

高レベル放射性廃棄物処分場の操業システム

1992年9月

動力炉・核燃料開発事業団
東 海 事 業 所

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。

〒319-11 茨城県那珂郡東海村大字村松 4 - 33

動力炉・核燃料開発事業団 東海事業所

技術開発推進部・技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technology Management Section Tokai Works Power Reactor and Nuclear
Fuel Development Corporation 4-33, Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun,
Ibaraki-ken 319-11, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development
Corporation) 1992

高レベル放射性廃棄物処分場の操業システム

報告者：岡本 二郎*，五月女 敦，原 啓二

要 旨

地層処分システムの概念の技術的有効性を具体的に明らかにするために、処分システムにおける建設・操業・閉鎖の一連の作業の中で、ここでは、ガラス固化体を受入れ、搬送・定置する操業について、その手順、システム、スケジュールの検討を行った。

検討に当たっては、処分するガラス固化体の総本数を4万本と設定し、これを1ヵ所の処分場に処分するとした場合の操業の手順ならびに必要となる各種の検査設備や、オーバーパックへの封入設備等を収納した地上施設、廃棄体を地上施設から地下施設へ搬送する設備、人工バリアの定置設備等の具体例を示した。また、廃棄体の搬送にキャスクカー、アクセス立坑にエレベータを用いた場合の操業スケジュールを例示した。

東海事業所 環境技術開発部 地層処分開発室

* 現在 鹿島建設株式会社 建設総事業本部 土木設計本部

目 次

1. はじめに	1
2. 前提条件	2
3. 操業手順	5
3.1 地上施設での作業手順	5
3.2 アクセス施設での作業手順	9
3.3 地下施設での作業手順	11
3.3.1 処分孔豎置方式の場合	11
3.3.2 坑道横置方式の場合	12
4. 操業システム	15
4.1 地上施設	15
4.2 アクセス施設	22
4.3 地下施設	25
4.3.1 搬送システム	25
4.3.2 定置システム	28
5. 操業スケジュール	33
5.1 処分孔豎置方式	33
5.2 坑道横置方式	37
6. まとめ	43
7. 今後の課題	46
8. 参考文献	47

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分の基本的考え方は、ガラス固化体を30-50年間程度冷却のため貯蔵した後、地下数百メートル以深の地層中に処分することである。そのためには、地上から地下施設までの空洞を掘削する「建設」、廃棄体を地下施設の設置位置まで搬送する「操業」、及び廃棄体を設置した後、空洞を埋め戻す「閉鎖」という3つの行為が必要となる。

本報告書は、工学的な観点から地層処分システムの技術的有効性を明らかにするために、処分施設の建設、操業、閉鎖の内、操業に関する検討を実施したものである。本検討においては、処分するガラス固化体の総本数を4万本と設定し、それを1ヶ所の処分場に処分するものとして操業の手順を検討しガラス固化体の物流を明らかにする。次に、検討した操業手順から一連の作業に必要な操業設備についての検討を実施し、その具体例を示す。最後にこれらの検討から操業のスケジュールに関する検討を実施し、現状技術での実現可能な操業計画を例示する。次章以降にこれらの検討結果を示す。

2. 前提条件

ここでは、処分施設の操業に関する検討を実施するために設定した前提条件について示す。

(1) ガラス固化体の総処分量

本検討においては、処分するガラス固化体の総本数を4万本と設定し、これを1ヶ所の処分場に処分するとした場合の、操業システムの検討を実施することとする。

(2) ガラス固化体の冷却期間（中間貯蔵期間）

昭和62年（1987年）の原子力開発利用長期計画によると「再処理施設において使用済燃料から分離される高レベル放射性廃棄物は、安定な形態に固化した後、30年から50年程度冷却のための貯蔵を行い、その後、地下数百メートルより深い地層中に処分することを基本的な方針とする。」となっている。ここではガラス固化体の中間貯蔵期間を30年として操業スケジュール等を検討する。

(3) ガラス固化体の仕様

ガラス固化体の仕様は、COGEMA、BNFL、JNFS、TVF等で若干異なるが、ここでは図2.1に示すガラス固化体仕様を設定する。

(4) オーバーパックの仕様

ガラス固化体は放射能が十分減衰するまでの長期にわたって、放射性核種を物理的に閉じ込めるため、堅固な収納容器（オーバーパックと称す）に封入され、地下施設に搬送・定着されるものとする。本検討では、図2.2に示すような炭素鋼製のオーバーパックを想定する。

(5) 緩衝材の設置

ガラス固化体を封入したオーバーパック（以下、廃棄体と称す）の外側には、地下水透水抑制機能、核種の吸着遅延機能を有する緩衝材が設置される。ここでは、緩衝材の材料として現時点で有力視されている粘土系材料の一つである圧縮ベントナイトを用いる。

緩衝材の施工方法については、大型のプレス機を用いてあらかじめベントナイトの圧縮成形体（ベントナイトブロック）を製作し設置する方法と現場でベントナイトの粉末をダンパー等で直接締め固める方法がある。

ここでは、施工法を考慮して、前者のベントナイトブロックを用いた操業システムの検討を実施する。

(6) 建設・操業・閉鎖の基本工程

処分施設の建設・操業・閉鎖の作業は並行して行われるものとする。

(7) 操業期間

ガラス固化体の中間貯蔵期間を30年とする場合には、操業開始30年後には総処分量4万本が処分されることになるため、操業期間は30年となる。

(8) 処分深度

ここでは処分深度として、1000m程度を想定し、エレベータ等の搬送設備を検討する。

(9) アクセス方式

地上から地下へのアクセスの方法としては、

- ① 立坑を利用
- ② 斜坑を利用
- ③ 立坑と斜坑の両方を利用

する場合は考えられるがここでは、①の立坑を利用する場合を検討する。

材質；炭素鋼

外形；104 cm

高さ；195 cm

重量；11.4 t

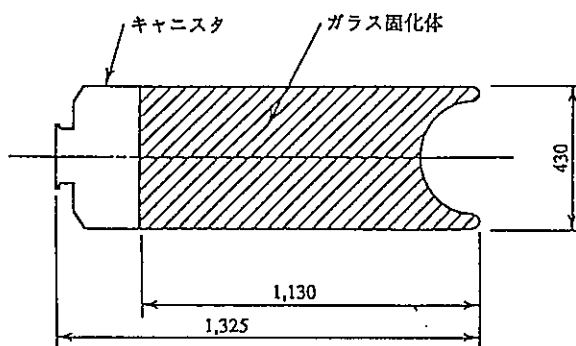


図 2.1 ガラス固化体仕様

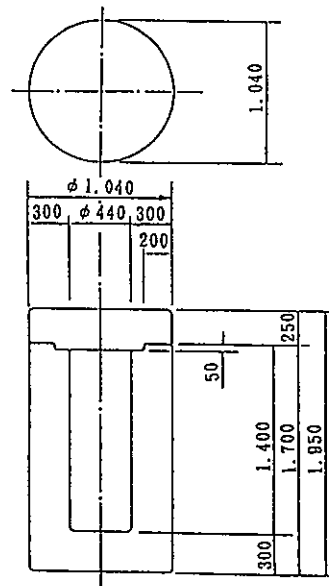


図 2.2 オーバーパック仕様

(10) 処分方式

廃棄体の定置方式としては、図2.3に示す代表的な処分孔縦置方式と坑道横置方式について検討する。

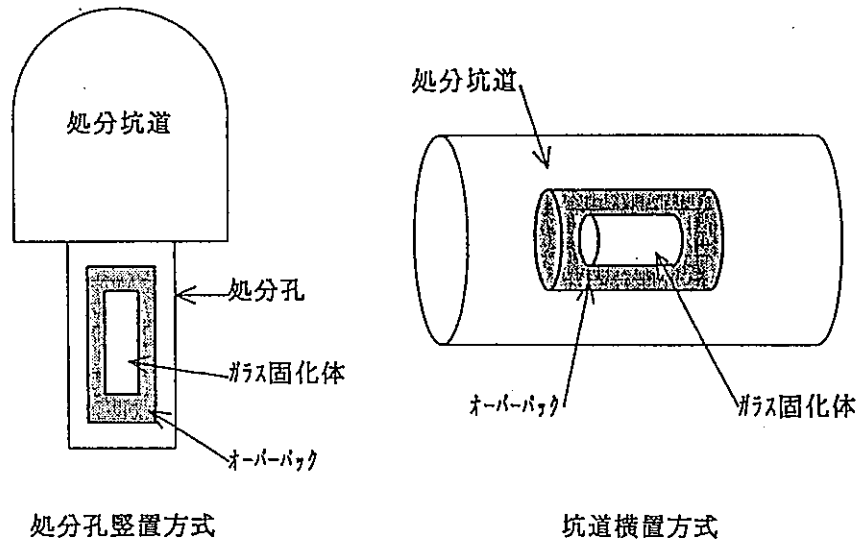


図2.3 定置方式概念

(11) 操業施設の基本的な機能

① 地上施設

地上施設内の操業設備は、ガラス固化体の受入れ、搬送、検査、オーバーパック封入等の機能を備えることを基本として検討を行う。なお、ガラス固化体は、キャスクにより一定数毎に運び込まれるものと仮定する。

② アクセス施設

アクセス方式として立坑を採用した場合のエレベータによる搬送システムを検討する。また、エレベータによる搬送は無人化にて行うことを基本とする。

③ 地下施設

地下施設内での操業は大別して、廃棄体設置位置までの搬送作業と廃棄体定置作業がある。これらの作業は無人化にて実施することを基本とする。また、エレベータから降ろされた廃棄体は積替え無しに搬送することとする。

3. 作業手順

廃棄体は、図3.1に示すように地上施設からアクセス施設を通り最終的に地下施設に定置される。ここでは、地上施設、アクセス施設、地下施設に分類して作業手順の検討を実施する。

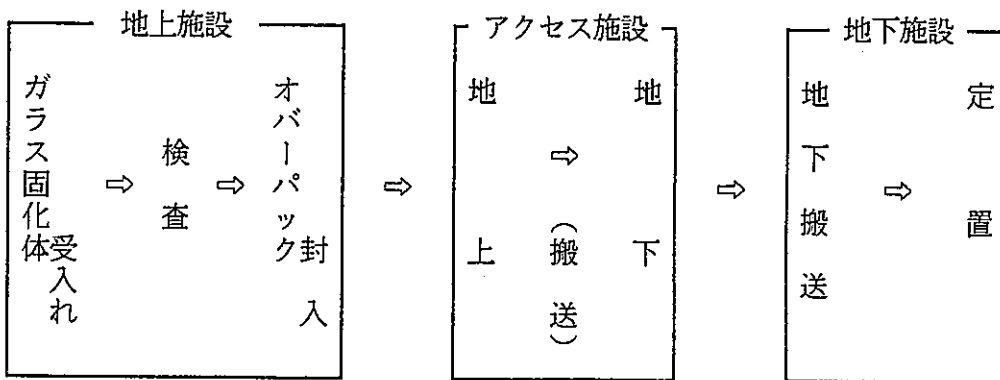


図 3.1 廃棄体の搬送経路

3.1 地上施設での作業手順

地上施設における作業の作業項目としては、キャスクトレーラによるキャスク（輸送容器）の受入れから、ガラス固化体が納められたオーバーパックの搬出までの一連の作業がある。

図3.2に地上施設での基本的な作業フローを示す。

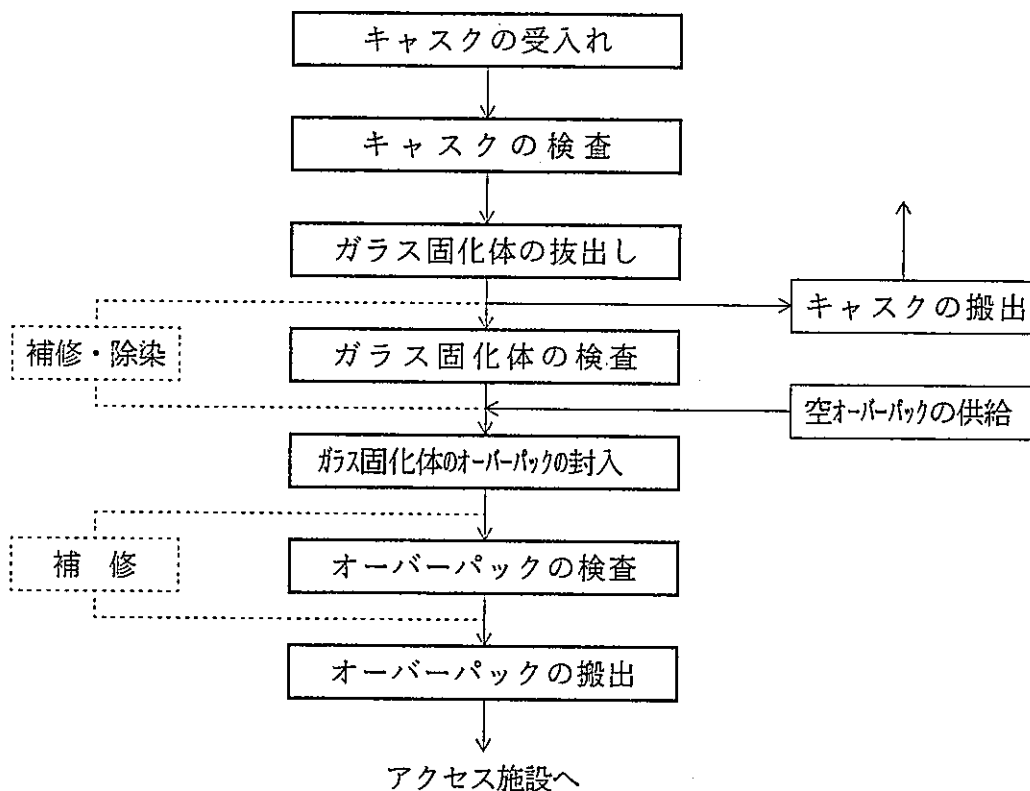


図 3.2 地上施設での基本的作業フロー

以下に図3.2にしたがって地上施設で考え得る作業手順とその内容を示す。

(1) キャスクの受入れ

ガラス固化体が納められたキャスクはキャスクトレーラによって運び込まれる。キャスクは、一度に数台運び込まれる可能性がある。キャスクはトレーラから取り外され、キャスク一時保管台に置かれ、その後キャスク検査室へと移送される。

(2) キャスクの検査

キャスクからガラス固化体を取り出す前に、キャスクが安全にハンドリングできることを確認するための検査が考えられる。

キャスク検査項目としては、標識確認、外観検査等が考えられる。

(3) ガラス固化体の抜出し

キャスクからガラス固化体を抜出し、仮置、検査及びオーバーパックへの封入のために所定のエリアまで移送する。また、ガラス固化体を取り出した後、空キャスクについては、施設外に運び出すために必要な検査が実施される。検査項目としては、内面汚染検査、表面汚染検査、外観検査等が考えられる。

(4) ガラス固化体の検査

キャスクから取出されたガラス固化体に対して異常の有無を確認するための検査が実施される。検査項目としては、標識確認検査、外観検査、表面汚染検査等が考えられる。

異常が確認されたガラス固化体については、必要に応じて補修・除染及び再検査が行われる。

(5) ガラス固化体のオーバーパックへの封入

検査に合格したガラス固化体を炭素鋼製オーバーパックに収納し蓋を溶接する。封入されたオーバーパックは、オーバーパック検査室へと移送される。

(6) オーバーパックの検査

オーバーパックの溶接等の良否を確認するために、オーバーパックの検査が行われる。検査項目としては、外観検査、溶接検査、気密検査、表面汚染検査等が考えられる。

異常が確認されたオーバーパックについては、必要に応じて補修、再検査が行われる。

(7) オーバーパックの搬出

検査に合格したオーバーパックは、オーバーパック搬送台車及び搬送トラックにより、地上施設から搬出しアクセス施設に移送される。

以上、一連の廃棄体のハンドリングに係わる地上施設内での作業フローを図3.3に示す。

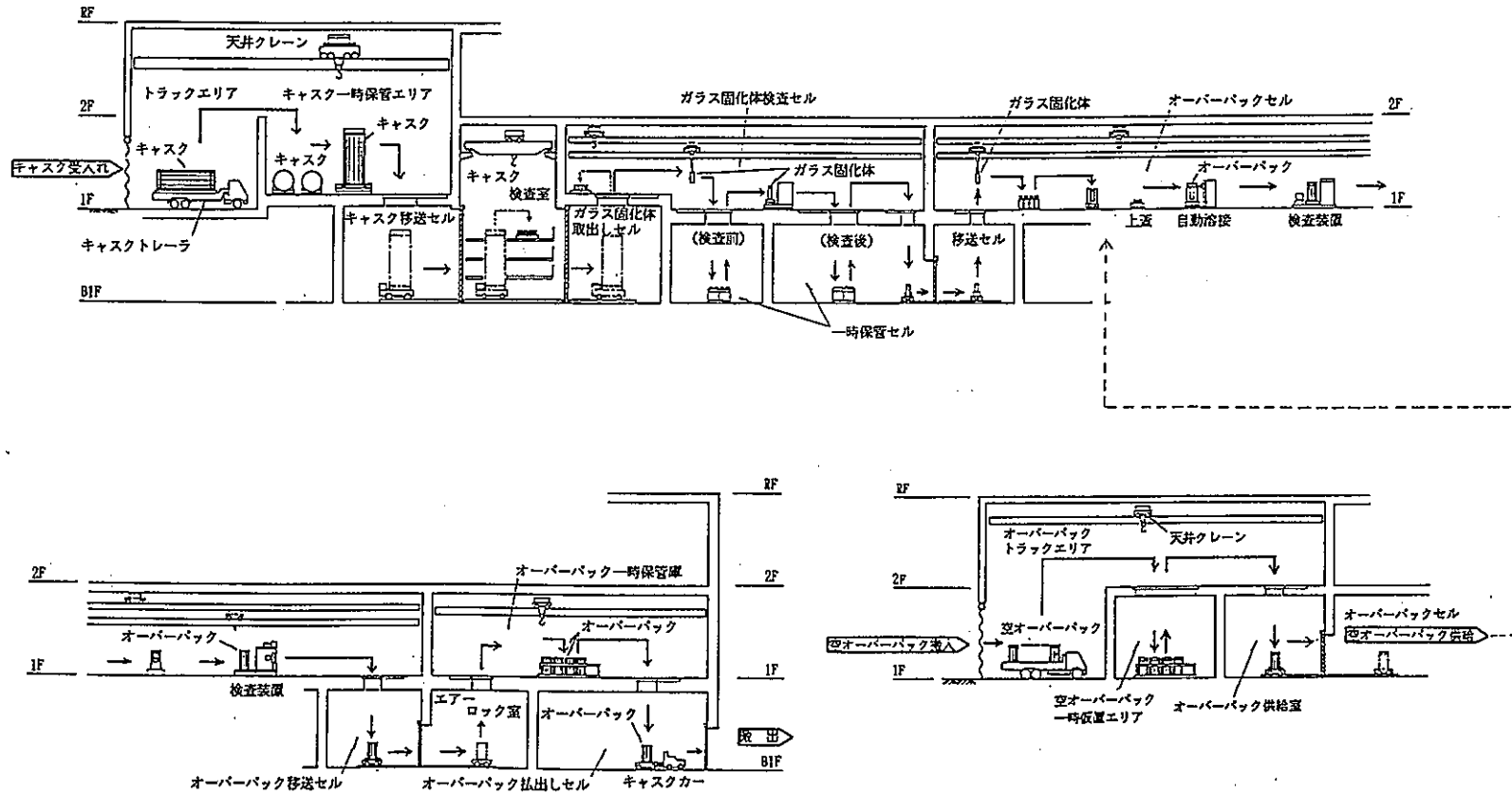


図 3.3 地上施設内の作業フロー (例)

3.2 アクセス施設での作業手順

アクセス施設における作業項目としては、坑口積み込みからエレベータによる立坑内搬送がある。また、オーバーパックの積み込み形態としては、

- ① オーバーパック単体でのクレーンまたはフォークリフト等による積み降ろし
- ② 移動式車両（キャスクカー）に収納し、キャスクカー毎の積み降ろし

がある。ここでは、積み降ろし作業は無人数化するとともに、できるだけ速やかに行いとうと考えられる②を検討することとする。図3.4にアクセス施設内での基本的な作業フローを示す。

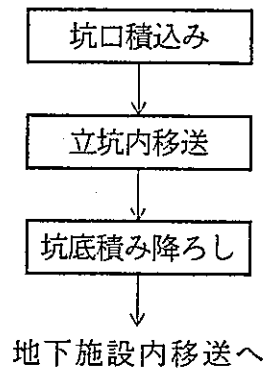


図 3.4 アクセス施設内での基本的作業フロー

以下に図3.4にしたがってアクセス施設で考えられる作業手順とその内容を示す。

(1) 坑口積み込み

搬送台車及び搬送トラックによりアクセス施設に運び込まれたオーバーパックをキャスクカーに収納し、キャスクカー毎立坑エレベータに載せる。

(2) 立坑内移送

エレベータを降下させ地下施設まで移送する。

(3) 坑底積み降ろし

坑底において、キャスクカーをエレベータから搬出する。坑底施設には、エレベータの停止位置誤差をカバーできるようエレベータ受渡し機構が設けられる。

以上、一連の廃棄体のハンドリングに関わるアクセス施設内での操業フローを図3.5に示す。

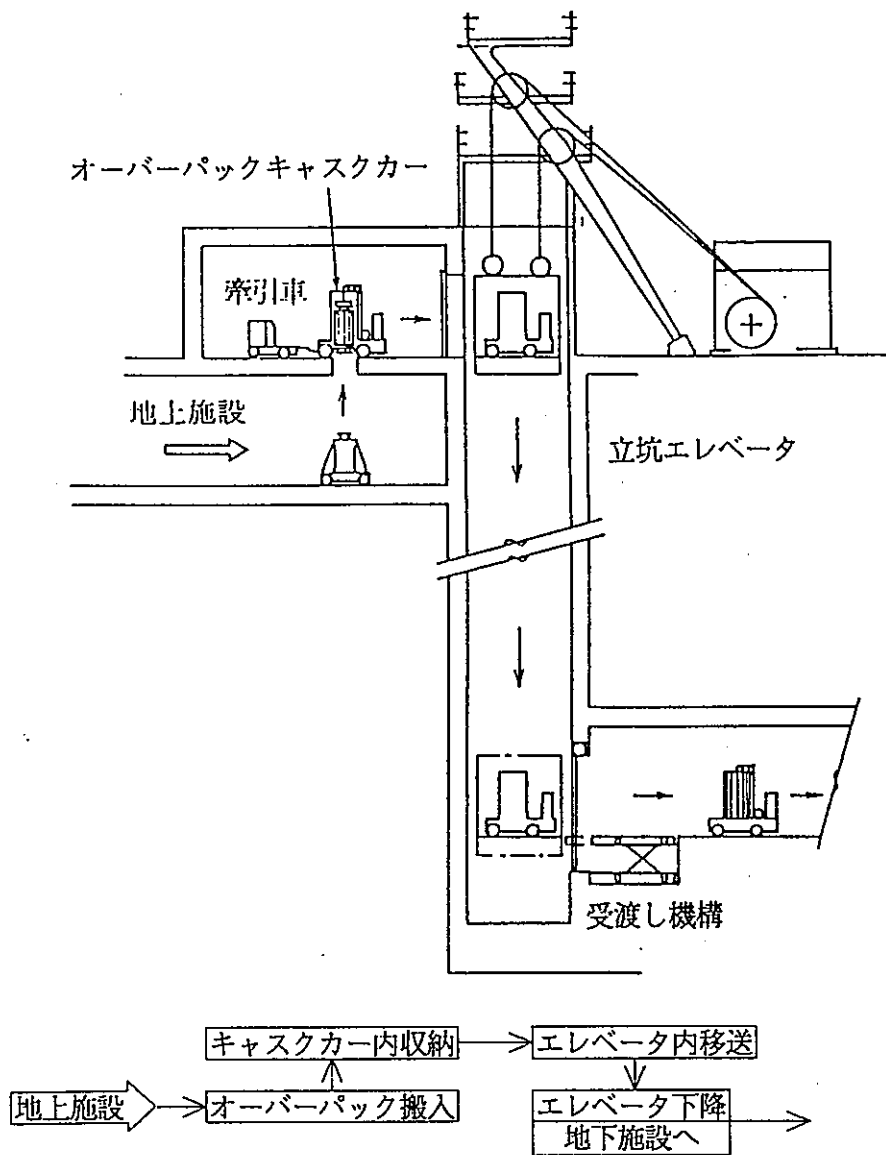


図 3.5 アクセス施設内の作業フロー (例)

3.3 地下施設での作業手順

地下施設内での作業としては、廃棄体定置位置までの移送と廃棄体の定置作業がある。これらの作業は図3.6の基本的作業フローに示すように廃棄体の定置方式によって、その方法が異なる。ここでは、処分孔縦置方式と坑道横置方式の場合について作業手順を検討する。

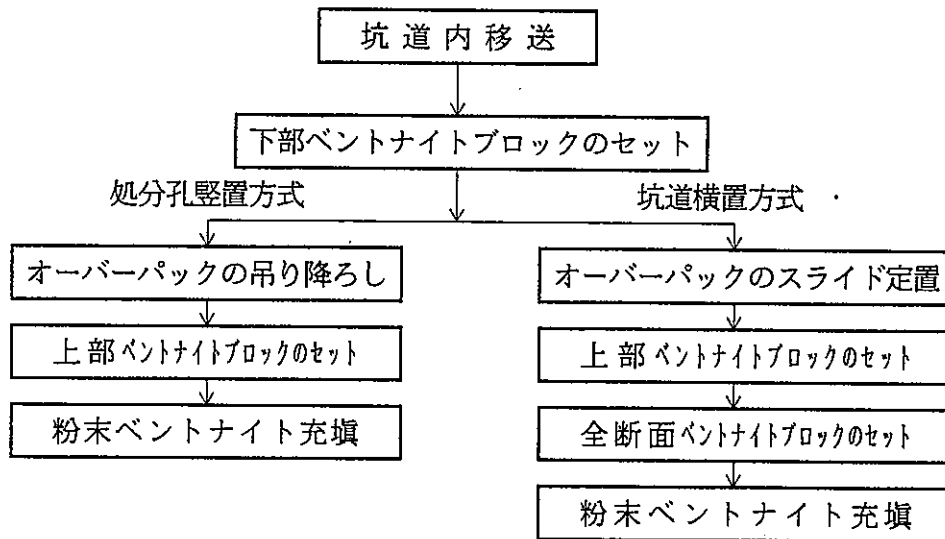


図 3.6 地下施設での基本的作業フロー（例）

3.3.1 処分孔縦置方式の場合

以下に図3.6の作業フローにしたがって処分孔縦置方式の場合の作業手順とその内容を示す。

(1) 坑道内移送

アクセス施設から搬出したキャスクカーに牽引車を連結し、処分坑道の所定の位置まで廃棄体を移送する。

(2) 下部ベントナイトブロックのセット

処分孔底部に粉末ベントナイト等のベースパットを施工後、オーバーパックの吊り降ろしに先立って下部ベントナイトブロックを設置する。

(3) オーバーパックの吊り降ろし

処分孔上部にキャスクカーを位置決めし、固定後キャスクカー底部のシャッターを開口し、オーバーパックを処分孔内に定置する。

(4) 上部ベントナイトブロックのセット

先に定置したベントナイトブロックとオーバーパックの隙間に粉末ベントナイト等を充填後、上部ベントナイトブロックをセットし、さらに周辺岩盤とベントナイトブロック間の隙間に粉末ベントナイト等を充填する。

以上の廃棄体及び緩衝材のハンドリングに係わる処分孔豎置方式の作業フローを図3.7に示す。

3.3.2 坑道横置方式の場合

以下に図3.6の作業フローにしたがって坑道横置方式の場合の作業手順とその内容を示す。

(1) 坑道内移送

アクセス施設から搬出したキャスクカーに牽引車を連結し、処分坑道の所定の位置まで廃棄体を移送する。

(2) 下部ベントナイトブロックのセット

オーバーパックの定置に先立ち、オーバーパックの下部のベントナイトブロックを架構に設けたハンドクレーンでセットする。

(3) オーバーパックのスライド定置

オーバーパックをキャスクカーからリフト台車に移動させ、渡し桁上をハンドクレーンでスライドさせて所定の位置に定置する。

(4) 上部ベントナイトブロックのセット

オーバーパックの上部に位置するベントナイトブロックを架構に設けたハンドクレーンでセットする。

(5) 全断面ベントナイトブロックのセット

次の廃棄体定置位置まで、処分坑道の全面に渡りベントナイトブロックをセットする。この時、作業の進捗に伴い架構を順次移動させながら繰り返し作業を行う。

(6) 粉末ベントナイト充填

1サイクル分の定置作業の仕上げとして、処分坑道の上部壁面とベントナイトブロックとの隙間に粉末ベントナイト等を充填する。

以上の廃棄体及び緩衝材のハンドリングに係わる坑道横置方式の作業フローを図3.8に示す。

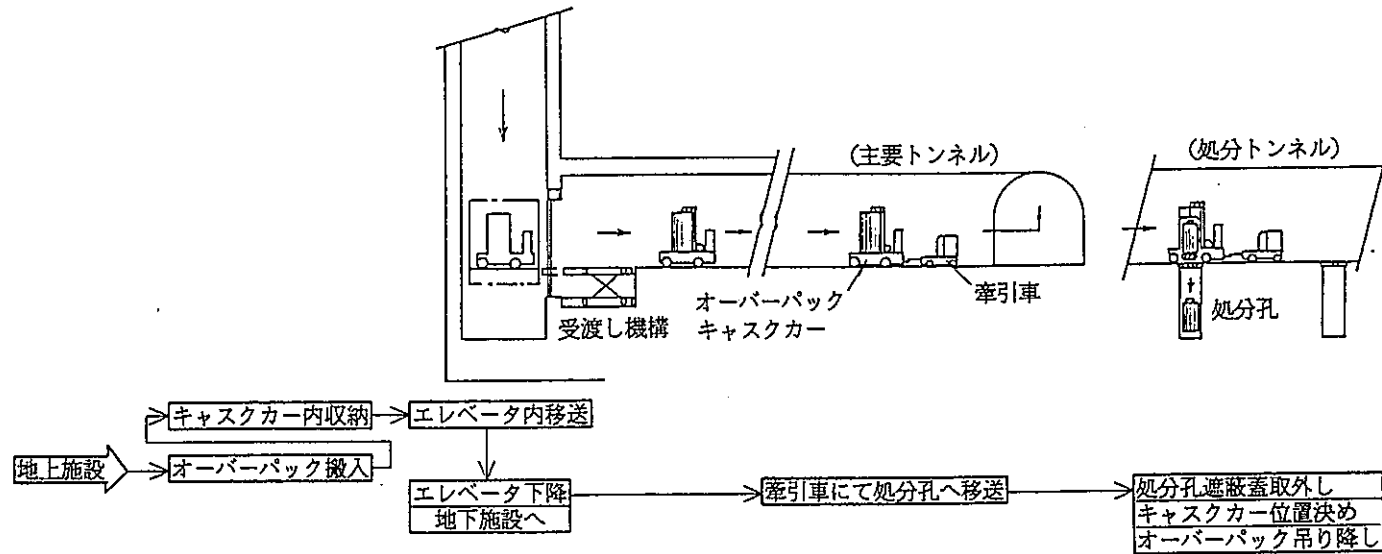


図 3.7 地下施設内の作業フロー（処分孔豎置方式）（例）

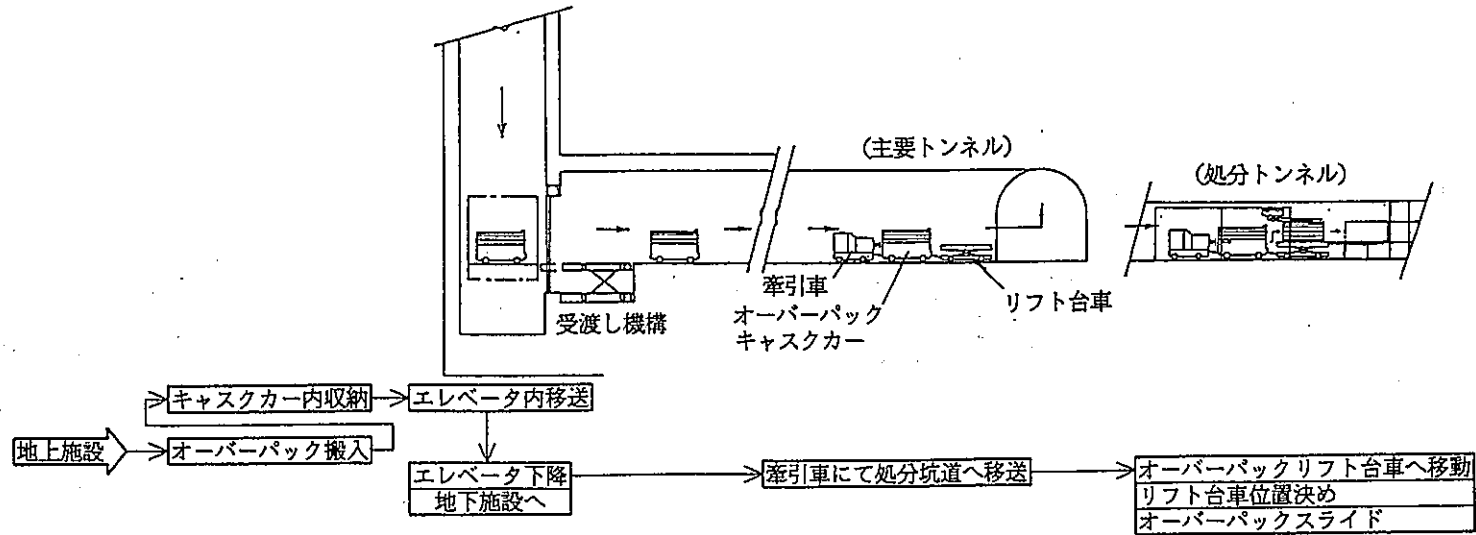


図 3.8 地下施設内の作業フロー（坑道横置方式）（例）

4. 操業システム

3章で示した操業手順にしたがって、操業システムの検討を実施し、地上施設、アクセス施設、地下施設毎の操業設備の具体例を示す。

尚、廃棄体の受け入れ速度については、ガラス固化体の総処分量40,000本、操業期間30年、年間の作業日数を240日として6本/日と設定した。

4.1 地上施設

3章の操業手順で示したように、地上施設の主要な機能としては、キャスクの検査、ガラス固化体のハンドリング、ガラス固化体の検査、ガラス固化体のオーバーパックへの封入及びオーバーパックの検査等である。この他に付随的機能としてとして運転管理、放射線管理、防消火、二次廃棄物管理及びユーティリティー供給が必要となる。

これらの機能と操業手順を考慮した地上施設の具体例を、図4.1に示す。

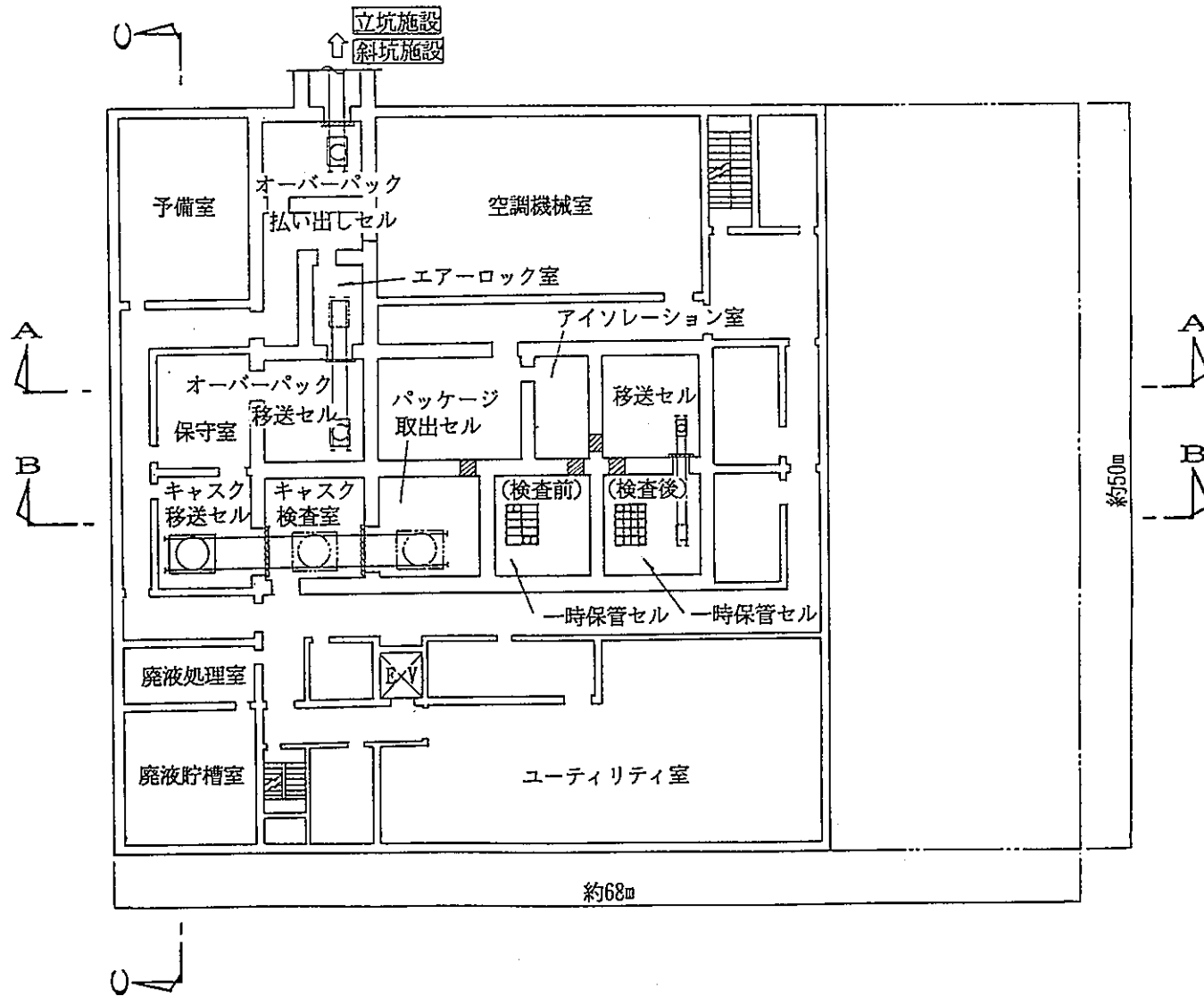


図 4.1 (1/6) 地上施設の概念仕様(B1F) (例)

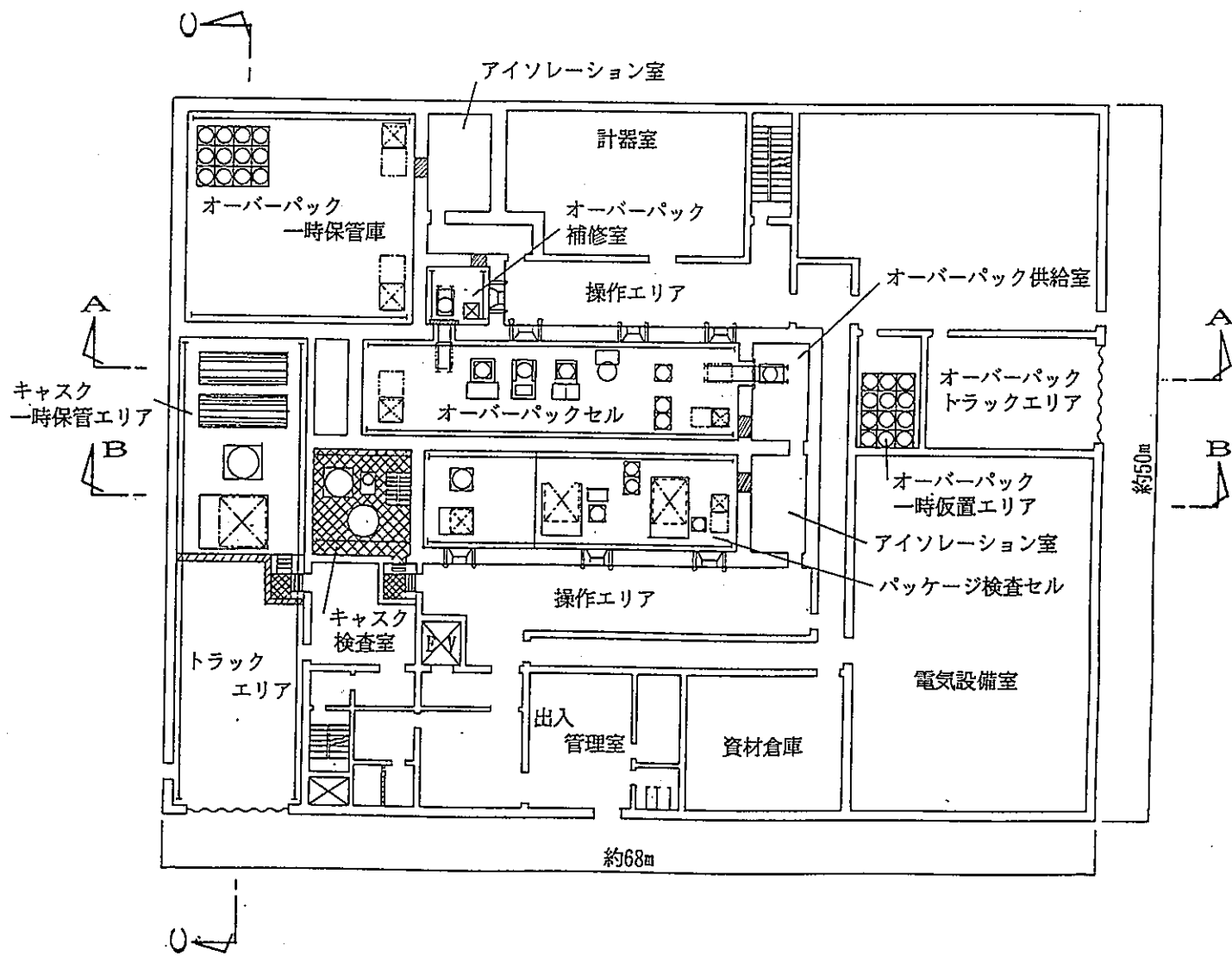


図 4.1 (2/6) 地上施設の概念仕様(1F) (例)

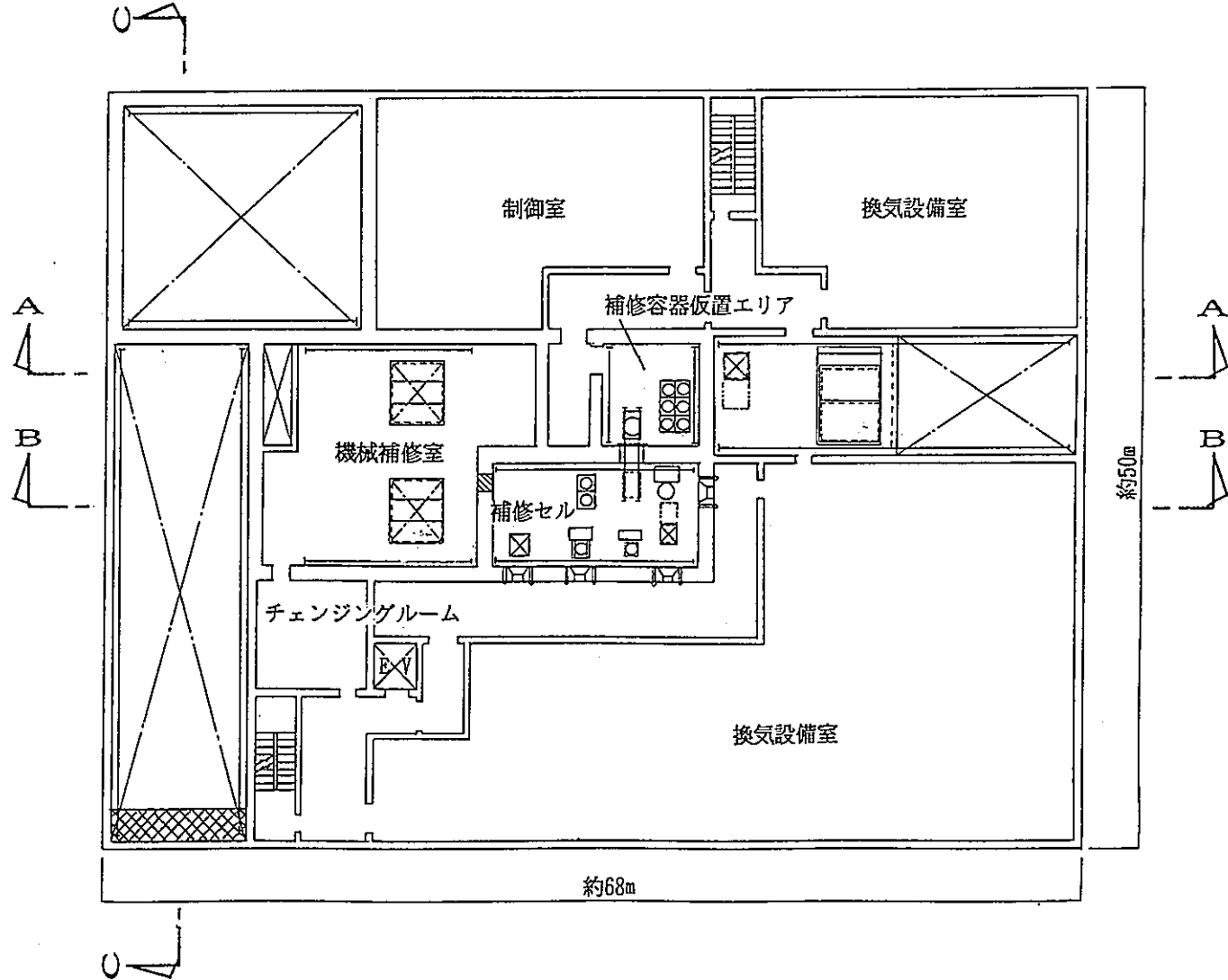


図 4.1 (3/6) 地上施設の概念仕様(2F) (例)

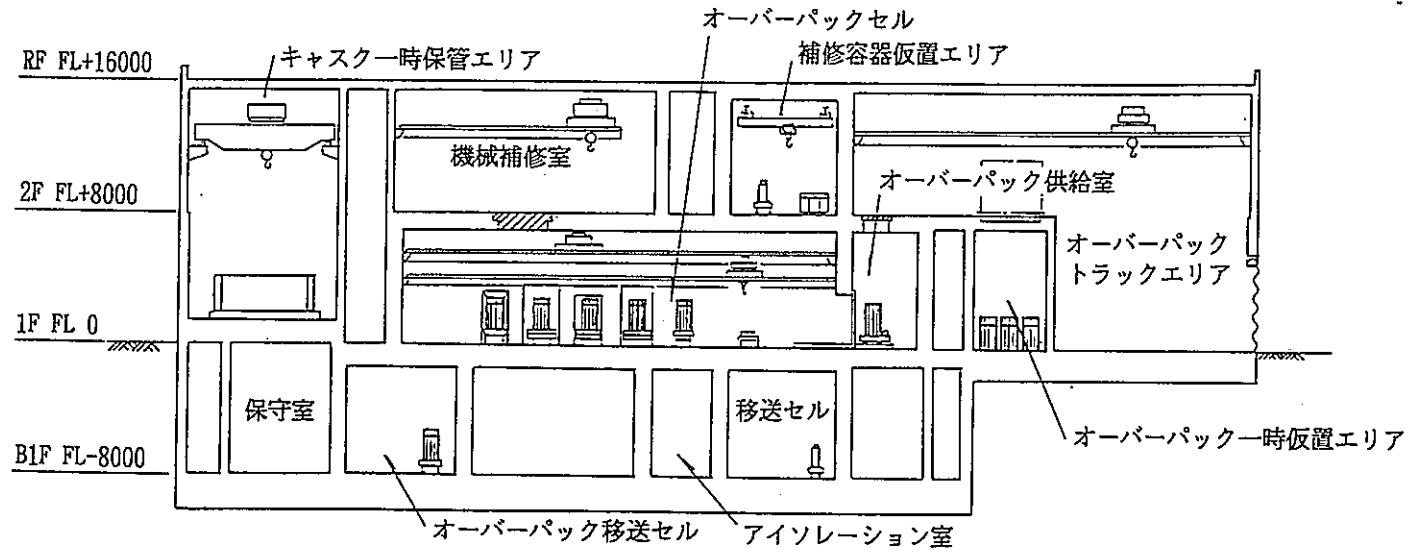


図 4.1 (4/6) 地上施設の概念仕様 (A-A 断面) (例)

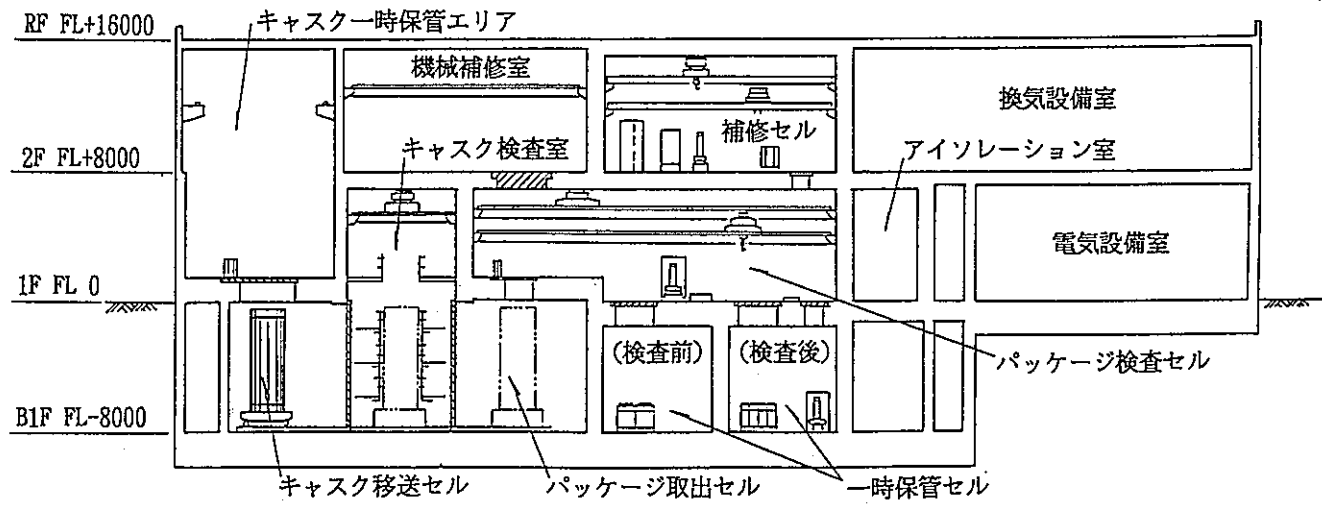


図 4.1 (5/6) 地上施設の概念仕様 (B-B断面) (例)

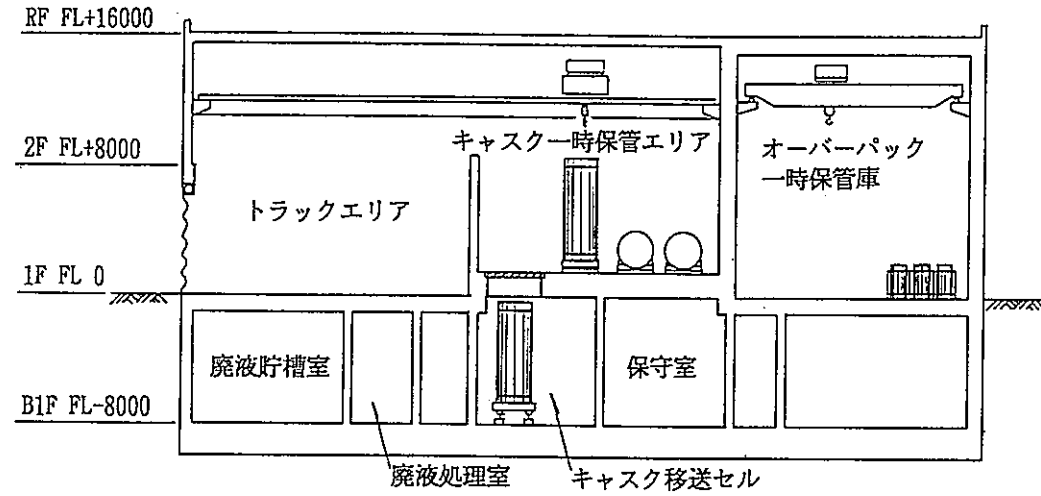


図 4. 1 (6/6) 地上施設の概念仕様 (C - C 断面) (例)

4.2 アクセス施設

アクセス方式として立坑方式を採用した場合の主要な搬送設備として、ここでは現状技術を適用したエレベータの概念仕様を検討した。

検討の条件は以下の通りである。

- ① 立坑径 $\phi 6,500$ mm
- ② 立坑深度 1,000 m
- ③ オーバーパック寸法 $\phi 1,040$ mm \times 1,950 mm (高さ)
- ④ キャスクカー寸法 3,500 mm \times 2,000 mm \times 3,400 mm (高さ)
- ⑤ 運搬荷重

ガラス固化体	492kg
オーバーパック	11,400kg
キャスクカー	4,000kg

合 計 約 16,000kg

以上の条件に基づいて検討したエレベータ仕様例を図4.2に、また、立坑水平断面を図4.3に示す。本エレベータは現状技術で十分対応可能である。

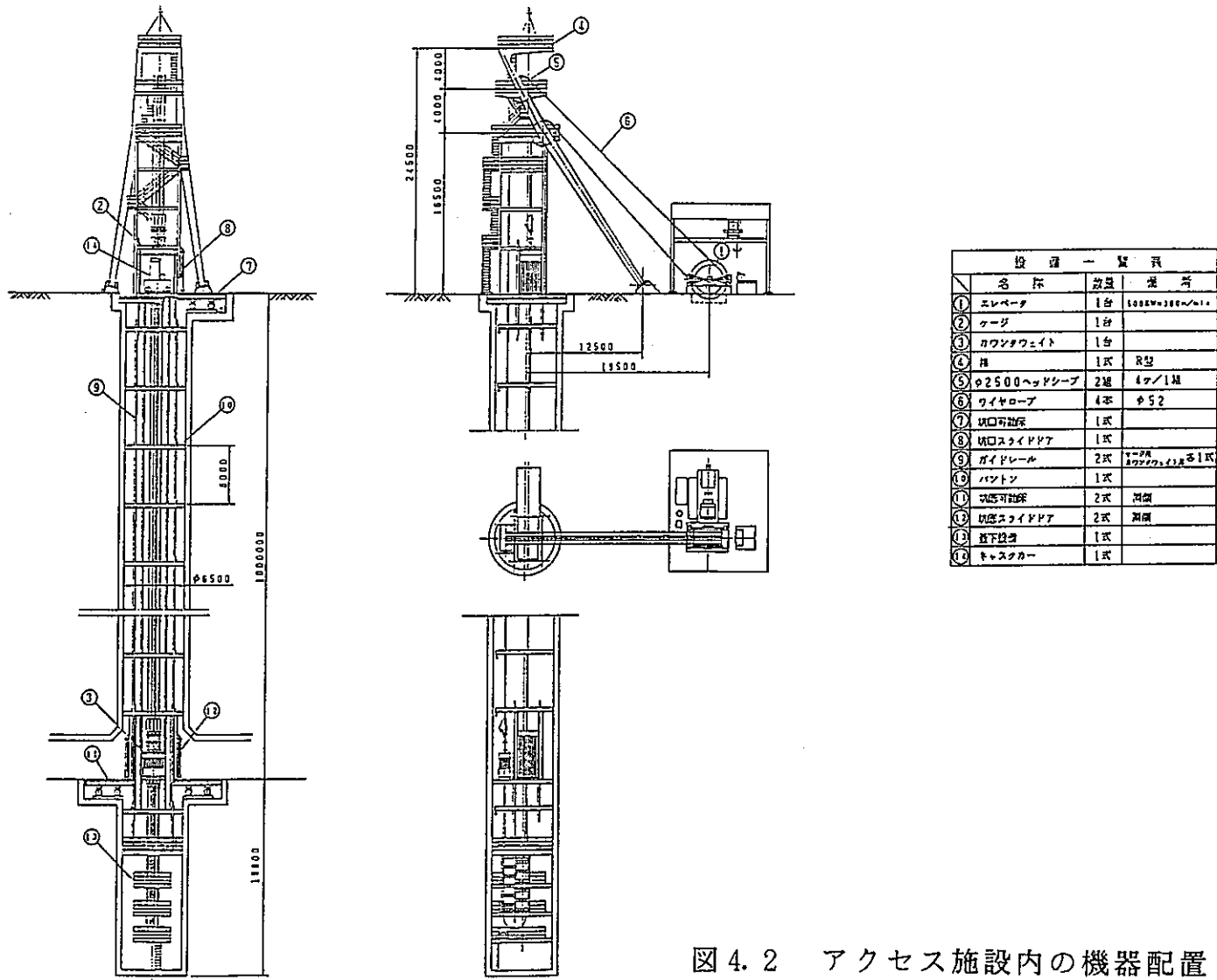


図 4. 2 アクセス施設内の機器配置 (例)

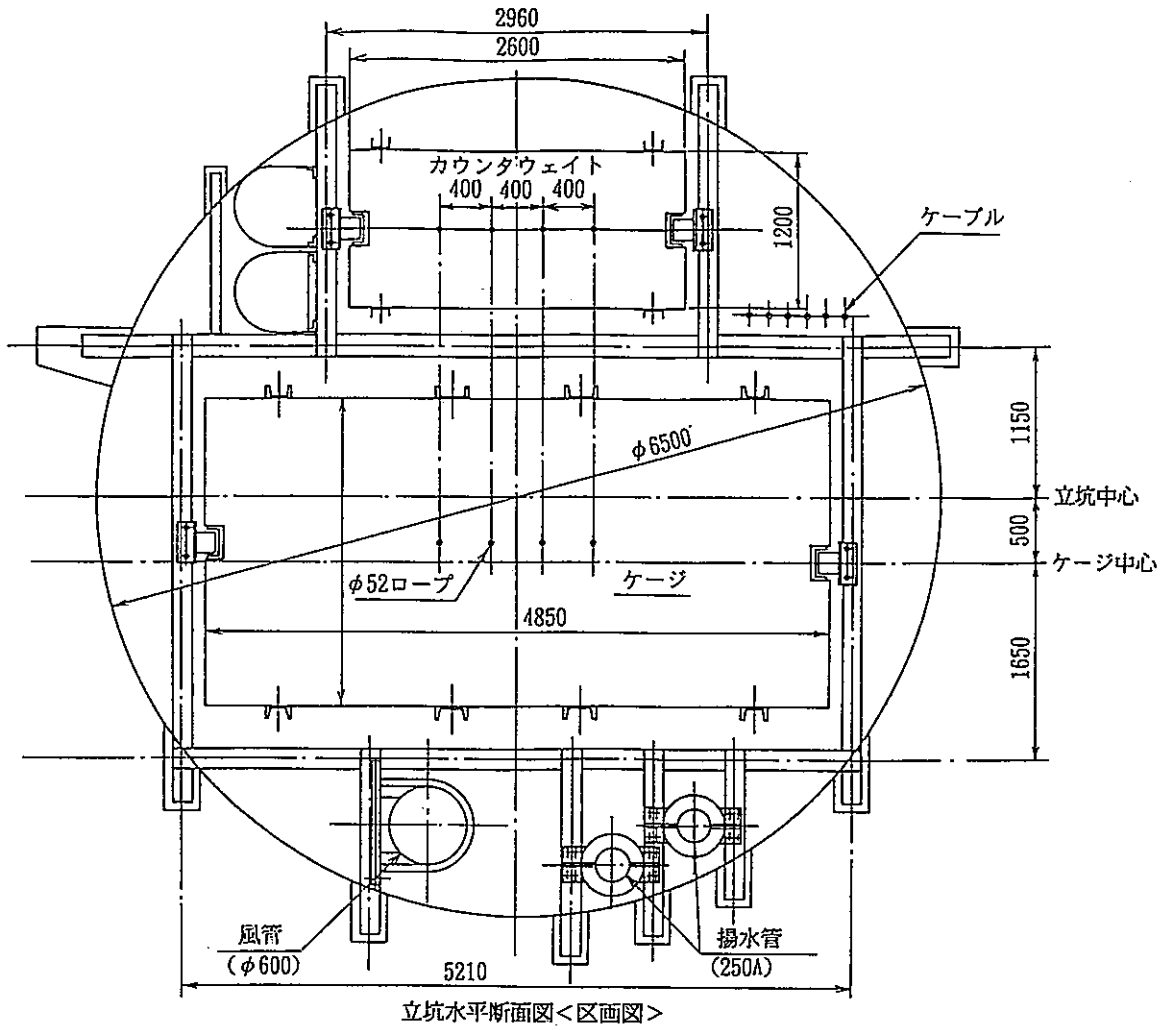


図 4. 3 立坑水平断面 (例)

4.3 地下施設

4.3.1 搬送システム

地下施設における搬送システムとして考えられるものとしては、

- ① チェインコンベア方式
- ② 鉄道方式
 - 自走式
 - 給電式
- ③ 無軌道車両方式
 - 自走式
 - 給電式
 X 誘導線走行路敷設
 X 無線誘導

がある。

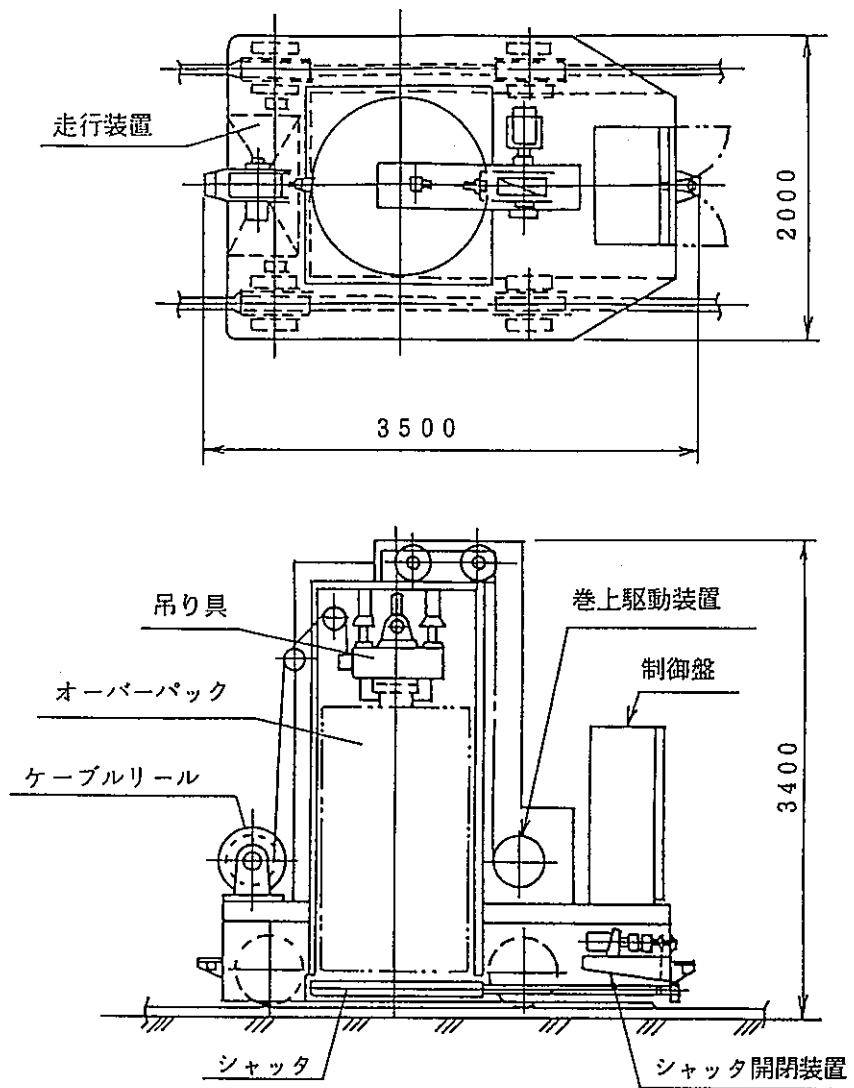
チェインコンベア方式は、機械可動部が多く、施工およびメンテナンスなどについて他の方式より劣ると考えられる。

鉄道方式および無軌道車両方式には自走式と給電式があるが、走行中の安全性等を考えると低速走行となるため、バッテリー搭載による自走方式で十分と考えられ、ここでは自走式を検討する。鉄道方式は、施工性、経済性にやや難があるが、一般産業における豊富な経験から信頼性や安全性は高いものと考えられる。また、廃棄体の定置精度を考慮すると現時点では、鉄道方式の方が無軌道車両方式より信頼性が高いと考えられる。ここでは、鉄道方式について処分搬送システムの検討を行った。

廃棄体の搬送設備は、オーバーパックキャスクカーとこれを牽引する牽引車とから構成される。また、オーバーパックキャスクカー、牽引車ともレール上を走行する。

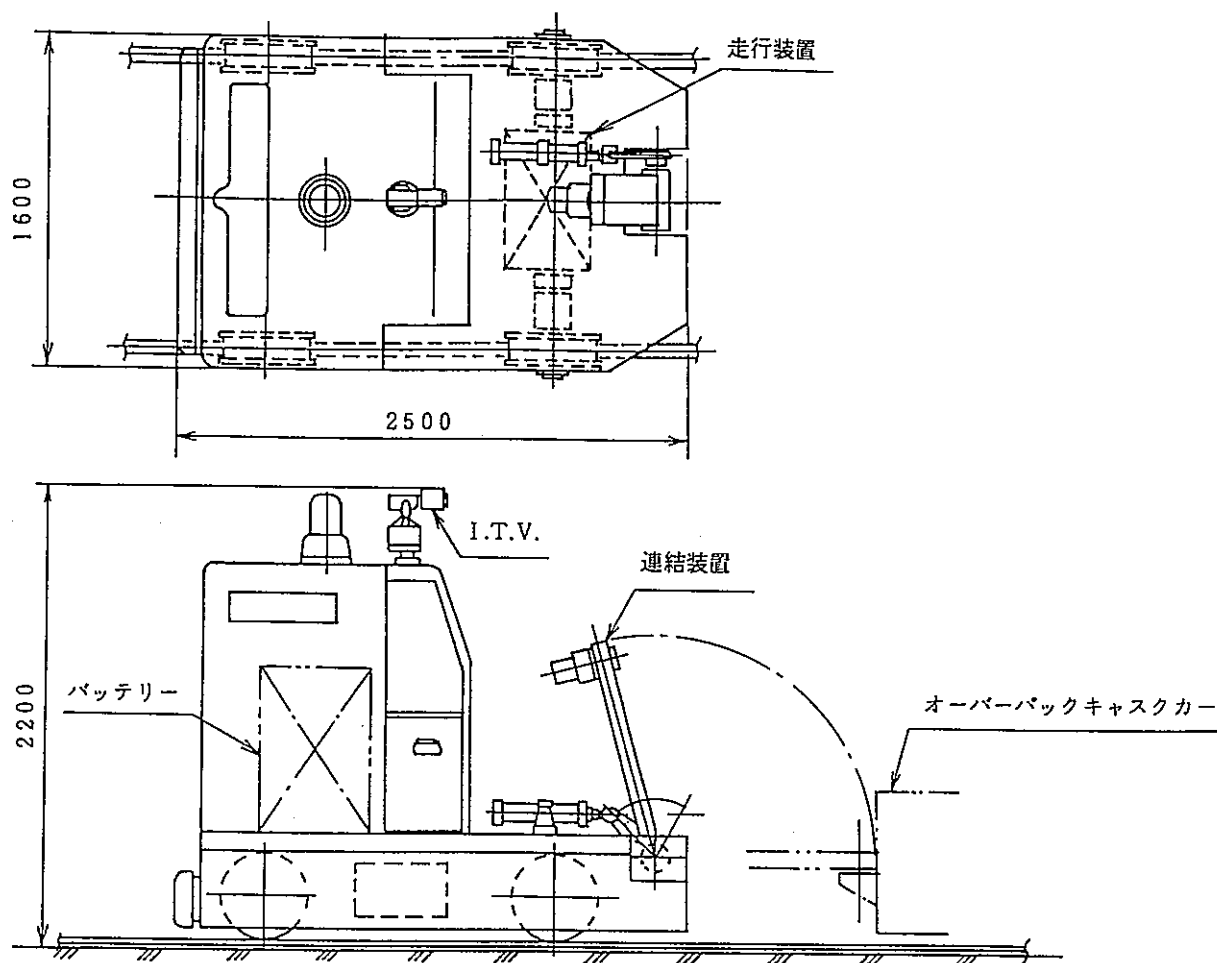
なお、牽引車の搬送速度は事故防止の観点から数km/hが望ましいと考え、5 km/hと設定した。

図4.4にオーバーパックキャスクカーの概念図を、図4.5に牽引車の概念図を示す。



仕	様
総重量	4ton
巻上速度	3m/min
シャッタ開閉速度	2m/min
収納物重量	11.4ton

図 4.4 オーバーバックキャスクカー概念図 (例)



仕 様	
牽引総重量	15000kg
動 力	バッテリー
速 度	5 km/hr
監 視	I. T. V

図 4.5 牽引車概念図 (例)

4.3.2 定置システム

廃棄体の定置方式として、処分孔豎置方式と坑道横置方式について定置システムを検討した。

(1) 処分孔豎置方式

ベントナイトブロック間の隙間、及びベントナイトブロックとオーバーパックや周辺岩盤間の隙間は、ベントナイトの密度を維持するために出来るだけ小さいことが望まれる。これらの隙間は、ベントナイトブロックの加工精度及びオーバーパックの定置精度に依存する。

オーバーパックの定置方式としては、次の3通りが考えられる。

- ① あらかじめオーバーパックにベントナイトブロックを巻いておき、そのまま処分孔に吊り下ろす。
- ② オーバーパックをあらかじめ吊り下ろし、後からベントナイトブロックを充填する。
- ③ ベントナイトブロックの施工済みのところにオーバーパックを吊り下ろす。

ベントナイトは、一般産業において、鋳物の鋳型として利用されており、ベントナイトブロックについては、高い施工精度が期待できる。したがって、ベントナイトブロックの内張の施工精度については問題ないものと考えられる。

一方、ベントナイトブロックとオーバーパック間の隙間については、オーバーパックの位置決め精度を上げるために、レールによる走行方式としても、オーバーパックをクレーンで吊り下げる際の裕度は、2,3 cmは必要と考えられる。

これらを考慮すると、①の方式はオーバーパックとベントナイトブロックの隙間は小さく出来るが、逆にベントナイトブロックと処分孔壁の間に隙間が生じることになる。また、定置前の加工作業が必要であること、吊り下ろすもののサイズが大きくなるため、作業エリア・機器が大型化するなどの問題点が多く、特に大きな長所も認められない。

②の方式は、ベントナイトブロックを小型化し、ハンドメイド的な充填作業を行えば隙間を小さくすることが可能であるが、ベントナイトブロック充填作業については、人に頼らない限り高度な機械化が必要となる。従ってベントナイトブロックの充填作業がどこまで自動化出来るかに採用の可否が掛かってくる。

③の方式は、作業が最も簡単である。また、オーバーパックとベントナイトブロックの間の隙間に関しては、粉末ベントナイトを充填することで対処可能と考えられる。

従って、ここでは③の方式を検討するものとする。

このときのベントナイトブロックの重量は、処分孔の直径3 m、深さ5 m程度を想定すると1処分孔当たり約17ton となるので、エレベータによる搬入は2回に分ける必要がある。

③の方式を採用した場合、定置作業は、下部ベントナイトブロックのセット、オーバーバックの吊り下ろし、上部ベントナイトブロックのセットの3段階に分けることができる。図4.6に処分孔豎置方式の廃棄体及びベントナイトブロックの定置概念図を示す。

ベントナイトブロックの定置や粉末ベントナイトの充填作業は、架構に設けたハンドクレーンにより無人化を図ることが可能である。なお、この架構は可動式とし定置作業完了後、次の処分孔へ移動する。

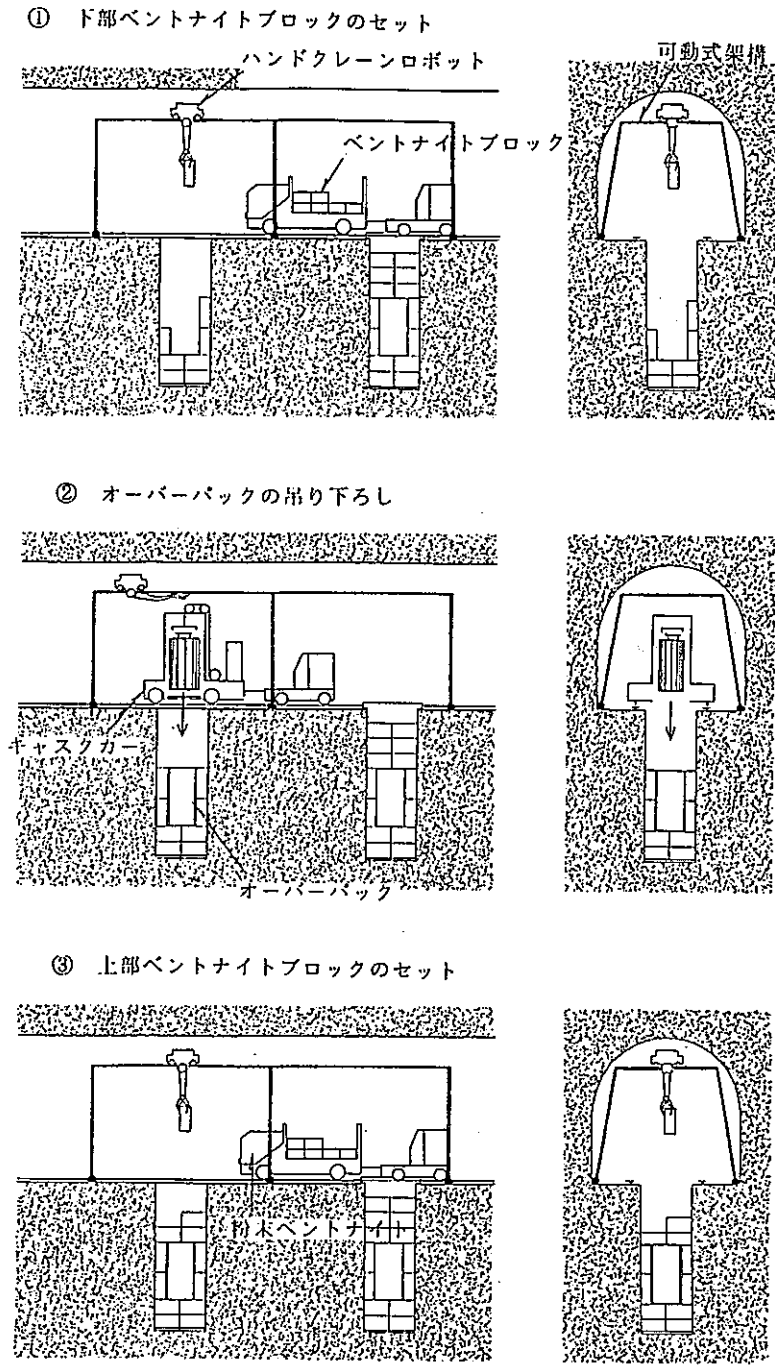


図 4.6 定置概念図（処分孔豎置方式）（例）

(2) 坑道横置方式

坑道横置の場合、緩衝材としてのベントナイトは、坑道全面に施されることになり、緩衝材の定置行為により処分坑道は閉鎖される。単に坑道を閉鎖するのであれば、その施工方法としてはローラー転圧+吹付け方式や加圧式振動締固め方式等が考えられる。しかし、ここでは廃棄体を一定間隔で定置するとともに、廃棄体周囲の緩衝材としての機能を十分に発揮させるためにベントナイトの密度を維持しなければならない。

そこで、処分孔竖置の場合と同様に高圧縮ベントナイトブロックを積上げる方式を考えるものとする。尚、ここでは処分坑道の直径を3m、廃棄体の定置ピッチを7mとして検討する。

ベントナイトブロックの大きさは、定置作業の効率上からみるとある程度大きいことが望ましい。しかし、ブロックの製作加工性やハンドリング上あまり大きすぎると好ましくない。ここでは、処分坑道の直径、廃棄体の大きさを考え、

$$\text{体積}V < 1 \text{ m}^3, \text{重量}W < 2 \text{ ton}$$

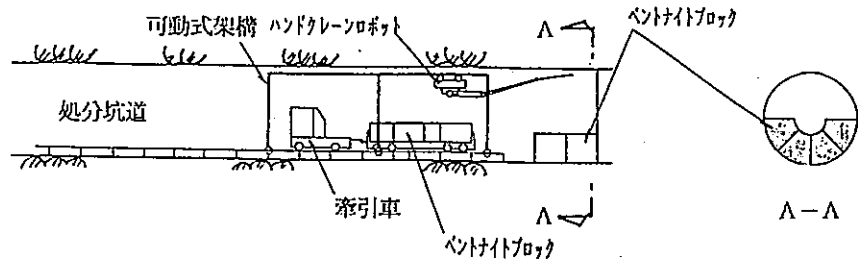
と設定する。

このとき、ベントナイトブロックの重量は、処分坑道における定置作業の1サイクル当たり約96ton となるので、エレベータによる資材の搬入は、エレベータの積載許容荷重16ton 及び台車の重量を考慮すると7回に分ける必要がある。

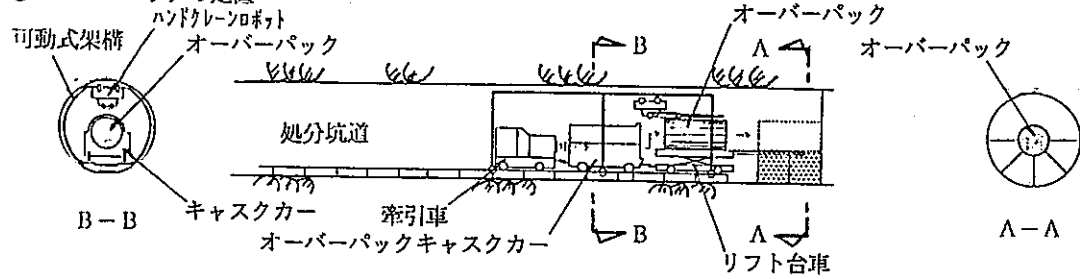
また、坑道横置の場合には処分孔竖置の場合のように、一方通行の物流を考えることはできず、ピストン輸送となる分、次節で述べるように定置時間にかなり時間をようすと予測される。そこで、輸送は次のように考える。エレベータによって地下施設に搬入されたベントナイトブロックの内、第2回目と第3回目、第4回目と第5回目、第6回目と第7回目については、それぞれ坑底にて資材搬送台車を連結させ、1台の牽引車で定置位置まで搬送するものとする。

以上より、定置作業は、図4.7の概念図に示すように6台の牽引車によるピストン作業となる。また、ベントナイトブロックやオーバーパットの定置及び粉末ベントナイトの充填作業等は架構に設けたハンドリングクレーンロボットにより無人化を図ることが可能である。なお、この架構は可動式とし、定置作業の進捗状況に応じて移動するものとする。

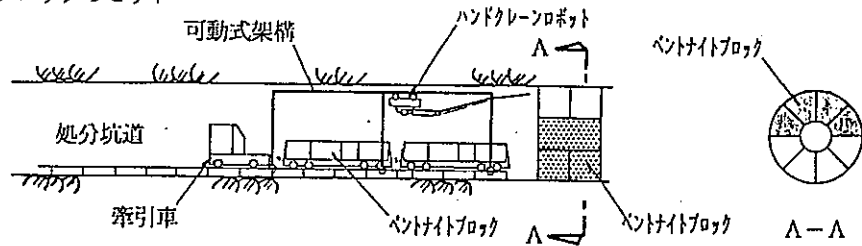
①下部ベントナイトブロックのセット



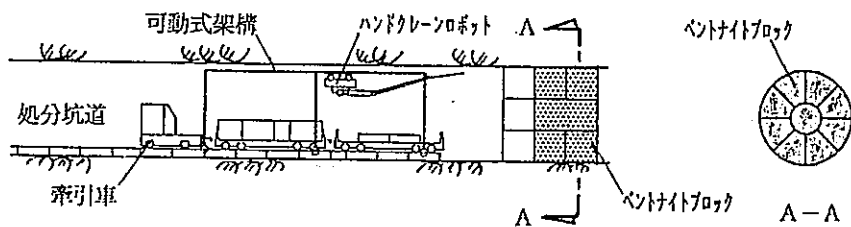
②オーバーパックの定置



③上部ベントナイトブロックのセット



④全断面ベントナイトブロックのセット



⑤全断面ベントナイトブロックのセット

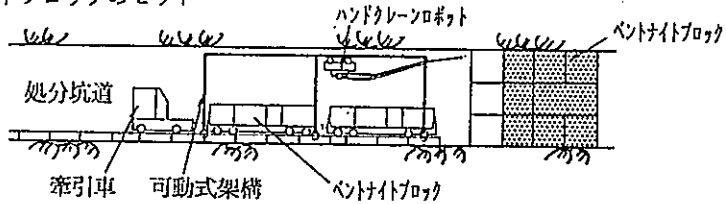
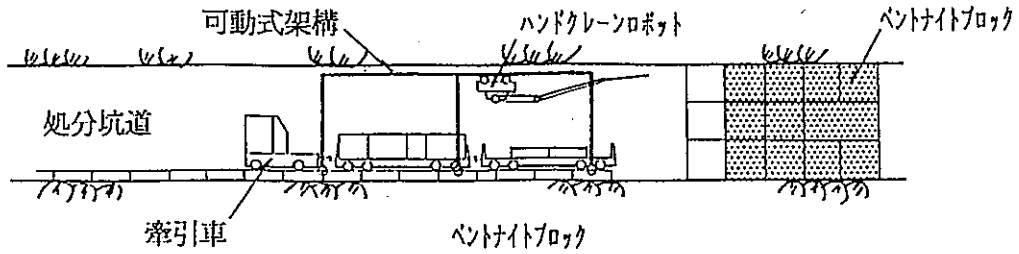
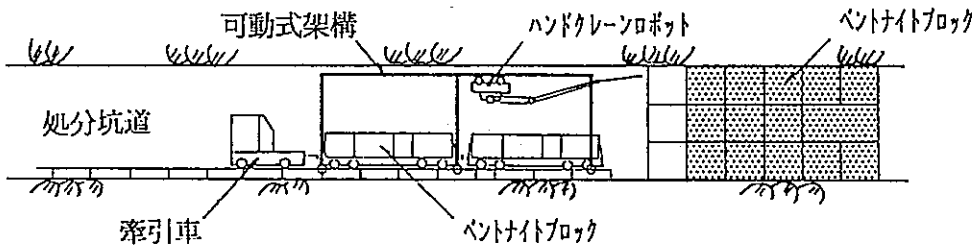


図 4. 7 (1/2) 定置概念図 (坑道横置方式) (例)

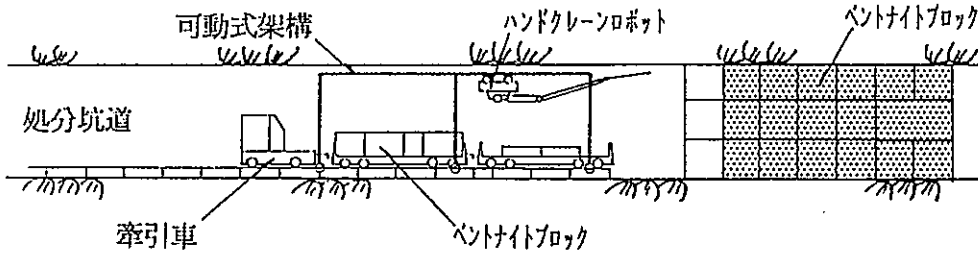
⑥全断面ベントナイトブロックのセット



⑦全断面ベントナイトブロックのセット



⑧全断面ベントナイトブロックのセット



⑨粉末ベントナイト充填

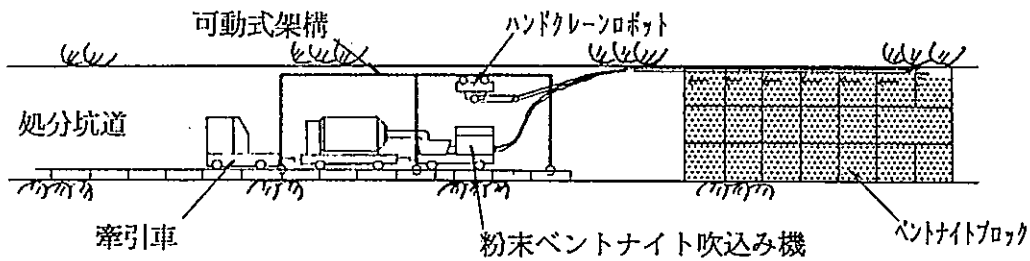


図 4. 7 (2/2) 定置概念図 (坑道横置方式) (例)

5. 操業スケジュール

3.操業手順, 4.操業システムの検討に基づき各定置方式毎に一日当たりの基本的な操業スケジュールについて検討する。

5.1 処分孔竖置方式

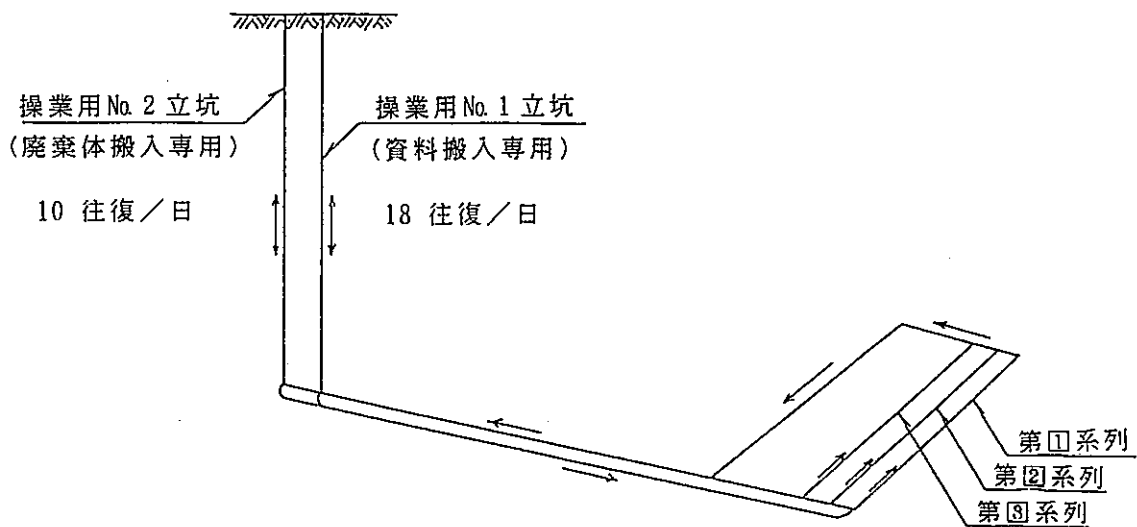
4.4.2項で示したように, 処分孔竖置方式では, 廃棄体の定置作業を, 下部ベントナイトブロックのセット, オーバーパックの吊り下ろし, 上部ベントナイトブロックのセットの3段階に分けて実施することとし, 表5.1に示す作業項目を考慮して下記の条件のもとに, 一日当たり6体の廃棄体を定置する場合の操業スケジュールを検討した。

- ① 操業立坑は2本を基本とし, 1本は廃棄体搬入専用, 他の1本は資材搬入専用とする。
- ② 操業の系列数は3と設定し, 各系列でそれぞれ2本ずつ定置する。
- ③ 1日の稼働時間ができるだけ短くなるようにエレベータの運行計画を設定する。
- ④ 処分場内では牽引車は一方通行とし, その搬送距離は以下に示すように往路, 復路それぞれに処分孔位置による最大値を考える。

往路(坑底→処分孔) : 約4 km, 40分

復路(坑底←処分孔) : 約5 km, 50分

以上の条件に基づくと, 処分場の操業は図5.1に示すようなルートとなる。また, 一日当たりの操業の基本的スケジュールは表5.2のようになる。



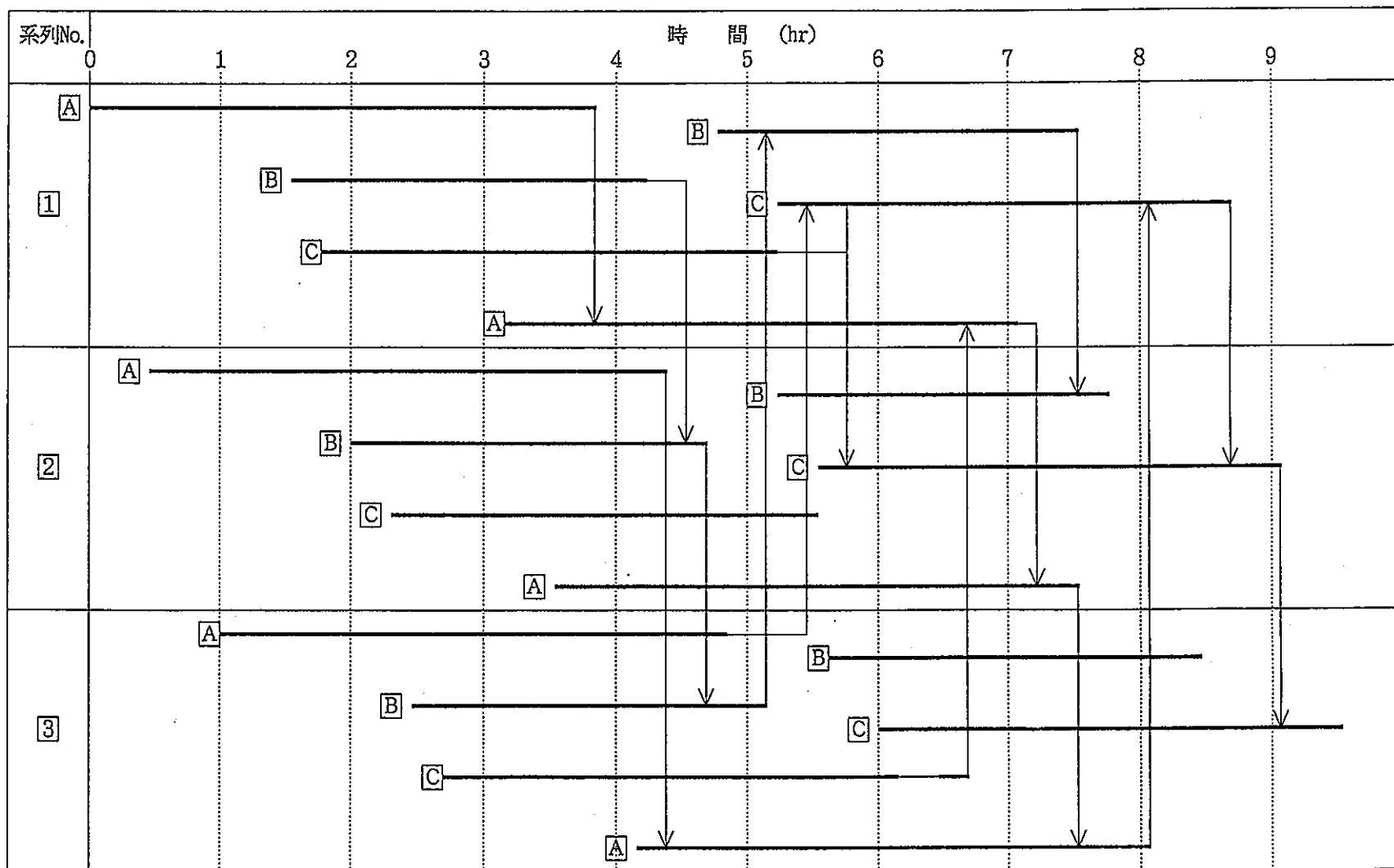
- ・ 1日の稼働時間 約10時間
 - ・ 資材搬送台車必要台数 3台/系列×3系列=9台
 - ・ キャスクカーの必要台数 1台/系列×3系列=3台
 - ・ 牽引車の必要台数 (3+1)台/系列×3系列=12台
 - 資材用 廃棄体用
- 地上坑口における牽引車は別途
1台/立坑×2立坑=2台必要

図 5.1 作業ルート（処分孔豎置方式）（例）

表 5.1 処分孔竖方式の作業項目（例）

作 業 項 目	
A 下 部 ベ ン ト ナ イ ト の 定 置	1) 下部ベントナイトブロック積荷
	2) エレベータに搭載
	3) エレベータ降下
	4) 坑底荷御し
	5) エレベータ上昇
	6) 牽引車連結
	7) 処分孔位置まで搬送（往路）
	8) 下部ベントナイトブロックの定置作業一式
	9) 立坑位置まで移動（復路）
	10) エレベータ降下
	11) エレベータ乗車
	12) エレベータ上昇
	13) エレベータ下車
B オ ー バ ー バ ッ ク の 定 置	14) 坑口までのオーバーバックの移動
	15) オーバーバックのキャスカへの収納、及びエレベータへの搭載
	16) エレベータ降下
	17) 坑底荷御し
	18) エレベータ上昇
	19) 牽引車連結
	20) 処分孔位置まで搬送（往路）
	21) オーバーバックの定置作業一式
	22) 立坑位置まで移動（復路）
	23) エレベータ降下
C 上 部 ベ ン ト ナ イ ト の 定 置	24) 空キャスカのエレベータへの搭載
	25) エレベータ上昇
	26) エレベータ下車
	27) 上部ベントナイトブロック積荷
	28) エレベータに搭載
	29) エレベータ降下
	30) 坑底荷御し
	31) エレベータ上昇
	32) 牽引車連結
	33) 処分孔位置まで搬送（往路）
他	34) 上部ベントナイトブロックの定置作業一式
	35) 立坑位置まで移動（復路）
	36) エレベータ降下
	37) エレベータ乗車
	38) エレベータ上昇
	39) エレベータ下車
	40) キャスカあるいは牽引車の車庫へ移動
	41) 架構移動

表 5. 2 処分孔豎置方式における基本的スケジュール (例)



5.2 坑道横置方式

4.4.2項で示したように坑道横置方式では、ベントナイトブロックの搬入を7回に分けて実施することとし、表5.3に示す作業項目を考慮して下記条件のもとに操業一日当たり6体の廃棄体を定置する場合の操業スケジュールを検討した。

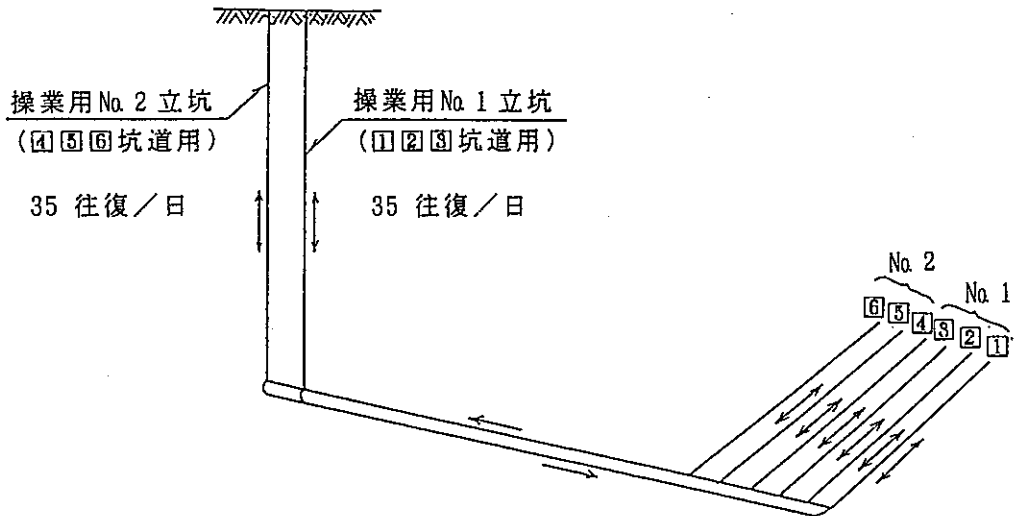
- ① 操業用立坑は2本を基本と考えるが、処分孔竖置方式の場合と異なりベントナイトブロックの搬入量が多いため、これら2本の立坑は、各1本毎にそれぞれ3系列分の廃棄体搬入と資材搬入をまかなうものとする。
- ② 操業系列数を6と設定し、各系列で各々1本ずつ定置する。
- ③ 1日の稼働時間ができるだけ短くなるようにエレベータの運行計画を設定する。
- ④ 搬送距離は以下に示すように最大値を考え、立坑坑底より最も遠い所の定置位置を考える。

往路（坑底→坑道定置位置）：約4 km, 40分

（内、処分坑道でのピストン輸送分約1.3 km, 13分）

復路（坑底←坑道定置位置）：同 上

以上の条件に基づくと、処分場の操業は図5.2に示すようなルートとなる。また、一日当たりの操業の基本的スケジュールは表5.4のようになる。



* No.1立坑による ①②③ 坑道の定置サイクルと、No.2立坑による ④⑤⑥ 坑道の定置サイクルは基本的に同様である。

- ・ 1日の稼働時間 約14時間
- ・ 資材搬送台車の必要台数 $12 \text{台} / \text{立坑} \times 2 \text{立坑} = 24 \text{台}$
- ・ キャスクカーの必要台数 $3 \text{台} / \text{立坑} \times 2 \text{立坑} = 6 \text{台}$
(オーバーバック定置用リフトカーも同数必要)
- ・ ハットナイフリフト搬送台車の必要台数 $1 \text{台} / \text{立坑} \times 2 \text{立坑} = 2 \text{台}$
(ハットナイフリフト-充填器も同数必要)
- ・ 牽引車の必要台数 $(6+3) \text{台} / \text{立坑} \times 2 \text{立坑} = 18 \text{台}$ … 地上坑口における牽引車は別途

{	6	3	}
	資材用	廃棄体用	

{	1	1	}
	資材用	廃棄体用	

図 5. 2 作業ルート（坑道横置方式）（例）

表 5. 3 (1/3) 坑道横置方式の作業項目 (例)

作 業 項 目	
因 下 部 ベ ン ト ナ イ ト の 定 置	1) 下部ベントナイトブロック積荷
	2) エレベータに搭載
	3) エレベータ降下
	4) 坑底荷卸し
	5) エレベータ上昇
	6) 牽引車連結
	7) 処分坑道定置位置まで搬送 (往路)
	8) 下部ベントナイトブロックの定置作業一式
	9) 立坑位置まで移動 (復路) (処分坑道でのピストン輸送時間13分を含む。)
	10) エレベータ乗車
	11) エレベータ上昇
	12) エレベータ下車
因 オ ー バ ー バ ッ ク の 定 置	13) 坑口までのオーバーバックの移動
	14) オーバーバックのキャスクカーへの収納
	15) エレベータに搭載
	16) エレベータ降下
	17) 坑底荷卸し
	18) エレベータ上昇
	19) 牽引車及びリフト台車連結
	20) 処分坑道定置位置までの搬送 (往路) (処分坑道でのピストン輸送時間13分を含む。)
	21) オーバーバックの定置作業一式
	22) 立坑位置まで移動 (復路) (処分坑道でのピストン輸送時間13分を含む。)
	23) 空キャスクカーのエレベータへの搭載
	24) エレベータ上昇
	25) エレベータ下車
因 上 部 及 び 全 断 面 ベ ン ト ナ イ ト の 定 置	26) 上部ベントナイトブロック積荷
	27) エレベータに搭載
	28) エレベータ降下
	29) 坑底荷卸し
	30) エレベータ上昇
	31) 牽引車連結
	32) 全断面ベントナイトブロック積荷
	33) エレベータに搭載
	34) エレベータ降下
	35) 坑底荷卸し
	36) エレベータ上昇
	37) 牽引車連結
	38) 処分坑道定置位置まで搬送 (往路) (処分坑道でのピストン輸送時間13分を含む。)
	39) 上部及び全断面ベントナイトブロックの定置作業一式
	40) 立坑位置まで移動 (復路) (処分坑道でのピストン輸送時間13分を含む。)
	41) エレベータ乗車
	42) エレベータ上昇
	43) エレベータ下車

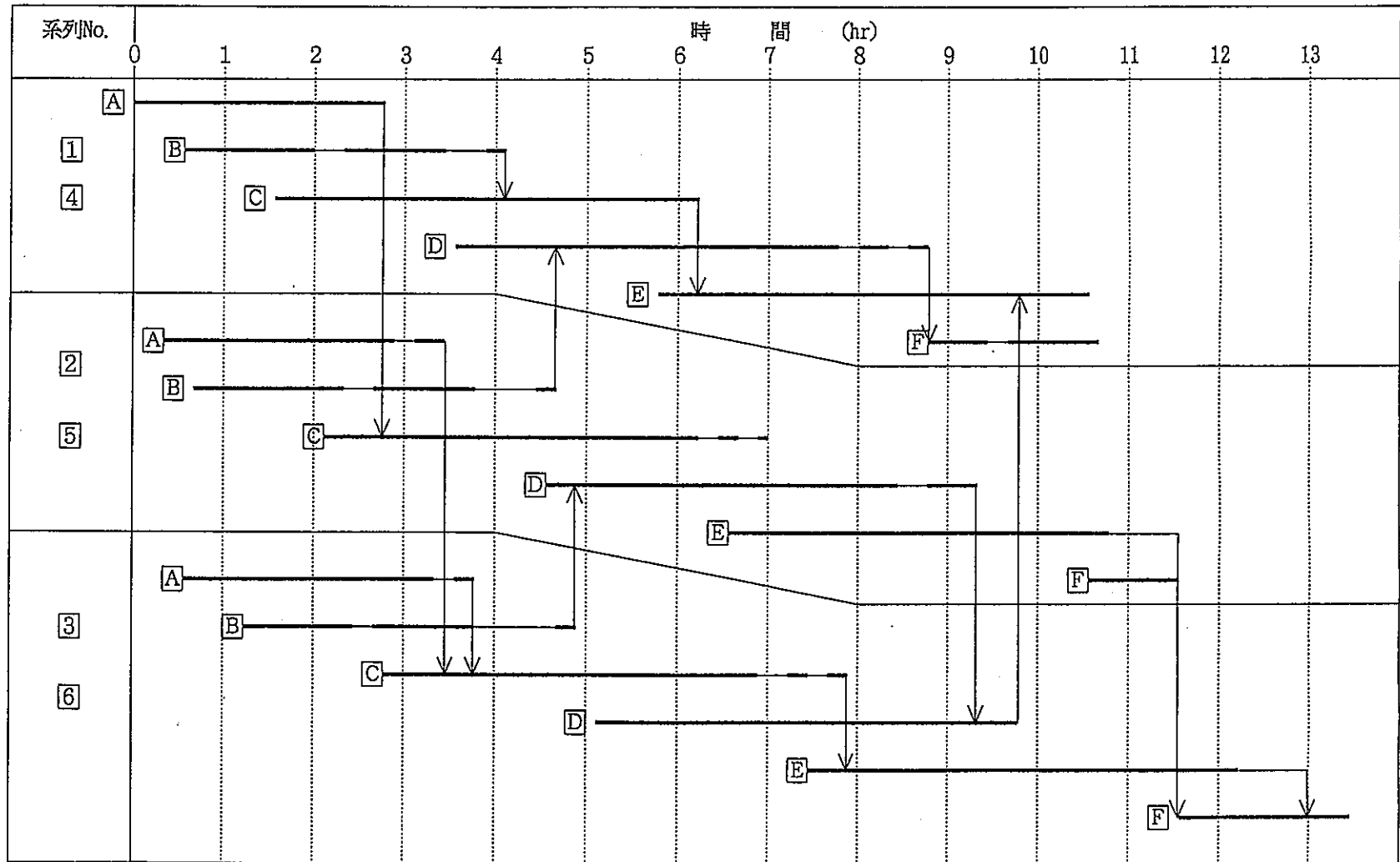
表 5. 3 (2/3) 坑道横置方式の作業項目 (例)

作 業 項 目	
Ⅲ 全断面 ベント ナイト の 定置	44) 全断面ベントナイトブロック積荷
	45) エレベータに搭載
	46) エレベータ降下
	47) 坑底荷卸し
	48) エレベータ上昇
	49) 牽引車連結
	50) 全断面ベントナイトブロック積荷
	51) エレベータに搭載
	52) エレベータ降下
	53) 坑底荷卸し
	54) エレベータ上昇
	55) 牽引車連結
	56) 処分坑道定置位置までの搬送 (往路) (処分坑道でのピストン輸送時間13分を含む。)
	57) 上部及び全断面ベントナイトブロックの定置作業一式
	58) 立坑位置まで移動 (復路) (処分坑道でのピストン輸送時間13分を含む。)
	59) エレベータ降下
Ⅳ 全断面 ベント ナイト の 定置	60) エレベータ乗車
	61) エレベータ上昇
	62) エレベータ下車
	63) 全断面ベントナイトブロック積荷
	64) エレベータに搭載
	65) エレベータ降下
	66) 坑底荷卸し
	67) 牽引車連結
	68) 全断面ベントナイトブロック積荷
	69) エレベータに搭載
	70) エレベータ降下
	71) 坑底荷卸し
	72) 牽引車連結
	73) 処分坑道定置位置まで搬送 (往路) (処分坑道でのピストン輸送時間13分を含む。)
74) 上部及び全断面ベントナイトブロックの定置作業一式	
75) 立坑位置まで移動 (復路) (処分坑道でのピストン輸送時間13分を含む。)	
76) エレベータ降下	
77) エレベータ乗車	
78) エレベータ上昇	
79) エレベータ下車	

表 5. 3 (3/3) 坑道横置方式の作業項目 (例)

作 業 項 目	
回 粉 末 ベ ン ト ナ イ ト 充 填	80) ベントナイトパウダーミルエレベータに搭載
	81) エレベータ降下
	82) 坑底荷卸し
	83) 牽引車連結
	84) 処分坑道定位置置まで搬送 (往路) (処分坑道でのピストン輸送時間13分を含む。)
	85) 粉末ベントナイト充填
	86) 次の処分坑道へ移動のための復路 (当処分坑道でのピストン輸送時間13分を含む。)
	87) 次の処分坑道定位置置まで搬送 (往路) (処分坑道でのピストン輸送時間13分を含む。)
	88) 立坑位置まで移動 (復路) (処分坑道でのピストン輸送時間13分を含む。)
	89) エレベータ降下
	90) エレベータ乗車
	91) エレベータ上昇
	92) エレベータ下車
93) 地上ヤード車庫へ移動	

表 5.4 坑道横置方式における基本的スケジュール (例)



6. まとめ

地層処分システムにおける操業の手順、操業システム、操業スケジュールについて検討を実施し、現状の技術で実現の可能性の高い操業計画を例示した。

操業手順では、廃棄体の搬送経路を考慮して、地上施設、アクセス施設、地下施設の3つの施設に分類して手順の検討を実施し、地上施設ではカスクの受入れから廃棄物の搬出までの手順を、アクセス施設では立坑とエレベータを用いた場合の手順を示した。また、地下施設については、廃棄体の定置方式毎（処分孔縦置方式、坑道横置方式）に手順を示した。図6.1-1に処分孔縦置方式の場合の地上施設から処分孔定置位置までの概念図をまとめとして示す。また、図6.1-2に坑道横置方式の場合を示す。

操業システムの検討では、地上施設、アクセス施設、地下施設の操業設備の概念仕様を例示した。また、アクセス施設の仕様例及び地下施設における廃棄体の搬送システムとして鉄道方式の設備の仕様例を示した。

操業スケジュールについては1日に廃棄体6本を定置することを前提にして、定置方式別に検討を実施した。その結果、処分孔縦置方式では操業系列3、また、坑道横置方式では6つの操業系列で実施可能であることを示した。

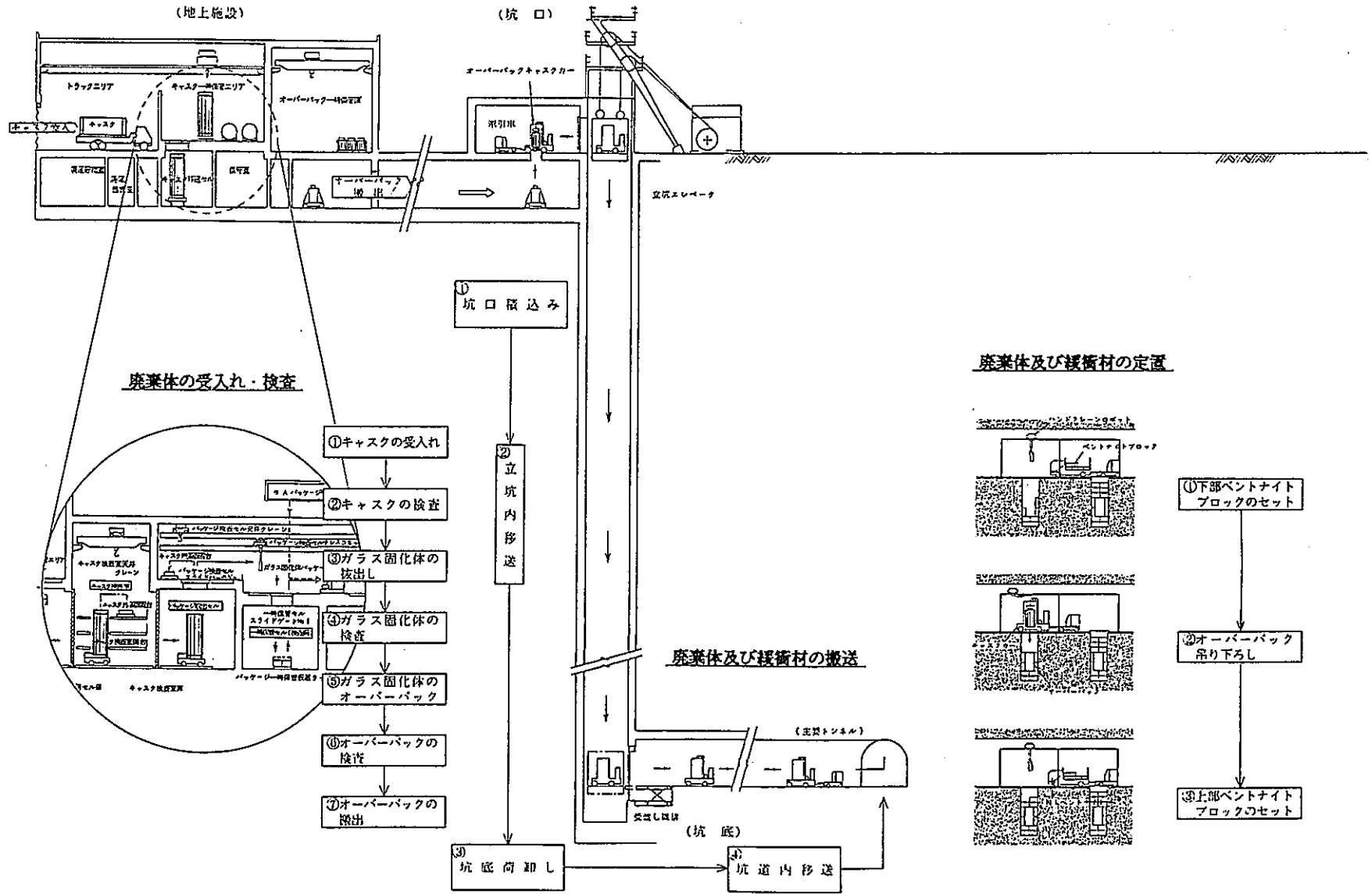


図 6.1 - 1 処分孔豎置方式の概念図 (例)

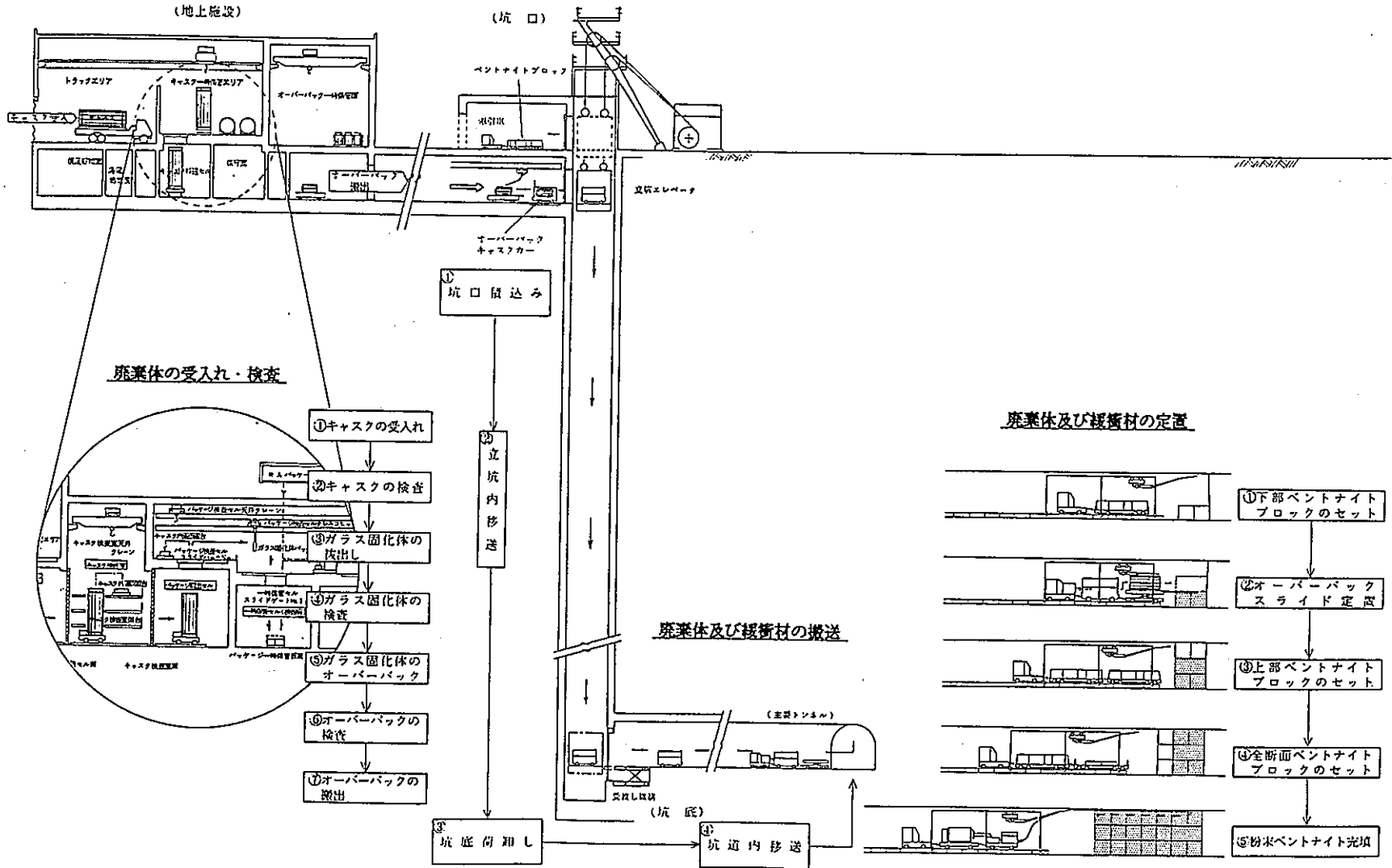


図 6.1 - 2 処分孔豎置方式の概念図 (例)

7. 今後の課題

本研究から得られた今後の課題についてその主要なものを以下に示す。

① 操業手順及びスケジュールについて

- ・坑道横置方式のように、緩衝材の搬入量が多い場合には作業の効率性の面から、大型の高圧縮ベントナイトブロックが必要となると考えられる。したがって、今後はこのような大型高圧縮ベントナイトブロックの製作技術の開発が必要である。
- ・操業時の安全性及び効率化を図る上で、廃棄体や緩衝材等の搬入から定置までの一連の作業を無人化し、ロボットによる操業システムを検討することが必要である。
- ・今回の検討では、処分孔縦置及び坑道横置の両方式の場合の所用定置時間を概算した。しかしながら、この値は定置時間の短縮化に大きく寄与すると考えられる上記の開発状況により最終的に見直す必要があり、また、その際には原位置など実際の処分環境条件を模擬した場所での実証実験が必要である。
- ・今回の検討では搬送距離が最大となる位置を定置位置とし固定して操業スケジュールの検討を実施した。しかしながら、実際の作業は、その進捗と共に順次変化することとなり、作業がより複雑化する。したがって、後はこれらの各種の条件に即座に対応可能なコンピュータによる操業の物流管理システムを開発する必要がある。

② 操業設備について

- ・地上施設については設備建屋の概略の検討を行った。今後は、ガラス固化体の検査方法、オーバーパックの検査方法等の内装設備の仕様に関する具体的な検討を実施する必要がある。
- ・アクセス方式として立坑方式を採用した場合のエレベータ設備に関する検討を実施した結果、深度1,000m深の地下施設と地表とを結ぶエレベータは現状の技術で十分対応可能であることを示し、その設備仕様を例示した。今後は、斜坑方式の検討や安全対策等の検討が必要である。
- ・地下施設では処分孔縦置方式と横置方式の両方式ともバッテリー駆動によりレール上を走行するキャスクカーを設備仕様として例示した。今後はベントナイトとオーバーパック、周辺岩盤間の隙間の許容値の検討、オーバーパックの実規模定置試験及び、オーバーパック定置後の粉末ベントナイト等の充填試験等を実施する必要がある。

8. 参考文献

- ・原子力委員会編：原子力開発利用長期計画，昭和62年6月22日

- ・五月女敦，藤田朝雄，原啓二，納多勝（1992）：地層処分場の空洞安定性の検討，
PNC TN1410 92-055

- ・五月女敦，藤田朝雄，原啓二，納多勝（1992）：地層処分場の熱的安定性の検討，
PNC TN1410 92-054

- ・杉原弘造，棚井憲治（1992）：高レベル放射性廃棄物地層処分場の建設技術の検討，
PNC TN1410 92-056

- ・本田明，野田昌之，鶴留浩二，井上邦博，石川博久，佐々木憲明（1992）：炭素鋼オーバーパックスの試作，PNC TN1410 92-059.