

**「低レベル放射性廃棄物(現行の政令濃度上
限值を超えるもの)」処分の**

検討状況について

平成 10 年 2 月 5 日

「低レベル放射性廃棄物(現行の政令濃度上限値を超えるもの)」の処分 に関する安全確保について

1. 対象廃棄物の特徴と処分方策の検討の進め方

(1) 廃棄物の特徴

商用原子力発電炉や試験研究炉等の運転・解体に伴い、使用済制御棒や炉内構造物等の放射性廃棄物が発生するが、これらのうちの一部は、含まれる放射性核種の濃度が原子炉等規制法施行令第13条の9に規定する濃度(以下「現行の政令濃度上限値」という。)を超えると推定されている。

この廃棄物に含まれる放射性核種の濃度を、商用原子力発電炉や日本原子力研究所動力試験炉(JPDR)での運転状況等を考慮した放射化計算等により推定し、廃棄物が発生する時点における値で整理すると、政令で規定されている $\beta\gamma$ 核種の濃度については、平均値で現行の政令濃度上限値のおよそ1桁、最大濃度でおよそ2桁上回ると推定される。なお、 α 核種濃度は、最大でも現行政令濃度上限値を下回ると推定される。

このような廃棄物の大半は、ステンレス鋼等の金属が燃料近傍で中性子照射されて生じた放射化物であって、その累積発生量は、2030年時点で約2万 m^3 と推定される。

(添付－1)

主要な放射性核種は、放射化によるものとしては ^{14}C 、 ^{60}Co 、 ^{63}Ni 、 ^{94}Nb 等であり、その他に汚染により生じる ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 等がある。これらは、六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センターで埋設処分を現在実施中あるいは計画中の低レベル放射性廃棄物の主要な核種の種類と特に異なるものではない。

(添付－2)

(2) 検討の進め方

前項で述べた通り、「低レベル放射性廃棄物(現行の政令濃度上限値を超えるもの)」は、現行の政令濃度上限値に比べ、 $\beta\gamma$ 核種の濃度は高いが、 α 核種の濃度は現行政令濃度上限値を下回り、処分を実施中あるいは計画中の低レベル放射性廃棄物と核種の種類が特に異なるものではないことから、放射性核種の濃度の減少を考慮した現行の低レベル放射性廃棄物処分で適用されている安全確保の考え方(添付－3、4)を参照しながら、処分の見通しについて検討を行った。

即ち、廃棄物中の放射性核種の濃度が時間とともに減少することを踏まえ、現在実施されている低レベル放射性廃棄物処分と同様に、管理期間(300～400年)を設けて段階管理を行うことによる安全確保の見通しについて検討を行った。

2. 検討結果

処分に係る安全確保の見通しを得るためには、処分場の管理期間中の安全確保と管理終了後の安全確保について検討する必要がある。管理期間中の安全確保は放射性物質の処分施設からの漏出及び生活環境への移行の監視、当該区域での特定行為の制約又は禁止等の管理によると考えられるが、どのような管理が必要であるかは処分概念によって異なる。その処分概念は、低レベル放射性廃棄物の浅地中処分における経験等を踏まえれば、管理期間終了後の安全確保策に依存すると考えられるため、まず管理期間終了後の安全確保について検討した。

特別な管理を必要としない管理期間終了後に想定される一般公衆の被ばくは、

①

埋設された廃棄体に含まれる放射性物質が地下水によって生活環境まで移行する事象

②

埋設された廃棄体が人間の様々な活動等により人間と直接接触するような事象

に起因して生じる。そこで、①の事象である地下水移行シナリオ、及び②の事象である人間侵入シナリオに関わる安全確保策を検討した後、これに適合する処分施設概念、及び処分施設概念に応じた管理の方法について検討した。

(1) 地下水移行シナリオに関わる安全確保策

今回審議対象の廃棄物は $\beta\gamma$ 核種の濃度が現行の政令濃度上限値より高いので、施設からの放射性物質の漏出を抑制する機能と、放射性物質の生活圏への移行を抑制する機能を、現行の低レベル放射性廃棄物を処分する処分施設より向上させる必要がある。このため、処分場周辺の土壌等による移行抑制を基本にし、処分施設周辺に設置された人工の難透水性材料等を適切に組み合わせた安全確保策が考えられる。

具体的な方策としては、次のものが考えられる。

- 天然の土壌等による移行の抑制
一透水性の小さな地層、動水勾配の小さな地下深部などに処分場を

設置することによる地下水流速の低減を図ると共に地下水移行距離を確保する。

- 人工の難透水性材料等による移行の抑制

一施設からの放射性核種の漏出は、施設への浸透水量(＝流出水量)や拡散速度に比例するので、施設の周囲をベントナイト混合土等の難透水性の材料で取り囲むことによって、施設への浸透水量を小さくしたり、放射性核種の拡散を抑制することにより漏出速度を低減する。

今回の審議対象廃棄物に対する上記対策による線量の試算結果によれば、天然の土壌等の機能によって十分小さい地下水流速が確保される場合には、天然の土壌等のみによって、また、天然の土壌等の機能の向上が十分見込めない場合においても人工の難透水性材料等の機能の向上によって、または、これらの組み合わせによって、一般公衆の安全が確保できる見通しを得られると考えられる

(添付－5、6)

(2) 人間侵入シナリオに係わる安全確保策

① 処分深度の基本的考え方

今回審議対象の廃棄物は $\beta\gamma$ 核種濃度が高いため、 ^{60}Co 等の主要な $\beta\gamma$ 核種の濃度が十分減少した後も γ 線を放出する ^{94}Nb 等の影響により、現行政令濃度上限値を定めた浅地中処分施設に埋設した場合を想定すると、住居等を建設するために埋設廃棄体に到達するような掘削が行われた場合、現在の低レベル放射性廃棄物と同様な程度の期間で管理を終了することが困難であると考えられる。従って、この廃棄物は、土地利用の大部分を占める一般の土地所有者による利用が行われる深度に対して、十分な余裕を持った深度に処分することによって、人間と廃棄物の接触の可能性が小さくなるようにする必要がある。

② 処分深度の検討

一般の土地所有者による地下利用の形態としては、地上の構築物を支持する基礎、地下室の建設の設置がある。このうち、高層建築物等の基礎については、これを支えることができる支持層が存在する深さによってその設置深度が定められる。地下室については現在例えば東京都における一般住宅を除いた地下室を持つ建築物の99%以上が地下3階までであり、最も深いものでも地下30m(国会図書館－地下8階)となっている。これらの地下利用の実態より、高層建築物の基礎が設置される支持層の上面又は地下室の深さに、これらの健全性を妨げないために必要な離隔距離(10m程度)を確保すれば、

一般の土地所有者の利用を妨げることがないものと考えられる。また、地下鉄、上下水道などの公共、公益事業のために利用されている深度は、地表付近から順次利用が進んでいるが、大都市においても大部分は50m程度以浅である。このように、地下利用は深度に伴って急激に減少し、50m以深の利用は極めて少ない。従って、具体的な処分深度は立地場所の地質条件等により異なると考えられるが、現在の大都市における地下利用の状況を踏まえれば、支持層の上面よりも深く、これに基礎の健全性を妨げないための離隔距離を確保し、例えば50～100m程度の地下の深度に処分すれば、公共の地下利用を含め、人間と廃棄物の接触の可能性が小さくなると考えられる。

(添付－7)

なお、大深度の地下利用についても現在検討が行われているが、将来、処分場跡地にこのような深度の地下利用を計画する場合があったとしても、通常、「立地条件調査」、「支障物件調査」、「地盤調査」等の様々な調査が事前に行われることから、処分施設の存在を含む地下の状況が十分認知されるものと考えられる(添付－8)。記録が散逸していた等の理由で処分場の存在が初期段階で認知されず、調査が進行し、処分場に到達するボーリング調査等が行われる可能性もあるが、ボーリングコア等を通じて人と廃棄物の接触が発生したとしても、過度の被ばくをもたらすことはないと考えられる。加えて、処分場に関する記録が適切に保存され、地下利用を企画する者がこれにアクセスできるようになれば、大規模な人間侵入に至る前に地下利用の計画が変更される、ないしは処分場の認知につながる適切な調査計画が立てられると考えられる。現在実施されている低レベル放射性廃棄物の処分については、事業者及び国(国の指定機関を含む。)において記録が保存され、事業者が300～400年後に管理を終了し廃棄物埋設事業を廃止する際に、事業者から国に記録が引き渡されることになっており、その後も、廃棄物埋設施設の所在地、放射性廃棄物の性状及び数量、含まれる放射性核種の濃度等に関する記録は、期限を切らずに保存されることになっている。これらの記録が適切に保存され利用されることは人間侵入を防ぐ上で有効であり、今後その保存と公開のあり方について検討を行うことが重要である。また、社会的に安心を得るという観点からも記録の保存は重要であると考えられる。

この他に、地下資源を採取することを目的とした地下利用も考えられるが、予めこれらの地下資源が存在しない場所を処分場に選定することによって、このような地下利用による人間と廃棄物の接触を避けることができる。

以上より、具体的な処分深度は立地場所の地質条件等により異なると考えられるが、地下資源の存在状況を考慮するとともに、支持層の上面よりも深く、基礎の健全性を妨げないための離隔距離を確保した、例えば50m～100m程度に埋設処分することにより、一般の土地所有者による利用はもとより、公共の地下利用を想定しても人間と廃棄物が接触する可能性は非常に小さくなると考えられ、安全が確保できる見通しが得られると考えられる。なお、このような処分深度を想定した処分概念に対し、どのような安全評価を行い、政令濃度上限値等についてどのような基準を適用すべきか等について、今後検討が必要である。

(3) 処分施設概念

前項の検討から想定される処分深度における施設形態としては、海外及び我が国の地下施設を参照すると、トンネル型あるいはサイロ型(円形立坑)のような地下空洞が考えられる。

(添付－9)

トンネル型やサイロ型の地下空洞施設の技術的な成立性については、既に類似の施設が海外で施工されていることや、我が国においても地下水力発電所や大規模なトンネルが既に存在しており、設計及び施工上、問題はないと考えられる。

なお、海外における放射性廃棄物の処分場として現在操業中で発電所廃棄物の処分を主なものとするスウェーデンのSFRやフィンランドのVJLは、60～100m程度の深度であり、スウェーデンではサイロ型とトンネル型、フィンランドではサイロ型が採用されている。

(添付－13)

(4) 処分場の管理について

[処分場の操業形態]

当該廃棄物を地下空洞(トンネル型あるいはサイロ型)に処分するに当たっては、接近坑道を掘削して地中に入り、作業坑道を掘削して建設の拠点となる空間を確保した上で、廃棄物を処分するトンネルやサイロ(以下、「処分空洞」)を掘削することになる。接近坑道や作業坑道は、処分を行うためのインフラ設備であり、処分量に応じて一定期間、継続使用されると考えられる。このため、処分空洞の建設、操業、埋め戻しは平行して実施され、接近坑道等が埋め戻されるのは、全ての処分空洞への廃棄体の定置・充填、埋め戻し等が終わった後になる。

[管理の目的と項目]

以上のような建設、廃棄体の定置・充填、埋め戻し作業等が行われる作業形態を前提とし、初期の $\beta\gamma$ 核種濃度が高いことを踏まえれば、以下のような管理を行うことにより、安全確保がなされるものと考えられる。

なお、処分施設の建設においては、天然バリアの一部である周辺岩盤への影響も考慮した施工管理を行うことが必要である。

(a) 廃棄物の搬入に伴う管理

初期の $\beta\gamma$ 核種の濃度が高い状態の廃棄体を扱うことになることから、廃棄体から直接 γ 線等による被ばくを低減するための管理を行うことが必要である。

- ・ 被ばく管理のための敷地内及び接近坑道への立ち入り制限(なお、これは管理期間中継続される)

(b) 廃棄物を定置中の処分空洞を対象とした管理

この段階では天然バリアの機能によらず、コンクリート等の人工構築物(人工バリア)により安全を確保することとなるので、人工バリアの健全性を確認する必要がある。

- ・ 人工バリアの巡視(廃棄物の定置開始後は遠隔にて)
- ・ 処分空洞からの放射性物質の漏出の監視のための湧水の採取・測定

(c) 埋め戻しが完了した後の処分空洞を対象とした管理

人工バリアと天然バリアにより安全を確保する段階において、その機能が評価された ものと同様以上であることを確認する必要がある。

- ・ 処分空洞のプラグ材の巡視及び点検
- ・ 処分空洞からの放射性物質の移行の監視のための湧水の採取・測定
- ・ 処分空洞周辺に設けた地下水監視孔等を用いた地下水の流動状況の観測と放射性物質の移行の監視

(d) 地下施設を埋め戻した後の管理

主に天然バリアにより安全を確保することとなるが、地下水監視孔等を用いた地下水の流動状況の観測と放射性物質の移行の監視は埋め戻し後も一定期間継続し、天然バリア機能の確認を行う。その後は、廃棄物への人間の直接の接近を禁止することを主体とした管理により安全が確保される。

- ・ 一定期間の地下水監視孔等を用いた地下水の流動状況の観測と放射性物質の移行の監視

- 処分空洞の掘削等を防止するための地上における特定行為の制約・禁止

(添付－11)

以上のように操業状態に応じた管理を終了した後は、処分場跡地の利用を開放することとなる。

3. まとめ

(1) 「低レベル放射性廃棄物(現行の政令濃度上限値を超えるもの)」は、原子炉施設の運転・解体により発生し、主なものは燃料近傍にあり中性子照射による放射化等の程度が大きい使用済制御棒や炉内構造物等の放射化金属である。これらの廃棄物の $\beta\gamma$ 核種濃度は現行の政令濃度上限値を平均でおよそ1桁、最大で2桁上回るが、 α 核種濃度は政令濃度上限値を下回ると推定されており、主要な核種の種類は六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センターで処分中あるいは処分を計画中の低レベル放射性廃棄物と特に異なるものではない。これらのことから、現行の低レベル放射性廃棄物処分で行われている安全確保の考え方(即ち、廃棄物中に含まれる放射性核種の濃度が時間とともに減少することを踏まえ、管理期間を設けて段階管理を行う)を参照しながら、処分の安全確保の見通しについて検討を行った。

(2) 廃棄物の処分概念は、管理期間終了後の安全確保策に依存するため、まず、「埋設された廃棄物に含まれる放射性物質が地下水と共に生活圏へ移行することによる被ばく」と、「埋設された廃棄物に人間活動により人間が接近することによる被ばく」について、廃棄物の $\beta\gamma$ 核種の濃度が現行政令濃度上限値より高いことを踏まえて検討した。

(2)-① 地下水移行による被ばくについては、現行の低レベル放射性廃棄物を処分する浅地中処分施設よりも放射性物質の生活圏への移行を抑制する機能を向上させる必要がある。このために、人工の難透水性材料等の強化や、埋設施設が設置される周辺の天然の土壌等に地下水流速の小さな地中を選ぶことにより、安全が確保される見通しがあると考えられる。

(2)-② 埋設された廃棄物に人間活動により人間が接近することによる被ばくについては、今回の審議対象廃棄物が、現行政令濃度上限値を定めた浅地中処分施設に埋設した場合を想定すると、住居等を建設するために埋設廃棄体に到達するような掘削が行われた場合、管理を現在の低レベル放射性廃棄物と同様な程度の期間で終了することが困難であると考えられることから、一般の土地所有者による利用が行われる深度に十分な余裕を持った深度に処分することによって人間と廃棄物の接触の可能性が小さくなるようにする必要がある。現在の大都市における地下利用の状況を踏まえれば、支持層の上面よりも深く、基礎の健全性を妨げないための離隔

距離を確保した、例えば50～100m程度の地下の深度に処分することによって、公共の地下利用を含めて、人間と廃棄物の接触の可能性が小さくなると考えられる。なお、将来この様な処分場を設置した地下を利用する計画が立てられた場合であっても、事前に様々な調査が行われることから、処分場の存在を含む地下の状況が十分に認知されると考えられる。また、地下資源が存在しない場所を処分場に選定することも重要である。加えて、処分場に関する記録が適切に保存され、地下利用を企画するものがこれにアクセスできるようになっていれば、大規模な人間侵入を防止する上で有効であり、300～400年後の管理期間終了時点以後も国に期限を切らずに保存されることになっている処分に関する記録の効果的な保存と公開のあり方について、今後検討していくことが重要である。

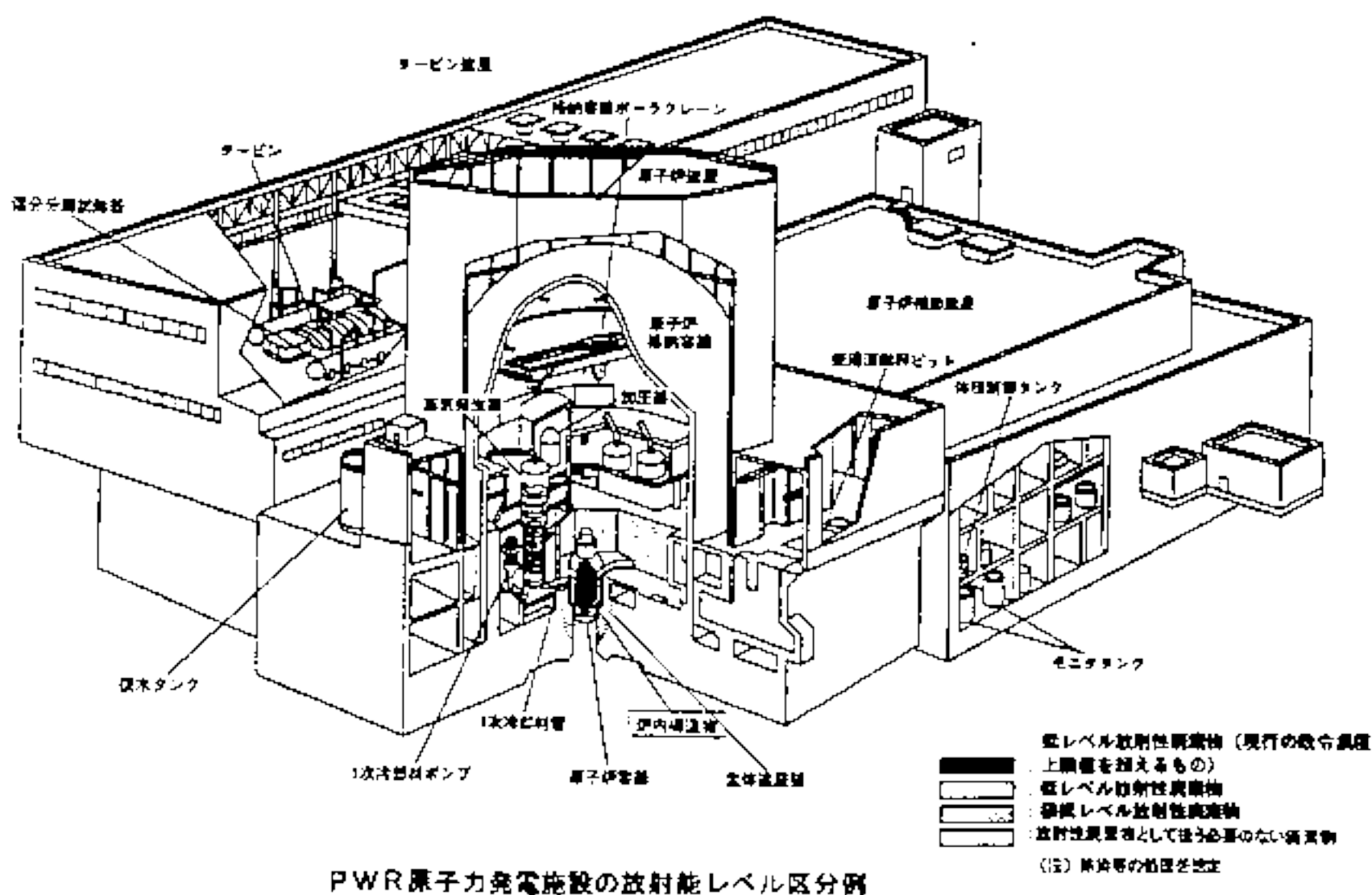
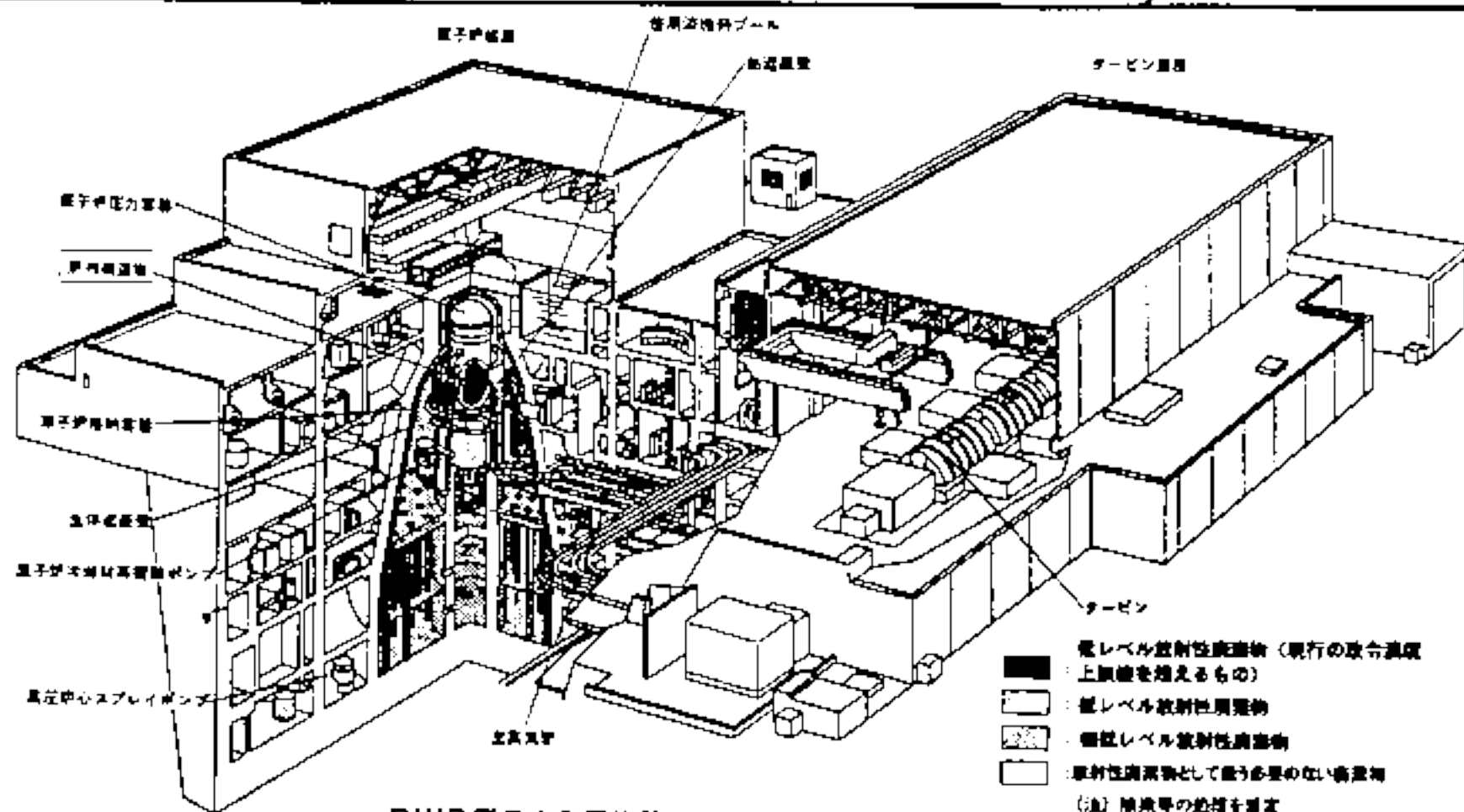
なお、この処分概念に対し、どのような安全評価を行い、政令濃度上限値等についてどのような基準を適用すべきか等について、今後検討が必要である。

(3) 以上の深さに埋設する処分概念としては、トンネル型あるいはサイロ型のような地下空洞が考えられる。

(4) 処分場の管理については、(a)廃棄物の搬入に伴う管理(廃棄体からの直接γ線による被ばくの低減)、(b)廃棄物を定置中の処分空洞を対象とした管理(巡視等による人工バリアの健全性確認)、(c)埋め戻しが完了した後の処分空洞を対象とした管理(処分空洞からの湧水等の監視によりバリアが計画段階で想定した機能を有していることを確認)、(d)地下施設を埋め戻した後の管理(廃棄物への人間の直接の管理を禁止するための立入り制限等)、といった段階的な管理を操業の進行に合わせて実施することにより、処分の安全を確保していくことが可能であると考えられる。

「低レベル放射性廃棄物（現行の政令濃度上限値を超えるもの）」の発生源

原子力発電所の解体で発生する廃棄物



解体廃棄物の発生量の試算例

区 分		BWR		PWR	
		概略 万トン	概略 %	概略 万トン	概略 %
低レベル放射性廃棄物	「低レベル放射性廃棄物（現行の政令濃度上限値を超えるもの）」	100トン	0.1以下	200トン	0.1以下
	低レベル放射性廃棄物	0.2	1以下	0.3	1以下
	極低レベル放射性廃棄物	1	2	0.3	1以下
放射性廃棄物として扱う必要のない廃棄物*		53	98	49	99
合 計		55	—	50	—

注1： 試算の前提条件

- ① 110万kW級商業用原子炉を40年間運転し、5年間の安全貯蔵、除染等を実施し解体撤去した場合の試算。
- ② 放射性廃棄物として扱う必要のない廃棄物の区分は、IAEAの推奨値のクリアランスレベルを参考にした。
- ③ 極低レベル放射性廃棄物及び「低レベル放射性廃棄物（現行の政令濃度上限値を超えるもの）」は、政令濃度上限値より保守的に区分値を設定し試算

注2： 燃灰処理のため合計は合わないことがある。

放射性廃棄物として扱う必要のない廃棄物は、平成4年に原子力安全委員会が定めた「放射性廃棄物でない廃棄物の基本

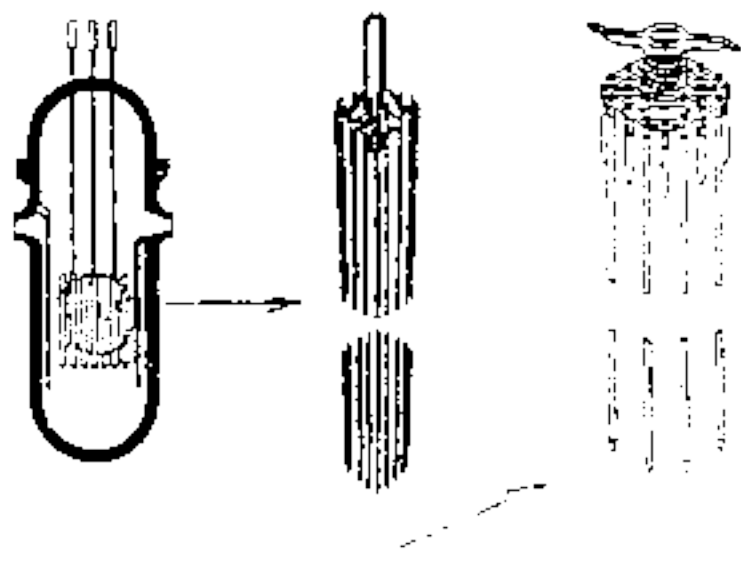
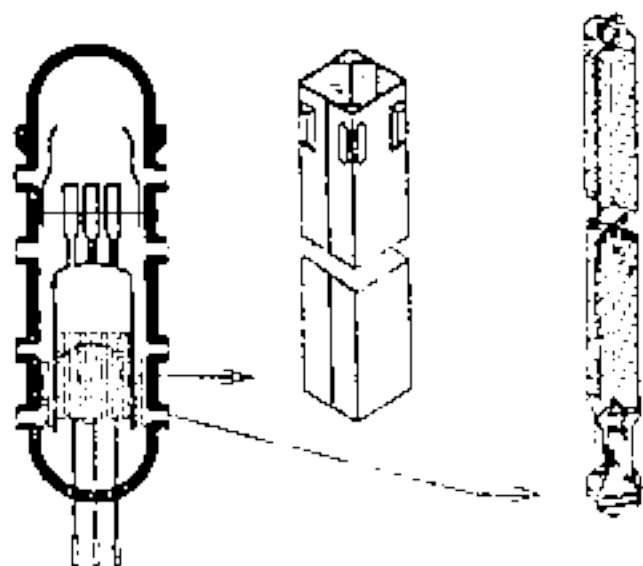
*) 考え方」による廃棄物を含む。

運転中に発生する「低レベル放射性廃棄物（現行の政令濃度上限値を超えるもの）」

原子力発電所の定期検査等で発生する廃棄物には、使用済制御棒やチャンネルボックス等、燃料集合体近傍にあって中性子による放射化の程度が大きいものや、炉心を冷却した1次冷却材を浄化する使用済樹脂等の汚染の程度が大きいものも含まれる。これらは110万kW級の軽水炉を40年間運転しておおよそ100～200トン程度発生すると推定される。

BWR

PWR



原子炉圧力容器

チャンネルボックス

燃料棒

原子炉容器

燃料棒

バーナブルポイズン

現行政令および六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センターにおける放射性核種

起 源	核 種	半 減 期	廃棄物埋設施設の放射線防護上特に重要な核種	原子炉等規制法施行令 13 条の 9 (容器に固型化したもの)	六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センター 1号、2号 *1
放 射 化	H-3	約12年		—	○
	C-14	約5700年		○	○
	Ce-41	約10万年		○	— *2
	Co-60	約5年	○	○	○
	Ni-59	約7万6千年		—	○
	Ni-63	約100年		○	○
	Nb-94	約2万年		—	○
	Tc-99	約21万年		—	○
核分裂、燃料	Sr-90	約29年		○	○
	I-129	約1600万年		—	○
	Ce-137	約30年	○	○	○
	α線を放出する 放射性物質	—		○	○

政令では、原子炉施設から発生する廃棄物に含まれる放射性核種の組成を考慮し、また、我が国における一般的な自然／社会環境条件の下に、国際機関、米・仏国での安全評価に用いられた被ばく経路を参照した安全評価を行い、放射線防護の観点から重要な代表的核種が選定された。

六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センターの埋設事業許可申請に当たっては、政令濃度上限値を定めた際の考え方に基づき、埋設施設個々の段階管理の計画、設計並びに埋設センター及びその周辺の状況との関連を勘案した線量評価を実施し、核種を選定している。

*1: 日本原燃(株) 廃棄物埋設事業変更許可申請書(2号廃棄物埋設施設の増設及び1号廃棄物埋設施設の変更)平成9年1月30日申請

*2: 政令では、コンクリート等の放射化を考慮して埋設濃度上限値を規定した核種を含んでおり、許可申請対象廃棄物にはこのような廃棄物が含まれないので対象核種に該当しない。

現行の低レベル放射性廃棄物処分の安全確保系の概要

1. 基本的な考え方

放射能が時間とともに減衰し、人間環境への影響が十分に軽減されるまで、人工バリアと天然バリアを組合せ、放射能レベルに応じた管理を行うことで、放射性廃棄物を安全に人間環境から隔離する。

2. 管理の考え方

(1) 管理期間

放射線防護上重要な ^{60}Co 、 ^{137}Cs の半減期や外国の例を参考にして、有意味な期間として300～400年をめやすとする。

(2) 段階管理

管理期間中は放射能の減衰に応じ、「第1段階：人工バリアにより放射性物質を封じ込める。」、「第2段階：人工バリア及び天然バリアで放射性物質の移行を抑制し、所要の監視を行う。」、そして「第3段階：主に天然バリアで放射性物質の移行を抑制し、廃棄物の掘り起こし等の行為を禁止・制約する。」と放射能レベルに応じた管理を行う。

3. 一般公衆の安全

(1) 線量の基準（管理期間終了後）

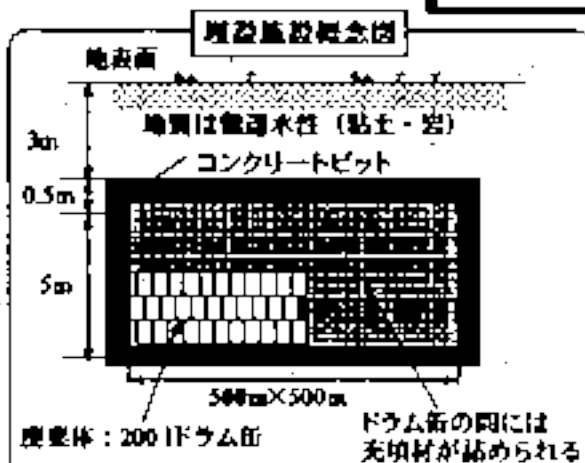
低レベル放射性廃棄物処分場から一般公衆が受ける線量当量は $10\mu\text{Sv}/\text{y}$ を超えないことをめやすとする。

発生頻度が小さいと考えられる事象については $10\mu\text{Sv}/\text{y}$ を著しく超えないことをめやすとする。

(2) 線量評価（六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センターでの事例を参照）

- a. 第1段階：廃棄物からの直接 γ 線、スカイシャイン γ 線からの被ばく
- b. 第2、3段階：放射性物質が地下水とともに生活圏へ移行することによる被ばく
- c. 管理期間終了後
 - 放射性物質が地下水とともに生活圏へ移行することによる被ばく
 - 人間活動に伴う廃棄物への接近等による被ばく
 - 一般的と考えられる事象：一般住宅の建設・居住
 - 発生頻度が小さいと考えられる事象：地下敷路を有する建物の建設・居住、浅井戸の利用

想定埋設施設



- 埋設施設の形状
200ドラム缶
100万本相当：500m×500m
- 埋設放射性廃棄物の厚さ
5m
- 地表面から廃棄物までの厚さ3.5m (3m+0.5m)
- 放射性廃棄物の埋設施設の形状に対する割合
(容積割合) 16%
- 管理期間
(減衰を期待する期間) 300年

被ばく評価シナリオ

侵入者被ばくシナリオ



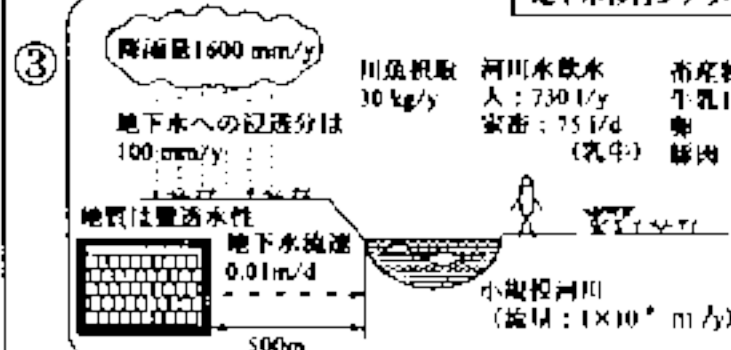
- 管理期間 (300年) 後の跡地への住居建設工事
掘削面積：416 m²
(26m×16m)
- 3mの深さまで基礎用に掘削
- 掘削土と廃棄物の混合は起こらない。
- 基礎掘削工事時の外部被ばく
- 被ばく時間：500時間/年

居住シナリオ



- 管理期間 (300年) 後の跡地への居住・栽培農作物の摂取
- 農作物は根が3m以深に及ぶ
- 居住による外部被ばく及び農作物摂取による内部被ばく
- 被ばく時間：70日/年
(1年間の20%を戸外で過ごす。)
- 農作物摂取量 20 kg/年
(果樹の年間の摂取量の1/2)

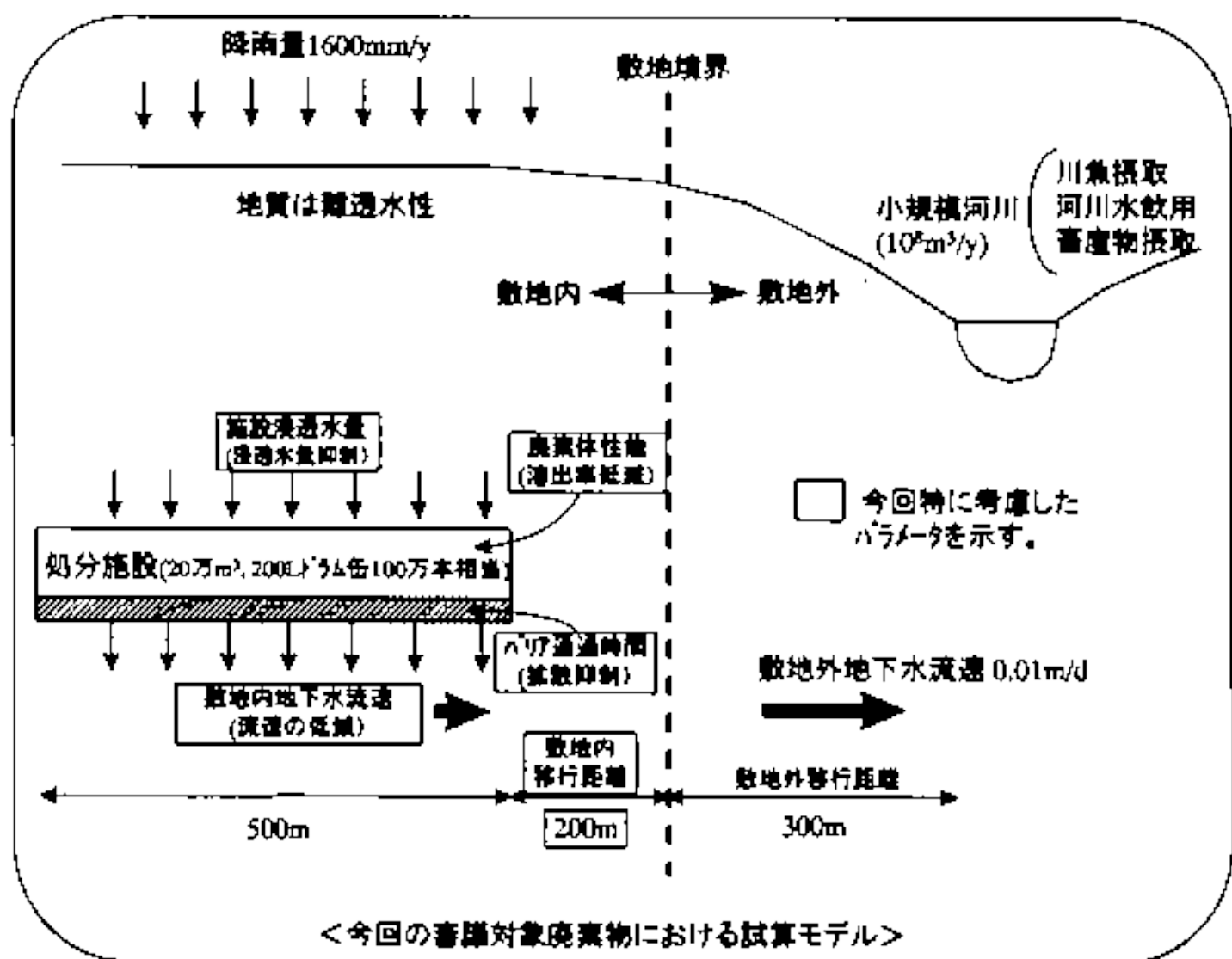
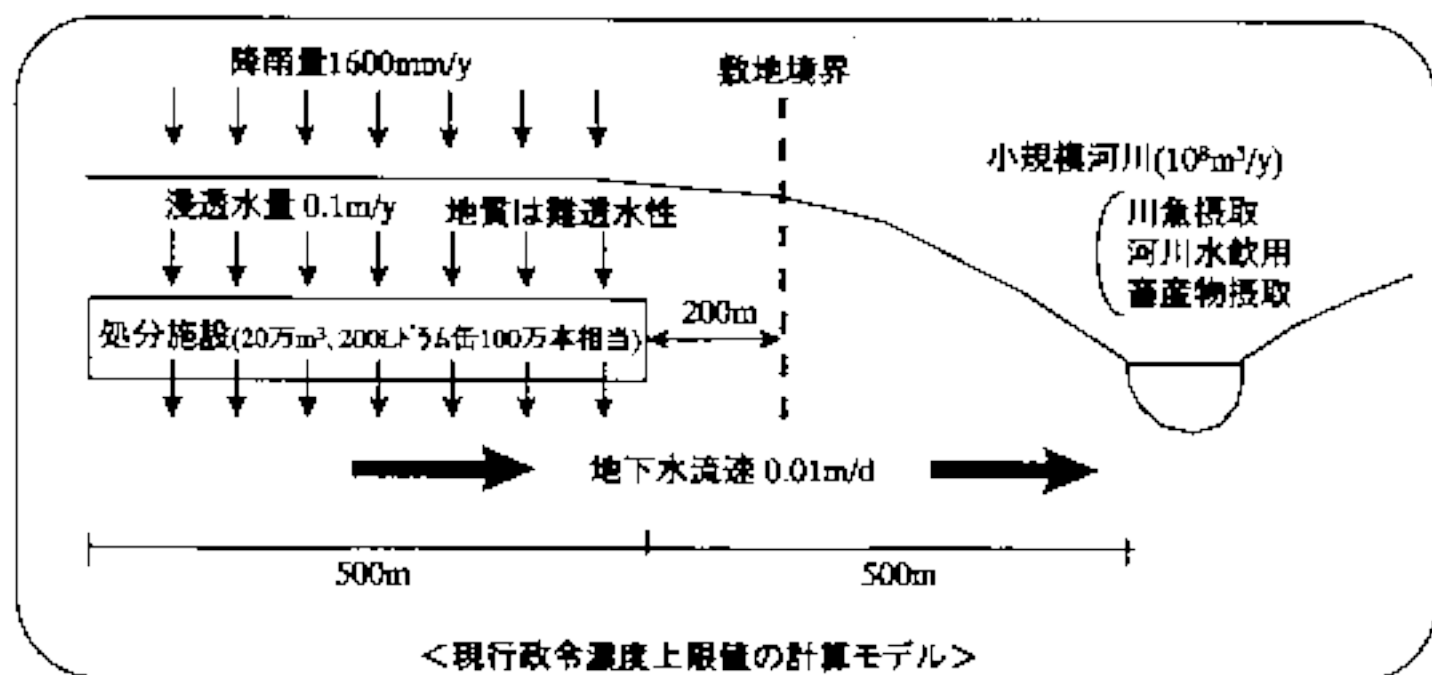
地下水移行シナリオ



- 管理期間 (300年) 後に地下水への流出が開始
- 過分堀より枝根が地下水に移行し河川に流入
- 河川水の直接飲用、家畜及び魚 (河川水飼育) の摂取による内部被ばく

原子炉等規制法施行令第13条の9、一号及び二号の放射能濃度上限値 (参考資料4-1に示す表の一及び二) は、上図に示した以下のシナリオ等により導出されている。

- ① 処分場跡地に住居を建設するため、掘削工事が行われ、建設作業者が埋設された廃棄物により、外部被ばくを受けるシナリオ
- ② 処分場跡地に建設された住居に居住し、廃棄物による外部被ばく及び住居の周囲で栽培した農作物を摂取して内部被ばくするシナリオ
- ③ 放射性物質が、地下水とともに地中を移行して河川に流入し、この河川水を利用して内部被ばくするシナリオ



地下水移行に係る安全確保試算モデル

今回の審議対象廃棄物の埋設処分に係る地下水移行における安全確保の見通し

ケース No.	敷地内					敷地外	判定
	人工の不透水性材料等			天然の土壌等		敷地外流速は 0.01m/d 敷地外距離は 300mで固定した	
	施設 浸透水量	廃棄体 性能	バリア 透過時間	地下水 流速	敷地内 移行距離		
	ベントナイト混 合土等による 浸透水量抑制	溶融体、放射 化金属の溶出 率の低減	不透水性材料 等による核種 の拡散抑制	地質や深度の 選択による流 速の低減	敷地内におけ る地下水移行 距離の確保		
現行政令値 計算条件	0.1 m/y	なし	なし	0.01m/d	200m		×
1				1桁低下			○
2	3桁低下						○
3	2桁低下	考慮*					○
4	2桁低下	考慮	考慮				○
5	2桁低下	考慮		1桁低下			○

凡例 ○：10 μ Sv/yを下回るケース
×：成立見込みが小さいケース

* ケースNo.3ではケースNo.4および5より廃棄体性能を高く評価している

地下水流速について

地下水流速で0.01m/dより1桁程度遅い流速をフィールドで実測できた事例はないので、地下水流速を与えるパラメータについて検討する。

地下水流速は、次式で与えられる。

地下水流速＝透水係数×動水勾配／地層間隙率

透水係数：土壤中を通過して流れる水の流動速さを示す。

動水勾配：2点間の地下水の水圧差を2点間の距離で除したもの。

地層間隙率：土壤中の空隙の割合。

この内、地層間隙率は、砂層を除くと未固結地盤では0.1～0.2程度であり、地下水流速の低下への影響は小さい。（政令濃度の場合0.2）

従って、ここでは地下水流速を主として支配している「透水係数」と「動水勾配」について考察を行う。

一般に透水係数は、岩の種類に依存し、深さとの相関が明確とは言えないが、例えば堆積岩は地下深部にいくほど固結が進み地盤の透水係数が小さくなる傾向があるものと考えられる。

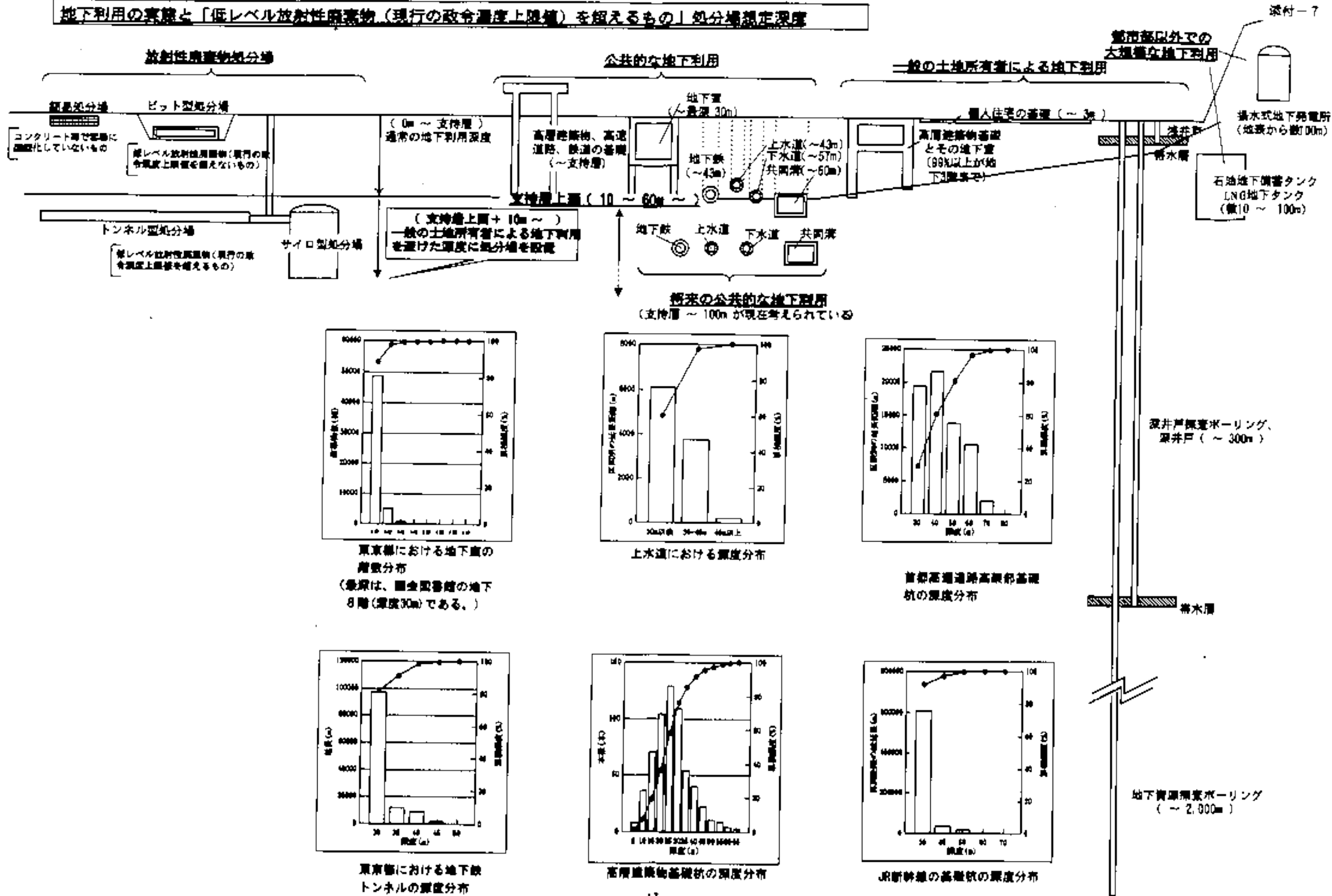
さて、地下水流速が0.01m/dより1桁程度遅くなるには、地層間隙率が0.2の場合、透水係数で 10^{-5} cm/秒～ 10^{-6} cm/秒、動水勾配で1/10～1/100である地盤があればよい。

透水係数については、一般にそのような地盤があることが示されている。

また、動水勾配についても、工業技術院地質調査所版全国井戸・水文データベース「いどじびき」を用いて算出したところ、十分そのような地盤が存在することが確認されている。

以上のことから、今回の調査対象廃棄物の処分において、廃棄物中の放射性核種の地下水移行に伴う被ばく評価において、想定している地下水流速については、我が国においても十分成立するものであるといえる。

地下利用の実態と「低レベル放射性廃棄物（現行の政令濃度上限値）を超えるもの」処分場想定深度



地下利用における調査について

1. 地下利用に際しての調査事項

地下施設の建設にあたっては、設計・施工に係る情報を得るため、各種の調査が必要である。「地下空間」利用ガイドブック」（財）エンジニアリング振興協会編）によると、主要な調査には「立地条件調査」、「支障物件調査」、「地盤調査」、「施工管理調査」及び「環境保全調査」がある。

①「立地条件調査」

対象地域の土地利用、物件の状況及び工事用地の状況等に関する調査であり、権利状況については、一般的な土地使用者・利益権限等のほか、地下資源に関する鉱業権及び水利権等について調査する。

②「支障物件調査」

地下構造物の建設によって影響を受ける恐れのある諸物件或いは支障となる諸物件の現況の調査であり、調査対象は、地上・地下構造物とそれらの基礎状況、ガス・上下水道・電力・通信等の地中管路等、井戸等である。

支障物件調査は、資料調査と現地調査からなる。

資料調査のツールとして、最近、一部の公共建設物に関しては、コンピュータを利用した地理情報システム（GIS）^{（*1）}として整備されつつあり、今後はこの利用が一般的となる。

また、建設物の現地調査では、弾性波探査^{（*2）}や電気探査^{（*3）}等の非破壊試験が適用される場合もある。

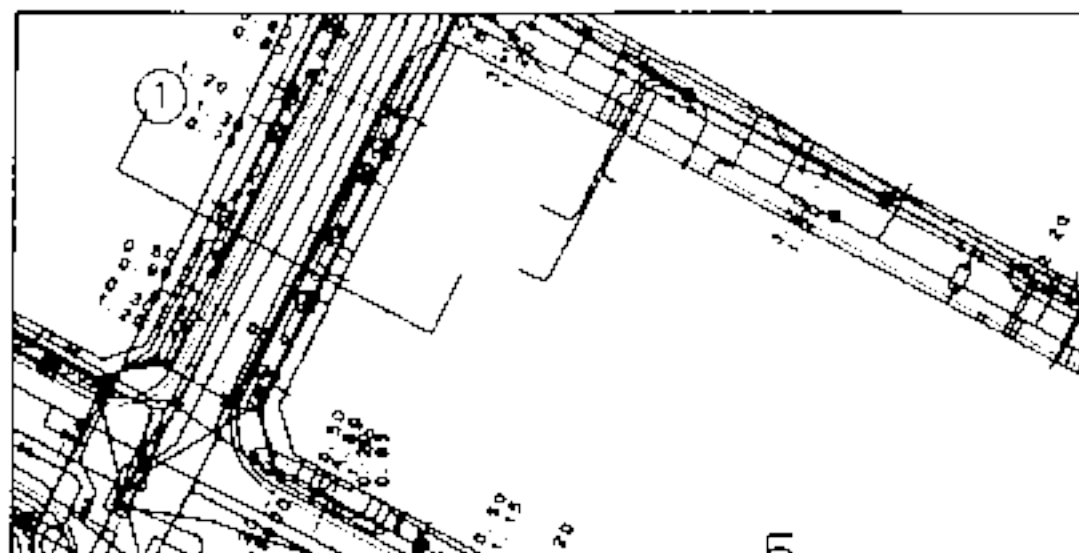
（*1）国土空間データ基盤の整備及びGISの普及の促進に関する長期計画（要約）

（H8.12.18 地理情報システム（GIS）関係省庁連絡会議決定より）

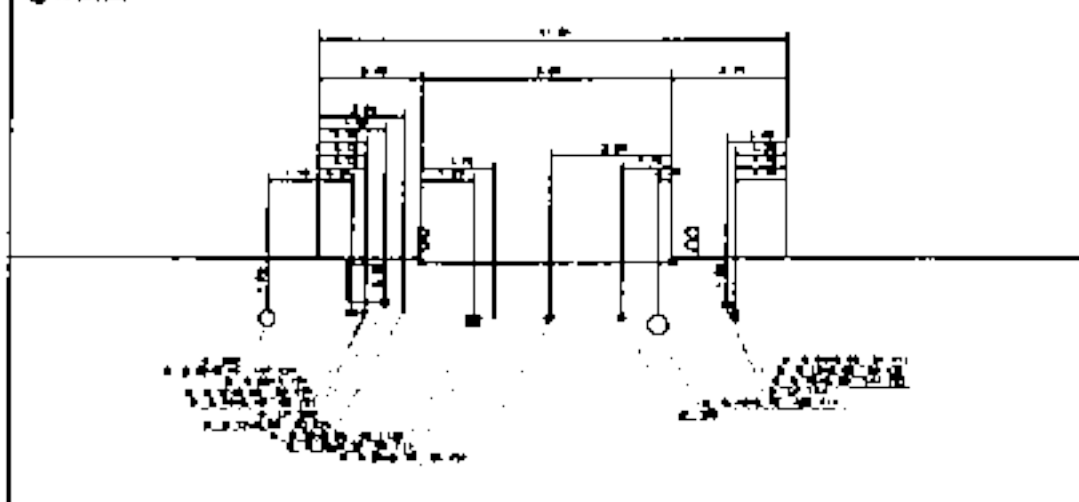
国土空間データ基盤（GISの利用を支える地図データ及び位置参照情報）、その上に掲載されるGISに広範に利用される我が国に係る統計情報等のデータ等は、道路や上下水道等のハードの社会基盤に匹敵する利益をもたらすものであり、社会基盤として位置づけ、行政が中心となってその整備と相互利用の環境づくりを先導する。

21世紀当初までにGISの全国的普及を進め、国土空間データ基盤のひととおりを整備する。

GISの出力例



①の断面



軌道局管理センター提供

(*2) 弾性波探査

人工地震による弾性波を発生させ、地表で受信観測することにより、地下構造や地下の力学特性を調査する。岩と粘土層、金属では弾性波の速度が異なるので、地下に廃棄物やベントナイト混合土があれば、弾性波の到達時刻に差異が認められ、検知されることが考えられる。

(*3) 電気探査

大地に大電流を流し、観測電極間の地層の比抵抗を測定することにより、地下構造や地層を調査する。岩とベントナイト混合土、金属では比抵抗に差があり、地表で観測される比抵抗データから、地下にある廃棄物が検知されることが考えられる。

③「地盤調査」

地盤特性の概要及び問題点を把握することが重要である。地盤調査の主な方法は下表による。

主な地盤調査技術

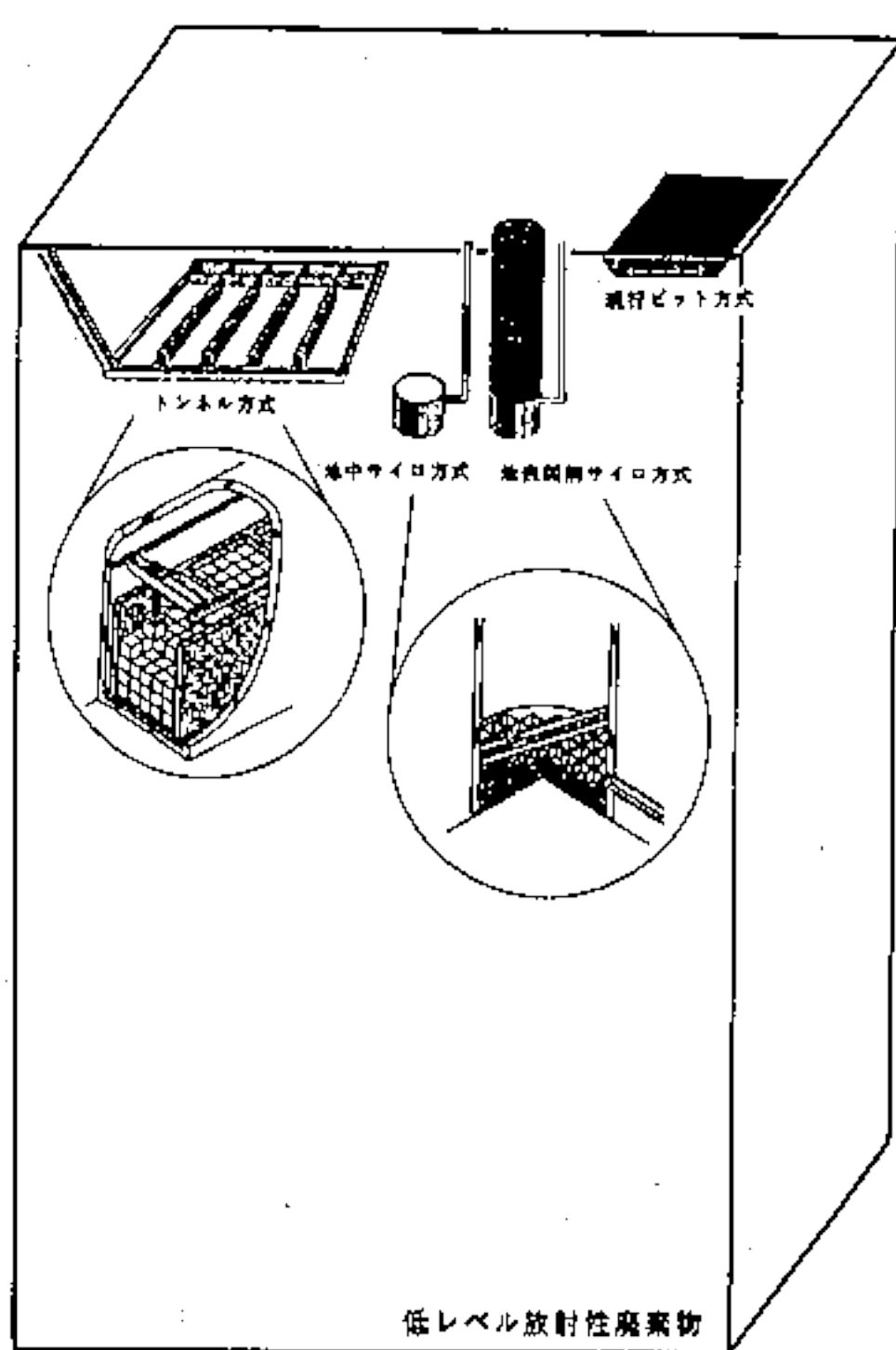
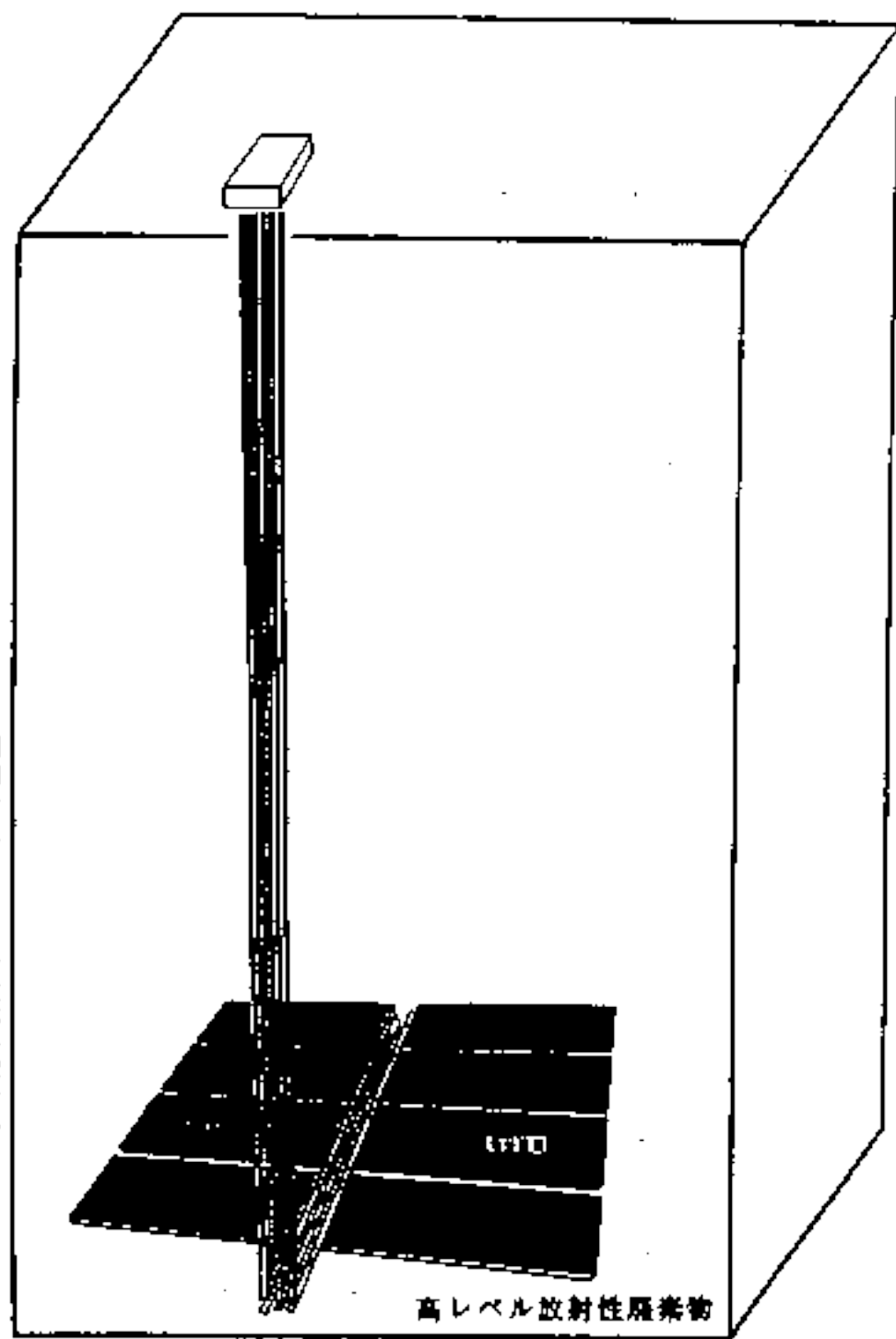
調査方法	調査の内容と技術
資料調査	既存の地盤図等を利用し、地盤の概況を調査する
地質調査	地表地質等の観察・調査によって、地表および地下における地層等の性状・構成・構造等を解析する
ボーリング調査	孔径60～120mmで前孔し、調査・試験用試料を採取するとともにボーリング孔は各種調査に利用する
孔内単位重試験	ボーリング孔で直接に地盤の強度等を調査する サウンディング（標準貫入試験等）、孔内波方向感測試験
物理探査	地盤に、振動や電気等を加えて生じた物理現象または地盤に固有して自然に生じている物理現象を計測して地盤の性状や構造を推定する。利用する物理的性質によって様々な技術がある 地質探査（弾性波探査ともいう。反射法、屈折法）、電気探査（比抵抗法、IP法、自然電位法） VSP（ボーリング孔周辺の特殊な地盤探査法） トモグラフィ（医学のCT法と同じような原理で、弾性波、比抵抗、電阻率を使用して地盤の内部を調査する）
物理検層	ボーリング孔を利用した物理探査法 速度検層（P波、S波）、電気検層、放射能検層（密度検層）
地下水調査	帯水層の性状・分布、水位・水圧、流動状況、湧水量、水質等を調査する 水文・地下水調査、透水試験、揚水試験 等
土・岩石の物理試験	粒度分布、含水比、単位体積重量等を求める室内試験
土・岩石の力学試験	圧縮強度、引張強度、変形特性、圧密特性等を求める室内試験

④「施工管理調査」

工事に伴って地盤が事前情報による予測とは異なった挙動することがあるので、地下構造物の施工中の地盤及び構造物の挙動を観察・計測し、データに基づいて、当初計画を見直しながら工事を進める。調査対象は、掘削に伴って発生した地中応力による地盤の変形（地山の挙動）が主体で、地盤・湧水状況等の地山観察及び建設空間の内空変位・支保工の変形等を計測する。

⑤「環境保全調査」

周辺環境への影響が予想される現象については、工事前・工事中、場合によっては工事完了後にも調査を行う。調査対象は、自然環境、振動・騒音の変化等、周辺地盤の変動・沈下、地下水の変動及び水質の変化等である。

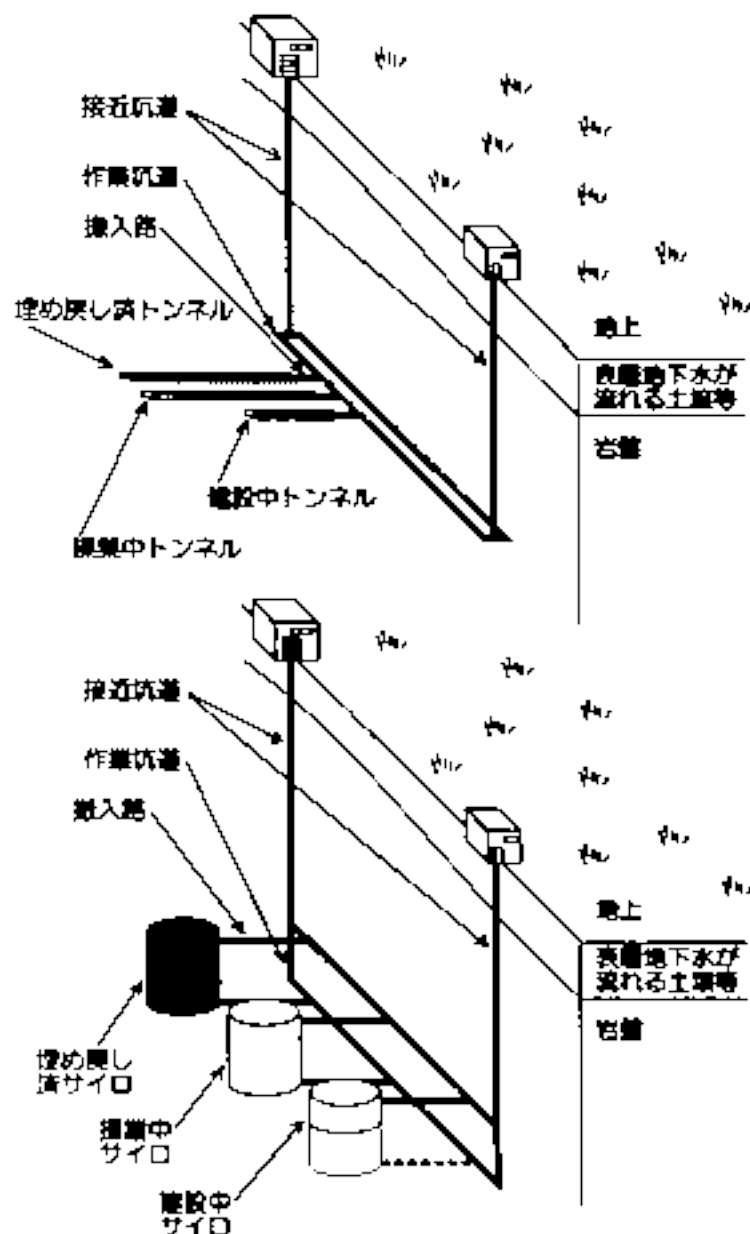


処分施設概念例

地下に設けた施設の建設・操業・埋め戻しの手順

総論

- ① トンネルやサイロのような処分空間を建設するためには、接近坑道 (a) を設けて地中に入り、作業坑道を設けて建設の拠点となる空間を確保する必要がある。工事作業や放射線防護に係る安全対策から、これら坑道は2系統に分け、物と人などの動線が交わらないようにするのが基本 (a2) である。
- ② これらの坑道はインフラ設備であり、その維持管理のために保護工を施すとともに、地下水の水圧で保護工等が崩れないように、その周囲から湧水を排水する管理が行われる。
- ③ 処分空間は、これらの坑道から枝分かれする形で配割される。(a3)
- ④ 接近坑道や作業坑道は、経済効率の観点から、処分の需要がある限り継続して使用されると考えるのが一般的である。このため、地下施設の建設・操業・埋め戻しは平行して実施され、接近坑道等が埋め戻されるのはすべての操業が終わった後になる。



トンネル型施設

処分トンネルの掘削で発生した捨て石は搬入路等を通じて地上に搬出する。

トンネル空間の完成後にピット (a4) を施工し、構造上・安全上の問題とならないように廃棄物の搬入経路以外（側部）を埋め戻す。

トンネル内のピットに廃棄物を定置して、定置が完了すればピットに覆いを施し、トンネル自体を埋め戻す。このとき、トンネル上部の断面は構造上・安全上の問題とならないように土砂等で充てんする。

サイロ型施設

処分サイロは、基本的に上から下へと、壁面の支保工を施しながら掘削・建設する。発生した捨て石を効率的に運び出すため複数の搬出路（下部搬出路）が設けられる。

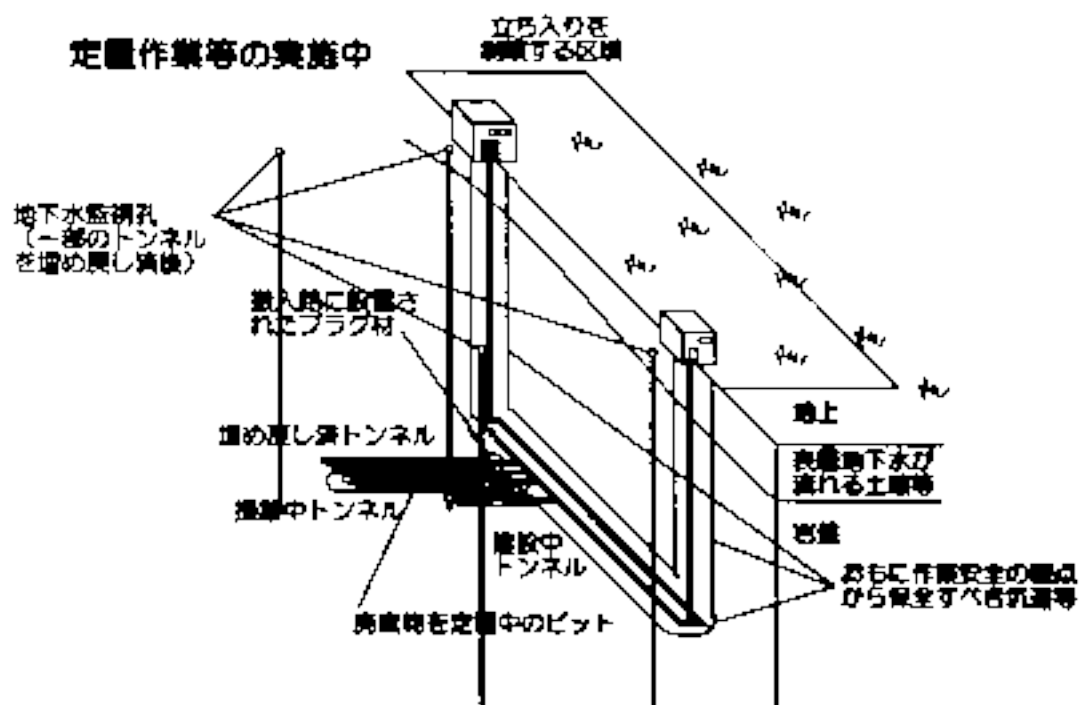
サイロ空間の完成後にピット (a4) を施工し、構造上・安全上の問題とならないように廃棄物の搬入経路以外（側部）を埋め戻す。

サイロ内のピットに廃棄物を定置して、定置が完了すればピットに覆いを施し、サイロ自体を埋め戻す。このとき、サイロ上部の断面は構造上・安全上の問題とならないように土砂等で充てんする。

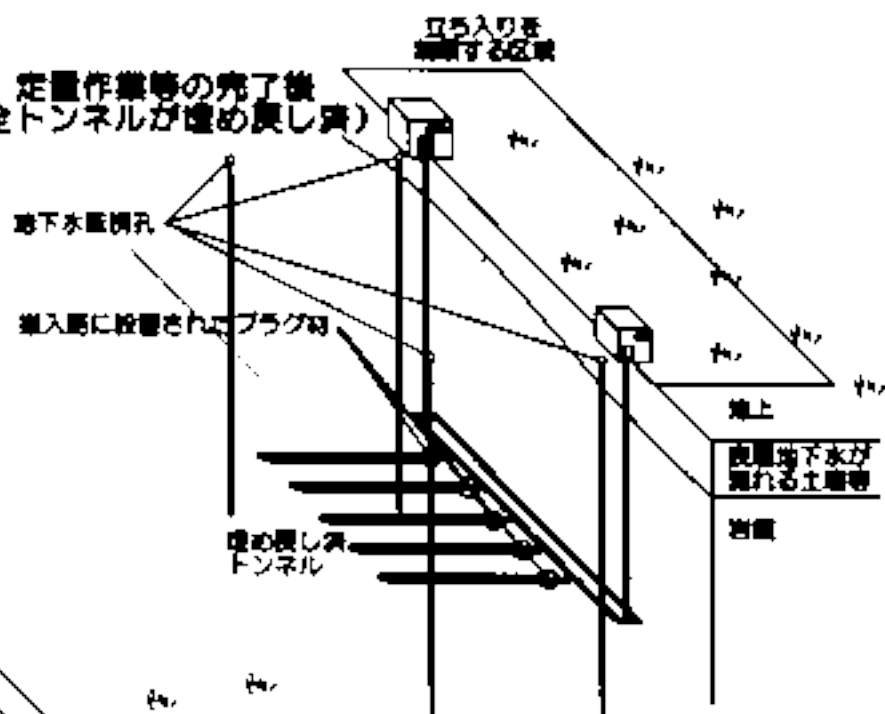
- 注1) 坑道には立坑、斜坑、スパイラル坑などの形態があり、施設要件、岩盤特性や物の搬入出方法（エレベータ、軌道車両、自走式車両等）などを踏まえて選定される。
- 2) このような系統区分は、地下施設への早期の処分開始にも有利である。
- 3) 1つのトンネルやサイロは、岩盤特性や廃棄物量に応じて適切に設計され、必要に応じて掘削される。
- 4) 例えば、空洞の規模（幅十数m、長さ百m程度）に応じた、六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センターと同様のピット
- 5) 例えば、構造壁で内部を区分した空洞規模（直径数十m、高さ五十m程度）に応じたサイロ型ピット。

トンネル型地下施設の管理（一例）

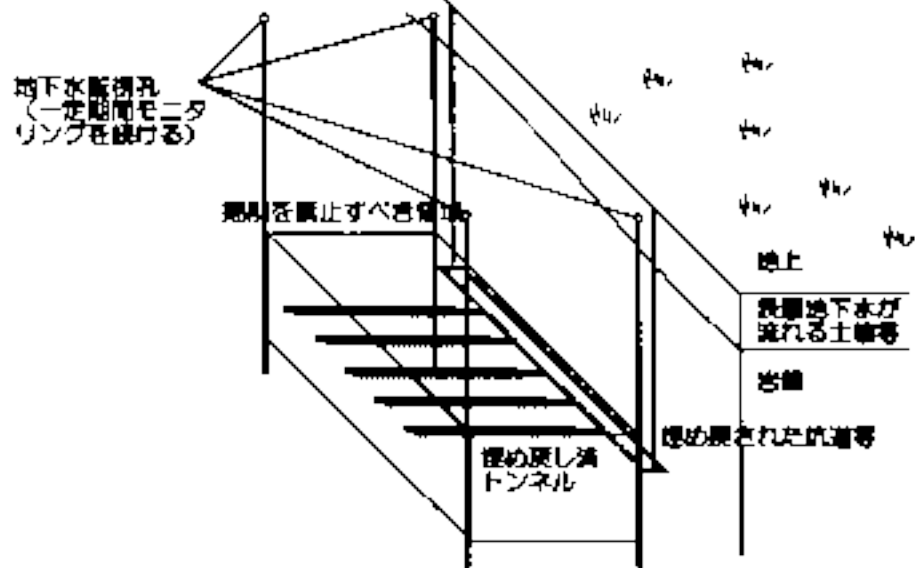
定置作業等の実施中



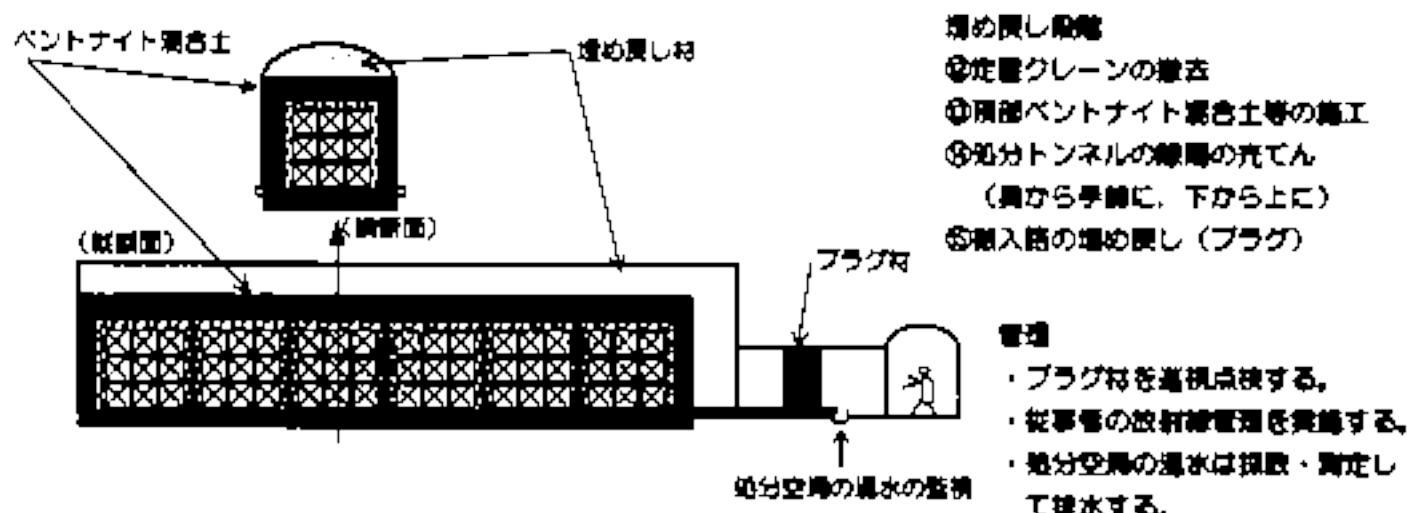
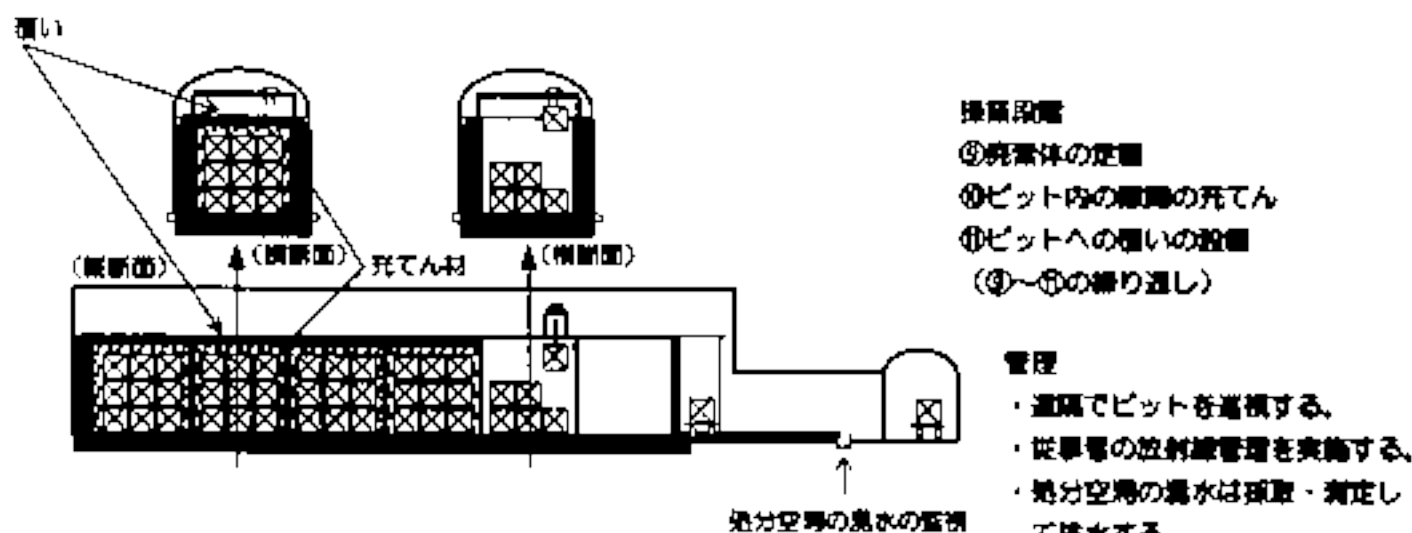
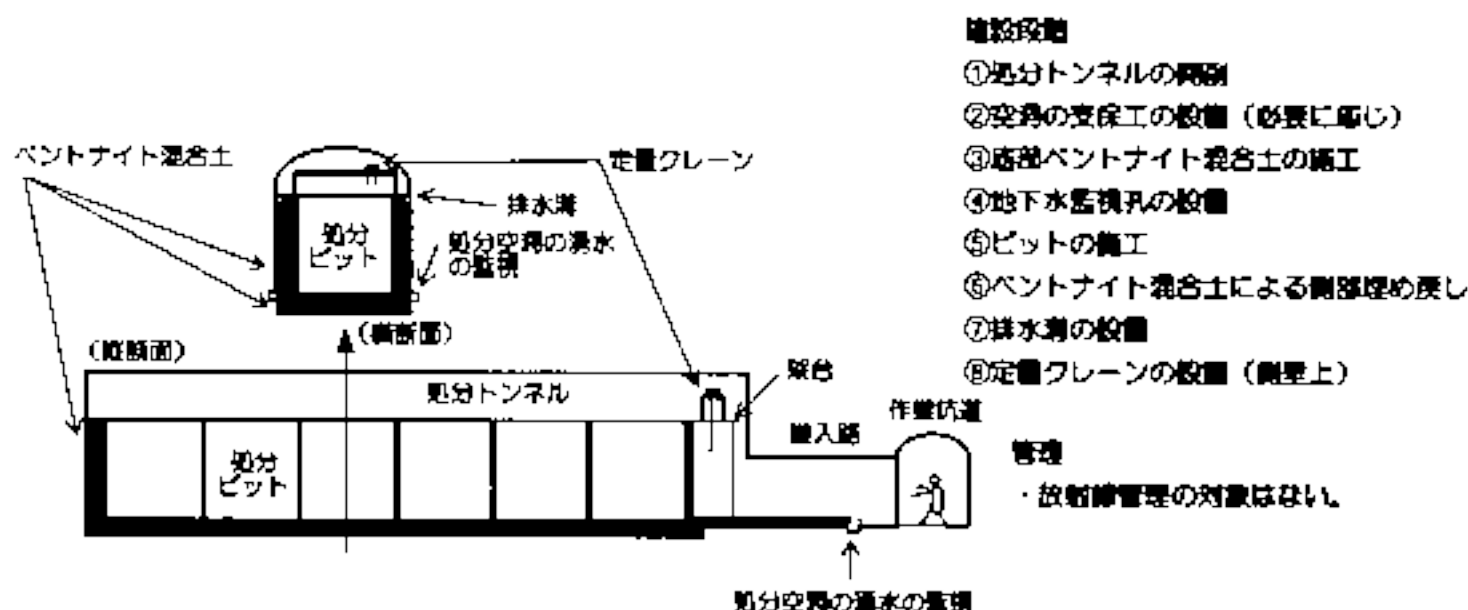
定置作業等の完了後 （全トンネルが埋め戻し済）



地下施設の埋め戻し後



トンネル型施設の操業と管理に係る検討例
—ベントナイト混合土を施工する場合—



原子力発電所等から発生する放射性廃棄物の処分施設の海外の事例

処分事例	操業状況	施設型式	施設深度	対象廃棄物	処分容器	備考
SKB, SFR (スウェーデン)	1988 年操業開始	サイロ トンネル	海底下 60m (水深 5m 以深)	主に原子力発電所で発生する低中レベルの放射性廃棄物 (医療、研究所等の廃棄物も含む)	・コンクリート角型コンテナ (中レベル廃棄物等) ・200L ドラム缶 (錯塩類)	解体廃棄物は強化された施設に受け入れられる予定。ただし、炉内廃棄物等については、今後、処分場を決定する予定
TVO, VLJ (フィンランド)	1982 年操業開始	サイロ	地下約 60~100m	原子力発電所で発生する低中レベル放射性廃棄物 (放射性金属を含む)	・200L ドラム缶 (中レベルアスファルト固化体) ・200L ドラム缶 (錯塩類)	将来的には解体廃棄物も含めて処分予定
INRA, VELLEBERG (スイス)	計画中	トンネル	山腹地表面から 600~1100m 深さ	主に原子力発電所で発生する低中レベルの放射性廃棄物 (医療、研究所等の廃棄物も含む)	・主に 200L ドラム缶	山腹に立地
US Ecology, Richland (米国)	1965 年操業開始	トレンチ	地表下約 10m	主に原子力発電所で発生する放射性廃棄物 (医療、研究所等の廃棄物も含む) トレンチ発電所 (PWR) の解体で発生する炉内廃棄物を原子炉容器と一体化処分を計画中	・角型容器 ・200L ドラム缶	砂漠に立地 隣接する国営の Nevada 処分場では Nevada 炉内廃棄物 (LWR) の炉内廃棄物が原子炉容器と一体化処分されている
BfS, MORSLEBEN (ドイツ)	1978 年操業開始	トンネル (横坑)	地下約 500m	主に原子力発電所で発生する低中レベルの放射性廃棄物 (医療、研究所等の廃棄物も含む)	・200L ドラム缶	素直の廃坑を利用
BfS, KONRAD (ドイツ)	計画中	トンネル (横坑)	地下約 800~1300m	原子力発電所の運転廃棄物、再処理プラントの解体廃棄物、研究施設等からの廃棄物	・200L ドラム缶 ・円筒コンクリート容器 (直径約 1m) ・円筒貯蔵容器 (直径約 1m) ・角型コンテナ	再処理から発生した TRU 核種を含む廃棄物も処分 鉄鉱石の廃坑を利用
NIREX, Sellafield (英国)	計画中	トンネル	地下約 800m	原子力発電所及び再処理工場から発生する低中レベル放射性廃棄物	中レベル廃棄物用容器 ・500L ドラム缶 ・3m ³ 角型容器 ・12m ³ コンクリート製容器 低レベル廃棄物用容器 ・200L ドラム缶 ・3m ³ 角型容器 ・12m ³ 角型容器	再処理から発生した TRU 核種を含む廃棄物も処分

立地場所
地下埋蔵の空間
トンネル
砂漠
廃坑利用
地下埋蔵の施設

対象廃棄物
原子力発電所等から発生する放射性廃棄物
原子力発電所等から発生する放射性廃棄物の処分施設