を建設するものとし…」

これを参考に，本研究におけるＡＴＲの導入シナリオを次のように設定する。

・ 1978年　ふげん（16.5万kW）運転開始　……　実績

・ 1995年　実証炉（60.6万kW）運転開始

これらＡＴＲの主要仕様を，同様に表２－３にまとめる。

(4)　Ｐｕ－ＬＷＲ

前述の「原子力開発利用長期計画」の中に，Ｐｕ－ＬＷＲについて次のような記述がある。

「…1990年代前半を目途にＰＷＲ及びＢＷＲそれぞれ１基（電気出力80万kW）に最終装荷規模で４分の１炉心のＭＯＸ燃料を装荷するものとし，1990年後半にも本格的利用へ移行することができるよう…」

これを参考に，本研究におけるＰｕ－ＬＷＲの導入シナリオを次のように設定する。

・ 1995年　80万kW級のＰＷＲ及びＢＷＲそれぞれ１基を，Ｐｕ－Ｌ

ＷＲに変更

・　2000年以降　100 万kW級のＰＷＲ及びＢＷＲを交互に年間１基ずつ，

Ｐｕ－ＬＷＲに変更

これらＰｕ－ＬＷＲの主要仕様を，同様に表２－３にまとめる。

(5)　Ａ－ＬＷＲ

Ａ－ＬＷＲは，Ｐｕ－ＬＷＲと並んで導入の可能性が極めて高い炉型であることから，先に示した今後の発電規模予測から，ＬＷＲ，ＦＢＲ，ＡＴＲ及びＰｕ－ＬＷＲを差し引いた分は，すべてＡ－ＬＷＲによって賄われるのとした。その際，ＰＷＲとＢＷＲとは同じ比率で導入されるものとした。

Ａ－ＬＷＲの主要仕様を，同様に表２－３にまとめる。

2.4　発生スケジュールの評価

(1)　使用済燃料の発生量

使用済燃料の発生量の発生量の評価にあたって，以下のように仮定した。

各原子炉からの使用済燃料の年間発生量は，その原子炉の設備容量に比例し，燃焼度に反比例するものと考えた。その比例定数は炉型毎に異なるが，同一の炉型では一律であるとした。これら炉型毎の使用済燃料年間発生量を，表２－４にまとめる。

このような仮定の下に，各原子炉からの使用済燃料の発生量の総和を取って，我が国全体での使用済燃料の発生量とした。図２－３に，使用済燃料の累積発生量とその内訳を示す。

(2)　使用済燃料の平均燃焼度

再処理においては，ガラス固化体に含有されるＦＲ及びアクチニド酸化物量を一定とする条件で製造されるものと考えられるが，使用済燃料中のＦＲ及びアクチニド濃度は，その燃焼度に大きく依存する。したがって，受取時の使用済燃料の平均燃焼度によって，ガラス固化体の発生率（単位再処理量当たりのガラス固化体発生本数）が変化するものと考えられる。ここでは次式によって使用済燃料の平均燃焼度を算出した。

$$（平均燃焼度）＝\frac{\Sigma（各炉の燃焼度）\times（各炉からの使用済燃料の発生量）}{\Sigma（各炉からの使用済燃料の発生量）}$$

上式によって算出した使用済燃料の平均燃焼度の推移を図２－４及び表２－５に示す。

(3) 中間貯蔵量

発生した使用済燃料のうち再処理されなかった分は，中間貯蔵されることになる。この中間貯蔵量の推移を図２－５に示す。

(4) 高レベル廃棄物発生量

先に述べたように，高レベル廃棄物の発生率は使用済燃料の平均燃焼度によって変化するため，これを考慮して高レベル廃棄物の発生量を評価した。その際，以下のデータを用いて，ガラス固化体の本数に換算した。

33000MWD/t　で　0.75本/tU …… COGEMA ベース

45000MWD/t　で　1.00本/tU …… JNFS　ベース

これ以外の燃焼度の場合は，上記のデータから一次近似により補間してガラス固化体の発生率を設定した。

高レベル廃棄物（ガラス固化体換算）の累積発生量の推移を図２－６及び表２－５に示す。

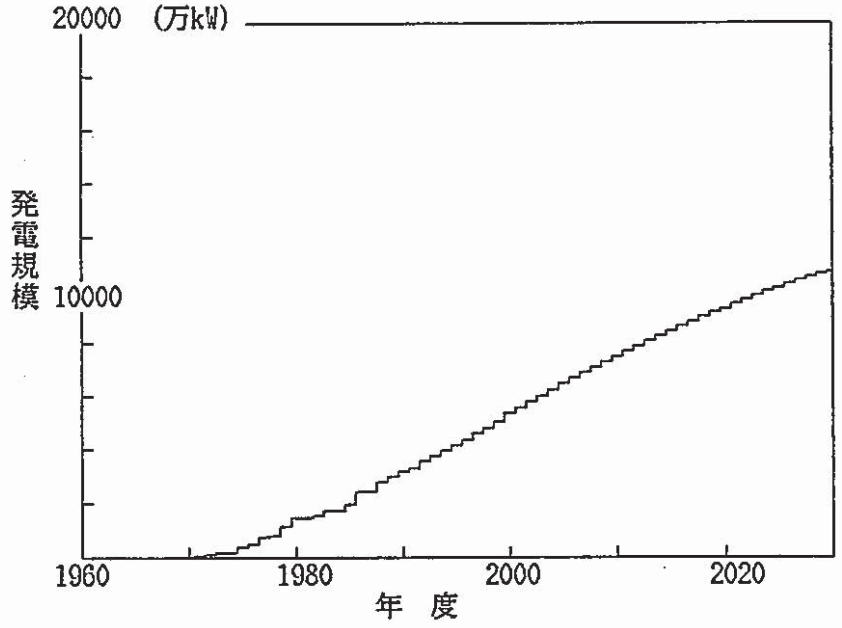


図２－２　発電規模予測

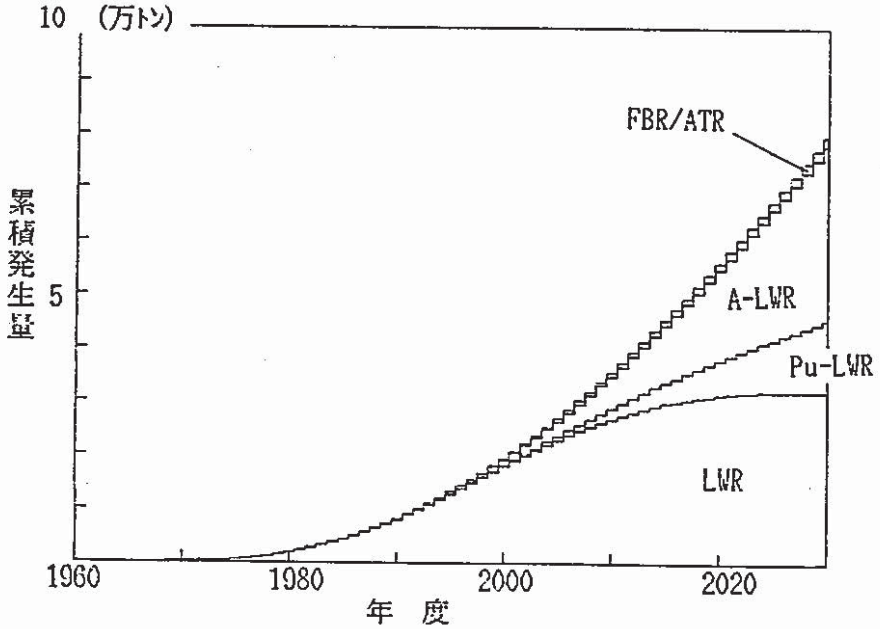


図２－３　使用済み燃料の累積発生量とその内訳

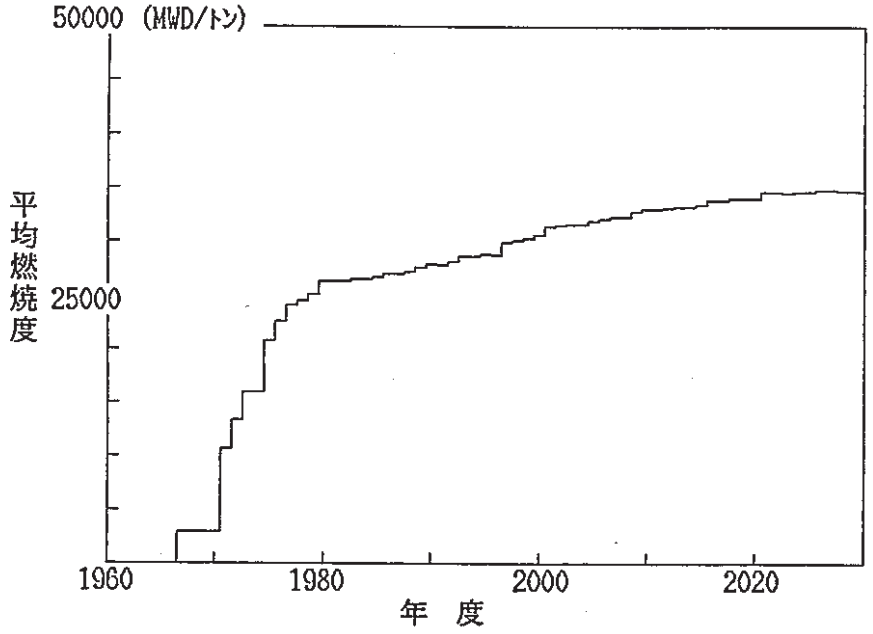


図２－４　使用済燃料の平均燃焼度

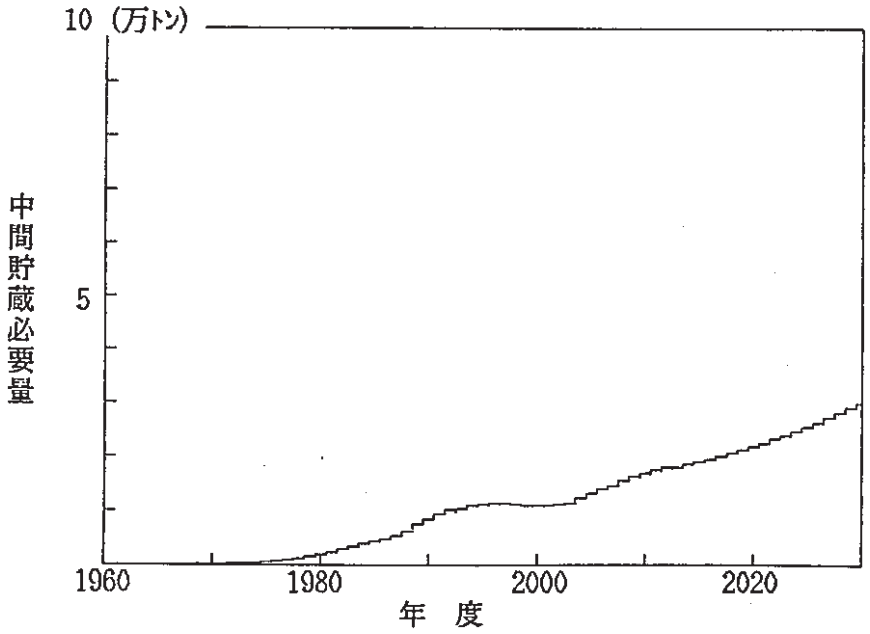


図２－５　中 間 貯 蔵 必 要 量

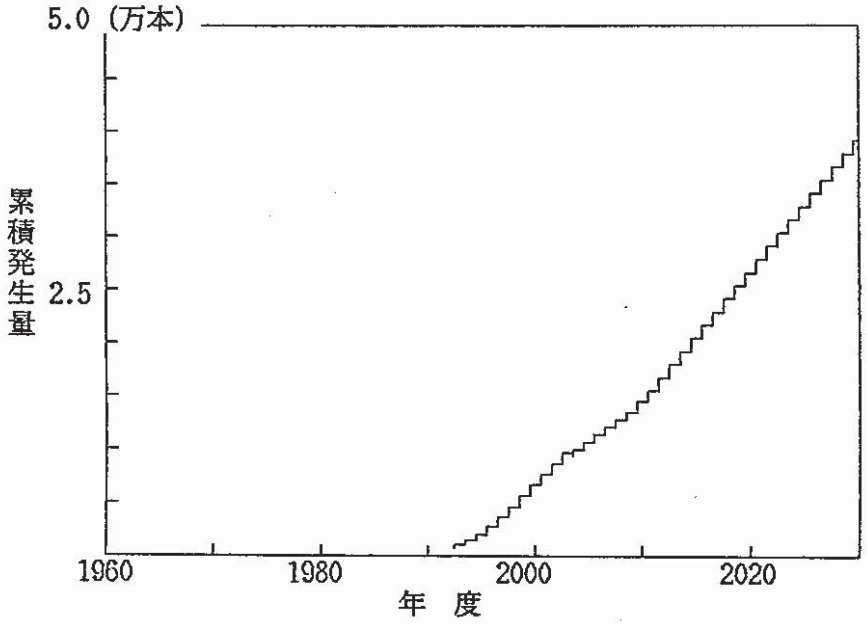


図２－６　高レベル廃棄物（ガラス固化体換算）の累積発生量

表２－１　2030年までの再処理量予測

単位：トンU

年　度	海外再処理	東海 再処理工場	民間第一 再処理工場	民間第二 再処理工場	合　計
～1986		322			322
1987		70			70
1988		70			70
1989		70			70
1990		70			70
1991		70			70
1992		70			70
1993	447.8	70			517.8
1994	447.8	70			517.8
1995	447.8	70	160		677.8
1996	447.8	140	320		907.8
1997	447.8	140	480		1067.8
1998	447.8	140	640		1227.8
1999	447.8	140	800		1387.8
2000	447.8	140	800		1387.8
2001	447.8	140	800		1387.8
2002	447.8	140	800		1387.8
2003		140	800		940
2004		140	800		940
2005		140	800		940
2006		140	800		940
2007		140	800		940
2008		140	800		940
2009		140	800		940
2010		140	800	200	1140
2011			800	400	1200
2012			800	600	1400
2013			800	800	1600
2014			800	800	1600
2015			800	800	1600
2016			800	800	1600
2017			800	800	1600
2018			800	800	1600
2019			800	800	1600
2020			800	800	1600
2021			800	800	1600
2022			800	800	1600
2023			800	800	1600
2024			800	800	1600
2025			800	800	1600
2026			800	800	1600
2027			800	800	1600
2028			800	800	1600
2029			800	800	1600
2030			800	800	1600
合・計	4478	3052	27200	15600	50330

表２－２　稼働中及び計画中のＬＷＲ（一部ＧＣＲを含む）の主要仕様

発電所名	設置者名	運開年度	設備容量〔万 kW〕	燃焼度〔MWD/T〕	閉鎖年度
東海	日本原子力発電	1966.7	16.6	3000	1996
敦賀１号	日本原子力発電	70.3	35.7	25000	2000
美浜１号	関西電力	70.11	34.0	31500	00
福島第１／１号	東京電力	71.3	46.0	25600	01
美浜２号	関西電力	72.7	50.0	31500	02
島根１号	中国電力	74.2	46.0	25000	04
福島第１／２号	東京電力	74.7	78.4	27500	04
高浜１号	関西電力	74.11	82.6	31500	04
玄海１号	九州電力	75.10	55.9	28200	05
高浜２号	関西電力	75.11	82.6	31500	05
浜岡１号	中部電力	76.3	54.0	27500	06
福島第１／３号	東京電力	76.3	78.4	27500	06
美浜３号	関西電力	76.12	82.6	31500	06
伊方１号	四国電力	77.9	56.6	30000	07
福島第１／５号	東京電力	78.4	78.4	27500	08
福島第１／４号	東京電力	78.10	78.4	27500	08
東海第２	日本原子力発電	78.11	110.0	27500	08
浜岡２号	中部電力	78.11	84.0	27500	08
大飯１号	関西電力	79.3	117.5	33000	09
福島第１／６号	東京電力	79.10	110.0	27500	09
大飯２号	関西電力	79.12	117.5	33000	09
玄海２号	九州電力	81.3	55.9	28200	11
伊方２号	四国電力	82.3	56.6	30000	12
福島第２／１号	東京電力	82.4	110.0	27500	12
福島第２／２号	東京電力	84.2	110.0	27500	14
女川１号	東北電力	84.6	52.4	26500	14
川内１号	九州電力	84.7	89.0	30000	14
高浜３号	関西電力	85.1	87.0	28000	15
高浜４号	関西電力	85.6	87.0	28000	15
福島第２／３号	東京電力	85.6	110.0	27500	15
柏崎・刈羽１号	東京電力	85.9	110.0	27500	15
川内２号	九州電力	85.11	89.0	30000	15
敦賀２号	日本原子力発電	87.3	116.0	33000	17
福島第２／４号	東京電力	87.9	110.0	27500	17
浜岡３号	中部電力	87.9	110.0	27500	17
島根２号	中国電力	89.2	82.0	28500	19
泊１号	北海道電力	89.6	57.9	31500	19
柏崎・刈羽５号	東京電力	90.4	110.0	29500	20
柏崎・刈羽２号	東京電力	90.10	110.0	29500	20
泊２号	北海道電力	91.6	57.9	31500	21
大飯３号	関西電力	91.8	117.5	33000	21
伊方３号	四国電力	92.3	56.6	30000	22
大飯４号	関西電力	92.6	117.5	33000	22
玄海３号	九州電力	93.7	118.0	31000	23
柏崎・刈羽３号	東京電力	93.7	110.0	29500	23
柏崎・刈羽４号	東京電力	94.7	110.0	29500	24
玄海４号	九州電力	95.7	118.0	31000	25
巻１号	東北電力	96	52.4	26500	26

表２－３　ＬＷＲを除く各炉型の主要仕様

炉　型	運開年度	設備容量〔万kW〕	燃焼度	備　　考
・ＦＢＲ				
もんじゅ	1992	28	80000	…敦賀市で建設中
実証炉１基	2000	80	74000	
実用炉１基	2020	100	74000	
・ＡＴＲ				
ふげん	1978	16.5	17000	…稼働中
実証炉１基	1995	60.6	30000	…計画中（大間町）
・Pu-LWR				
PWR　１基	1995	80	31900	
BWR　１基	1995	80	29500	
PWR	2000～	100	31900	…2000年以降 P/B交互に導入すると仮定
BWR	2000～	100	29500	
・A -LWR				
P-実用炉	1989～	100	39000	…発電規模予測量から LWR,FBR,ATR,Pu-LWR を除いた分は A-LWR で賄われると仮定
B-実用炉	1989～	100	31800	

表２－４　各炉型における１基当たりの使用済燃料の年間発生量

炉　型	設備容量〔万kW〕	燃焼度〔MWD/t 〕	設備稼働率〔%〕	使用済燃料の年間発生量〔トン/年〕	出　典
LWR	100	30000	現状レベル	25	(1)
FBR	100	74000	80	26.3	(2)
ATR	100	32000	76	26.6	(2) —
Pu-LWR	100	31900(PWR) 29500(BWR)	76	24.7 (PWR) 27.5 (BWR)	(2)
A -LWR	100	39000(PWR) 29500(BWR)	80	20.4 (PWR) 24.8 (BWR)	(2)

(1)　日本原子力産業会議「原子力ポケットブック」（昭和63年）

(2)　原子力工業『原子力開発の長期戦略』（1985年２月号）

表２－５　ガラス固化体の発生量予測

年度	平均燃焼度 (MWD/トン)	再処理量 (トン)	ガラス固化体発生本数(本)	累積発生本数(本)
1993	28574	518	340	808
1994	28624	518	341	1149
1995	28770	678	448	1597
1996	28733	908	599	2196
1997	29885	1068	730	2927
1998	30087	1228	845	3772
1999	30320	1388	962	4734
2000	30574	1388	969	5703
2001	31361	1388	992	6695
2002	31501	1388	996	7691
2003	31596	1388	999	8690
2004	31641	940	677	9367
2005	31946	940	683	10050
2006	32056	940	686	10736
2007	32297	940	690	11426
2008	32334	940	691	12117
2009	32843	940	701	12818
2010	33017	1140	854	13672
2011	33031	1200	899	14572
2012	33061	1400	1050	15622
2013	33226	1600	1206	16828
2014	33199	1600	1205	18033
2015	33426	1600	1212	19245
2016	33834	1600	1226	20471
2017	33819	1600	1226	21696
2018	34025	1600	1232	22929
2019	34008	1600	1232	24161
2020	34048	1600	1233	25394
2021	34637	1600	1253	26646
2022	34630	1600	1253	27899
2023	34534	1600	1249	29148
2024	34601	1600	1252	30400
2025	34645	1600	1253	31653
2026	34760	1600	1257	32910
2027	34784	1600	1258	34167
2028	34728	1600	1256	35423
2029	34700	1600	1255	36678
2030	34643	1600	1253	37931

(5) 高レベル廃棄物の中間貯蔵量と処分計画

高レベル廃棄物の中間貯蔵施設の最大貯蔵容量は，処分計画によって変化する。

これに関して，以下に試算を行った。

(a) 条　件

① 2030年以降の高レベル廃棄物の年間発生量は，2030年の発生量，1253本／年が毎年持続されるものとする。

② 処分場の運開時期は，2030年，2040年，2050年，2060年を設定する。

③ 処分場の受入速度は，1200本／年，1800年／年，2400本／年，3600本／年を設定する。

④ 高レベル廃棄物の冷却期間を最小30年とする。

(b) 計算結果

① 計算結果を図２－７に示す。最大貯蔵容量は次のようになる。

2030年　運開 ――― 約 35000本

2040年　運開 ――― 約 48000本

2050年　運開 ――― 約　6000本

2060年　運開 ――― 約 75000本

② 処分場運開後，ある時期が経過すると右下がり直線が水平となるのは，処分可能な高レベル廃棄物が枯渇するためである。従って，早い時期に運開する処分場には，大きな受入速度は必要でない。

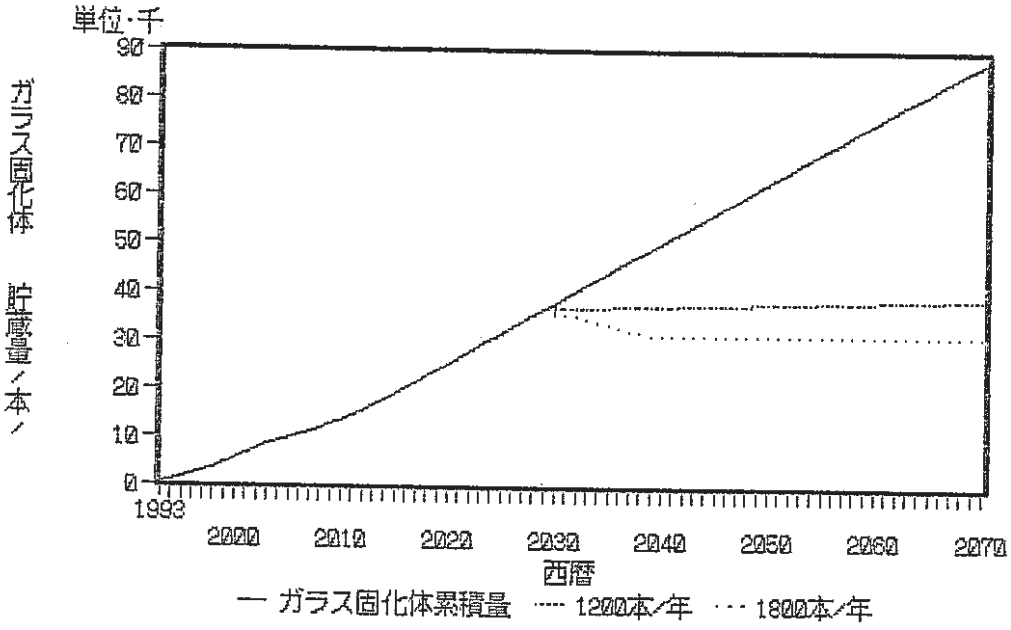


図２－７　中間貯蔵量（2030年運開）（１／４）

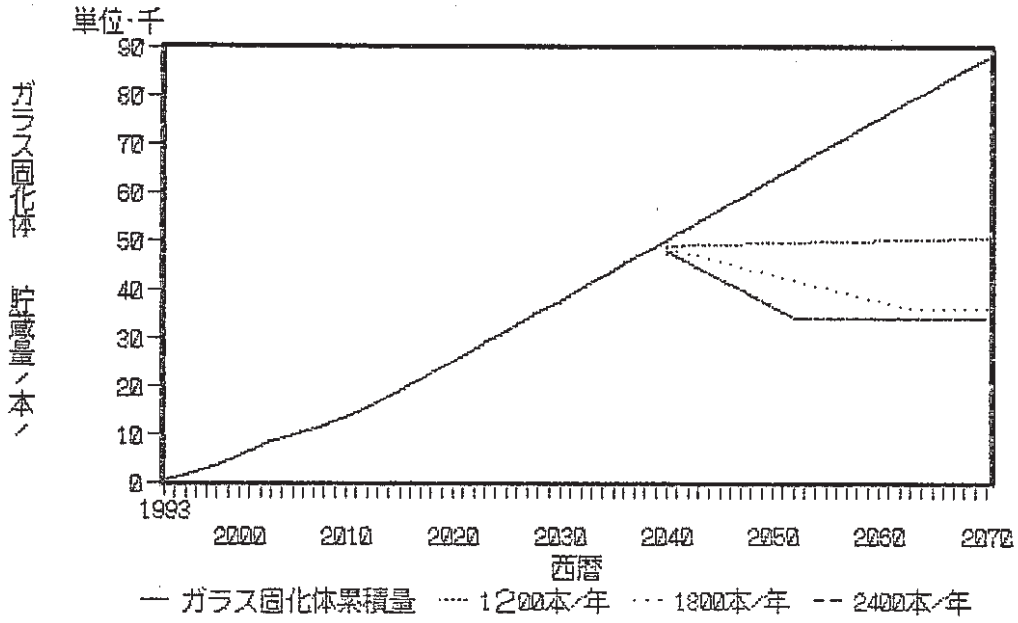


図２－７　中間貯蔵量（2040年運開）（２／４）

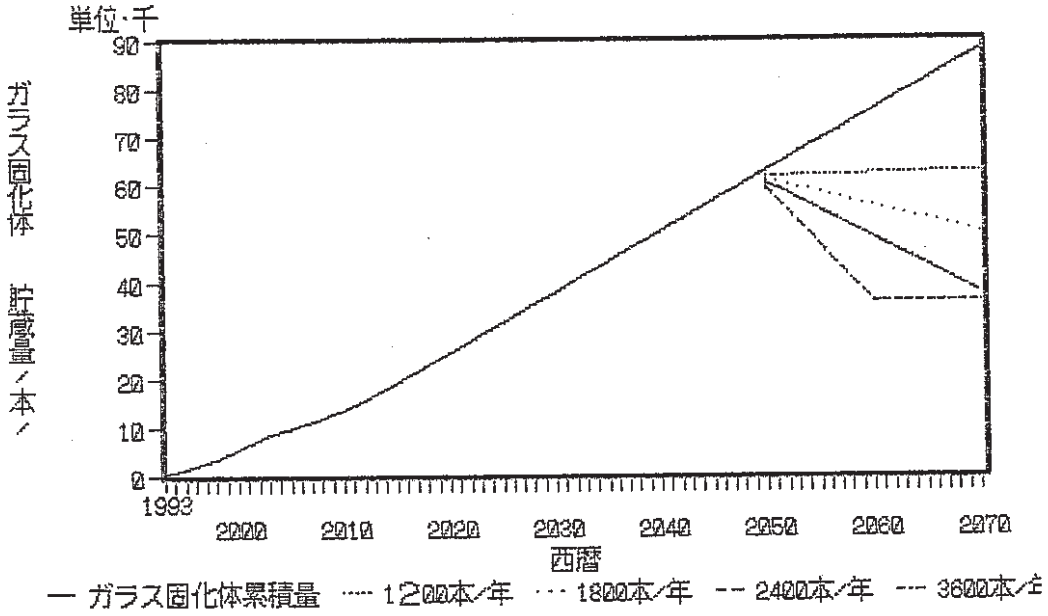


図２－７　中間貯蔵量（2050年運開）（３／４）

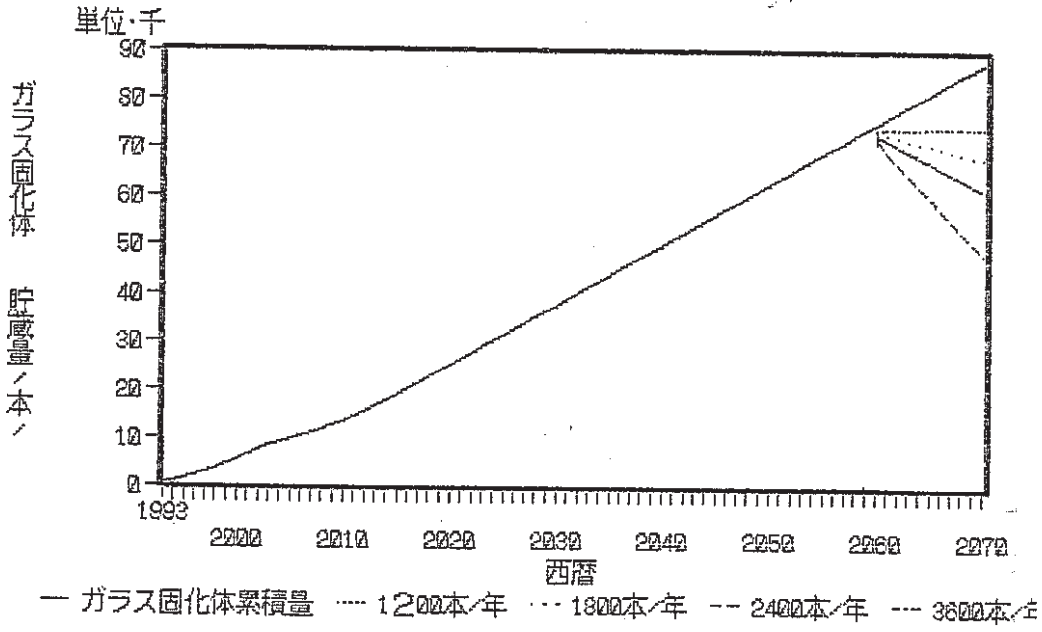


図２－７　中間貯蔵量（2060年運開）（４／４）

(6) 使用済燃料の中間貯蔵量と処分計画

現状の計画では，使用済燃料の年間再処理量は，年間発生量を下回っている。このため，ガラス固化体以外にも，再処理されない使用済燃料が年々累積していく。

ここでは，ガラス固化体も使用済燃料と見故し，総貯蔵量と処分計画の関係を試算した。

(a) 条　件

① 2030年以降の使用済燃料の年間発生量は，2030年の年間発生量2511tU/年が毎年接続されるものとする。

② 処分場の運開時期は，2030年，2040年，2050年，2060年を設定する。

③ 処分場の受入速度は，2050tU/ 年（ガラス固化体1800年／年相当），3200tU/ 年（ガラス固化体2400本／年相当），4800tU/ 年（ガラス固化体3600本相当）を設定する。

④ 使用済燃料の冷却期間を最小30年とする。

(b) 計算結果

① 計算結果を図２－８に示す。最大貯蔵容量は次のようになる。

2030年　運開 ―――― 約　75,000tU

2040年　運開 ―――― 約 100,000tU

2050年　運開 ―――― 約 130,000tU

2060年　運開 ―――― 約 150,000tU

② ガラス固化体と同様に，処分可能な使用済燃料が枯渇するため，早い時期に運開する処分場には大きな受入速度は必要でない。

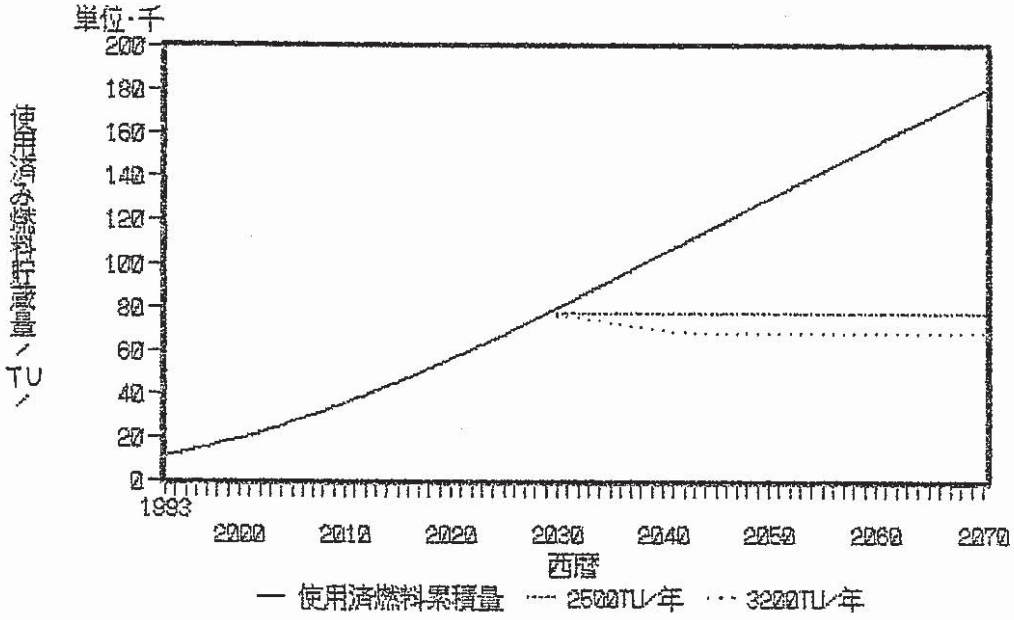


図２－８　中間貯蔵量（2030年運開）（１／４）

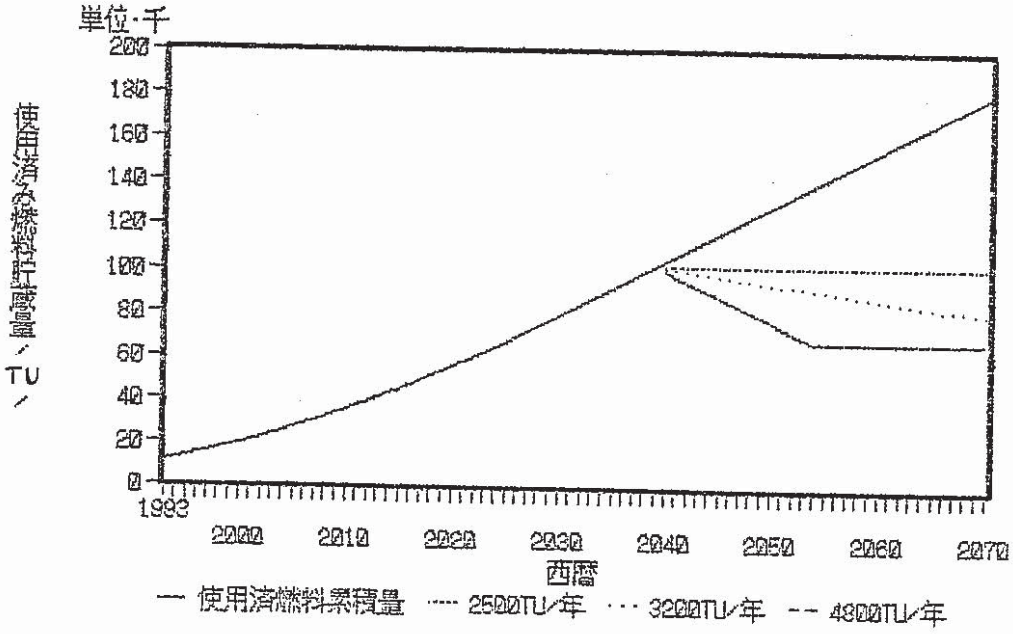


図２－８　中間貯蔵量（2040年運開）（２／４）

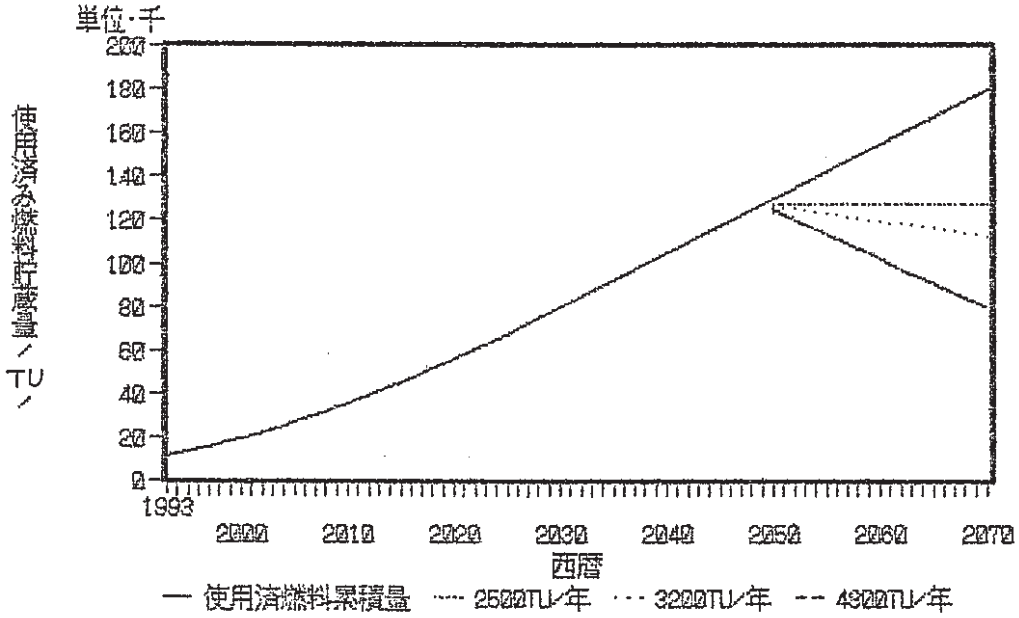


図２－８　中間貯蔵量（2050年運開）（３／４）

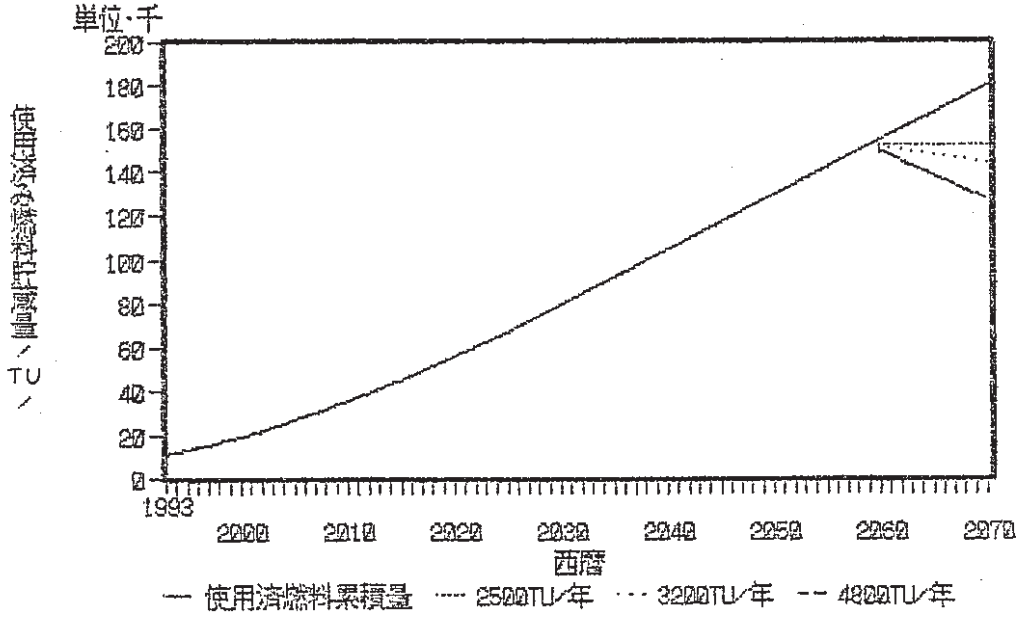


図２－８　中間貯蔵量（2060年運開）（４／４）

3. 高レベル廃棄物の物流評価

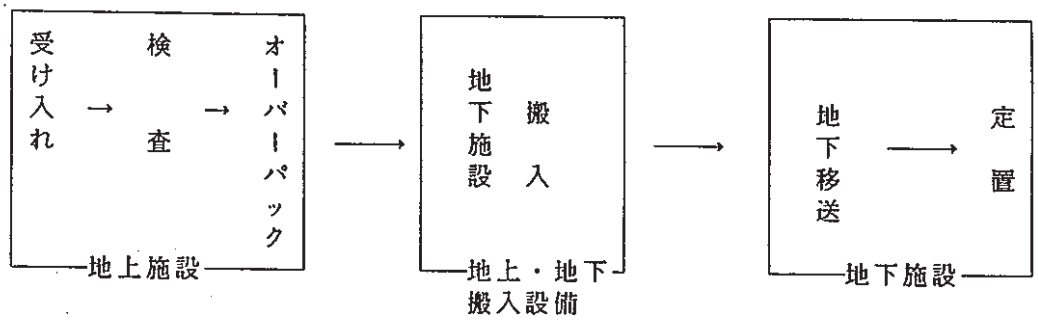
処分場内の廃棄物取り扱いに係るシステムを構築する際に評価すべき項目として，次が考えられる。

- 安全性
  - 放射線的障害
    - 操業時
    - 閉鎖後
  - 非放射線的障害
- 経済性
  - 資本費
  - 運転費

処分場の物流システムは，その運転性に関し，必要な系列数を通して資本費に，運転時間を通して運転費に影響を与え，経済性に大きく寄与するものと考えられる。

以下に物流システムの主要なパラメータを変動させ，運転性に与える影響についてサーベイを行う。

処分場に受け入れられた廃棄物は，次のような経路を経る。



上記において，廃棄物の取り扱いに必要な設備の系列数と操業時間を求め，処分場に係る諸条件がこれらに与える影響を検討する。

3.1　廃棄物の取扱いフロー

地上施設，地上・地下搬入設備，地下設備における廃棄物の取り扱いについて，現時点で可能性が高いと考えられるフローを以下に設定する。

(1)　地上施設

ガラス固化体は輸送キャスクにより地上施設に搬された後，キャスクから取り出され，検査及びオーバーパックが施される。

これらの設備の必要な系統数や，処理速度は，検査内容やオーバーパックの仕様等が明らかにならなければ，決定することは困難である。

これらの設備の建設費が，地層処分全コストに占める割合は，約2.2 %と評価されており[1]，経済性への影響は比較的小さい。また物流上は，オーバーパックされた廃棄物の一時保管を考えることで，それ以降の物流と切り離して扱うことが可能である。

従って，地上施設内の廃棄物取り扱い設備は，所要の処理量が満たされるものと想定する。

(2)　地上・地下搬入設備

廃棄物の地下施設の搬入方法として，次の２通りが考えられる。

①　立坑方式　　エレベータにより搬送

②　斜坑方式　　車両（トラック又は鉄道）により搬送

立坑方式と斜坑方式の主な特徴は次のとおりである。

	立　坑　方　式	斜　坑　方　式
1.　掘削費	安価（図３－１）[2]	高価（図３－２）[2]
	米ユッカマウンテンサイトにおける試算では，420m深の掘削に関し，斜坑（斜度10%)は，立坑（φ６m)の約３倍の建設コストを要する。	
2.　掘削期間	短 上述の試算において58週と要す。	長 上述の試算において 114週を要す。
3.　建設技術	掘削に関しては既存技術で対応可。 エレベータについては，開発の要有り。	掘削，搬送設備とも，既存技術で対応可。
4.　機材搬入	分解する必要有	分解することなく搬入可能
5.　廃棄物搬入	エレベータの往復運動となりエレベータ速度に律速される。	複数の車両を連続的に走行させることにより，効率を上げることが可能。
6.　避難経路	別の立坑エレベータの使用又は階段を備える必要がある。	歩行又は車両の使用が可能

以下に各搬入方法のハンドリング所要時間を示す。

(a)　立坑方式

オーバーパックは，地上施設内で地下施設内搬送用車両（ビークル）に積み込まれ，ビークルごとエレベータにより地下に搬送されるものとする。各ハンドリングの所要時間を表３－１に示す。

尚，ビークルへのオーバーパックの積み込みを地下で行う場合も考えられる。このときのハンドリングの所要時間を表3.２－２に示す。このように，ハンドリング時間に差はないことから，オーバーパックのビークル積み込み位置は，地上，地下いずれかにおいても物流上は大差ないものと考えられる。

(b)　斜坑方式

オーバーパックは，地上施設内で斜坑搬送用車両に積み込まれ，地下施設に搬送された後，ビークルに積み替えられるものとする。各ハンドリングの所要時間を表３－２に示す。

表３－１　廃棄物ハンドリング上の所要時間　（立坑）

(1)　オーバーパックのビークル積込み

o　ビークルの移動	2.5分
o　ビークルの位置決め	5分
o　しゃへい蓋を開く	5分
o　オーバーパックの収納	１０分
o　しゃへい蓋を閉じる	5分
o　ビークルの移動	2.5分
合　　計	３０分

(2)　エレベータ積み込み，荷降し

o　ビークルＡの固定取りはずし	5分
o　ビークルＡの移動	5分
o　デッドタイム	１０分
o　ビークルＢの移動	5分
o　ビークルＢの固定	5分
合　　計	３０分

表３－２　廃棄物ハンドリング上の所要時間

（立坑，地下積み込み）

(1)　オーバーパックの取り出し

o　一時保管施設のしゃへいを開く	５分
o　オーバーパックの吊り上げ	１０分
o　移送台車への定置	１０分
o　移送台車の移動	５分
合　　計	３０分

(2)　エレベータ積み込み，荷降し

o　オーバーパックの吊り上げ	１０分
o　エレベータへの移動，定置	１０分
o　オーバーパックの固定	１０分
合　　計	３０分

表３－３　廃棄物ハンドリング上の所要時間　（斜坑）

(1)　車両への積み込み

	1本／台	2本／台	4本／台
o　車両の位置決め	5分	5分	5分
o　一時保管施設のしゃへいを開く	5分	5分	5分
o　オーバーパックの収納	10分	20分	40分
o　車両のしゃへいを閉じる	5分	5分	5分
o　車両の斜坑入口への移動	5分	5分	5分
合　　計	30分	40分	60分

(2)　車両からの荷降し

	1本／台	2本／台	4本／台
o　車両の位置決め	5分	5分	5分
o　車両のしゃへいを開く	5分	5分	5分
o　オーバーパックの取り出し	10分	20分	40分
o　車両のしゃへいを閉じる	5分	5分	5分
o　車両の斜坑入口への移動	5分	5分	5分
合　　計	30分	40分	60分

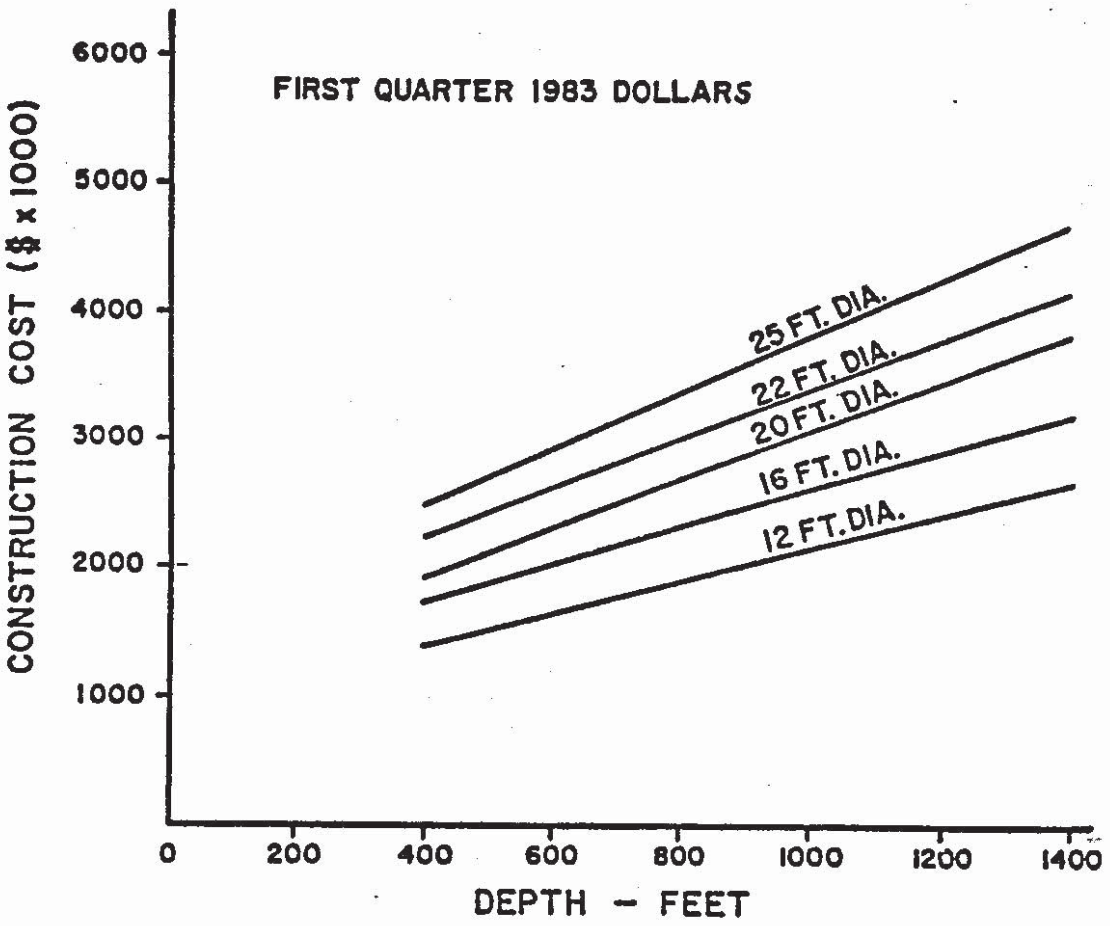

FIRST QUARTER 1983 DOLLARS
CONSTRUCTION COST ($ x 1000)
6000
5000
4000
3000
2000
1000
25 FT. DIA.
22 FT. DIA.
20 FT. DIA.
16 FT. DIA.
12 FT. DIA.
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
DEPTH - FEET

図３－１　立坑の掘削費 (2)

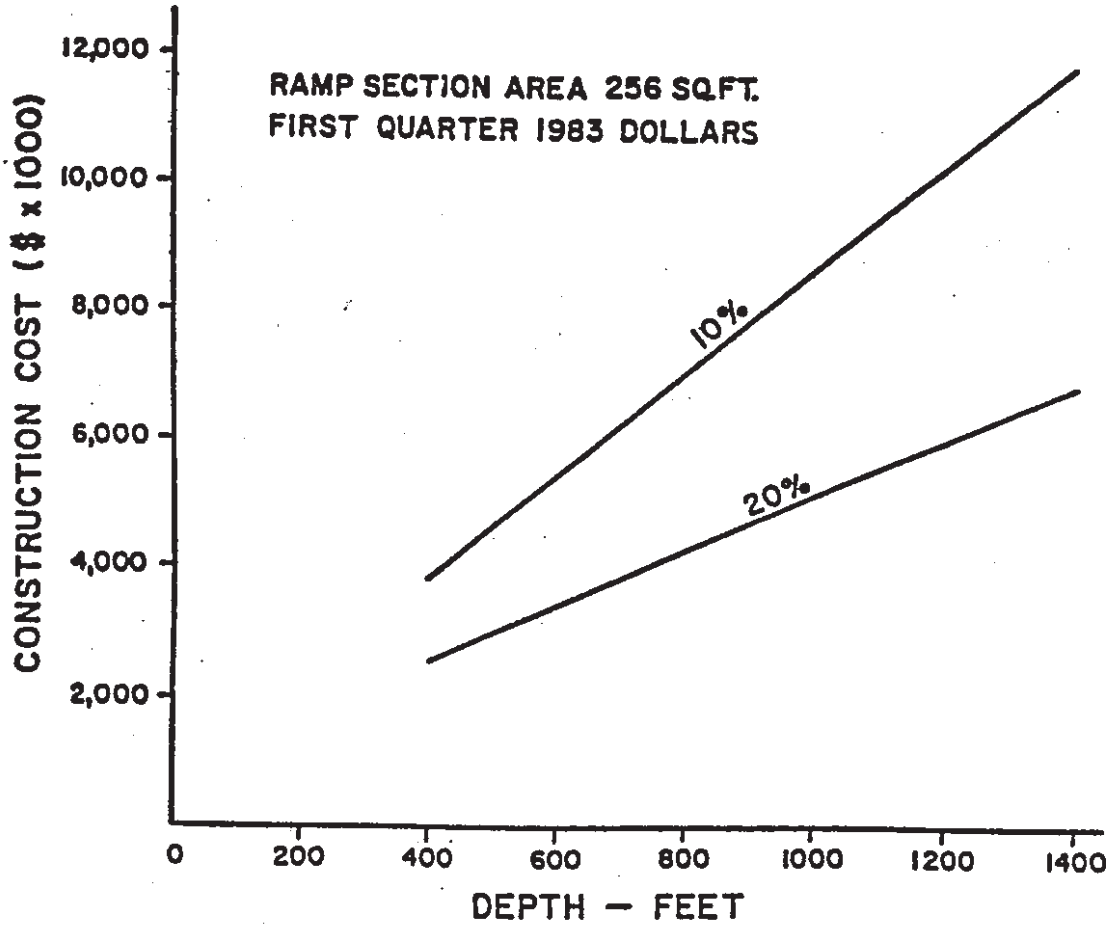

RAMP SECTION AREA 256 SQ.FT.
FIRST QUARTER 1983 DOLLARS
CONSTRUCTION COST ($ x 1000)
12,000
10,000
8,000
6,000
4,000
2,000
10%
20%
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
DEPTH — FEET

図３－２　斜坑の掘削費 (2)

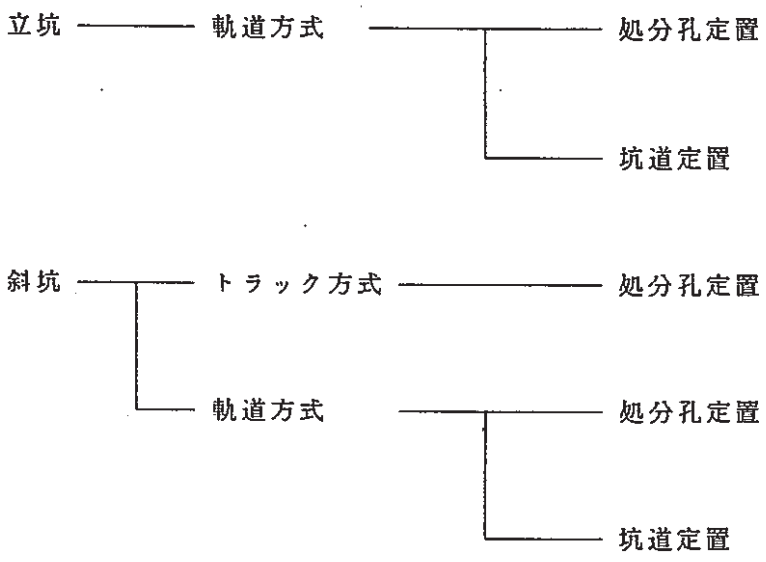
(3) 地下施設

地下施設内における搬送方法及び定置方法については，複数の選択肢が考えられるが，その主な特徴は次のように考えられる。

搬送方式	無人化	ハンドリング性	坑道サイズ
トラック	難	斜坑搬送と共通のトラックを用いれば，積み替え数を減らすことができる。	大
軌道（ビークル）	容易	積み替えが必要。	小

定置方式	ベントナイトによる埋め戻し	人工バリア性能	坑道サイズ
処分孔定置	埋め戻しと区分して作業が可能	小	小さい方が好ましい
坑道定置	廃棄物定置と埋め戻しを同時に行う必要がある	大	無用の大型化はベントナイトのコストがかさみ経済的に不可

以上から経済的に合理的な組み合せとしては，次が考えられる。



処分孔定置の際のハンドリング所要時間を表３－４に示す。

坑道定置の際のハンドリング所要時間を表３－５に示す。

坑道定置の場合，廃棄物とベントナイトの定置には約６時間を要すこととなるが，ベントナイトの定置作業及び埋め戻し作業を平行して複数系列で実施すれば，廃棄物の定置に関しては，処分孔定置と同様に扱うことができるものと考えられる。この場合，ベントナイトの定置及び埋め戻し作業に必要な系列数は，次のように計算される。

$$\frac{\text{1日当りの搬入本数} \times 5\ \text{hr}}{\text{1日当りの操業時間}}$$

表３－４　廃棄物ハンドリング上の所要時間　（処分孔定置）

o　ビークルの位置決め，固定	５分
o　しゃへい蓋を開く	５分
o　廃棄物の下降	５分
o　吊り具の収納	５分
o　しゃへい蓋を閉じる	５分
o　ビークルの固定開放	５分
合　　計	３０分

表３－５　廃棄物ハンドリング上の所要時間　（坑道定置）

(1)　廃棄物の定置

o　ビークル位置決め，固定	５分
o　しゃへい蓋を開く	５分
o　廃棄物の定置	５分
o　吊り具の収納	５分
o　しゃへい蓋を閉じる	５分
o　ビークルの固定開放，移動	５分
合　　計	３０分

(2)　ベントナイトの定置

o　ビークルの位置決め，固定	５分
o　ベントナイトブロックの定置	103 個×2.5 分＝260 分
o　ビークルの固定開放，移動	５分
o　ビークルの位置決め，固定	５分
o　ベントナイトパウダーの充填	３０分
o　ビークルの固定開放，移動	５分
小　　計	３１０分
合　　計	３４０分

以上から，廃棄物のハンドリングフローを図３－３，４のように設定する。

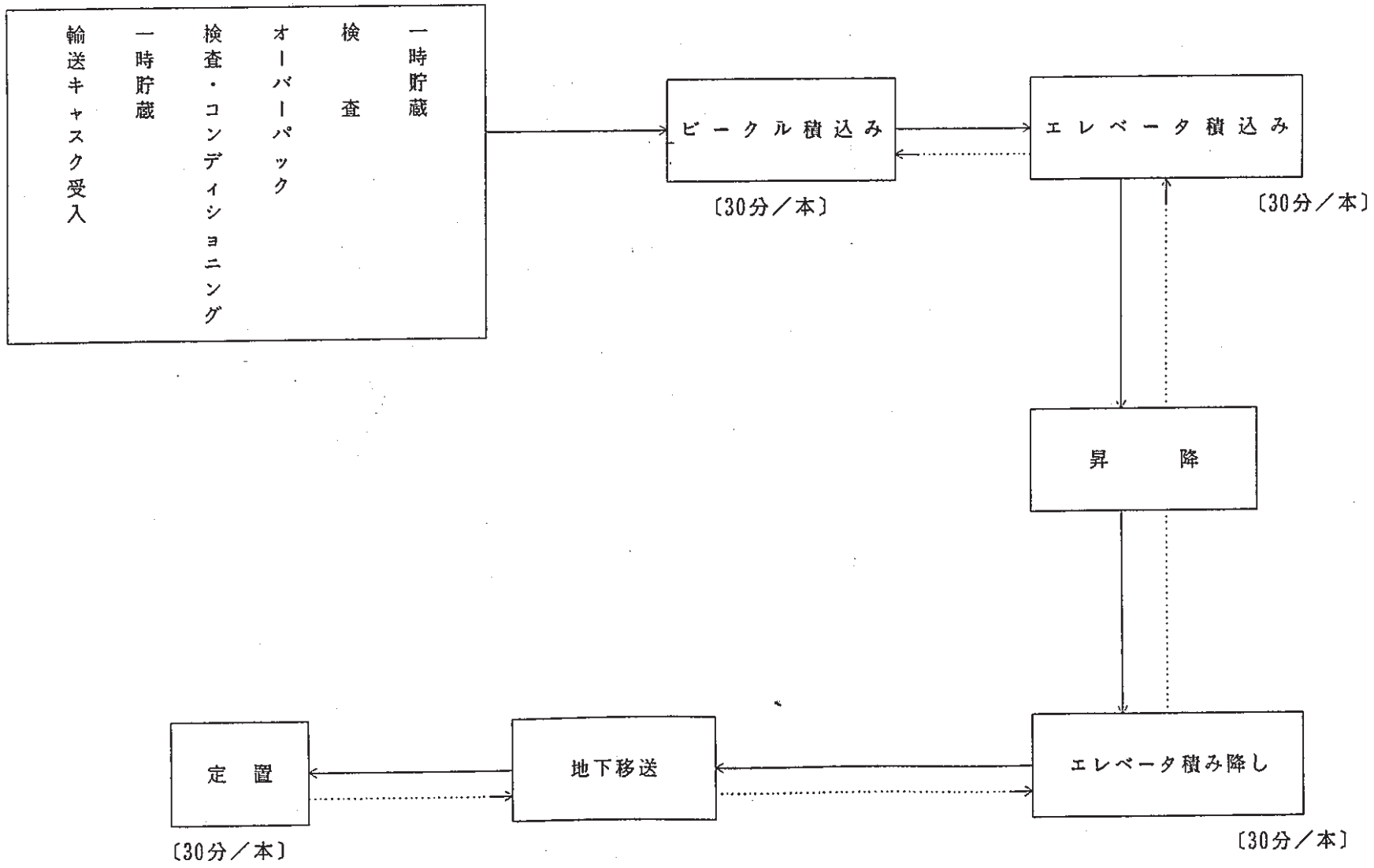


図３－３　廃棄物のハンドリングフロー（立坑）

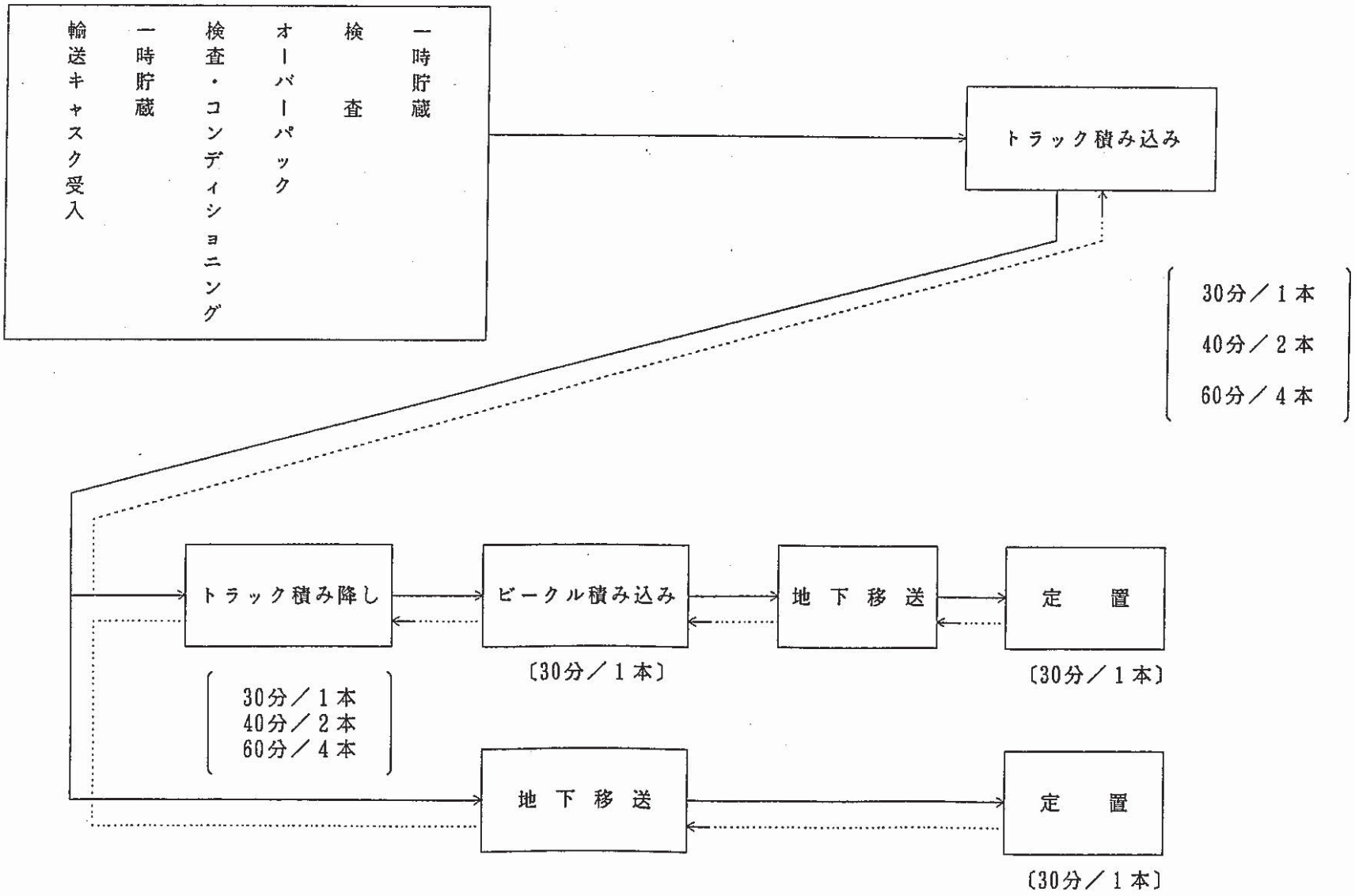


図3－4　廃棄物のハンドリングフロー（斜坑）

3.2 評価条件

廃棄物の取り扱いに必要な設備の系列数と操業時間を求める際に必要となる条件を以下に設定する。

(1) 廃棄物仕様

ＣＯＧＥＭＡ仕様のガラス固化体を想定する。寸法諸元は以下の通りである。

- 外　径　　43cm
- 高　さ　　133.8 cm
- 重　量　　約492 kg

オーバーパック仕様に関しては，いくつかの試設計が行われている。代表的な例として，スウェーデンとスイスの概念図を図３－５に示す。その主な諸元は次のとおりである。

	スウェーデン	スイス
o　材質	鉛＋ハステロイ	鋳　鋼
o　外径	61.2　cm	94　cm
o　高さ	180　cm	200　cm
o　重量	約　3.9 ton	約 8.4 ton

(2) 受入速度

2000年以降の年間のガラス固化体の発生量は，おおよそ1200本前後と見積られている。ガラス固化体の無用の貯蔵を避けるためにも，処分場の受入速度は1200本／年を上回ることが求められるものと考えられる。

ことから，ここでは次のように想定する。

年間受入量	1日当りの受入量
1200　本／年	6本／日
1800　本／年	9本／日
2400　本／年	12本／日
3600　本／年	18本／日

(3) 処分場深度

一般的に議論の対象となる深度として，500 m及び1000mを想定する。

(4) 地下移送距離

2.5 km四方の処分場を想定し，中心に廃棄物搬送用の立坑が位置するものとすると，最大の搬送距離は2.5 kmとなる。また一辺の中心に立坑又は斜坑の開口部が位置するものとすると，最大の搬送距離は3.75　4 kmとなる。

(5) エレベータ速度

エレベータに係る技術については，今のところ重量物を1000mに渡って搬送するようなエレベータは実績がない。一般に搬送対象が重量物になれば，エレベータ速度は低下するものと考えられる。各国で検討されている処分場のエレベータ速度を下記に示す。

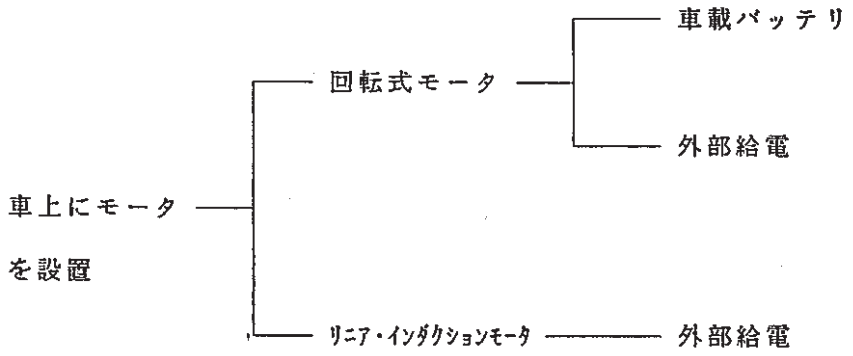
国　　名	エレベータ速度 (m／分)	移送物重量 (ton)	深　　度
仏 (3)	10 60～90	50 (ﾌﾟﾗｯﾄﾎｰﾑ 15ton) 2.7 (人　員)	1000 m
スイス (4)	600 360 120	資　　材 人　　員 廃 棄 物	1200 m
米ﾕｯｶﾏｳﾝﾃﾝ (2)	36.6	45.4	420 m

エレベータ速度については，技術開発の余地が大きいものと考えられることから，ここでは，10，20，50，100 m／分を想定する。

(6) ビークル速度

地下施設内の搬送に用いられるビークルの動力源としては，内燃機関（ディーゼルエンジン等）又は電気モータが考えられる。内燃機関を採用した場合には，坑道内の換気システムが所要の能力を備える必要がある。

電気モータを採用した場合には，次のような方式が考えられる。



走路上にモータを設置 ―― ﾘﾆｱ･ｲﾝﾀﾞｸｼｮﾝﾓｰﾀ

リニア・インダクションモータを採用した場合には，走路を平坦に保つ必要がある。また，車量総重量が大きくなると，モータの広がりが大きくなる。

車載バッテリを採用した場合には，搭載するバッテリの重量が車両のペイロードを喰いつぶすこととなる。ちなみに，全負荷時の平坦部最高速度を10km／h，最大積載量を10 tonとすると，車両総重量は約15 tonとなる。

内燃機関，電気モータいづれの方式を採用した場合においても，地下施設内の搬送に関しては，事故防止の観点から数km／hが望ましいものと考えられる。

ここでは，100 m／分を想定する。

(7) 斜坑こう配，車両速度

一般道路のこう配（縦断こう配）は，道路構造令において次の値以下の値が標準とされている。

設計速度と縦断こう配の制限

設計速度（km／h）	縦断こう配（%）
50	6
40	7
30	8
20	9

但し，これは乗用車の登坂速度をもとに設定されている。トラックの登坂速度と登坂可能こう配の関係の例を次に示す。

登坂可能こう配（%）

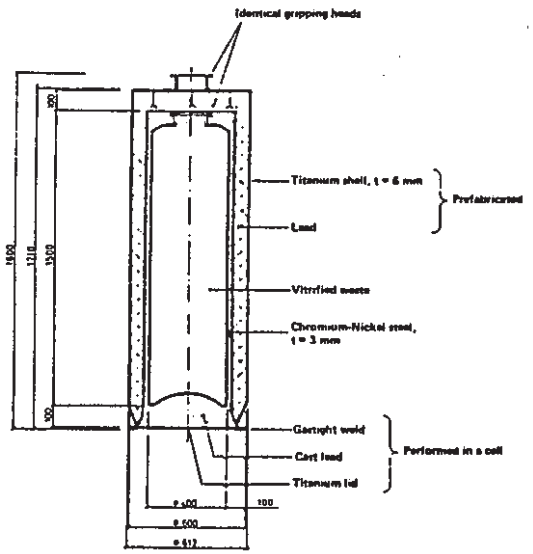
登坂速度（km／h）	60	50	40	30	25	20	15
セミトレーラ（満載）	1.5	1.5	2.5	3.5	5.5	6.0	9.5
セミトレーラ（半載）	3.5	4.0	6.5	7.5	11.0	——	——
普通トラック（満載）	2.0	2.5	4.5	5.0	8.0	9.0	——
普通トラック（半載）	3.5	4.0	6.5	7.5	11.5	——	——

注）セミトレーラの20km／hの値は，ローギヤを用いた値であるから，実際の走行速度は15km／hより若干低くなる。また，表の値は登坂可能こう配の延長が無限に長い場合の値である。

斜坑内においては，安全性の観点から車両の速度は200 m／分とする。

斜坑のこう配は10%を想定する。

スウェーデンの概念



スイスの概念

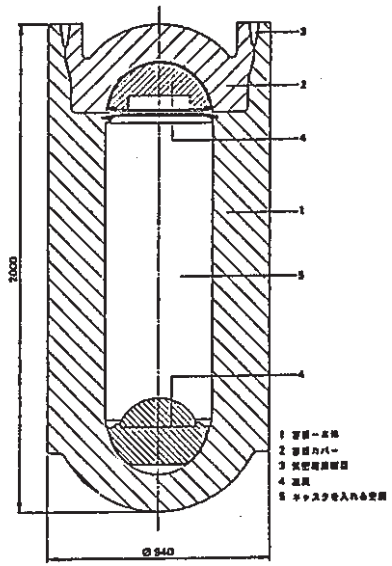


図３－５　オーバーパックの概念図

3.3 計算方法と結果

(1) 立坑方式

立坑方式を採用した場合，処分場の物流に係る費用のうち，立坑及びエレベータの建設，運転費が最大のコスト項目となる。このためエレベータの稼動率が最大となる様な運転とし，立坑本数を必要最小限とすることが求められる。従って，エレベータが常に稼動状態にあるとし，稼動時間が24時間を超える場合には立坑本数を増すものとした。またエレベータの往復時間（ＣＹＣＬＥ時間）から，物流上これを維持するため必要なビークル台数を算出した。

評価条件及び結果を表３－６に示す。

(a) 地下移送距離の影響

ケース№1111～1141（移送距離2500ｍ）と№1112～1142（移送距離4000ｍ）を比較すると，エレベータ速度が100 ｍ／分の場合に，後者は前者に比べビークル台数が１台多く必要となるのみで他は差がない。地下搬送に要する時間は25分：2500ｍ，40分：4000ｍ，積み降し，定置時間を入れたビークルのＣＹＣＬＥ時間は110 分：2500ｍ，140 分：4000ｍであり，両者に著しい差はなく，エレベータの待ち時間を考慮すると，ビークルの必要台数に与える影響は小さい。従って，地下移送距離は物流に大きな影響を与えることはないものと考えられる。

(b) エレベータ速度の影響

図３－６に1000ｍ深におけるエレベータ速度と延べ稼動時間の関係を示す。速度が10ｍ／分の場合，１日18本を受け入れるには立坑を最低４本必要とするが，100 ｍ／分であれば１本で１日18本を受け入れることができる。１日24時間稼動を条件としたときの搬入速度と立坑本数の関係を図３－７に示す。１日８時間稼動とすると，図３－７中の延べ稼動時間を８で除した数の立坑が必要となる。

このように，エレベータ速度が物流に与える影響は大きい。しかしながら，速度が50ｍ／分を超えるころから，著しい改善はみられなくなる。これは，積み降し等の時間が相対的に長くなるからであり，これらのハンドリング時

間の短縮が重要な課題となる。

(c) 処分深度の影響

図３－８に500 深におけるエレベータ速度と延べ稼動時間の関係を示す。また１日24時間稼動を条件としたときの搬入速度と立坑本数の関係を図３－９に示す。エレベータ速度が遅く，受入れ速度が大きい場合，深度の差は立坑本数の差となって表われる。

(d) 坑道定置方式のときの埋め戻し設備系列数

処分場深度1000m，地下移送距離2500m，１日の稼動時間を24時間としたときの坑道定置方式における埋め戻し設備に必要な系列数は次のとおりとなる。

受入本数	埋め戻し設備系列数
６本／日	2　系列
９本／日	2　系列
12本／日	3　系列
18本／日	4　系列

表３－６　処分施設内の物流の評価条件　　処分施設内の物流の評価結果

ケース	受入速度（本/日）	深度（M）	エレベータ速度（M/分）	地下移送距離（M）	1 THROUGH 時間（分）	1 CYCLE 時間（分）	立坑本数（本）	VEECLE 台数（台）	稼動時間（時間）
1111	6	1000	10	2500	275.00	260.00	2	2	13.00
1121	6	1000	20	2500	225.00	160.00	1	1	16.00
1131	6	1000	50	2500	195.00	100.00	1	2	10.00
1141	6	1000	100	2500	185.00	80.00	1	2	8.00
1211	6	500	10	2500	225.00	160.00	1	1	16.00
1221	6	500	20	2500	200.00	110.00	1	2	11.00
1231	6	500	50	2500	185.00	80.00	1	2	8.00
1241	6	500	100	2500	180.00	70.00	1	2	7.00
1112	6	1000	10	4000	290.00	260.00	2	2	13.00
1122	6	1000	20	4000	240.00	160.00	1	1	16.00
1132	6	1000	50	4000	210.00	100.00	1	2	10.00
1142	6	1000	100	4000	200.00	80.00	1	3	8.00
2111	9	1000	10	2500	275.00	260.00	2	2	19.50
2121	9	1000	20	2500	225.00	160.00	1	1	24.00
2131	9	1000	50	2500	195.00	100.00	1	2	15.00
2141	9	1000	100	2500	185.00	80.00	1	2	12.00
2211	9	500	10	2500	225.00	160.00	1	1	24.00
2221	9	500	20	2500	200.00	110.00	1	2	16.50
2231	9	500	50	2500	185.00	80.00	1	2	12.00
2241	9	500	100	2500	180.00	70.00	1	2	10.50

3111	12	1000	10	2500	275.00	260.00	3	3	17.33
3121	12	1000	20	2500	225.00	160.00	2	2	16.00
3131	12	1000	50	2500	195.00	100.00	1	2	20.00
3141	12	1000	100	2500	185.00	80.00	1	2	16.00
3211	12	500	10	2500	225.00	160.00	2	2	16.00
3221	12	500	20	2500	200.00	110.00	1	2	22.00
3231	12	500	50	2500	185.00	80.00	1	2	16.00
3241	12	500	100	2500	180.00	70.00	1	2	14.00
3112	12	1000	10	4000	290.00	260.00	3	3	17.33
3122	12	1000	20	4000	240.00	160.00	2	2	16.00
3132	12	1000	50	4000	210.00	100.00	1	2	20.00
3142	12	1000	100	4000	200.00	80.00	1	3	16.00
4111	18	1000	10	2500	275.00	260.00	4	4	19.50
4121	18	1000	20	2500	225.00	160.00	2	2	24.00
4131	18	1000	50	2500	195.00	100.00	2	4	15.00
4141	18	1000	100	2500	185.00	80.00	1	2	24.00
4211	18	500	10	2500	225.00	160.00	2	2	24.00
4221	18	500	20	2500	200.00	110.00	2	4	16.50
4231	18	500	50	2500	185.00	80.00	1	2	24.00
4241	18	500	100	2500	180.00	70.00	1	2	21.00

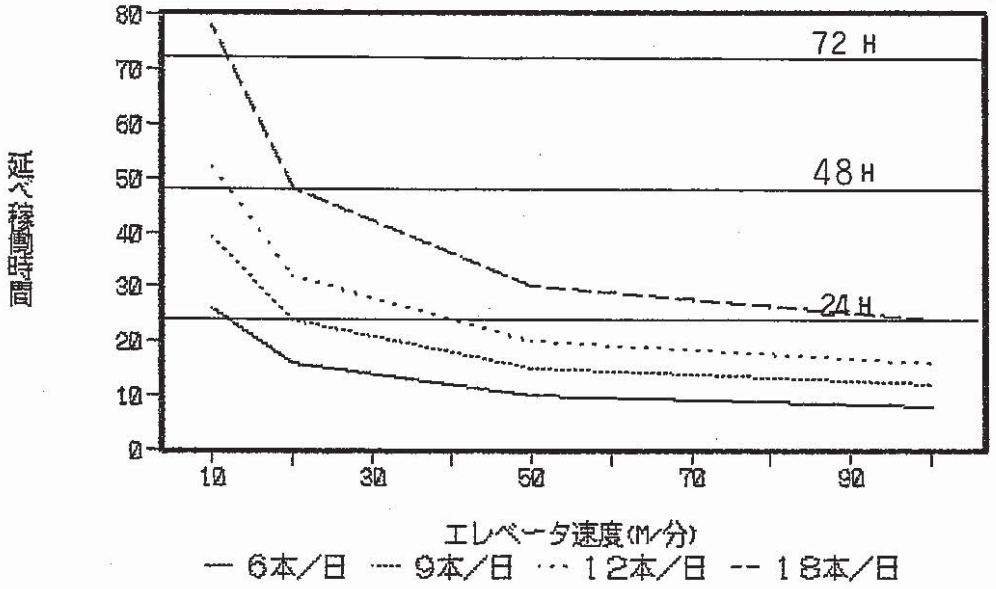


図３－６　稼働時間（1000M深）

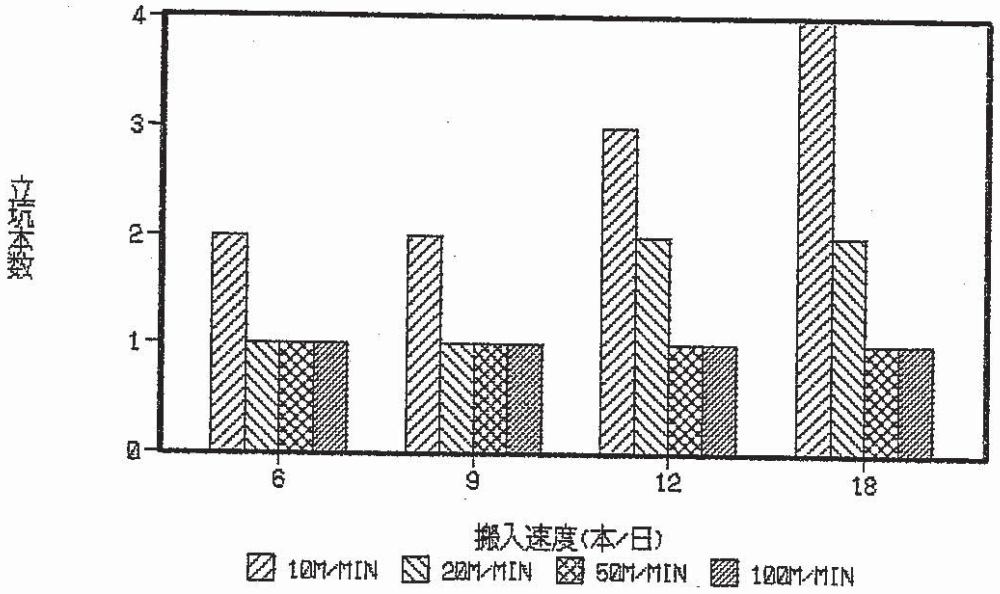


図３－７　立坑本数（1000M深）

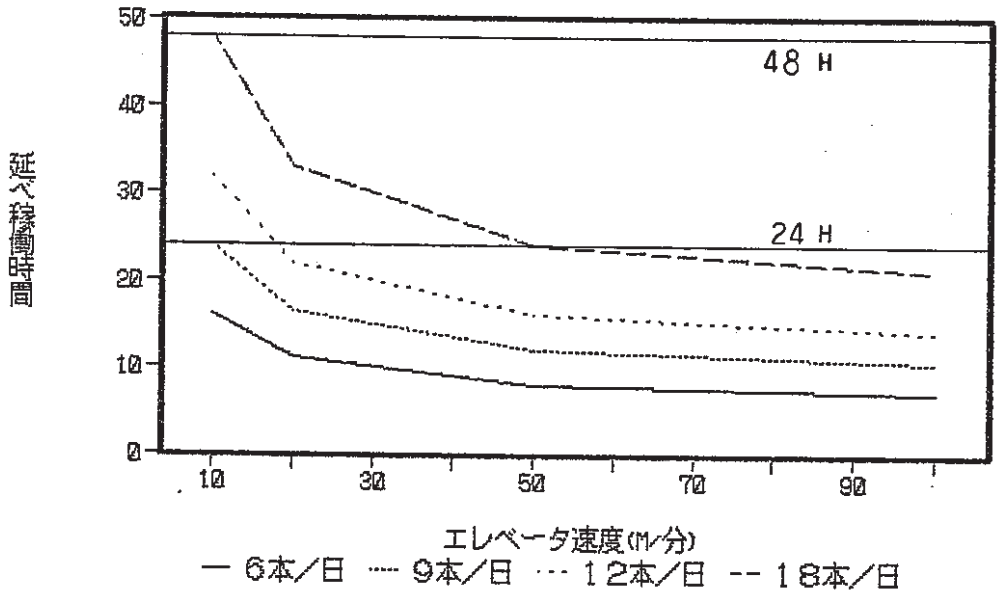


図３－８　稼働時間（500M深）

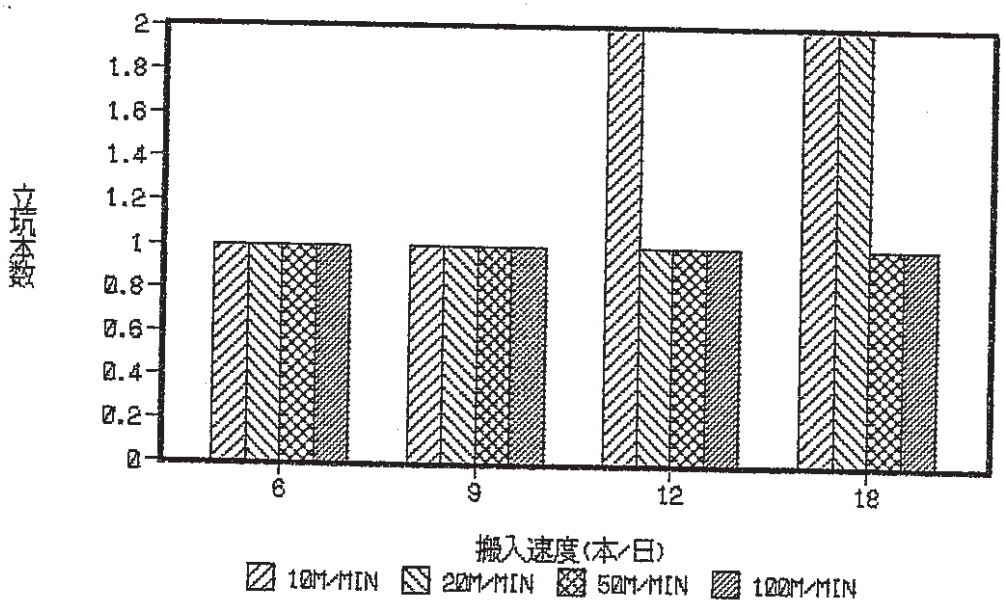


図３－９　立坑本数（500M深）

(2) 斜坑方式

斜坑本式を採用した場合，地下への搬入能力は，走行する車両の積載能力や車両数を増減させることにより，フレキシブルに対応することができる。

計算は立坑方式と同様に，車両の往復時間（ＣＹＣＬＥ時間）を求め，これから１日の受入量を処理するに必要な稼動時間を求めた。これが24時間を超えると，車両の追加が必要となる。ビークル台数は稼動時間内に廃棄物を定置し終えるに必要な台数とした。

(a) ビークルに積み替える場合

評価条件及び結果を表３－７に示す。

車両の積載量と稼動時間の関係を図３－10，11に示す。斜坑は積載量を増すか，車両台数を増すことにより，容易に搬入能力を増強することができる。但し，斜坑が片側通行のみの場合において，車両台数を３台以上に増加させる場合には，地上・地下における廃棄物積み降し設備系列数を追加し，積み降し作業を平行して行う必要がある。

表3-7　処分場物流評価条件と結果(斜坑)

受入速度 本／日	深度 M	積載量 本／台	地下移送 M	1 THROUGH 分	1 CYCLE 分	車両台数 台	VEECLE台数 台	延稼働時間 時間
6	1000	1	2500	220	160	1	1	16.0
6	1000	2	2500	250	190	1	2	9.5
6	1000	4	2500	280	220	1	3	5.5
9	1000	1	2500	220	160	1	1	24.0
9	1000	2	2500	250	190	1	2	14.3
9	1000	4	2500	280	220	1	3	8.3
12	1000	1	2500	220	160	2	2	32.0
12	1000	2	2500	250	190	1	2	19.0
12	1000	4	2500	280	220	1	3	11.0
18	1000	1	2500	220	160	2	2	48.0
18	1000	2	2500	250	190	2	3	28.5
18	1000	4	2500	280	220	1	3	16.5
6	500	1	2500	195	110	1	2	11.0
6	500	2	2500	225	140	1	2	7.0
6	500	4	2500	255	170	1	3	4.3
9	500	1	2500	195	110	1	2	16.5
9	500	2	2500	225	140	1	2	10.5
9	500	4	2500	255	170	1	3	6.4
12	500	1	2500	195	110	1	2	22.0
12	500	2	2500	225	140	1	2	14.0
12	500	4	2500	255	170	1	3	8.5
18	500	1	2500	195	110	2	3	33.0
18	500	2	2500	225	140	1	2	21.0
18	500	4	2500	255	170	1	3	12.8

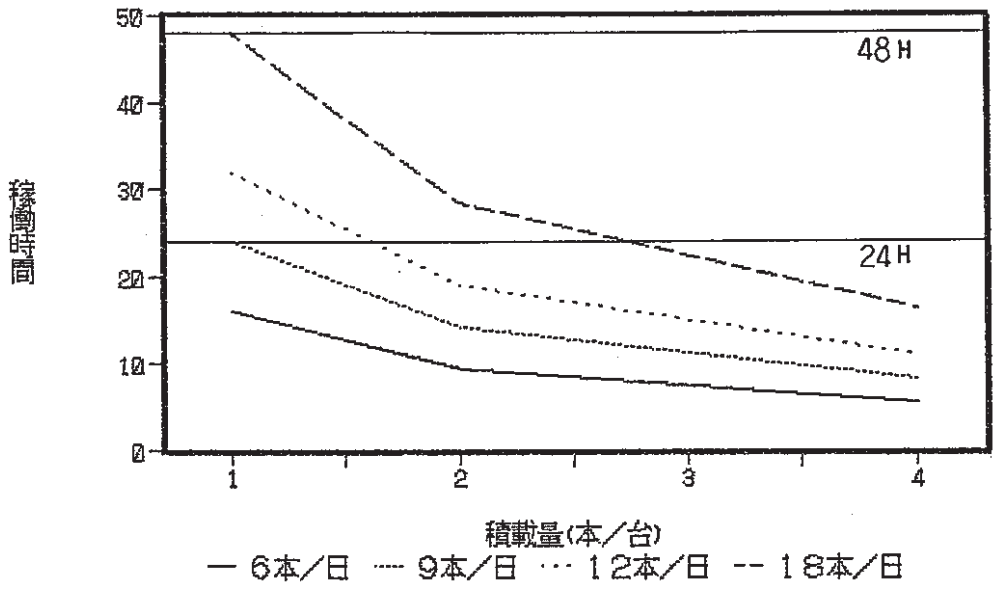


図3－10　稼働時間（1000M深）

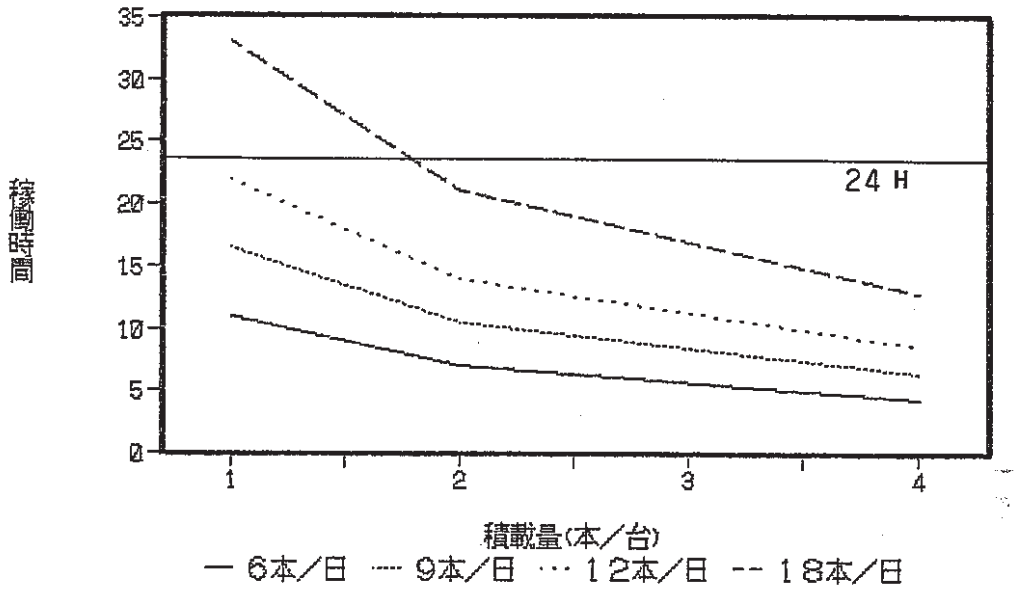


図3－11　稼働時間（500M深）

(b) 車両により定置作業まで行う場合

評価条件及び結果を表３－８に示す。

車両の積載量と稼動時間の関係を図３－12，13に示す。積み替えが無い場合，１ＣＹＣＬＥの車両拘束時間が長くなり，車両１台当りの稼動時間も，積み替えビークル使用ケースに比べて長くなる。

しかしながら，本ケースにおいても，車両台数を増強することにより，稼動時間を短縮することができる。但し，斜坑が片側通行の場合において，車両台数を４台以上に増加させる場合，地上における廃棄物積み込み設備系列数を追加し，積み込み作業を平行に行う必要がある。

表3-8　処分場物流評価条件と結果(斜坑，積み替えなし)

受入速度 本／日	深度 M	積載量 本／台	地下移送 M	1 THROUGH 分	1 CYCLE 分	車両台数 台	VEECLE台数 台	延稼働時間 時間
6	1000	1	2500	160	210	1	1	21.0
6	1000	2	2500	180	240	1	1	12.0
6	1000	4	2500	220	270	1	2	6.8
9	1000	1	2500	160	210	2	2	31.5
9	1000	2	2500	180	240	1	1	18.0
9	1000	4	2500	220	270	1	2	10.1
12	1000	1	2500	160	210	2	2	42.0
12	1000	2	2500	180	240	2	2	24.0
12	1000	4	2500	220	270	1	2	13.5
18	1000	1	2500	160	210	3	2	63.0
18	1000	2	2500	180	240	2	2	36.0
18	1000	4	2500	220	270	1	2	20.3
6	500	1	2500	135	160	1	1	16.0
6	500	2	2500	155	190	1	2	9.5
6	500	4	2500	195	220	1	3	5.5
9	500	1	2500	135	160	1	1	24.0
9	500	2	2500	155	190	1	2	14.3
9	500	4	2500	195	220	1	3	8.3
12	500	1	2500	135	160	2	2	32.0
12	500	2	2500	155	190	1	2	19.0
12	500	4	2500	195	220	1	3	11.0
18	500	1	2500	135	160	2	2	48.0
18	500	2	2500	155	190	2	3	28.5
18	500	4	2500	195	220	1	3	16.5

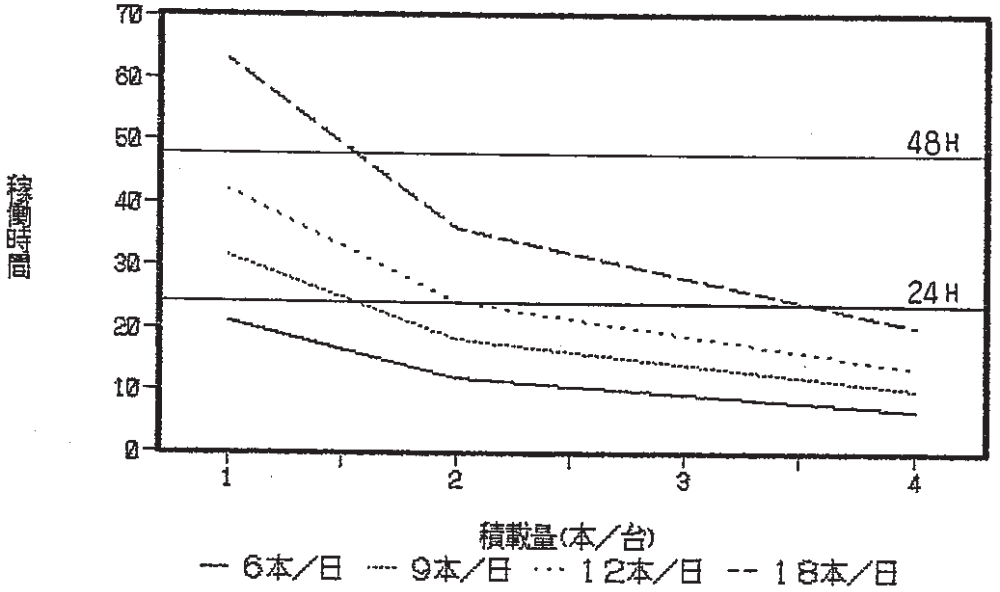


図３－12　稼働時間（1000M深）（積み替え無し）

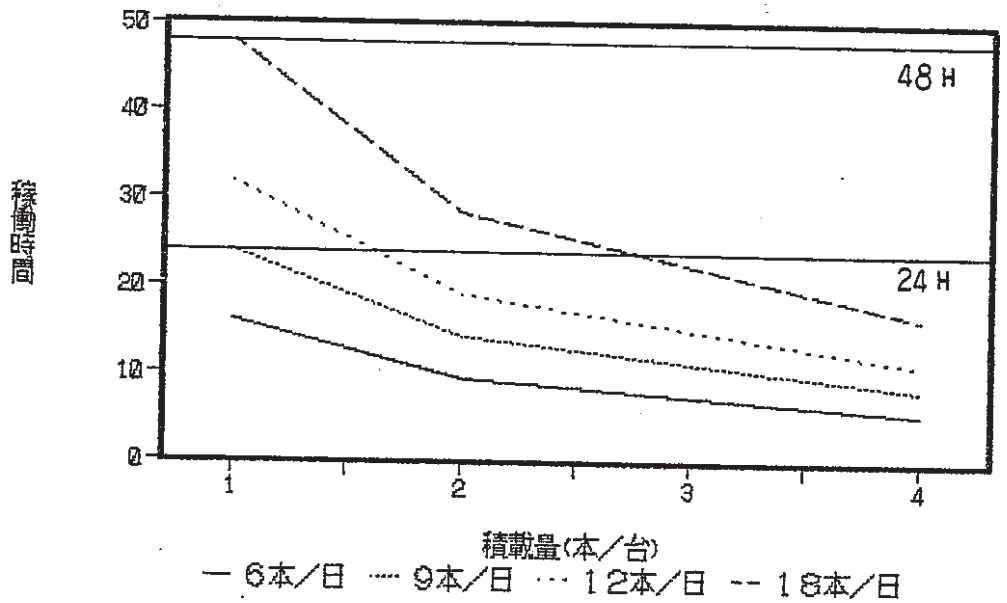


図３－13　稼動時間（500M深）（積み替え無し）

(3) 斜坑と立坑の比較

① 物流システムの代表的な設計例として，立坑（エレベータ速度50m／分）斜坑（1本／台積載，積み替え有）の延べ稼動時間を比較すると，図3－14に示すように立坑の方が斜坑よりも稼動時間が短い。

② しかしながら，立坑は容量がオーバーした場合，新たな立坑を新設する必要があるが，斜坑の場合は車両台数と付随するハンドリング設備系列数を追加することにより対応することが可能である。また1日当り稼動時間を制限（例えば8時間）する必要がある場合には，斜坑の方が対応が容易である。

③ 立坑が斜坑と同程度の運転性であるためには，速度が50m／分以上のエレベータシステムを開発することが第1の課題となる。また廃棄物の積み替えの所要時間を短縮することが第2の課題になるものと考えられる。

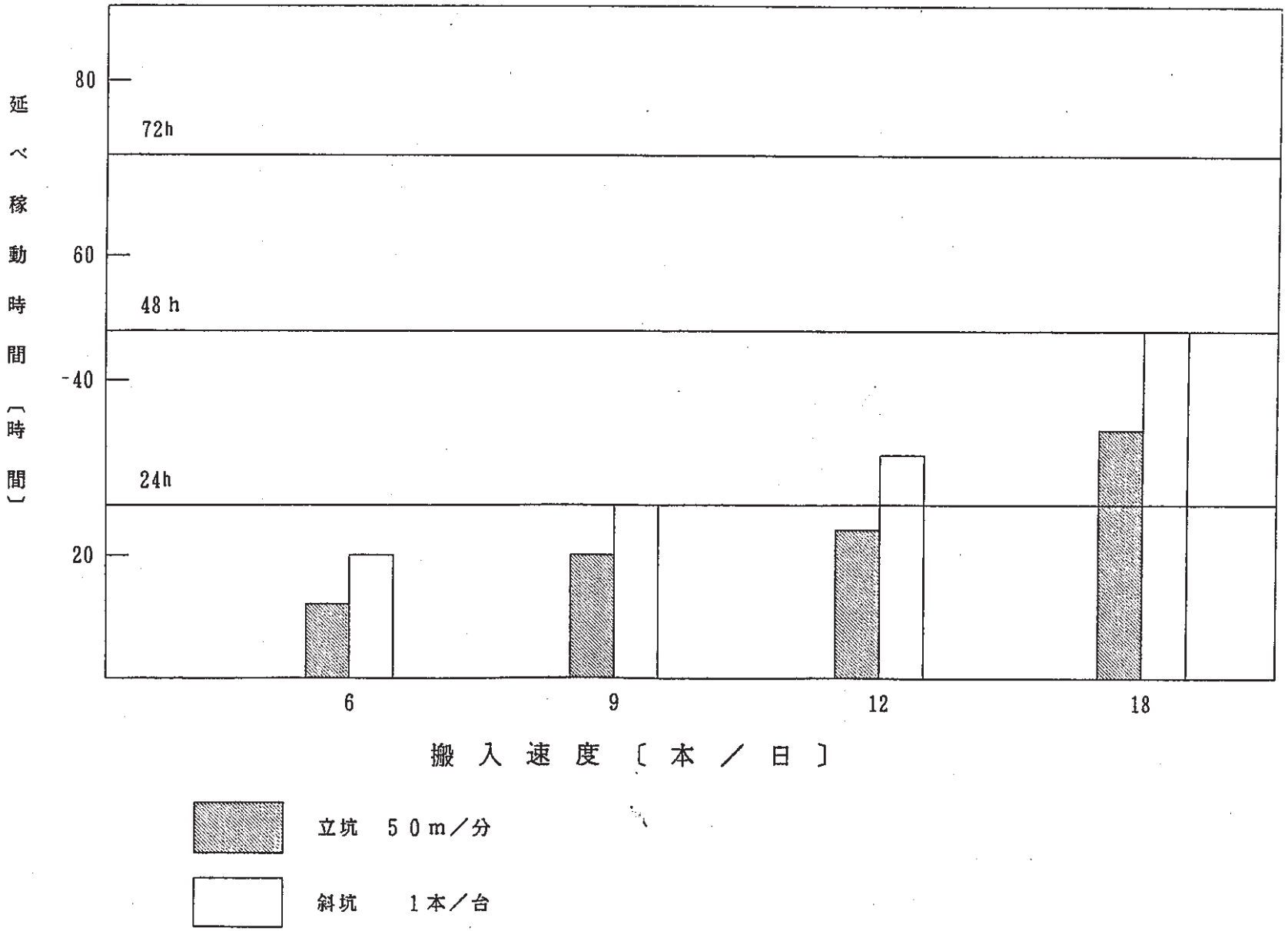


図３－14　斜坑と立坑の比較（1000ｍ深）

参　考　文　献

(1) 地層処分場操業・管理システムの調査研究

（昭和62年度）ＰＮＣ　ＳＪ4281 88-001

(2) Site characterization Plan, 1988, DOE/RW-0160

(3) Nuclear Science and Technology, EUR 7620 EN, FR, (1982)

(4) Project Gevaehr, 1985, NGB 85-06

4. 処分場の運転スケジュール

再処理工場で製造されたガラス固化体は，ある期間冷却された後，処分場に送られる。この間の貯蔵費を考慮すると，処分場の運転開始時期によりガラス固化体の総経費（貯蔵費＋処分費）が変動する。

また，ある一定規模の処分場建設を想定した場合受入速度を大きくすると，運転期間が短くなるため坑道等の維持，監理費が小さくなる一方，受入能力を高めるための設備費が増大する。

これらの運転スケジュールが総経費に与える影響について，検討を行った。

4.1 操業条件

貯蔵コスト算出の対象は，2030年までに製造されるガラス固化体約38000 本とする。処分場は，これを一括して処分可能なものを想定する。また2050年(63000本)，2070年(88000本）を対象とした処分場についても検討を行った。

処分場の操業条件を表４－１に示す。

(1) ガラス固化体の冷却期間

貯蔵する期間を10，30，50，70年とする。

(2) 受け入れ速度

前節3.と同様に1200，1800，2400，3600，4800本／年とする。

(3) 処分場受入れ開始時期，及び受け入れ終了時期

処分場の受け入れ終了時期を，2030年に冷却期間を加算した年，即ち，2040，2060，2080，2100年とする。処分場の受け入れ開始時期は，次のようにして求める。

$$\text{受け入れ終了時期} - \frac{38000\ \text{本}}{\text{受け入れ速度}} = \text{受け入れ開始時期}$$

これは無用の貯蔵を避けた効率的なスケジュールであり，受け入れ開始時期が上記より遅れる場合は，貯蔵コストのみが余分に加算されることになる。2050年のケースについても同様にして計算を行った。

表４－１　処分場の操業条件（2030年ケース）

ケース	ガラス固化体の冷却期間（年）	処分場受け入れ終了時期（年）	受け入れ速度（本／年）	処分場受け入れ開始時期（年）
11	10	2040	1200	2007
12	↓	↓	1800	2018
13	↓	↓	2400	2023
14	↓	↓	3600	2029
21	30	2060	1200	2027
22	↓	↓	1800	2038
23	↓	↓	2400	2043
24	↓	↓	3600	2049
31	50	2080	1200	2047
32	↓	↓	1800	2058
33	↓	↓	2400	2063
34	↓	↓	3600	2069
41	70	2100	1200	2067
42	↓	↓	1800	2078
43	↓	↓	2400	2083
44	↓	↓	3600	2089

表４－１　処分場の操業条件（2050年ケース）

ガラス固化体の冷却期間（年）	処分場受け入れ終了時期（年）	受け入れ速度（本／年）	処分場受け入れ開始時期（年）
10	2060	1200	2007
↓	↓	2400	2034
		3600	2042
		4800	2047
30	2080	1200	2027
↓	↓	2400	2054
		3600	2062
		4800	2067
50	2100	1200	2047
↓	↓	2400	2074
		3600	2082
		4800	2087
70	2120	1200	2067
↓	↓	2400	2094
		3600	2102
		4800	2107

表４－１　処分場の操業条件（2070年ケース）

ガラス固化体の冷却期間（年）	処分場受け入れ終了時期（年）	受け入れ速度（本／年）	処分場受け入れ開始時期（年）
10	2080	1200	2007
↓	↓	2400	2043
		3600	2055
		4800	2062
30	2100	1200	2027
↓	↓	2400	2063
		3600	2075
		4800	2082
50	2120	1200	2047
↓	↓	2400	2083
		3600	2095
		4800	2102
70	2140	1200	2067
↓	↓	2400	2103
		3600	2115
		4800	2122

(4) 処分坑道長

冷却期間が短い場合，ガラス固化体の発熱量が高いので，定置間隔が長くなり，全坑道長も長くなる。

ガラス固化体の処分間隔は，ニアフィールド，ファーフィールドにおける熱解析の結果により判断されるものと考える。

ファーフィールドに関しては，サイト条件を加味した総合的な評価が必要になる。本研究では，概念検討の段階であるから，ニアフィールド面から処分密度を考える。処分密度として決定すべき項目に，坑道間隙と，定置間隙がある。このうち坑道間隙については，定置間隙の2～3倍以上あると考えられるので，ガラス固化体近傍の温度はもっぱら定置間隔に強く影響されるものと考えられる。この観点から既存の研究例について，ガラス固化体の発熱量と定置間隔の関係をサーベイすると次のようになる。

出典	ガラス固化体発熱量〔W/本〕	岩質	深度(m)	坑道間隔(m)	定置間隔(m)	線発熱密度(W/m)
KBSレポート('79)	525	花崗岩	500	25	4	131
NAGRA[1]	<650	結晶質岩	1200	40	5	130
GEOSTOCK[2]レポート	900	花崗岩	1000	17.5	20	45
国内研究事例(S62)	500	硬岩	500	30	4	125
			1000	〃	7	71

本研究では，線発熱密度を70W／mとして坑道長を決定した。

処分場の全坑道長を表4－2に示す。

表４－２　廃棄物の処分密度と全坑道長

冷却期間（年）	発熱量（W／年）	処分密度（m／本）	全坑道長（km）		
			(2030)	(2050)	(2070)
10	1150	16.4	656	1033	1445
30	650	9.3	372	586	820
50	400	5.7	228	359	562
70	260	3.7	148	233	326

(1)　発熱量に関する処分場の設計条件を70W／mとする。

4.2　コストデータ

既存の試算例をもとに，処分場の費用及び中間貯蔵費用を表９－３のように設定した。

尚，各コストデータは次のような条件のもとに設定した。

①　立坑，坑道，処分孔の維持管理費は，建設費の４％とする。

②　エレベータの維持管理費は，設備費の３％とする。

③　処分場全体に８パネルに区分し、順次建設，閉鎖が行われているものとする。従って，運転状態にあるのは常に処分場全体の1/8 であるとする。

④　立坑本数は，次のように設定する。

1200本／年　　２本

1800本／年　　２本

2400本／年　　３本

3600本／年　　４本

⑤　中間貯蔵の方法としては，自然空冷方式，強制空冷の方式，キャスク貯蔵方式等の方式が考えられる。ここでは貯蔵コストの影響をみるために，５，25，50，75万円／本・年を設定した。

表４－３　経済性評価データ

施設		データ項目	単価
中間貯蔵施設		貯蔵費	５ ２５ ５０ ７５　万円／本・年
処分施設	建設費，設備費	立坑建設費	１０９　億円／本
		エレベータ設備費	２１　億円／本
		坑道建設費	２５８　万円／m
	運転費	立坑維持管理	4.4　億円／本・年
		エレベータ維持管理費	0.６３　億円／本・年
		坑道維持管理費	１0.3　万円／m・本
		処分孔維持管理費	8.0　万円／本・年
	埋め戻し費	立坑	８６　億円／本
		坑道	５7.7　万円／m
	その他　建設・設備費・埋め戻し費		１４，０２６　億円
	その他　運転費		１７５　億円／年

4.3 評価結果及び検討

(1) 中間貯蔵コスト5万円／本・年のケース

① 計算結果を表4－4に示す。

② 受入速度の影響を図4－1に示す。

受入設備費が建設・閉鎖費に占める割合が小さいため，受入速度が大きい程，運転期間が短くなることによる運転費軽減効果が大きく，全体のコストは低下する。

③ 冷却年数の影響を図4－2に示す。

貯蔵コストの占める割合が小さいため，冷却年数が長くなる程処分場がコンパクトとなる効果が大きく，全体のコストは低下する。

④ 中間貯蔵コストが5万円／本・年の場合は，処分場の運開時期を遅らせ，受入速度の大きい処分場を建設することが経済的となる。

表4-4　中間貯蔵,処分費

冷却期間	受入速度	中間貯蔵費	建設閉鎖費	運転費	処分費合計	総計(億円)
10	1200	197	35,038	16,168	51,206	51,403
10	1800	306	35,038	10,779	45,817	46,122
10	2400	350	35,250	8,084	43,335	43,685
10	3600	395	35,463	5,389	40,852	41,247
30	1200	576	26,177	15,008	41,185	41,761
30	1800	685	26,177	10,005	36,183	36,868
30	2400	730	26,390	7,504	33,894	34,623
30	3600	774	26,602	5,003	31,605	32,379
50	1200	955	21,684	14,420	36,104	37,060
50	1800	1,064	21,684	9,613	31,298	32,362
50	2400	1,109	21,897	7,210	29,107	30,216
50	3600	1,153	22,109	4,807	26,916	28,069
70	1200	1,335	19,188	14,093	33,281	34,616
70	1800	1,444	19,188	9,395	28,584	30,027
70	2400	1,488	19,401	7,047	26,447	27,936
70	3600	1,533	19,613	4,698	24,311	25,844

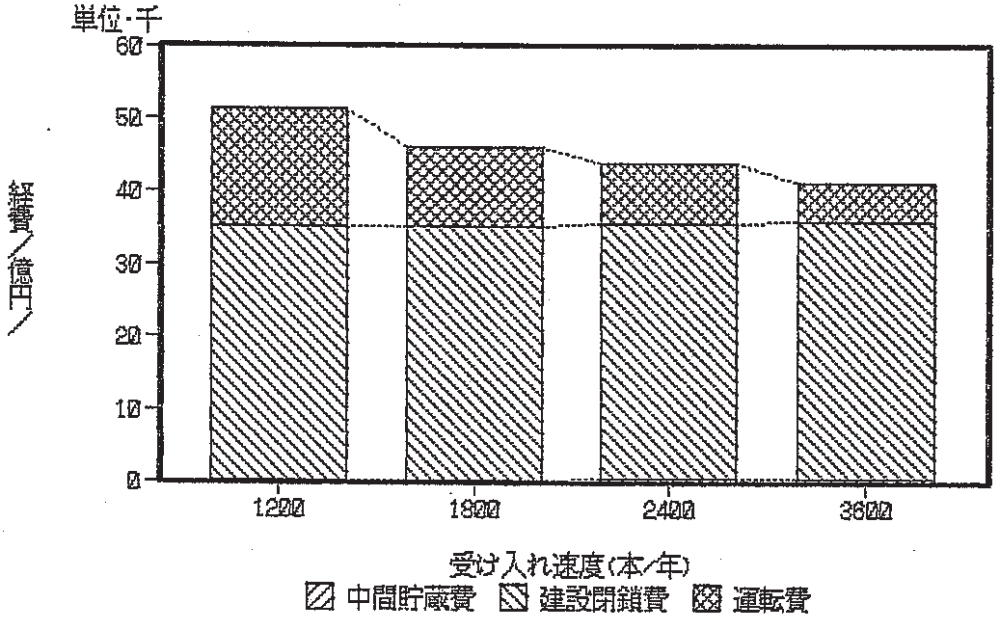


図４－１　受け入れ速度による変化（10年冷却）（１／４）

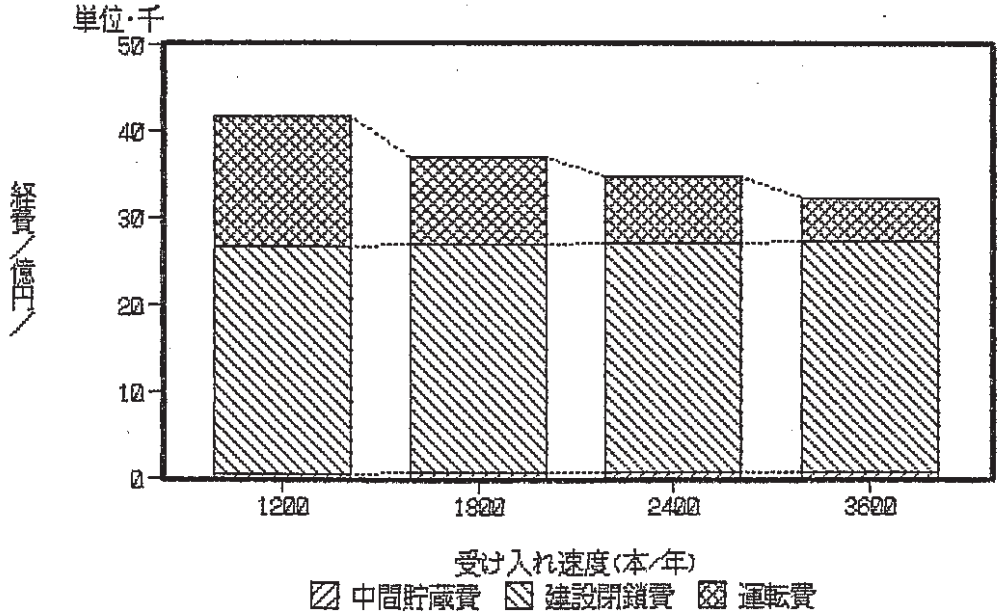


図４－１　受け入れ速度による変化（30年冷却）（２／４）

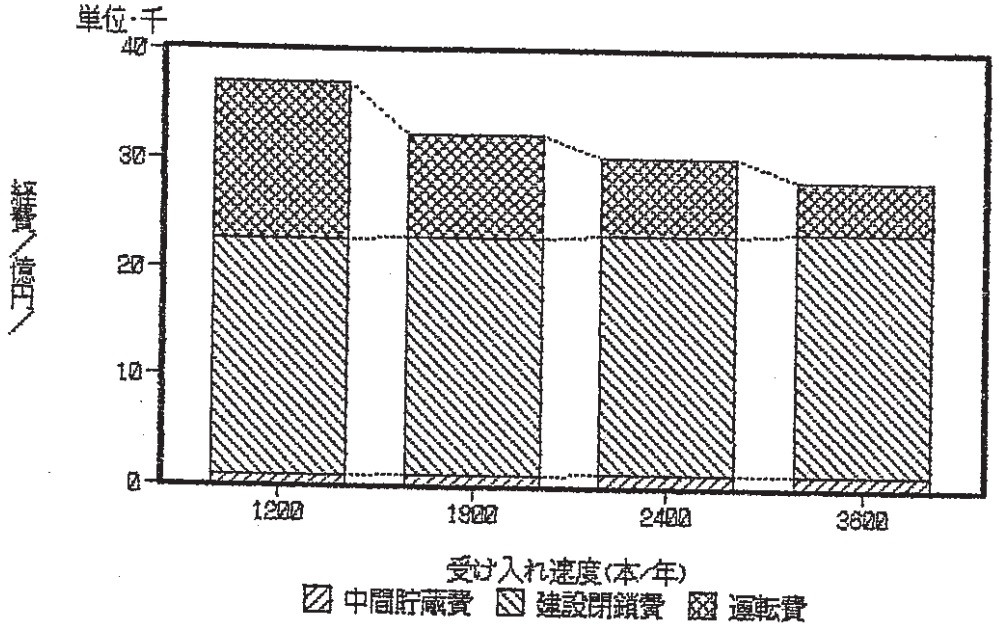


図４－１　受け入れ速度による変化（50年冷却）（３／４）

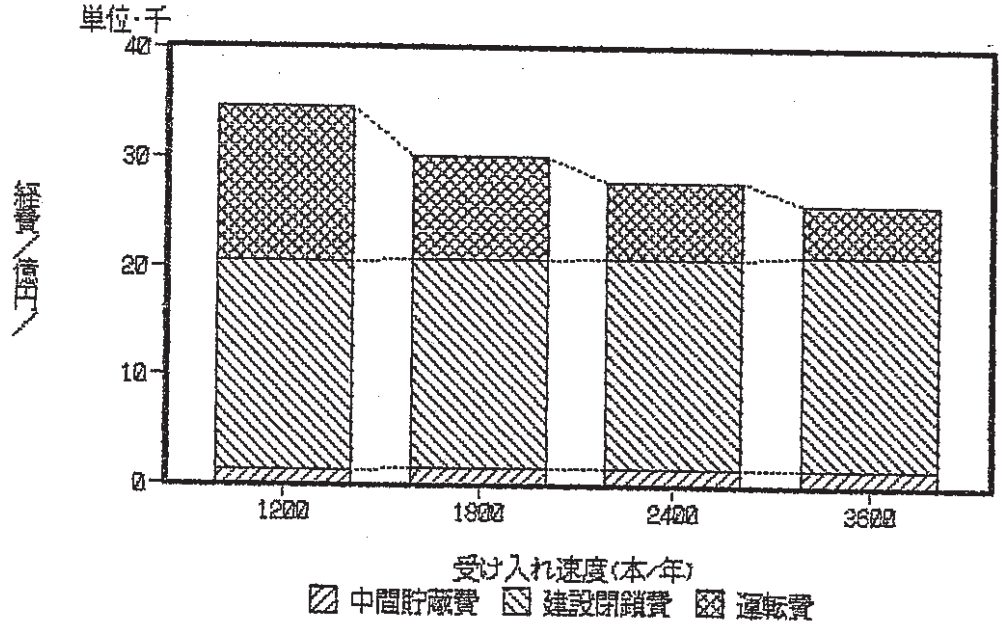


図４－１　受け入れ速度による変化（70年冷却）（４／４）

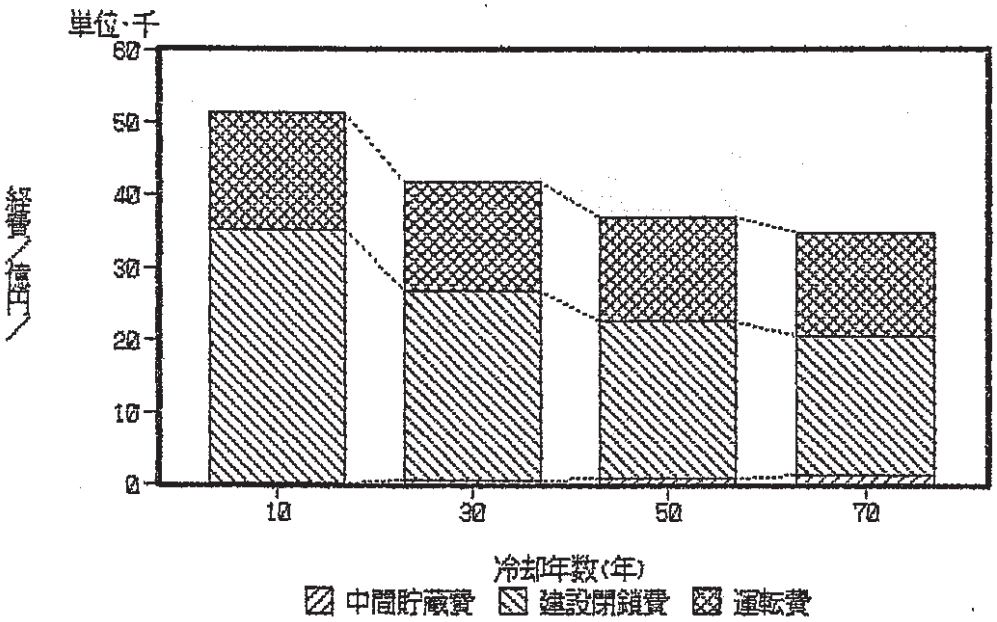


図４－２　冷却年数による変化（1200本／年）（１／４）

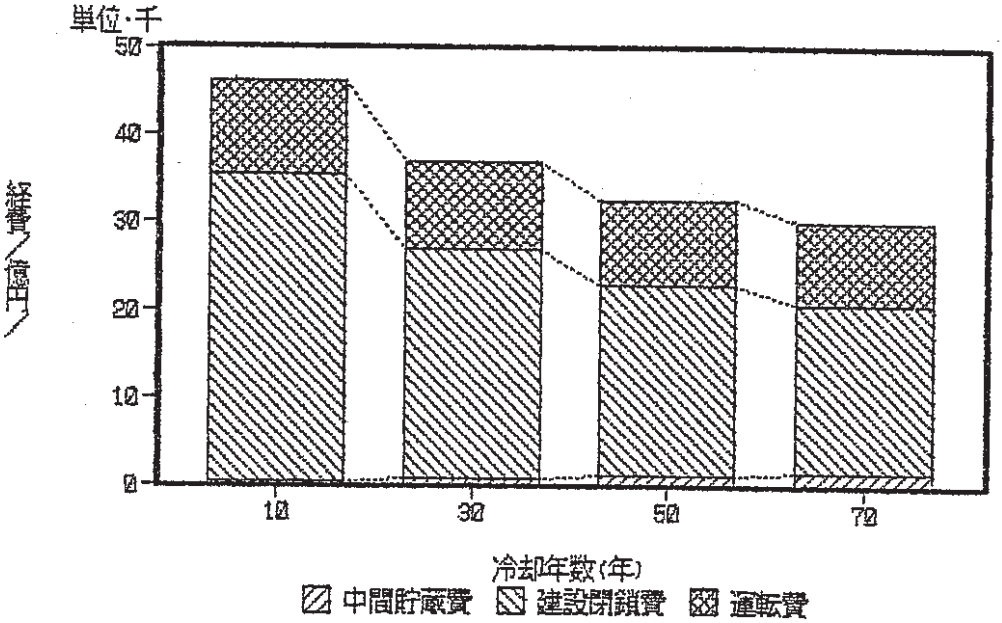


図４－２　冷却年数による変化（1800本／年）（２／４）

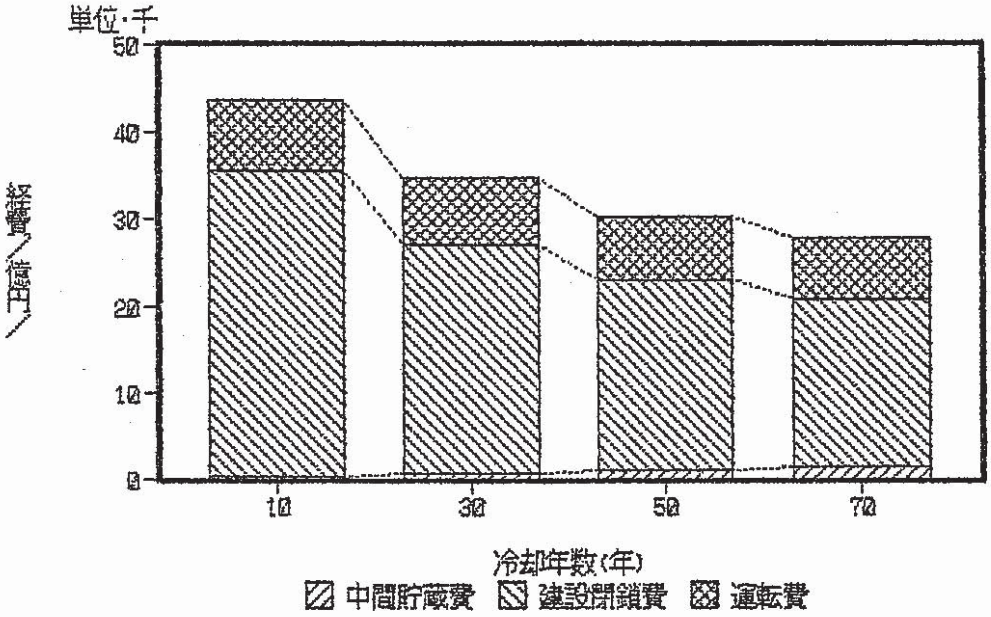


図４－２　冷却年数による変化（2400本／年）（３／４）

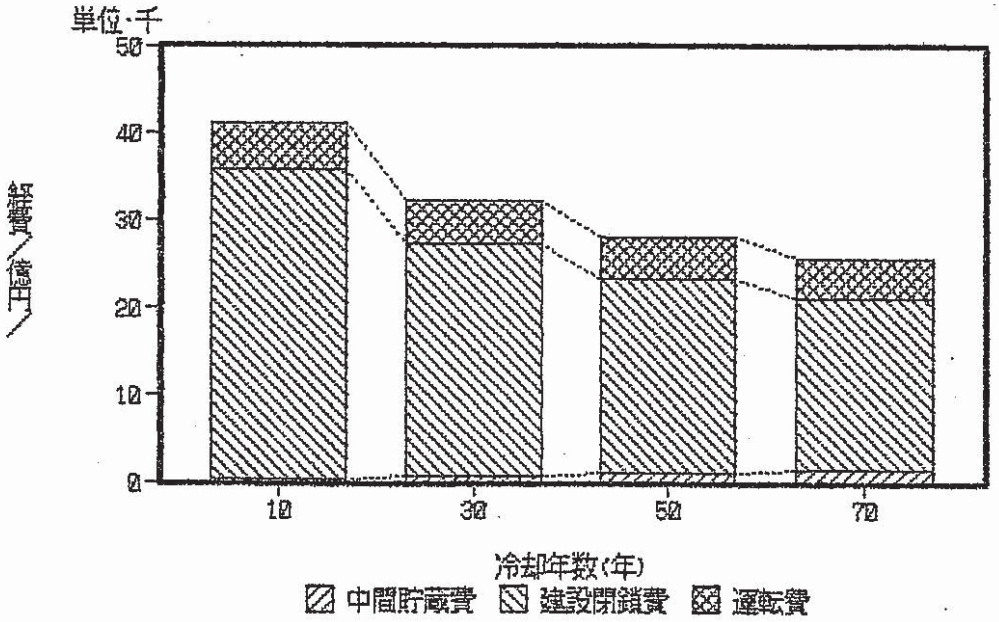


図４－２　冷却年数による変化（3600本／年）（４／４）

(2) 中間貯蔵コスト25万円／本・年のケース

① 計算結果を表４－５に示す。

② 受入速度の影響を図４－３に示す。

受入速度が大きい程，全体のコストは低下する。

③ 冷却年数の影響を図４－４に示す。

冷却年数は長い方が全体のコストは低下する。

④ 中間貯蔵コストが25万円／本・年のケースにおいても運開時期を遅らせた方が経済的となる。

表 4-5　中間貯蔵，処分費

冷却期間	受入速度	中間貯蔵費	建設閉鎖費	運転費	処分費合計	総計(億円)
10	1200	984	35,038	16,168	51,206	52,190
10	1800	1,529	35,038	10,779	45,817	47,345
10	2400	1,752	35,250	8,084	43,335	45,087
10	3600	1,974	35,463	5,389	40,852	42,826
30	1200	2,881	26,177	15,008	41,185	44,066
30	1800	3,425	26,177	10,005	36,183	39,608
30	2400	3,649	26,390	7,504	33,894	37,542
30	3600	3,871	26,602	5,003	31,605	35,475
50	1200	4,777	21,684	14,420	36,104	40,881
50	1800	5,322	21,684	9,613	31,298	36,619
50	2400	5,545	21,897	7,210	29,107	34,652
50	3600	5,767	22,109	4,807	26,916	32,683
70	1200	6,674	19,188	14,093	33,281	39,955
70	1800	7,218	19,188	9,395	28,584	35,802
70	2400	7,442	19,401	7,047	26,447	33,889
70	3600	7,664	19,613	4,698	24,311	31,975

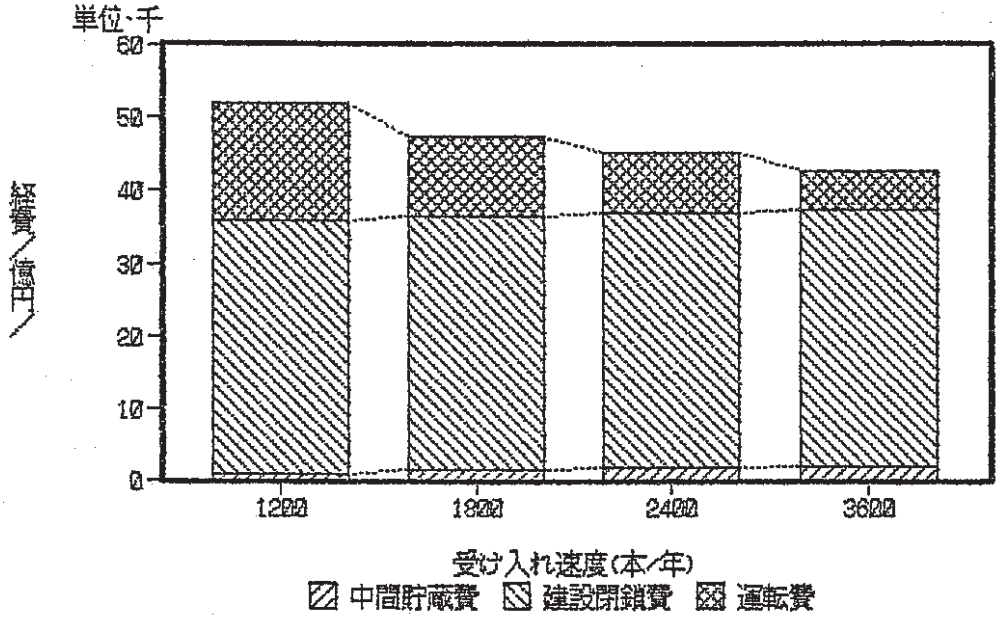


図４－３　受け入れ速度による変化（10年冷却）（１／４）

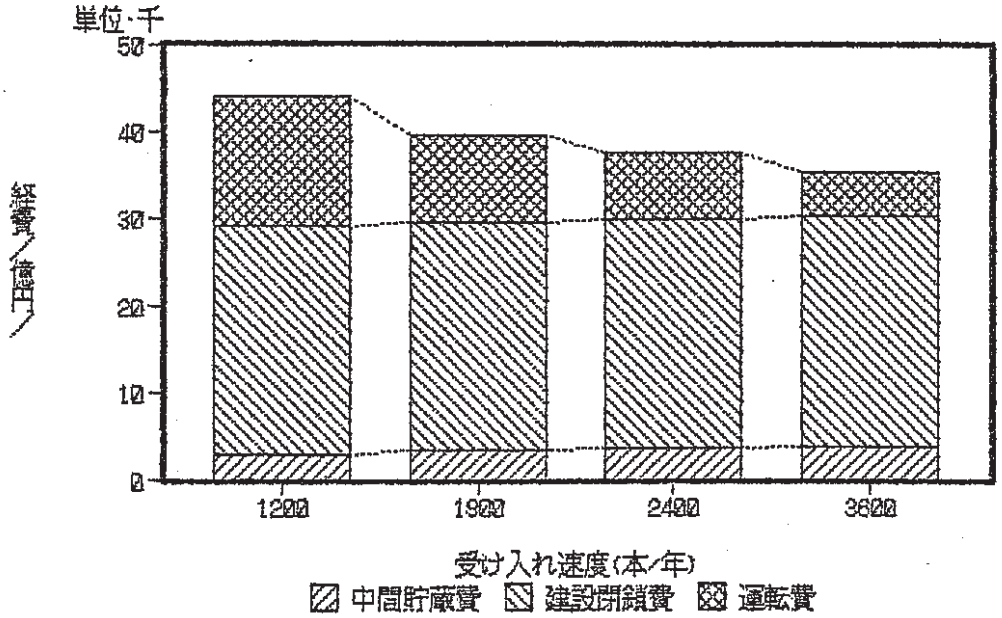


図４－３　受け入れ速度による変化（30年冷却）（２／４）

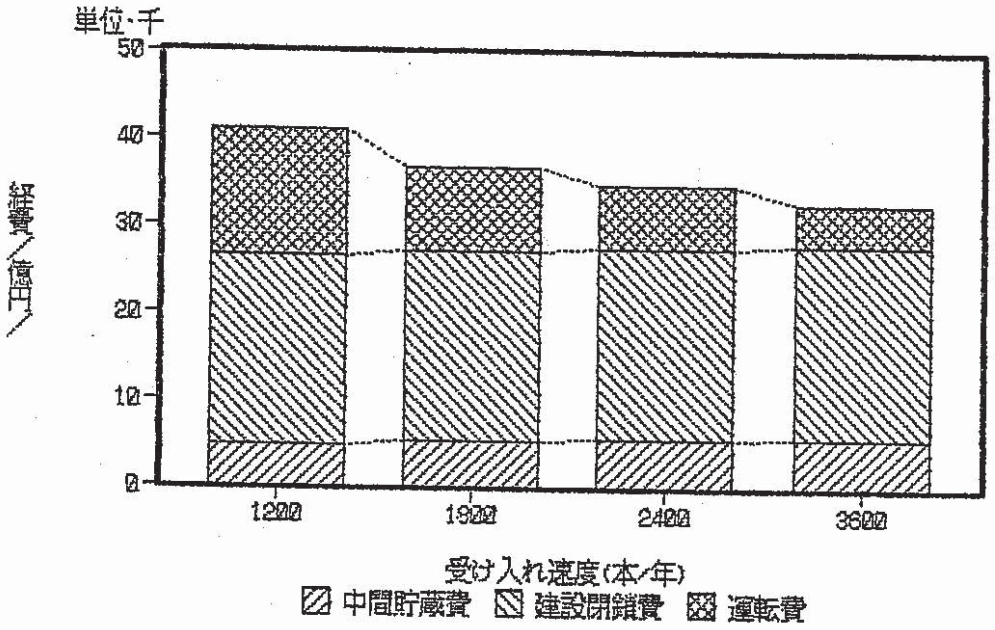


図４－３　受け入れ速度による変化（50年冷却）（３／４）

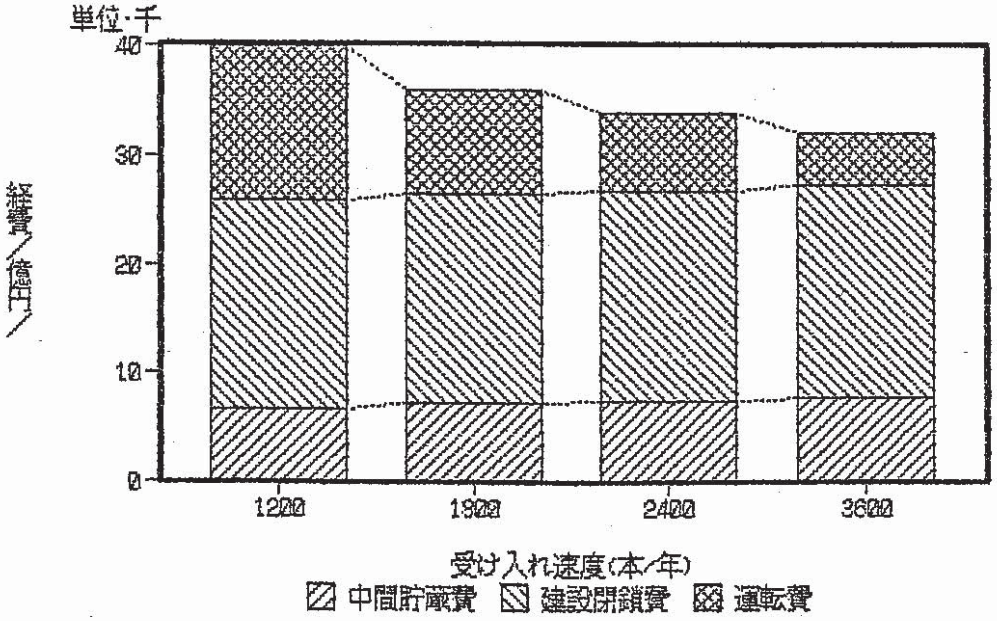


図４－３　受け入れ速度による変化（70年冷却）（４／４）

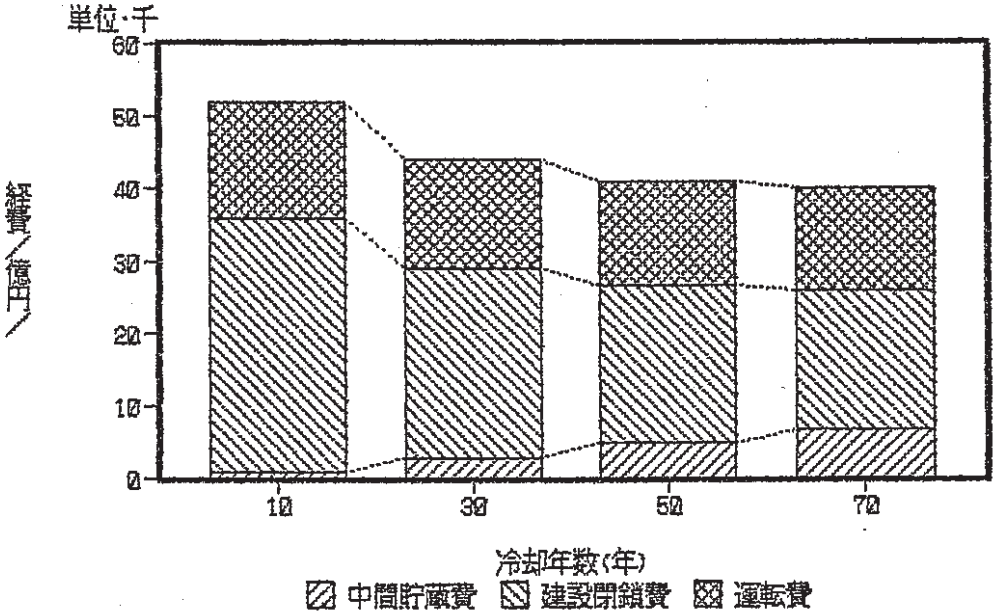


図４－４　冷却年数による変化（1200本／年）（１／４）

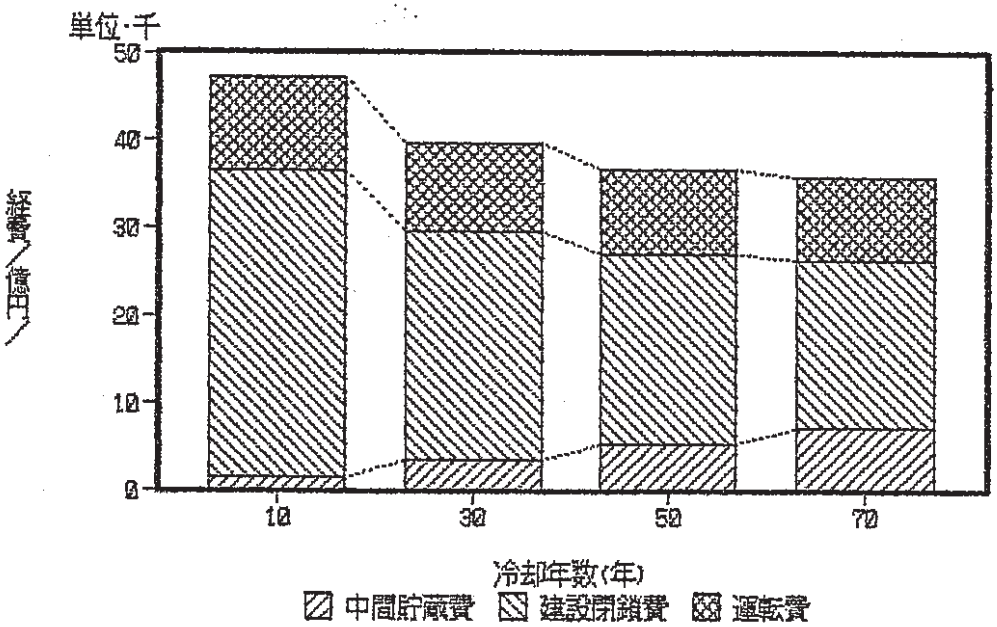


図４－４　冷却年数による変化（1800本／年）（２／４）

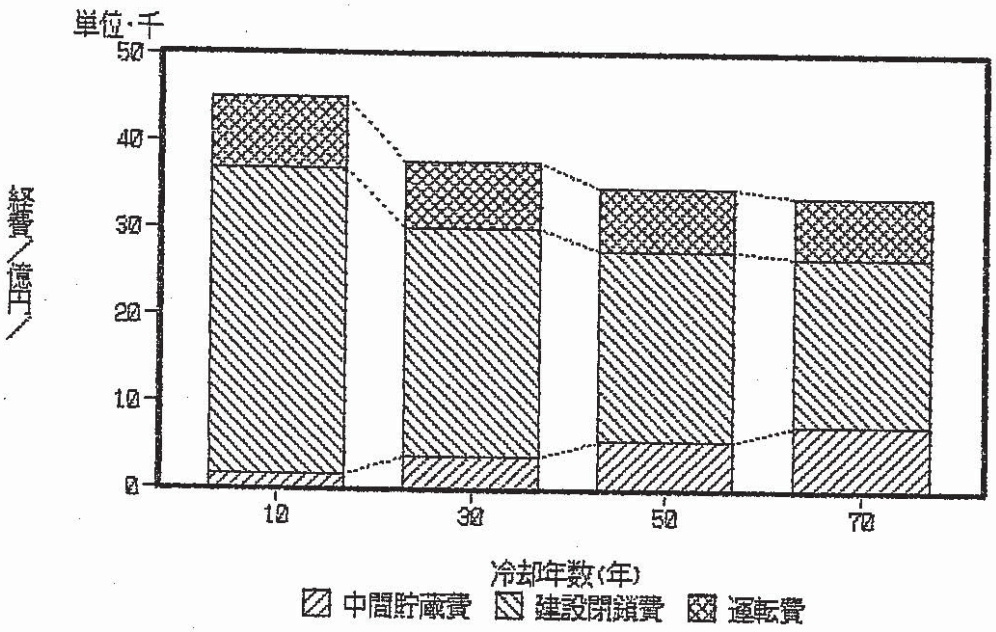


図４－４　冷却年数による変化（2400本／年）（３／４）

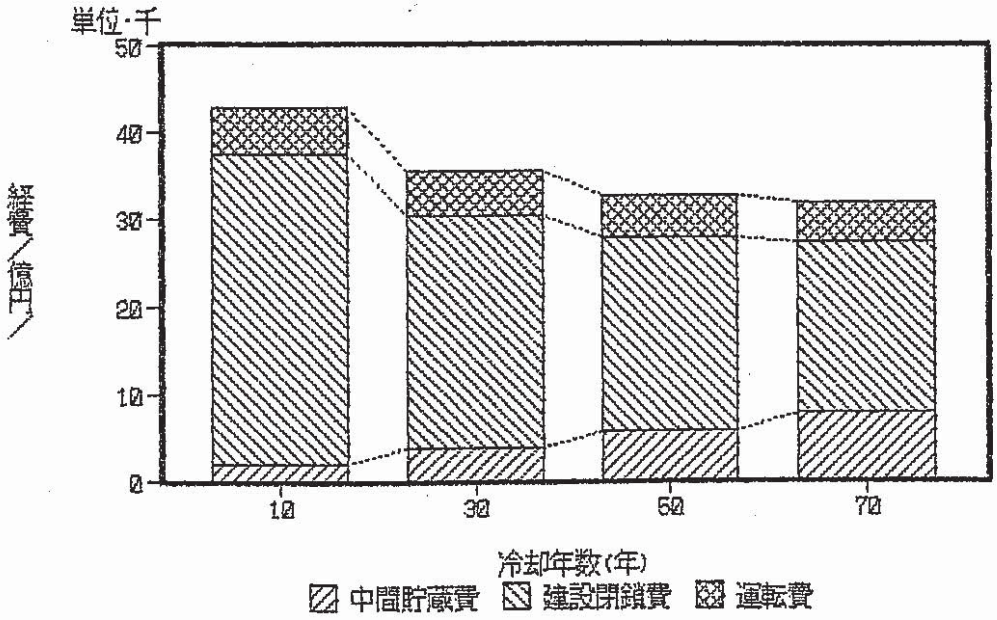


図４－４　冷却年数による変化（3600本／年）（４／４）

(3) 中間貯蔵コストが50万円／本・年のケース

① 計算結果を表4－6に示す。

② 受入速度の影響を図4－5に示す。

受入速度が大きい程，全体のコストを低下する。

③ 冷却年数の影響を図4－6に示す。

本ケースの場合，冷却年数が長くなると中間貯蔵費が無視できなくなるため，50年冷却が最も経済的となる。しかしながら冷却年数が30年以上の総コストの違いはごくわずかである。

表4-6　中間貯蔵,処分費

冷却期間	受入速度	中間貯蔵費	建設閉鎖費	運転費	処分費合計	総計(億円)
10	1200	1,968	35,038	16,168	51,206	53,174
10	1800	3,057	35,038	10,779	45,817	48,874
10	2400	3,504	35,250	8,084	43,335	46,839
10	3600	3,948	35,463	5,389	40,852	44,800
30	1200	5,761	26,177	15,008	41,185	46,946
30	1800	6,850	26,177	10,005	36,183	43,033
30	2400	7,297	26,390	7,504	33,894	41,191
30	3600	7,741	26,602	5,003	31,605	39,346
50	1200	9,554	21,684	14,420	36,104	45,658
50	1800	10,643	21,684	9,613	31,298	41,941
50	2400	11,090	21,897	7,210	29,107	40,197
50	3600	11,534	22,109	4,807	26,916	38,450
70	1200	13,347	19,188	14,093	33,281	46,629
70	1800	14,436	19,188	9,395	28,584	43,020
70	2400	14,883	19,401	7,047	26,447	41,331
70	3600	15,327	19,613	4,698	24,311	39,638

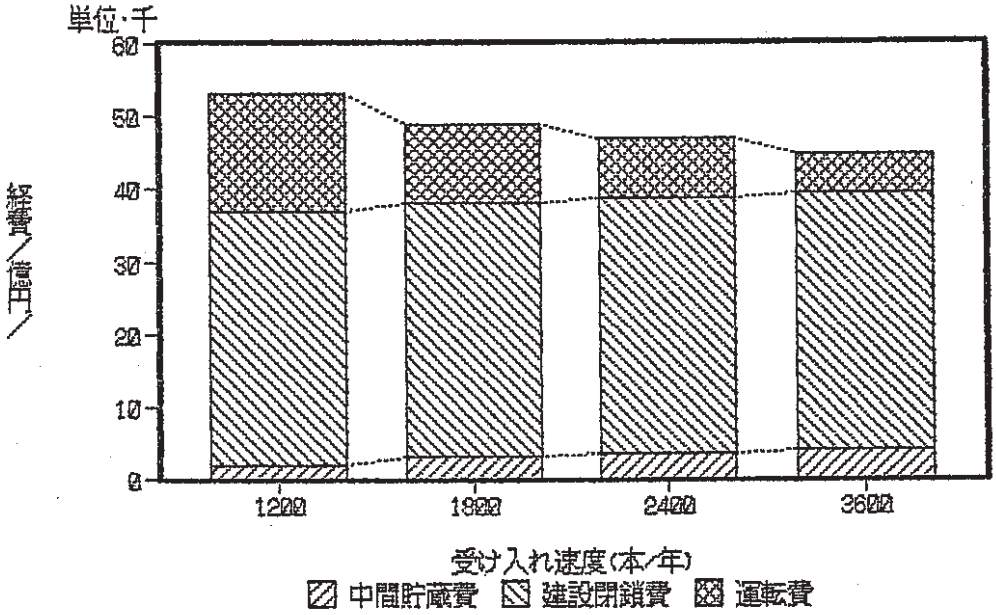


図４－５　受け入れ速度による変化（10年冷却）（１／４）

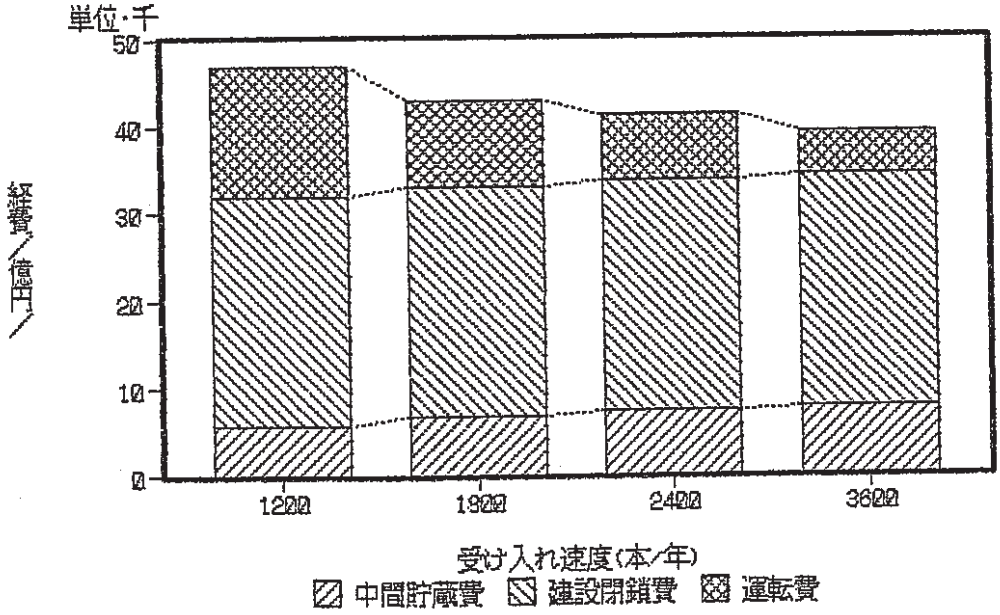


図４－５　受け入れ速度による変化（30年冷却）（２／４）

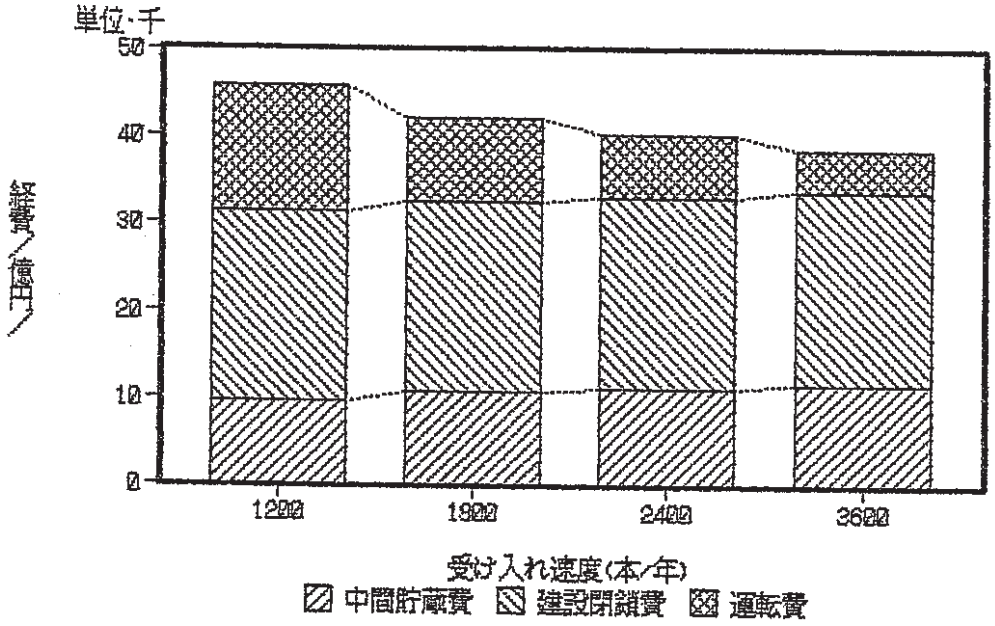


図４－５　受け入れ速度による変化（50年冷却）（３／４）

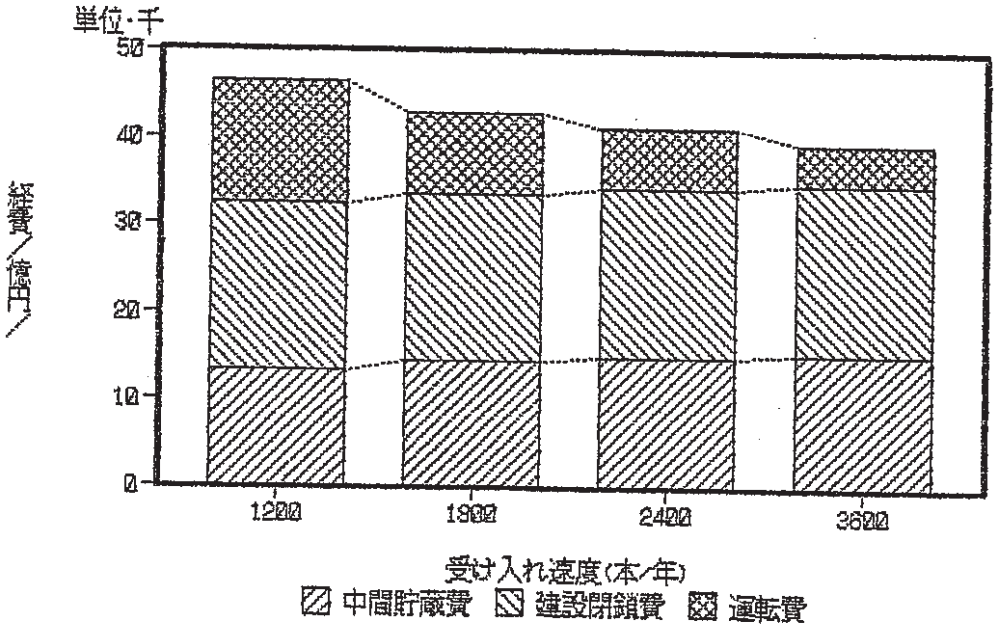


図４－５　受け入れ速度による変化（70年冷却）（４／４）

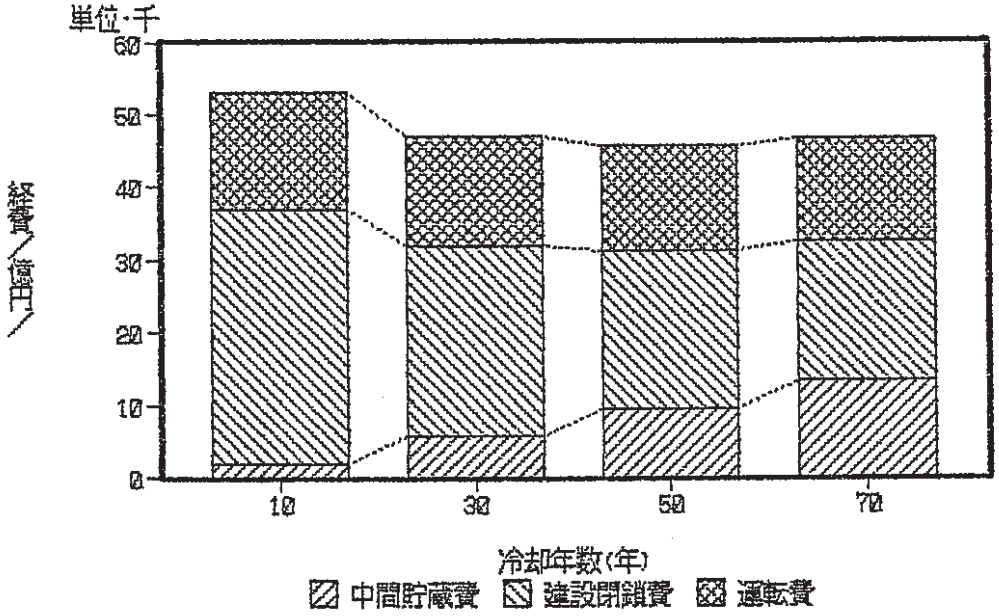


図４－６　冷却年数による変化（1200本／年）（１／４）

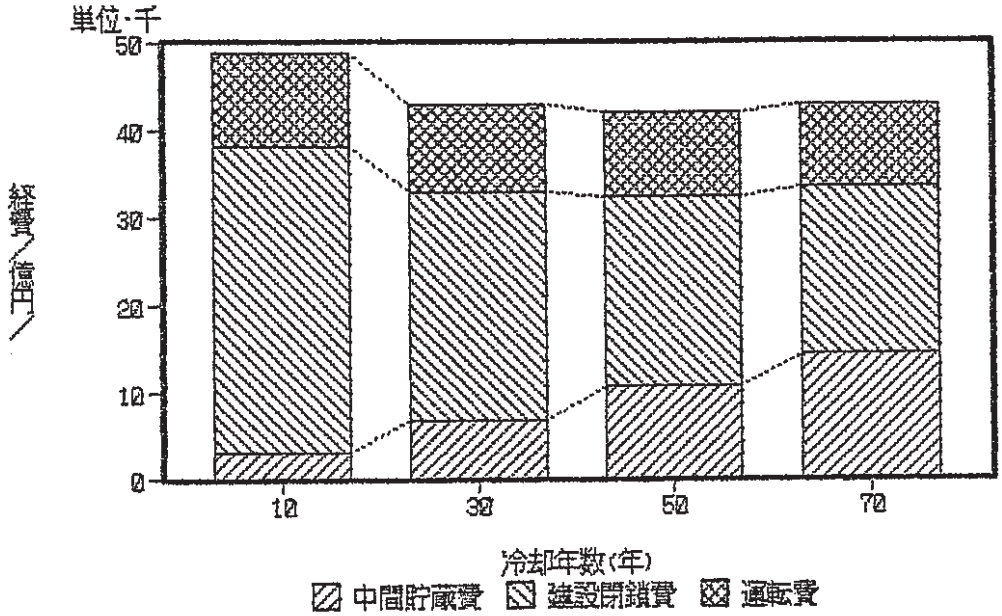


図４－６　冷却年数による変化（1800本／年）（２／４）

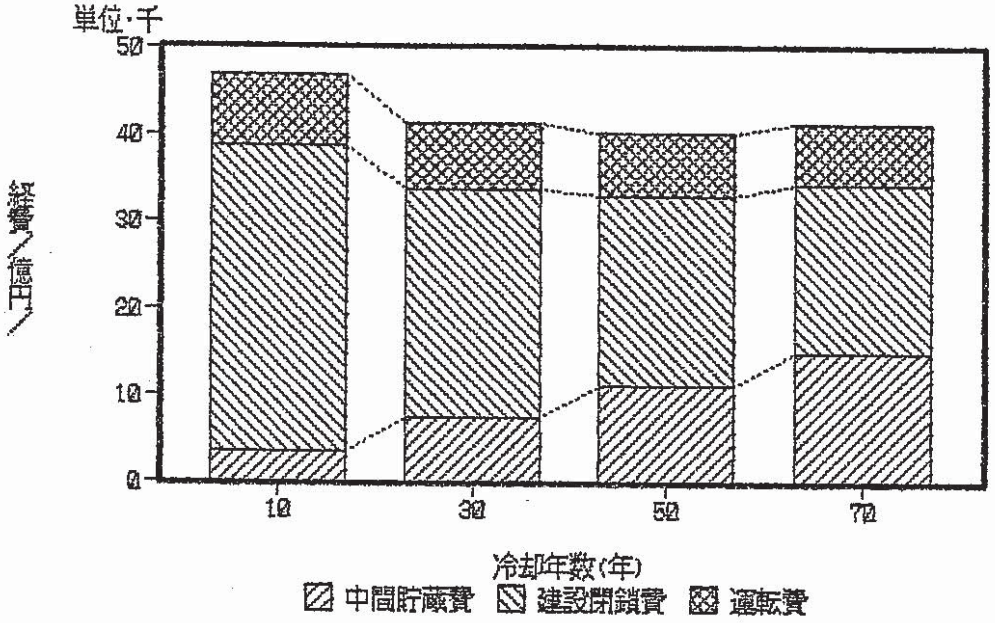


図４－６　冷却年数による変化（2400本／年）（３／４）

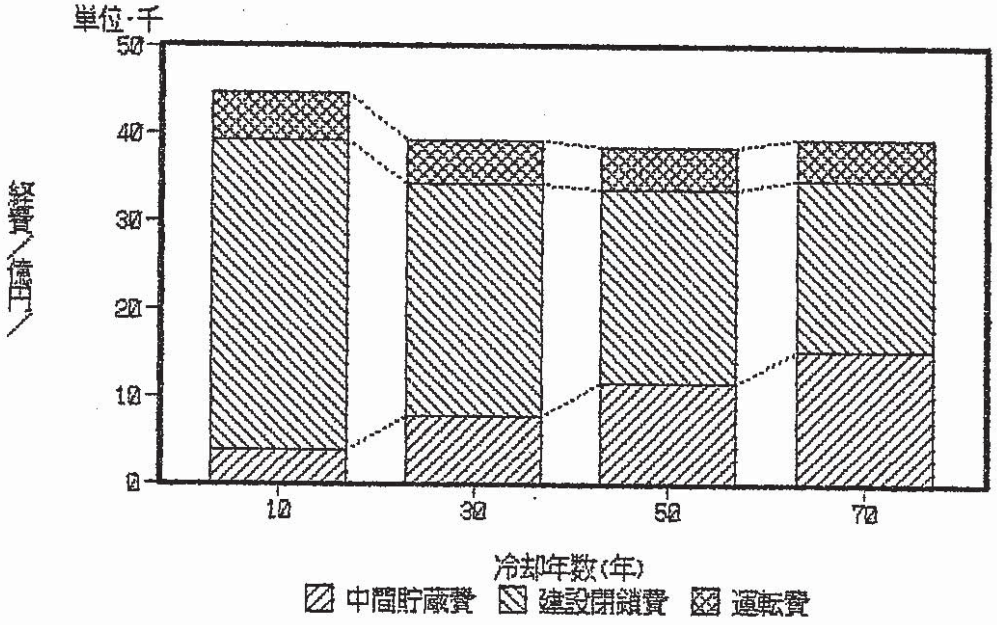


図４－６　冷却年数による変化（3600本／年）（４／４）

(4) 中間貯蔵コストが75万円／本・年のケース

① 計算結果を表４－７に示す。

② 受入速度の影響を図４－７に示す。

受入速度が大きい方が全体のコストは低下する。

③ 冷却年数の影響を図４－８に示す。

本ケースの場合，冷却年数が30年のとき，最も経済的な結果を与える。したしながら，コストの差違は６～７％以下の範囲でしかない。

(5) 2050年迄の発生量66000 本を処分する場合，

① 計算結果を表４－８に示す。

② 受入速度の影響については，本ケースにおいても，受入速度が大きい方が全体のコストは低下する。

③ 冷却年数の影響を図４－９に示す。尚，受入速度は2400本／年に固定した。中間貯蔵費が25万円／本・年を越えると，30年冷却が最も経済的となる。

表 4-7　中間貯蔵，処分費

冷却期間	受入速度	中間貯蔵費	建設閉鎖費	運転費	処分費合計	総計(億円)
10	1200	2,952	35,038	16,168	51,206	54,158
10	1800	4,586	35,038	10,779	45,817	50,402
10	2400	5,256	35,250	8,084	43,335	48,591
10	3600	5,922	35,463	5,389	40,852	46,774
30	1200	8,642	26,177	15,008	41,185	49,827
30	1800	10,275	26,177	10,005	36,183	46,458
30	2400	10,946	26,390	7,504	33,894	44,839
30	3600	11,612	26,602	5,003	31,605	43,217
50	1200	14,331	21,684	14,420	36,104	50,436
50	1800	15,965	21,684	9,613	31,298	47,262
50	2400	16,635	21,897	7,210	29,107	45,742
50	3600	17,301	22,109	4,807	26,916	44,217
70	1200	20,021	19,188	14,093	33,281	53,302
70	1800	21,655	19,188	9,395	28,584	50,238
70	2400	22,325	19,401	7,047	26,447	48,772
70	3600	22,991	19,613	4,698	24,311	47,302

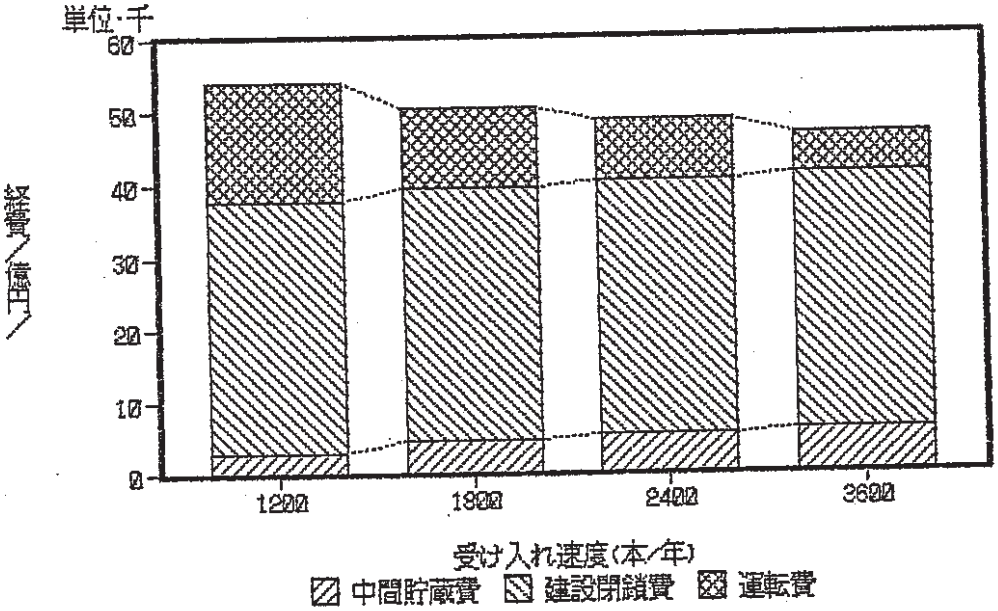


図４－７　受け入れ速度による変化（10年冷却）（１／４）

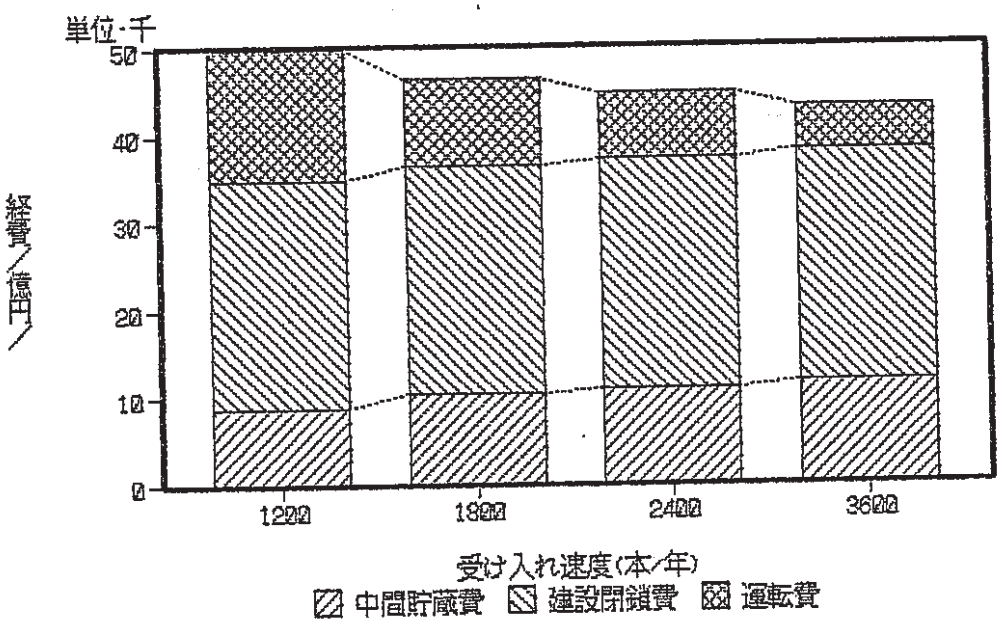


図４－７　受け入れ速度による変化（30年冷却）（２／４）

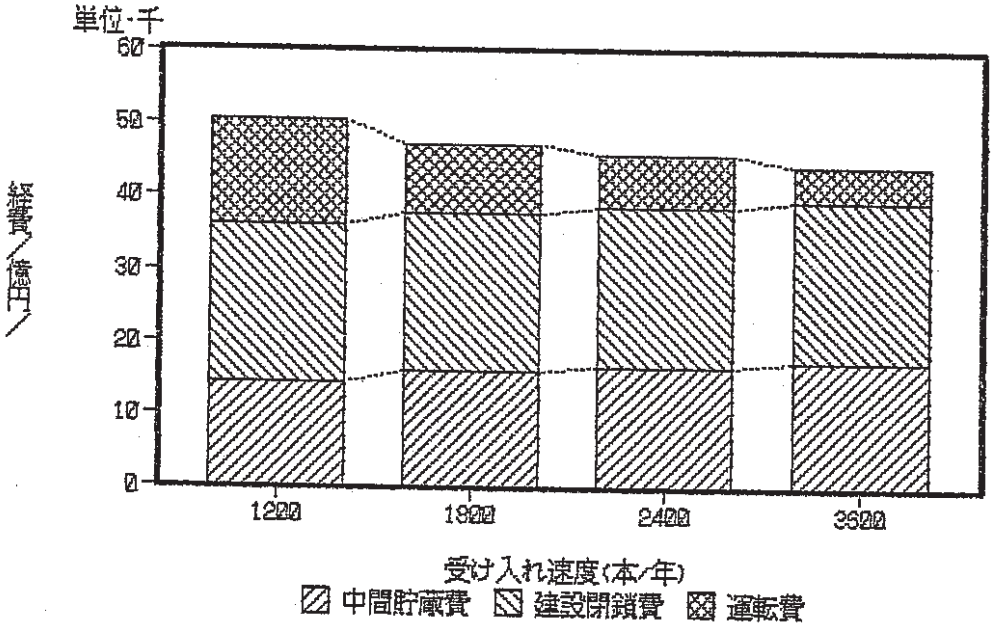


図４－７　受け入れ速度による変化（50年冷却）（３／４）

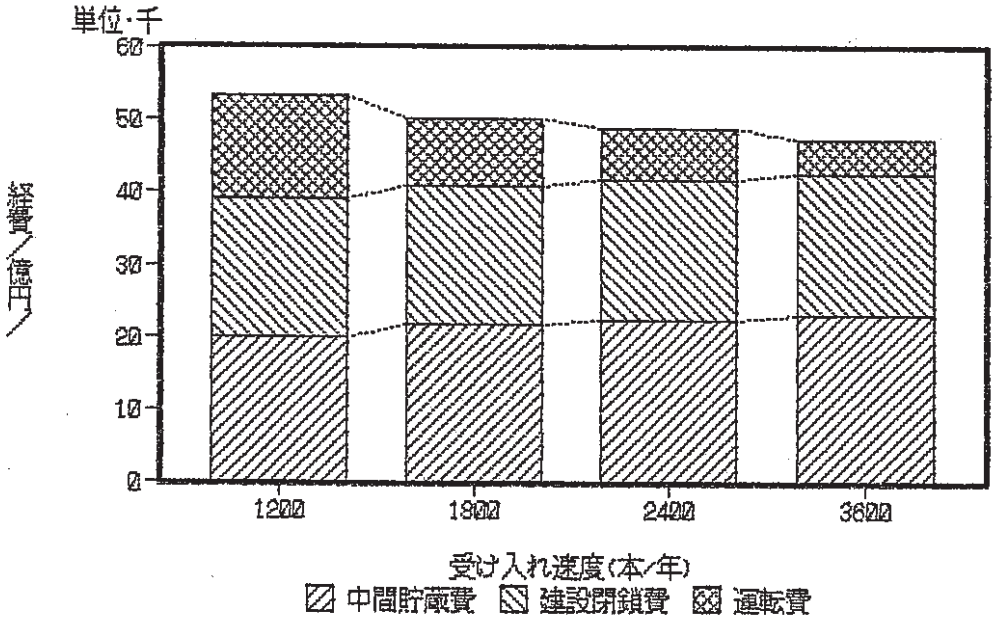


図４－７　受け入れ速度による変化（70年冷却）（４／４）

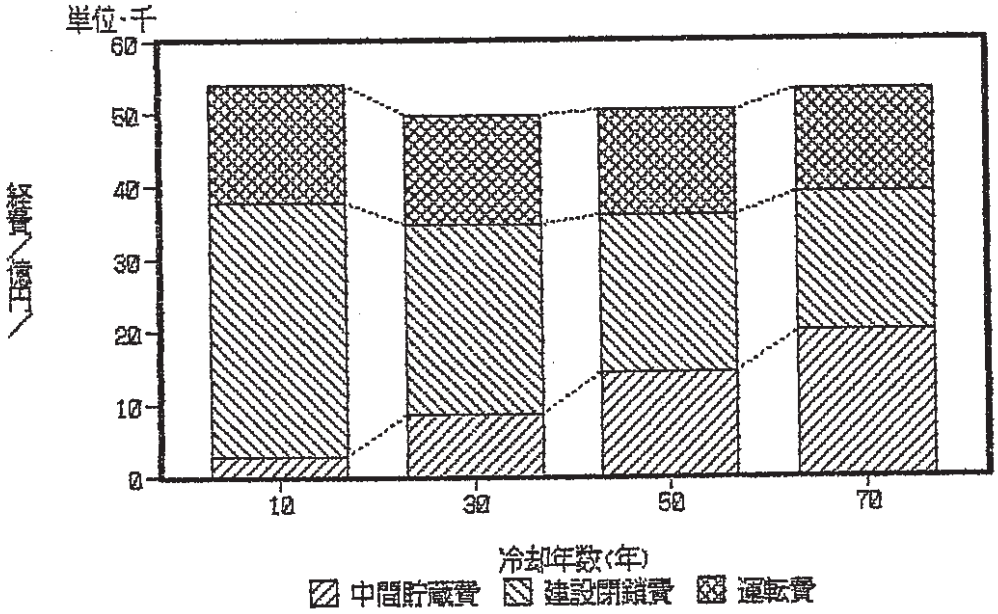


図４－８　冷却年数による変化（1200本／年）（１／４）

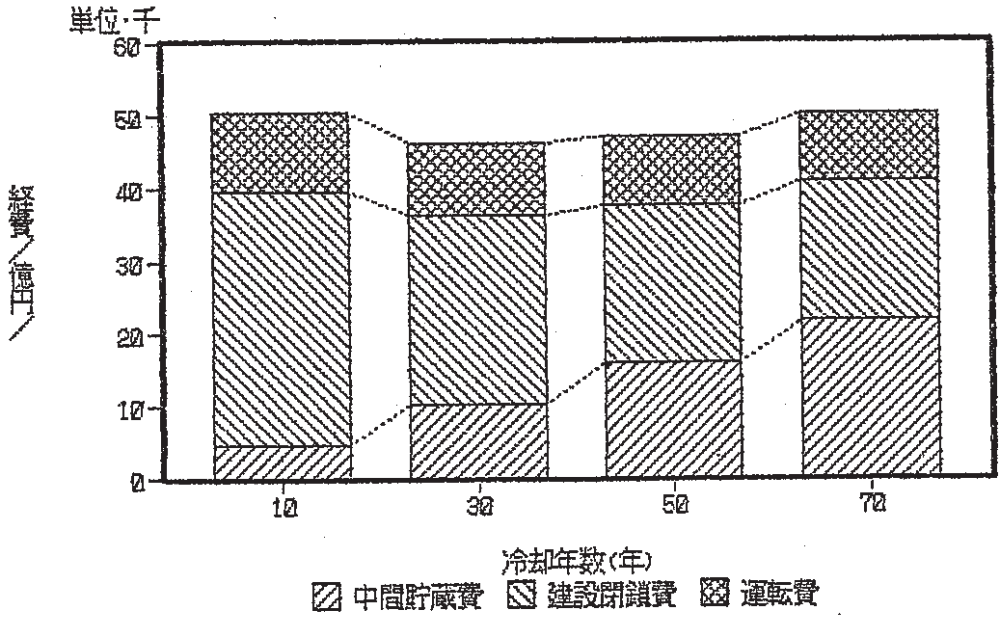


図４－８　冷却年数による変化（1800本／年）（２／４）

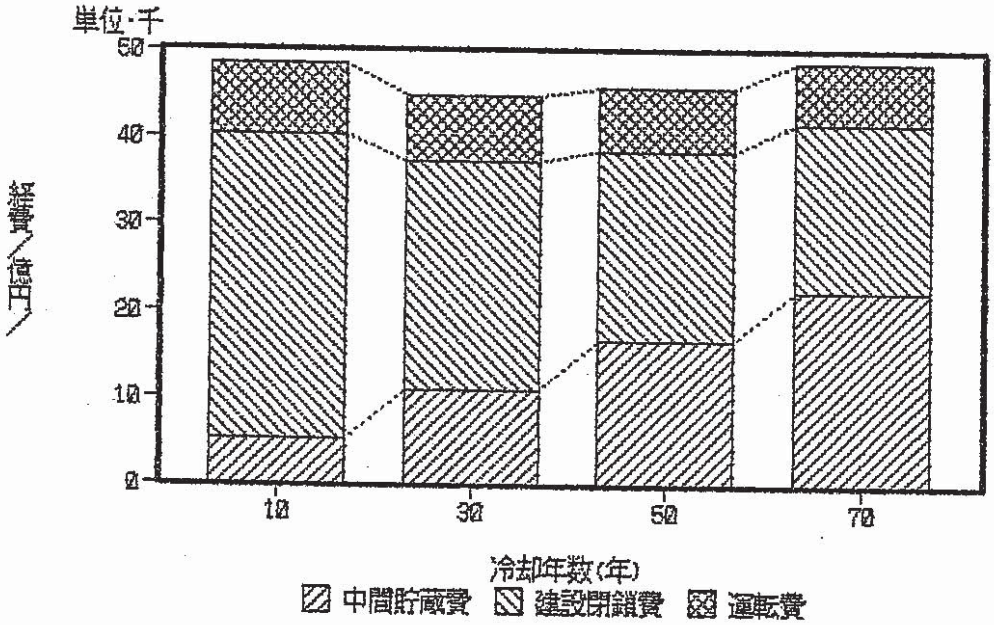


図４－８　冷却年数による変化（2400本／年）（３／４）

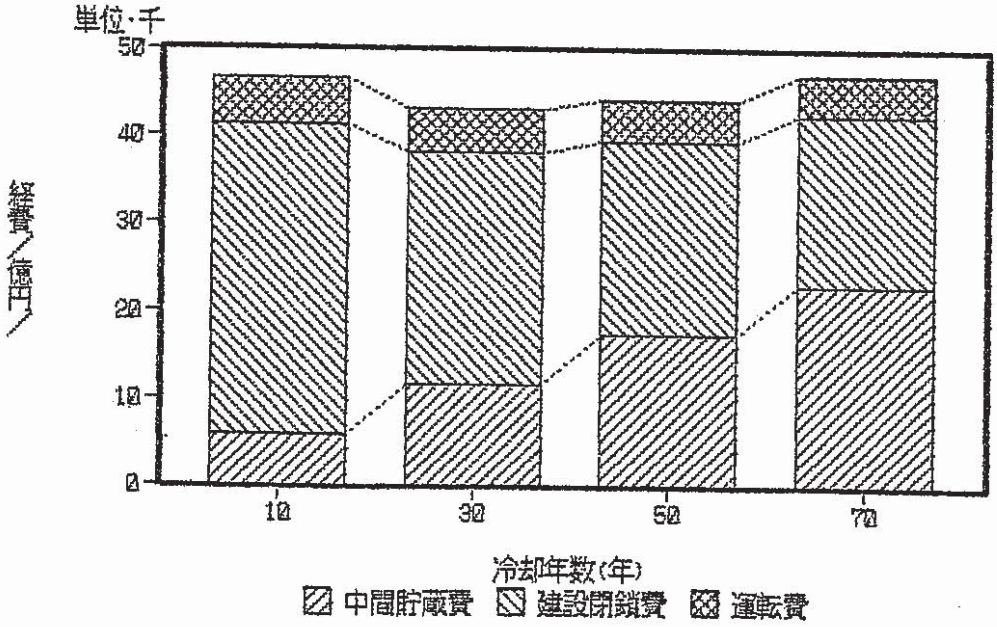


図４－８　冷却年数による変化（3600本／年）（４／４）

表4－8　中間貯蔵，処分費（貯蔵単価5万円）

冷却期間	受入速度	中間貯蔵費	建設閉鎖費	運転費	処分費合計	総計（億円）
10	1200	323	46,807	29,491	76,298	76,620
10	2400	729	47,019	14,746	61,765	62,493
10	3600	873	47,232	9,830	57,062	57,935
10	4800	931	47,444	7,373	54,817	55,748
30	1200	953	32,851	26,462	59,313	60,265
30	2400	1,358	33,063	13,231	46,294	47,653
30	3600	1,503	33,276	8,821	42,096	43,600
30	4800	1,561	33,488	6,615	40,104	41,665
50	1200	1,583	25,775	24,926	50,700	52,283
50	2400	1,988	25,987	12,463	38,450	40,438
50	3600	2,133	26,200	8,309	34,508	36,642
50	4800	2,191	26,412	6,231	32,644	34,835
70	1200	2,212	21,843	24,072	45,916	48,128
70	2400	2,618	22,056	12,036	34,092	36,710
70	3600	2,763	22,268	8,024	30,293	33,056
70	4800	2,821	22,481	6,018	28,499	31,320

表４－８　中間貯蔵，処分費（貯蔵単価25万円）

冷却期間	受入速度	中間貯蔵費	建設閉鎖費	運転費	処分費合計	総計（億円）
10	1200	1,613	46,807	29,491	76,298	77,911
10	2400	3,643	47,019	14,746	61,765	65,408
10	3600	4,367	47,232	9,830	57,062	61,429
10	4800	4,657	47,444	7,373	54,817	59,474
30	1200	4,763	32,851	26,462	59,313	64,075
30	2400	6,792	33,063	13,231	46,294	53,087
30	3600	7,517	33,276	8,821	42,096	49,613
30	4800	7,806	33,488	6,615	40,104	47,910
50	1200	7,912	25,775	24,926	50,700	58,613
50	2400	9,942	25,987	12,463	38,450	48,392
50	3600	10,667	26,200	8,309	34,508	45,175
50	4800	10,956	26,412	6,231	32,644	43,600
70	1200	11,062	21,843	24,072	45,916	56,978
70	2400	13,092	22,056	12,036	34,092	47,184
70	3600	13,816	22,268	8,024	30,293	44,109
70	4800	14,106	22,481	6,018	28,499	42,605

表4－8　中間貯蔵，処分費（貯蔵単価50万円）

冷却期間	受入速度	中間貯蔵費	建設閉鎖費	運転費	処分費合計	総計（億円）
10	1200	3,227	46,807	29,491	76,298	79,524
10	2400	7,286	47,019	14,746	61,765	69,050
10	3600	8,735	47,232	9,830	57,062	65,797
10	4800	9,314	47,444	7,373	54,817	64,131
30	1200	9,526	32,851	26,462	59,313	68,838
30	2400	13,585	33,063	13,231	46,294	59,879
30	3600	15,034	33,276	8,821	42,096	57,130
30	4800	15,613	33,488	6,615	40,104	55,717
50	1200	15,825	25,775	24,926	50,700	66,525
50	2400	19,884	25,987	12,463	38,450	58,334
50	3600	21,333	26,200	8,309	34,508	55,841
50	4800	21,912	26,412	6,231	32,644	54,556
70	1200	22,124	21,843	24,072	45,916	68,040
70	2400	26,183	22,056	12,036	34,092	60,275
70	3600	27,632	22,268	8,024	30,293	57,925
70	4800	28,211	22,481	6,018	28,499	56,710

表４－８　中間貯蔵，処分費（貯蔵単価75万円）

冷却期間	受入速度	中間貯蔵費	建設閉鎖費	運転費	処分費合計	総計（億円）

表　　中間貯蔵，処分費

冷却期間	受入速度	中間貯蔵費	建設閉鎖費	運転費	処分費合計	総計（億円）
10	1200	4,840	46,807	29,491	76,298	81,138
10	2400	10,929	47,019	14,746	61,765	72,693
10	3600	13,102	47,232	9,830	57,062	70,164
10	4800	13,971	47,444	7,373	54,817	68,788
30	1200	14,289	32,851	26,462	59,313	73,601
30	2400	20,377	33,063	13,231	46,294	66,672
30	3600	22,551	33,276	8,821	42,096	64,647
30	4800	23,419	33,488	6,615	40,104	63,523
50	1200	23,737	25,775	24,926	50,700	74,438
50	2400	29,826	25,987	12,463	38,450	68,276
50	3600	31,999	26,200	8,309	34,508	66,508
50	4800	32,868	26,412	6,231	32,644	65,512
70	1200	33,186	21,843	24,072	45,916	79,102
70	2400	39,275	22,056	12,036	34,092	73,367
70	3600	41,448	22,268	8,024	30,293	71,741
70	4800	42,317	22,481	6,018	28,499	70,816

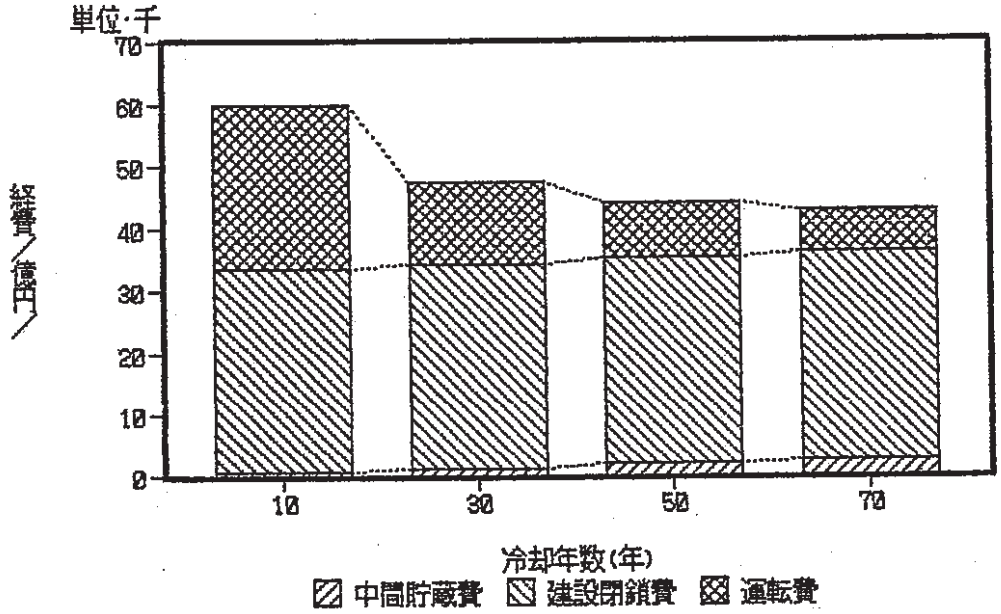


図４－９　冷却年数による変化（５万円）

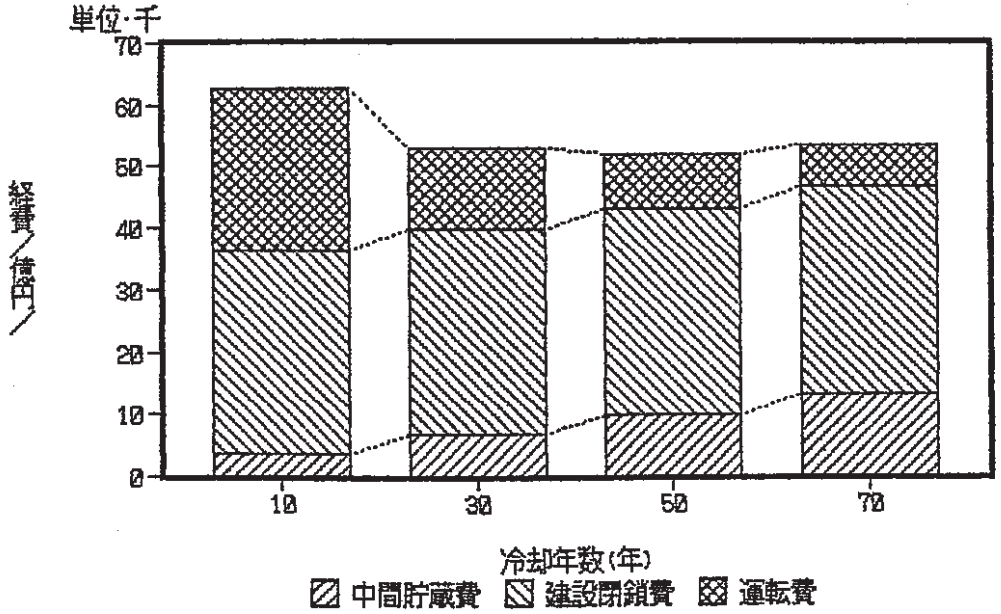


図４－９　冷却年数による変化（25万円）

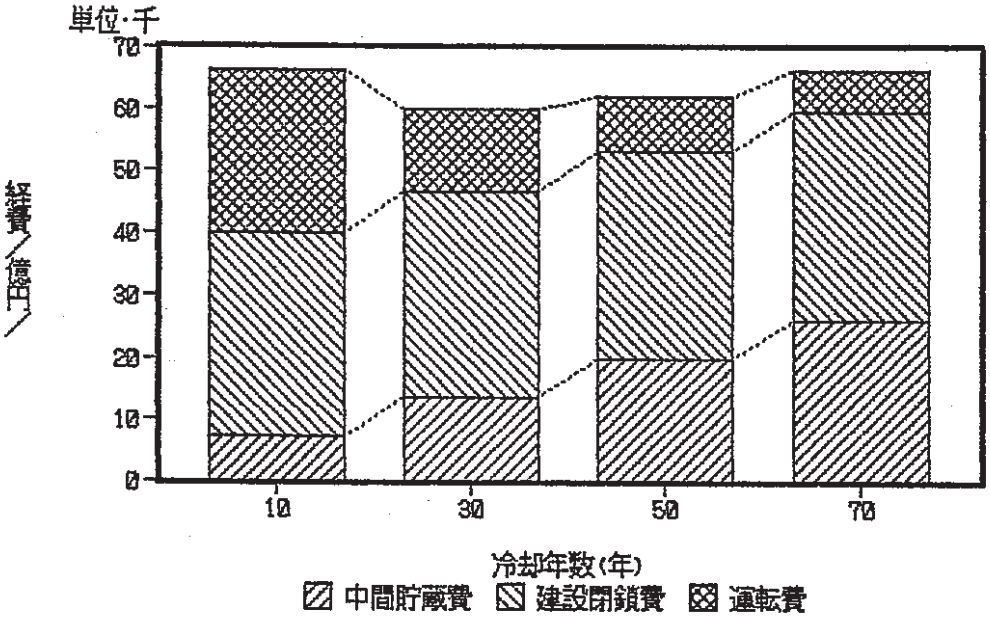


図４－９　冷却年数による変化（50万円）

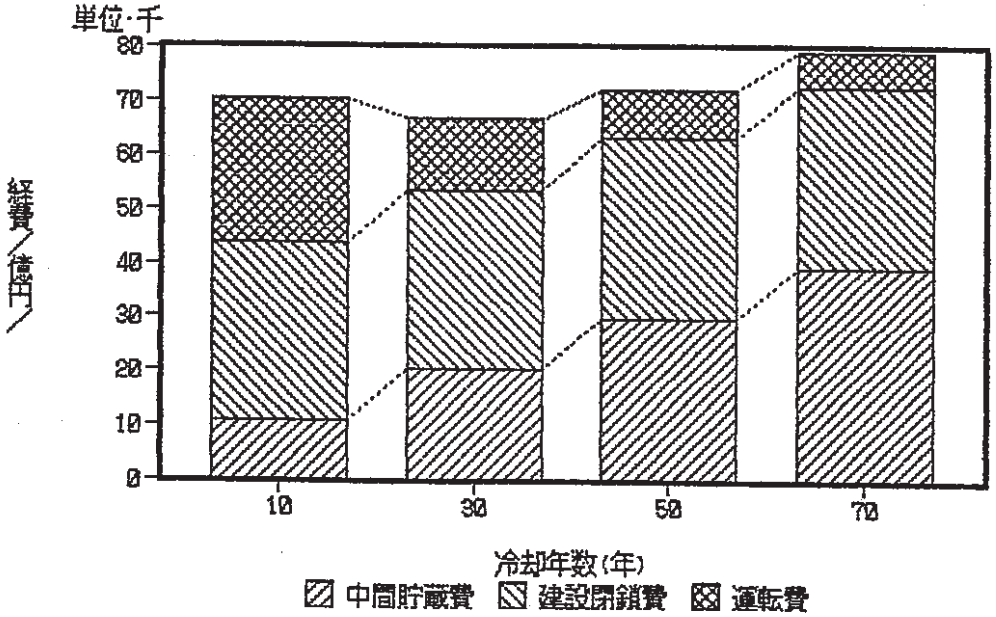


図４－９　冷却年数による変化（75万円）

(6) 2070年迄の発生量88000 本を処分する場合，

① 計算結果を表４－９に示す。

② 受入速度の影響については，本ケースにおいても，受入速度が大きい方が全体のコストは低下する。

③ 冷却年数の影響を図４－10に示す。受入速度は2400本／年に固定した。中間貯蔵費が50万円／本・年を超えると，30年冷却が最も経済的となる。

表4－9　中間貯蔵，処分費（貯蔵単価5万円）

冷却期間	受入速度	中間貯蔵費	建設閉鎖費	運転費	処分費合計	総計（億円）
10	1200	416	59,661	45,337	104,998	105,414
10	2400	1,193	59,874	22,669	82,542	83,735
10	3600	1,497	60,086	15,112	75,198	76,695
10	4800	1,626	60,299	11,334	71,633	73,259
30	1200	1,296	40,139	39,410	79,549	80,846
30	2400	2,073	40,352	19,705	60,057	62,130
30	3600	2,377	40,564	13,137	53,701	56,078
30	4800	2,507	40,777	9,853	50,629	53,136
50	1200	2,177	32,115	36,974	69,088	71,265
50	2400	2,954	32,327	18,487	50,814	53,768
50	3600	3,258	32,540	12,325	44,864	48,122
50	4800	3,387	32,752	9,243	41,995	45,383
70	1200	3,057	24,742	34,735	59,477	62,535
70	2400	3,834	24,954	17,368	42,322	46,157
70	3600	4,138	25,167	11,578	36,745	40,883
70	4800	4,268	25,379	8,684	34,063	38,331

処分対象範囲　2070　処分場総容量　88120　貯蔵単価　05

表4－9　中間貯蔵，処分費（貯蔵単価25万円）

冷却期間	受入速度	中間貯蔵費	建設閉鎖費	運転費	処分費合計	総計（億円）
10	1200	2,080	59,661	45,337	104,998	107,078
10	2400	5,965	59,874	22,669	82,542	88,507
10	3600	7,483	60,086	15,112	75,198	82,681
10	4800	8,131	60,299	11,334	71,633	79,764
30	1200	6,482	40,139	39,410	79,549	86,032
30	2400	10,367	40,352	19,705	60,057	70,424
30	3600	11,885	40,564	13,137	53,701	65,586
30	4800	12,533	40,777	9,853	50,629	63,163
50	1200	10,885	32,115	36,974	69,088	79,973
50	2400	14,770	32,327	18,487	50,814	65,584
50	3600	16,288	32,540	12,325	44,864	61,152
50	4800	16,936	32,752	9,243	41,995	58,931
70	1200	15,288	24,742	34,735	59,477	74,765
70	2400	19,172	24,954	17,368	42,322	61,495
70	3600	20,690	25,167	11,578	36,745	57,436
70	4800	21,338	25,379	8,684	34,063	55,402

処分対象範囲　2070　処分場総容量　88120　貯蔵単価　.002500

表4－9　中間貯蔵，処分費（貯蔵単価50万円）

冷却期間	受入速度	中間貯蔵費	建設閉鎖費	運転費	処分費合計	総計(億円)
10	1200	4,160	59,661	45,337	104,998	109,158
10	2400	11,930	59,874	22,669	82,542	94,472
10	3600	14,966	60,086	15,112	75,198	90,164
10	4800	16,262	60,299	11,334	71,633	87,894
30	1200	12,965	40,139	39,410	79,549	92,514
30	2400	20,735	40,352	19,705	60,057	80,791
30	3600	23,771	40,564	13,137	53,701	77,472
30	4800	25,067	40,777	9,853	50,629	75,696
50	1200	21,770	32,115	36,974	69,088	90,858
50	2400	29,540	32,327	18,487	50,814	80,354
50	3600	32,576	32,540	12,325	44,864	77,440
50	4800	33,872	32,752	9,243	41,995	75,867
70	1200	30,575	24,742	34,735	59,477	90,052
70	2400	38,345	24,954	17,368	42,322	80,667
70	3600	41,381	25,167	11,578	36,745	78,126
70	4800	42,677	25,379	8,684	34,063	76,740

処分対象範囲　2070　処分場総容量　88120　貯蔵単価　.0050

表4－9　中間貯蔵，処分費（貯蔵単価75万円）

冷却期間	受入速度	中間貯蔵費	建設閉鎖費	運転費	処分費合計	総計（億円）
10	1200	6,239	59,661	45,337	104,998	111,238
10	2400	17,894	59,874	22,669	82,542	100,436
10	3600	22,448	60,086	15,112	75,198	97,647
10	4800	24,392	60,299	11,334	71,633	96,025
30	1200	19,447	40,139	39,410	79,549	98,996
30	2400	31,102	40,352	19,705	60,057	91,159
30	3600	35,656	40,564	13,137	53,701	89,357
30	4800	37,600	40,777	9,853	50,629	88,229
50	1200	32,655	32,115	36,974	69,088	101,743
50	2400	44,310	32,327	18,487	50,814	95,124
50	3600	48,864	32,540	12,325	44,864	93,728
50	4800	50,808	32,752	9,243	41,995	92,803
70	1200	45,862	24,742	34,735	59,477	105,339
70	2400	57,517	24,954	17,368	42,322	99,839
70	3600	62,071	25,167	11,578	36,745	98,817
70	4800	64,015	25,379	8,684	34,063	98,079

処分対象範囲　2070　処分場総容量　88120　貯蔵単価　.0075

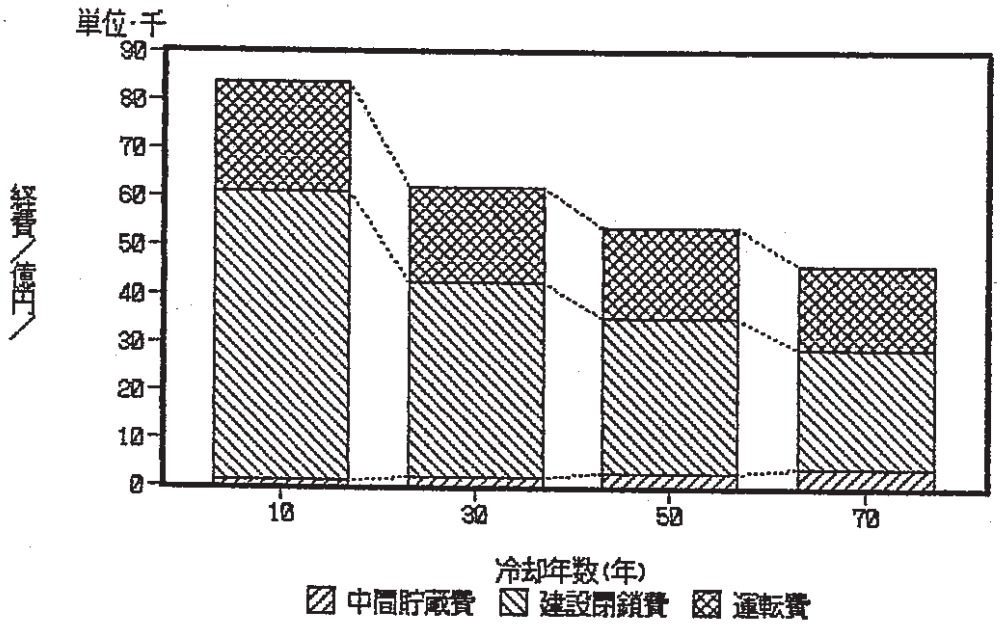


図４－10　冷却年数による変化（５万円）

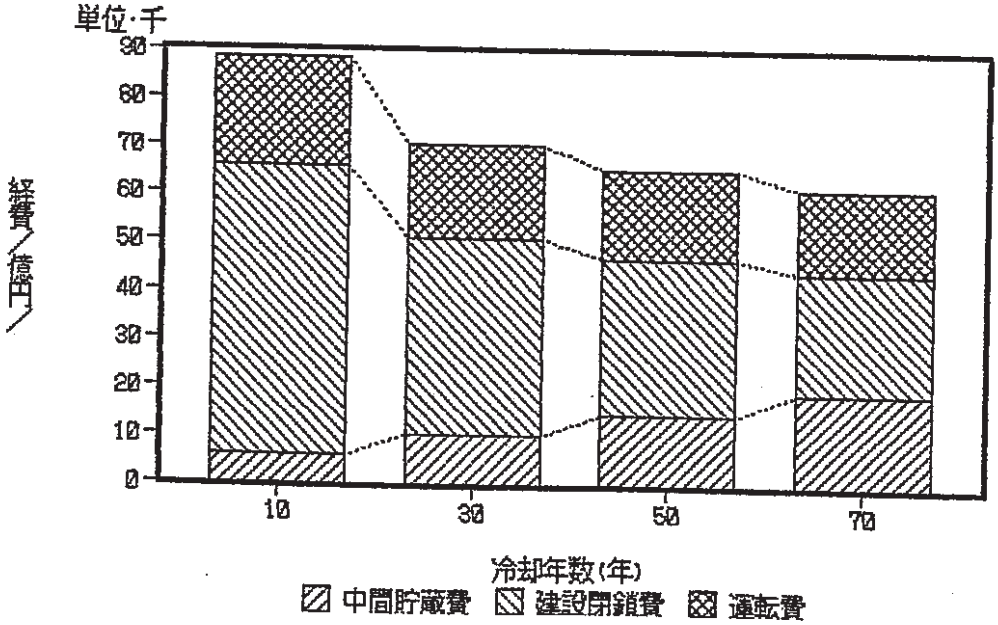


図４－10　冷却年数による変化（25万円）

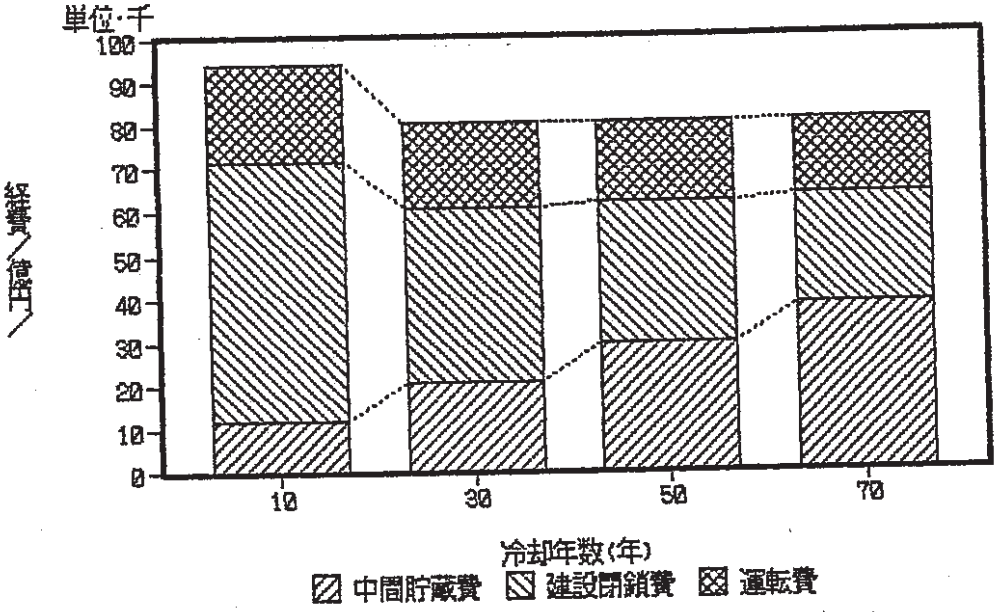


図4－10　冷却年数による変化（50万円）

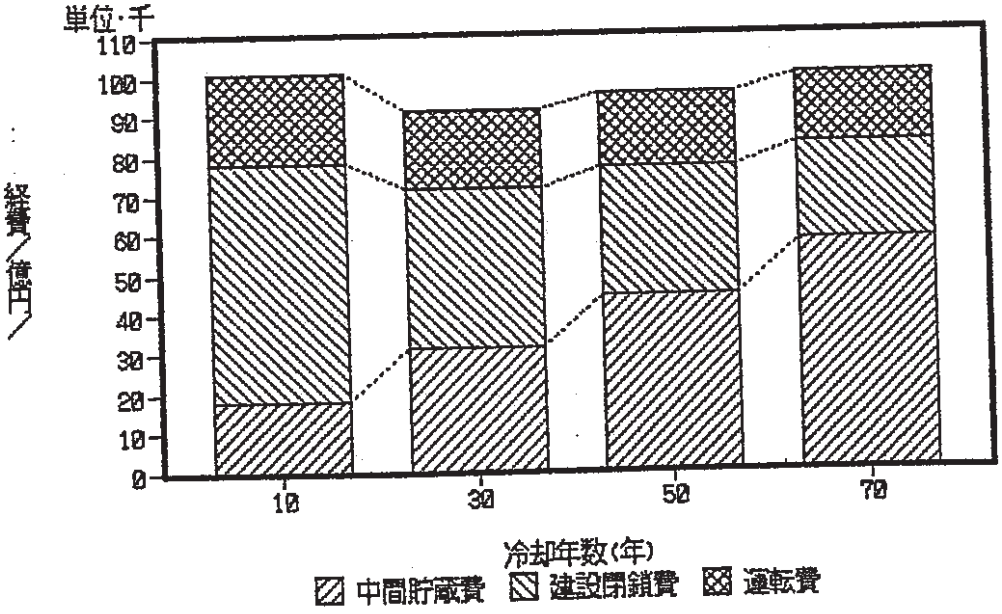


図4－10　冷却年数による変化（75万円）

参　考　文　献

(1) Project Gevaehr 1985, NGB 85-06

(2) Nuclear Science and Technology, EUR 7620 EN, FR, (1982)

5. 処分場概念の検討

処分場の廃棄物の物流システムが適切なものであるためには，事故発生をも十分考慮したものである必要がある。

処分場における事故の考え方を図５－１に示す。事故にともなうリスクの経済的受容性に関しては，事業者の判断によるものであり，ある程度設計を行い，コストの見積を出した後判断することになる。

放射線安全性は，当局による審査の対象となるものであり，他の原子力施設では判断の基準が明確に整えられている。これを以下に示す。

核燃料施設に関する事故評価を定めたものとして，「核燃料施設安全審査基本指針について」において，次のように記載されている。

指針３　事故時条件

核燃料施設に最大想定事故が発生するとした場合，一般公衆に対して，過度の放射線被ばくを及ぼさないこと。

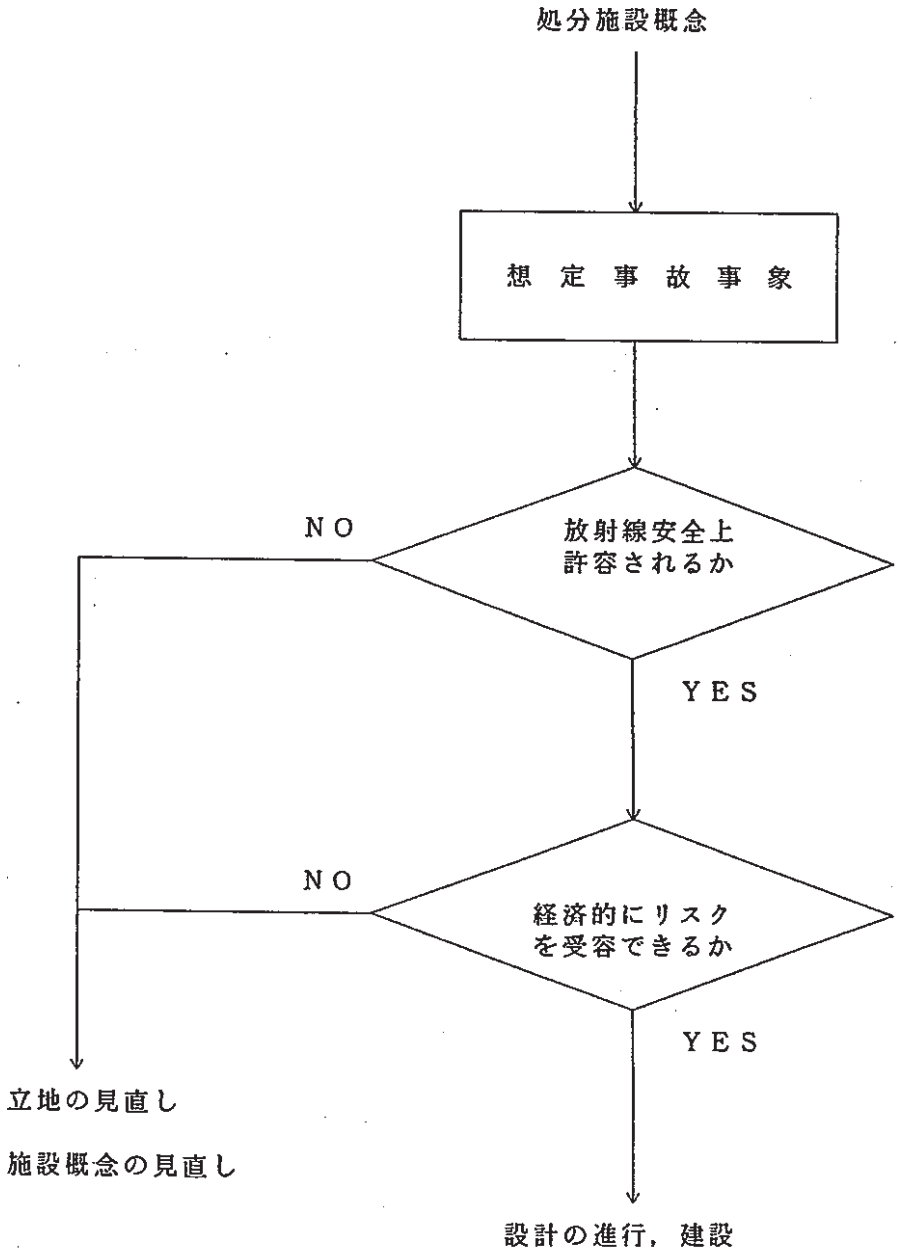


図５－１　処分場における事故の考え方

また，より具体的な例としては，「再処理施設安全審査指針について」においては，再処理施設の安全設計の妥当性を判断するための手段として「設計基準事象」を評価することとし，更に立地の妥当性を評価するために「立地評価事故」を想定すること定めている。これらの考え方を表５－１にまとめる。

ここで云う「著しい放射線被ばくのリスク」についての具体的な運用は以下によることとしている。

“ＩＣＲＰ勧告による一般公衆に対する年間の被ばく線量限度等を考慮して，発生頻度が小さい事象の評価に当たっては，周辺公衆の全身被ばく線量の評価値が発生事象当たり0.5 レムを超えなければ「リスク」は小さいと判断する。

また，発生頻度が極めて小さい事象に対しては，全身被ばく線量の評価値が上記の値をある程度超えても「リスク」は小さいと判断できる。

なお，一般公衆の甲状腺等の臓器の被ばくについても全身被ばくと同様な考え方に基づいて評価するものとする。”

表5－1　事故の考え方

項　目	設　計　基　準　事　象	立地評価事故
目　的	安全設計の妥当性を判断する。	立地の妥当性を評価する。
評価内容	放射性物質が存在する再処理施設内の各工程毎に，運転時の異常な過渡変化並びに機器等の破損，故障，誤動作あるいは運転員の誤操作によって放射性物質を外部に放出する可能性のある事象を想定し，その発生の可能性との関連において，各種の安全設計の妥当性を確認するという観点から設計基準事象を選定し評価する。	設計基準事象よりはその発生する可能性は更に小さいが，設計基準事象の範囲を超える放射性物質の放出量を工学的観点から仮想する。
評価事例	①　運転時の異常な過渡変化 ②　被覆材等の金属微粒子，有機溶媒等による火災・爆発 ③　核燃料物質による臨界 ④　各種機器，配管等の破損，故障等による漏洩及び機能喪失 ⑤　使用済燃料集合体等の取り扱いに伴う破損等 ⑥　短時間の全動力電源の喪失 ⑦　その他必要と認められる事象 ただし，類似の事象が2つ以上ある場合には，最も厳しい事象で代表させることができる。	――――
解析に当って考慮すべき事項	上記事象の解析に当たっては，技術的に妥当な解析モデル及びパラメータを採用するほか，以下の事項を満足させて解析を行うこと。 ①　異常事象を速やかに収束させ，又はその拡大を防止し，あるいはその結果を緩和することを主たる機能とする系統につていは，その機能別に結果を最も厳しくする単一故障を仮定すること。 ②　事象の影響を緩和するのに必要な運転員の手動操作については，適切な時間的余裕を考慮すること。 ③　放射性物質の放散の低減に係る系統及び機器の機能が要求される場合には，外部電源の喪失を考慮すること。	――――
判断基準	各事象に対する安全設計の妥当性を評価するに当たっては，上記評価事例①については適切と認められる運転条件の変動幅の中であることを，また，②～⑦については一般公衆に対して著しい放射線被ばくのリスクを与えないことを判断の基準とすること。	一般公衆に対し，過度の放射線被ばくを及ぼさないこと。

また，立地評価事故の具体的な基準としては，敷地境界外において，

甲状腺（小児）に対して　150 rem

全身に対して　25 rem

放射線災害を与えるかもしれないと判断される範囲において，

甲状腺（成人）に対して　300 rem

全身に対して　25 rem

地域住民に対して　250万人 rem

を用いることが，「原子力炉立地審査指針及びその適用に関する判断のめやすについて」に示めされる。

事故評価の実施に当たっては，「単一故障」を仮定する必要があるが，これに関して，「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」では次のように述べられている。

<u>故障等の仮定</u>

各事象の解析に当たっては，以下の事項を満足させなければならない。

(1) 解析に当たっては，想定された事象に加え，作動を要求される安全系の機能別に結果を最も厳しくする単一故障を仮定しなければならない。

機器の故障については，事故発生後短期間における動的機器の単一故障又は長時間における動的機器若しくは静的機器の故障を考えるものとする。但し，静的機器にあっては単一故障を仮定したときに所定の安全機能を達成できるように設計されている場合，その故障が安全上支障がない期間内に除去若しくは修復が出来る場合，又はその故障の確率が十分に低い場合は仮定から除外してよい。

(2) 事象の影響を緩和するのに必要な運転員の手動操作については，適切な時間的余裕を考慮しなければならない。

(3) 事故の解析に当たって，工学的安全施設の作動が要求される場合には，外部電源の喪失を考慮しなければならない。

以上の考え方を参考にして，処分場内の物流システムに関して事故事象を抽出し，安全上許容できるか否かについて，予備的な評価を試みる。

尚，処分場は未だ概念構築の段階であり，安全面からは許容されるものであっても，復旧に多大の費用を要するため放棄せざるを得ないシステムを考えられる。従って，コスト面からも検討を試みることとする。

検討のフローを図５－２に示す。

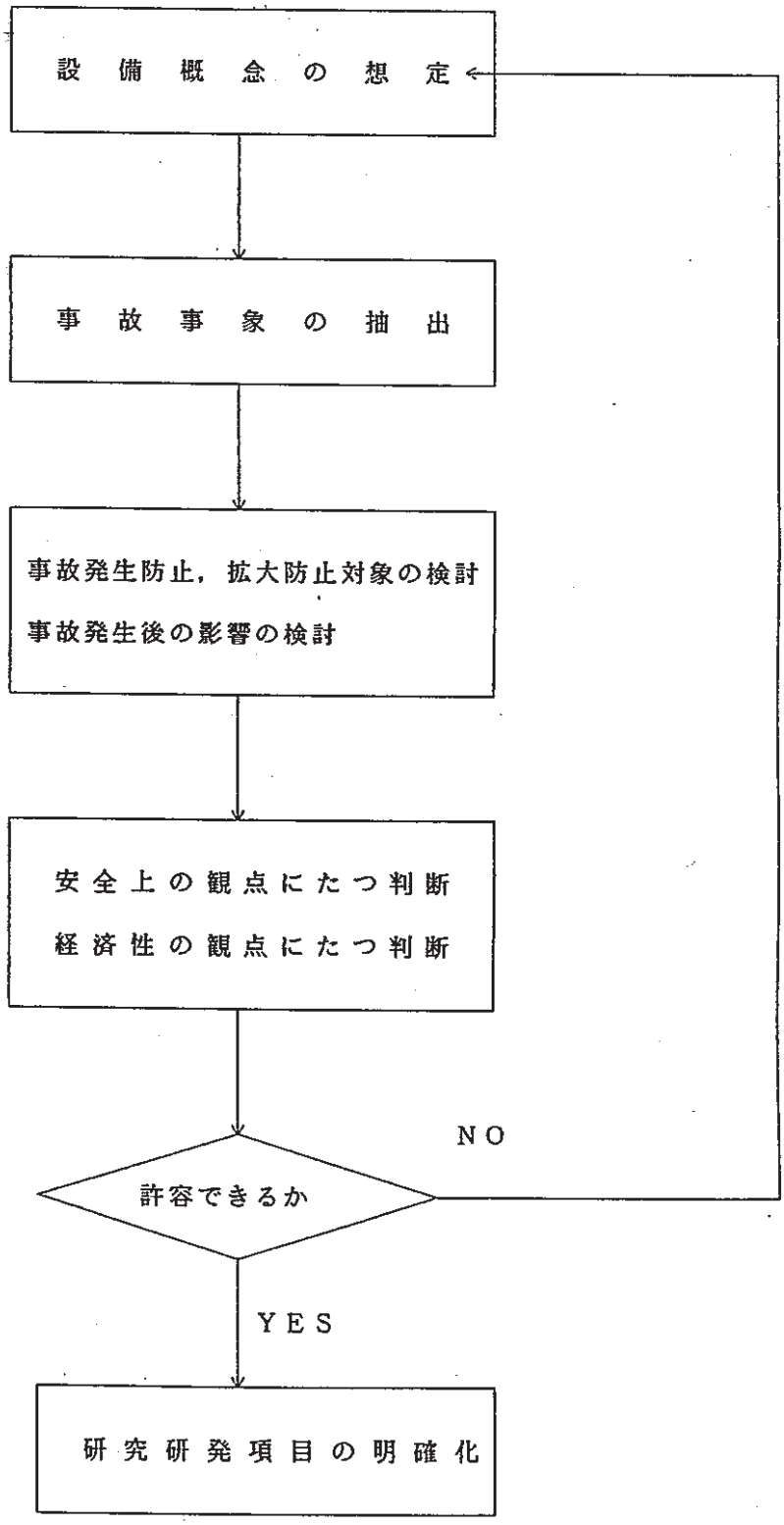


図５－２　処分場事故の検討フロー

5.1　設備の概念

5.1.1　地上施設

地上施設にて行われる廃棄物のハンドリングブロックフローを図5－3に示す。また図5－4，5－5に諸外国で検討されているハンドリングの例を示す。

① 受入施設に到着した輸送容器は，搬入エリアで検査を受ける。その後，受入施設のクレーンによって吊り上げられ，クレーン及び移送台車により廃棄物の抜き取りエリアに移送される。

② 輸送容器は，内部ガスの抜き取り検査等の所定の検査がなされた後，蓋が取り除かれる。小型のクレーンにより，廃棄物が1本づつ抜き出され，検査エリアに移される。

③ 廃棄物の検査項目については，今後検討が進められていくものと考えられるが，項目案としては次の候補が挙げられる。

- 外見検査
- 重量検査
- 標識検査
- 密封性検査
- 溶接部探傷検査
- 寸法検査
- 線量率検査
- 表面汚染検査

上記項目に関し個々の検査方法については，ガラス固化体に適用するための技術開発を要するものと考えられる。物流に係るハンドリング方法については，クレーン，移送台車又はマニプユレーター等により行われるものと考えられる。

④ オーバーパックに関しては，いくつかの方法が検討されており，今後の研究の進展により最終的な方法が決定される。しかしながら，ハンドリング上は前述の検査と同様にクレーン，移送台車又はマニピュレータ等によ

り行われるものと考えられる。

⑤　オーバーパックの検査に係るハンドリング手法についても，前述の廃棄物の検査と同様の手法が採られるものと考えられる。

以上のように，地上施設における廃棄物の取り扱いは，移動距離が短く，上下方向の移動が多いこと，また検査等に係るハンドリングは高い精度が求められることを特徴としており，クレーン，移送台車，又はマニピュレータが組み合わされて使用されるものと考えられる。

⑥　地上施設における搬送設備のまとめを表５－２に示す。

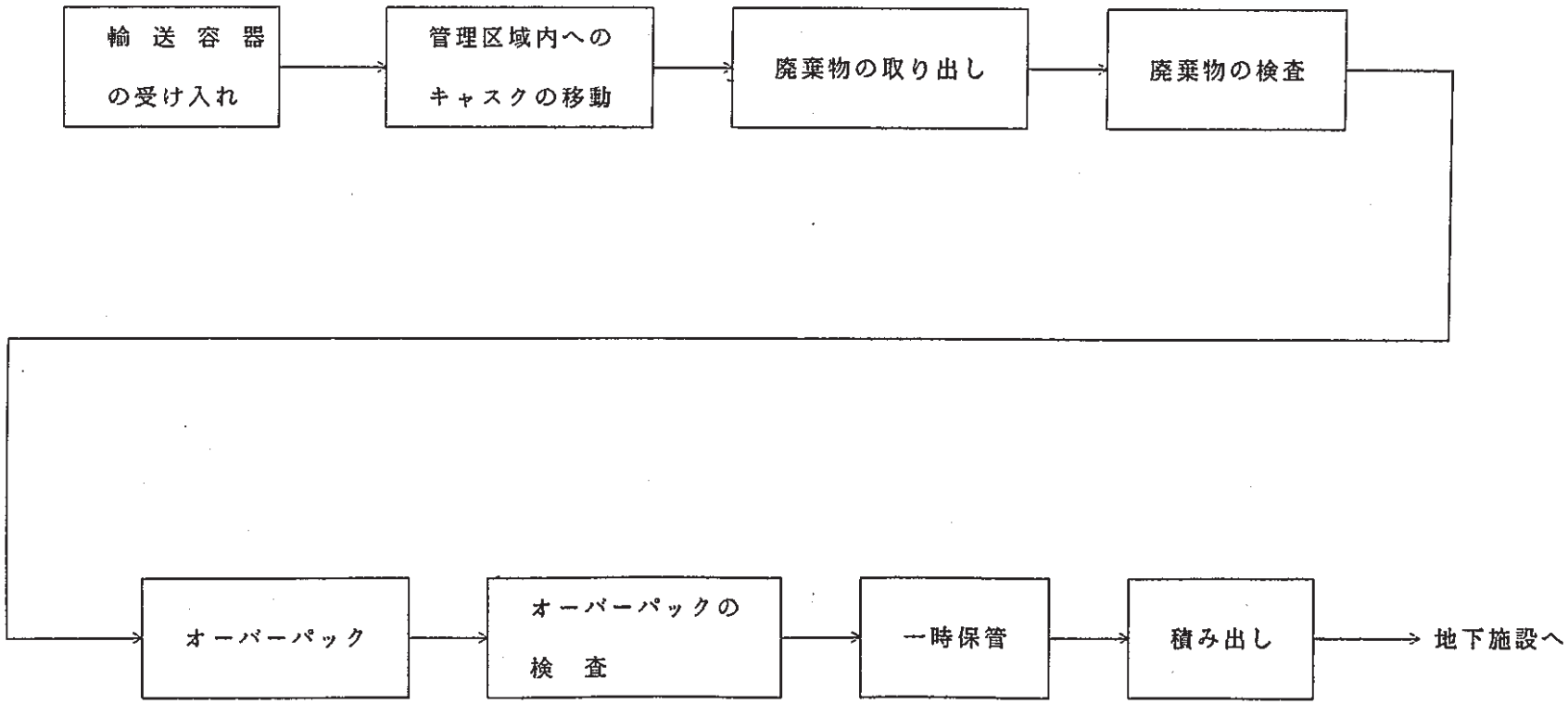


図５－３　地上施設におけるハンドリングブロックフロー

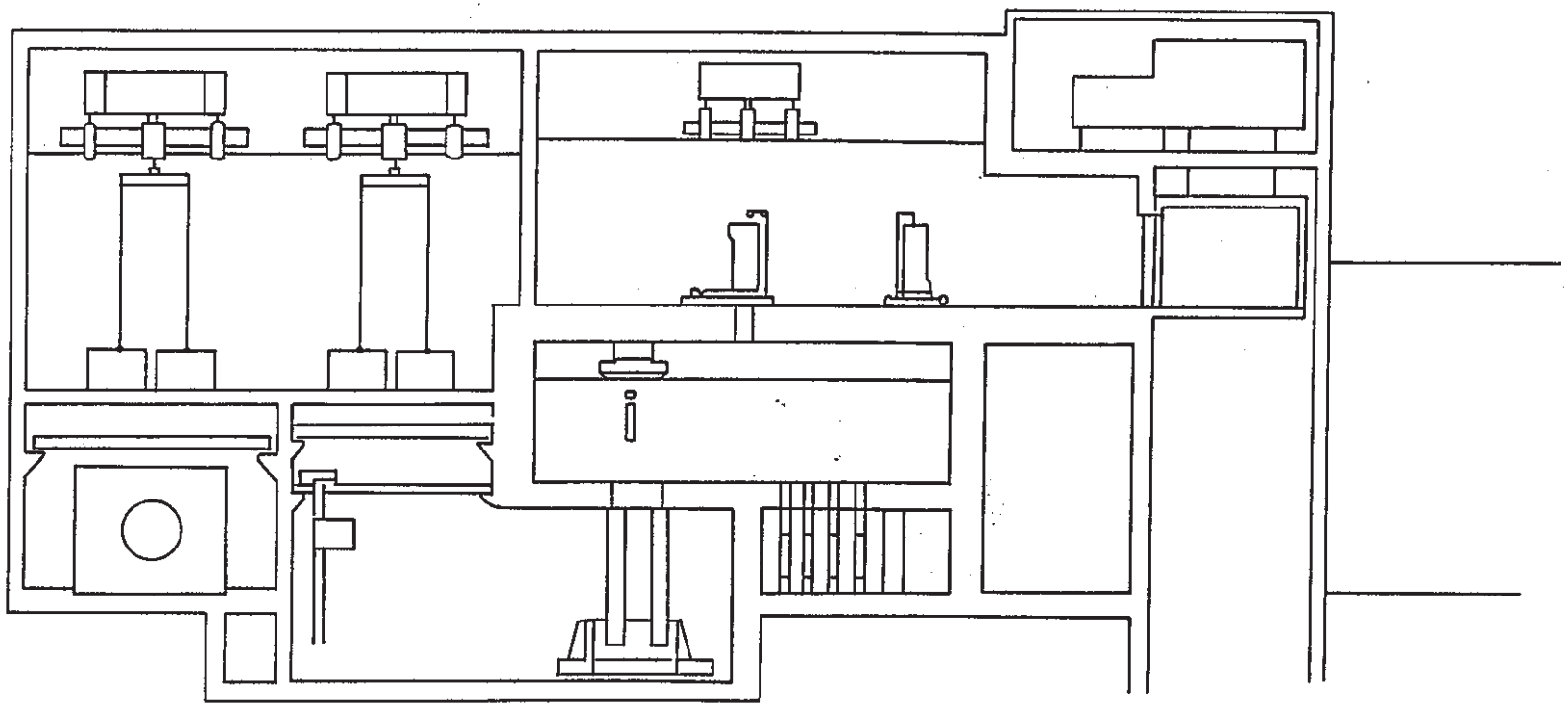
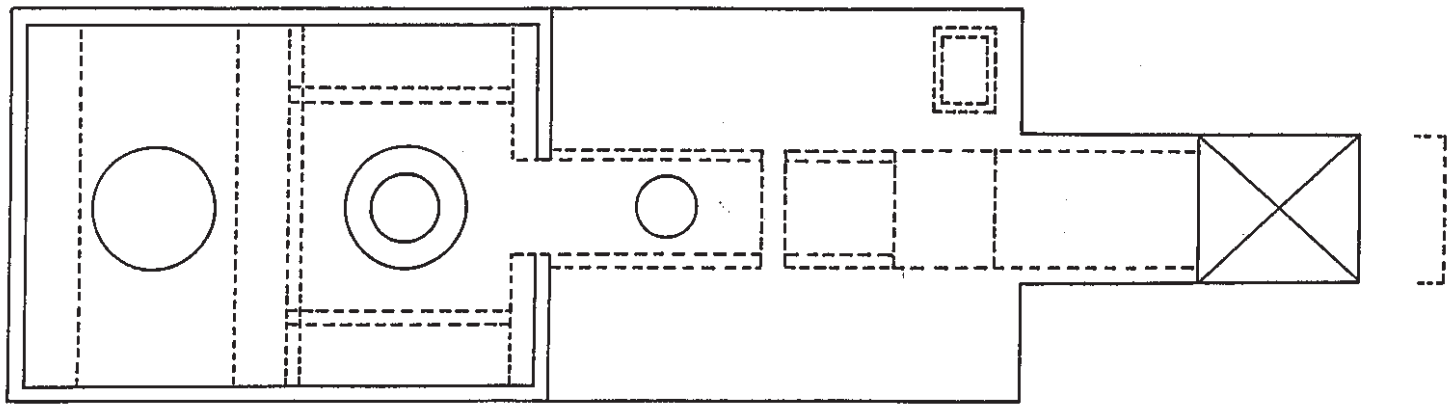


図5－4　仏におけるハンドリング設計例[1]



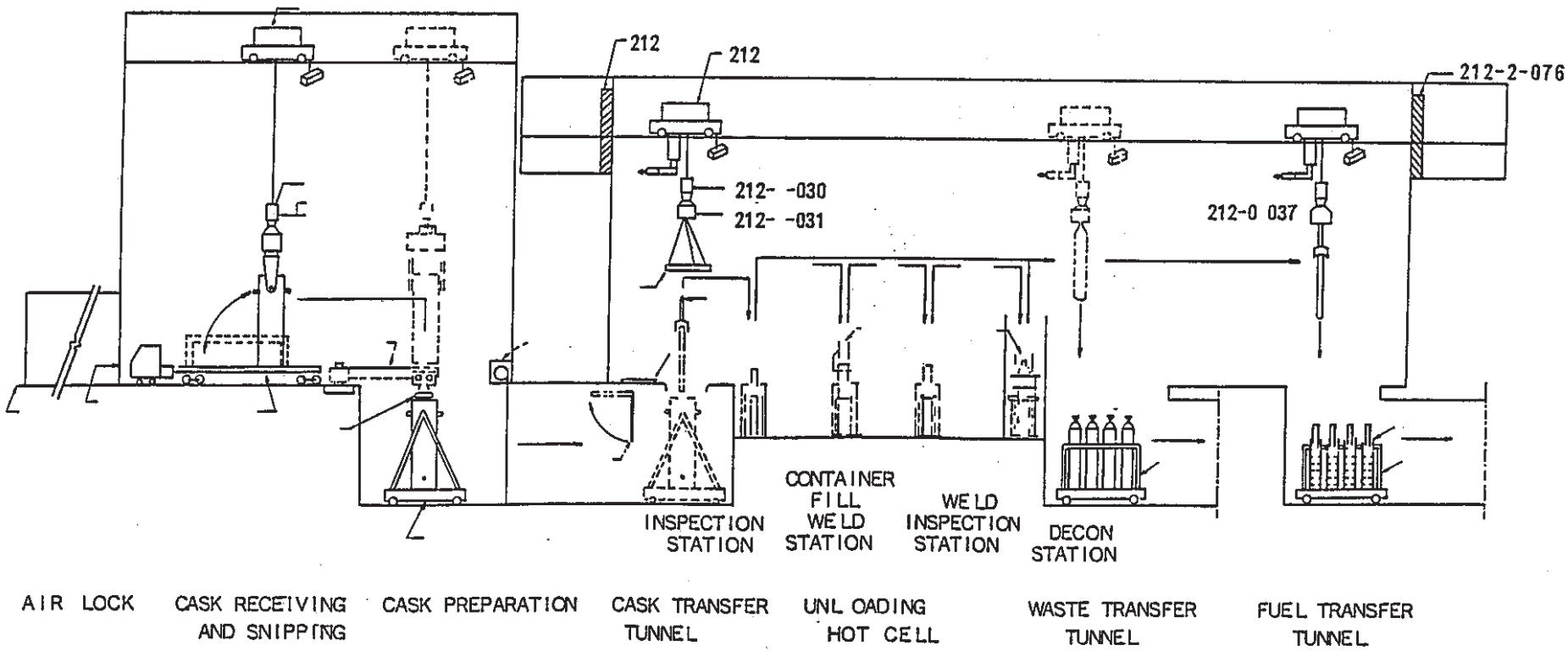


図５－５　廃棄物のメカニカルハンドリングフロー（米　ユッカマンウテン）[2]（１／４）

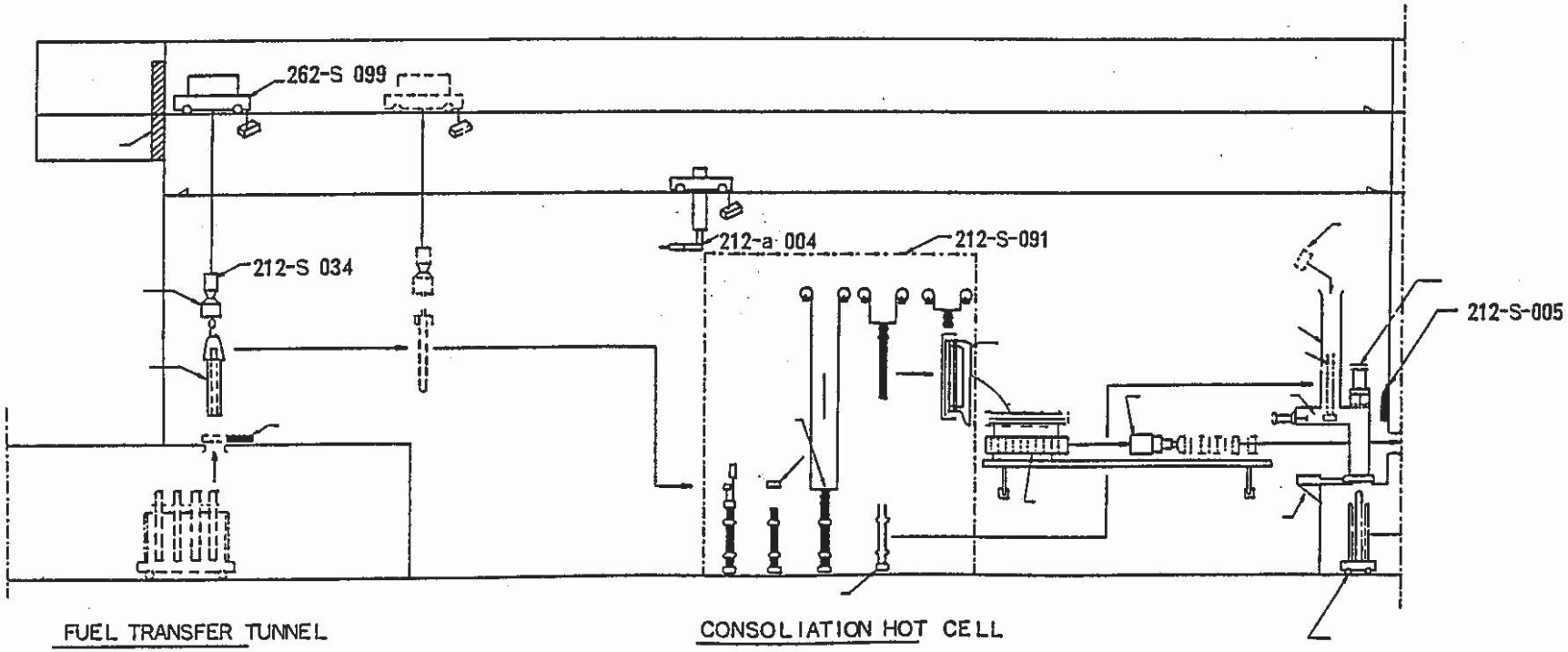


図５－５　廃棄物のメカニカルハンドリングフロー（米　ユッカマンウテン）（２／４）

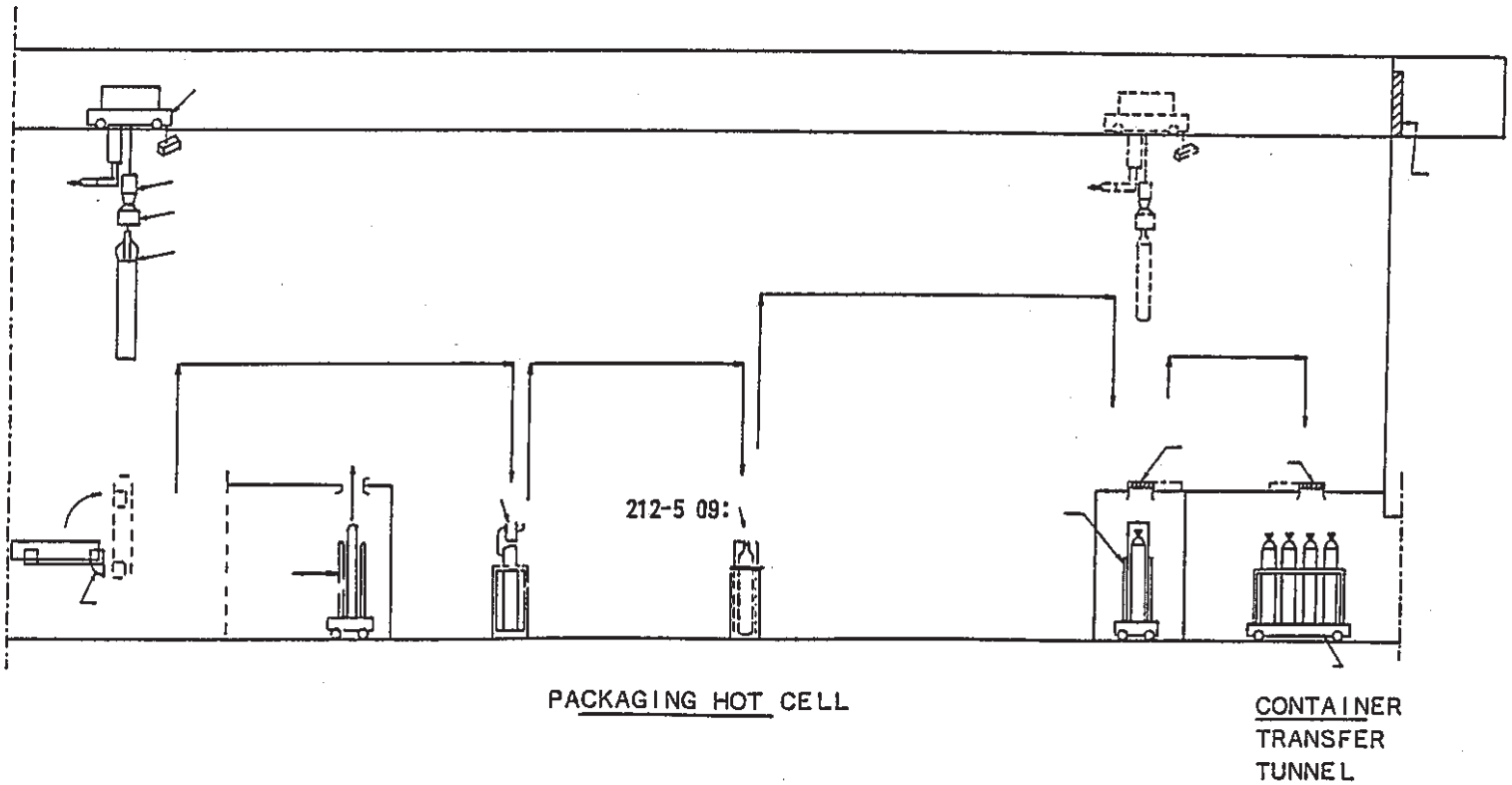


図５－５　廃棄物のメカニカルハンドリングフロー（米　ユッカマンウテン）（３／４）

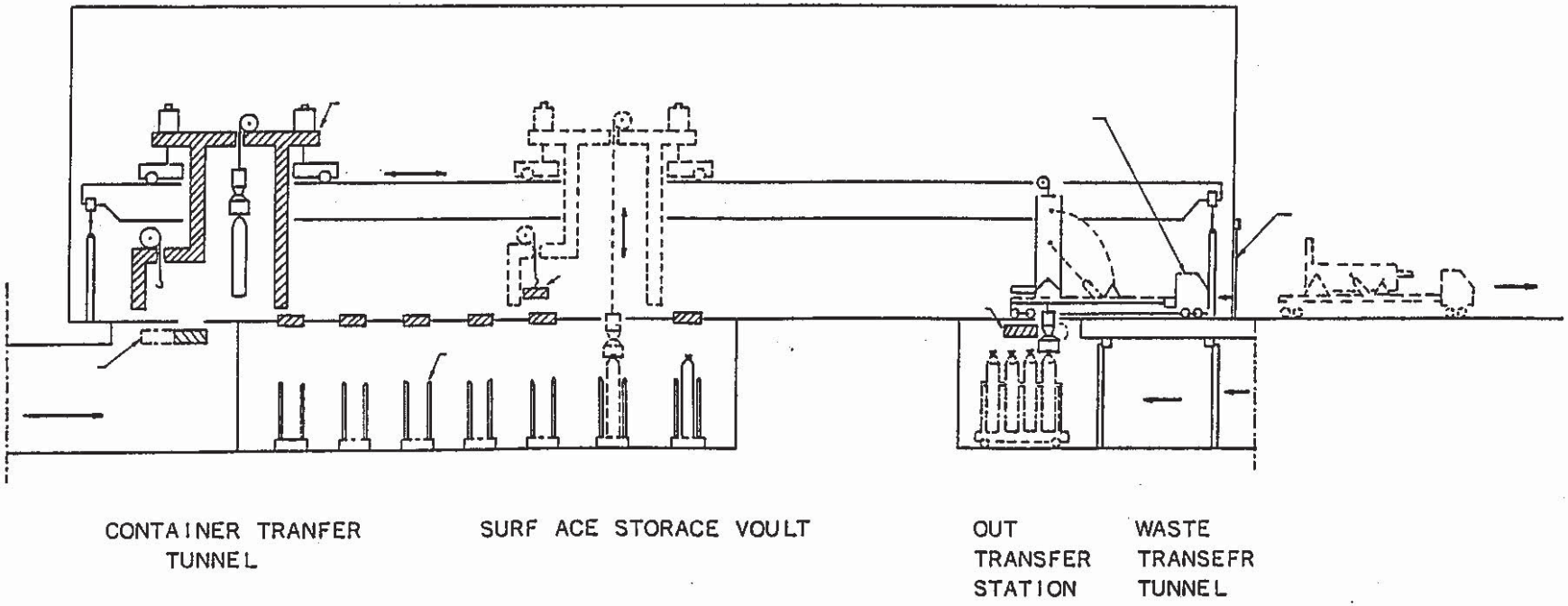


図５－５　廃棄物のメカニカルハンドリングフロー（米　ユッカマンウテン）（４／４）

表５－２　地上施設の搬送設備の種類

搬送設備	設備の概要	開発課題	備考
クレーン	天井クレーンにより廃棄物を吊り上げ，移動させる。	既存の原子力施設で実績有り	
移送台車	台車に廃棄物を乗せ，台車ごと移動させる。	同上	

5.1.2 地上地下搬送設備

地上から地下への移送は立坑あるいは斜坑により行なわれることになる。ここでは，地上，地下搬送に用いられると予想される設備を列記し，その技術の現状及び設備概念を述べる。

(1) 立　坑

立坑での搬送はエレベータで行うものと考えるのが一般的ではあるが，深度1000m規模のエレベータ設計を行う場合，既存技術レベルで建築基準法や労働安全衛生規則に適合させる設計を行うには多くの研究開発課題を含んでいる。

ここではまずエレベータ技術の現状及び将来の研究課題について述べ，その後に立坑の設備概念を述べる。

(a) エレベータ技術の現状

通常国内の建築物に設けられるエレベータは建築基準法第34条及び建築基準法施工令第129 条の３から第129 条13の３まで（第129 条の11は除く）の適用を受けることになる。

この施行令により以下の点が規定されている。

① エレベータの主索，綱車／巻胴，支持ばりレール，かご，昇降路の構造。

② 原動機，制御器，巻上機，機械室，安全装置。

③ 構造計算等。

エレベータの駆動方式は大別して油圧方式とロープ方式に分けられる。（図５－６）日本ではエレベータの約97%がロープ式で占められ，残り約３%を油圧式が占めている。[22] 油圧方式は，油圧ジャッキによってかごを昇降させるエレベータであるが，揚程が最大でも20m程度しかなく，本施設に適用することは難しい。

ロープ方式は，一般に最も広く採用されている方式であり，昇降行程が長い場合や，比較的速い速度が必要な場合などに向いているが，1000mの大深度まで８～10 ton程度のキャスクを運搬すると考えた場合以下

の点が問題となる。

――――― 巻上げ機（モーター）の容量

――――― 綱車の強度

――――― ロープの強度／重量

――――― 安全装置の設置

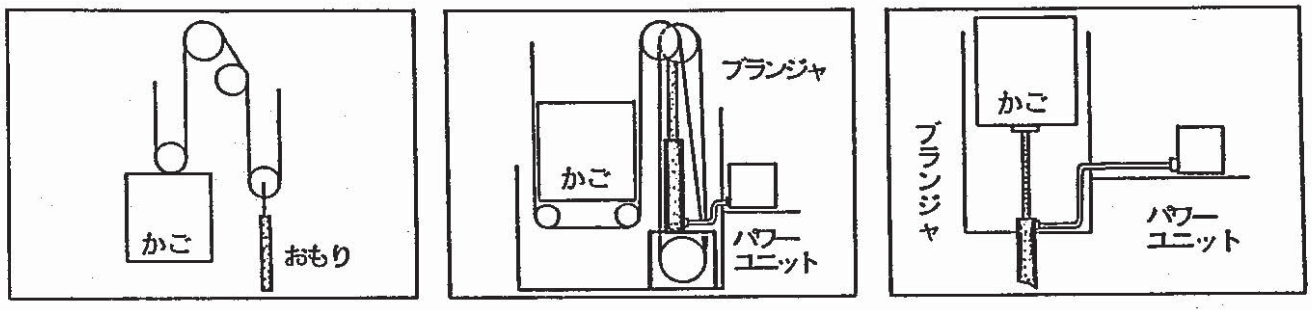
巻上げ機及び綱車については，通常使用されているエレベータでは7 ton 程度の最大積載能のものしかなく，キャスク荷重（約8～10 ton）及びキャスク用台車の重量（5～6 ton）を考慮すると，大容量の巻上げ機及び高強度の綱車の開発が必要となる。

ロープ強度については建築基準法施工令129 条の13ではその許容応力度が材料破壊強度の1/10に規定されている為，積載荷重や1000mもの揚程を考えると相当な重量になることが予想される。

鉱山では，10%（6°）程度の斜坑が広く採用されているが，中には20%近いものも存在する。

また，ロープ自体の耐久年度は安全性をみて国内においては通常6～7年が目安とされており，この期間でロープの交換を行うなどの対策がとられている。従ってさらに長寿命のロープの開発が必要となる。

安全装置については，国内の建築物に設けられるエレベータでは表5－3に示すとおり種々の安全装置が設置されており[(9)]今回の施設に設置されるような高揚程，大積載量のエレベータに対しては改良を加えていく必要があると考えられる。



ロープ式荷物用エレベータ　　油圧間接式荷物用エレベータ　　油圧直接式荷物用エレベータ

図５－６　エレベータの種類

表5－3　エレベータ安全装置類の機能

安全装置名	安全装置の機能	準拠法令
1. ドアスイッチ	かご又は昇降路の出入口の戸が閉じていなければ運転できない装置	建基法施行令第129条の9
2. ドアインターロック	昇降路の出入口の戸は，かごがその階に停止していなければかぎを用いなければ開かない装置	同　上
3. 非常停止スイッチ	かご内で動力を切ることができるスイッチ（乗用及び寝台用では隠ぺイ化）	同　上
4. ガバナスイッチ	かごが異常速度になったときに動力を自動的に切る装置	同　上
5. ブレーキ	動力が切れたときに原動機の回転を制止する装置	同　上
6. 非常止め	かごが第4項の異常速度をこえる場合にかごの降下を自動的に制止する装置	同　上
7. 終端階減速停止装置	終端階に接近したときに強制的に減速させ，終端階を著しく行過ぎないうちに停止させる装置	同　上
8. ﾌｧｲﾅﾙﾘﾐｯﾄｽｲｯﾁ	終端階を著しく行過ぎたときに停止させる装置	同　上
9. 緩衝器	かご又はつり合おもりが最下階を行過ぎて昇降路底部に衝突してもかご内の人の衝撃を緩和する装置	同　上
10. 外部連絡装置	停電等の非常の場合にかご内からかご外へ連絡することができる装置	同　上
11. はかり装置	乗用又は寝台用で，定格積載荷重を著しくこえた場合に警報を発し，出入口の戸の戸閉操作を制止する装置	同　上
12. 停電灯	乗用又は寝台用で，停電の場合でも床面1ルックスの照度を確保できる装置	同　上
13. 各階強制停止運転装置	乗用エレベータで，かご呼びのある階まで出入口のある階ごとに停止して出入口の戸を開く装置（防犯用）	同　上
14. ドアセフティ	出入口の戸に狭まらないように，かごの戸の先端に設けられ，人又は仏が触れると閉じかけた戸が反転する装置	法令になし
15. オーバーロードリレー	原動機が著しい過負荷になったときに動力を切る装置	同　上
16. かご天井救出口スイッチ	かご天井の救出口を開いたときに動力を切る装置	同　上
17. 防犯用ガスラ窓	住宅用エレベータで乗かご及び乗場の出口の戸がガラス窓	同　上

但し，海外はもちろんの事国内においても鉱山仕様をベースにすれば1000m規模の立坑は多数存在し，(13)（表５－４参照）材料，人員の運搬等に使用されている。従ってこのベースを参考として開発を進めることは可能である。

例えば，西独のＭＡＮ　ＧＨＨ社は積載荷重28 ton，巻き上げ長さ1280mの立坑システムを開発しているし（図５－７参照），同じ西独のＭＡＮＮＥＳＭＡＮＮ　ＤＥＭＡＧ社でも積載荷重 46.3 ton，巻き上げ長さ1524mの立坑システムを保有している。(13,14)

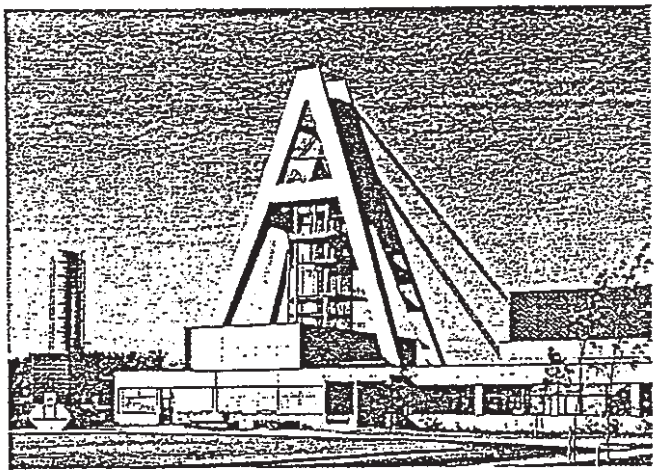


図５－７　西独のＭＡＮ　ＧＨＨ社の立坑システム

表５－４　国内の立坑

立坑名	入排気別	巻上距離m	立坑直径m	巻上種類	ケージ容量	原動機 型式	原動機 出力kW	巻上機 据付場所	巻上機 巻胴型式	巻上機 巻胴径	巻上機 シーブ径mm	ロープ径mm	ロープ構成	ロープ速度	立坑ガイド種類配置	使用開始年月
夕張二坑奥部入気立坑	入	445	6.50	人員, 材料, 硬	60人 2段 3.9トン	D.C.	750	地上	複胴	5000φ	5000×2	58	6×F(9+12+15)	4.0	レール・サイド	昭 24年12月
夕張二坑奥部排気立坑	排	461	7.50	硬	スキップ 4.5トン	A.C.	225		複胴			32		3.0		昭 16年8月
清水沢斜坑気立坑	排	260	4.80	人員	16人 1段	A.C.	150		複胴			32		2.7		昭 33年5月
真谷地排立坑	入	273	4.50	人員, 炭, 材料, 硬	18人 1段 2.5トン	A.C.	225		複胴			32		5.0		昭 12年10月
幌内坑布引入気立坑	入	291	4.80	人員	23人 1段	A.C.	375		ケーペ			32		9.1		大 15年5月
幌内坑布引排気立坑	排	291	3.96	人員	15人 1段	A.C.	100		複胴			30		3.1		大 14年6月
空知立坑	入	252	6.00	人員, 炭, 材料, 硬	54人 2段 4.3トン	D.C.	750	地上	ケーペ	5000φ	6000φ×1 5000φ×1	50	6×F(9+12+15)	9.6	木・エンド	昭 35年5月
三井砂川第一立坑	入	385	6.00	人員, 炭, 材料	50人 2段 8.5トン	D.C.	1600	地上	ケーペ	7000φ	6000φ×2	60	F (195+8×10)	16.0	ロープ	昭 27年9月
三井芦別第一坑立	入	208	5.30	人員, 炭, 材料, 硬	24人 3段 13.5トン	D.C.	1200	地上	単胴	5600φ	5500φ×2	54	6×F(9+12+15)	10.0	レール・エンド	昭 33年1月
三菱美唄常盤台立坑下風坑	入	171	5.50	人員, 炭, 硬	40人 2段 8.03トン	A.C.	500		単胴			44		5.8		大 14年11月
三菱美唄常盤台立坑上風坑	排	171	5.50	人員, 材料	30人 1段	A.C.	225		ｺﾆｶﾙ単胴			32		7.0		大 13年5月
大夕張排気立坑	排	238	6.00	人員, 炭, 材料	12人 1段 2.7トン	A.C.	400		単胴			28		5.0		昭 32年2月
赤平上歌立坑	入	705	6.42	人員, 炭, 材料, 硬	32人 2段 3.80トン	A.C.	300		複胴			38		5.3		昭 24年9月
奔別本立坑ケージ	入	640	6.40	人員, 炭, 材料, 硬	64人 4段 11.0トン	A.C.	1540	地上	ケーペ	5500φ	5500φ×4	54	6×F(9+12+15)	12.0	両側・エンド	昭 35年8月
奔別本立坑スキップ	入	658	6.40	炭	スキップ 10.0トン	D.C.	2700	地上	ケーペ	5500φ	5500φ×4	54	6×F(9+12+15)	12.0	両側・エンド	昭 35年8月
好間第一立坑	入	336	5.45	人員, 材料, 硬	20人 1段	A.C.	150		複胴			33		4.2		昭 17年6月
好間第二立坑	排	352	5.45	炭	スキップ 3.0トン	D.C.	850	地上	複胴	4550φ~3030φ	3640φ×2	44	6×F(Δ+12+12)	7.8	レール・エンド	昭 19年1月
宇部五段立坑	入	100	5.50	炭, 材料, 硬	1段 2.0トン	D.C.	450		複胴			36		6.0		大 15年1月
宇部人員立坑	入	212	4.00	人員	28人 2段	A.C.	150		単胴			28		4.0		昭 23年7月
宇部大浜立坑	入	212	5.50	炭, 材料, 硬	1段 2.2トン	A.C.	225		複胴			28		5.0		昭 31年5月
宇部材料立坑	入	105	4.60	材料	1段 2.4トン	A.C.	225		平衡式			32		4.0		昭 9年1月
宇部人員立坑	入	152	7.40	人員	36人 1段	A.C.	200		単胴複巻			40		4.0		昭 27年11月
第二藤山第一立坑	入	42	2.80	炭, 硬	1段 0.5トン	A.C.	37		単胴			18		2.0		昭 33年10月
新富田第一坑立坑	排	61	3.63	人員	6人 1段 0.8トン	A.C.	37		複胴			20		2.0		昭 32年6月
尾運搬立坑	入	81	4.00	炭, 材料, 硬	1段 1.0トン	A.C.	75		単胴			22		3.0		昭 29年8月
尾排気立坑	排	72	4.00	人員, 材料	8人 1段 1.0トン	A.C.	37		単胴			22		1.0		昭 33年11月
桜山新坑立坑	入	80	3.60	炭, 硬	1段 1.3トン	A.C.	56		複胴			26		3.3		昭 14年6月
山野第一立坑	入	491	7.00	人員, 炭, 材料, 硬	75人 3段 3.7トン	D.C.	1600	地上	ケーペ	7000φ	6000φ×2	60	F (195+8×10)	16.0	ロープ	昭 27年8月
山野第二立坑	排	691	6.00	人員, 炭, 材料, 硬	75人 3段 2.5トン	D.C.	1400		ケーペ			60		12.0		昭 36年1月
上山田上山田立坑	入	411	5.50	人員, 炭, 材料, 硬	40人 2段 5.6トン	D.C.	900	地上	単胴	4880φ	3650φ×2	51	6×F(9+12+15)	12.0	レール・エンド	昭 2年6月
二瀬中央立坑	入	344	5.50	人員, 炭, 材料, 硬	20人 1段 2.3トン	D.C.	375		複胴			32		8.0		昭 24年5月
二瀬中央立坑	入	344	5.50	人員, 材料, 炭	1段 2.3トン	D.C.	600		複胴			32		9.6		昭 24年5月
大之浦新菅牟田坑北立坑	入	415	4.85	炭	スキップ 5.0トン	D.C.	1100	地上	単胴複式	6000φ	6000φ×2	50	6×F(9+12+15)	10.0	レール・エンド	昭 28年12月
大之浦新菅牟田中央立坑	入	415	6.00	人員, 材料, 硬	50人 2段 6.0トン	D.C.	900	地上	単胴複式	6000φ	6000φ×2	50	6×F(9+12+15)	9.0	レール・エンド	昭 28年12月
三島第三立坑	排	350	6.50	人員	30人 1段	D.C.	250		単胴複巻			44		5.5		昭 27年10月
三井田川伊加利立坑	入	658	7.00	人員, 材料, 炭	100人 4段 15.0トン	D.C.	3440	地上	ケーペ	7500φ	7500φ×2	77	F〔A+5×(9×8)+6×(Al+10+14)+8×(Al+12+16)〕	16.0	ロープ	昭 30年12月
三井田川八尺立坑	入	314	5.45	改造のため休止中	14人 2段 2.9トン	D.C.	830		単胴			52		10.0		昭 26年5月
三井田川四尺立坑	入	349	5.45	人員, 材料, 炭, 硬	14人 2段 2.9トン	D.C.	720	地上	単胴	5000φ	4880φ×2	52	6×F(9+12+15)	8.0	ロープ	昭 27年1月
方城第一立坑	入	273	4.42	炭, 材料, 硬	1段 2.0トン	A.C.	450		単胴			32		10.0		明 45年 月
方城第二立坑	入	273	5.48	人員	18人 1段 2.0トン	A.C.	225		複胴			32		6.0		明 43年 月
久原開立坑	入	160	3.20	人員, 材料, 炭	15人 1段 2.0トン	A.C.	150		ケーペ			32		5.0		昭 29年11月
崎戸西立坑	入	200	5.65	人員, 炭, 材料, 硬	24人 1段 2.0トン	D.C.	555		単胴			36		5.0		昭 5年8月
崎戸東立坑	入	200	5.65	休止中	18人 1段	圧気動	405		単胴			32		5.0		大 10年10月
二子蛎瀬立坑	排	357	6.00	人員	50人 2段	A.C.	375	地上	複胴	4200φ~3000φ	5000φ×2	46	6×F(Δ+12+12)	9.1	木・エンド	昭 25年1月
端島第二立坑	入	620	6.00	人員, 炭	50人 2段 7.9トン	D.C.	1150	地上	単胴	5300φ	4880φ×2	55	6×F(9+12+15)	9.0	レール・サイド	昭 25年1月
端島第四立坑	排	354	6.10	人員	20人 1段	A.C.	300		単胴			32		5.7		大 14年5月
三池宮浦鉱南新開立坑	排	200	6.00	人員, 材料, 硬	25人 2段 3.5トン	D.C.	400	地上	単胴	4000φ	4000φ×2	50	6×F(9+12+15)	5.0	レール・エンド	昭 26年12月
三池宮浦鉱横須立坑	入	163	4.50	材料	1段 0.8トン	A.C.	45		単胴			28		0.5		昭 8年12月
三池四山一坑	入	413	6.40	人員, 材料, 硬	25人 2段 7.2トン	D.C.	1020	地上	ケーペ	5800φ	5790φ×1	60	F (195+8×10)	11.0	ロープ	大 13年1月
三池四山二坑	排	410	6.40	人員, 材料	35人 1段 1.8トン	A.C.	225		単胴			32		4.0		大 12年2月
三池三川鉱新港立坑	排	394	7.00	材料	1段 0.6トン	A.C.	112		単胴			32		1.0		昭 28年9月
三池三川鉱万田二坑	入	267	8.31×4.37	人員, 材料	25人 1段 2.5トン	A.C.	225		単胴			36		4.5		明 37年2月
三池三川鉱宮原坑	入	149	7.48×3.81	人員, 材料	8人 1段 2.0トン	A.C.	75		単胴			36		1.3		明 33年10月
志免志免立坑	入	421	7.00	人員, 炭, 材料, 硬	50人 2段 9.9トン	D.C.	750	塔上	ケーペ	5000φ	4500φ×1	52	F (195+8×10)	10.0	木・エンド	昭 24年2月
福島福島立坑	入	83	5.60	炭, 硬	1段 3.0トン	A.C.	555		複胴			36		3.0		昭 28年1月

(12,15)
(b) 設備概念

(24)
ネバタ州ユカマウンテンで考えられている立坑の設備概念を図５－８に示すが，立坑としてはこのような形式が一般的なものになると考えられる。

図５－８（1/3)では巻上げ機をHead frameの中に設置し，Cage（かご）を昇降させるものであり，multi-rope friction タイプのホイストを採用している。

図５－８（2/3)は，Hoist house を別途設置したものである。

どちらの形式もCage（かご）の両側にガイドロープを採用し，ガイドレールは貯蔵エリアレベルのみとしているが，安全性及びHandlingの観点から，全立坑でガイドレールを設置しているケースが最近では多くなっている。

(10,11)
現在使用されているホイストシステムの概要を図５－９に示す。

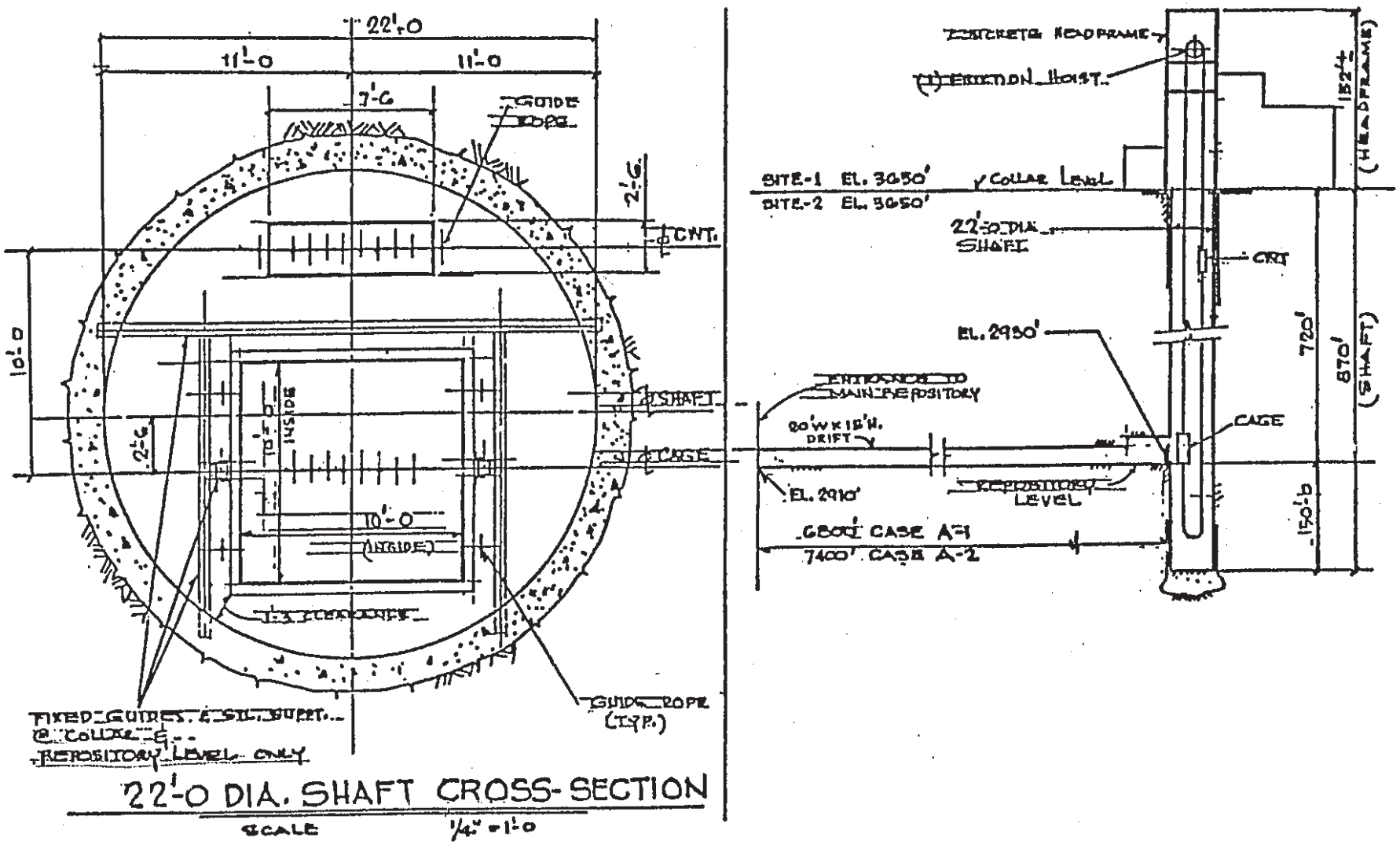


図５－８　立坑の概念図（１／３）

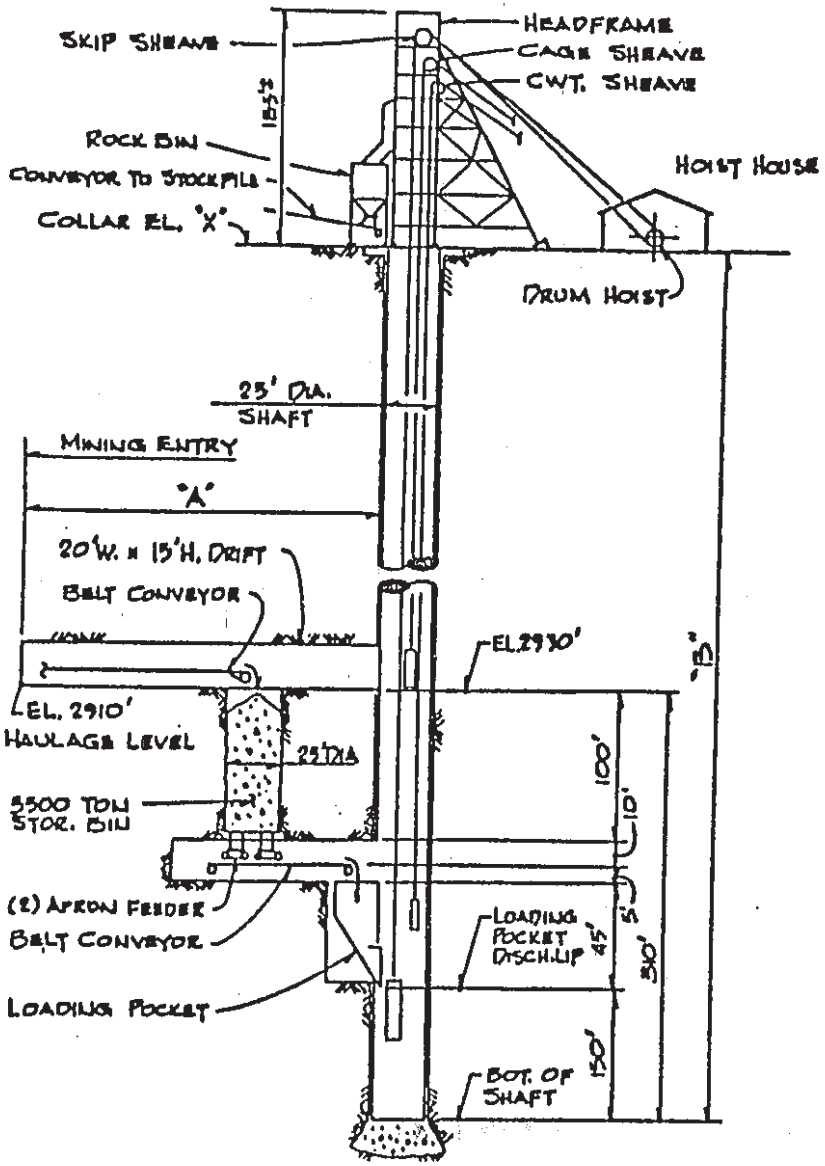
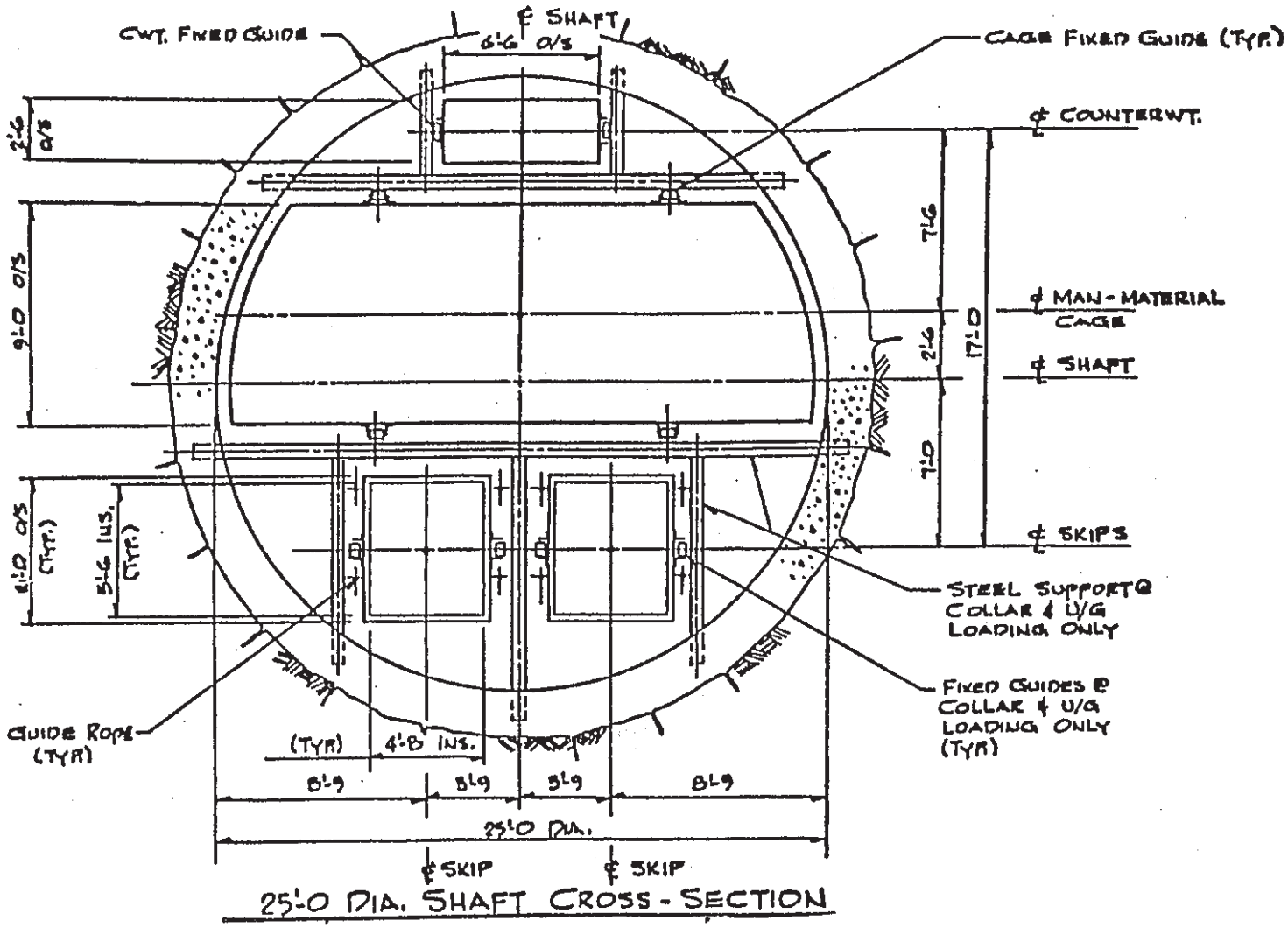


図５－８　立坑の概念図（２／３）



25'-0 DIA. SHAFT CROSS-SECTION

図５－８　立坑の概念図（３／３）

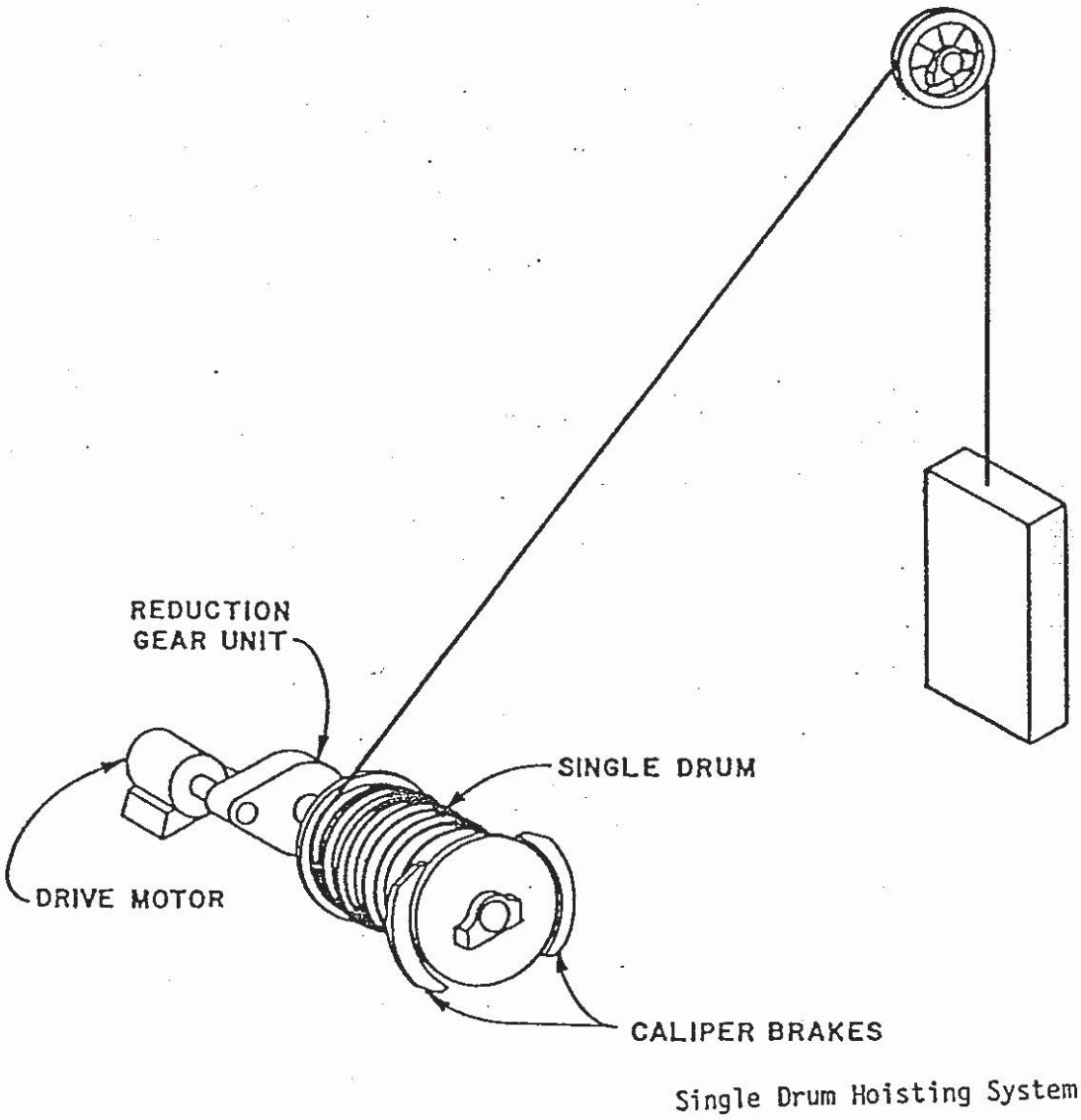
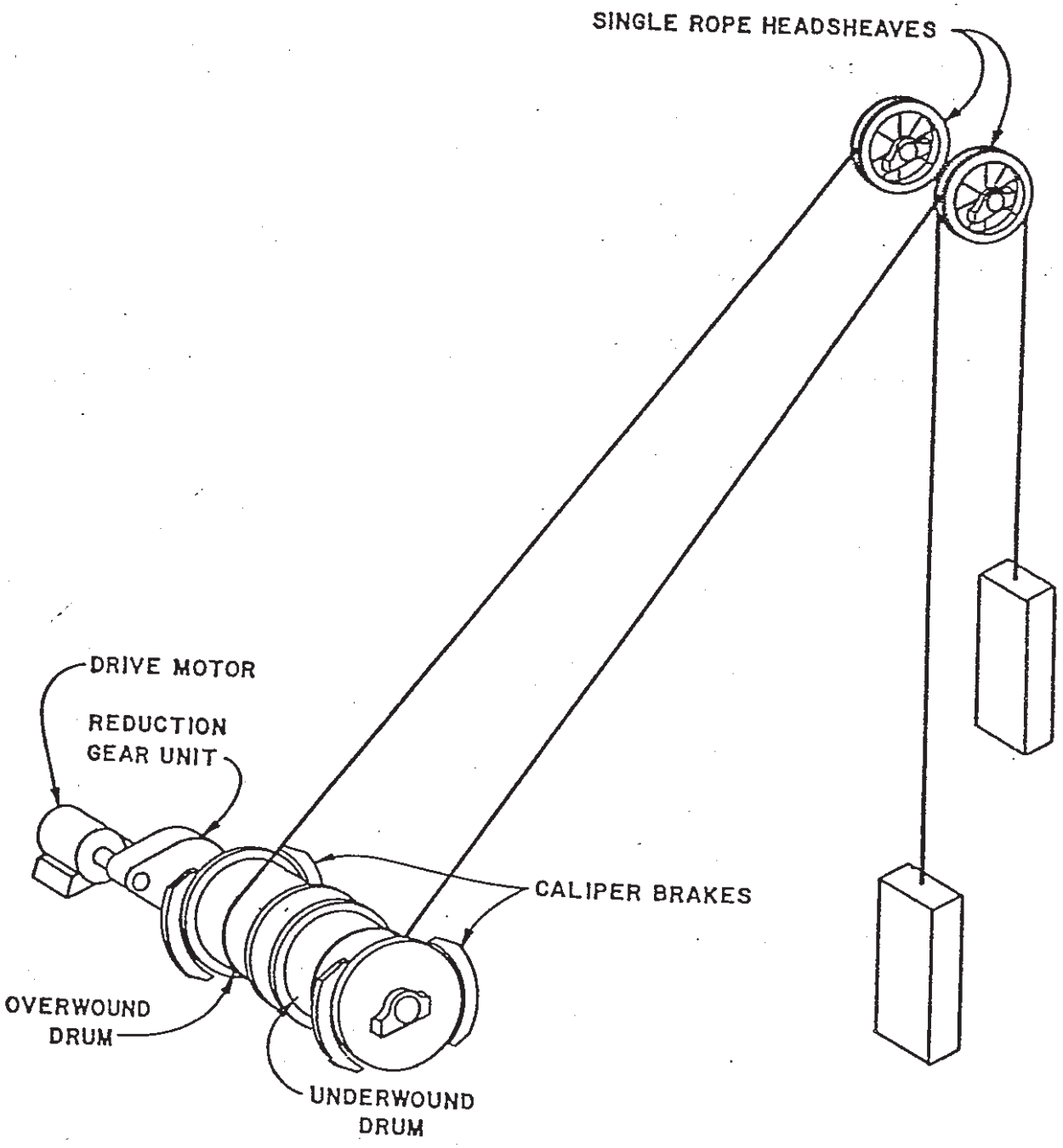
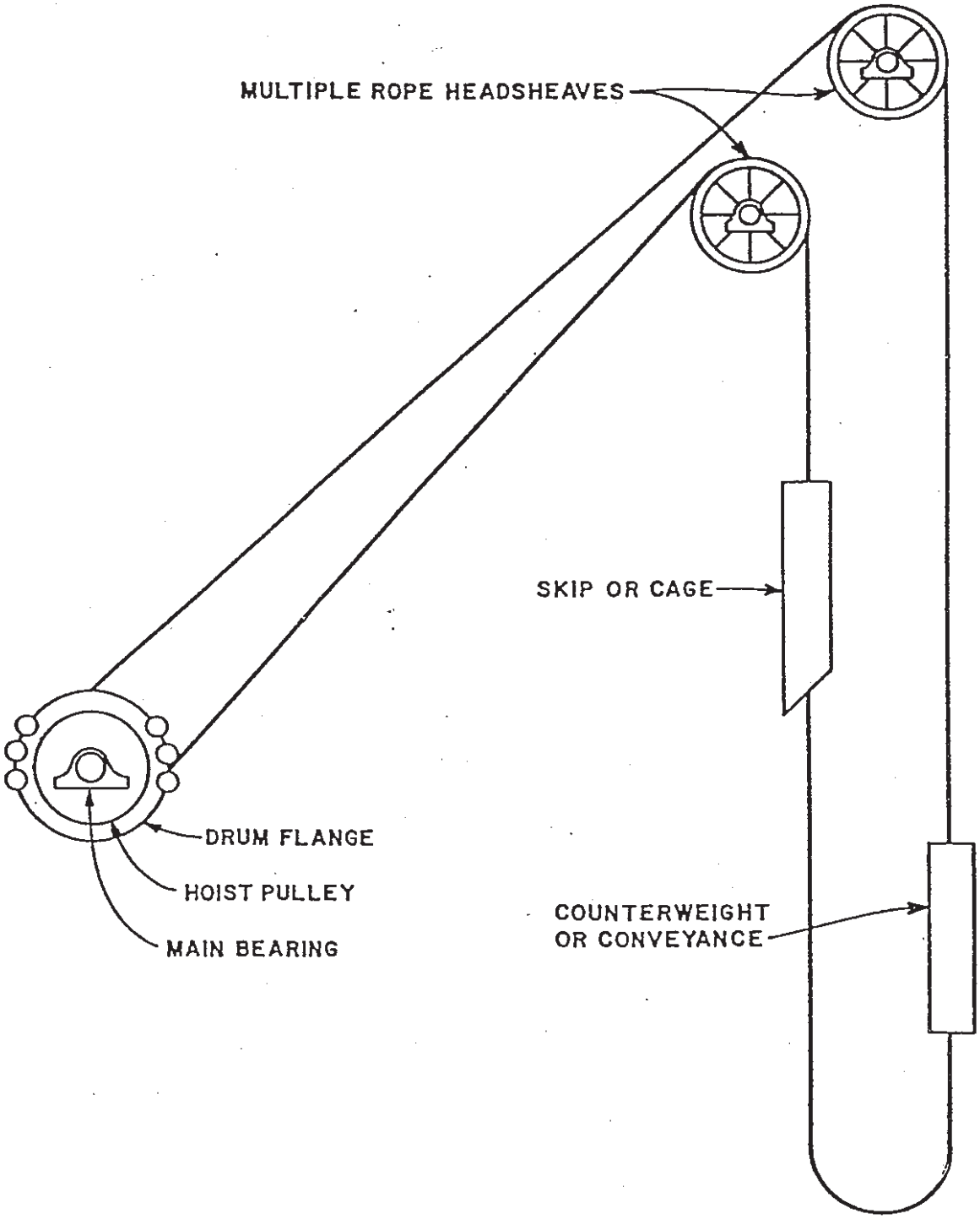


図５－９　ホイストシステムの概念図（１／６）



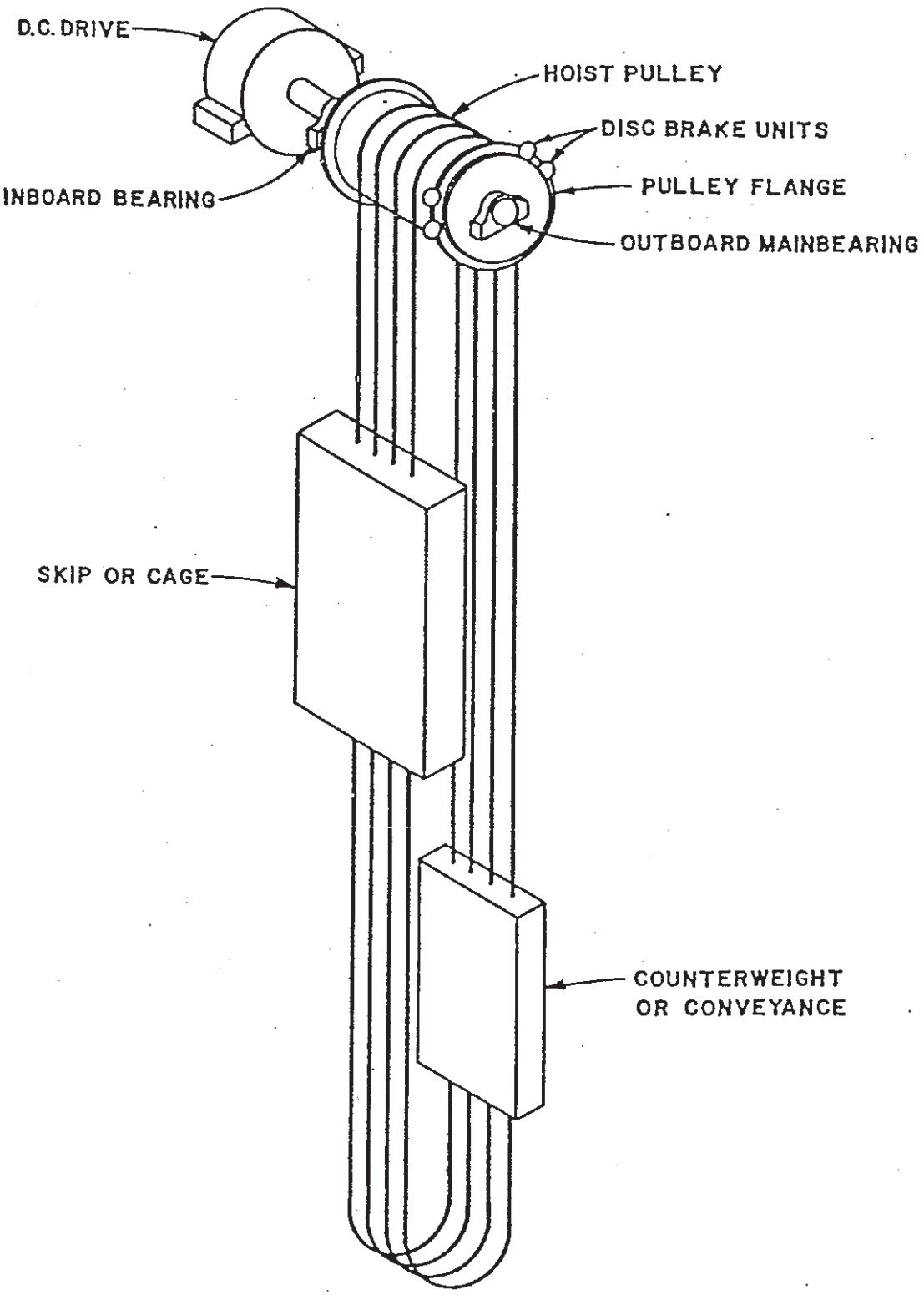
Double Drum Hoisting System

図５－９　ホイストシステムの概念図（２／６）



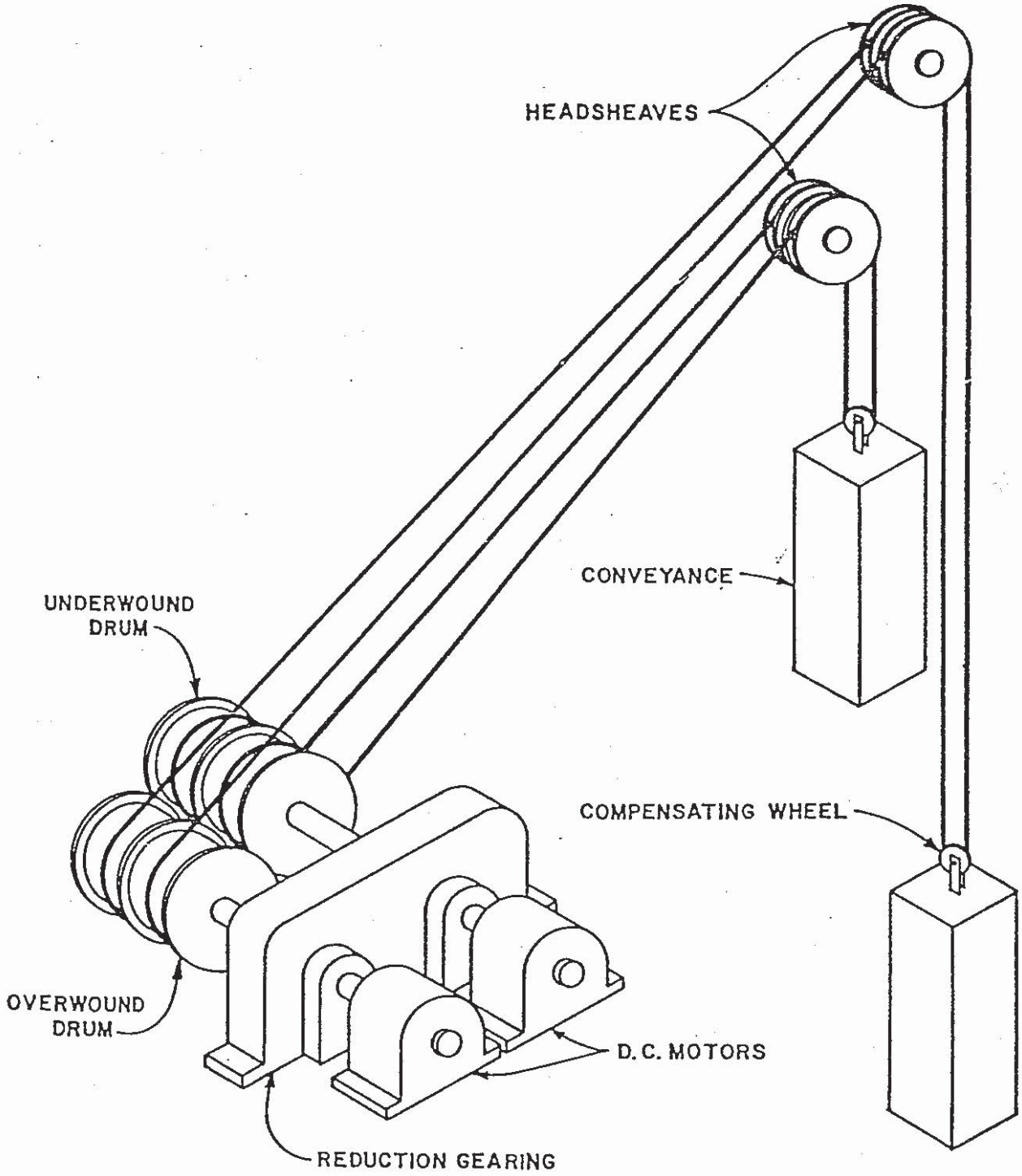
Ground-mounted Friction Hoisting System

図５－９　ホイストシステムの概念図（３／６）



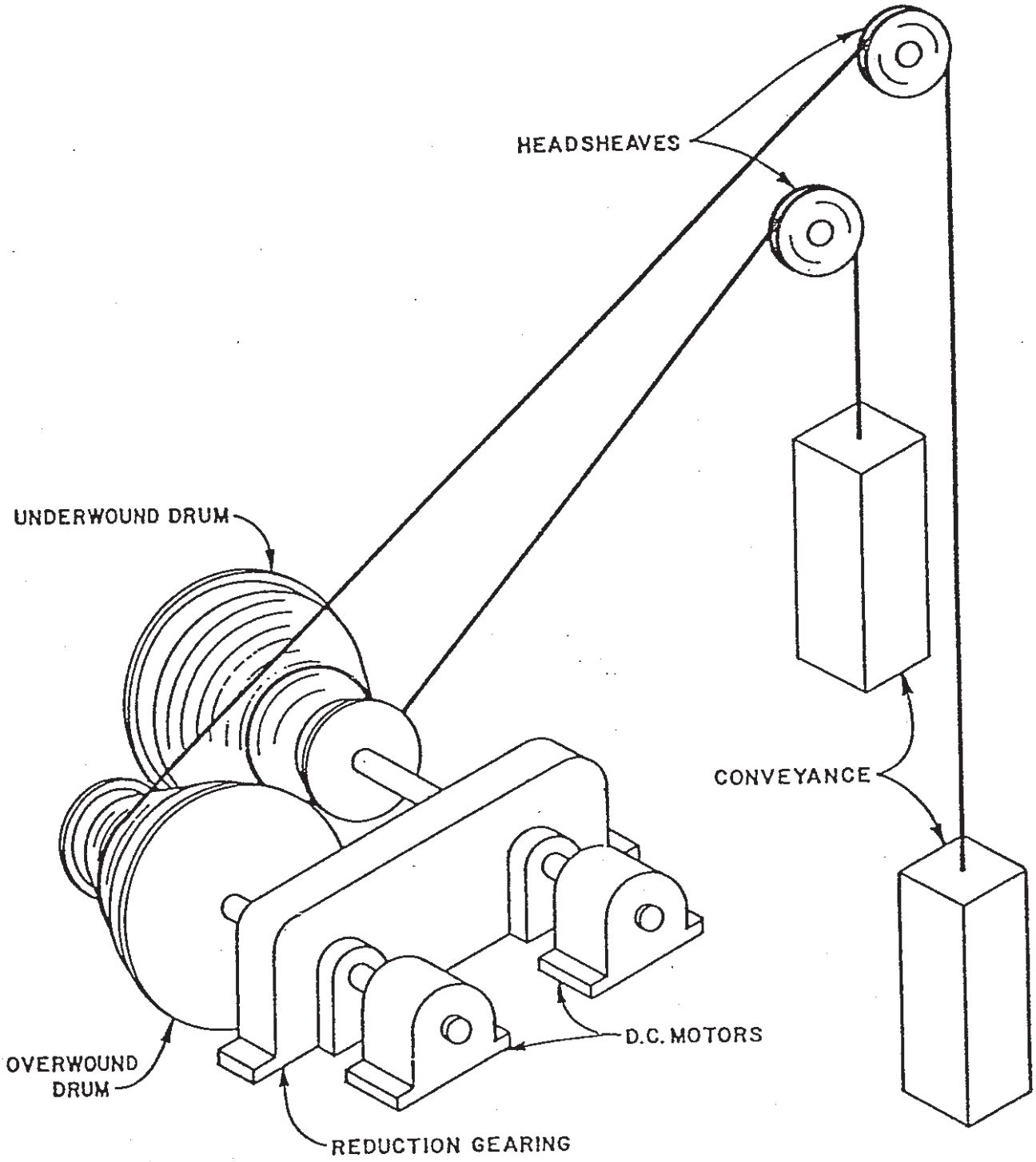
Tower-mounted Friction Hoisting System

図５－９　ホイストシステムの概念図（４／６）



Blair Multi-rope Hoisting System

図５－９　ホイストシステムの概念図（５／６）



Cylindro-conical Drum Hoisting System

図５－９　ホイストシステムの概念図（６／６）

(2) 斜　坑

斜坑における搬送は，トラック方式，鉄道方式及びトラック索引システムなどが考えられる。本節ではそれぞれの技術の現状及びその概念について述べる。

(a) 斜坑搬送技術の現状及びその設備概念

（イ）トラック方式

これはキャスクを地表面から地下施設までトラックあるいはトレーラーといった車両で搬送する方式であるが，もし斜坑の勾配を国内の道路法に基づく道路構造令に準拠するのであれば，斜坑の最大縦断勾配は10～12%が限度であり，1000mの深度まで掘削しようとすれば，延長距離が相当長くなり，搬入時間が多く費やされることが予想される。

車両としては，電気駆動式のものや通常のダンプトラックを使用することが考えられるが，通常のダンプトラックを用いる場合は斜坑内の換気に十分な注意を払う必要がある。

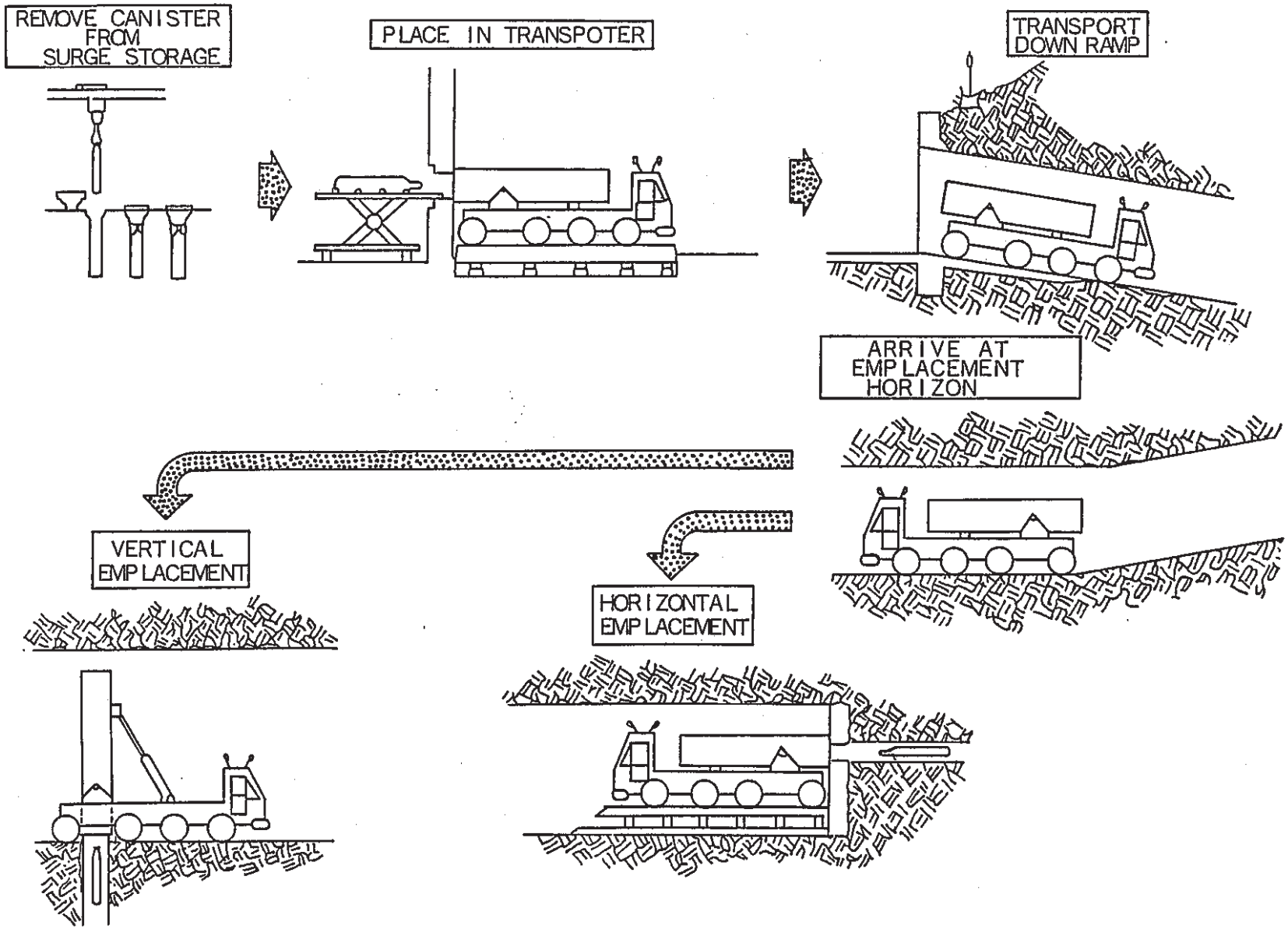
又，3.3(2)(b)で述べたとおり，斜坑搬入に用いた車両により定置作業まで行う場合は，地下施設内入口でのビークルへの積み替え作業がなくなり，ハンドリング上は有利であるが，車両一台当りの稼動時間は積み換えビークル使用ケースに比べて長くなる。

図5－10に一台の車両で斜坑内搬送から定置作業まで行う場合の概念を示すが，これは米国ネバタ州で考案されているものである。(25)

電気駆動式車両の形式としては以下のものがあげられるが，さらに詳細な調査・研究が必要である。

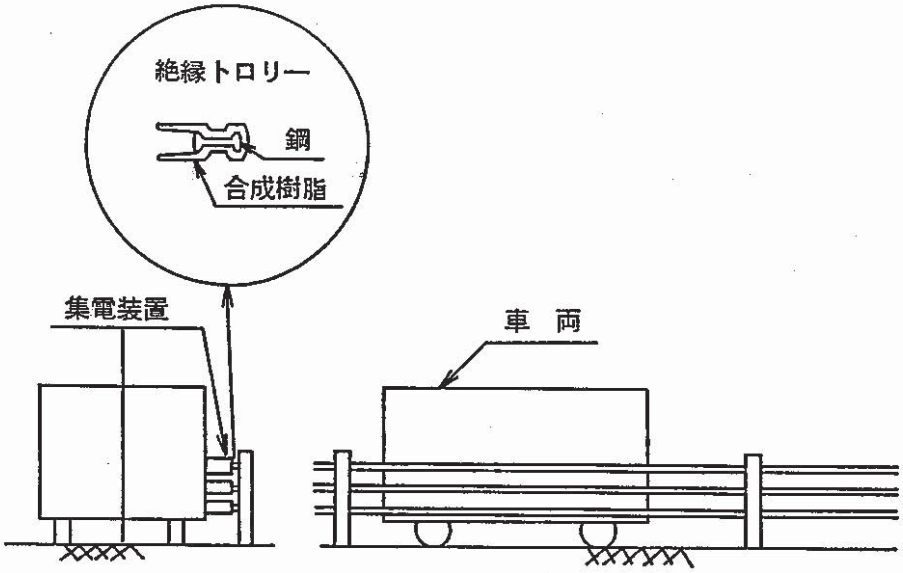
1）車上にバッテリを搭載する形式

2）剛体トロリー方式（図5－11参照）(8)

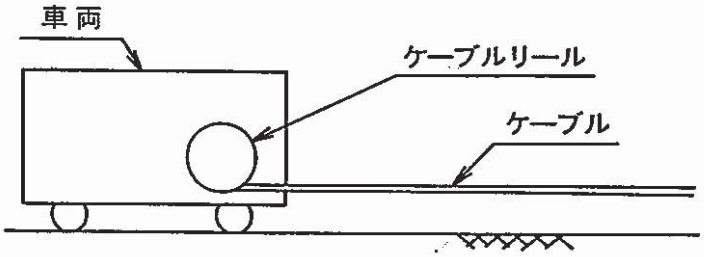


Transfer of Waste Disposal Packages from Surface to the Disposal Horizon

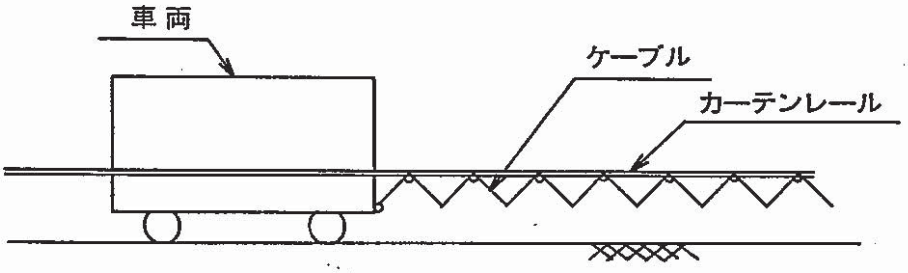
図5—10 パッケージの搬送



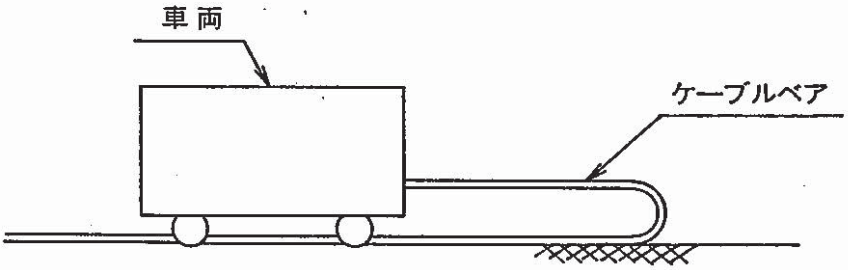
(1) 剛体トロリー方式



(2) リール方式



(3) カーテンレール方式



(4) ケーブルベヤ方式

図5－11 各種の結電方式

（ロ）鉄道方式

この方式は，斜坑を鉄道トンネルとし，キャスクを地下施設まで鉄道にて運搬する方式である。

通常の線路構造のものを用いる場合，運搬は経済的効果や排気の問題から電気車とするのが好ましい。集電方式としては一般の鉄道で用いられている架空電車線方式や地下鉄道に多く用いられている第3レール方式がある。

第3レール方式とは軌道の側面に電圧を加えたレールを敷設する方法で，車両の側面に設置された集電用設備から電気車に電気を供給するとともに，車両を通じてレールに戻す方式である。

この方式の概念図を図5－12に示す。

英国では中レベル廃棄物の貯蔵施設ではあるが，斜坑に鉄道方式を用いるケースが検討されている。

これによれば，速度は最大96km／h程度まで可能だとしており，車両の積載能力は60 tonを目安としている。

この概念を図5－13，14に示す。

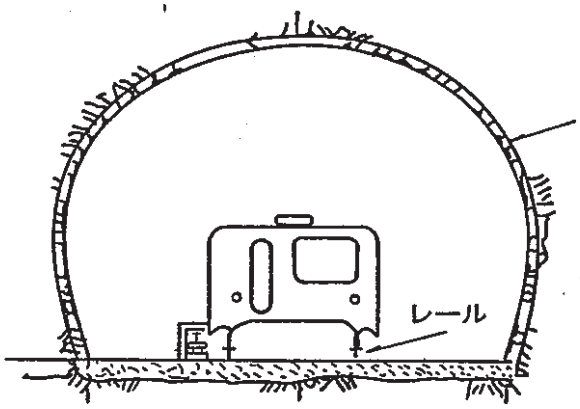
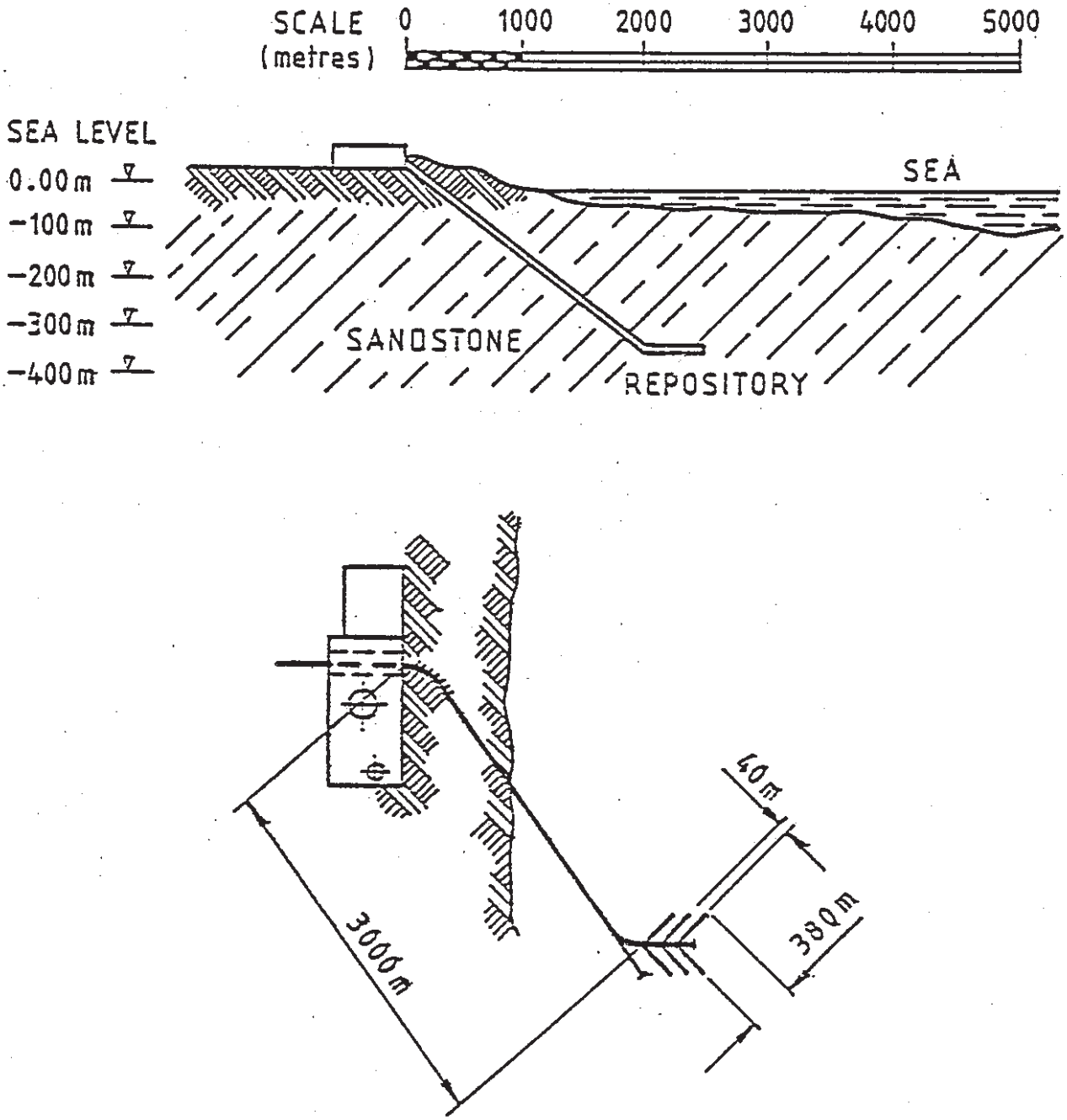
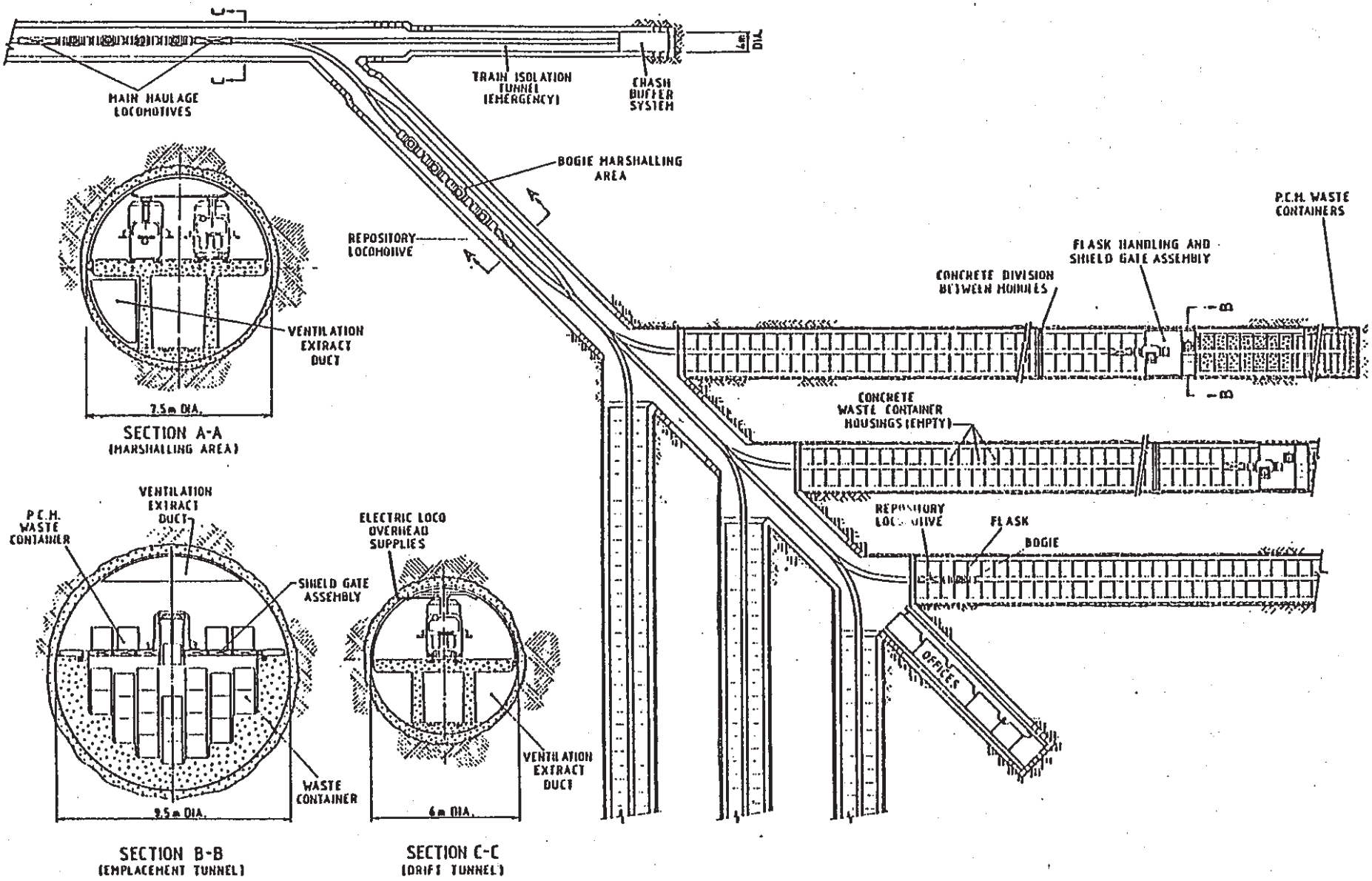


図5－12　第3レール方式の概念図



REPOSITORY LAYOUT - SCHEME A -
[I.L.W.G.D.S. (82)]

図5—13　　英国の中レベル廃棄物貯蔵施設における鉄道方式の検討



REPOSITORY LAYOUT - SCHEME 'A' - [ILWGDS (82)]

図5—14　　英国の中レベル廃棄物貯蔵施設における鉄道方式の検討

但し，国内ではJ.R.が一般線路の勾配を線区の重要度に応じて表5－4のとおり定めており，[27] もしこの規定を準拠するようなことになれば1000m深度の施設までアクセスする為の総延長は相当な距離となる。

表5－5　線路の勾配（‰）

種別＼線路等級	1級線	2級線	3級線	4級線
停車場外本線路	10	（25） 10	（25） 20	（35） 25
	・電車線は35‰以下とすることができる。 ・曲線を伴う場合は，勾配の限度を超えないよう曲線抵抗に対して勾配の補正をする。			
停車場内本線路	・その本線路の量最端転てつ器の間および列車の停止区域内においては3.5 ‰以下とする。			
単線	・3.5 ‰以下とする。車両の留置をしない区域においてはこれによらないことができる。			

（注）（　）内は，線路の状況その他によりやむを得ない場合

‰は1／1000

通常国内で使用されているレール式鉄道は，粘着式鉄道と呼ばれ，勾配がある程度以上急になると車両を運転することが不可能になる。

鉄輪とレールの摩擦係数が0.1～0.25であることより，これに安全率を考えると，粘着式鉄道における実用上の勾配の限度は，蒸気運転の場合：40～50‰，電気運転の場合：83～100 ‰といわれている。[28]

従って，山岳など勾配の急な場所では鋼索鉄道が多く用いられている。

その他，鉄道方式としては通常の粘着式鉄道を用いるものだけでなく，特殊鉄道としてのモノレール，歯レール式鉄道等を用いる案も考えられる。

モノレールは車両の車体部分が軌道桁より上方にあってこれをまたぐ形の跨座型と車両の車体部分が軌道桁より垂れ下がっている懸垂型とにわけられるが，本施設では斜坑に設置する為，用いるとすれば跨座型が適している。跨座型の概念図を図５－15に示す。

モノレールは車輪にゴムタイヤを使用できる為，あしる程度の急勾配（最悪の天候条件下においても10%以上は確保できるといわれている）[27]での運転も可能となり斜坑の長さを粘着式鉄道より短くできるという利点があり，脱線に対する安全性を考えても，鉄道方式を用いる場合はモノレール型の方が好ましいと思われる。但し，搬入の際は下り勾配が延々と続く為，ブレーキシステムの改良・開発が必要となろう。

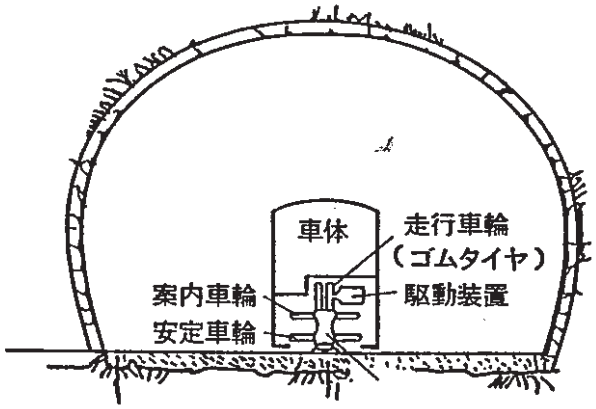


図５－15　跨座型の懸念図

歯レール鉄道とは，軌道の中央に特殊な構造をもつレール，すなわち歯レール（rack rail)を敷設して，これとかみあう歯動輪（ rock wheel)を装置した動力車を運転するものである。

歯レールの構造は梯子形の簡単な構造のものから，改良されたストルブ式（strub system），アブト式など種々であるが，わが国では昭和38年９月まで国鉄信越線　横川 ― 軽井沢間でアブト式鉄道が用いられていたが，現在では廃止されている。

アブト式は，普通のレールの中央に歯レール２～３枚を組み合わせたもので輸送量の大きな鉄道に適したものである。

図５－16は国鉄信越線で用いられていたアブト式歯レールの構造を示す。

このアブト式区間では6.5 %以上の勾配が延長８km近くあり最急勾配は6.7 %であった。また 360 tonを牽引して約10km／ｈの速度で走行していた。(29)

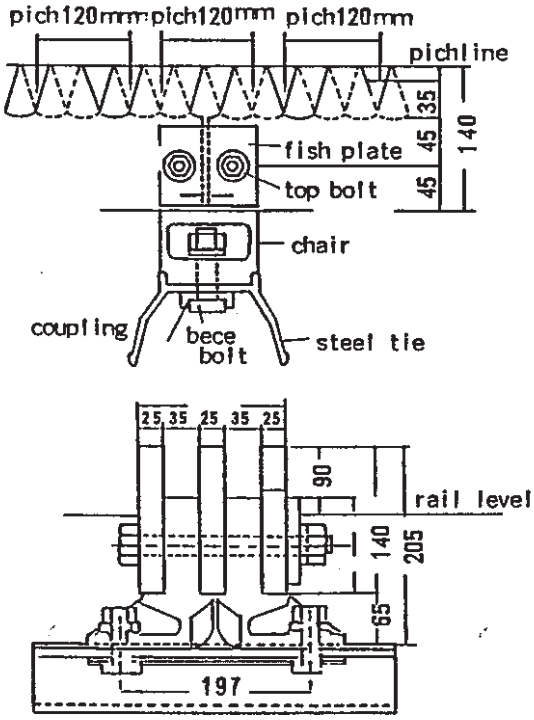
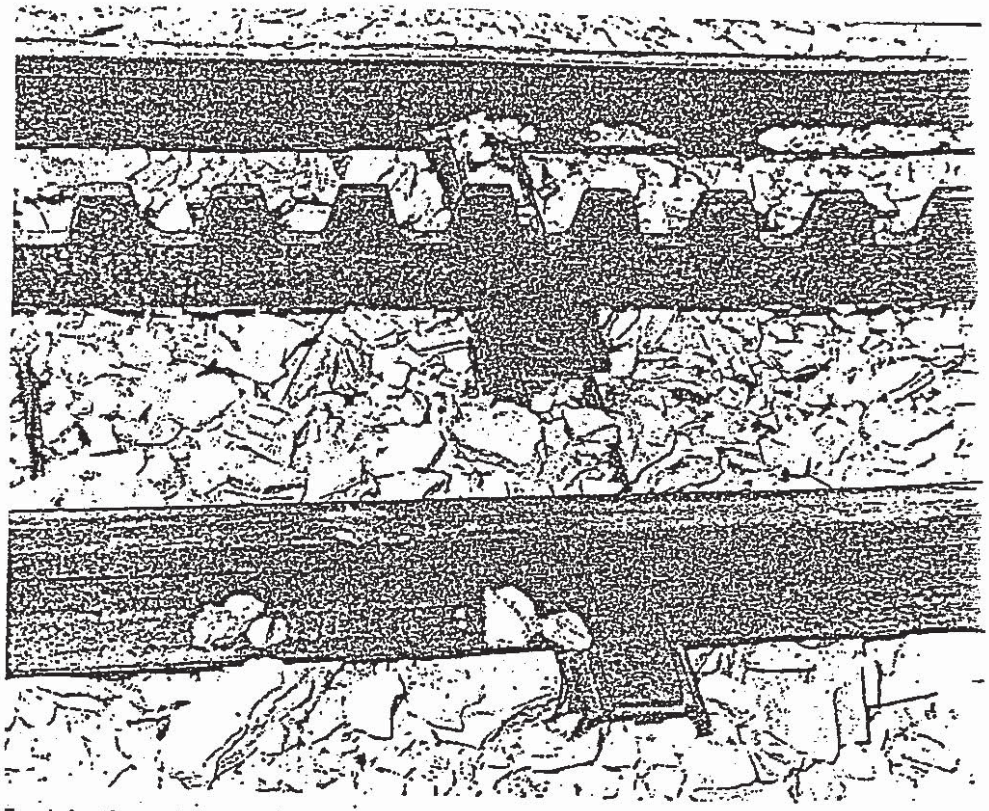


図５－16　アブト式の構造[16]



Track for the rack locomotive. The rack is installed only on gradients.

図５－17　ストルブ式歯レール

（注）英国で用いられている歯レールであるが鋼索鉄道と併用して用いられている。

鉄道方式にはキャスクを一度に何本かまとめて搬入できる利点があり，物流上は有利である。

又，鉄道方式は複線，単線とも可能であり，経済性，安全性の面から決定されることになる。

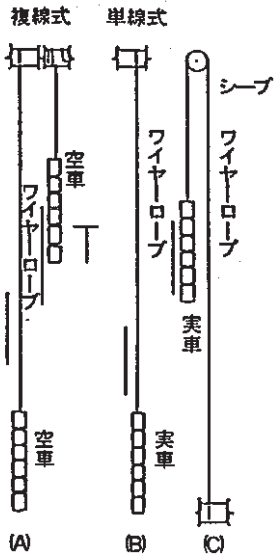
（ハ）トラック牽引システム

この方式はドラムホイストとケーブル（ワイヤロープ）を組み合わせ，レール上でトラックを牽引するものである。

通常の鉱山運搬では図５－18で示すようなシステムがとられている[23]が，巻上距離が増大するとロープの径が大となり重量が増大するため，このようなシステムでの斜坑長さは1000m～1200m以下であることが望ましい。

具体的なものとして米国ネバタ州ユカマウンティンで考案されている[24]ものを図５－19に示すがネバタ州で考えられているシステムは最大

深度が277 m（910 feet）程度であり，（斜坑距離は1414m（4640ft）20%勾配）



（A）複線コース巻

（B）単線コース巻の斜坑頂部に巻上機を設定した場合

（C）単線コース巻の斜坑頂部にシーブを置き斜坑の底部に巻上機を設定した場合

図5－18　複線コース巻および単線コース巻

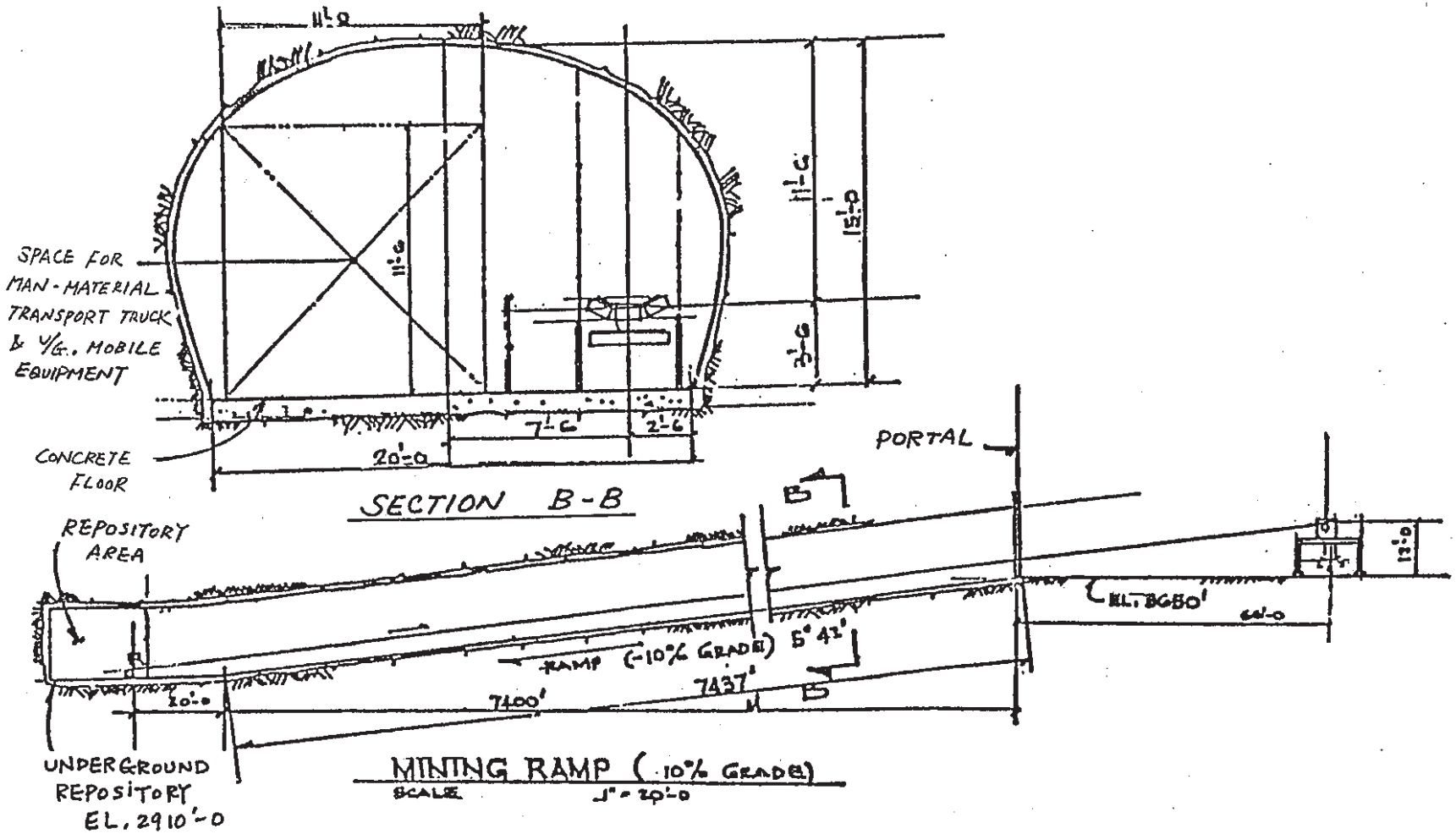


図５－19（1/2）トラック牽引システム

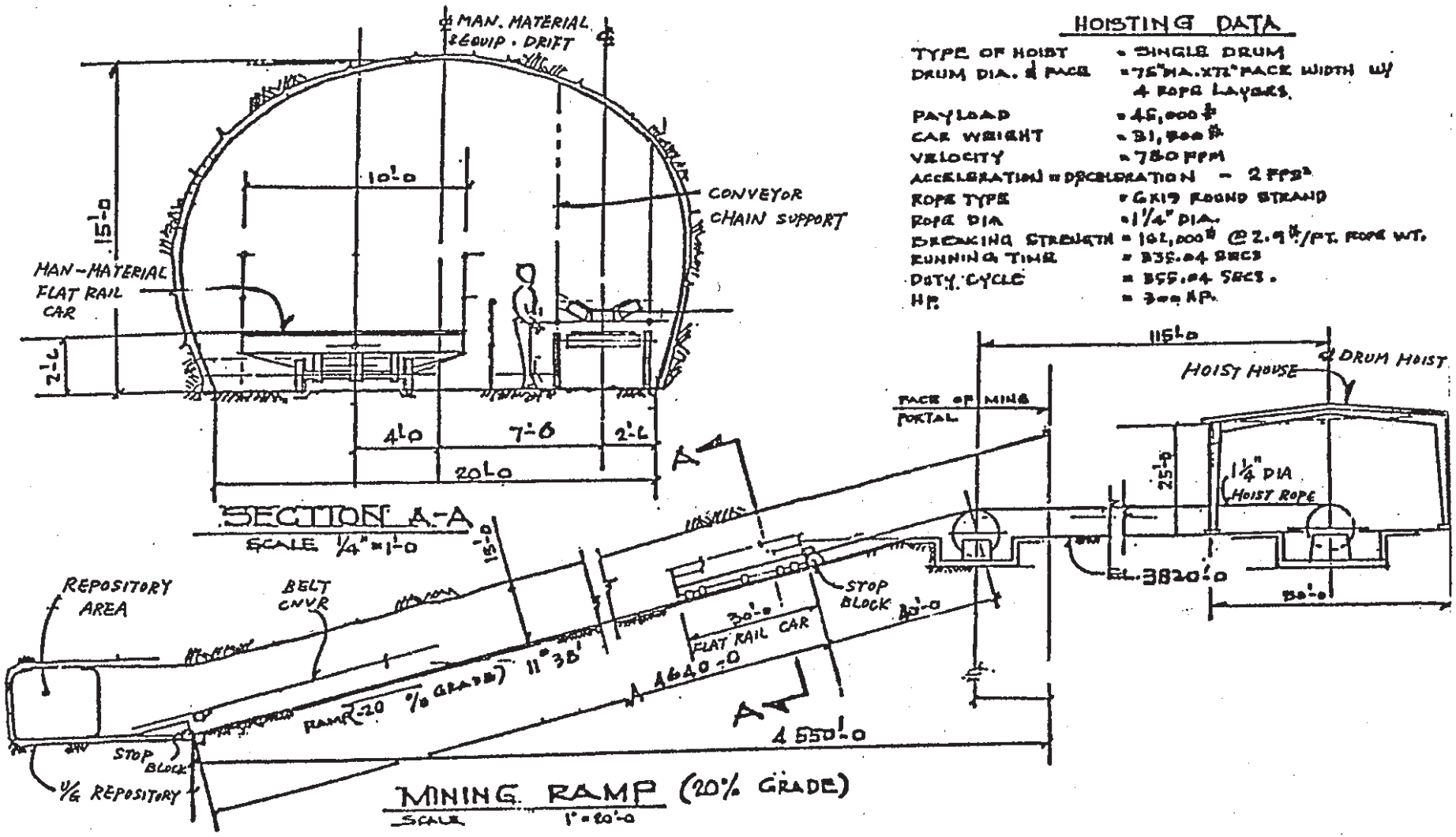
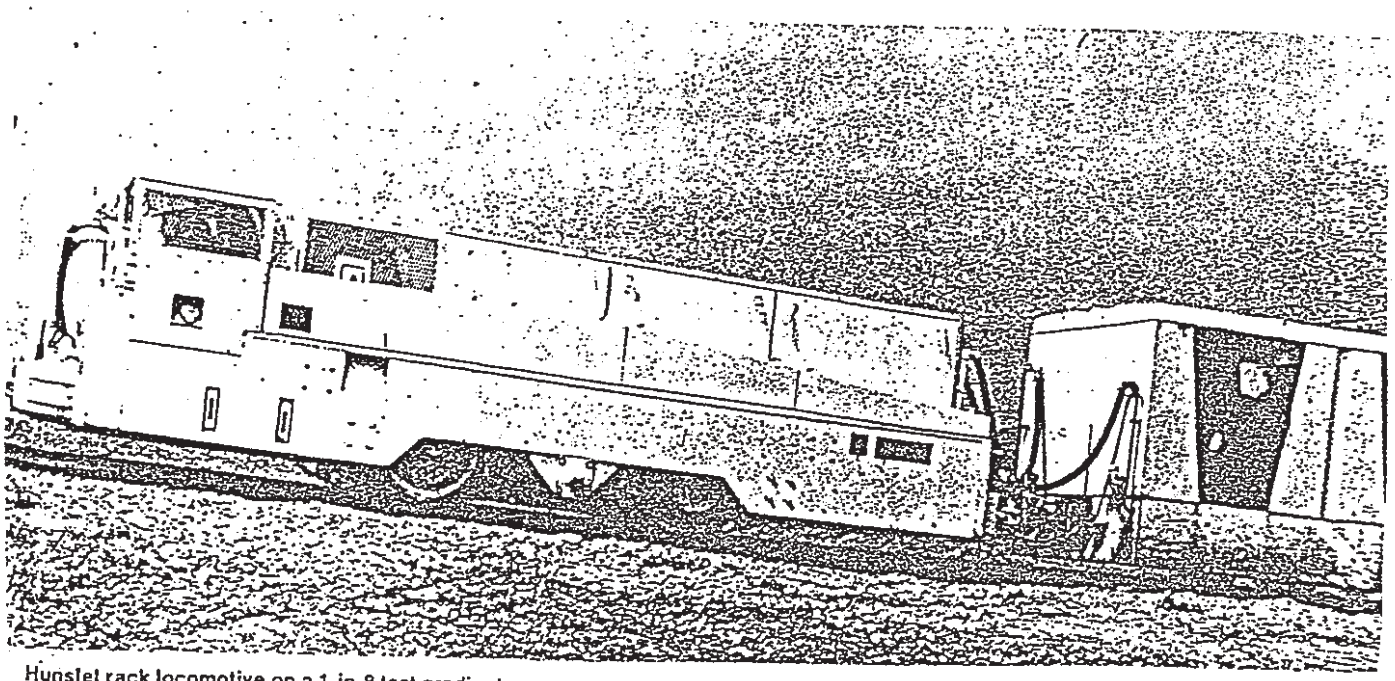


図５－19（2/2）トラック牽引システム

深度が1000mまでおよんだ場合，ドラムホイストの巻上げ能力，ケーブルの強度などが問題となる可能性があり，斜坑を何本か併用してキャスクを積み換える方式も検討する必要がある。

芦別鉱山の例を参考にし，2本の斜坑を併用して1000m深度までのアクセス[(10)]を行なった場合のハンドリング手順は図5－20に示すとおりとなる。No.1斜坑とNo.2斜坑でのつみ込み，つみおろしを同時に行なえる為，スムーズなハンドリングが可能となる。

又，図5－21には本システムにおけるトラックの一例として英国の鉱山で用いられているもの[(16)]を示す。



Hunslet rack locomotive on a 1-in-8 test gradient.

図5－21　トラック牽引システムの車両

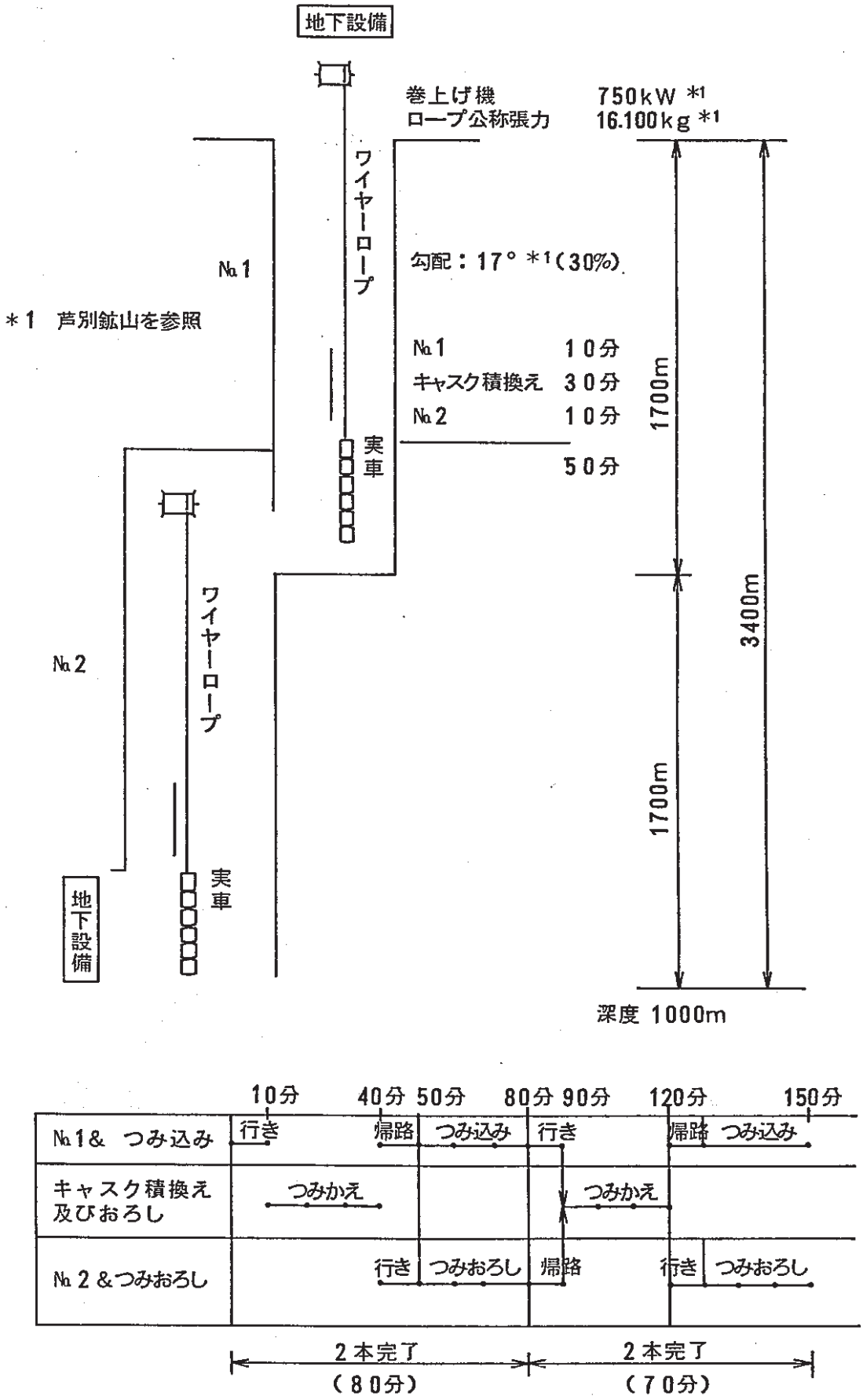


図5－20　トラック牽引システムのハンドリング手順

(3) まとめ

地上・地下搬送システムとして用いられる可能性の高い設備とその概要，今後の開発課題を表５－６に示す。

表5－6　地上・地下搬送設備の種類

搬送形態	搬送設備	設備の概要	開発課題	備考
立坑	エレベータ ― ロープ方式 └ 油圧方式	o 形式は一般建築物用エレベータと同様。 但し，建築基準法／労働衛生規則に適合する設計は将来の開発課題。 鉱山では1000m級のエレベータの実績あり。	o 巻上げ機の容量選定。 o 長耐久のロープの開発。 o 安全装置の開発	o 油圧式は揚程距離が短いという問題がある。
斜坑	(a) トラック方式 ― ダンプトラック，トレーラー └ 電気式車両 ― バッテリー搭載型 └ トロリー式	o 通常のダンプトラックトレーラー，あるいは電気式車両を斜坑搬入に用いる形式。	o エンジン出力，ブレーキシステムなどの面から車種を選定。 o 電気式車両における給電方式の選定。 o 制動システムの開発	o 通常のダンプトラックを使用する場合は，換気に十分な注意を払う必要がある。
	(b) 鉄道方式 ― 粘着式鉄道（一般の線路構造のもの） ― モノレール型 └ 歯レール式鉄道 ― アプト式 └ ストルブ式	o 斜坑に軌道を設置し，その上を動力車にてキャスクを運搬する形式。	o 鉄道形式の選定。 o 制動システムの開発。	o 通常の粘着式鉄道は勾配制限がある為今回の施設には適用できないものと考えられる。
	(c) トラック牽引システム	o ドラムホイストとケーブルを組み合わせレール上でトラックを牽引する方式。	o ドラムホイストの容量選定。 o 制動システムの開発。	o 鉱山では使用実績多数あり。

5.1.3 地下搬送設備

地下施設における搬送設備は，廃棄物の最終的な定置が最も効率的に行いうる様に決定される。廃棄物の定置方式は，処分孔定置方式と坑道定置方式が考えられており，地下搬送設備に関しても，それぞれの定置方式に対応した概念が考えられる。

(1) 処分孔定置方式

処分孔定置方式は，坑道から垂直又は水平に堀削された処分孔（ボアホール）へ廃棄物を挿入し，プラグ等で開口部をふさぐ方式で，坑道を廃棄物運搬車両が連続的に通過できること，及び廃棄物の定置作業と，処分孔閉鎖作業と分離して行うことができるため，定置作業を効率的に実施することが可能である。この方式は，多くの国で検討されている。

図５－22に米コッカマウンテンサイトで検討されている定置方式を示す。処分対象廃棄物である使用済燃料は，地上から斜坑を通じて車両より搬入される。定置に必要な設備は，車両自体に積載されている。ボアホールの形式としては，水平タイプと垂直タイプが考えられている。

米ハンフォードサイトについても，同様の車両による定置が検討されている。これを図５－23に示す。

スウェーデン，ＫＢＳレポート（ＰＬＡＮ82）はガラス固化体の定置に軌道上を走行する運搬用キャスクを採用している。この概念図を図５－24に示す。スウェーデンではその後，政策の変更により処分対象廃棄物を使用済燃料に変更したが，ここにおいてもエレベータにより地上施設から搬入した使用済燃料を車両によりボアホールに定置するものとしている。（図５－25）

処分孔定置方式に求められる廃棄物の搬送手段の要件としては，次が考えられる。

・移動速度が速いこと。

・ハンドリング上の取合回数が少ないこと。

以上を満足する搬送手段として，定置操作に必要な装置類を円蔵した車

両や運搬用車両が適している。

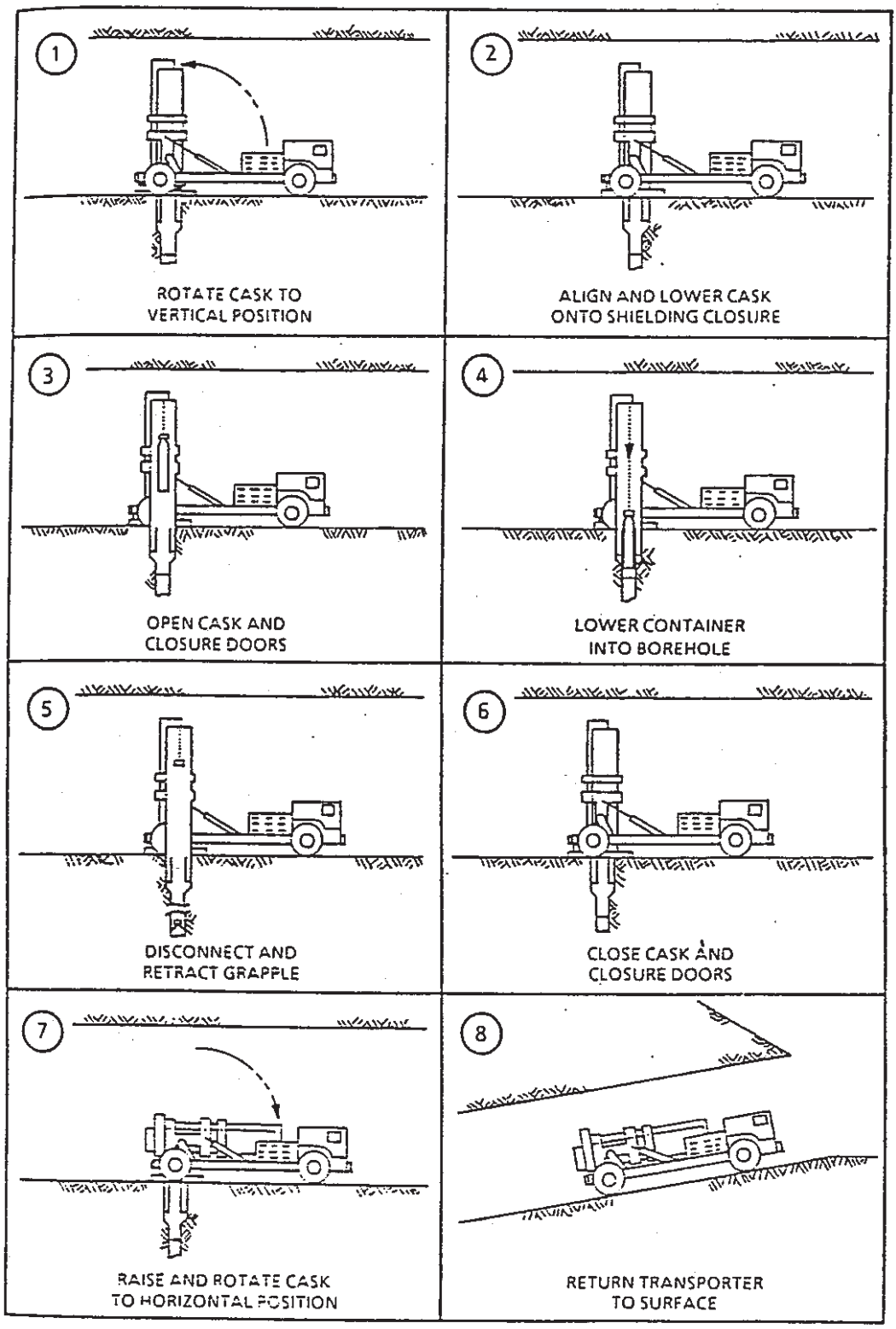


図５－22　ユッカマウンテンの定置方式[2]（垂直）（１／２）

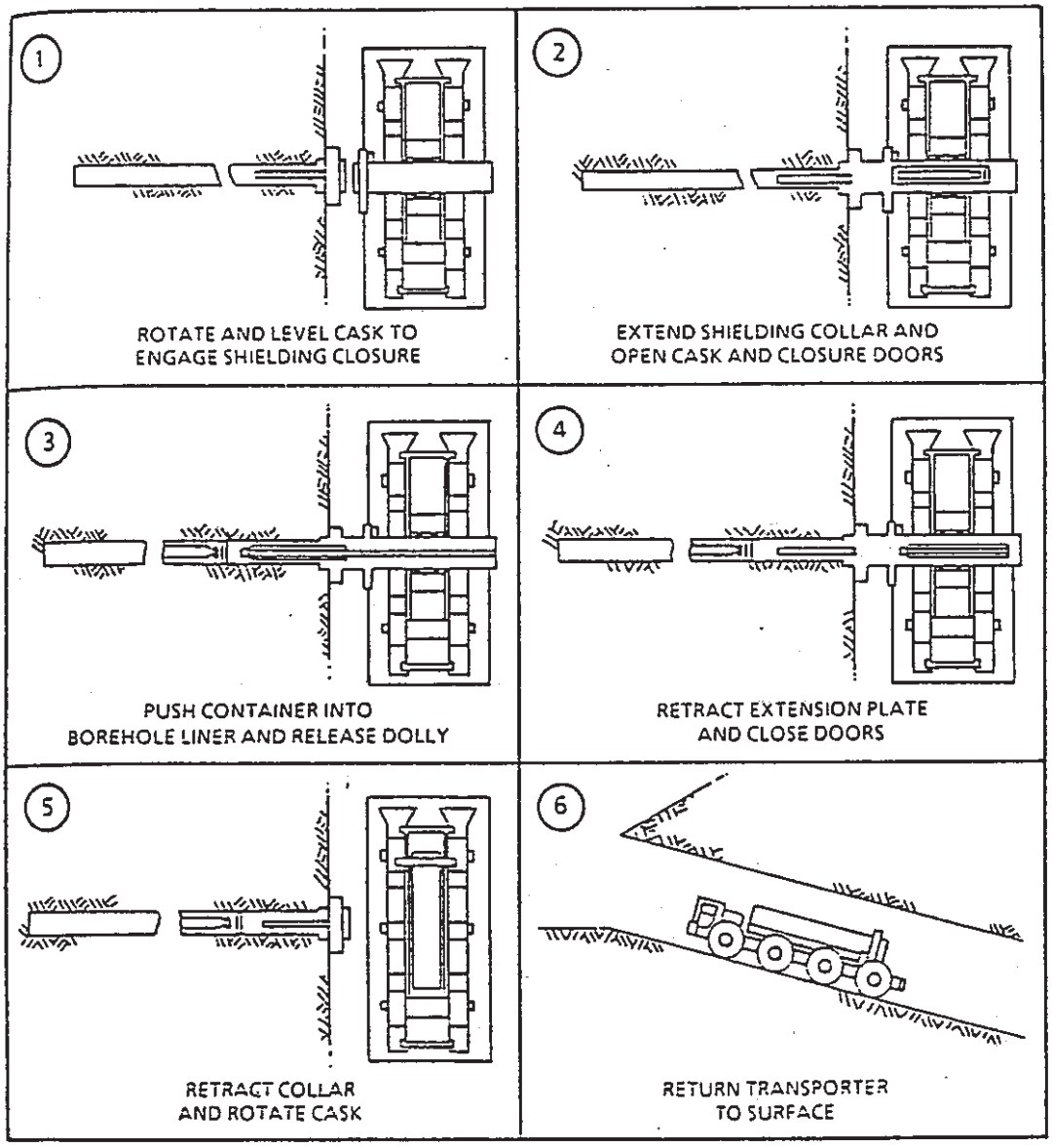
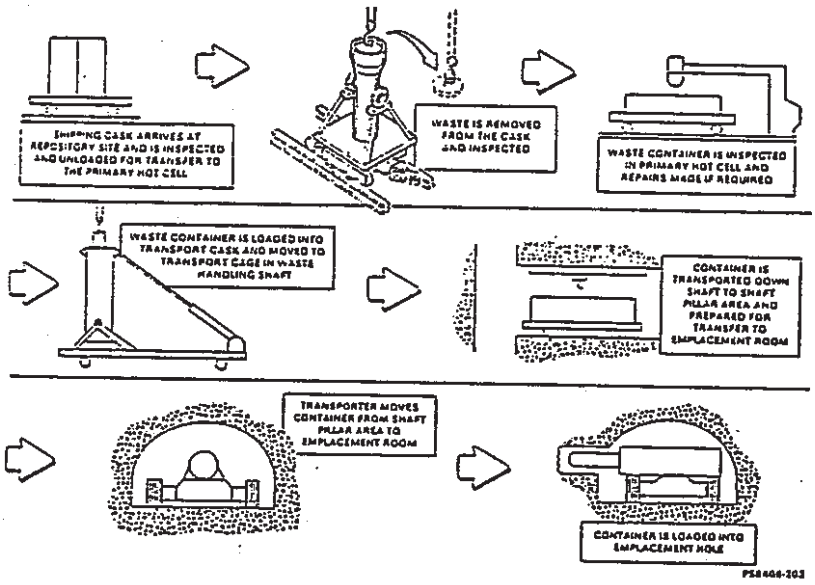


図５－22　ユッカマウンテンの定置方式[2]（水平）（２／２）



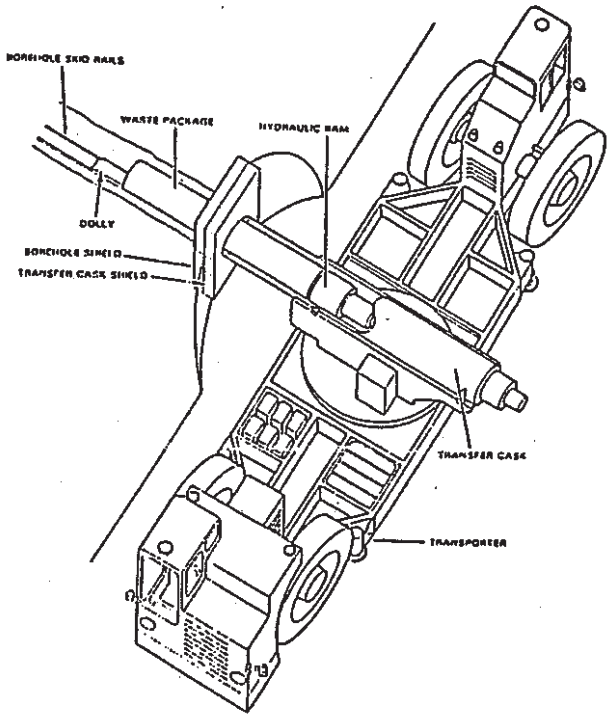


図５－23　ハンフォードのハンドリング装置概念図 (6)

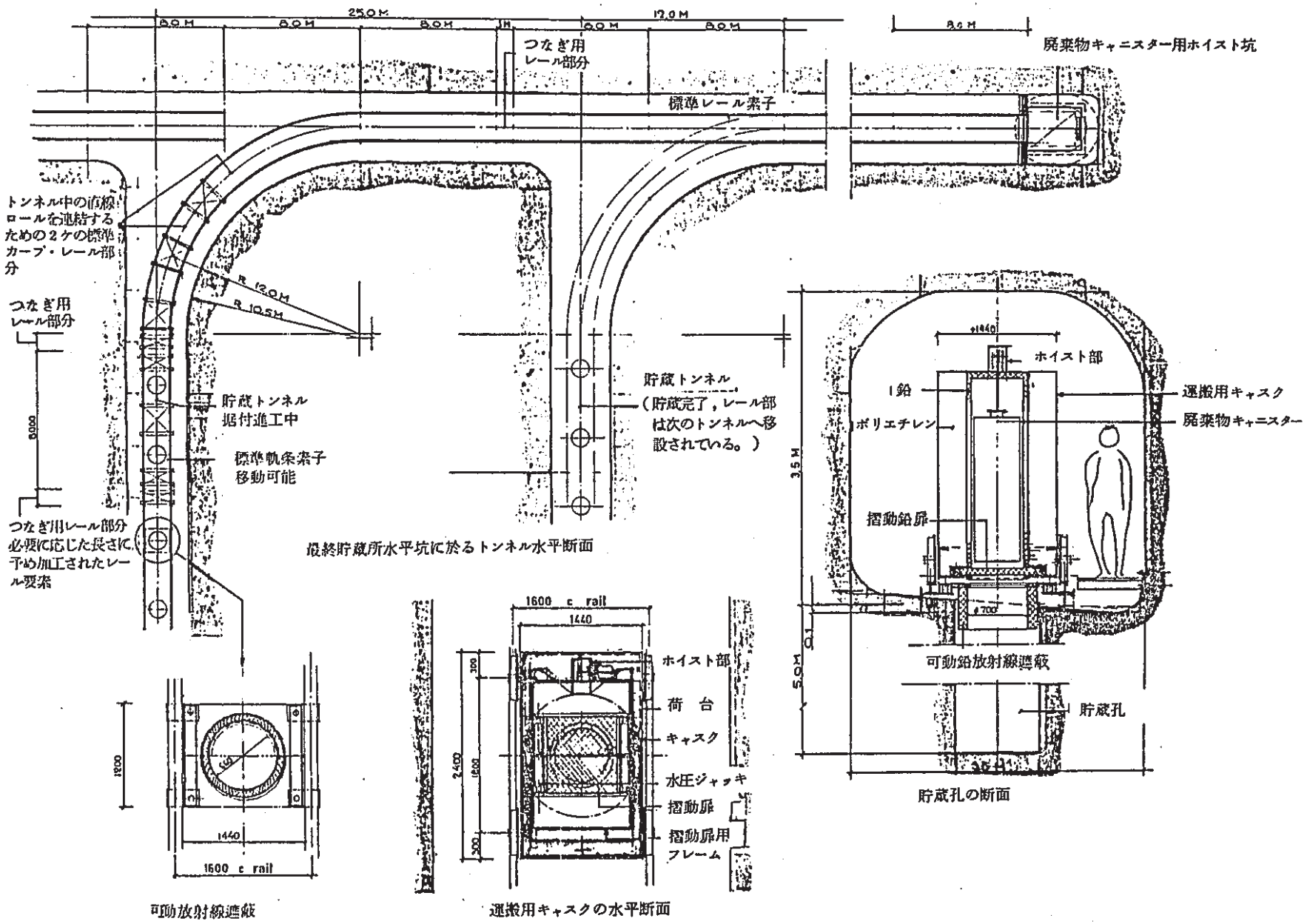


図5－24　最終貯蔵所における廃棄物キャニスター取扱（1／2）

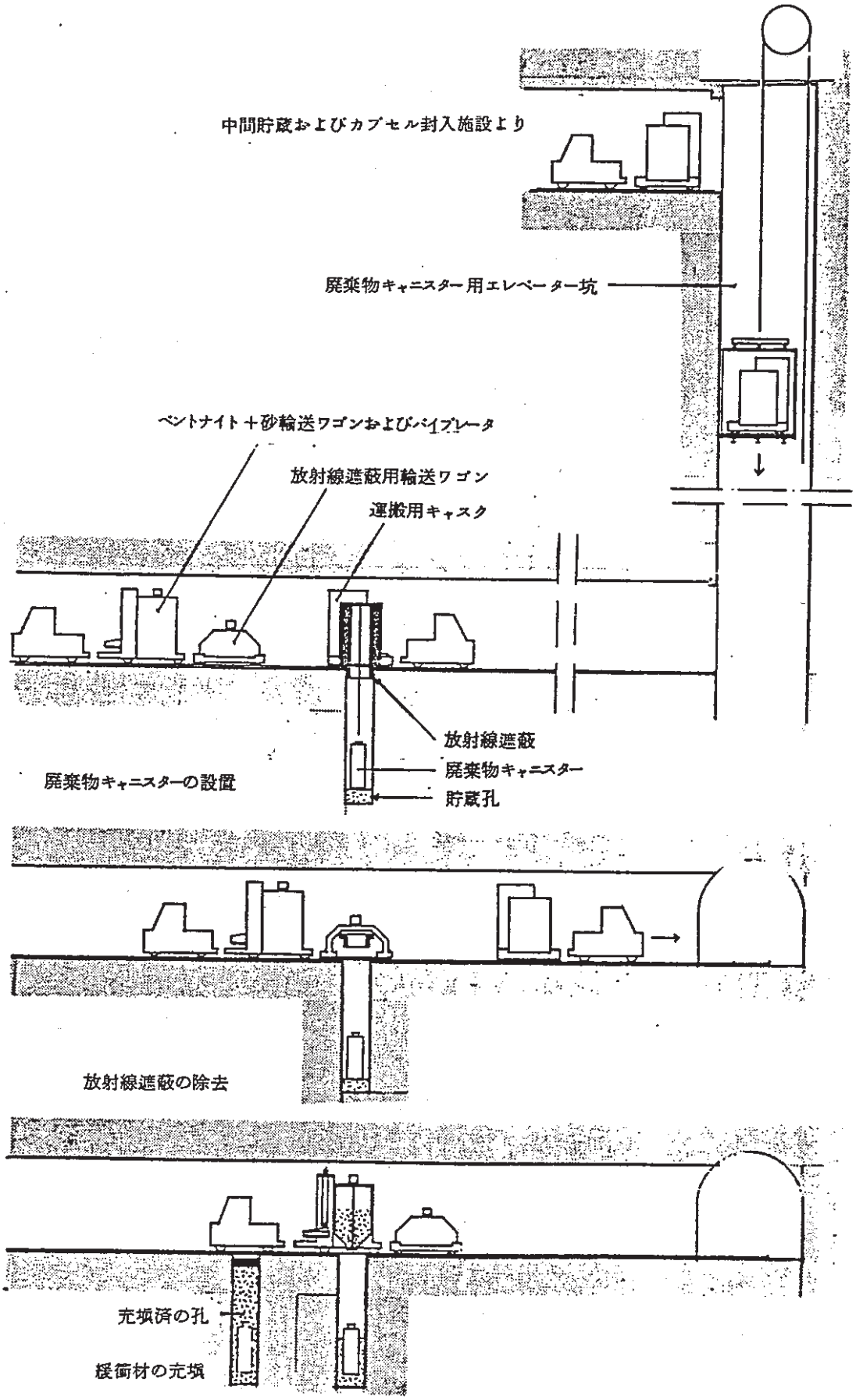
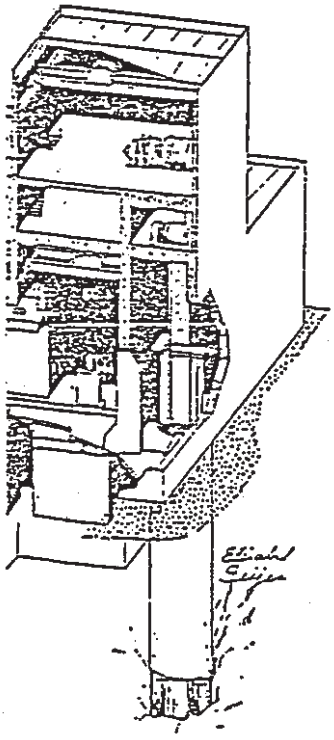


図５－24　最終貯蔵所における廃棄物キャニスター取扱（２／２）



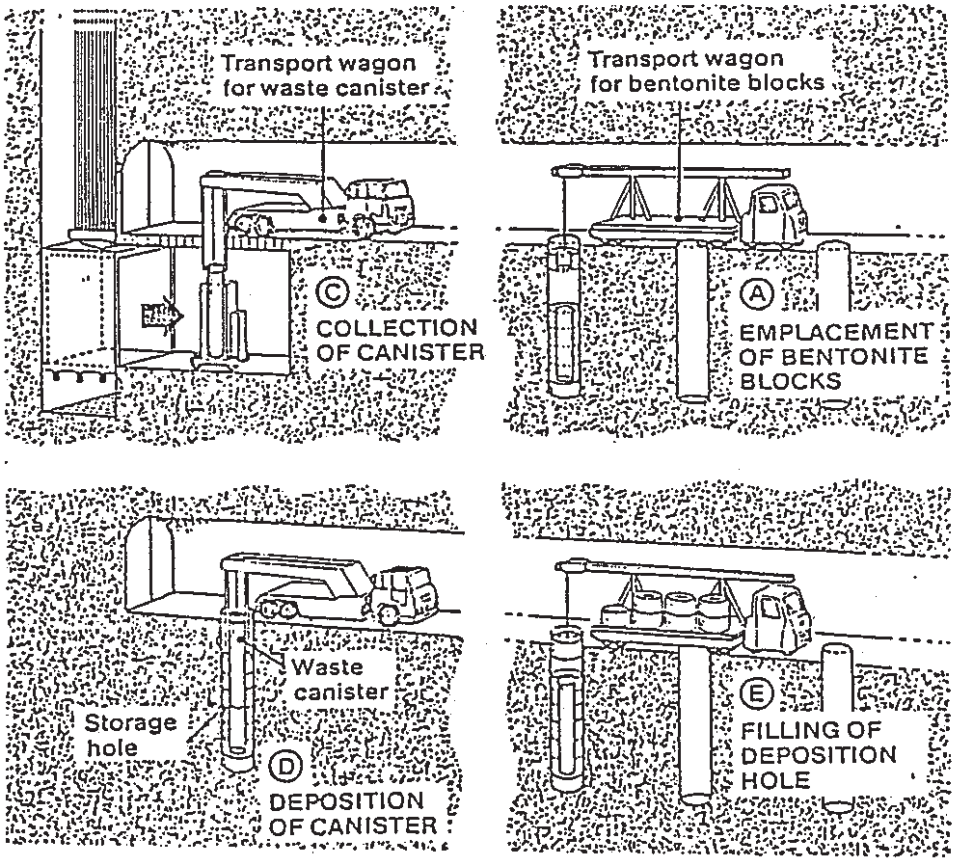


図５－25　ＫＢＳ－３のハンドリング概念図[7]

(2) 坑道定置方式

坑道定置方式は，坑道内に直接廃棄物を定置していく方式で，処分場のバリア性能から見た場合，充填材層を厚くできるという利点がある反面，処分場の操業上の観点からは，定置作業と埋め戻し作業を同時に行う必要があるという欠点がある。

この方式はスイスで採用されている。スイスで検討されている定置方式の概念図を図５－26に示す。スイスの例では，廃棄物は定置と同時に坑道が埋め戻され，再取り出しは考慮されていない。

再取り出し性を考慮した場合は，坑道上部に再取り出し用のクレーン走行可能なスペースを設けることが考えられている。

坑道定置方式に求められる搬送設備の要件は次が考えられる。

・移送設備が坑道径に与える制約を小さくするため，なるべくコンパクトであること。

・ベントナイトの定置と廃棄物の定置が連続してスムーズに行えること。

移送設備をコンパクト化するためには，無人化することが有効であろう。その際には，廃棄物の取り扱いの精度を上げるため，軌道上を走行させる等の対応が必要になるものと考えられる。スイスでは，レール上を移送台車が走行する方式を採用している。

地下施設における搬送設備のまとめを表５－７に示す。

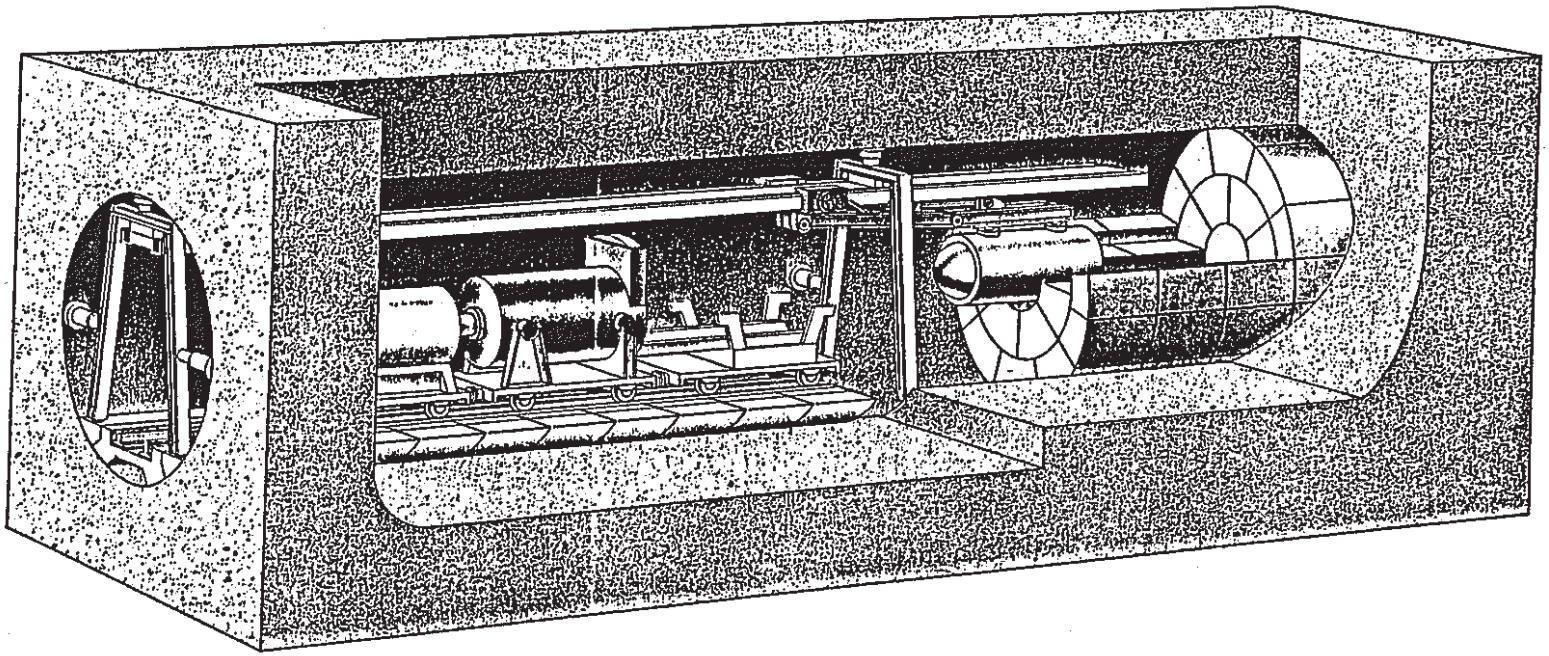
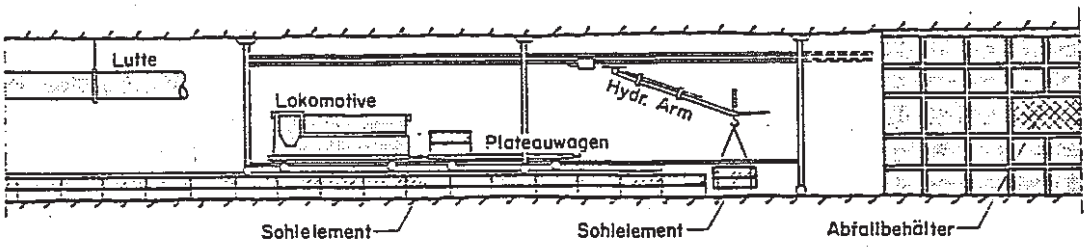
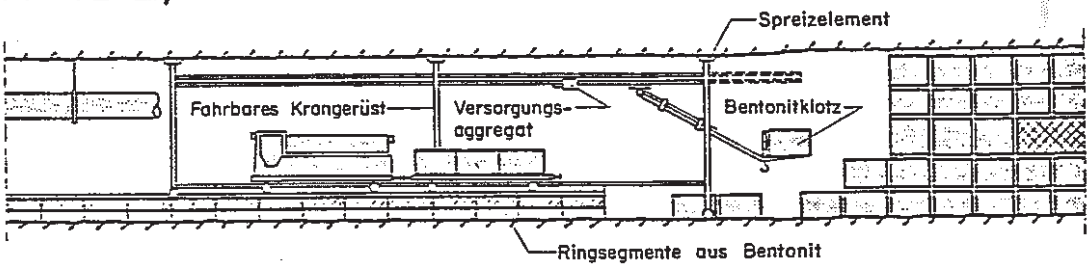


図５－26　坑道定置方式[3]　（１／３）

PHASE I, DEMONTAGE SOHLELEMENT



PHASE II, EINBAU VON BENTONITKLÖTZEN



PHASE III, BEHÄLTERENTLADEN

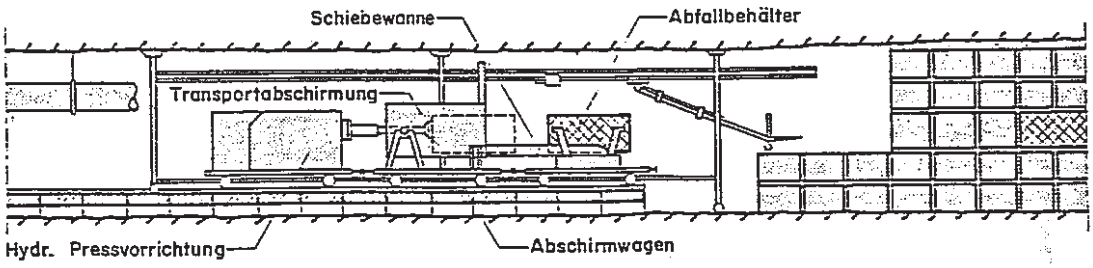


図5－26　坑道定置方式[3]　(2／3)

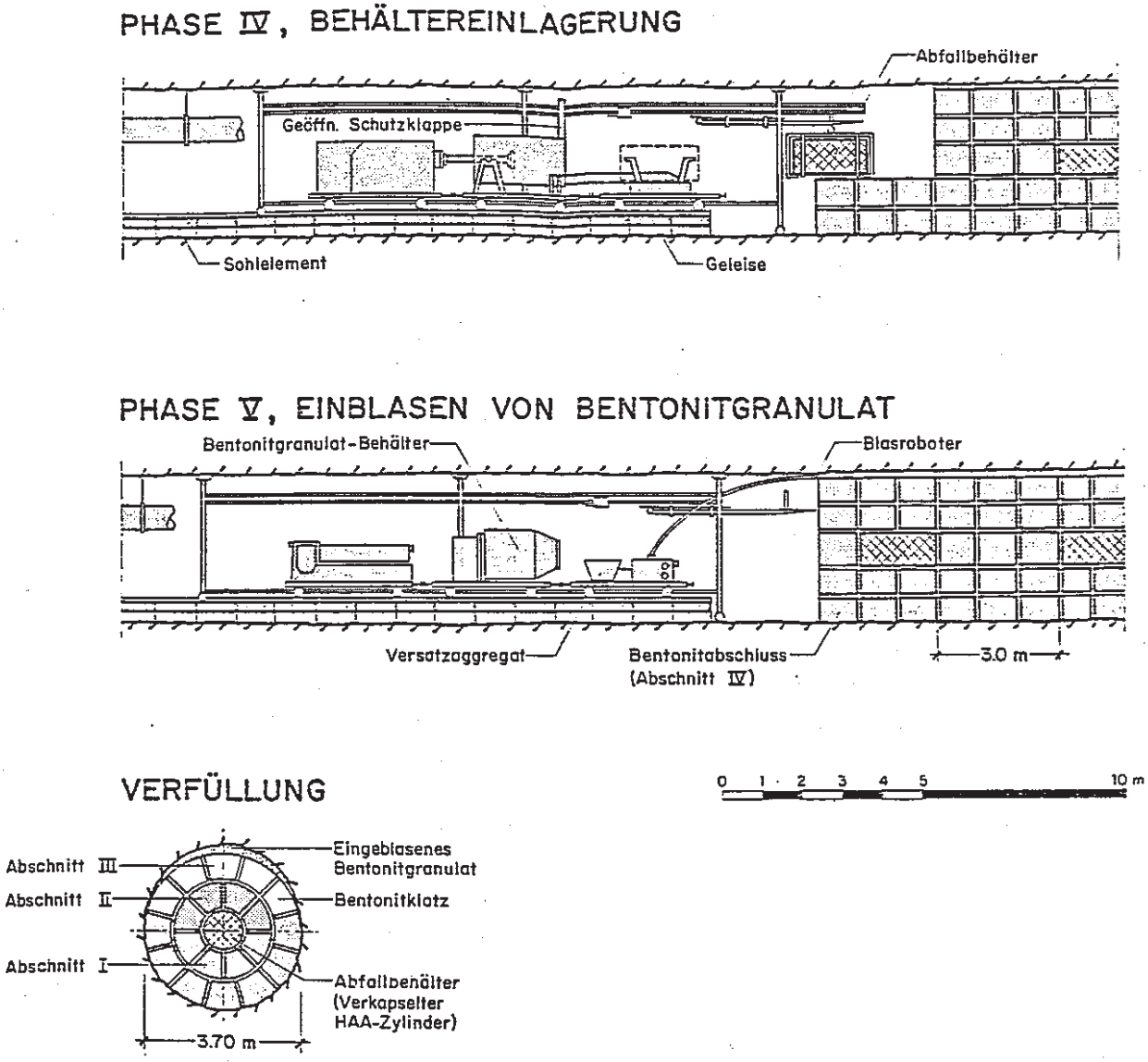


図5－26　坑道定置方式[3]　（3／3）

表５－７　地下施設の搬送設備

搬送設備	設備の概要	開発課題	備考
ボアホール定置方式 ― 無軌道軸（ダレプトラック，トレーラ） ― 軌道車両（電気式車両）	o ボアホール上に台車を停止させ，廃棄物を吊り降ろす。	o 定置に必要な装置類を内蔵した車両	スウェーデン，米ユッカマンウテン等で検討されている。
坑道定置方式 ― 無軌道車両 ― 軌道車両	o 埋め戻し材と廃棄物を同時に坑道内に定置していく。	o 車両のコンパクト化 o 埋め戻し材と廃棄物の定置が連続してスムーズに行えること	ＮＡＧＲＡで検討されている。

5.2　事故事象の抽出

前項で示した処分概念に対して，処分場閉鎖前に発生する可能性のある事故事象と，その原因を表5.8～5.10に示す。

表5－8　地上設備における事故

想定事故	事故の原因
1. キャスク受け入れエリア	
1）キャスク受け入れエリアの輸送車両の衝突	車両の故障，運転ミス
	クレーン，吊り具の故障，運転ミス
2）クレーン吊り上げ時のキャスクの落下	航空機の落下
3）航空機落下	火災の発生
4）火災事故	移送台車の故障，運転ミス
5）移送台車の衝突	
2. 廃棄物の取り出し，検査，オーバーパック，保管エリア	クレーン，吊り具の故障，運転ミス
1）クレーン吊り上げ時の廃棄物の落下	クレーン，吊り具の故障，運転ミス
2）検査設備の誤動作	検査設備の誤動作，運転ミス
3）オーバーパック設備の誤動作	オーバーパック設備の誤動作，運転ミス
4）火災事故	火災の発生
5）航空機の落下	航空機の落下
6）地震による保管ピットの崩壊	地震の発生
7）移送台車の衝突	移送台車の故障，運転ミス

表５－９　地上・地下搬送設備における事故

想　定　事　故	事　故　の　原　因
1.　立　坑	
1）エレベータの落下	ロープの破断，シーブの破壊
2）エレベータの立坑途中でのブロッキング	停電，シーブの破壊
3）エレベータ地上施設の火災事故	火災の発生
4）エレベータ地上施設への航空機落下	航空機の落下
2.　斜　坑	
(a)　トラック方式	
1）車両の暴走	ブレーキの故障
2）車両の停止	エンジントラブル
3）車両の衝突	運転ミス
(b)　鉄道方式	
1）車両の暴走	ブレーキの故障
2）車両の停止	停電，脱線
(c)　トラック牽引システム	
1）車両の暴走	ロープの破断
2）車両の停止	ドラムホイストの故障，停電

表５－10　地下施設における事故

想　定　事　故	事　故　の　原　因
1.　地下搬送エリア	
1）取り合い点での廃棄物の落下，損傷	ハンドリング設備の故障，運転ミス
2）移送車両の衝突	移送台車の故障，運転ミス
3）移送車両の故障	同　上
2.　定置エリア	
1）廃棄物の落下	定置設備の故障，運転ミス
2）処分孔内の廃棄物のブロッキング	同　上
3）定置エリアの出水	自然現象，調査技術の未熟，止水工事不十分，排水設備の故障
4）定置エリアの落盤	地震，調査技術の未熟，支保工事不十分
5）定置エリアの火災	火災の発生

5.3　事故発生後の影響の検討

ここでは，事故の規模をまず明らかにするために，発生後の影響について検討を行う。

5.3.1　地上施設

(1)　キャスク受入エリア

①　ガラス固化体の輸送に用いられるＢ型輸送キャスクは，次の条件下において，所定の基準（放射性物質の漏洩率，線量率，表面汚染密度等）を満足するよう設計される。

- 衝撃試験（９ｍ落下）
- 打撃試験
- 曲げ試験
- 加熱試験（800 ℃の空気中に10分間）
- 浸漬試験

キャスク受入れエリアにおけるクレーンの吊り上げに関しては，吊り上げ高さを９ｍ以下とすることは十分可能である。従って当エリアにおてい，落下によりキャスクが損傷することはないものと考えられる。

②　輸送車両の衝突，移送台車の衝突に関しては速度を制限することによりキャスクの破損を落下事故以下とすることは十分可能である。

③　航空機落下が発生する確率は極めて小さいと考えられるが，航路等の関係で発生確率が無視し得ない場合には，建屋の構造上の強度を上げることで対応することは十分可能である。

④　火災に関しても，防消火設備の設置により影響を軽微にすることができる。

(2)　廃棄物の取り出し，検査，オーバーパック，保管エリア

①　ガラス固化体の落下に関しては，ＮＡＧＲＡにおいて検討が行われている。

これによると，可能最大高さ7.7 ｍから落下した場合，10μより小さな浮遊性粒子が発生する可能性がある。これが換気系により環境に放出さ

れるとすると，換気系フィルタのＤＦを200 としたとき，放出量は0.00018 Ｃｉと評価され，環境安全上問題ないものと評価されている。

② ガラス固化体落下時のガラス微粉の発生率は，Smith and Rossによっても実験的に求められている。10μｍ以下の粒子の発生率と衝撃速度の関係を図５－27に示す。15ｍの自由落下を想定した場合，10μｍ以下の微粉発生率は約２×10^{-3}ｗｔ％となる。COGEMAガラス固化体を想定した場合，これは約４Ｃｉであり，換気系のフィルタを考慮すれば建屋外への放出量は許容範囲内とすることは可能である。

③ 以上からガラス固化体の落下事故は，安全上問題となるものではないものと考えられる。

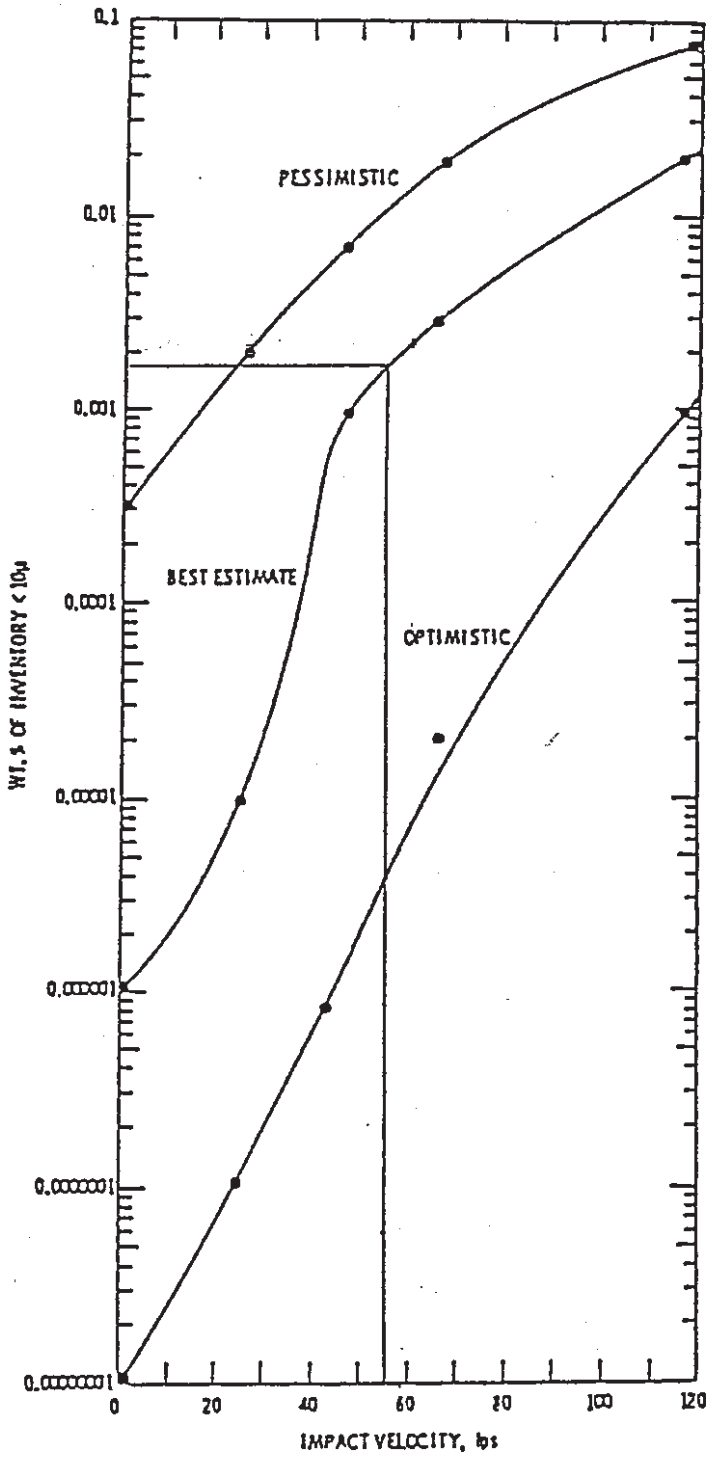


図５－27　衝突速度と粒子の発生率（＜10μｍ）

④　検査設備の誤動作に関しては，検査内容から考えて落下以上の損傷をガラス固化体に与えることはないものと考えられる。

⑤　オーバーパック設備の誤動作に関しては，鉛鋳込み時や，オーバーパック溶接時の誤動作によりガラス固化体が損傷する可能性があるが，環境への放射能放出量の観点からは，落下事故を上回ることはないものと想定される。

⑥　火災事故に関しては，ガラス固化体は不燃物であり，防火対策を講じることにより，万一火災が発生してもその影響を軽微にすることができる。

⑦　航空機落下に関しては，前項(1)と同様，建屋設計で対処可能である。

⑧　地震による保管ピットの崩壊に関しては，安全設計上の重要度に応じた設計地震力に対し，十分安全側の設計を行うことで対処可能である。

⑨　移送台車の衝突に関しては，速度を制限することにより，ガラス固化体の破損の程度を落下事故以下とすることは十分可能である。

以上から，地上施設においては，一般公衆に対して著しい放射線被ばくのリスクを与えるような事故は発生しないものと判断される。

5.3.2 地上・地下搬送設備

(1) 立坑方式

① エレベータの落下事故に関して，最悪のシナリオとして1000mの落下事故を想定する。

エレベータはガイドレールが設けられること，及びコリオリの力が働くことから完全な自由落下とはならないが，ここでは安全側に自由落下を想定する。

図5－28にガラス固化体の落下試験から外押した衝突速度をと相当する落下高さの関係を示す。1000m高さの自由落下の衝突速度は140 m／sと想定される。

また，図5－29に衝突速度とガラス固化体の微粉（10μ以下）の発生割合を示す。微粉の発生率は1％以下と見積られる。従ってこのとき環境に放出される放射能は換気約2000Ｃｉと見積られる。これは，原子力発電所の仮想事故（冷却材喪失事故：よう素放出量約2400Ｃｉ，希ガス放出量約6.3×10^5 Ｃｉ）に相当する規模である。

従って立地上で十分配慮されれば，決して受け入れられないシナリオではない。

尚，非常時においては，立坑内の換気を停止し，放射能を限定これた区域内に閉じ込める換気システムと放射能除去システムを準備することにより上記シナリオを排除することも考えられる。これに関しては，処分場全体を含めた換気設計の検討が必要である。

② エレベータのブロッキングにより放射能放出が起こることはない。復旧方法につていは，次項で検討する。

③ レエベータ地上施設の火災事故については，防消火設備の設置により対処可能である。

④ エレベータ地上施設の航空機落下事故に関しては，建屋の構造上の強度を上げることで対処可能である。

(2) 斜坑方式

① 斜坑内で想定される事故として，車両のブレーキ故障，車両のエンジントラブル，車両の衝突が考えられ，いづれにおいても放射能の放出シナリオとしては，

輸送車両の破壊→オーバーパックの破壊→ガラス固化体の破壊
→換気系を通じての放出

である。衝突速度は，設備設計（斜度，直線距離，車両タイプ等）が定まらないと算出することはできないが，エレベータの自由落下速度を上回ることはない。従って事故の影響評価上は，立坑よりは斜坑の方が軽微であると考えられる。

また，斜坑についても，立坑と同様に非常時においては斜坑内の換気を停止し，放射能を斜坑内に閉じ込み処理するシステムとすることも考えられる。この場合，車両を有人運転とすれば，換気停止による生命の危険があるので，無人運転とするのが望ましい。

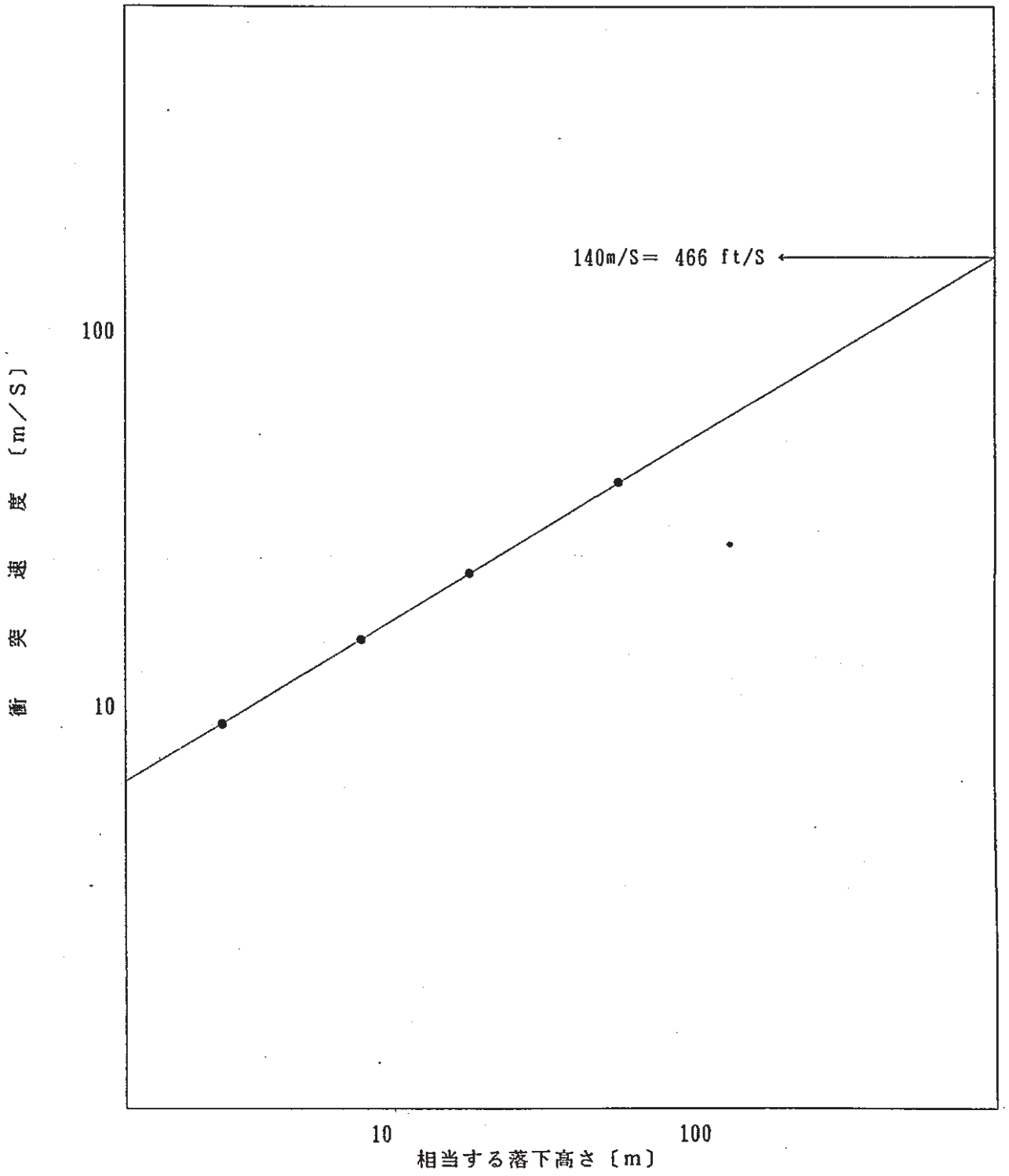


図５－28　衝突速度と落下高さ[4]

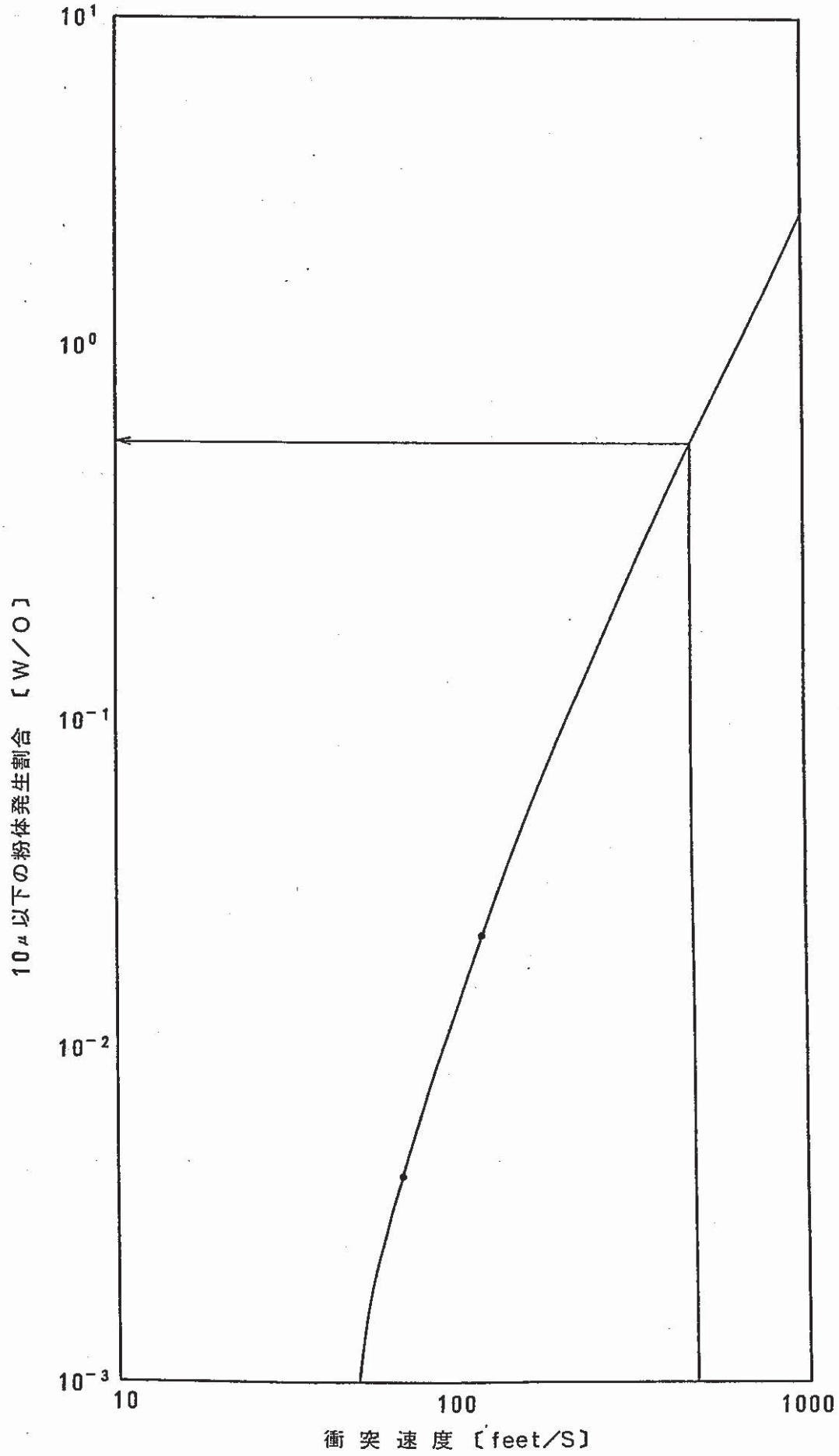


図5－29　ガラス固化体の微紛発生率 (4)

5.3.3 地下施設

(1) 地下搬送エリア

地下搬送エリアにおける事故の種類は，落下等によりガラス固化体に物理的な損傷を与えるものである。

しかしながら，地下においてはガラス固化体の吊り上げ高さも自ずと制限されること，ガラス固化体はしゃへいを施した多重容器で搬送すること，搬送速度を制限することから(1)地上施設で検討した落下事故以上の損傷をガラス固化体が被ることはないものと考えられる。

(2) 定置エリア

① 廃棄物の落下，及び処分孔内の廃棄物のブロッキングに関しては，前項同様，安全上問題となることはないものと考えられる。

② 定置エリアの出水に関しては，廃棄物がなんらかの損傷を被るわけではないので，放射能の流出はないことから，安全上問題はない。

③ 定置エリアの落盤に関しては，オーバーパックに封入されたガラス固化体が損傷して放射能が流出する可能性は小さいものと考えられ，また仮に流出してもただちに環境へ流出することは考えられないので，安全上の問題はない。

④ 火災に関しては防消火設備の設置により影響を軽微にすることができる。

以上から，地下施設においては，一般公衆に対して著しい放射線被ばくのリスクを与えるような事故は発生しないものと判断される。

尚，本項では3.3.2事故事象の抽出で想定したシナリオは，決定論的に発生するものとして検討を行った。

しかしながら，これらのシナリオは次のような条件が満たされれば，排除することができる。

① 安全系統が多重化されており，単一故障では事故発生に到らない場合

② 静的機器にあって，単一故障を仮定したときに所定の安全機能が達成できるように設計されている場合

③　故障が安全上支障がない期間内に除去若しくは修復ができる場合

④　故障の確率が十分低い場合

これらのことを説明する為には，具体的な設計の進捗を待たねばならない。

尚，参考迄に米国における事故発生確率の評価例を表５－11に示す。

事故発生後の影響のまとめを表５－12に示す。

表５－11　事故発生確率の評価例[5]

シナリオ	発生確率 (1／year)	内容
1. 自然現象		
・洪水	10^{-2}	Fortymile Washにおける洪水の確率
・地震	$<1.3\times10^{-3}$	ネバダテストサイト(NTS) における地震の確率
・竜巻	$<9.1\times10^{-11}$	竜巻の発生確率×放射能放出に到る地上施設の破壊が起こる確率
2. 外部人為事象		
・核実験	$<1\times10^{-3}$	職員避難の際に運転ミスの発生する確率
・航空機落下	$<2.0\times10^{-10}$	航空機が落下する確率
3. 運転事故		
・ホットセル内の燃料落下	$<1\times10^{-1}$	ＤＯＥ (1979) による調査結果
・積み込みエリアでの輸送火災事故	$<1.0\times10^{-7}$	事故が発生し，輸送キャスクが破損し放射能が放出される確率
・斜坑での輸送・火災事故	$<1.0\times10^{-7}$	時速５km／ｈ，複数のブレーキシステムを決定，斜坑における事故の発生確率は，地上の重大事故の発生確率を上回ることはないものとする。
・処分孔での輸送・火災事故	$<1.0\times10^{-7}$	処分孔での事故の発生確率は，地上の重大事故の発生確率を上回ることはないものとする。

表５－12　事故発生後の影響

施設		影響の大きな事故	事故の程度
地上施設		廃棄物落下事故	・設計により，10ｍ程度以下の落下高さにすることができる。 ・環境に与える影響を許容しうる範囲におさえることは可能（放出量の試算値は約４Ｃｉ）
地上・地下搬送設備	立坑	エレベータ落下事故	多大な放射能が環境に放出される危険性がある。（放出量の試算値は約2000Ｃｉ）
	斜坑	車両の暴走事故	上記よりは軽微と予想されるものの，尚放射能が放出される危険性がある。
地下施設		廃棄物の落下事故	・設計により，10ｍ程度以下の落下高さにすることができる。 ・環境に与える影響を許容しうる範囲におさえることは可能。

5.4 事故発生防止，拡大防止対策の検討

・ 発生防止体格に関する技術的，経済的問題

・ 発生した場合の拡大防止に関する技術的，経済的問題に関して以下に検討する。

5.4.1 地上施設

高い放射能を有する物のハンドリングは，使用済燃料の輸送として産業規模の実績がある。またガラス固化体の輸送・貯蔵に関しては，国内においても返還廃棄物の受け入れに向けて設計が進められている。これらの実績から，地上施設における事故発生は，現状の技術により十分な防止可能と考えられる。

地上の施設内において事故が発生した場合においては，

・ 当該エリアの隔離

・ 当該エリアの除染

・ 設備の再設置

が必要である。

5.4.2 地上・地下搬送設備

(1) 立 坑

表5－7で示された事故事象のうち，エレベータ地上設備の火災事故，及びエレベータ地上設備への航空機落下事故はともに5.3.1で記載したとおり防消火設備の設置，建屋の構造上の強度を上げるなどの処置により影響を軽微にすることが可能である。

従って本節では，エレベータの落下事故及びエレベータの立坑途中での異常停止に対する技術的対策について考察する。

(a) エレベータの落下事故

エレベータの落下事故の原因としてはワイヤーロープの破断あるいは，綱車の破壊といったものが考えられる。

これらの防止処置としては，保守点検で対処するという考え方が可能である。

すなわち定期的にワイヤーロープの摩耗，欠陥綱車の割れ等を検査し，欠陥を発見するか，あるいはある程度の期間でそれらを取り換えることで防止処置とすることができる。この際1000m以上ものワイヤーロープの検査・交換はある程度の期間と労力が必要となるが可能である。

現在，国内で一般建築物用に使用されているタイプのエレベータではこれらの定期検査の実施等によりエレベータの落下事故は報告されていない。

又，ワイヤーロープを何本も取りつけロープの破断に対する安全率を極力上げる対策もとり得る。(21)

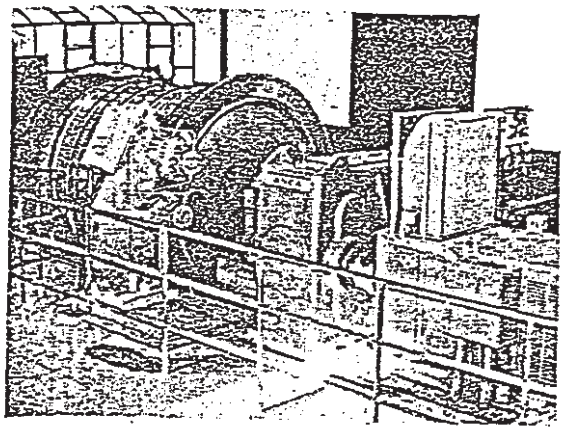
上記のような種々の対策によりエレベータの落下に対する防止は可能であると考えられるが，何らかの原因で万一ワイヤーロープが切断された場合のことを想定し，一般建築物用のエレベータに設置されているような落下防止装置を保守点検で対処するという考え方が可能である。

すなわち定期的にワイヤーロープの摩耗，欠陥綱車の割れ等を検査し，欠陥を発見するか，あるいはある程度の期間でそれらを取り換えることで防止処置とすることができる。この際1000m以上ものワイヤーロープの検査・交換はある程度の期間と労力が必要とはなるが可能である。

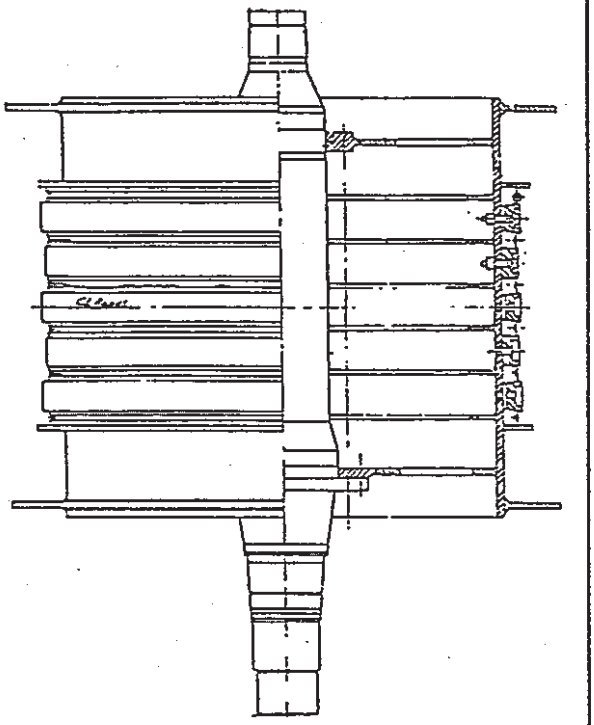
現在，国内で一般建築物用に使用されているタイプのエレベータではこれらの定期検査の実施等によりエレベータの落下事故は報告されていない。

又，ワイヤーロープを何本も取りつけロープの破断に対する安全率を極力上げる対策もとり得る。（図５－30参照）

上記のような種々の対策によりエレベータの落下に対する防止は可能であると考えられるが，何らかの原因で万一ワイヤーロープが切断された場合のことを想定し，一般建築物用のエレベータに設置されているような落下防止装置を設置しておくことも必要となる。



Gear-box-driven mine hoist.



Mechanical design of pulley.

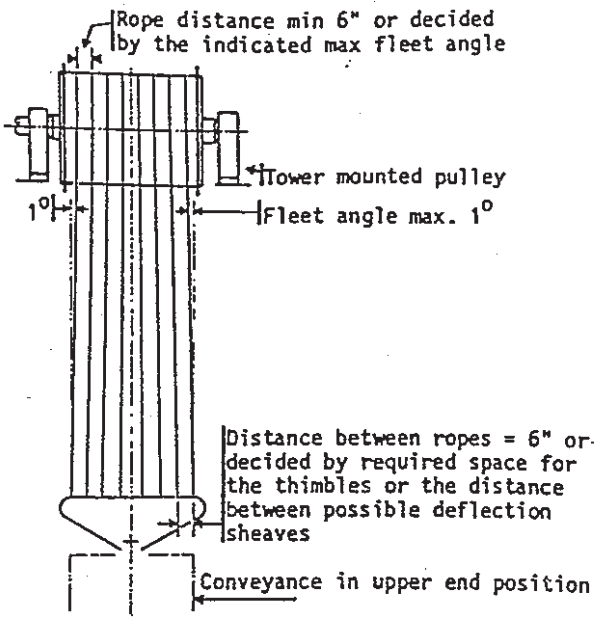


図５－30　カナダで用いられている６本綱ケーペ式巻上装置

一般建築物用のエレベータに取りつけられている落下防止装置はエレベータが一定の速度以上となった場合，制動装置がその速度を検知し，制動装置がガイドレールにくっつく形でエレベータを止めるものである。

但し，本施設用エレベータは積載荷重が大きい為，現在一般建築物用エレベータで使用されているような制動装置をさらに改良していく必要がある。

又，一般建築物エレベータや鉱山用立坑でも用いられている立坑底の緩衝器の設置についても，エレベータ落下事故による公衆への被ばくに対する影響を最小にするという観点から考慮しなければならい対策である。

一般建築物用のエレベータに取りつけられている落下防止装置には，エレベータが一定の速度以上となった場合，制動装置がその速度を検知しガイドレールを把握することによりかごを停止させる非常止め装置や終端階に接近したときに強制適に減速させ，終端階を著しく行過ぎないうちに停止させる装置などがある。(9)（図５－31参照）

但し，本施設用エレベータは積載荷重が大きいことや揚程距離が長いことなどから，現在一般建築物用エレベータで使用されている安全装置をさらに改良していく必要がある。

又，一般建築物エレベータや鉱山用立坑でも用いられている立坑底の緩衝器の設置についても，エレベータ落下事故による公衆への被ばくのリスクを最小にするという観点から考慮しなければならい対策である。

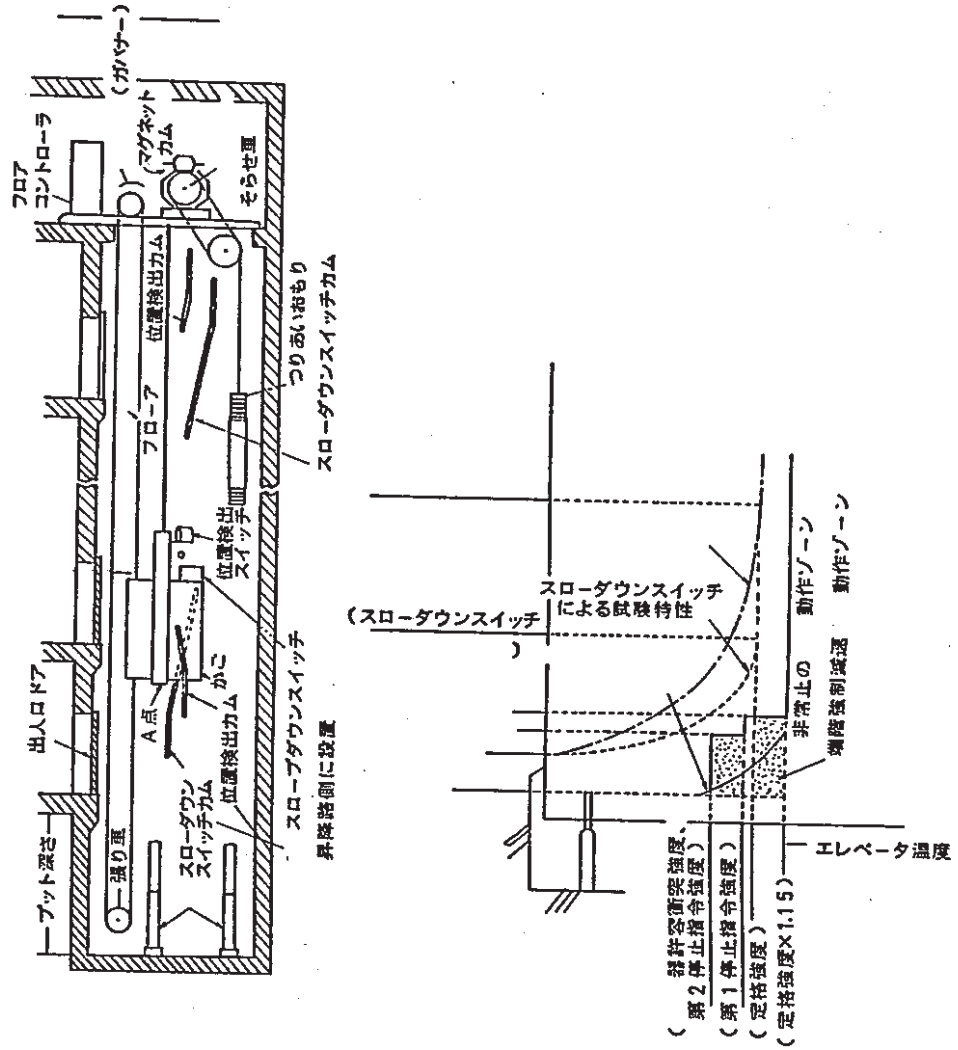


図５－31　端階強制減速装置説明図

(b) 立坑途中でのエレベータの異常停止

これは巻上げ機の故障，誤操作により発生する可能性があるが一般公衆に影響を与えるような大きな事故とはならない。

一般建築物用エレベータであれば，何らかの故障によりエレベータが停止階以外の場所で止まった場合，最寄りの階まで手動でエレベータを下降させ，人間の救出を行う。

しかしながら，本施設では人間は原則として乗ることはなく，キャスクだけを移送することになっている為，故障箇所の復旧を待てば特に問題はない。

但し，キャスク自体を宙づりのまま放置しておくことが故障箇所を修理するうえで支障がある場合も考えられる為，手動にて立坑最深度まで移動できる機能を巻上げ機に持たせておくことが必要となる。

又，エレベータの異常停止の原因としては電源喪失事故も考えられるが，これに対しては非常用発電機の設置などの措置を行うことにより対処可能である。

(2) 斜　坑

斜坑に対しては種々の搬送形態が考えられる為，表５－７に示された事故事象に対しトラック方式，鉄道方式及びトラック牽引システムに分けてそれぞれの事故防止対策を考察する。

(a) トラック方式 (18, 19)

トラック方式を採用した場合に想定される事故としては，ブレーキ故障による暴走，車両の異常停止及び車両の衝突等が考えられる。

（イ）ブレーキ故障による暴走

斜坑における事故として最も懸念される事故の中の１つであり，何らかの対策を講じておく必要がある。

車両の暴走に対する防止処置の一つの案としては退避線を設けておくことが考えられる。

退避線は，逆勾配に枝坑を掘り，路面を砂層にするなどの処置を施

し最終端に緩衝器を設置しておく。（但し，この防止策は有人でトラックを運転する場合に限られる。この概念図を図５－32に示す。）

又，車両が暴走を起こすのはブレーキの故障によるものである為，単一のブレーキではなく多量のブレーキシステムを車両に搭載することにより事故に対する安全率を大幅に上げることが可能である。

他の案として，車両の速度を検知する測定器を斜坑の側壁に設置し，車両が一定の速度以上になると図５－33に示すような暴走防止装置が飛び出すようなシステムを考えておけば，基本的には車両の暴走は止められるものと考えられる。

しかしながら，この場合車両の最大速度をどのように設定するか，暴走防止装置で止まったときの車両の衝撃はどうなるか，暴走防止装置の強度をどの程度にするか，あるいは速度検知器と暴走防止装置とを連動させるシステムの構築などこれから開発すべき問題が多くあり，今後の実験・研究課題となる。

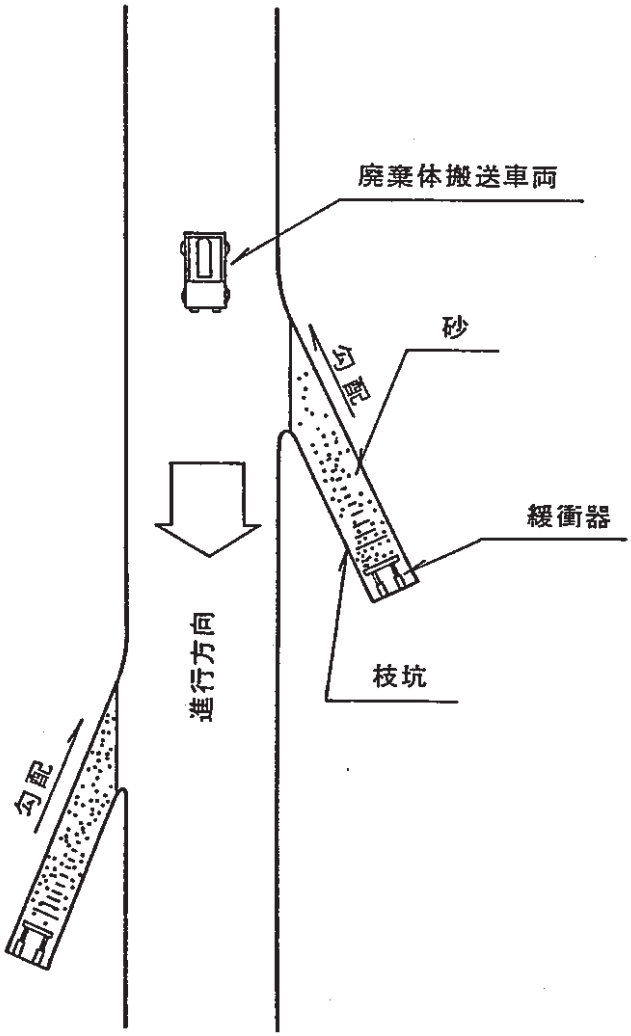


図5－32　斜坑内退避線

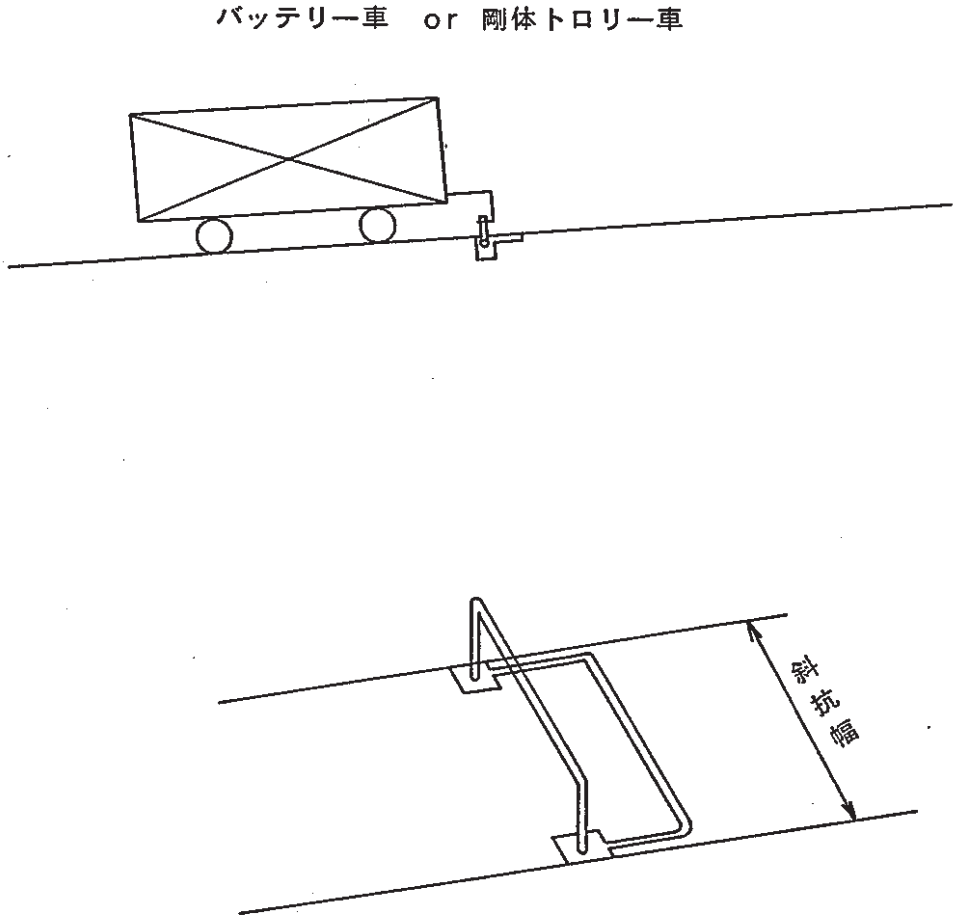


図5—33　暴走防止装置

（ロ）斜坑途中での車両の異常停止及び車両の衝突

トラック方式を使用する限り，ブレーキの故障による暴走以外一般公衆に対して著しい放射線被ばくのリスクを与えるような事故事象は考えられない。

車両のエンジントラブル，オーバーヒート，バッテリーの故障，（バッテリィー搭載型，電気式車両の場合）などで，車両が斜坑途中で異常停止した場合はすみやかに修理を行うかあるいは緊急を要する場合はキャスク積み換えの為に代替車及びクレーン車を出動させるかの処置をとればよい。剛体トロリー型の電気式車両を使用する場合は電源喪失により，異常停止する場合があるが，非常用発電機を設置するなどの方法で対処可能である。

又，車両が運転ミスにより斜坑壁に衝突するとか，追突するとかいったことによるキャスクの落下事故については，車両の速度を制限することによりキャスクの損傷程度を5.3.1で述べた地上施設における落下事故以下とすることは十分可能である。

斜坑での搬入を対面交通とした場合は車両どうしの正面衝突によるキャスクの落下事故も一つの事故事象に上げられるが上記の考え方で対処可能である。

車両の正面衝突防止処置の一つの案としては図５－34に示すように中央分離帯に遮蔽壁を設置することなどが考えられる。

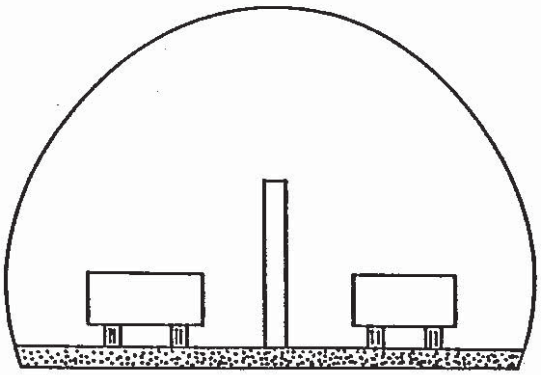


図５－34　遮蔽壁設置例

(b) 鉄道方式

鉄道方式としては5.1.2(2)(b)（ロ）で記載したとおり，モノレール型が好ましいと考えられる為ここではモノレール型を想定してその事故事象について考察する。

事故事象としてはブレーキ故障による暴走，車両のトラブル及び電源喪失による異常停止などが考えられる。車両の正面衝突は対面交通を用いてもそれぞれの車両が軌道を有していること，追突についても制限速度を決めることによりキャスクの破損の程度を地上施設における落下事故以下とすることが可能であること等から車両どうしの衝突については一般公衆に対して著しい放射線被ばくのリスクを与えるような事象とはならない。

又，脱線等の事象もモノレール型であれば起こりにくいものと考えられる為，ここでは検討の対象から除外する。

（イ）ブレーキ故障による暴走

モノレール型のように軌道を有していても，車両の暴走は起こりうる可能性のある事故であり対策を立てておく必要がある。

現在使用されているモノレールでは，運転士が停止信号を見誤ったり，高速で運転したり，身心の故障で所定の取扱いができない場合において車両を自動的に停止させるＡＴＳ（自動列車停止装置）を設けることが定められている。従って，このような安全（制動装置）装置をいくつか組み合わせブレーキ故障による暴走の確率を極力低く押さえることは可能であると考えられる。(27)

尚，現在ではＣＴＣ（列車集中制御装置）も使用されており，車両の運行監視，分岐装置の遠隔制御などを１箇所の制御所で運行管理をする自動運転も行われているため，これを利用してトラック方式で述べた退避線を設ける対策もとりうる。

（ロ）車両トラブル及び電源喪失による異常停止

車両のトラブル等で車両が異常停止した場合はすみやかに修理を行

うかあるいはキャスクの積み換えの為に代替車及びクレーン車を出動させるかの処置を行えば特に問題になることはない。

又，停電の場合には車両が自動的に停止するような制動装置を設置しておけば問題となるような事故につながることはない。

ただし，緊急な場合を想定して非常用発電装置は設置しておく必要がある。

(c) トラック牽引システム

トラック牽引システムにおいて想定される事故事象としては，ワイヤーの破断によるトラックの暴走，ドラムホイストの故障や電源喪失によるトラックの異常停止などが考えられるが，ワイヤーの破断によるトラック暴走以外の事故は一般公衆に対し著しい放射線被ばくのリスクを与えるものではない。

ドラムホイストの故障はすみやかに補修を行うことで対処可能であるし，電源喪失に対しても非常用発電設備を設置しておけば大きな問題とはなり得ない。

又，車両の停止により緊急にキャスクの回収を行う必要があれば代替車（この場合は電気式車両及びクレーン）を出動させるシステムを考えておけば良い。

但し，この場合はケーブル式の為他の搬出入形態と違い代替車が通れるだけのスペースを確保する必要があり，斜坑の断面積が2倍近くになることが予想される。

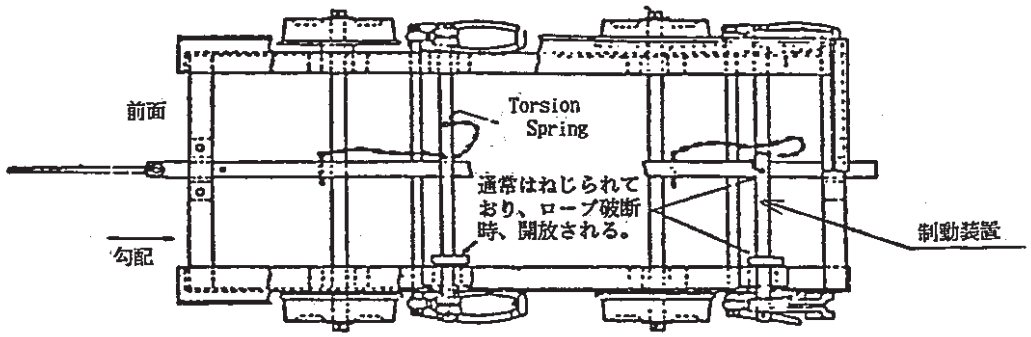
（イ）ワイヤーの破断によるトラックの暴走

ワイヤーの破断はワイヤーに予期せぬ過度な引張力が生じることにより起こるが，ワイヤーの摩耗や巻上げ機の故障などの原因によるものは保守点検を行うことで回避できるものと考えられる。

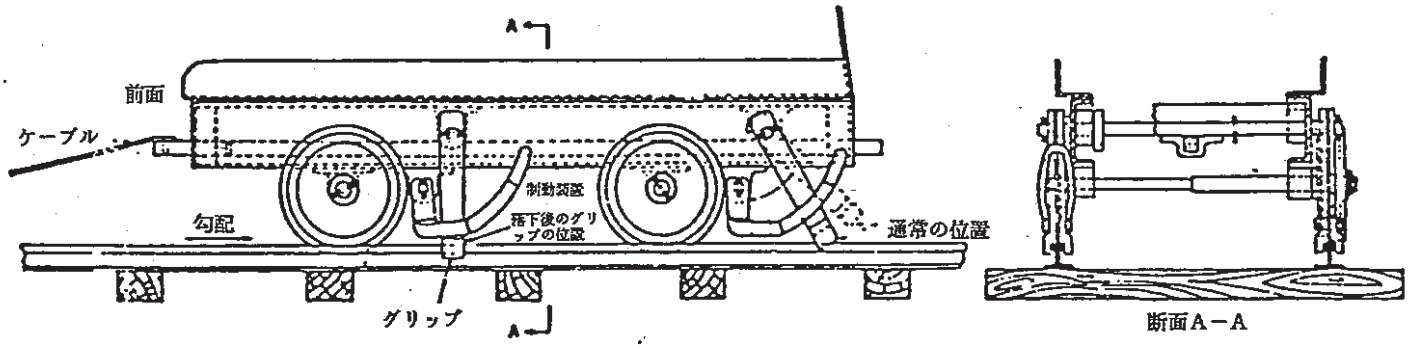
ワイヤーの破断に対する防止処置としは，ワイヤーの緊張力を常時測定する装置とトラックの制動システム（安全装置）を運動させておき，ワイヤーの緊張がある値以下となったときに安全装置が働く機能

が考えられるが具体的な設計は今後の課題の１つとなる。

参考として，現在鉱山などで人の運搬の際に用いられる安全装置のうち代表的なものを図５－35～５－37に示すが，この他にも磁石式ブレーキングシステムや安全フックをワイヤー破断時に地面に落下させ車両を停止させるシステムなども採用されている。(10, 11)



平面図

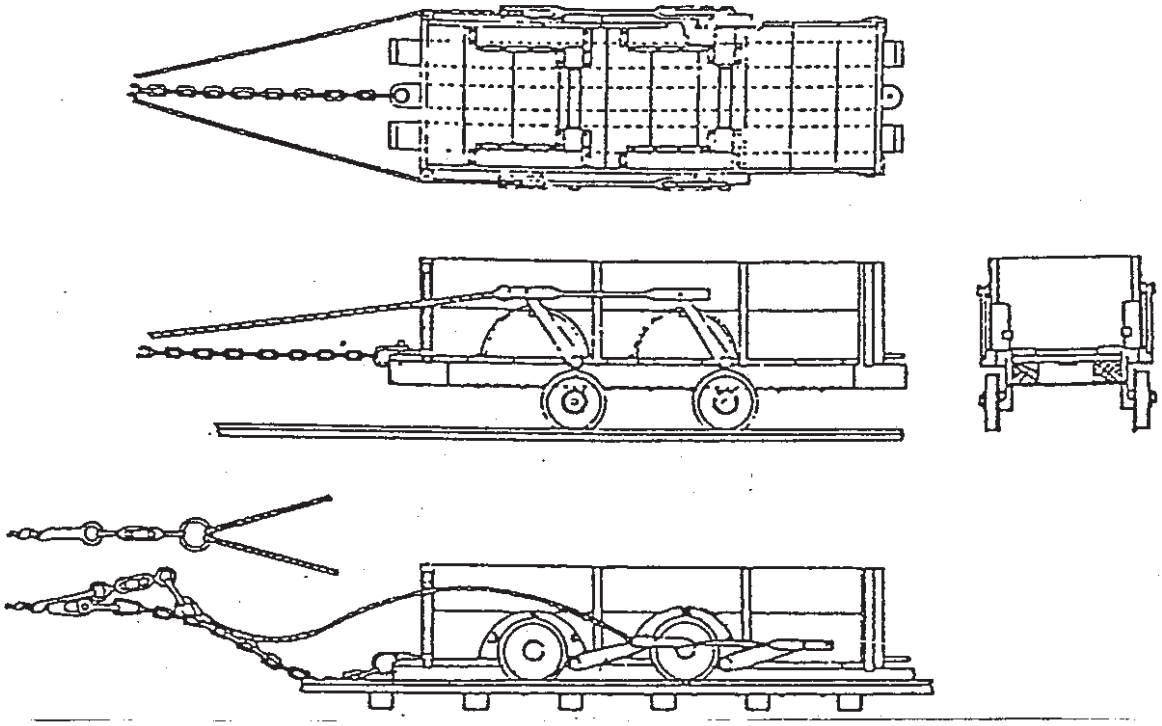


〔システムの概要〕

制動装置はワイヤーが緊張力を持続している限り，通常の位置に留まるているが，ワイヤーが破断するとねじられていたバネが制動装置の軸を回転させ制動装置を落下させる。

制動装置はレールをつかむ形でトラックを停止させる。

図5－35　車両制動装置



〔システムの概要〕

牽引ロープの緊張力が喪失した場合，車の重さで車輪が車体の両側にあるくぼみの中にひきこまれるようにしたシステムである。

車の底は地面の上に直接乗ることになり，トラックは停止する。

このシステムは８４％（40°）の勾配まで適用可能である。

図５－36　トラック牽引システム制動装置

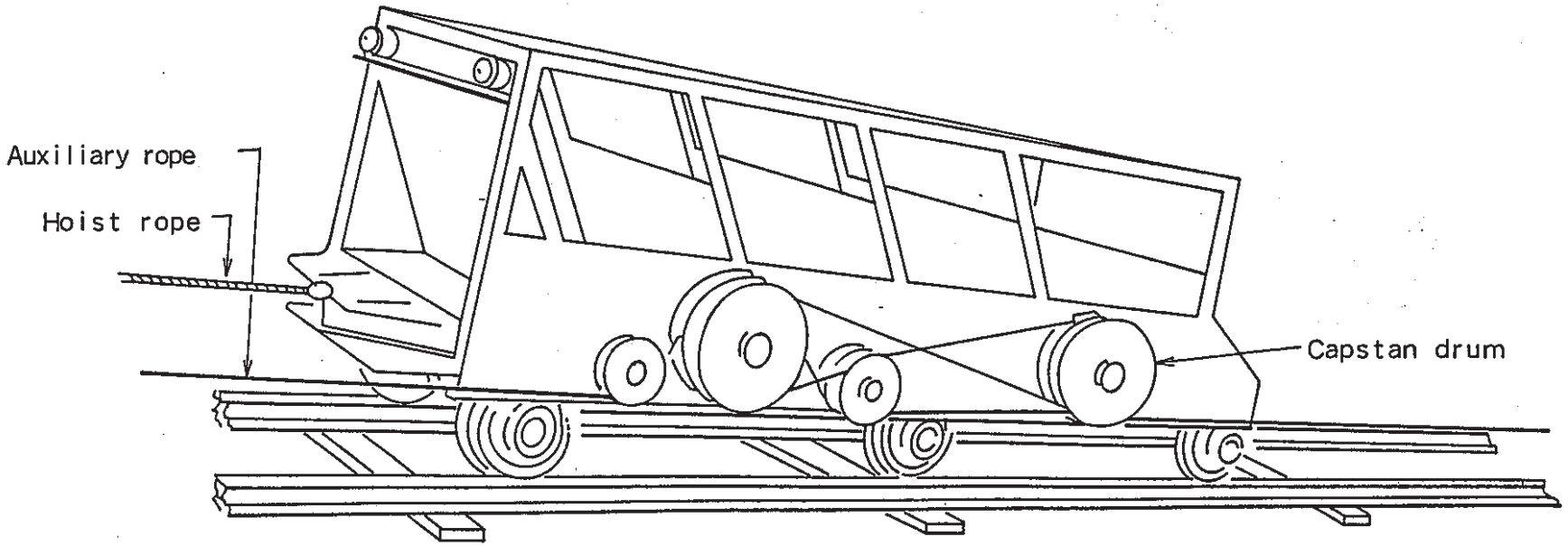


図5－37　牽引システム制動装置

〔システムの概要〕

表5－13　事故事象とその防止対策

搬送形態	搬送設備	事故事象	事故原因	防止処置
立坑	エレベータ	o エレベータの落下事故	o ワイヤーロープの破断 o 綱車の破壊等	o 保守点検（必要となれば取換２） o ワイヤーロープの多重化 o ガイドレールと安全装置の設置 o 立坑底への緩衝器の設置
		o エレベータの立坑途中での異常停止	o 巻上げ機の故障 o 誤操作 o 電源喪失	o 巻上げ機に対して手動装置を設置 o 非常用発電機の設置
		o エレベータ地上設備の火災事故	o 漏電など	o 防消火設備の設置
		o エレベータ地上設備への航空機落下事故		o 建屋の強度を上げるなどの処置
斜坑	トラック方式	o 車両の暴走	o ブレーキの故障	o 退避線の設置。（手動運転の場合） o 車両を止める安全装置の設置 o 多重ブレーキの搭載
		o 車両の異常停止	o 車両のトラブル，オーバーヒート ﾊﾞｯﾃﾘｰの故障（ﾊﾞｯﾃﾘｨ搭載型電気車両）	o 補　修 o 代替車の出動
			o 電源喪失（剛体トロリー型電気車両の場合）	o 非常用発電機の設置
		o 車両の衝突	o 運転ミス	o 走行速度の制限 o 遮蔽壁の設置

搬送形態	搬送設備	事故事象	事故原因	防止処置
斜不坑	鉄道方式	o 車両の爆走	o ブレーキの故障	o ＡＴＳ，ＡＴＯ等の制動装置の多重設置
		o 車両の異常停止	o 車両のトラブル等	o 補修 o 代替車の出動 o 制動装置の設置（自動運転の場合）
			o 電源喪失	o 非常用発電機の設置
斜坑	トラック牽引システム	o トラックの暴走	o ワイヤーロープの破断	o 制動システムの設置
		o トラックの停止	o ドラムホイストの故障	o 補修 o 代替車の出動
			o 電源喪失	o 非常用発電機の設置

5.4.3 地下施設

① 地下搬送設備に係るハンドリング上の事故に関しては，搬送設備，定置設備等の個々の要素技術の開発は必要なものの，基本的には現状の技術の延長線上にあることから，事故防止は十分可能である。

② 地下搬送設備，定置設備に係る事故が発生した場合においては

- 発生エリアの隔離
- 発生エリアの除染
- 設備の再設置

が必要である。

発生エリアの除染については，エリアの隔離がスムーズに行われ，範囲が限定されれば，比較的容易に実施できるものと考えられる。一方エリアを隔離することができなかった場合には，km単位の坑道を除染する必要が生じる。

③ 地下施設の異常出水に関しては，基本的にサイト選定及び建設段階で出水量を予測し，対応策をたてておくべきものである。即ち原子力施設の地震に対する対応と同様に立地で対応することが可能なのであるから，あらかじめ出水量を十分な科学的根拠をもって予測しておくべきものであり，偶発的に発生する可能性のある他の事故事象としては対応が異なるべきものと考えられる。

また，事故発生に伴う放射線上の危険性は少く，むしろ経済的な影響が大きいことから，本事象の対応に関しては，事業者としての判断が優先されることになろう。

定置エリアに出水が発生した場合には，廃棄物に損傷はないものと考えられるが，含水した充填材を取り変える必要があものと考えられる。

ボアホールタイプの定置方式の場合は，上部プラグの上水性が問題となる。止水性がない場合は，充填材を交換する必要があるものと考えられる。処分孔の埋め戻し費は処分場全コストの8.5 %と見積られ，多くは充填材費が占めているものと考えられる。

坑道定置方式の場合は，浸水した埋め戻し材を全て交換する必要があり，コスト上の影響はボアホールタイプを上回るものと考えられる。

事業者としては，異常出水の発生確率及びその規模と発生した際の経済的影響を勘案して，次のような対応策を検討することになるものと考えられる。

- 止水，防水工事の強化
- 排水設備の強化
- 拡大防止設備（止水扉，防水区画等）の設置

④ 定置エリアの落盤に関しても，異常出水と同様にサイト選定，建設段階対応策を講じておくべきものと考えられる。また落盤が即環境への放射能放出につながることはないことから，本件に関しても事業者の判断が優先されることになるものと考えられる。定置エリアの落盤に関しては，発生したエリア内の放射能汚染の検査が必要であり，汚染が認められた場合には，汚染された土石，充填材の搬出及び処理処分が必要となる。これらが大量に発生した場合には，専用の機材が必要になることも考えられる。

また，汚染の発生の有無に係らず，発生エリア内の全廃棄物に関し，健全性の検査が必要になるものと考えられる。

事業者としては，落盤の発生確率及びその規模と発生した際の経済的影響を勘案して次のような対応策を検討することになるものと考えられる。

- 安定設計，支保設計の強化

事故発生防止対策，拡大防止対策のまとめを表５－14に示す。

表５－14　事故発生防止，拡大防止対策

事故事象	事故発生防止，拡大防止対策	技術開発項目
地下搬送設備	・軸の多重ブレーキシステム ・運転管理 ・エリア隔離システムの設置	現状技術の延長線上にあるものと考えられる。
異常出水	・止水・防止工事の強化 ・排水設備の強化 ・拡大防止設備（止水扉，防水区画等）の設置	・出水量余地技術の向上 ・高揚程のポンプの開発
落盤	・安定設計 ・支保設計	・落盤余地技術の向上

5.5 技術開発項目

処分場の物流システムが事故事象を考慮した適切なものであるためには，事故時の放射線安全性が許容できるものであり，同時に事故に伴うリスクが経済的に受容できるものでなければならない。これまでの検討結果について，技術開発項目をとりまとめた。

表５－15に技術開発項目を示す。

(1) 地上施設

地上施設に関しては，海外再処理の返還ガラス固化体の受け入れ施設設計において事故評価が行われており，問題ないという結果を得ている。このことからも，地上施設に関しては現状のの知見で評価可能であり，放射線安全上の問題及び経済上の問題はないものと考えられる。

(2) 地上・地下搬送設備

本設備に関しては，第１に立坑についてはエレベータ落下事故，斜坑については車両の暴走事故を評価シナリオとして採用すべきか否かを判断する必要がある。即ち安全システムを多重化し，単一故障では事故が発生しないことを示せれば，事故シナリオから除外できる。また事故が発生した場合でも，緩衝装置による影響の緩和，もしくは非常時の放射線閉じ込め処理システムを開発することにより，安全上の要求を満足させることも考えられる。

また，環境に放射能が放出されるシナリオを採用するとした場合においては，ソースタームとしてのガラス微粉の発生量を評価する必要がある。

地上・地下搬送設備は，これらの検討を行ったうえで，クライテリアを満足させるのに最も実現性の高いシステムを採用することになろう。

経済性に関しては，これらの事故，故障の発生確率と，関連するコスト（設備費，事故防止対策費，事故後の復旧費）を考慮して，最も経済的に合理的なシステムを採用することになろう。

(3) 地下施設

地下搬送設備に関しては，(2)地上・地下搬送設備と同様の作業が必要である。

異常出水と落盤に関しては自然現象であり，偶発的な事故事象とは対応が異

ると考えられる。即ち，異常の規模，発生確率はサイト環境に左右されるわけであるから，処分場の安全性の観点から事前に把握すべきものであり，事前調査に基づいて立地も含めた防止措置を施することが求められるものと考えられる。

しかしながら，発生頻度の近い事象に関しては，発生確率と発生後の復旧コストを勘案して対応すること考えられる。

a．機器・設備の開発

表５－15　技術開発項目（１／５）

項　　目	解析すべき事象	R　&　D　項　目	他分野での実績
1.　地上施設	落下事故	現状の技術の延長で対応可能	海外再処理の返還ガラス固化体の受け入れ設備の設計が進行中
2.　地上・地下搬送設備			
(1)　エレベータ	エレベータ落下の可能性	綱車（強度，信頼性） ロープ（強度，信頼性） 巻上機（信頼性） 落下防止装置（信頼性）	1000ｍ深のエレベータは鉱山で実績がある。
	落下後の影響	立坑底緩衝装置の開発 非常時の放射能閉じ込めシステム ガラス微粉の除去方法	
	エレベータの異常停止	非常時の下降装置	
(2)　斜坑トラック／鉄道	暴走事故の可能性	多重ブレーキシステムの開発 退避線の設置 暴走防止装置の開発	斜坑は鉱山で一般的に使用されている方法である。

表５－15　技術開発項目（２／５）

項　　目	解析すべき事象	R & D 項目	他分野での実績
(3) 斜坑トラック牽引システム	暴走事故の影響 車両の異常停止 暴走事故の可能性 暴走事故の影響	非常時の放射能閉じ込めシステムの開発ガラス微粉除去方法の評価救援システムの開発 巻上機（信頼性） ロープ（強度，信頼性） 落下防止装置（信頼性） (2)に同じ	鉱山で実績有り。
3. 地下施設	事故の影響 車両の異常停止 出水の影響 落盤の影響	非常時の放射能閉じ込めシステム ガラス微粉の除去方法 救援システムの開発 拡大防止設備の開発 高揚程ポンプの開発 廃棄物の回収方法の開発	

b．評価方法

表５－15　技術開発項目（３／５）

項　　目	解析すべき事象	R　&　D　項　目	他分野での実績
1.　地上施設	落下事故	現状の知見で対応可能	海外再処理の返還ガラス固化体の受け入れ設備の設計が進行中
2.　地上・地下搬送設備			
(1)　エレベータ	落下後の影響	衝突速度の評価 ガラス微粉発生率 除染費用の評価	日本国内のエレベータ設備の落下事故は報告されていない。
(2)　斜坑トラック／鉄道	暴走事故の可能性	衝突速度の評価 ガラス微粉発生率の評価 除染費用の評価	暴走の防止は，既存技術で対応可能と考えられる。

表5－15　技術開発項目（4／5）

項　　目	解析すべき事象	R & D 項目	他分野での実績
(3) 斜坑トラック牽引システム	暴走事故の影響	(2)に同じ	
3. 地下施設 (1) 地下搬送設備	事故の影響	衝突速度の評価 ガラス微粉発生率の評価 除染費用の評価	
(2) 異常出水	出水の規模 出水の防止 出水の影響	出水量，出水確率の評価 止水，防水工事費の評価 冠水した廃棄物の検査費の評価 冠水した充填材の交換費の評価	現状の事前調査で異常な出水を予知することは難しい。

表5－15　技術開発項目（5／5）

項　　目	解析すべき事象	R & D 項目	他分野での実績
(3) 落　盤	落盤の規模	落盤の範囲，確率の評価	山はねの理論的な解明は研究段階である。
	落盤の防止	安定化工事費の評価	
	落盤の影響	廃棄物の検査費用の評価 汚染が発生した場合の除去費の評価	

参考文献

(1) Nuclear Sience and Technology, EUR 7620 EN, FR, (1982)

(2) Site characterization Plan, 1988, DOE/RW-0160

(3) Project Gevaehr 1985, NGB 85-03

(4) Smith, T.H. and Ross, W.A. "Impact Testing Vitreous Simulated High-Level waste in canisters" BNWL-1903 (1975)

(5) Preliminary Safety Assessment Study for the conceptual Desigh of Repository in Tuff at Yucca mountain, SAND 83-1504

(6) Draft Environmental Assessment Reference Repository Location, Hanford Site Washington DOE/RW-0017

(7) Final Storage of Spent Nuclear Fuel-KBS-3, Stockholm, May 1983.

(8) 地層処分施設の概念調査（Ⅱ）昭和62年度　委託調査報告書
昭和63年３月　三井建設株式会社

(9) 超高層ビル設備としての昇降機　1979年　建築設備 VoL 30
No.9　池田瑛司，小林国次郎

(10) Procedure for hoist and shsft protection & maintenance.
Volume　1 —— Systems description ——
PB Rep NO.PB — 83 — 148049　1981 out CSEFF J, FORBES W J

(11) Procedure for hoist and shsft inspection & maintenance
Volume　Ⅱ —— Inspection & maintenance procedure —1981 OCT.

(12) Mufulira Mine's new Musombe SV 1 sud — vertical shoft, Min Technology
Vol 70. 1988 KERR A F, DE FREITAS A VB

(13) Shaft technology AC motots in variable speed duties, World Mir Fgup.
Vol 11. 1987

(14) Shaft furmiture Mining Magazine Vol 157. 1987 OCT

(15) Modern shaft hoisting equipment Bulk solids Hamal Vol 7. 1987　FEB
KRÄMER G, RAPP H

(16) Curront British developments in haulage and transport Coal Mining & Processing
1981 BUNTAIN D

(17) Construction of the calder drift portal Colliery Guardian Vol 233. 1985
BEAUMONT CR

(18) 採鉱技術の動向と将来 VⅢ
坑内における大型ダンプトラックの採用
全国地下資源関係学協会合同秋季大会分科研究会資料
Vol 1984. 1984
津村和弘，木村ひろし，坪井田昭

(19) Simple Mine 誕生のいきさつ
トラック主要運搬方式を採用したえ釣鉱床の急速開発
日本鉱業会誌 Vol 197. 1981 年
神野孝行

(20) 開坑・掘進Ⅲ 三井芦別炭鉱の芦別斜坑開さく
日本鉱業誌 1983 年
松浦勝み

(21) Six-rope friction hoist at Les Mines Seleine Inc, Madeleine Islands, Quebec
CIM Bull Vol 76. 1983
FREDRIKSSON B JG ROBERGE L

(22) 最近のエレベータ設備 ― 特に超高層エレベータについて
電気工事の反 VOL 31. №9 1978年
高田 豊

(23) 採鉱採炭ハンドブック 佐藤総平編

(24) Surface-to-Underground Access Study for the Prospective Yucca Mountain Nuclear Waste Repository.
A.W.Dennis and Dravo Engineers SANDIA REPORT SAND84-0840
1985

(25) NEVADA NUCLEAR WASTE STORAGE INVESTIGATIONS PRELIMINARY REPOSITORY CONCEPTS REPORT

J.L.Jackson SAND83-1877 1984 Sep.

(26) An engineering design study for storage and disposal of intermediate level waste

United Kingdom Atomic Energy Authority Northern Division Report.

J.R.Griffin, S.Hackney, 1982年

(27) 土木工学ハンドブック 下巻 土木学会 1975年

(28) 鉄道工学 丸山弘志・深澤義朗 編著

丸善 昭和56年11月

(29) 鉄道工学 柴田元良 著

コロナ社 昭和51年

6. 平成元年度の研究計画

処分場内の廃棄物の物流に係る設備として，地上・地下搬入設備，地下施設内の廃棄物の移送，定置設備は，処分場の概念に大きな影響を与えるものである。これらの設備に関しては，複数の選択枝が考えられる。従って，経済性，安全性の面から総合的な評価を行って，最終的に設備概念を決定する必要がある。

表６－１に物流に係る設備概念を確立する上で必要な作業項目を示す。

10　設備設計

評価の基礎データを与えるため，現状の技術をもとに設備設計を行う。

設計の仮定で技術の改善が見込める点が明らかになれば次段階の評価にも反映させる。

20　安全性評価

高レベル放射性廃棄物を扱うことができる信頼性を有するか否かの評価を行う。

30　経済性評価

設備自体の製造コストの他，安全確保に必要なシステムに要するコスト及び運転コストも考慮に入れた経済性の評価を行う。尚，設備の運転期間は処分場全体の運転コストにも影響を与えることになる。

平成１年度においはては，表　　中の斜線部に関して作業を実施するものとする。

1031　エレベータの諸元，立坑サイズ等を決定する。

1032～1034　車両諸元，斜坑斜度，サイズ等を決定する。

表６－１　物流システムに係る作業項目

	10 廃棄物受入スケジュール	20 地上施設		30 地上・地下搬入設備				40 地下施設		
		21 オーバーパック設備	22 廃棄物ハンドリング設備	31 立坑エレベータ	32 斜坑トラック	33 斜坑鉄道	34 斜坑牽引トラック	41 移動設備	42 定置設備（垂直定置）	43 定置設備（坑道定置）
10 設備設計		1021	1072	1031	1032	1033	1034	1041	1042	1043
20 安全性評価		2021	2022	2031	2032	2033	2034	2041	2042	2043
30 経済性評価	1030	3021	3022	3031	3032	3033	3034	3041	3042	3043