

本資料は〇/年 〇月 〇日付けで登録区分、
変更する。

[技術情報室]

分置

放射性廃棄物の管理

1991年12月

動力炉・核燃料開発事業団
環境技術開発推進本部

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

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

複製
て下

さい。また今回の開示目的以外のことには使用しないよう注意して下さい。

本資料についての問い合わせは下記に願います。

〒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

社内資料

PNC LN1410 91-092

1991年12月



放射性廃棄物の管理

環境技術開発推進本部

社会環境研究グループ

河本 治 巳

要 旨

本報告書は、原子力文化振興財団が主催する、自治体職員原子力研修に係る検討委員会の検討素材とするため「初任者養成講座」及び「実務者養成講座」の中の“放射性廃棄物の管理”の部分を取りまとめたものである。

本資料に基づいて、平成3年度後半から既に研修が開始されている。

目 次

| | |
|-----------------------------|-----|
| I. はじめに | 1 |
| II. 放射性廃棄物の処理処分（初任者養成講座用） | 2 |
| 1. 廃棄物の発生，種類と取扱の規制 | 3 |
| －各種廃棄物の比較－ | 3 |
| 2. 放射性廃棄物とは | 6 |
| －放射性廃棄物の分類と発生源－ | 6 |
| 3. 放射性廃棄物の管理 | 9 |
| －放射性廃棄物管理システム－ | 9 |
| 4. 放射性廃棄物の処理・処分 | 11 |
| －基本的考え方（低レベル）－ | 11 |
| 5. 放射性廃棄物の処理・処分 | 13 |
| －基本的考え方（高レベル）－ | 13 |
| 6. 初任者養成講座用 O H P 集 | 16 |
| III. 低・高レベル廃棄物の管理（実務者養成講座用） | 35 |
| 1. 放射性廃棄物の廃棄と規制 | 36 |
| 2. 放射性廃棄物の発生源と発生量 | 39 |
| 3. 低レベル放射性廃棄物の処理 | 43 |
| 4. 日本の低レベル放射性廃棄物の処分計画 | 45 |
| 5. 世界の低レベル放射性廃棄物の処分動向 | 48 |
| 6. 高レベル放射性廃棄物の処理 | 52 |
| 7. ガラス固化体の性質と冷却貯蔵 | 54 |
| 8. 高レベル放射性廃棄物の処分研究開発 | 57 |
| 9. 世界の高レベル放射性廃棄物の地層処分計画 | 60 |
| 10. 原子力施設の廃止措置と廃棄物対策 | 63 |
| 11. 放射性廃棄物の輸送 | 65 |
| 12. 参考文献 | 68 |
| 13. 実務者養成講座用 O H P 集 | 69 |
| IV. おわりに | 105 |

I. はじめに

原子力施設の立地に当っては、地域住民の理解と協力を得ることが極めて重要であるが、チェルノブイリ原子力発電所の事故を契機とした反原子力運動や発電所事故による信頼性の低下等を背景にして、原子力立地に対する制約要因は高まってきている。このような状況の中で、地方自治体職員は、原子力発電について幅広い、深い知識を習得した上で地域住民の人々と接する重要な立場にあると考えられる。

日本原子力文化振興財団は、今年度から原子力関係の地方自治体職員を対象とする新しい原子力研修講座を企画しているが、このうちの初任者養成講座は、自治体職員・初任者を対象に原子力に対する幅広い知識の習得を目指すものであり、実務者養成講座は、実務担当者で初任者養成講座の修了者を対象に、原子力業務を処理できる能力の養成を目指すものとなっている。

本報告は、原子力文化振興財団が主催する自治体職員原子力研修に係る検討委員会の検討素材とするべく、研修講座の内容を構成する「放射性廃棄物の管理」の部分を取りまとめたものである。

これらは既に、平成3年度の研修プログラムに従って、実際の研修に供されてきている。

Ⅱ. 放射性廃棄物の処理処分（初任者養成講座用）

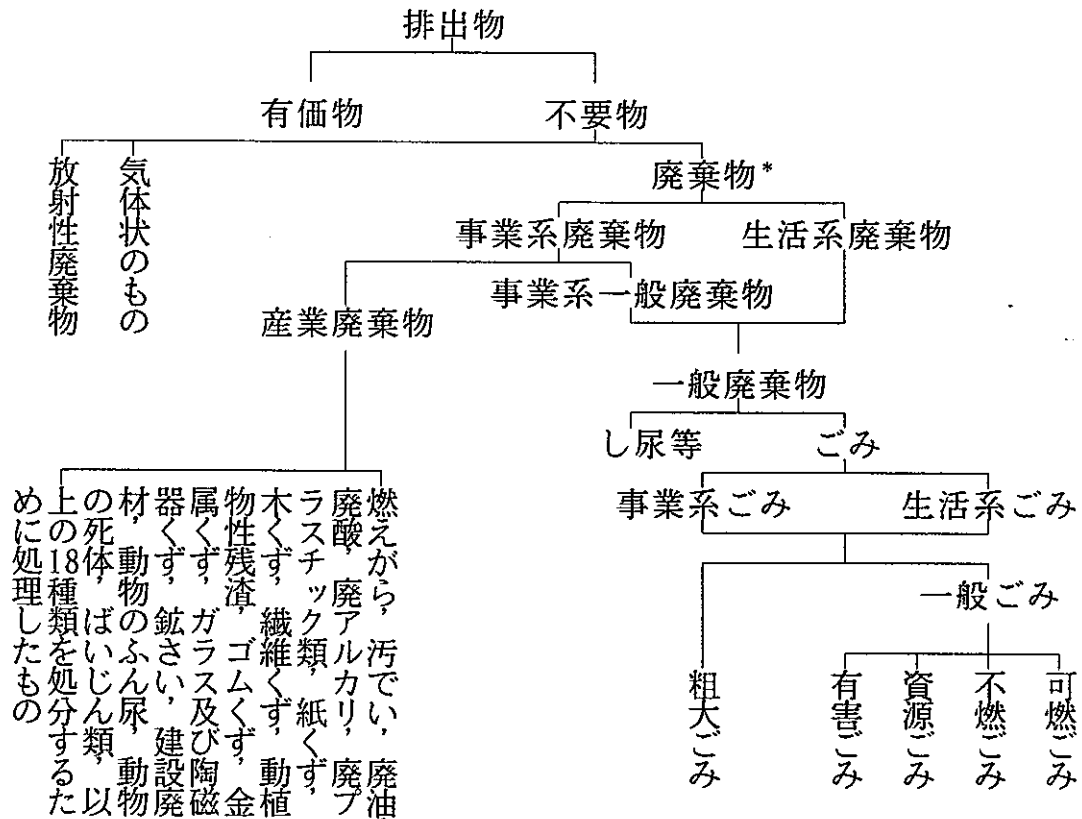
1. 廃棄物の発生，種類と取扱の規則
—— 各種廃棄物の比較 ——
2. 放射性廃棄物とは
—— 放射性廃棄物の分類と発生源 ——
3. 放射性廃棄物の管理
—— 放射性廃棄物管理システム ——
4. 放射性廃棄物の処理・処分
—— 基本的考え方（低レベル） ——
5. 放射性廃棄物の処理・処分
—— 基本的考え方（高レベル） ——
6. 初任者養成講座用 OHP 集

1. 廃棄物の発生と取扱いの規制

— 各種廃棄物の比較 —

「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」（廃掃法）では、廃棄物とは、ごみ、粗大ごみ、燃えがら、汚泥……、動物の死体、その他の汚物又は不要物であって固体状又は液状のもの（放射性物質及びこれによって汚染されたものを除く）を言うとして定義されている。これに従うと、我々の日々の生活やいろいろな事業活動を行うさいに排出される不要物が、①一般廃棄物（ごみ、し尿等）、②産業廃棄物（汚でい、廃油等）の2つに大別される。これら不要物を排出する際には、その安全化、安定化、減量化等の処理を行い、処理したものを自然界に排出する処分が義務づけられている。原子力の開発利用にともなって出される放射性物質を含んだ廃棄物も、原子力産業廃棄物ということができるが、例外規定に示されるように、わが国の現行法では一般廃棄物及び産業廃棄物から分離して放射性廃棄物として扱われている。これらの規制と行政上の管理は、

別々の法律で、また別々の政府機関により行われている。



*：廃掃法でいう廃棄物

図1 廃棄物の種類

(1) 廃棄物の発生量

昭和60年度の、わが国の1年間の一般廃棄物（日常生活に伴う部分）の発生量は全体で3,730万トンで、産業廃棄物は建設業、鉱山業、農畜産業等からのものも含めて3億1,200万トンに達している。これに対して放射性廃棄物（固体）は約2万トン（処理済）にすぎず、我々の周辺の廃棄物に比べはるかに少ないものである。

(2) 廃棄物取扱いの規制

一般のごみや産業廃棄物は、廃掃法によってその取扱いが規制され、厚生省の所管のもとにある。これに対して放射性廃棄物については、核燃料物質、核原料物質及び原子炉に関するものは「原子炉等規制法」により、また研究・産業用のラジオアイソトープ（R I）からのものは「放射線障害防止法」によりそれぞれ規制され、科学技術庁の所管となっている（ただし実用発電用原子炉は通産省、製錬事業関係は通産省及び科学技術庁）。ただし、医学的診断及び治療にかかわるラジオアイソトープからのものについては、医療法及び薬事法により規制され、厚生省の所管となっている。

(3) 廃棄物の処理・処分の対応と責任

一般廃棄物は地方自治体（市町村）又はその委託をうけた廃棄物処理業者が集荷して焼却その他の処理を行っている。処分には埋立て処分と海洋への投入処分があるが、埋立てによるものが多い。産業廃棄物はそれを発生させた事業者の責任において処理するのが原則とされている。しかし一般廃棄物と同様に産業廃棄物業者にその処理・処分を委託することができることから、ほとんどの事業者は委託処理を行っている状況である。これも埋立て及び海洋への投入により処分されている。放射性廃棄物の場合には、原子力発電所の低レベル廃棄物については、青森県六ヶ所村に埋設する計画のもとに準備がすすめられている。R I使用施設からの低レベル廃棄物については、通常、R I事業者はこれを研究用R I廃棄物と診療用R I廃棄物に区分し、一定の分担のもとに廃棄業者に処理・処分を委託している例が多い。高レベル放射性廃棄物は、現在は再処理工場に貯えられており、今後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100メートルより深い地層中に処分する方針であり、研究開発が進められている。

表 1 各種廃棄物の比較

| 区 分 | 一般廃棄物 | 産業廃棄物 | 放射性廃棄物 |
|---------------------|--|-----------------|---|
| 発 生 源 | 家庭, 事務所 | 工場, 事業所 | 原子力施設 R I 使用施設 |
| 発 生 量 (万ト/S60年度) | 3,730 (日常生活関連) | 31,200 | 2 |
| 特 徴 | (下水, 汚泥が) 含まれる | 有害物を含むこと がある | 放射性物質を含み 放射線を出す |
| 処理処分者 | 地方自治体 | 事業者 処理業者 | 原子力事業者 R I 使用事業者 廃棄委託業者 |
| 関係主要法 (所管省庁) | 廃棄物処理清掃法 (厚生省) 海洋汚染災害防止法*** (運輸省) | | 原子炉等規制法* 放射線障害防止法** (科学技術庁, 通産省) 医療法, 薬事法 (厚生省) |

注)

* 原子炉等規制法： 「核原料物質, 核燃料物質及び原子炉の規制
に関する法律」

** 放射線障害防止法： 「放射性同位元素等による放射線障害の防止
に関する法律」

*** 海洋汚染災害防止法： 「海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律」

2. 放射性廃棄物とは

— 放射性廃棄物の分類と発生源 —

放射性廃棄物は、不要となった放射性物質又は放射性物質によって汚染されたものの総称である。

これらの廃棄物は、形態は一般廃棄物や産業廃棄物と変わらない。しかし放射性物質が含まれているため、放射線が放出されることと、時間の経過と共に放射能が減衰するのが大きな特徴となっている。放射性廃棄物の発生から処分に至るまでの対応は、対象とする廃棄物の種類に応じて変わってくる。この分類の基準となる放射性廃棄物の特性は以下の3つであり、一般にこれらを考慮して分類される。

- (1) 廃棄物の形態（気体、液体、固体）
- (2) 廃棄物中の放射性物質濃度
- (3) 廃棄物中の放射性核種の性質

放射性廃棄物は大別すると、原子力発電所の運転にともなって発生する「低レベル放射性廃棄物」と、量的にはごくわずかだが再処理工場で分離される「高レベル放射性廃棄物」の2つになる。その発生量は、発電規模 100万kWの軽水炉を一年間運転した場合でみると、低レベル放射性廃棄物が 400 m³、一方高レベル放射性廃棄物は 3 m³程度である（図. 2）

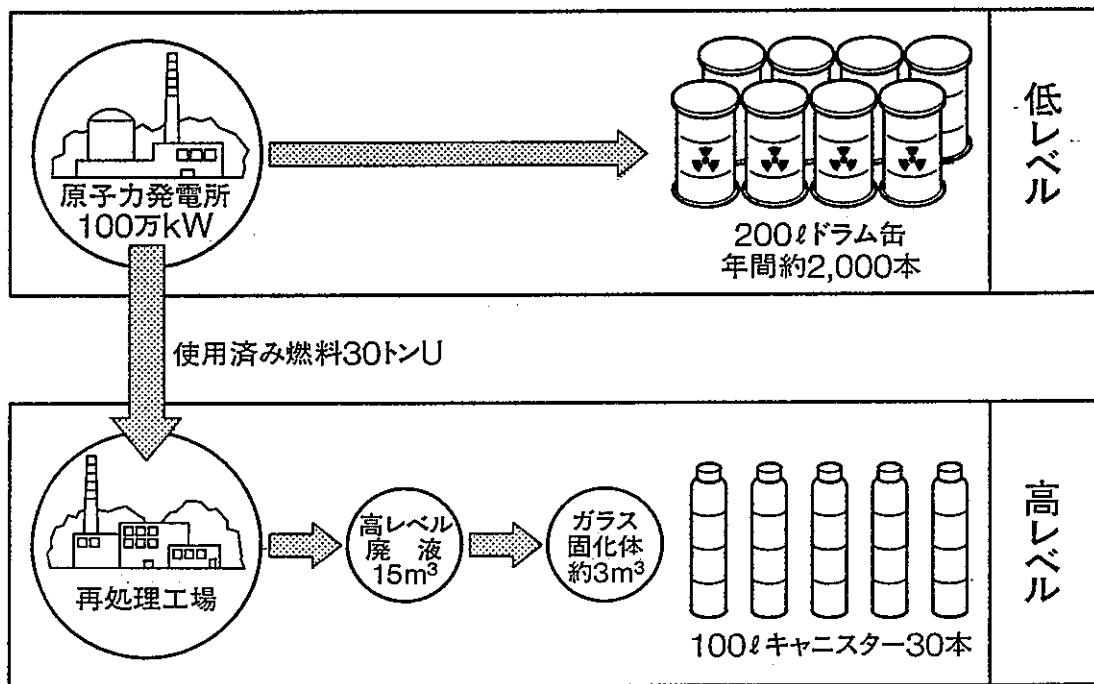


図2 放射性廃棄物の発生量(100万kWの原子力発電所を1年間運転した場合)

(1) 形態による分類

廃棄物はその物理的形態によって気体、液体、固体に分けられる。液体廃棄物の大部分は、水溶液であるが廃油や有機溶媒類もある。固体廃棄物にはフィルターや作業布類等多種多様のものがある。低レベル固体廃棄物の減容化のため焼却や圧縮処理を行う場合には、可燃性と不燃性ならびに圧縮性と非圧縮性に区別することが必要となる。

(2) 放射性物質濃度等による分類

高レベル放射性廃棄物は、再処理の特定の分離工程から出る廃液とこれらの固化体を指すことは広く認められている。その他のほとんどすべての廃棄物は、低レベル廃棄物に区別されている。ただ実際の工場等では、高、中、低のレベルで分類して対応している例が多い。その目安を図3に示す。

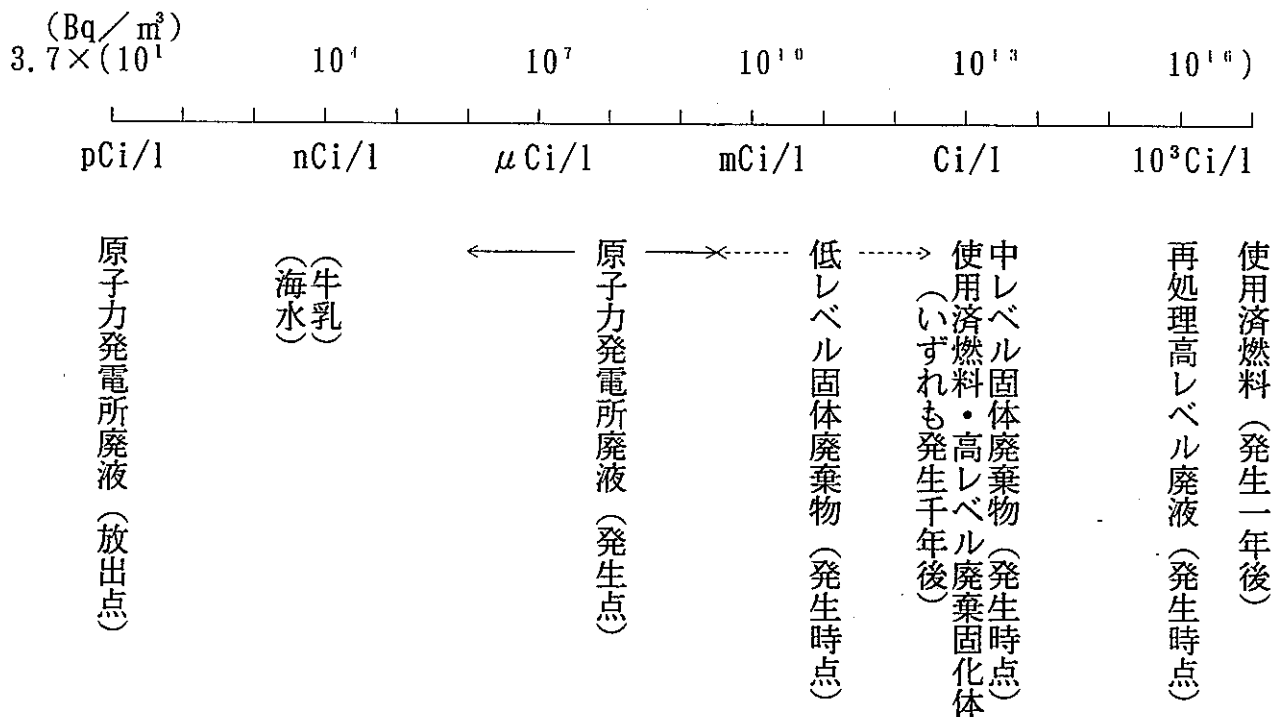


図3 高・中・低レベル廃棄物のおおよその目安

(核燃料サイクル工学(日刊工業新聞社刊)より)

(3) 放射性核種の性質による分類

廃棄物に含まれる主要核種が出す放射線の種類によって、 α 、 β 、 γ 廃棄物に分けられる。 α 廃棄物には、プルトニウム等超ウラン元素を含む廃棄物（TRU 廃棄物）と、ウランだけしか含まないウラン廃棄物がある。 β 、 γ 廃棄物には核分裂生成物（FP）を含むものと放射化生成物を含むものがある。 α 及び β 、 γ が混在する低レベル廃棄物の場合には、最重要核種に着目して β 、 γ 、TRU 及びウラン廃棄物のどれかに分類されることが多い。

(4) 分類まとめ

気体廃棄物は、発生元の工程で発生直後に洗浄、ろ過等の処理を施されるので、實際上低レベルのものしか発生しない。

液体廃棄物は、 α 、 β 、 γ のすべての核種を含んだ高レベル廃液が再処理工場で分離される。中レベルの α 、 β 、 γ 廃液も生じるが、これは処理されて高レベルと低レベルに分けられる。従って、対応の点で重要な廃液は高レベル及び低レベルの2つのレベルとなる。

固体廃棄物には、高レベル廃液をガラス固化した固化体や燃料被覆廃材（ハル）等の高レベルのものと、一般雑固体や廃液の処理で生じる二次廃棄物（固化体、イオン交換樹脂など）等の低レベルのものが含まれる。

表2 放射性廃棄物の分類（例）（*は高、低に分離）

| 形態 | | | 気体 | | | 液体 | | | 固体 | | | | |
|----------|---|-------------------|--------|----|----|----|----|---|----|---|---|---|---|
| | | | 放射能レベル | 発生 | 場所 | 高 | 中 | 低 | 高 | 中 | 低 | 高 | 中 |
| 核種 | α 、 β 、 γ (^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{239}Pu , ^{85}Kr 他) | 再処理工場 | — | — | ○ | ○ | ○* | ○ | ○ | ○ | — | — | ○ |
| | β 、 γ (^{60}Co , ^{54}Mn 他) | 原子力発電所 | — | — | ○ | — | — | ○ | — | — | — | — | ○ |
| α | TRU (^{239}Pu , ^{241}Am 他) | フル燃料工場等 再処理工場等 | — | — | ○ | — | — | ○ | — | — | — | — | ○ |
| | ウラン (^{235}U , ^{238}U 他) | ウラン燃料工場等 | — | — | ○ | — | — | ○ | — | — | — | — | ○ |

3. 放射性廃棄物の管理

— 放射性廃棄物管理システム —

廃棄物の発生、処理、貯蔵、輸送及び処分は一連のものであり、いずれの場合にも現在及び将来にわたって放射性廃棄物を封じこめ、人間環境への影響防止について考慮しなければならない。

従ってその発生の段階から最終的に処分する段階までを一貫した流れの中でとらえ、その管理体系全体が安全性確保の面から最適であるように選定する必要がある。

このため、放射性廃棄物の管理は一般に次の原則に基づいて行われる。

- (1) 放射性廃棄物発生源での発生量の低減
- (2) 環境放出される放射性物質の低減と希釈・拡散
- (3) 放射能の低減のための貯蔵
- (4) 長半減期放射性核種の隔離

図4に一般的に広く行われている放射性廃棄物の管理システムを示す。

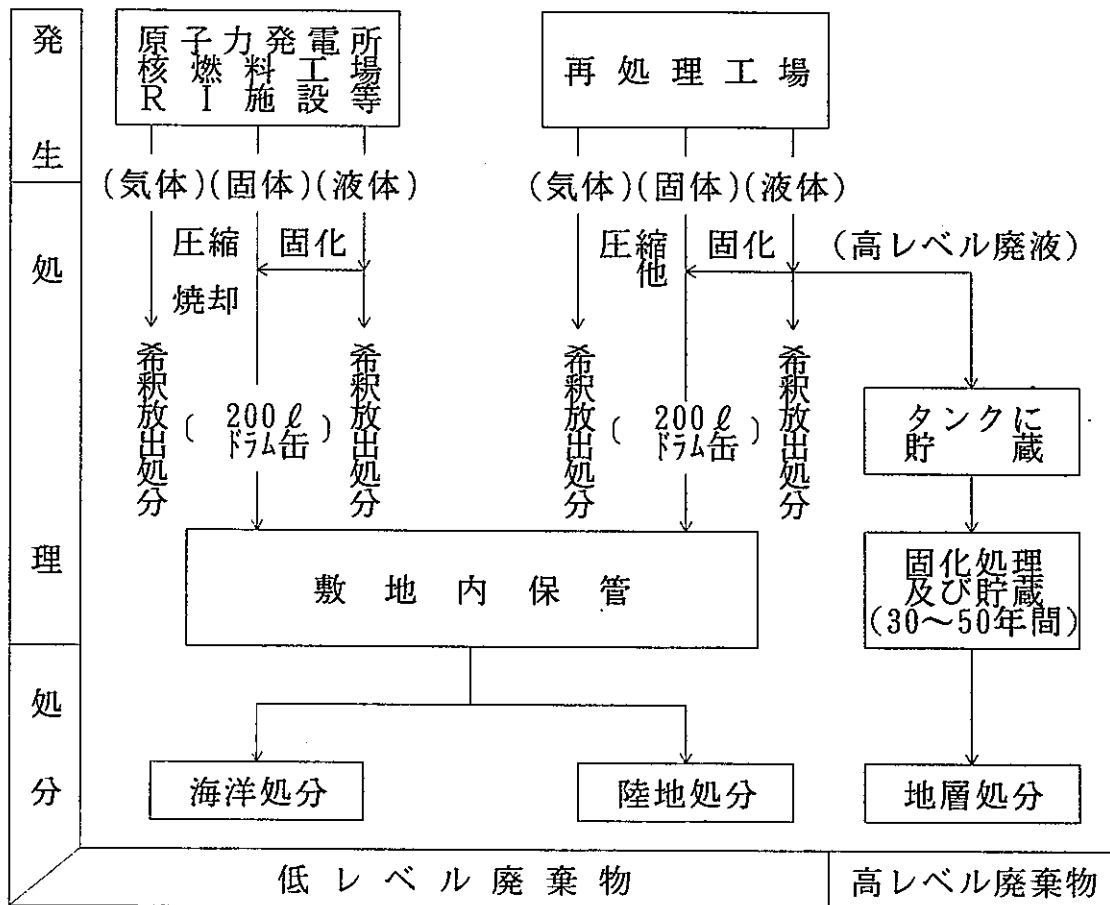


図4 放射性廃棄物の管理システム

(1) 発生量の低減

廃棄物の発生量を減らす上で減容化処理は重要であり、固体廃棄物で燃えるものは焼却、燃えないものは圧縮し、又液体廃棄物については蒸発濃縮する等の減容化が行われている。

処理方法の選定に当たっては、二次廃棄物をなるべく増加させないような方法を選ぶと共に、処理装置の保守や交換の際に生じる廃棄物の量をも考慮する必要がある。

(2) 放出する放射性物質の低減と希釈・拡散

現在、この方法は放射性物質濃度が低くて量が多い、低レベルの気体及び液体廃棄物の処分に適用されている。これらの廃棄物は、ろ過や蒸発等の適切な処理を施して放射性物質を除去したのち、その濃度を測定し安全を確かめて環境に放出される。放射性物質濃度が何ら問題とならないよう、十分に迅速な希釈・拡散効果が環境に備わっていることを利用するものである。

(3) 放射能低減のための貯蔵

放射性壊変により、放射能レベルが減衰して環境放出が可能になる迄の間中間貯蔵するもので、比較的短半減期の核種のみを含む、例えば原子炉からの気体廃棄物などに対して行なわれている。

低レベル固体廃棄物の埋設処分や、高レベル廃液のガラス固化体の中間貯蔵による発熱量の低減化も、基本的にはこの考え方に基づいている。

(4) 長半減期放射性核種の隔離

高レベル廃棄物のように長半減期の放射性核種を含む廃棄物は、放射性壊変によりその放射能が十分安全と考えられるレベルに下がる迄、人間環境から隔離しなければならない。

廃棄物を隔離するためには、含まれる放射性核種を廃棄物中に固定して、外部への漏洩を最低にすることが望ましい。このため、溶解したり飛散したりするのを防止する目的で、廃棄物を処理してすぐれた安定性のある固化体を作成する。高レベル廃液のガラス固化体や、低レベル廃棄物のセメント、アスファルト及びプラスチック固化体がこの例であり、これらの固化体を適切な環境中にきちんと入れることによって隔離が保証される。

4. 放射性廃棄物の処理・処分

— 基本的考え方（低レベル） —

原子力発電所等の原子力施設から発生した低レベル放射性廃棄物は、含まれている放射性物質のほとんどが短い半減期のものである。気体と液体の一部を除いて低レベル放射性廃棄物は処理して最後に、ドラム缶の中に封入される。

ドラム缶に詰められた廃棄物は、原子力発電所などそれぞれの施設内で専用の貯蔵庫に安全に保管される。低レベル放射性廃棄物についての、最終的な処分としては陸地処分及び海洋処分により実施することがわが国の基本方針である。

陸地処分は、比較的浅い地層に埋設する方法であり、青森県六ヶ所村で処分計画が進められている。ここではコンクリートでつくった施設（ピット）の中に低レベル放射性廃棄物のドラム缶をならべ埋め戻す計画で、放射性物質が減っていくのに合わせた段階的な管理が行われる。

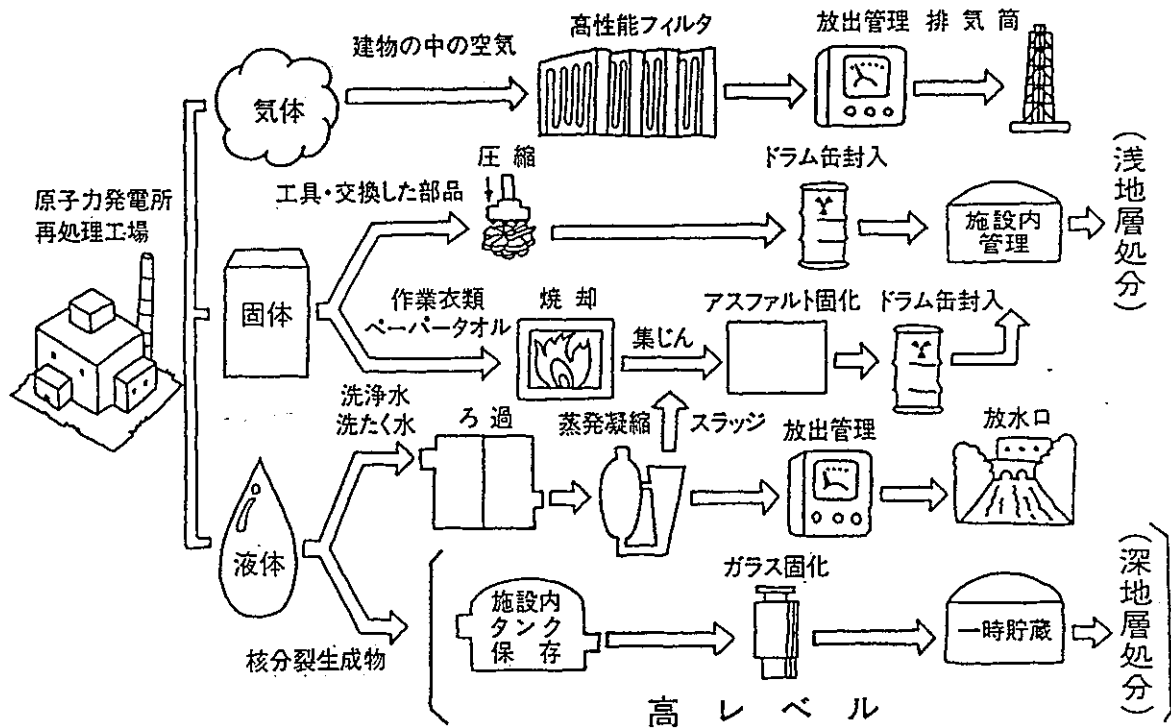


図5 低レベル放射性廃棄物の処理方法

(1) 低レベル放射性廃棄物の処理

たとえば原子力発電所では、気体、液体、固体状の低レベル放射性廃棄物が発生するが、これについては、

- ① 気体状のものは、フィルターを通したあと、放射能を弱めるなどの手段をとったあと放出される。
- ② 液体状のものは蒸発濃縮を行い、回収された水は再利用したり、一部は放射能レベルを測定して、安全を確認した後放出される。後に残った濃縮廃液などはアスファルトなどと混ぜて固化し、ドラム缶に封入する。
- ③ 固体状のものはフィルター等であり、焼却、圧縮等の処理を行って容積を少なくして、ドラム缶に詰められる（一部はアスファルトなどと混ぜて固化し封入）。

(2) 低レベル放射性廃棄物の貯蔵・管理

ドラム缶に詰められた固体状の低レベル放射性廃棄物は、一時的に各原子力発電所敷地内の貯蔵庫で安全に保管されている。わが国の低レベル放射性廃棄物の累積保管量は、1990年3月末現在で200ℓのドラム缶に換算すると合計約76万本になっており、このうち、約47万本が原子力発電所で発生したものである。なお、約23万本が他の原子力関連施設から、残りの約6万本がRI施設から発生したものとなっている。

(3) 低レベル放射性廃棄物の処分

陸地処分では、アスファルトやセメントなどで固めた固化体、ドラム缶、コンクリート壁などの「人工バリア（障壁）」と、土壌などの「天然バリア」を適切に組み合わせて処分を行う。放射能は時間とともに減衰していくので、これに合わせて以下に示した管理が行われる。

a. 第1段階

人工バリアにより放射性物質のバリア外への漏出を防止し、環境への影響を防ぎ、所要の観測、測定（巡視点検、施設のモニタリングなど）によって漏出のないことを確認する。

b. 第2段階

人工バリア及び天然バリアによって、放射性物質の移行を防止し、所要の観測、測定（周辺環境のモニタリングなど）によって安全であることを確認する。

c. 第3段階

主に人間の特定の行為を禁止あるいは制約する管理のみを行う。

d. 第4段階

放射線防護の観点から管理の必要がなくなる。

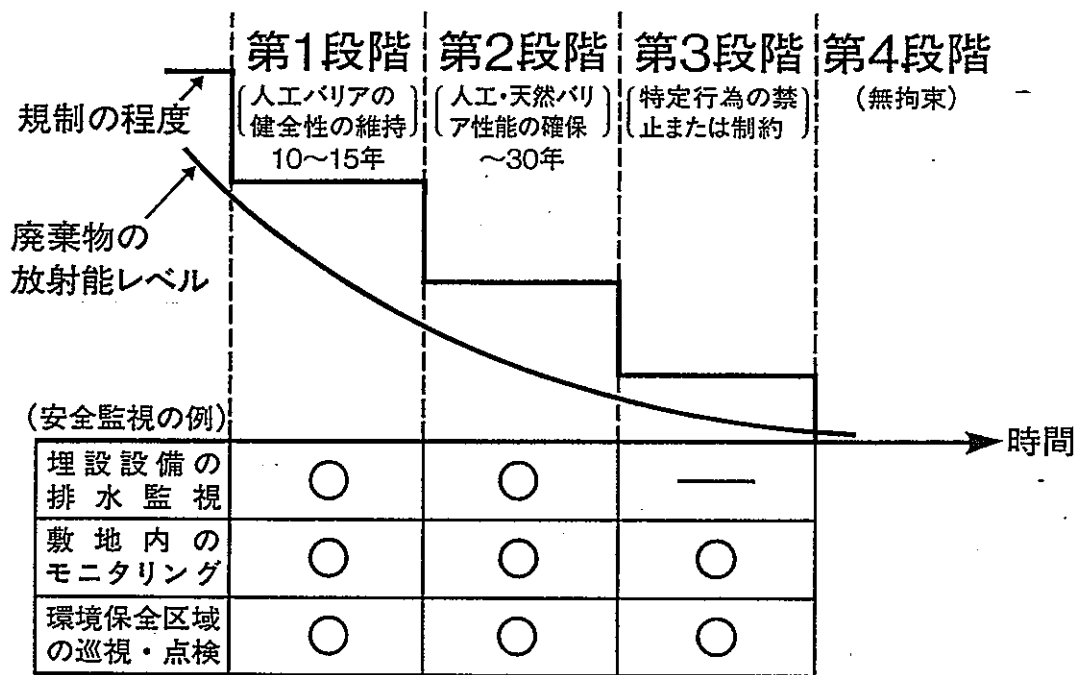


図6 低レベル廃棄物処分の適切な管理

5. 放射性廃棄物の処理・処分

— 基本的考え方（高レベル） —

高レベル放射性廃棄物は、低レベル放射性廃棄物に比べその発生量自体は少ないが、極めて高い放射能があり、また半減期の長い核種も含まれているので、その放射能が減衰するまで、長期間にわたり人間環境から隔離する必要がある。このため安定な形態に固化し、処分に適する状態になるまで貯蔵し、その後地層中に処分することがわが国の基本的な方針となっている。当初は、液状のまま再処理工場のステンレス製のタンクの中に冷却しながら貯蔵されているが、その後キャニスターと呼ばれるステンレス製の容器の中にガラスとともに固められ、安定な固化体として処理される。

キャニスター中にガラスとともに固められた高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）は、冷却のため30～50年の間、専用の施設で安全に貯蔵される。貯蔵期間中に主に短半減期核種の放射能の減衰により発熱の減ったガラス固化体は、その後地下数100メートルより深い地層中に埋められ処分される予定である。現在地層処分により放射性物質が環境に影響を与えないことを確認するための研究開発が進められている。

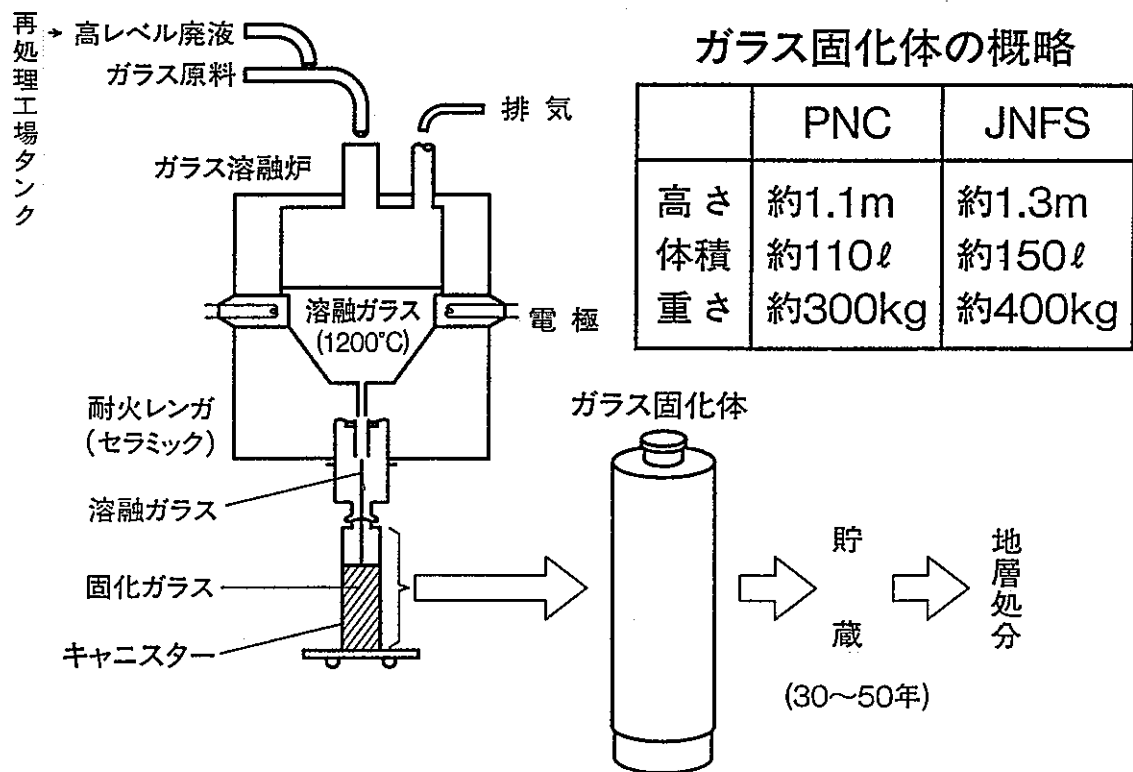


図7 ガラス固化プロセス

(1) 高レベル放射性廃棄物の発生

高レベル放射性廃棄物は再処理によって、使用済み燃料から分離される核分裂生成物を含む分離廃液、及びそれを固化したガラス固化体であり、その発生量は極めて低く、低レベル放射性廃棄物の約 1/100 程度である。高レベル放射性廃棄物の放射能の主体は核分裂生成物であるが、同時に生成する T R U 元素も含まれる。

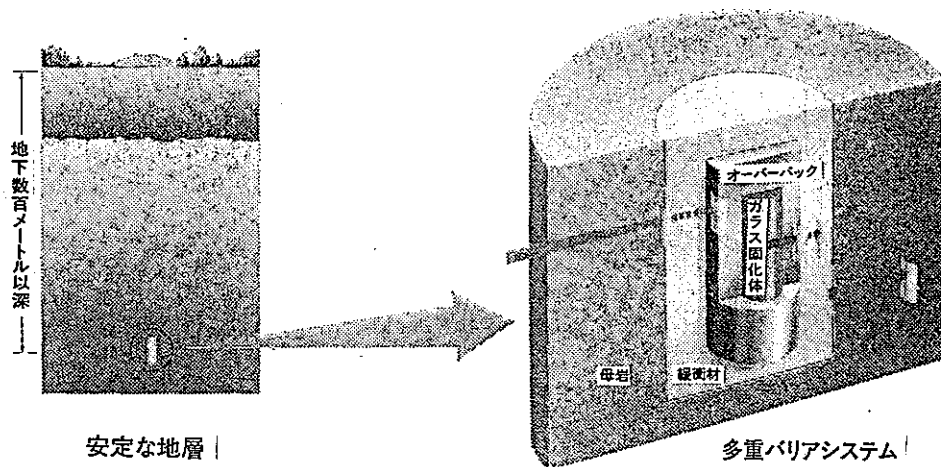
(2) 高レベル放射性廃棄物の処理

高レベル放射性廃棄物には、使用済燃料に含まれる核分裂生成物等の大部分が含まれていて放射能濃度も高いために、強い放射線を出し、また発熱している。低レベル放射性廃棄物とちがって、コンクリート、鉛、鋼等の厚い遮へい壁をへだてて隔離操作により扱う。再処理の工程で分離された高レベル廃液はタンクに集め、冷却貯蔵した後、ガラスと共に安定な固化体として処理される。

(3) ガラス固化体の貯蔵と処分

わが国では、ガラス固化体を30～50年程度貯蔵し、発熱量が少なくなつてから、最終的には地下数百メートルより深い安定した地層中に処分する（地層処分）方針である。現在、各国がそれぞれの地質条件を考慮して、各種地層に埋設することを考えて調査研究をすすめている。わが国では、安全な地層処分が技術的に可能であることを示すための研究開発が動燃事業団を中心に行われている。

ここでは、ガラス固化体、そのまわりの厚肉容器（オーバーパック）、地層との間の緩衝材からなる人工的に設けられた多層の安全系（人工バリア）と地下水を浄化する等の地層が本来的に持っている安全機能（天然バリア）を組み合わせた多重バリアシステムによって、放射性物質を厳重に閉じこめ、長期にわたり、人間環境への安全性を確かなものにする事としている。図 8 に地層処分の基本構成を示す。



ガラス固化体自体が、直接、人間に影響を及ぼさないようにする

ガラス固化体中の放射性核種が地下水を介して人間に影響を及ぼさないようにする

地層処分として適切な条件を持つ深部地層を処分の場所として選定する

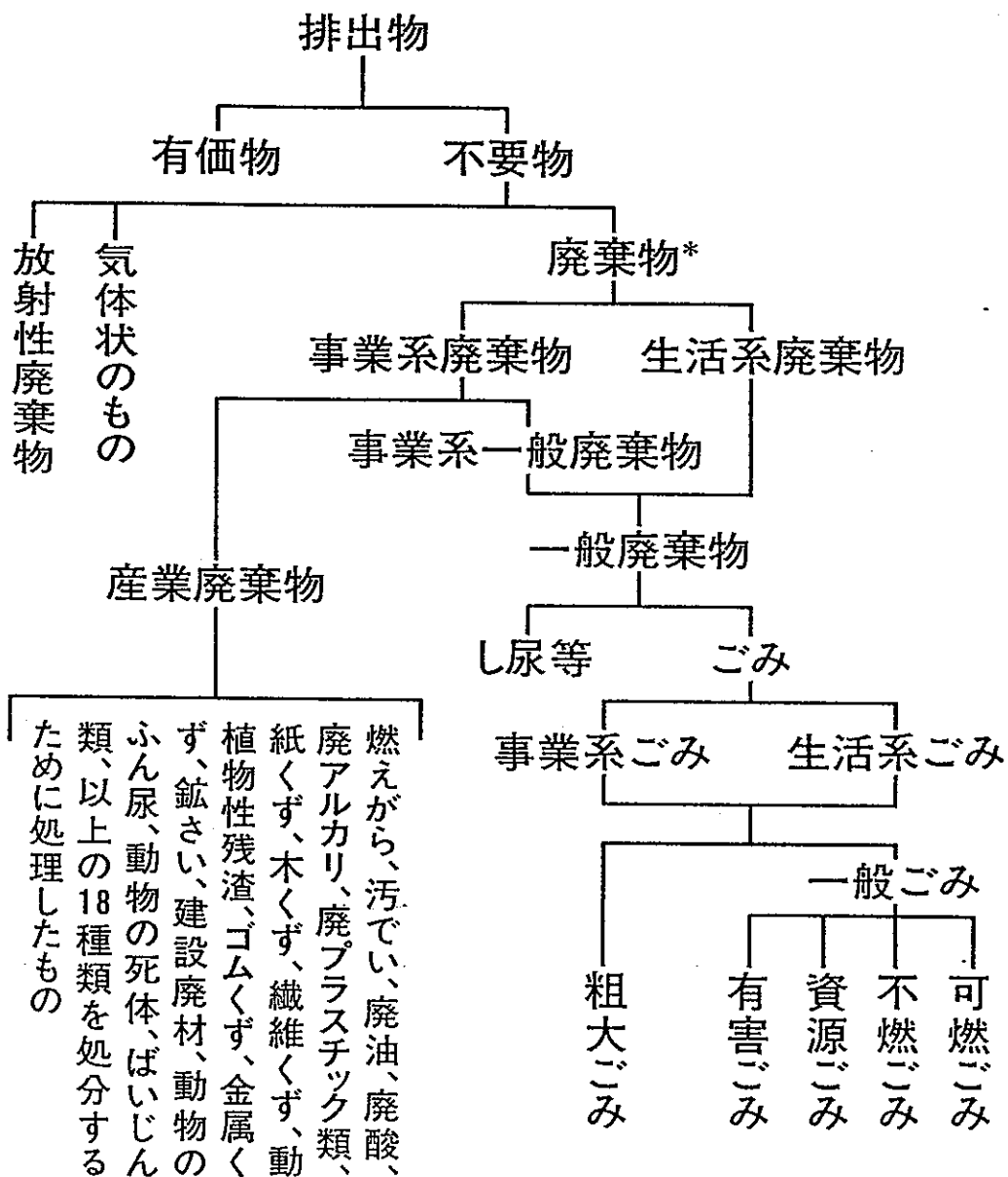
- 地殻変動が少ない
- 地下資源の存在可能性が低い

| 安全確保の三要件 | | |
|---------------------------------------|--|---|
| 地下水接触の抑制 ●初期の高い放射能を確実に減衰させる | 溶出・移動の抑制 ●放射性核種を確実に人工バリア内にとどめる | 環境安全の確認 ●人間に影響を及ぼさないことを更に確かなものとする |

図 8 地層処分の基本構成

6. 初任者養成講座用OHP集

廃棄物の種類



*: 廃掃法でいう廃棄物

各種廃棄物の比較

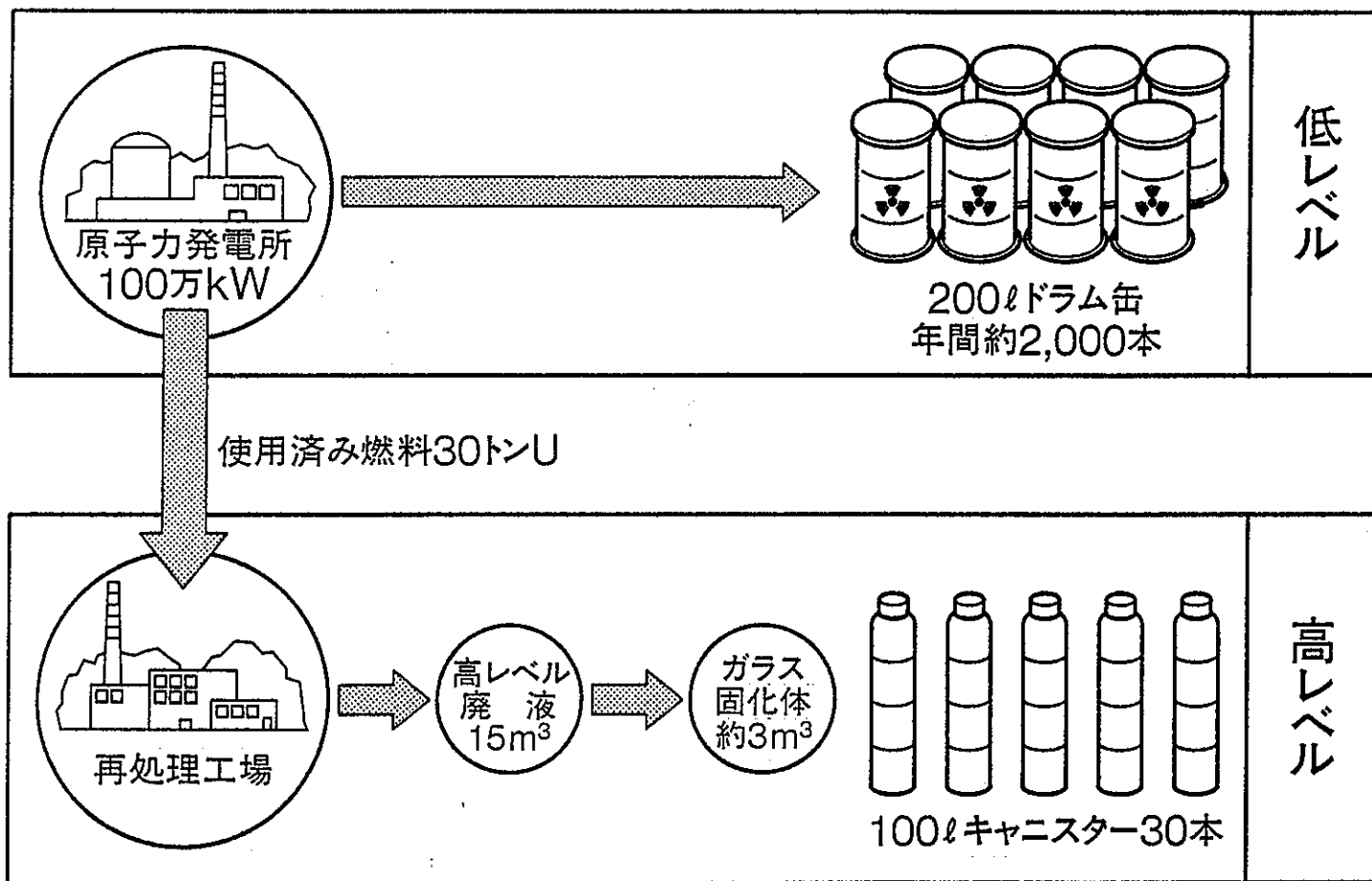
| 区 分 | 一般廃棄物 | 産業廃棄物 | 放射性廃棄物 |
|----------------------|--|-----------------|---|
| 発 生 源 | 家庭、事務所 | 工場、事業所 | 原子力施設 RI使用施設 |
| 発 生 量 (万トン/S60年度) | 3,730 (日常生活関連) | 31,200 | 2 |
| 特 徴 | 〔下水、汚泥が 含まれる〕 | 有害物を含むこと がある | 放射性物質を含み 放射線を出す |
| 処理処分者 | <p>地方自治体</p> <p>事業者 処理業者</p> | | <p>原子力事業者</p> <p>RI使用事業者</p> <p>廃棄事業者</p> <p>廃棄委託指定業者</p> |
| 関係主要法 (所管省庁) | <p>廃棄物処理清掃法 (厚生省)</p> <p>海洋汚染災害防止法 (運輸省)</p> | | <p>原子炉等規制法</p> <p>放射線障害防止法 (科学技術庁、通産省)</p> <p>医療法、薬事法 (厚生省)</p> |

放射性廃棄物の分類に係る特性

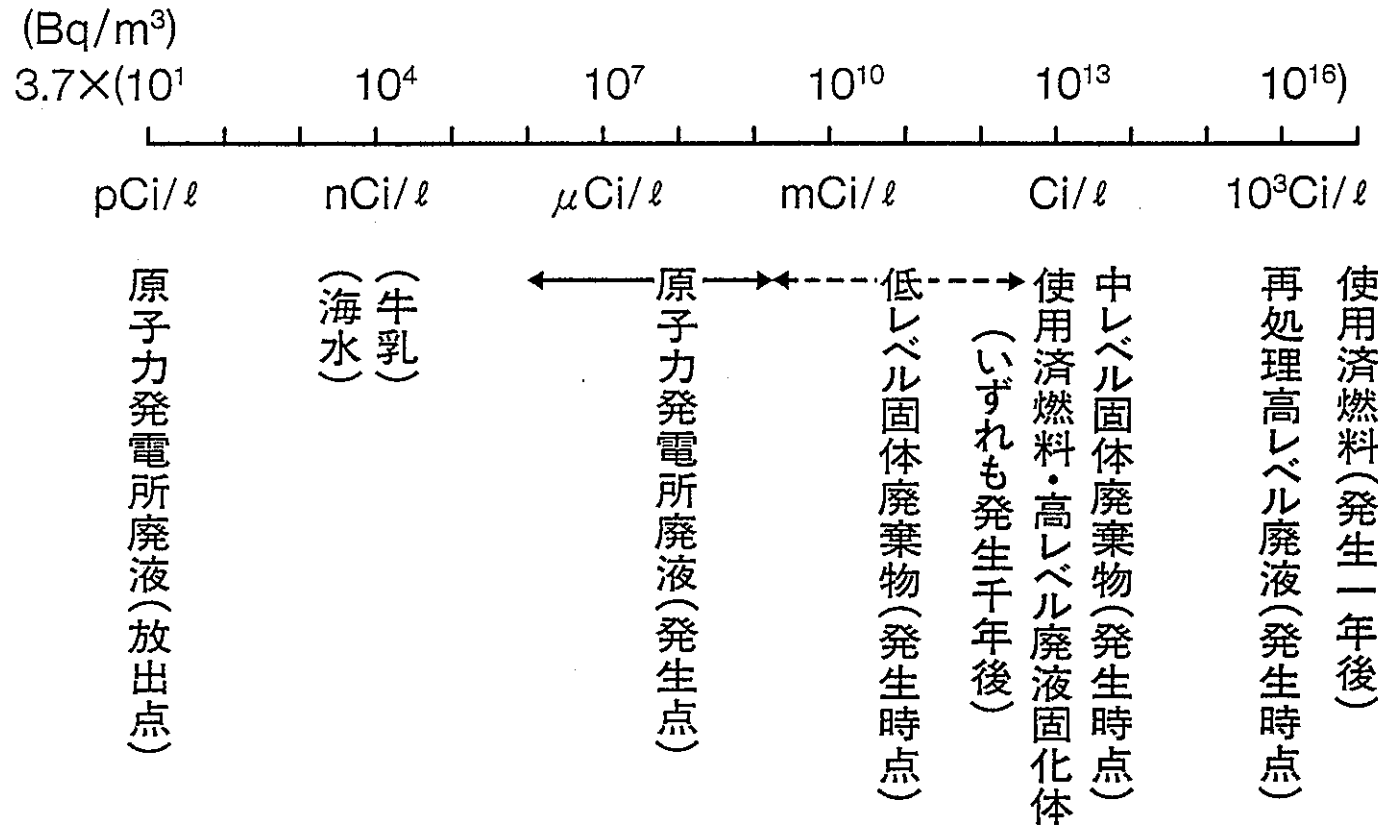
- (1) 廃棄物の形態（気体、液体、固体）
- (2) 廃棄物中の放射性物質濃度
- (3) 廃棄物中の放射性核種の性質

放射性廃棄物の発生量

(100万kWの原子力発電所を1年間運転した場合)



高・中・低レベル廃棄物のおおよその目安



(核燃料サイクル工学(日刊工業新聞社刊)より)

放射性廃棄物の分類 (例)

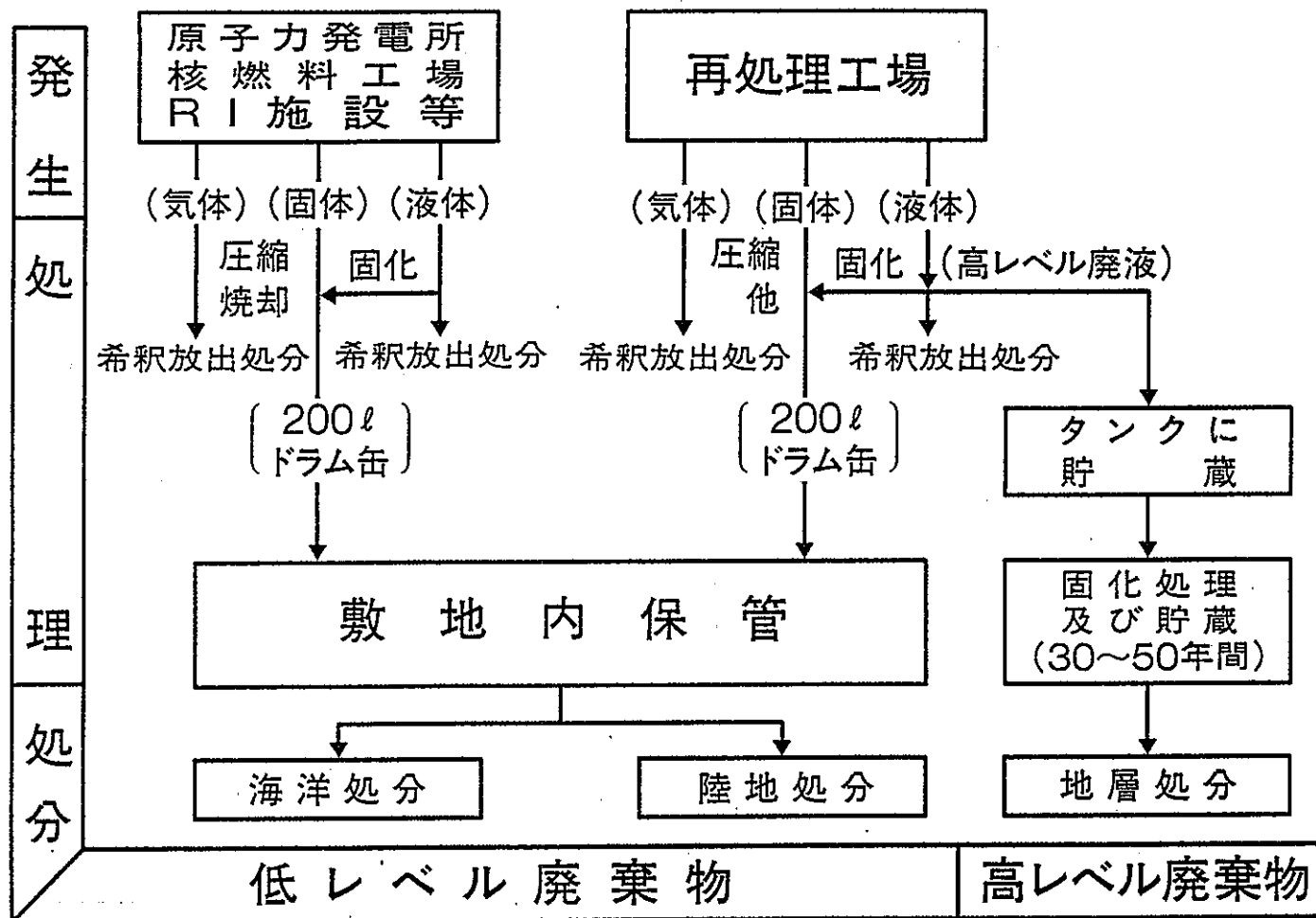
(*は高、低に分離)

| 核種 | | 形態 | 気体 | | | 液体 | | | 固体 | | |
|--|--|-------------------|--------|---|---|----|----|---|----|---|---|
| | | | 放射能レベル | 高 | 中 | 低 | 高 | 中 | 低 | 高 | 中 |
| 発生場所 | | | | | | | | | | | |
| α, β, γ $(^{90}\text{Sr}, ^{137}\text{Cs}, ^{239}\text{Pu}, ^{85}\text{Kr} \text{他})$ | | 再処理工場 | — | — | ○ | ○ | ○* | ○ | ○ | — | ○ |
| β, γ $(^{60}\text{Co}, ^{54}\text{Mn} \text{他})$ | | 原子力発電所 | — | — | ○ | — | — | ○ | — | — | ○ |
| α | TRU $(^{239}\text{Pu}, ^{241}\text{Am} \text{他})$ | プル燃料工場等 再処理工場等 | — | — | ○ | — | — | ○ | — | — | ○ |
| | ウラン $(^{235}\text{U}, ^{238}\text{U} \text{他})$ | ウラン燃料工場等 | — | — | ○ | — | — | ○ | — | — | ○ |

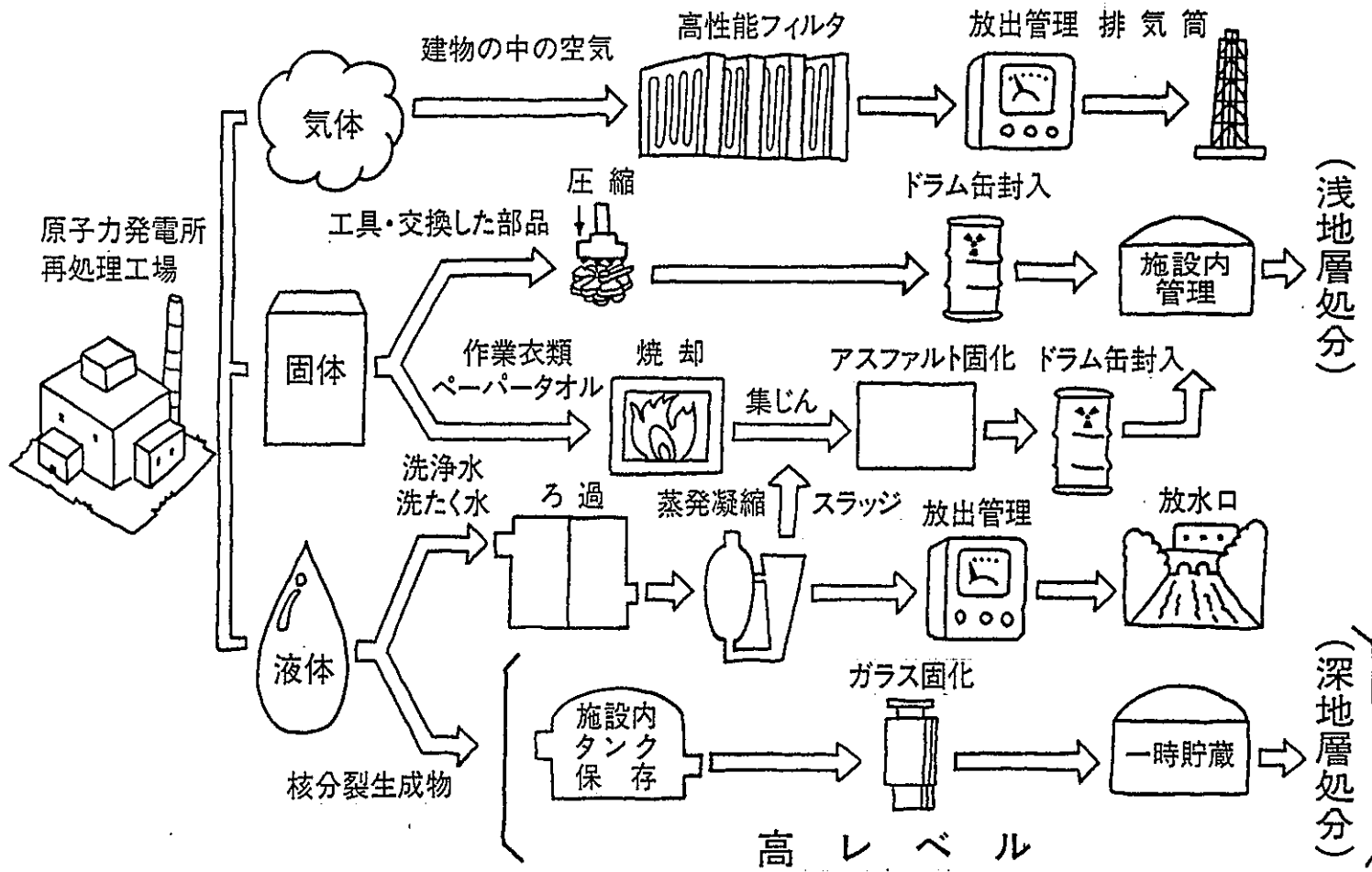
放射性廃棄物管理の原則

- (1) 放射性廃棄物発生源での発生量の低減
- (2) 環境放出される放射性物質の低減と
希釈・拡散
- (3) 放射能の低減のための貯蔵
- (4) 長半減期放射性核種の隔離

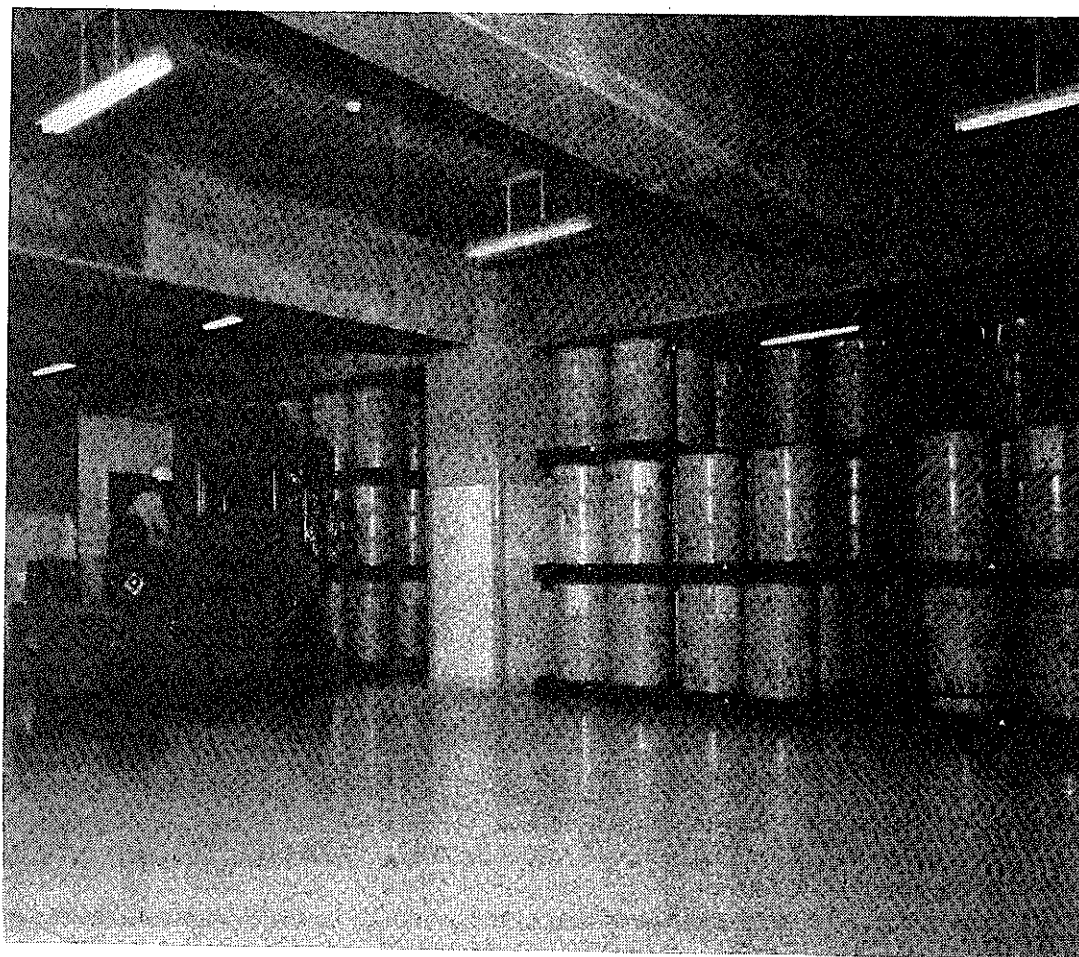
放射性廃棄物の管理システム



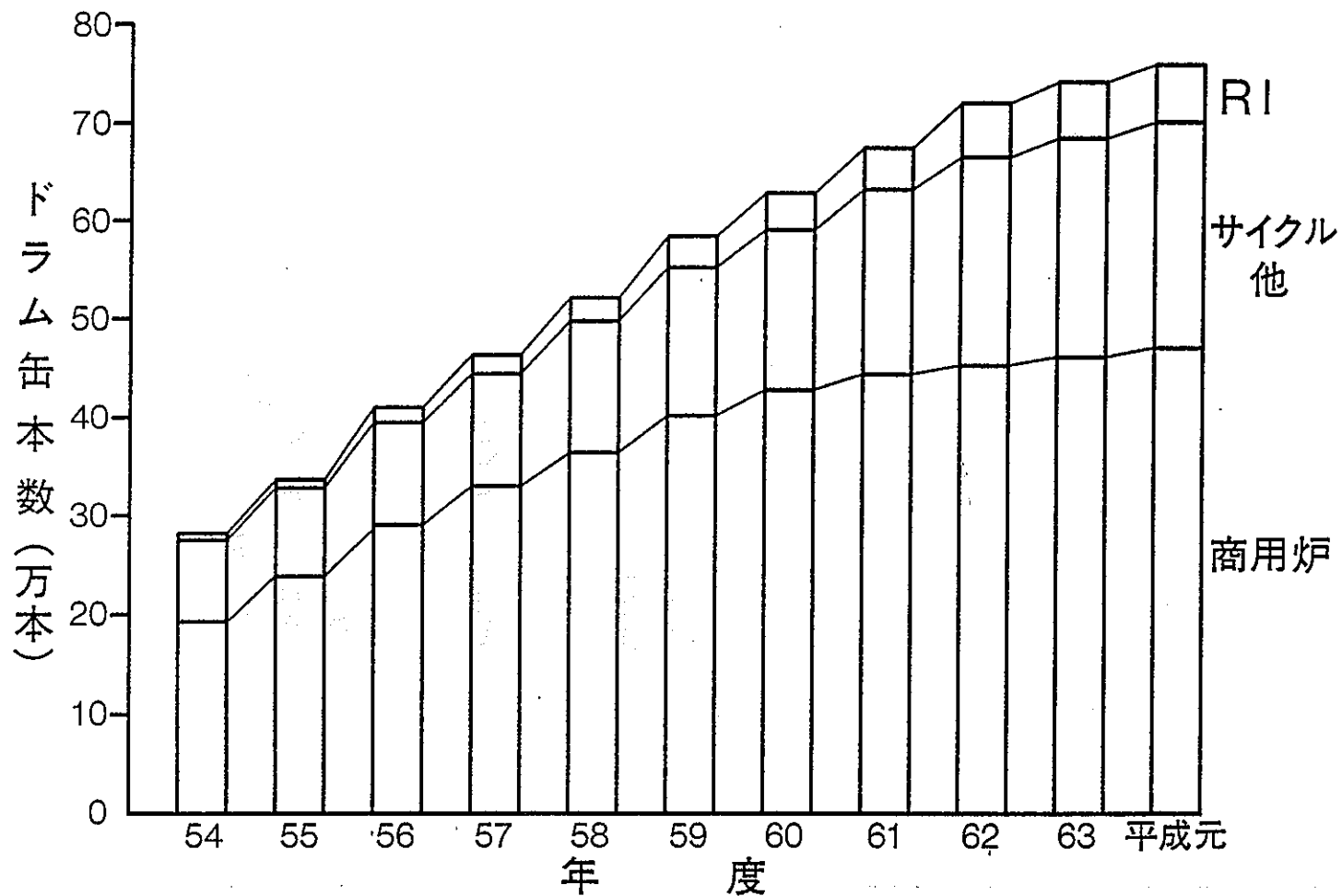
低レベル放射性廃棄物の処理方法



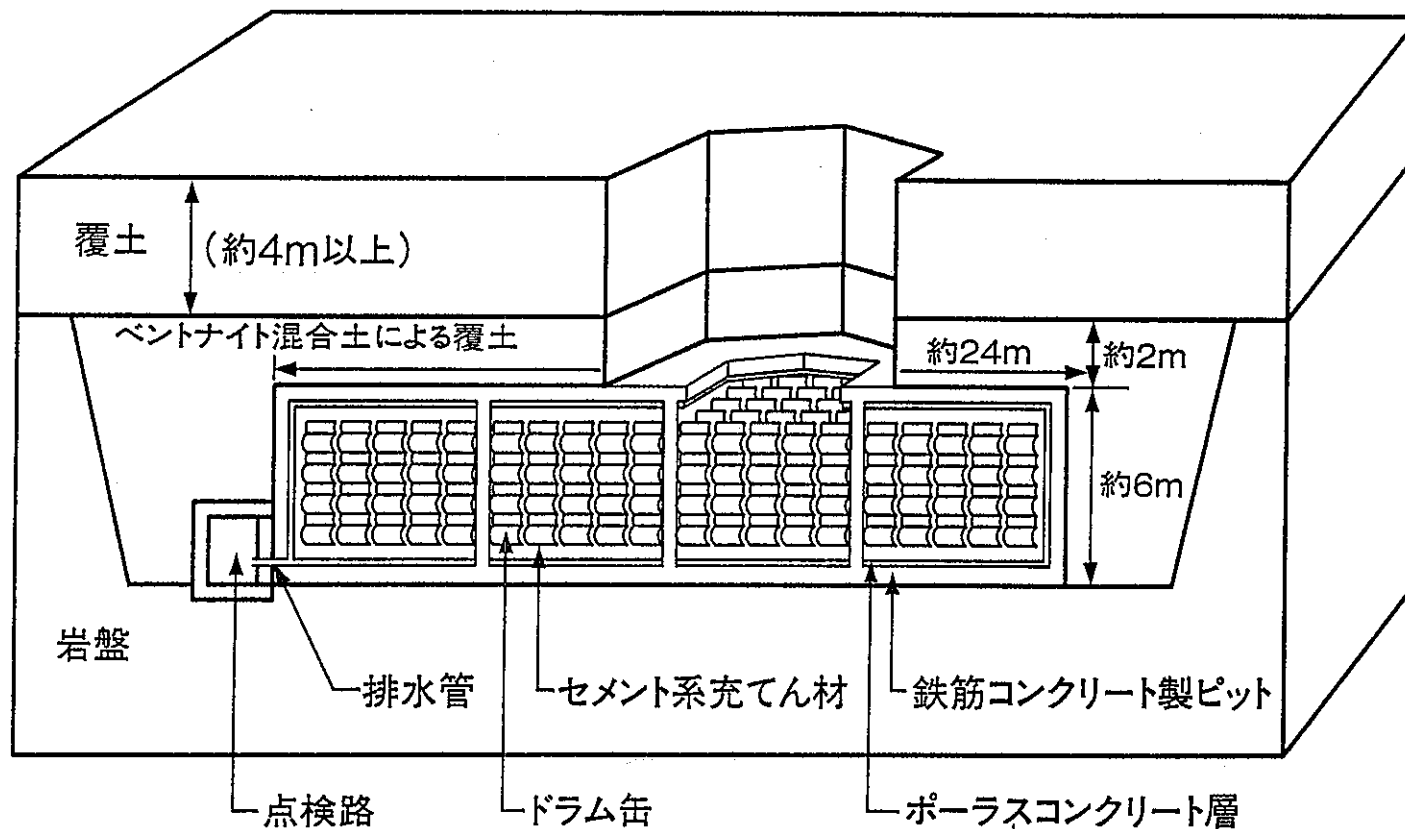
低レベル廃棄物保管庫



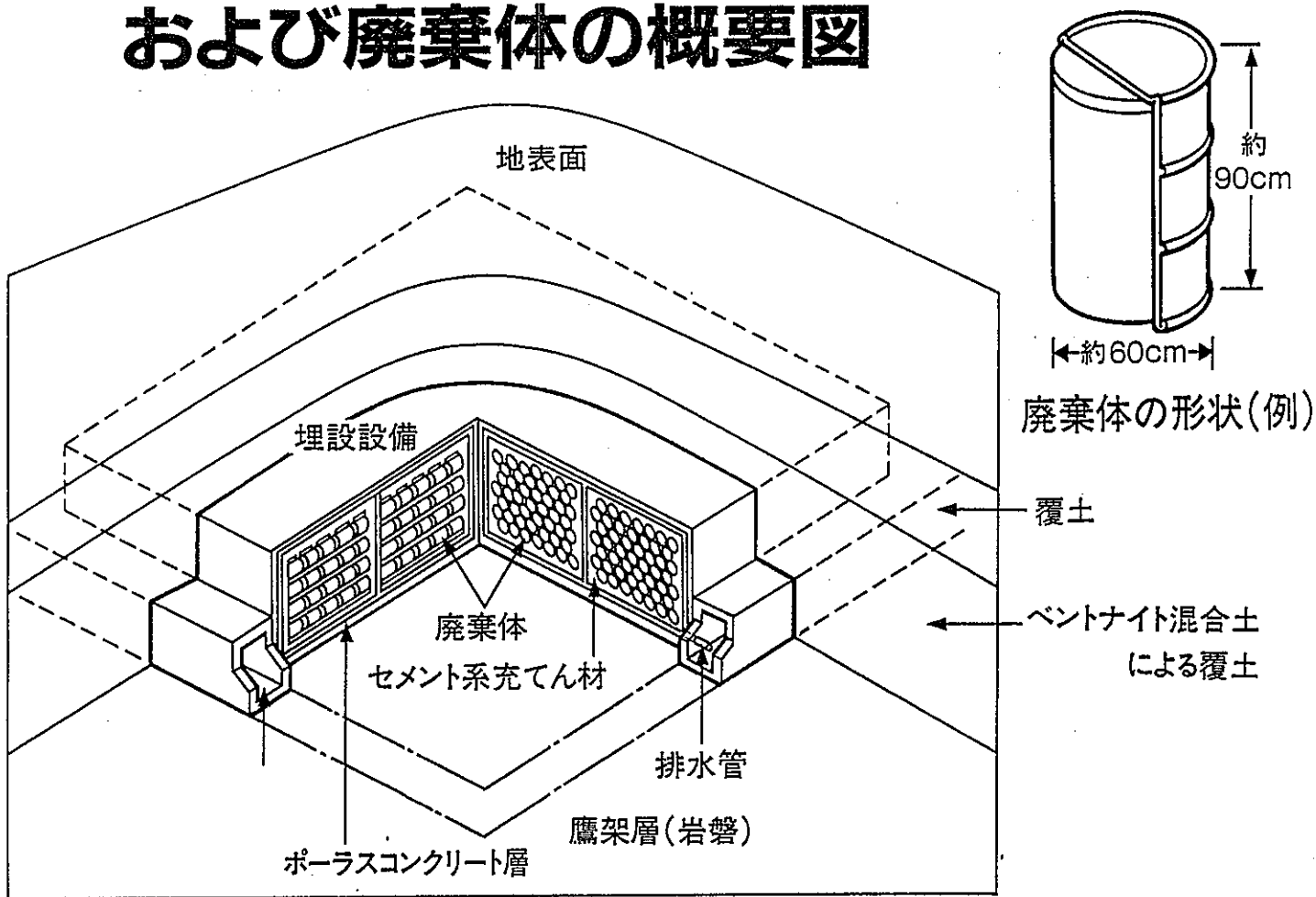
低レベル廃棄物ドラム缶累積保管量



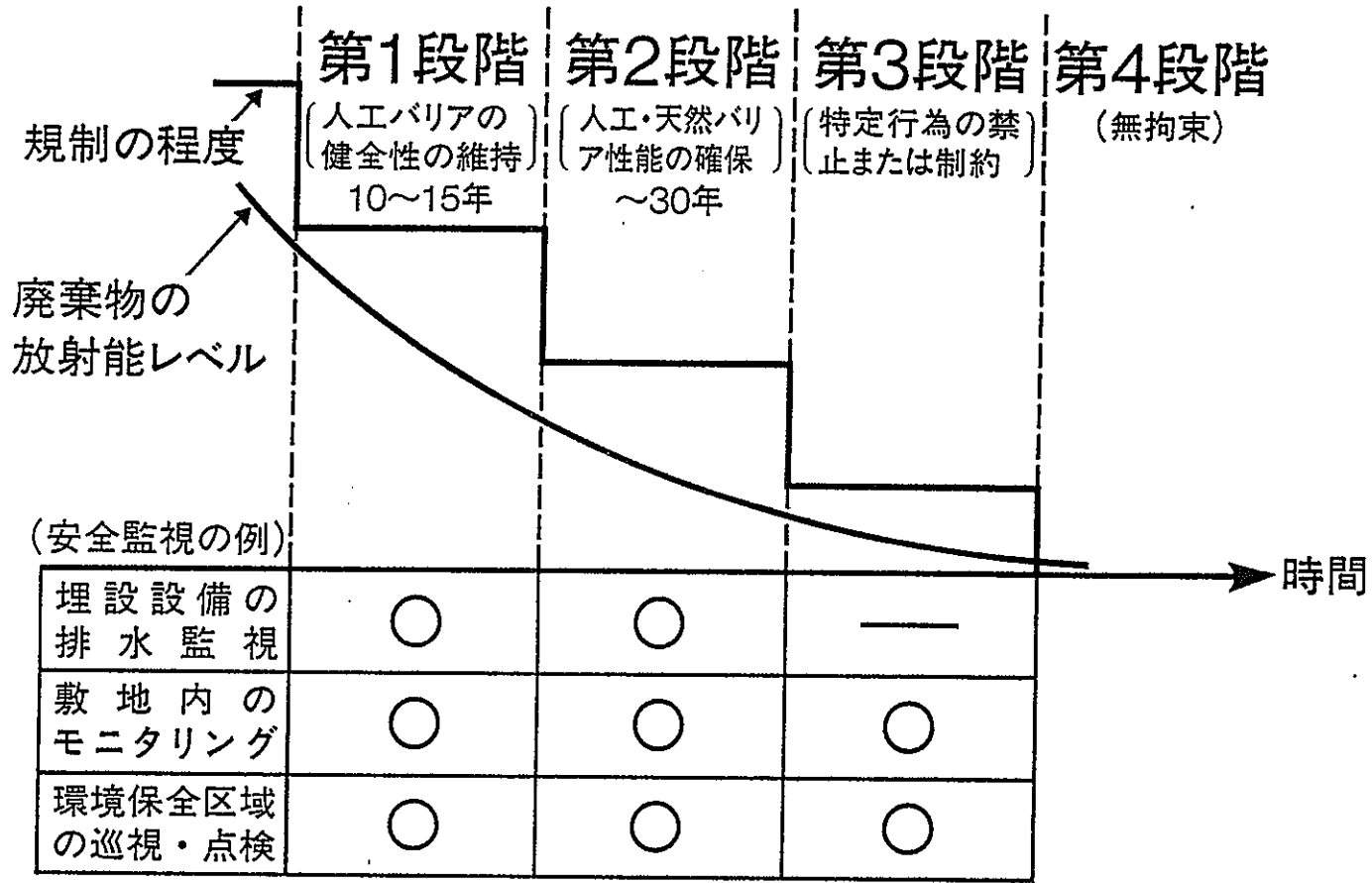
低レベル廃棄物埋設コンクリートピットの構造



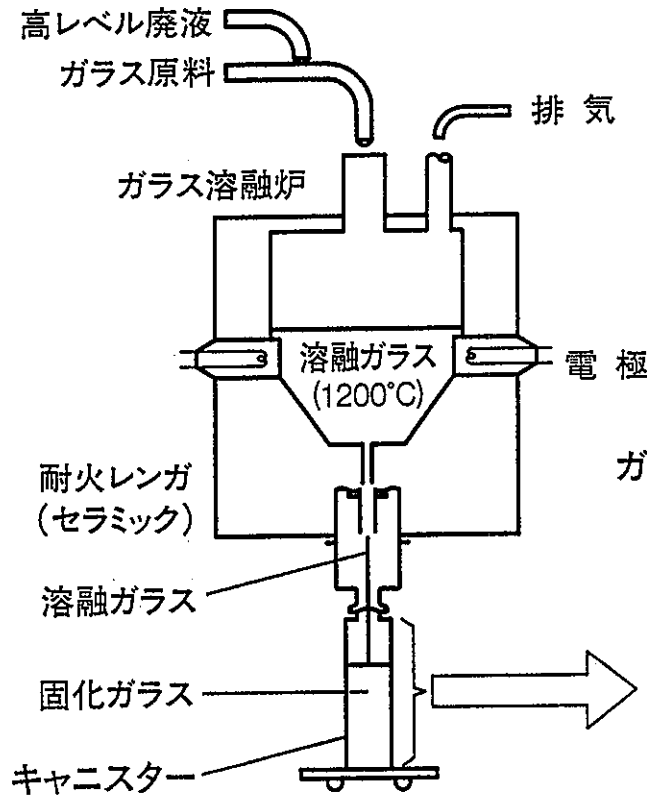
低レベル放射性廃棄物埋設設備 および廃棄体の概要図



低レベル放射性廃棄物処分に係る適切な管理



ガラス固化プロセス



ガラス固化体の概略

| | PNC | JNFS |
|----|--------|--------|
| 高さ | 約1.1m | 約1.3m |
| 体積 | 約110ℓ | 約150ℓ |
| 重さ | 約300kg | 約400kg |

ガラス固化体

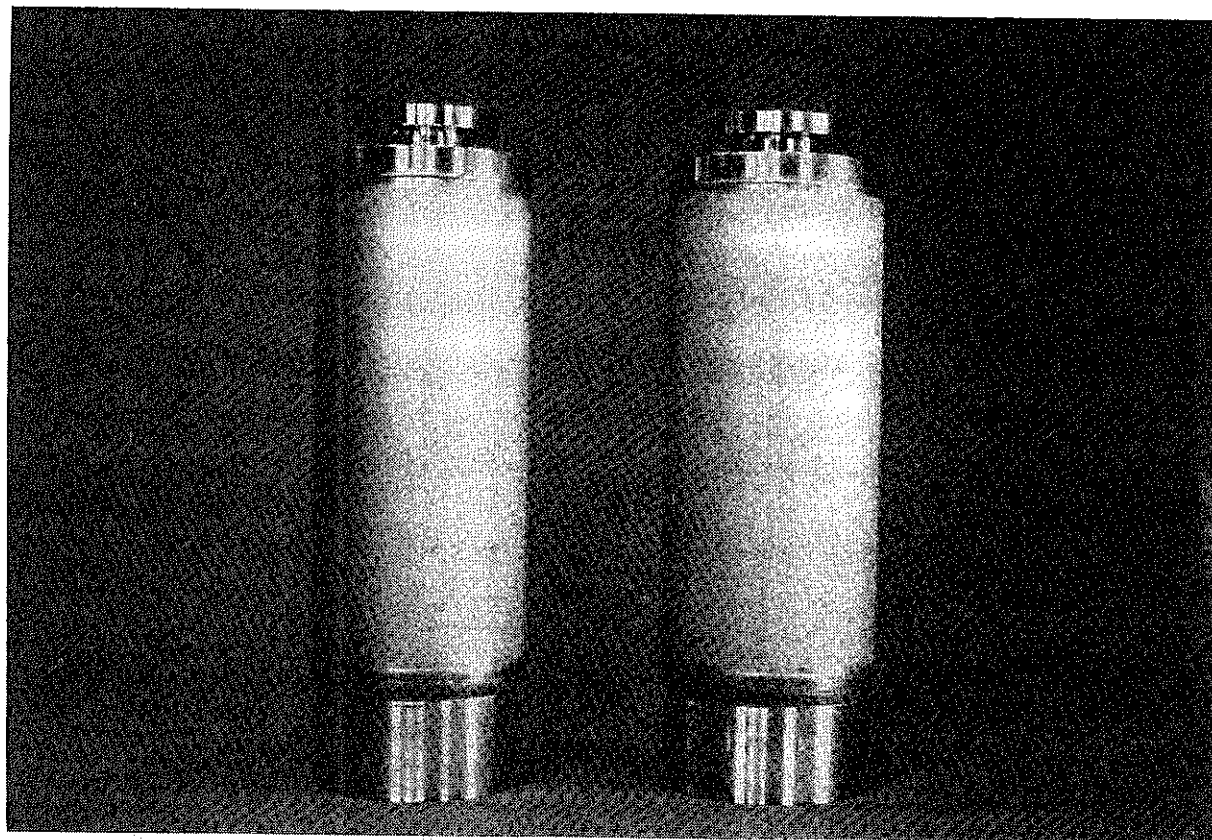


貯蔵

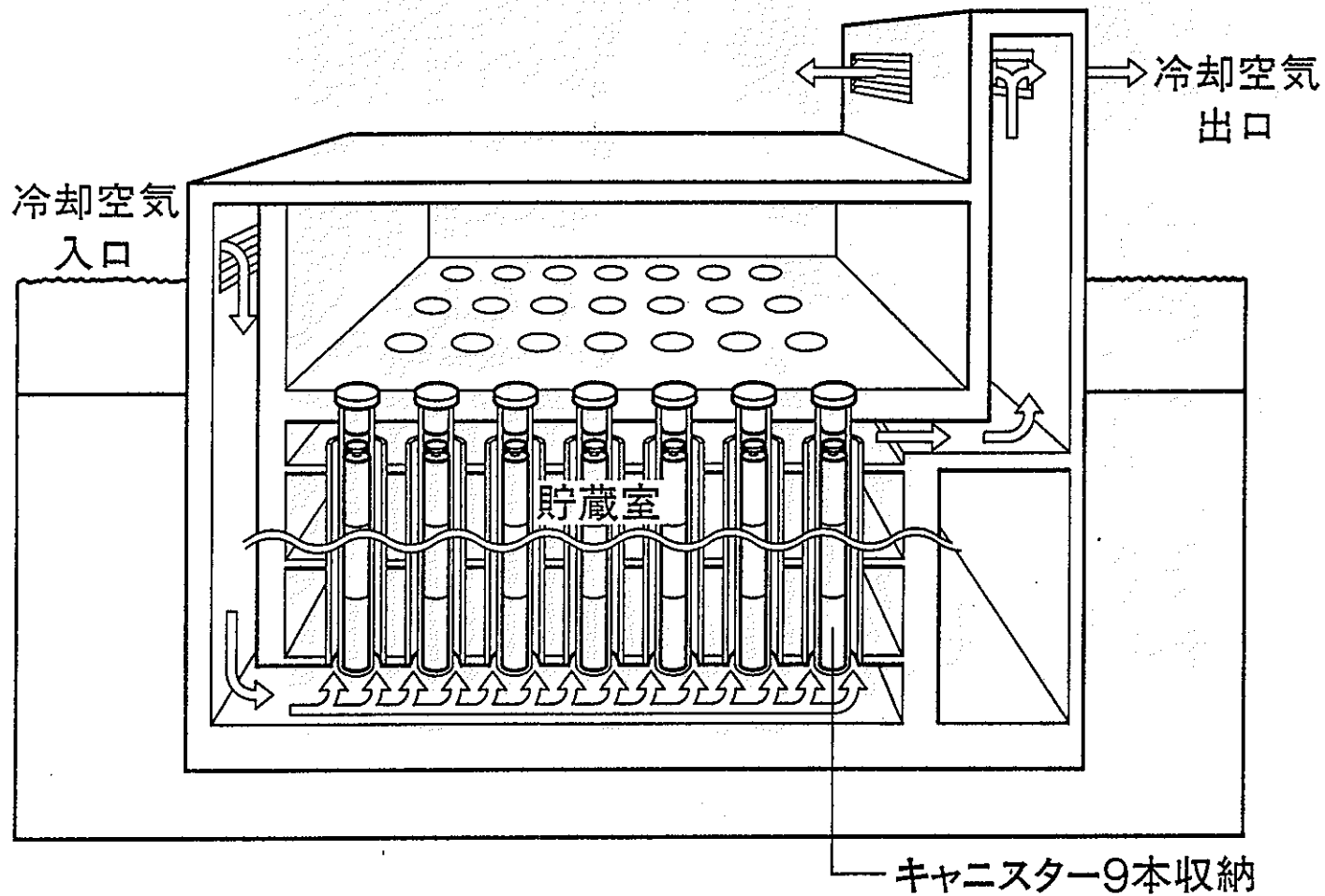
(30~50年)

地層処分

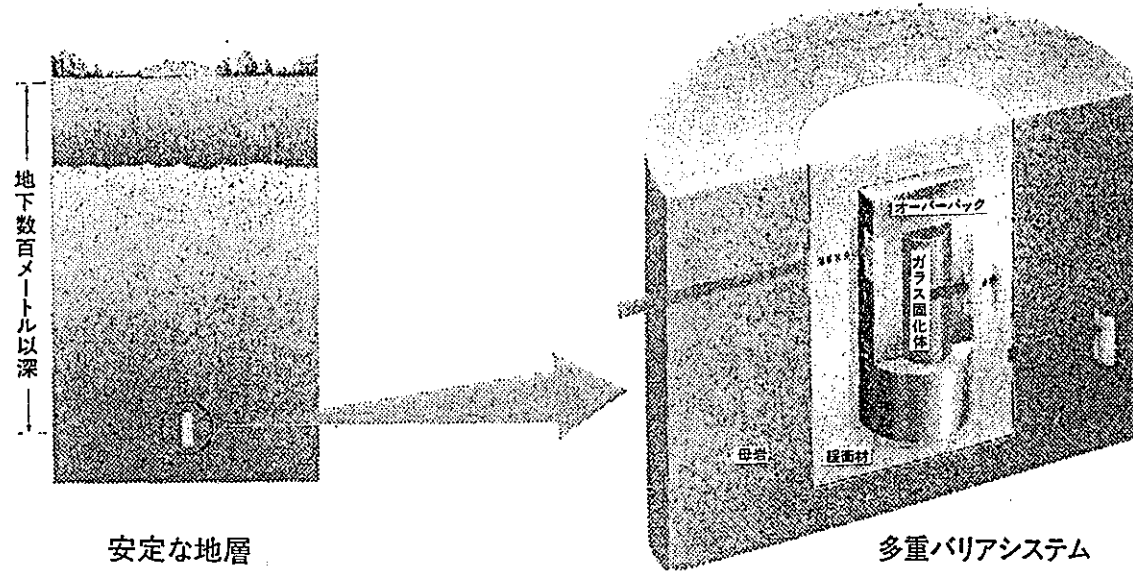
キヤニスター



高レベル固化体貯蔵設備概要図



地層処分の基本構成



ガラス固化体自体が、直接、人間に影響を及ぼさないようにする

ガラス固化体中の放射性核種が地下水を介して人間に影響を及ぼさないようにする

地層処分として適切な条件を持つ深部地層を処分の場所として選定する

- 地殻変動が少ない
- 地下資源の存在可能性が低い

| 安全確保の三要件 | | |
|--|---|--|
| <p>地下水接触の抑制</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 初期の高い放射能を確実に減衰させる | <p>溶出・移動の抑制</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 放射性核種を確実に人工バリア内にとどめる | <p>環境安全の確認</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 人間に影響を及ぼさないことを更に確かなものとする |

Ⅲ. 低、高レベル廃棄物の管理（実務者養成講座用）

1. 放射性廃棄物の廃棄と規制
 - (1) 放射性廃棄物の埋設事業とその計画
 - (2) 廃棄物埋設事業の安全規制
 - (3) 放射性廃棄物の管理事業とその計画
 - (4) R I 廃棄物の廃棄事業
2. 放射性廃棄物の発生源と発生量
 - (1) 原子炉からの放射性廃棄物発生
 - (2) 再処理施設からの放射性廃棄物発生
 - (3) ウランの採鉱・製錬及び燃料加工施設からの放射性廃棄物発生
 - (4) 国内における放射性廃棄物累積保管量
3. 低レベル放射性廃棄物の処理
 - (1) 原子力発電所の低レベル放射性廃棄物の処理方法とその特長
4. 日本の低レベル放射性廃棄物の処分計画
 - (1) 低レベル放射性廃棄物貯蔵センター計画概要
 - (2) 安全確保の考え方
5. 世界の低レベル放射性廃棄物の処分動向
 - (1) 世界の主要低レベル放射性廃棄物処分施設
 - (2) 低レベル放射性廃棄物処分施設概念図（例）
6. 高レベル放射性廃棄物の処理
 - (1) ガラス固化処理
 - (2) 世界のガラス固化施設の比較
7. ガラス固化体の性質と冷却貯蔵
 - (1) 現在の動向
 - (2) 世界のガラス固化体の冷却貯蔵方式
8. 高レベル放射性廃棄物の処分研究開発
 - (1) 多重バリアシステムと安全確保
 - (2) 安全確保の見通し
9. 世界の高レベル放射性廃棄物の地層処分計画
 - (1) 主要国における高レベル放射性廃棄物の地層処分計画
 - (2) 国際共同研究の状況
10. 原子力施設の廃止措置と廃棄物対策
 - (1) 廃棄物の発生量と処理・処分フロー
11. 放射性廃棄物の輸送
 - (1) 原子力発電所低レベル放射性廃棄物の輸送
 - (2) 返還廃棄物の輸送
12. 参考文献
13. 実務者養成講座用 O H P 集

1. 放射性廃棄物の廃棄と規制

放射性廃棄物を適切に廃棄する責任はその廃棄物を発生させた人又は事業者にあるとするのが各国共通の原則であるが、小規模の事業者の場合、あるいは小規模でなくても集中的に廃棄する方がより安全であり、より効率的である場合には、廃棄物発生者の委託によって廃棄事業者が廃棄の作業を行うことが認められている。

原子炉等規制法では、放射性廃棄物の廃棄について、「工場又は事業所」内（原子炉設置では「原子炉施設を設置した工場又は事業所」、再処理事業では「再処理施設を設置した工場又は事業所」等）における廃棄と、「工場又は事業所」外における廃棄に分けて規制している。

放射性廃棄物を「工場又は事業所」内で廃棄する場合には、その一部分については排気、排水の形で直接廃棄（放出）することが認められているが、それ以外の大部分は処理後保管廃棄が義務づけられている。「工場又は事業所」外において廃棄物を廃棄する場合には、その方法として、他の工場又は事業所における保管廃棄並びに海洋投棄が考えられている。

表1 放射性廃棄物の廃棄にかかわる法令とその処分

| 法 令 | 固体廃棄物の処分方法 | 処分事業者 | 廃棄物発生源 |
|--|---|--|-------------------------------|
| 原子炉等規制法 原子炉運転規則 再処理事業規則 核燃料使用規則など 埋設事業規則 管理事業規則 事業所外廃棄規則 | 事業所内廃棄 事業所内廃棄 事業所内廃棄 埋 設 管 理 海洋投棄／保管廃棄 | 廃棄物埋設事業者 廃棄物管理事業者 廃棄物事業者 | 原子力事業所 |
| 放射線障害防止法 施行規則 | 焼 却 保管廃棄 海洋投棄 | 廃棄業者 廃棄業者 廃棄業者 | R I 使用事業所 (大学, 研究所, 工場) |
| 医療法 施行規則 薬事法 放射線医療品製造規則 | 保管廃棄 焼 却 保管廃棄 海洋投棄 | 廃棄委託指定業者 (製造業者) 製造業者 製造業者 | R I 使用事業所 (病院, 診療所) |

(1) 放射性廃棄物の埋設事業とその計画

原子炉等規制法においては1986年に廃棄の事業が定められ、廃棄事業者が原子力発電事業者や再処理事業者に代って廃棄を行うことができるようになった。1988年には低レベル放射性廃棄物の埋設に対して、廃棄物埋設の事業に関する規則が定められて、セメント固化体、アスファルト固化体及びプラスチック固化体を埋設する場合の細目が明らかにされた。この規則に基づいて、同年日本原燃産業㈱は六ヶ所村に低レベル放射性廃棄物貯蔵センターの事業申請を行い、1992年12月の操業開始を目途に、1990年11月に建設に着工し、建設工事を進めている。

(2) 廃棄物埋設事業の安全規制

低レベル放射性廃棄物の埋設施設は、建設前、建設及び埋設並びに埋設後の管理の各段階において法令に基づく厳しい審査、確認などを受ける。

まず、建設前には、施設の基本設計の妥当性などに関し、科学技術庁が厳重な審査を行い、さらに、原子力委員会及び原子力安全委員会のダブルチェックの後事業者が埋設の事業許可が与えられることになっている。

施設の建設が開始された後では、施設が技術上の基準に適合するように建設されたことについて、科学技術庁長官の確認を受ける。実際に廃棄物の埋設を実施する時には、その都度、科学技術庁長官の確認を受け、廃棄物が技術上の基準を満たしているもののみ、埋設が可能となる。

廃棄物が埋設施設に入れられ、その埋め戻しが完了した後は、人工バリアの健全性の維持（10～15年）、人工・天然バリア性能の確保（～30年）、特定行為の禁止又は制約（～300年）を軸に段階的な管理が行われる。この安全規制の流れを図1に示す。

(3) 放射性廃棄物の管理事業とその計画

高レベル放射性廃棄物等の最終処分に先だて行われる管理に対しては、1988年に廃棄物管理の事業に関する規則が定められ、高レベルガラス固化体等を扱う廃棄物管理の事業として、特定廃棄物管理施設として認可、諸検査の要件が定められた。1989年にはこの規則に基づいて、日本原燃サービス㈱は廃棄物管理事業の申請を行った。これにより、海外からの返還固化体も含めて高レベルガラス固化体は、処分に先立って30～50年の間冷却貯蔵が行われる予定である。

なお、高レベル廃棄物の処分については、研究開発段階であり、事業の具体的計画に至っていない。

(4) R I 廃棄物の廃棄事業

低レベル放射性廃棄物を構成するR I（ラジオアイソトープ）廃棄物に関しては、1960年に放射線障害防止法において廃棄の業が定められ、日本アイソトープ協会、日本原子力研究所が廃棄業者として認められ事業を行っている。このうちの診療用R I 廃棄物については、1982年に医療法が改正されて、廃棄委託指定業者として日本アイソトープ協会が指定され、1987年から同協会の滝沢研究所（岩手県）において処理と貯蔵の事業が行われている。

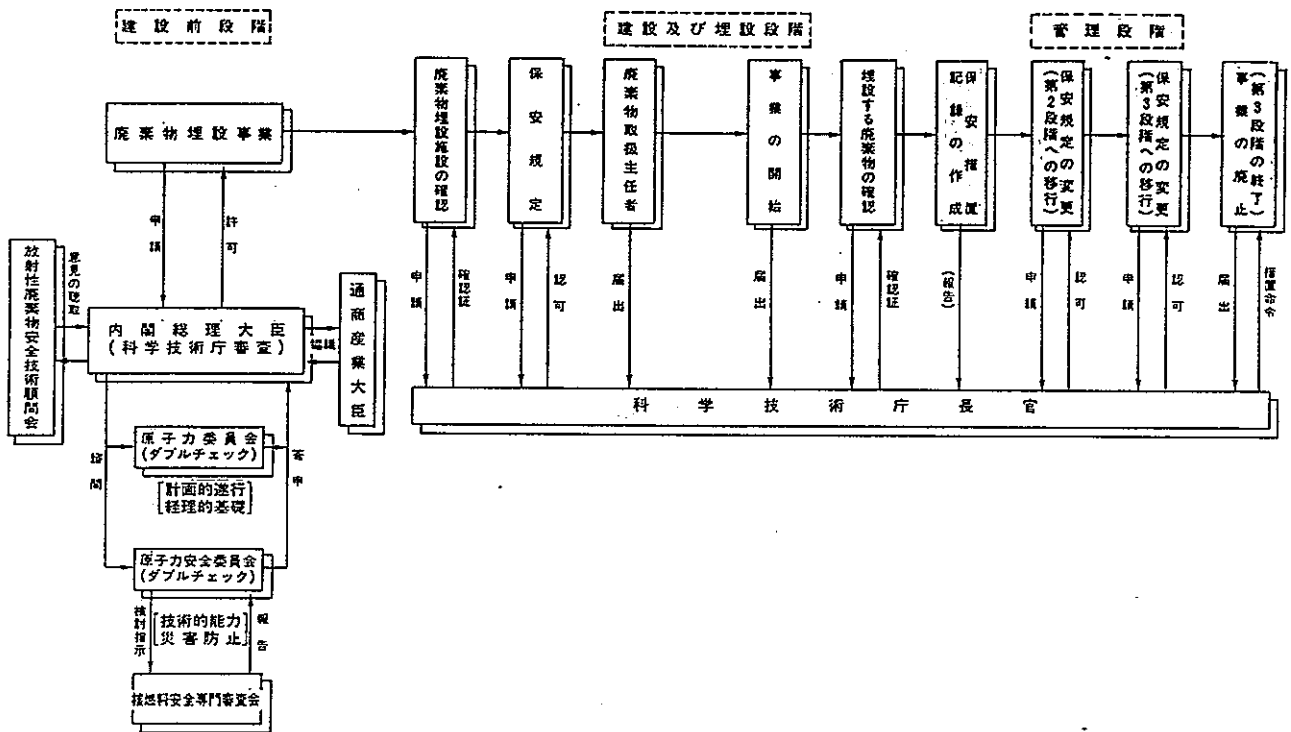


図1 廃棄物埋設事業の安全規制の流れ

2. 放射性廃棄物の発生源と発生量

原子力施設から発生する廃棄物の量と種類は、その施設の運転状況によって変わってくる。定常運転中はプロセスからの廃棄物が主であり、これはプロセスの設計及び運転特性によって決まってくる。従って、プロセス廃棄物の種類と量は比較的正確に把握しやすい。一方、施設からはその点検、保守あるいは改善等に伴って非定常に発生する廃棄物がある。これには、除染廃液、各種の汚染レベルの装置、部品及びその他の固体廃棄物等が含まれ、定量的につかみにくい。

表2に発電規模100万kWの軽水炉を一年間運転した場合、発生する廃棄物の容量及び含有放射性物質量を、核燃料サイクルの各過程ごとに示した。ただし、燃料加工、軽水炉、再処理の廃棄物の容量は処理後の値であり、発生直後の容量はこれより数倍程度多くなる。

表2 核燃料サイクル施設での放射性廃棄物の発生量の概数
(100万kWe軽水炉を1年間運転するのに相当)

| 発生元及び形態 | 容量(処理・固化後)(m ³) | 放射エネルギー又は重量 |
|--|-----------------------------|--|
| 1. ウラン採鉱・製錬 - 鉱滓 | 60,000 Pu再利用の場合40,000) | $3.7 \times 10^8 \text{ Bq/m}^3 (0.01 \text{ Ci/m}^3)$ |
| 2. 燃料加工 - UO ₂ | - | 無視可能 |
| 3. 軽水炉 - 各種固体廃棄物及び固 形化樹脂 | (注)1 100~500 | $3.7 \times 10^9 \sim 3.7 \times 10^{11} \text{ Bq/m}^3$ ($0.1 \sim 10 \text{ Ci/m}^3$) |
| 4. 再処理 - 固化済高レベル廃棄物 (HLW) | (注)2 3 | (注)3 $55.5 \times 10^{17} \text{ Bq} (150 \text{ MCi})$ |
| - 圧縮済被覆ハル - 低及び中レベル ベータ・ガンマ固体廃 棄物 | 3 10~100 | $55.5 \times 10^{15} \text{ Bq} (1.5 \text{ MCi})$ $3.7 \times 10^{14} \text{ Bq} (0.01 \text{ MCi})$ |
| - 固体及び固形化アルフ ァ廃棄物 | 1~10 | 1~5 kgPu |

(注) 1. 原子炉タイプと固形化プロセスによる。

2. もともとの液体廃棄物の容量は15m³~30m³。

3. 原子炉から取出し後150日での値。

(出典：OECD-NEA報告“Objectives, Concepts and Strategies for the Management of Radioactive Waste Arising from Nuclear Power Programmes”)

(1) 原子炉からの放射性廃棄物発生

原子炉は低レベル廃棄物の主な発生源である。表3に発電規模 100万kWeの軽水炉からの年間平均廃棄物発生量を示す。表の固体廃棄物は最終的にはアスファルト、プラスチック固化などにより100~500m³に減容される。

含まれる放射性物質には、放射化生成物と核分裂生成物（FP）とがあるが放射化生成物が主成分となっている。

表3 原子力発電所（100万kwe・yr）における放射性廃棄物発生量の概数¹⁾

| | | 発生量/放出量 | 放射能濃度 | 備考 |
|-------|--|--|---|--|
| 気体廃棄物 | 希ガス, 1次系換気系 ヨウ素, 1次系換気系 放射化生成物, ⁴¹ Ar ¹³ N | ~ 2 × 10 ¹⁵ Bq/yr ~ 4 × 10 ¹⁴ Bq/yr ~ 1 × 10 ¹¹ Bq/yr ~ 2 × 10 ¹¹ Bq/yr ~ 8 × 10 ¹¹ Bq/yr ~ 4 × 10 ¹¹ Bq/yr | | 炉内イベントリの1/1,000程度がもれるものと仮定。 ¹³³ Xe, ¹³⁵ Xe, ^{135m} Xe |
| 液体廃棄物 | 機器ドレン 床ドレン 再生廃液 ランドリ・ドレン | ~ 100m ³ /day ~ 20m ³ /day ~ 10m ³ /day ~ 30m ³ /day | ~ 4 × 10 ³ Bq/cc ~ 4 × 10 ² Bq/cc ~ 4 × 10 ¹ Bq/cc ~ 4 × 10 ⁰ Bq/cc | いずれも液体廃棄物処理系へ導かれ、さらに濃度を下げて放出される。腐食生成物の発生量が機器ドレンや再生廃液の放射能濃度を左右する。 |
| 固体廃棄物 | 使用済樹脂, 中レベル 低レベル フィルタ・スラッジ 濃縮廃液 雑固体, 可燃性 不燃性 使用済制御棒等 | 5 ~ 15 m ³ /yr 100~150 m ³ /yr ~ 100 m ³ /yr 200~500 m ³ /yr 100~200 m ³ /yr 150~200 m ³ /yr | (2~8) × 10 ⁷ Bq/cm ³ ~ 8 × 10 ⁴ Bq/cm ³ ~ 2 × 10 ⁸ Bq/cm ³ (0.4~4) × 10 ⁵ Bq/cm ³ (0.4~4) × 10 ¹¹ Bq/ℓ (0.4~4) × 10 ³ Bq/cm ³ | 原子炉浄化系, 復水脱塩器, 使用済燃料貯蔵プール系など 廃棄物処理系フィルタ 紙類, 布類, 木材 プラスチック類, ゴム類 耐用年数5年 |

(2) 再処理施設からの放射性廃棄物発生

再処理施設から発生するプロセス廃棄物は、高レベル廃液、燃料被覆廃材（ハル）、中レベル及び低レベル廃棄物などがある。これらの各種の廃棄物の分け方は、施設の設計、廃棄物管理の方針によって変わってくる。表4に放射性廃棄物の発生源、種類、処理の一例を示した。

表4 再処理施設における放射性廃棄物²⁾

| | 種類 | 形態 | TRU含有 | 処理例 | 閉じ込め形態 | 貯蔵例 | 発生量 (Bq/MTHM) | | |
|-----------------------|----------------------------------|---------------|-------------|-----------------------------------|--|---------------------|----------------------|-------|----------------------|
| 前 処 理 工 程 | ハル | 固体 | ○ | 圧縮 液化蒸留 吸収 水蒸留 アルカリ洗浄 | セメント ボパ/金属マトリックス セメント " 石灰 | 地上格納室 | 4×10^{14} | | |
| | ^{86}Kr | 気体 | | | | 水中ポンド | 4×10^{14} | | |
| | $^{129}\text{I}, ^{131}\text{I}$ | " | | | | 地上格納室 | 2×10^9 | | |
| | ^3H ^{14}C | " " | | | | " " | 2×10^{10} | | |
| 抽 出 工 程 | ファイン 高レベル廃液 廃溶媒 | 固体 液体 " | ○ ○ ○ | 遠心分離 濃縮・仮焼 焼却 | セメント/ガラス ガラス アスファルト/セメント | 水中ポンド " 地上格納室 | } 2×10^{16} | | |
| | 廃 棄 物 処 理 工 程 | 濃縮廃液 | 液体 | ○ | 蒸発 | アスファルト/セメント | | 地上格納室 | } 2×10^{13} |
| | | スクラップ | " | ○ | " | " | | " | |
| 廃樹脂 | | 固体 | 圧縮 | | " | " | " | | |
| フィルタ・スラッジ | | " | " | | " | " | " | | |
| 銀ゼオライト 雑廃棄物 | " " | " " | " " | | " " | " " | | | |

(3) ウランの採鉱・製錬及び燃料加工施設からの放射性廃棄物発生

ウランの採鉱・製錬からはウランの浸出残渣が大量に発生するが、基本的には天然に存在する物質であり、放射能レベルも低く、ウラン鉱滓として別途取り扱われている。燃料加工施設から発生するウラン廃棄物は、発生量も少なく放射能レベルも極めて低い。

(4) 国内における放射性廃棄物累積保管量

ウラン燃料の製造加工施設（転換，濃縮を含む。），原子力発電所，再処理施設，大型研究施設及び放射性同位元素使用施設等から発生する低レベル放射性廃棄物はドラム缶にセメントやアスファルトで固化する等の処理を施し，施設内の貯蔵庫で安全に貯蔵・管理されている。平成2年3月末の低レベル固体廃棄物の累積保管量は，200ℓドラム缶換算で約76万本に達し，この内約60%の47万本が原子力発電所で発生したものとなっている（RI廃棄物は約6万本）。

一方，再処理施設で分離した高レベル放射性廃棄物は平成2年3月末現在で，液体約365m³であり，厳重な管理のもとでタンクに保管されている。

累積保管量の年度変化を表5に示す。

表 5 放射性廃棄物の累積保管量

| 年 度 レベル | 昭和60年度 末 累 積 | 昭和61年度 末 累 積 | 昭和62年度 末 累 積 | 昭和63年度 末 累 積 | 平成元年度 末 累 積 |
|----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 低レベル放射性廃棄物 (200ℓドラム缶換算) | 627,200本 | 670,900本 | 712,800本 | 739,500本 | 756,600本 |
| 高レベル放射性廃棄物 | 226 m ³ | 307 m ³ | 321 m ³ | 343 m ³ | 365 m ³ |

3. 低レベル放射性廃棄物の処理

原子力発電所等の原子力施設からは、放射能レベルの低い低レベル放射性廃棄物が気体、液体、固体状で発生する。

これらに対して、例えば原子力発電所では、気体や液体については放射能を十分減衰させたり、蒸発濃縮し放射能をとり除くなどの処理を行ったのち、空气中又は水中の放射性物質の濃度が十分低いことを確認した後、所外へ放出している。固体については、圧縮や焼却などで減容したのちセメント等で固めドラム缶に詰めるなどして、発電所敷地内で貯蔵保管されている。

さらに発電所の外側では、周辺の放射線に異常のないことを確かめるため、常時連続的に放射線の測定、監視が行われ、また定期的に周辺の地下水、土壌、海水等の放射能が測定されている。

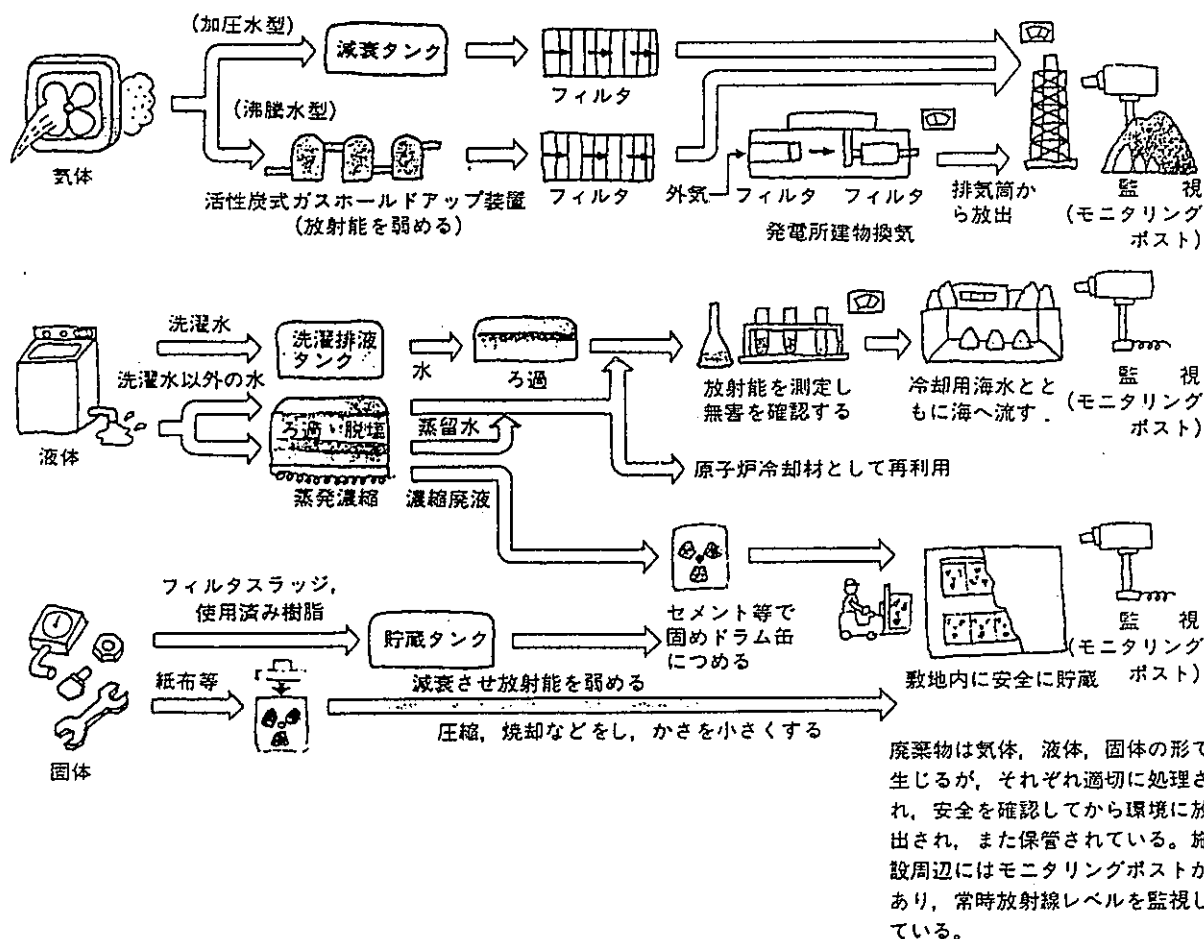


図2 原子力発電所の放射性廃棄物の処理方法

(1) 原子力発電所の低レベル放射性廃棄物の処理方法とその特長

| 対象 | 処理方法 | 方 法 | 特 長 |
|------------|-----------------------|--|---|
| ① 気体廃棄物 | ろ過法 | プレフィルタ、アブソリュート・フィルタを通し、気体中に含まれるダストを処理する。 | 微粒子の除去に効果がある。 |
| | 減衰法 | タンクに貯留して放射能を減衰処理する。減衰管、活性炭を通す処理方法もある。 | 少量の場合、放射能が、短半減期の気体処理に適する。 |
| | 希釈法 | 大量の空気にまぜて薄め、放射性物質の濃度を許容レベル以下にする。 | 特別の処理を必要とせず、運転経費が安い。 |
| ② 液体廃棄物 | イオン交換法 | イオン交換樹脂中に含まれているイオン交換基と、水中に含まれているイオンとを交換させて除去する。 | 溶存イオンの少ない廃液の処理に適している。 |
| | 蒸発法 | 蒸気又は熱を加えて、廃液を蒸発、乾固又は濃縮させる。 | 廃棄物の減容の点ではすぐれている。 |
| | 凝集沈澱法 | 飲料水の水処理と同様、沈澱剤を注入し、これに吸着させて除去する。 | 施設費、運転経費は安く、大量の廃液の処理に適している。除染効果があまりよくないと、スラッジの量が多くなるのが欠点。 |
| | 希釈法 | 大量の水、海水などにまぜて薄め、放射性物質の濃度を許容レベル以下にする。 | 特別の処理を必要とせず、運転経費が安い。特に雑廃液の処理に適す。 |
| | 逆浸透膜法 | 純水のみを通してイオンを通さない半透膜を介して、濃厚溶液側に浸透圧以上の圧力を加えると、溶液中の水のみが膜を通して移動する現象を利用する。 | イオン状の不純物の分離にすぐれている。 |
| | 薄膜ろ過法(NPMF系) | フィルタのろ材は、プラスチック薄膜で表面に1μ程度の穴が設けられている。ろ過は、この穴の篩い効果により行われ、膜上に捕捉された懸濁物量が増加すると逆洗されスラリーとしてフィルタ外に排出される。 | フィルタスラッジの発生がなく、除去効率がよい。 |
| | 遠心分離法 | 高速回転する多数枚組合わされた分離板を有する遠心分離型ろ過器に廃液を入れ遠心力によりクラッド成分を強制沈降させ除去する。 | フィルタスラッジの発生がない。 |
| | 電磁ろ過及び限外ろ過法 | 電磁式フィルタにより廃液中のクラッド分の大半を除去し、さらに残りの分を限外ろ過膜により除去する。 | フィルタスラッジの発生がなく、除去効率がよい。 |
| ③ 固体廃棄物 | 中空糸膜ろ過法 | 表面に多数の微細孔を有する1mm前後の中空状の糸を廃液が通過する時に、クラッド分が除去される。 | フィルタスラッジの発生がなく、除去効率がよい。 |
| | 圧縮法 | 圧縮可能な廃棄物をドラム缶などの容器に入れてプレス機で圧縮・減容する。 | 圧縮可能なものに限られる。 |
| | 焼却法 | 焼却炉で可燃性の廃棄物燃焼処理を行う。 | 減容比が他に比べて大きい。可燃物に限られる。 |
| | 高温焼却法 | 焼却炉で可燃性及び難燃性の廃棄物燃焼処理を行う。 | 減容比が他に比べて大きい。 |
| | 造粒化処理法 | 各種廃棄物を乾燥粉体化、さらに造粒化し減容する。 | 大幅な減容が可能であるが中間貯蔵体である。 |
| | 固化法 | セメント、アスファルト、プラスチックなどに廃棄物(樹脂、スラッジ、濃縮廃液など)をまぜ、ドラム缶などの容器中で混合して固化する。又は外で攪拌混合し、ドラム缶に入れる。 | 樹脂、スラッジ、濃縮廃液等の処理に適する。 |
| その他 | 細断等を行い、ドラム缶等の容器に充填する。 | 減容はあまり期待できない。適用範囲が広い。 | |

①②③とも「原子力発電便覧」(1989)より

4. 日本の低レベル放射性廃棄物の処分計画

気体廃棄物は、ろ過あるいは希釈等の方法で放射性物質濃度をできるだけ低下させた後、法令で定められた濃度限度を下回るように放出処分される。（濃度規制）

液体廃棄物は、濃度規制による処分（再処理施設以外の施設）と線量評価（総量規制）による処分（再処理施設）の2つがあり、処理により放射性物質濃度をできるだけ低減した後、排水中の放射性物質の濃度や量を監視しつつ法定限度を越えないように放出処分される。

固体廃棄物の放射能レベルには相当の巾があるが、この取扱いを、安全性を前提にして合理的に行うため、3つの区分が考えられている。現在は、埋設による陸地処分が行える低レベル廃棄物固化体中の放射性核種の濃度の上限値が定められるとともに埋設施設や廃棄体の技術基準も整備されている。これらを受けて、日本原燃産業㈱の廃棄物埋設事業計画が進められている。低レベル廃棄物の処分の流れを図3に示す。

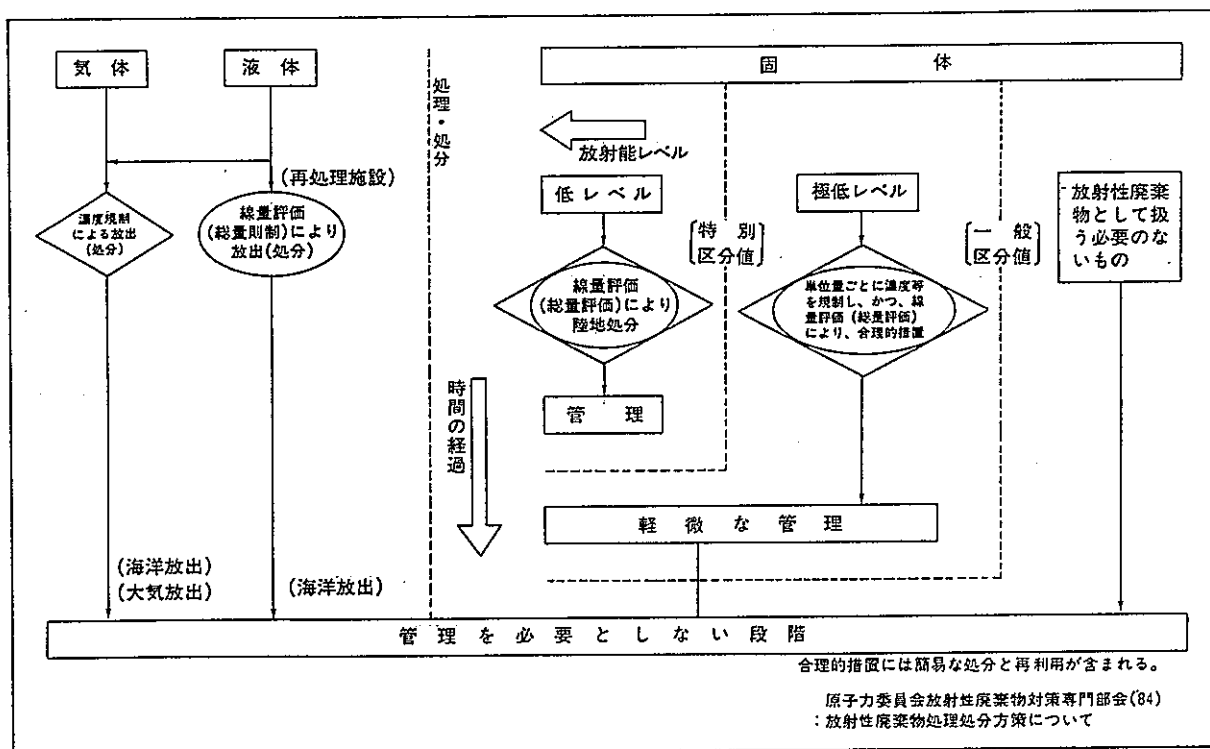


図3 低レベル放射性廃棄物の処分の流れ

(1) 低レベル放射性廃棄物貯蔵センター計画概要

日本原燃産業㈱は、廃棄物埋設事業者として平成2年11月にかねてから計画していた低レベル放射性廃棄物貯蔵センターの建設工事に着工し、平成4年12月に一部完成し、操業を開始するとの予定で建設工事を進めている。

本センターはわが国の原子力発電所で発生した低レベル放射性廃棄物を一括して埋設するわが国初の施設であり、10年度までに1期分20万本（約4万 m^3 ）の200 l 入りドラム缶を埋設し、最終的には300万本を埋設することが計画されている。原子力発電所に保管されている低レベル放射性廃棄物は、平成元年度末で約47万本であり、21世紀初頭には100万本を超えるとみられるが、この大部分は、本センターに埋設される見込みである。埋設地では、岩盤から6mの深さまで掘削して、コンクリート製ピットを設け、その中にドラム缶を収納後、セメント系充填材で内部を固め、その上から透水性の低いベントナイトでピット上面の2mまで覆土する。さらにその上に通常の土を4m以上覆土するようになっている。

表6 埋設処分する低レベル固体廃棄物（廃棄体）の技術基準項目

| 項目 | 説明 |
|--------------|------------------------|
| (1) 固型化材料 | セメント、アスファルト、不飽和ポリエステル |
| (2) 廃棄体容器 | ドラム缶及び同等金属容器 |
| (3) 廃棄体の強度 | セメント固化の場合 |
| (4) 混合割合 | アスファルト及び不飽和ポリエステル固化の場合 |
| (5) 廃棄体の硬度 | 不飽和ポリエステル固化の場合 |
| (6) 固型化の方法 | 固化型材料と廃棄物を均質混合のこと |
| (7) 有害物質 | 健全性を損う物質を含まないこと |
| (8) 線量当量率、標識 | レベルによる識別（白、橙、赤） |

表7 低レベル放射性廃棄物貯蔵センターの概要

| | |
|-------|---|
| 所在地 | 青森県上北郡六ヶ所村大石平 |
| 敷地面積 | 約340万 m^2 |
| 処分容量 | 第1期工事約4万 m^3 (200 l ドラム缶20万本相当) 当面の計画約20万 m^3 (200 l ドラム缶100万本相当) 最終計画約60万 m^3 (200 l ドラム缶300万本相当) |
| 施設概要 | 鉄筋コンクリート造のピット約40基（第1期工事分） ピットの寸法 約24 ^L × 24 ^W × 6 ^H m |
| 受入廃棄物 | 原子力発電所で発生し均一に固型化した廃棄物（第1期工事分） |

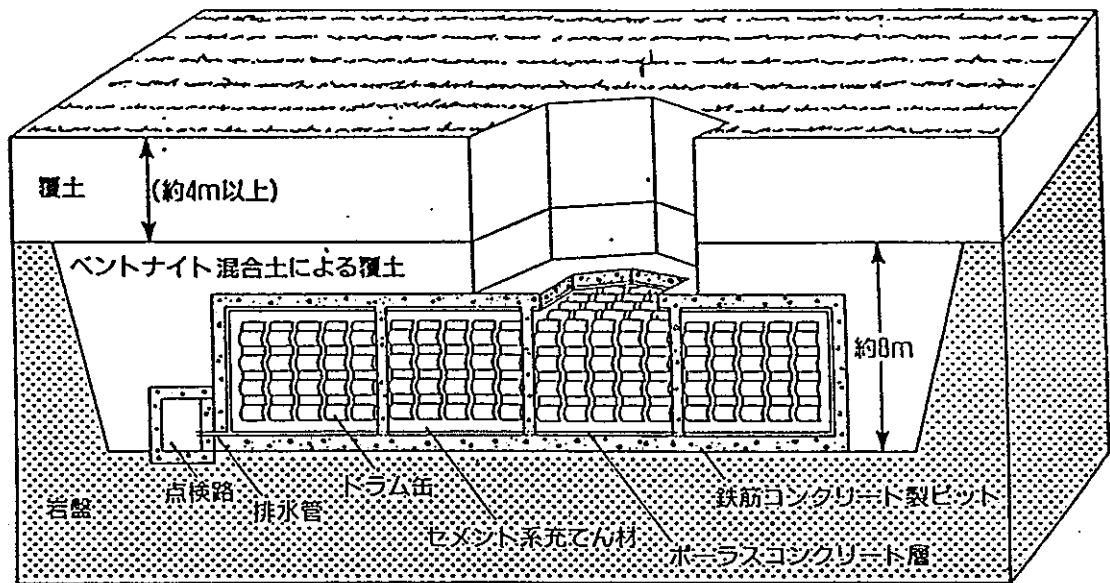


図4 低レベル放射性廃棄物埋設設備概要

(2) 安全確保の考え方

低レベル放射性廃棄物の埋設による陸地処分の安全確保の考え方としては、放射性廃棄物に含まれる放射能が時間の経過に伴って減衰し放射能レベルが安全上支障のないレベル以下になるまでの間、廃棄体、ピット等の構築物（人工バリア）と周辺土壌等（天然バリア）を組合せ、放射能レベルに応じた段階的管理を行うことによって、放射性廃棄物を安全に生活環境から隔離するものである。

表8 低レベル放射性固体廃棄物に係る廃棄物埋設施設の段階的管理

| 段階 項目 | 第1段階 | 第2段階 | 第3段階 | 管理期間の終了 |
|--------------------------|---|---|--|--|
| 安全確保 の考え方 | 人工バリアにより放射性物質の漏れを防止する。放射能レベルが安全なレベルに達するまで、放射能レベルを監視する。 | 人工バリアと天然バリアとの組み合わせにより、放射能レベルを抑制し、放射能レベルが安全なレベルに達するまで、放射能レベルを監視する。 | 主として天然バリアによる放射能レベルの抑制を行う。放射能レベルが安全なレベルに達するまで、放射能レベルを監視する。 | 一般公衆の被ばく量が線量規制値以下であることを確認し、線量規制値を維持する。 |
| 管理の 具 体的 内 容 | <ul style="list-style-type: none"> 放射線モニタリング 周辺監視区域を制限する 埋設保全措置の点検 人工バリアからの放射性物質の漏れ等の措置 巡視及び点検 | <ul style="list-style-type: none"> 放射線モニタリング 周辺監視区域を制限する 埋設保全措置の点検 巡視及び点検 | <ul style="list-style-type: none"> 埋設保全措置の点検 農耕行為の禁止 巡視及び点検 | （被ばく管理の観点から必要ない） |

5. 世界の低レベル放射性廃棄物の処分

低レベル廃棄物浅地層処分に関する多くの施設がカナダ、フランス、英国及び米国等で運転されており、その施設設計は廃棄物パッケージやサイト特性のような地域的環境に依存して異なっているが、浅地層処分についての技術は十分に確立されている。例えばフランスのラマンシュ（ラアーグ）処分サイトでは、地下水との接触を避けるために工学的施設が用いられている。一方、米国の場合のように、単純なトレンチと埋め戻し技術を用いることが可能な乾燥した気候でのサイトを利用している例もある。

この技術には現在、土壌を盛り上げたコンクリート壕、地下埋設所や鉱山の空洞のような代替物も含まれている。坑道を掘った岩石の空洞中の低・中レベル廃棄物処分場の例としては1988年に運転が開始されたスウェーデンのSFR処分場がある。他の例としては、ほぼ完成したが運転の承認が得られていない西ドイツのコンラッド施設がある。コンラッドではほぼ乾燥した、現在用いられていない鉄鉱山を処分に利用しようとしている。

なお、海洋投棄は、処分オプションとして残っているが、自発的モラトリアムにより1982年以降行われていない。

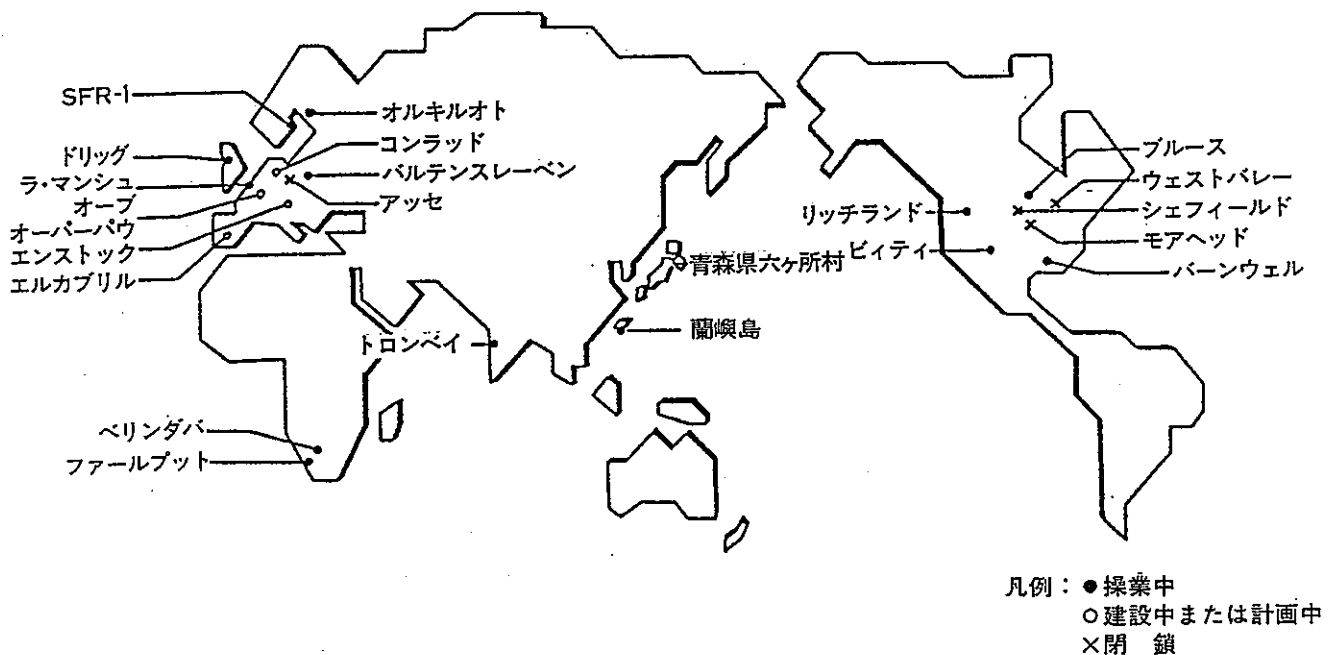


図5 世界の低レベル放射性廃棄物処分場

(1) 世界の主要低レベル放射性廃棄物処分施設

表9 世界の主要低レベル放射性廃棄物処分施設³⁾

| 国名 | 処分施設名 | 運営者 | 対象廃棄物 (種類・形態) | 受入容量 (計画総量) (既処分量) | 施設主要構造 (方式、処分深さ等) | サイトの現況 |
|--------------------|------------------|----------------------------|---|--|---|--|
| 米 国 | バーンウェル | ケム・ニュークリアシステム社 | 200ℓドラム詰固化体、木箱詰雑固体、金属箱入り雑固体、HIC*入り廃樹脂等 (*高性能廃棄物)容器 | 約1,400,000m ³ (237,960m ³ 92年末) | 素掘トレンチ コンクリートスラブ 敷トレンチ | '71処分開始 現在操業中 '93閉鎖予定 面積121万m ² |
| 英 国 | ドリッグ | BNFL (英国核燃料公社) | 200ℓドラム詰雑固体(可燃物を含む)が主体 | 1,500,000m ³ 年間処分量 30,000~ 40,000m ³ | 素掘トレンチ 7本 (25 ^W × 8 ^D × 700 ^L m) 鉄筋コンクリートポ ールト 1基 (260 ^W × 178 ^L × 5.3 ^D m) | '59処分開始 (UKAEA) '71UKAEA →BNFLに移管 面積109万m ² |
| 仏 国 | ラ・マンシュ | ANDRA (国立放射性廃棄物管理機関) | 200ℓ、100ℓドラム詰固体、及び雑固体 2.5、5、10m ³ 金属箱入り雑固体、2m ³ コンクリートブロック詰雑固体 | 約490,000m ³ 300,000m ³ 85年末 30,000m ³ /年 受入 | モノリス、チュムリ複合方式 地下部をモノリスとして鉄筋コンクリートで一体固型化し、その上に地上部のチュムリ部分を構築する | '69操業開始 '79ANDRAに移管 '91年頃に満杯の見込み 面積12万m ² |
| ス ウェ ー デン | SFR-1 | SKB (スウェーデン核燃料・廃棄物管理会社) | コンクリート角型コンテナ詰固化体(中レベル廃樹脂等)、200ℓドラム詰圧縮雑固体 | 約6,000m ³ (第1期) 第2期約30,000m ³ 増設予定 | 海底下岩盤内サイロ 1基 トンネル空洞 4基 水深5mの海底下50m以深 | '83建設開始 '88操業開始 '90年代末第2期建設開始 |
| カ ナ ダ | チョークリバー | AECL (カナダ原子力公社) | 有害寿命L _H <500年の廃棄物…IRUS L _H ≥ 500年に対してはSRC(浅岩洞) L _H < 150年についてはIST(改良砂トレンチ) | 約6,000m ³ (長手方向に3区画) 2,000m ³ /区画 | IRUS (耐侵入地中構造物) 約90 ^L × 20 ^W × 9 ^H m 処分時は仮設屋根、廃棄物間は砂充填処分後、コンクリートキヤッピング、工学カバー | '88建設申請 '91操業申請 '92IRUS及びIST開始 SRC;2000年頃から処分開始 |
| ド イ ツ | コンラッド | GSF (放射線環境科学研究所) | 低レベル固体廃棄物(非発熱、廃炉廃棄物) | 約650,000m ³ (224万m ³ /年受入) (20年程度の操業) | 廃鉄鉱山に地下坑道を掘削し、俵積みにして埋戻す(地下1.100~1,200m) | '92年頃操業開始予定 |
| 日 本 | 六ヶ所低レベル廃棄物貯蔵センター | JNFI (日本原燃産業(株)) | 原発低レベル廃棄物(均質固化体; 第1期分) | 第1期申請約4万m ³ 当面の計画; 約20万m ³ 最大容量; 約60万m ³ | 鉄筋コンクリート造のピット40基(第1期) ピット寸法 約24 ^L × 24 ^W × 6 ^H m | '90.12建設着工 '92.12処分開始予定 面積340万m ² |

(2) 処分施設概念図 (例)

- ① 耐浸入地下構造 (IRUS) といわれる地下の耐久性コンクリート壕を地下水位の1 m以上うえの砂層中に作ったもの。廃棄物が数100年間は殆ど水に接することなく、また構造物は500年以上健全性を保つようになっている。

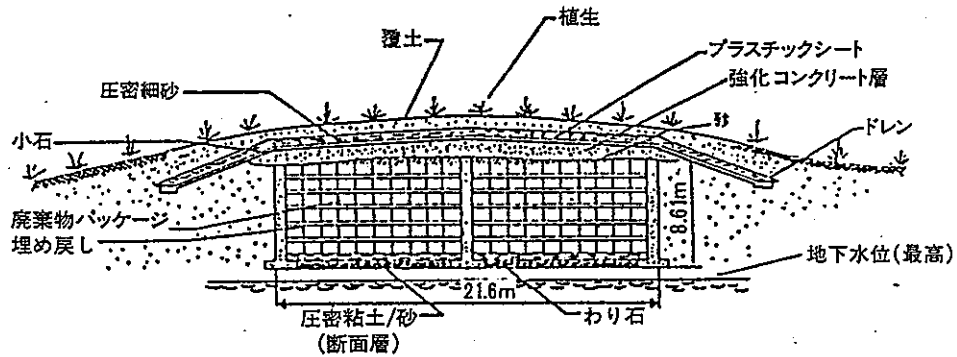


図6 IRUS型低レベル廃棄物処分施設の概念図 (加)

- ② 地表面上にチュムリという盛土塚の部分と、その直下のモノリスという鉄筋コンクリート製の直方体部分を立体的に組合せた構築物を用い、最高300年間管理、監視を続けた後、サイトは通常の用途に使用可となる。

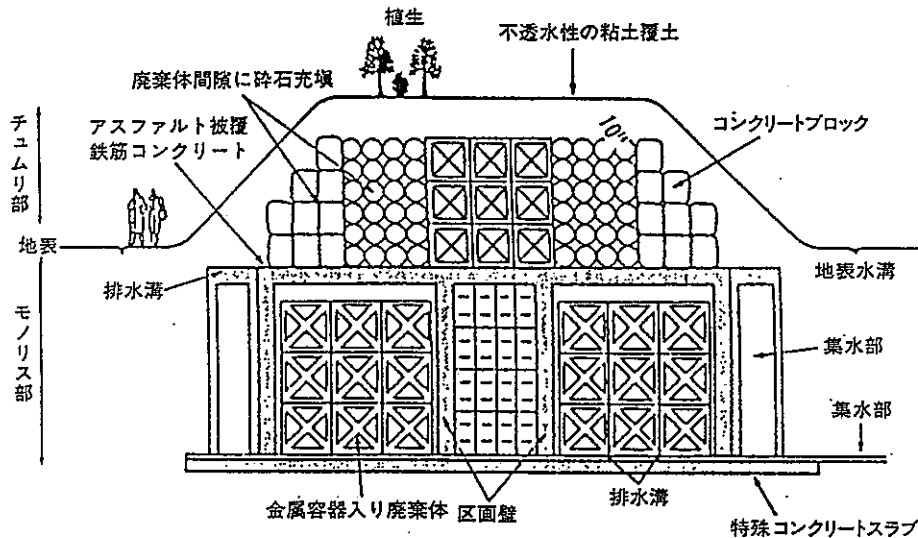


図7 処分用構築物と廃棄体 (仏)

- ③ 短寿命廃棄物を対象とする処分場のSFRで最初のもはSFR-1と呼ばれ、ストックホルムの北方約160kmのフォルスマルク原発の沖合約3km、水深5m以深の海底下50m以深の岩体中に設けられている (地下水流速が小さく安全上有利)

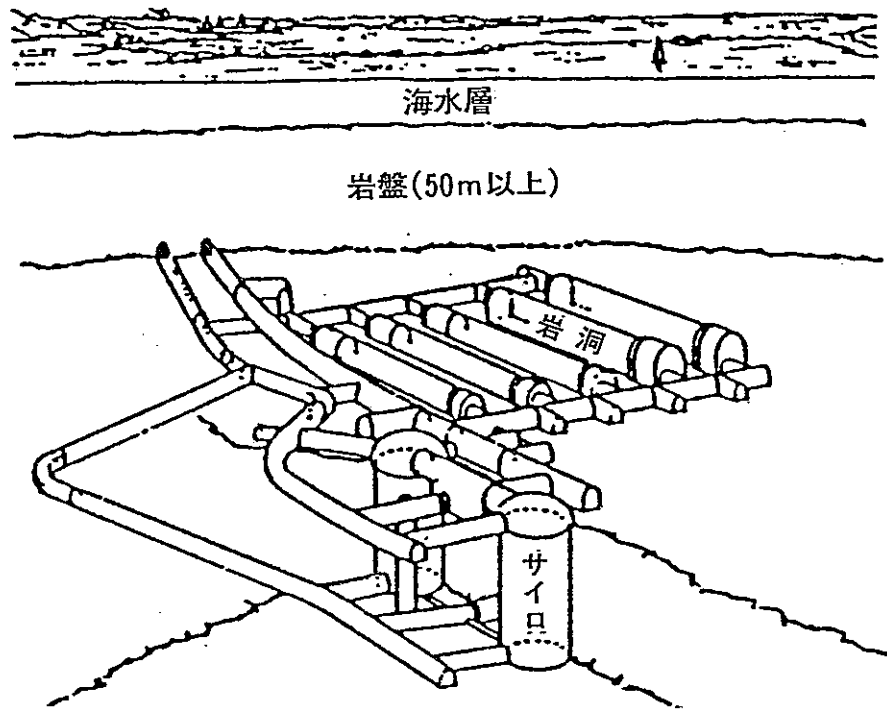


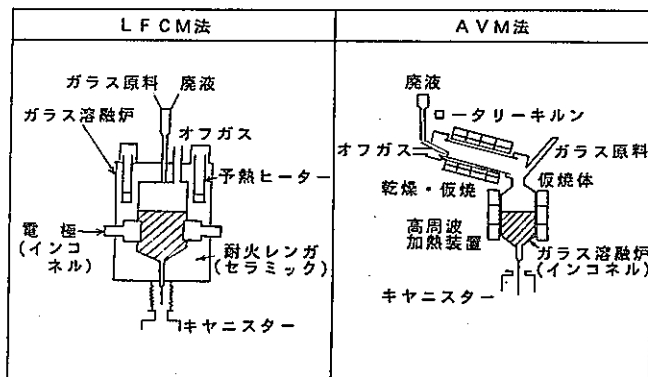
図8 SFR (スウェーデン)

6. 高レベル放射性廃棄物の処理

再処理工場で分離される高レベル放射性廃棄物は、その発生量は少ないものの、強い放射能を持つ物質と放射能は弱い、半減期の長い物質が含まれているために、細心の注意を払って取り扱う必要がある。長期にわたって安全に管理するために、物理的に安定な固化体の形にして貯蔵を行い、その後処分することが世界のすう勢となっている。

固化体として重要なことは、高レベル放射性廃液に含まれる多種多様な成分を取り込むことができ、優れた物理的、化学的な耐久性を持つこと及びそれらの性質を長期にわたって持続できることである。

これらを満す固化体製造ではガラス固化法が主流となっているが、現在実用化段階に至っているガラス固化法には、大別して2種類ある。1つは日本、米国、西ドイツが開発している液体供給式直接通電型セラミックメルト法（LF CM法）であり、もう1つの方法はフランスが開発したロータリーキルン仮焼器—金属製高周波外部加熱型ガラス熔融炉法（AVM法）である。図9に両法の比較を示す。どちらもプラント規模の段階まで開発が進んでいる技術であり、主要国で建設あるいは計画中の商業規模プラントには、これらの方式のいずれかが採用されている。



（廃液の蒸発，仮焼，
溶融同時進行） （仮焼・溶融の
2段階固化）

図9 ガラス溶融プロセスの比較

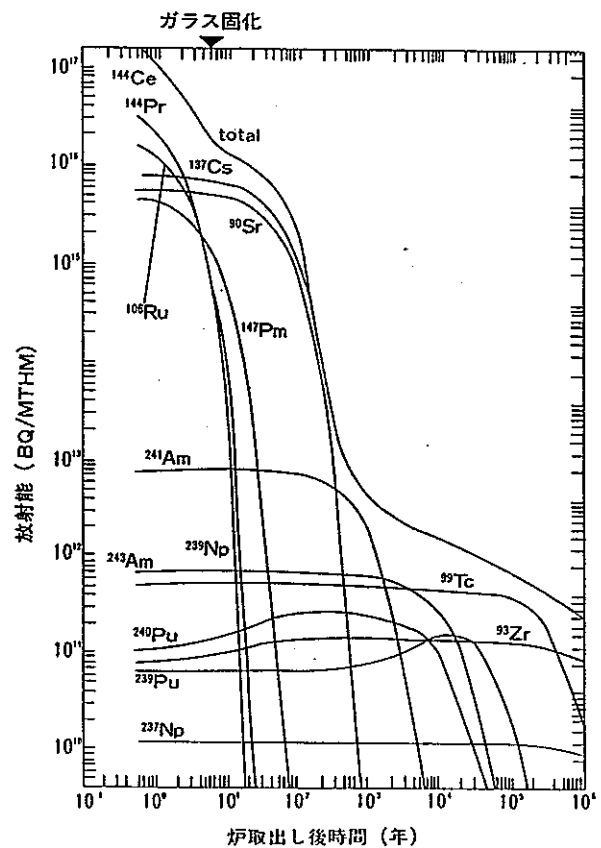


図10 高レベル廃棄物の放射能 (例)

(1) ガラス固化処理

ガラスは、①多種多様の元素を均一に溶かし込んでその構造中に安定に封じ込めることができる、②長期的にわたって安定な物質である、③固化体の製造プロセスの完熟度が高いなどの点から、高レベル廃棄物固化材として優れており、世界的にみてもガラス固化が高レベル放射性廃液固化法の主流となっている。

ガラス固化プロセスの中核は、高レベル放射性廃液の水及び硝酸の蒸発による濃縮ステップである。乾燥と仮焼は硝酸塩を酸化物へ分解するプロセスである。この酸化物をガラス形成剤と反応させ溶融させることによってガラス固化体が作成されることになる。

日本、西ドイツ、アメリカなどが行っているLFCM法では、高レベルの廃液を処理する際、まず廃液の濃縮・組成の調整などの前処理を行い、この液とガラスの原料を混ぜて、ガラス溶融炉の中に入れて溶融する。こうして廃棄物と一体になって溶けたガラスをステンレスの容器（キャニスタ）の中に注入し、溶接密閉後検査をして、保管庫に入れておくことになる。

保管庫では、製造された固化体は通常ピット方式による冷却貯蔵が行われる。

(2) 世界のガラス固化施設の比較

世界の主要国で操業又は計画中の商業規模のガラス固化プラントは、LFCM法かAVM法のいずれかの方式になっている。その概要については、表10の様にまとめられる。

表10 世界のガラス固化プラント

| 国 | プラント | 所在地 | ガラス固化法 | 製造能力 | 固化処理実績 (t) (本) | ホット運転, 開始時期 |
|------------|---------------------------------|----------------------------|------------------|------------------------------------|--|-----------------------------|
| 米国 | DWPF WVDP 計画中 | オハイオ州 ニューヨーク州 ワシントン州 | LFCM 同上 同上 | | — | 1991年 1991年頃 1990年代後半 |
| 英国 | WVP | セラフィールド | AVM | 25kg/時 2ライン | — | 1991.2 |
| 仏国 | AVM R-7 (UP2用) T-7 (UP3用) | マルクール ラ・アーグ 同上 | AVM 同上 同上 | 15kg/時 35kg/時 同上 | (1989.1現在) 約565t (1605本) 125本 — | 1978年 1989年 1992年頃 |
| 西独 ベルギー | PAMELA | モル (ベルギー) | LFCM | 20-25kg/時 | (1988.12現在) 250t | 1985年 |
| 日本 | 動燃TVF 原燃サービス プラント | 東海村 下北 (六ヶ所村) | LFCM 同上 | 13kg/時 約70ℓ/h (高レベル廃液) 2基 | — — | 1991年頃 1997年頃 |

7. ガラス固化体の性質と冷却貯蔵

再処理工場で分離される高レベル放射性廃棄物は、ガラス素材と混ぜ熔融炉で溶かし、ステンレス容器（キャニスター）に流し込み、冷却固化後密封し「ガラス固化体」とされる。例えば東海プラントの仕様では、ガラス固化体1本で当初約 15×10^{15} Bq（40万キュリー）程度の放射能が含まれ、これによる熱の発生は約1.4キロワット程度である。これをそのまま処分すると、固化体の表面が100度以上の温度になる可能性もあるため岩盤等への影響も想定される。しかし、放射能は時間と共に減衰し、30年ないし50年後には、放射能の強さは、少くとも1桁減少し熱の発生も同様の減少が期待される。この程度になると、地層に固化体を入れても、熱の影響の度合いは低くなると考えられ、その取扱いも容易になる。これがガラス固化体を冷却貯蔵する理由である。

貯蔵施設はガラス固化体の冷却、管理に十分配慮した設計となっており、貯蔵中のガラスの安定性は十分維持される。

また腐食防止のため、「ガラス固化体」を鋼製の筒形容器（収納管）に入れ、鉄筋コンクリート造りの堅固な建物の地下部に配置される設計となっている。

貯蔵施設は、原子力発電所と同様に法令に基づく定期検査により、安全性が確認され貯蔵が継続されることになる。

（発生源：軽水炉燃料、燃焼度：28,000Mwd/t）

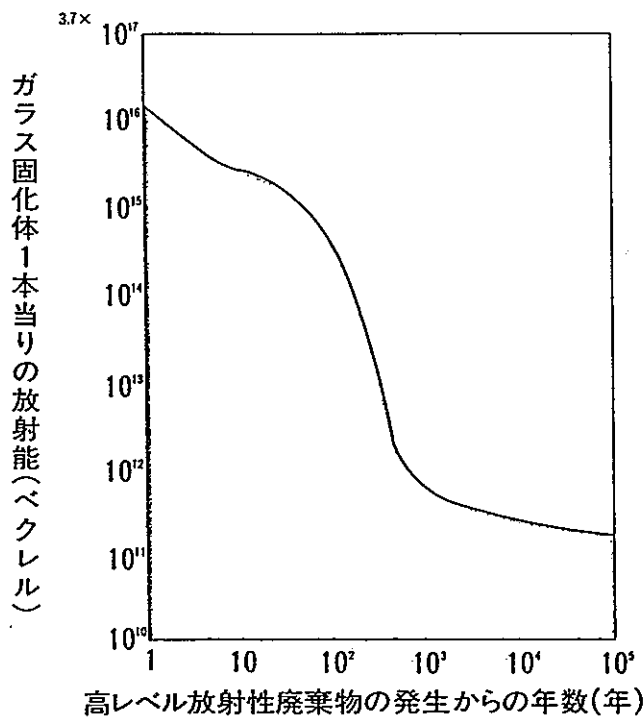


図11 高レベル放射性廃棄物の放射能

（発生源：軽水炉燃料、燃焼度：28,000Mwd/t）

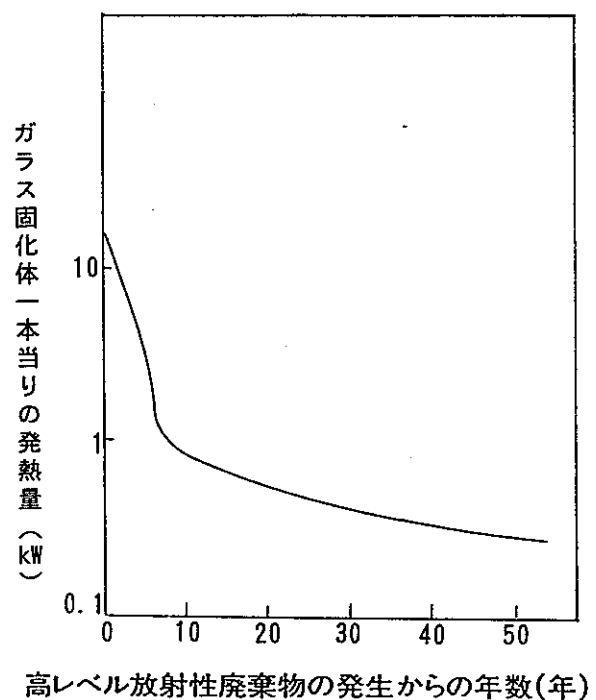


図12 高レベル放射性廃棄物の発熱量

(1) 現在の動向

高レベル放射性廃棄物のガラス固化は、既にフランスで商業規模のガラス固化・貯蔵設備が1978年から順調に運転を続けており、これまでに約 2,000本の固化体を製造し、これを貯蔵している。また、西ドイツでも1985年からベルギーのモルにある共同のガラス固化プラントが稼動中であり、これも約 1,500本のガラス固化体を製造し、安全に貯蔵している。

わが国では、1993年に東海ガラス固化プラントでの一時保管が開始される予定である一方、海外再処理によりわが国へ返還されるガラス固化体、及び六ヶ所村の再処理施設から発生する高レベル放射性廃棄物のガラス固化体は、冷却のため30～50年間、同じく六ヶ所村に設置予定の高レベル放射性廃棄物貯蔵施設に貯蔵される計画である。

その後は、これら高レベル放射性廃棄物は、生活環境に影響を及ぼさないよう、地下数百メートルより深い安定した地層中に処分されることとなっている。

(2) 世界のガラス固化体の冷却貯蔵方式

ガラス固化体貯蔵設備は、ピット貯蔵及び空冷の冷却方式が主流である。表11に主要施設の比較を示す。

表11 世界のガラス固化体の冷却貯蔵施設⁴⁾

| 国 | 米 国 | 英 国 | 仏 国 | | 日 本 | | | |
|---|--|---|---|---|--|---|---|--------------------------|
| プラント | D. W. P. F { Defense Waste Processing Facility } | V. P. S { Vitriified Product Store } | マルクール ガラス固化 プラント | ラ・アーク ガラス固化 プラント | 動力炉・核燃料 開発事業団の ガラス固化 プラント | 日本原燃サービス(株) の再処理施設 ガラス固化体 貯蔵建屋 | 日本原燃サービ ス(株)の廃棄物 管理施設 | |
| 概 要 | 軍用のガラス固 化施設 1991年運転開始 予定 | セラフィールド のガラス固化施 設からのガラス 固化体を貯蔵 1991.2運転開始 予定 | ガラス固化設備 及びガラス固化 体貯蔵設備を有 する(パイロッ トスケール) 稼働中 | 固化設備(R7, T7)及びガラ ス固化体貯蔵設 備 R7:1969年運 転開始 T7:1992年運 転開始予 定 | ガラス固化体の 一時保管設備 1993年運転開始 予定 | 青森県六ヶ所村 に計画中の再処 理施設から発生 するガラス固化 体を貯蔵 1997年運転開始 予定 | 海外から返還さ れるガラス固化 体を貯蔵 1993年運転開始 予定 | |
| ガ ラ ス 固 化 体 の 仕 様 | 外径×高さ (mm) | 610×3,000 | 430×1,340 | 500×1,000 | 430×1,340 | 430×1,040 | 430×1,340 | 430×1,340 |
| | 重 量 | 約 2,200kg | 約 490kg | 約 500kg | 約 490kg | 約 400kg | 約 500kg | 約 490kg |
| | 発 熱 量 | 約0.47kW/本 | 約2.5kW/本 | 0.6~0.8kW/本 | 約3.5kW/本 | 1.4kW/本 | 約2.3kW/本 | 平均 2.0kW/本 最大 2.5kW/本 |
| 貯蔵容量 | 2,300本 | 8,000本 | 2,200本 | 4,500本(R7, T7共) | 420本 | 2,880本 | 1,440本 | |
| 冷却方式 | 直接自然空冷 | 間接自然空冷 | 直接強制空冷 | 直接強制空冷 | 直接自然空冷 | 間接自然空冷 | 間接自然空冷 | |
| 貯蔵方式 | ピット方式 | ピット方式 | ピット方式 | ピット方式 | ピット方式 | ピット方式 | ピット方式 | |
| 積 段 数 | — | 10段 | 10段 | 9段 | 6段 | 9段 | 9段 | |
| 搬送方法 | しゃへい容器を 用いた床面走行 クレーン方式 | しゃへい容器を 用いた天井ク レーン方式 | しゃへい容器を 用いた天井ク レーン方式 | しゃへい容器を 用いた天井ク レーン方式 | 天井クレーン方 式 | しゃへい容器を 用いた床面走行 クレーン方式 | しゃへい容器を 用いた床面走行 クレーン方式 | |

8. 高レベル放射性廃棄物の処分研究開発

高レベル放射性廃棄物の処分は、地層処分によることがわが国の基本方針となっている。

地層処分の基本概念は図13に示した通りである。

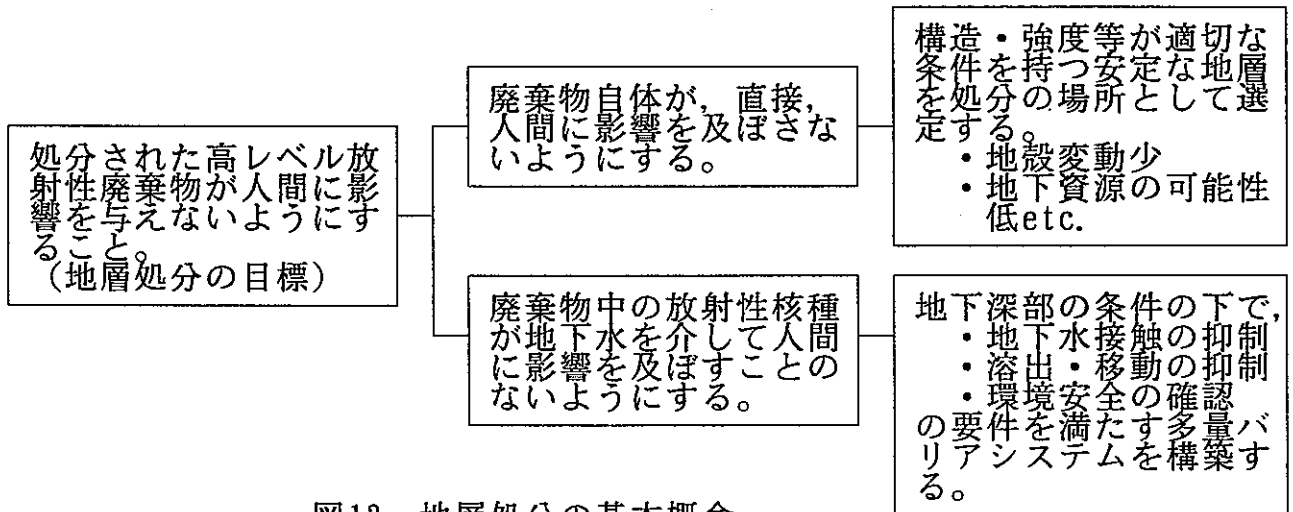


図13 地層処分の基本概念

このような地層処分の基本概念において、影響する事象の起こり得る可能性とその大きさ、さらに技術的な対策の観点からみて特に重要なのは、地下水によって放射性核種が人間の生活圏に運ばれる可能性についての検討評価である。地層処分研究開発は、高レベル放射性廃棄物の特徴と深部地層が本来的に備える特性とを生じた安全確保のしくみを明らかにして、極めて長期の現象についての安全性、核種と多重バリアが複合的に影響し合う現象についての安全性を証明することを特徴としていると考えられる。しかし、直接経験的にこの安全性を実証することは難しいこと、及びわが国の地層では研究対象となる地質環境条件は多岐にわたるため、どの地層か等の地質環境条件を特定することなく、予測解析手法を開発し、科学的なモデル化を通して、天然バリアの健全性を含めて多重バリアシステムの仕組みを明らかにすることにより安全性を立証することを目指している。

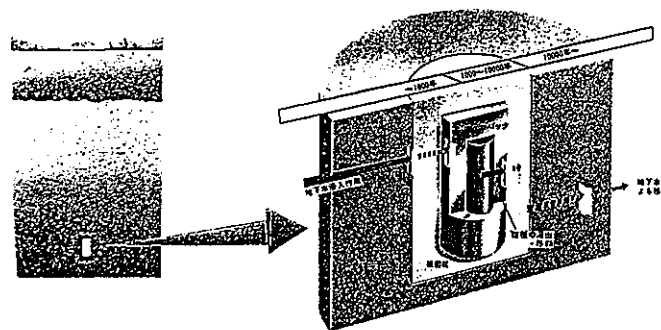


図14 地層処分の安全確保の仕組み (多重バリアシステム)

(1) 多重バリアシステムと安全確保

処分サイトは地層の構造強度等が適切で、天然バリアの安定性が確保されることが不可欠である。この前提の上で多重バリアシステムの構成に対して、安全確保の要件、構成する各バリアに期待する性能及びこれらの安全確保上の位置づけを図15にまとめた。

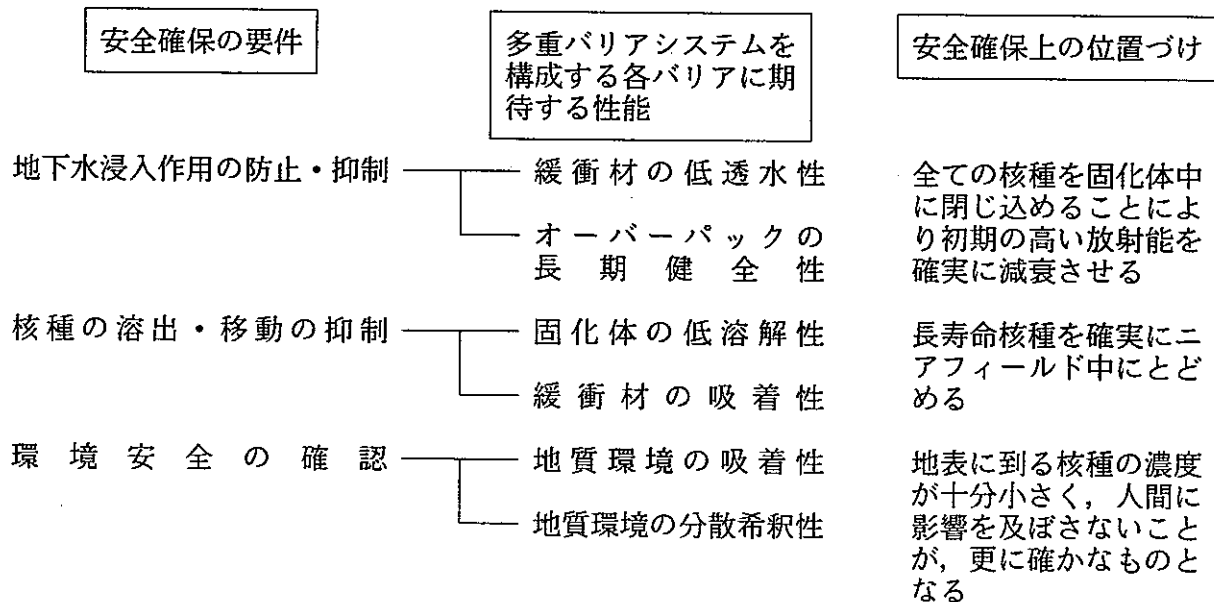


図15 多重バリアシステムの構成

(2) 安全確保の見通し

地層処分研究開発のうち、安全確保の3要件に係わる研究の状況と安全確保の見通しは以下の通りである。

①「地下水接触の抑制」に関する研究

緩衝材の地下水透水を抑制する機能については、緩衝材の材料として、わが国でも諸外国と同様に、ベントナイト（粘土系材料）が有力候補とされ、基本特性に関する試験評価が実施されている。又、オーバーパックスの核種の閉じこめ機能については、材料として諸外国ともに金属が主要材料として考えられており、地下水中での腐食の研究が数多く行われ、寿命が数百年から千年程度のオーバーパックスの設計が可能であることが示されつつある。

②「核種の溶出・移動の抑制」に関する研究

廃棄物の核種の溶出制限機能については、ガラス固化体の水による浸出実験や核種の溶解についての基礎的な実験から、長寿命核種の大部分は深部地下水に極めて溶けにくいことが明らかになってきている。また、緩衝材による核種の移動遅延機能については、ベントナイト中での核種の拡散

が吸着等により著しく遅延されることを示す結果が得られている。

③「環境安全の確認」に関する研究

地層による核種の移動遅延機能については、岩石への核種の吸着、脱着により期待できることが明らかになりつつあり、又地層による核種の希釈分散機能については、地下水による希釈の可能性と地層の不均一性等による分散効果が確認されている。

④ 地層処分による安全確保の見通し

現在までの研究成果により、地層処分の安全性を確保できる見通しを得つつある。今後は、多重バリアシステムによる安全確保の見通しを理論的に実証し、システムとしての成立性・実現性を技術的に実証していく研究開発がさらに重要になってくると考えられている。

9. 世界の高レベル放射性廃棄物の地層処分計画

原子力発電設備をもつ大多数の国は、高レベル放射性廃棄物の深部地層への処分に関する技術開発を行っている。技術的考察に基づく国際的専門家の意見では、高レベル廃棄物又は使用済燃料の深部地層への処分は、現在での最良のオプションであること、地層処分の目的がある一定期間人類環境から放射性廃棄物を隔離し、処分場から放射性核種の実質的な放出があった場合も、受け入れがたい放射能リスクをもたらさないものであること、現在及び未来の世代への放射能のリスクは極めて低いレベルに制限されねばならず、これは国内及び国際的な関連の安全要求事項と同程度のものであること等にコンセンサスがある。最初の商業ベースでの処理済みの高レベル廃棄物又は使用済燃料の最終処分の実施は、今後10～15年内に行われる計画となっている。それまでは、固化体の長期挙動、廃棄物の閉じこめ及び適切なサイトの選定に必要な知識を改善するために、精力的に試験と解析的研究が行われる予定であるが、各国は構造的に長期間安定性を期待できる健全な地層として、各国の地層事情に応じて、表12のような選定を行っている。

表12 高レベル廃棄物及び使用済み燃料の処分に対する国家計画⁵⁾
再処理

| 地層処分 | 岩石媒体 | 再処理 | | 最終廃棄物形態 |
|----------|--------------|-----|----|-----------------------|
| | | 国内 | 国外 | |
| アルゼンチン | 花崗岩 | ■ | | ガラス塊 |
| ベルギー | 粘土 | | ■ | ガラス塊 |
| ブルガリア | | | ■ | |
| カナダ | 花崗岩 | | | キャスク入り使用済み燃料 |
| 中国 | | ■ | | ガラス塊 |
| キューバ | | | ■ | |
| チェコスロバキア | | | ■ | |
| フィンランド | 花崗岩 | | ■ | ガラス塊 |
| フランス | 粘土、岩塩、花崗岩、片岩 | ■ | ■ | |
| 東ドイツ | | | ■ | |
| 西ドイツ | 岩塩 | | ■ | ガラス塊 |
| ハンガリー | | | ■ | |
| インド | 花崗岩 | ■ | | ガラス塊 |
| イタリア | 粘土あるいは結晶岩 | | ■ | ガラス塊 |
| 日本 | 花崗岩、片岩、凝灰岩 | ■ | ■ | ガラス塊 |
| オランダ | 岩塩、粘土 | | ■ | ガラス塊 |
| ポーランド | | | ■ | |
| ルーマニア | | | ■ | |
| スペイン | 岩塩、粘土、結晶岩 | | ■ | ガラス塊とキャスク入り 使用済み燃料 |
| スウェーデン | 花崗岩 | | | キャスク入り使用済み燃料 |
| スイス | 花崗岩、堆積岩 | | ■ | ガラス塊とキャスク入り 使用済み燃料 |
| 英国 | | ■ | ■ | ガラス塊 |
| 米国 | 凝灰岩 | | | キャスク入り使用済み燃料 |
| ソ連 | 岩塩、結晶岩 | ■ | ■ | ガラス塊 |

注：高レベル廃棄物と使用済み燃料の処分のために処分場サイトを最終的に選定した加盟国はない。半明している岩石媒体は検討中。もしくはサイト特性研究の対象である。ブルガリア、キューバ、チェコスロバキア、東ドイツ、ハンガリー、ポーランド、及びルーマニアでは、使用済み燃料は国外の供給者に返還される。

(1) 主要国における高レベル放射性廃棄物の地層処分計画

多くの国は処分の実施を2000年代前半に予定しているが、処分の実施までには地質環境の調査等に長い期間が必要なことから、長期の実施計画が立てられている。処分地の選定段階で地元の反対運動に会い、予定のスケジュールよりも遅れている例が多くみられる。表13に主要国の地層処分計画を示す。

表13 海外主要国の地層処分計画

| 国 項目 | 米 国 | カナダ | フランス | ドイツ | ベルギー | スイス | スウェーデン |
|-------------------------|---|---|---|--|--|--|---|
| 実施機関 (主たる研究) 開発機関 | DOE (OCRWM) | AECL (WNRE) | ANDRA | B f S | ONDRAF (CEN) | 未 定 (NAGRA) | SKB |
| 候補地層 | 凝灰岩 | 花崗岩 | 岩塩、花崗岩 粘土層、片岩 | 岩 塩 | 粘土層 | 花崗岩 粘土層 | 花崗岩 |
| スケジュール | 2010年 第一処分場操業 開始 | 1991～1993年に 処分概念につい て公聴会実施 その後、サイト 選定開始 | 1987年 4サイト候補地 決定 1990～1991年 計画見直し 2010年 処分場操業開始 | 1991年 ゴアレーベン安 全評価書作成 2008年 処分場操業開始 | 2030年頃 処分場操業開始 | 2010年までに処 分サイト決定 2020年以後に処 分場操業開始 | 1990年までにサ イト選定 2020年までに処 分場操業開始 |
| 処分深度 | 350m | 500～1,000m | 500～1,000m | 660～900m | 220m | 約 1,200m (花崗岩) 850m (堆積岩) | 約 500m |
| 廃棄物形態 | 使用済燃料 | 使用済燃料 | ガラス固化体 | ガラス固化体 使用済燃料 | ガラス固化体 | ガラス固化体 | 使用済燃料 |
| 中間貯蔵期間 | 10年 | 20～50年 | 30年 | 数10年 | 30又は50年 | 40年 | 40年 |
| 線量目標 | リスク目標 1万年間のがん 死 10^{-3} 以下 1000年まで 0.25mSv/y | リスク目標 $10^{-6}/\text{y}$ (1万年で評価) | 1mSv/y 低中レベル (廃棄物のみ) 規定 | 0.3mSv/y (1万年間に ついて評価) | 未 定 SAFIRでの リスク $10^{-6}/\text{y}$ | 0.1mSv/y | 最適化線量 0.1mSv/y 線量限度 1mSv/y |

(2) 国際共同研究の状況

高レベル放射性廃棄物管理は世界共通の課題との認識も強く、研究資源の効率的利用の観点からも、関係する国や機関との共同研究も積極的に進められている。表14にその概要を示す。

表14 国際共同研究の状況

| 国名 | OECD/NEA | OECD/NEA | ベルギー | カナダ | スイス | スウェーデン | |
|---------|------------------------|--|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|----------------------------|--|
| プロジェクト名 | ストリパプロジェクト (スウェーデン) | 国際リヂェーサー アナログプロジェクト (オーストラリア) | | | | HRL地下研究計画 | |
| 研究内容 | 参加機関 | 動燃, SKB, USDOE, UKDOE, TVO, AECL, NAGRA | 動燃, 原研, ANSTO, UKDOE, USNRC他 | 動燃, CEN/SCK (モル原子力研究センター) | 動燃, AECL (カナダ原子力公社) | 動燃, NAGRA | 動燃, 電中研, SKB |
| | 使用施設 または 研究対象 | ストリパ 地下研究施設 | リヂェーサー ウラン鉱床 | モル地下研究施設 | WNRE (ホワイトシエール) 原子力研究所 | グリムゼル 地下研究施設 | HRL 地下研究施設 |
| | 対象地層 | 花崗岩 | | ブーム粘土層 (Boom Clay) | 花崗岩 | 花崗岩 | 花崗岩 |
| | 研究題目 | 第3フェーズ ('86~'91) サイト調査技術の 開発と確認, 地下 水流路の密封試験 | 天然バリアのナチュ ェラルアナログ研 究 | 粘土質環境中での 放射性核種の移行 試験他 | 岩盤の水理調査 技術開発 | 結晶質岩中での放 射性核種の移行試 験等 | 掘削に伴う地質環 境への影響等に関 する調査, 評価手 法の確立等 |
| 参加期間 | 1980年~1991年 | 1988年~1990年 | 1987年~1991年 | 1986年~1995年 | 1988年~1993年 | 1990年~1994年 | |

10. 原子力施設の廃止措置と廃棄物対策

原子力施設がその目的を終了し、又は不要となって運転を終了した後に行う解役措置のことを廃止措置という。主な廃止措置の概念には、密閉管理方式、遮蔽隔離方式、解体・撤去方式の3つがある。どのような廃止措置の方式をとるかは、①国の原子力政策、②施設の物理的、放射線的状況、③原子力及び一般産業安全上からの要請、④解体廃棄物関連の問題、⑤再利用の可能性、⑥解体技術と人材の有効性、⑦費用、⑧社会的及び環境的インパクト等種々の要因に基づいて決められる。

現在までの廃止措置は研究施設や30万kWt以下の原子炉等を対象にした、小規模原子力施設での解体が主であり、まだ商業規模での経験をもってはいないが、密閉管理、遮蔽隔離、解体撤去という3段階の廃止措置方式の実証試験も行ってきており、技術的には大型炉の廃止措置にも充分適用できるレベルに到達していると考えられる。

核燃料サイクル施設については、ベルギーのユーロケミック再処理工場やアメリカのウエストバレー再処理工場で廃止措置の経験がたまれており、またPNC、BNFL、WH、GEなどでは、ウランやプルトニウム燃料製造施設の廃止措置を実施し、グローブボックスや装置の解体撤去を行っている。

廃止措置に伴って発生する廃棄物の処理、処分の方法は、基本的には他の原子力産業で行われている方法と同様である。

しかし、放射化した原子炉圧力容器、炉内構造物、汚染した配管、機器類等の金属廃棄物と放射化した生体遮蔽コンクリートや汚染した建屋コンクリート類は、運転中の原子力施設からは通常発生しない廃棄物である。施設の運転期間中に発生する廃棄物総量より多量の廃棄物が、比較的短期間に集中的に発生するのも解体廃棄物の特徴となっている。

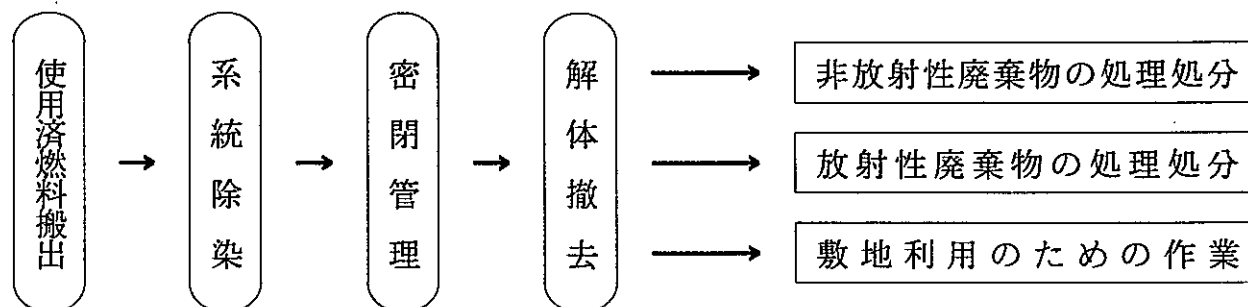


図16 原子炉廃止措置の手順と廃棄物対策

(1) 廃棄物の発生量と処理・処分フロー

廃止措置に基づく廃棄物の発生は、施設の解体時に集中するものと考えられている。

解体廃棄物の発生量は、1985年7月の総合エネルギー調査会原子力部会の報告によると、110万kWeの原子力発電施設で約50～55万トンであり、安全貯蔵期間を5年とした場合で、その約98%が放射能レベルが、 $3.7 \times 10^6 \text{ Bq/t}$ 未満のもので、その大半はコンクリートである。残り約2%が $3.7 \times 10^6 \text{ Bq/t}$ 以上の廃棄物であり、その大半が金属であると推定している。解体廃棄物は、低レベル、極低レベル放射性廃棄物および放射性廃棄物として扱う必要のないものから成り、その大部分は放射性廃棄物として取扱う必要のないものと考えられている。なお、低レベルと極低レベル廃棄物を区分する特別区分値や、放射性廃棄物として扱う必要のない一般区分値あるいは無拘束限界値については現在検討が進められている。図17に廃炉時発生廃棄物の処理処分についての基本フローの例を示す。

解体廃棄物には、放射化されていない汚染廃棄物が多量に発生するので、これらを除染して再使用したり、再生して資源として有効利用する等の解体廃棄物処分量の低減化を図る技術が開発されてきている。しかし解体廃棄物の処理、処分は社会的にもまた技術的にも多くの課題が残されており、各国ともその解決に力を注いでいる。

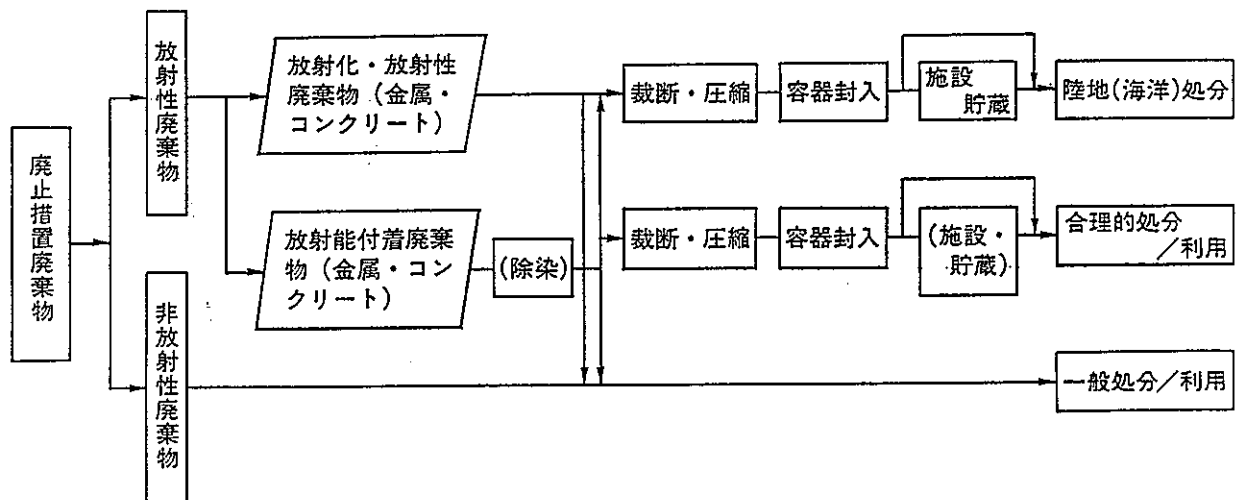


図17 原子炉廃止措置時発生廃棄物処理処分基本フロー⁽⁴⁾

11. 放射性廃棄物の輸送

廃棄物の発生施設と同じ敷地に、貯蔵・処分施設を設置することができないことも多く、特に自らの敷地に廃棄物を処分できる原子力施設は殆どないため、放射性廃棄物の輸送は廃棄物管理システム上不可欠の工程になっている。

放射性物質の輸送の安全規制は、陸上輸送については原子炉等規制法に基づき科学技術庁、運輸省及び都道府県公安委員会により、海上輸送については船舶安全法に基づき運輸省及び海上保安庁により、また、航空輸送については航空法に基づき運輸省により、それぞれ実施されている。

原子力発電所で発生した低レベル放射性廃棄物は、現在は当該発電所が敷地内の低レベル放射性廃棄物貯蔵庫に保管されているが、青森県六ヶ所村に低レベル放射性廃棄物貯蔵センターが建設された後には、各原子力発電所から、廃棄物が貯蔵センターまで輸送され、埋設事業を行う日本原燃産業(株)が保管の責任を一手に負うことになる。

再処理で分離した廃棄物については、特に海外再処理委託に関連して、わが国へ返還される予定の放射性廃棄物（返還廃棄物）を六ヶ所村の民間再処理工場の敷地内で受け入れ貯蔵する計画となっている。この返還廃棄物の輸送については原子力安全委員会で審議され（昭和62年10月）、ガラス固化体、アスファルト固化体及びセメント固化体それぞれに対して安全な輸送が可能であるとの見通しが得られている。

実際に輸送が行われる際には、具体的仕様に応じて輸送容器が用意されることとなる。

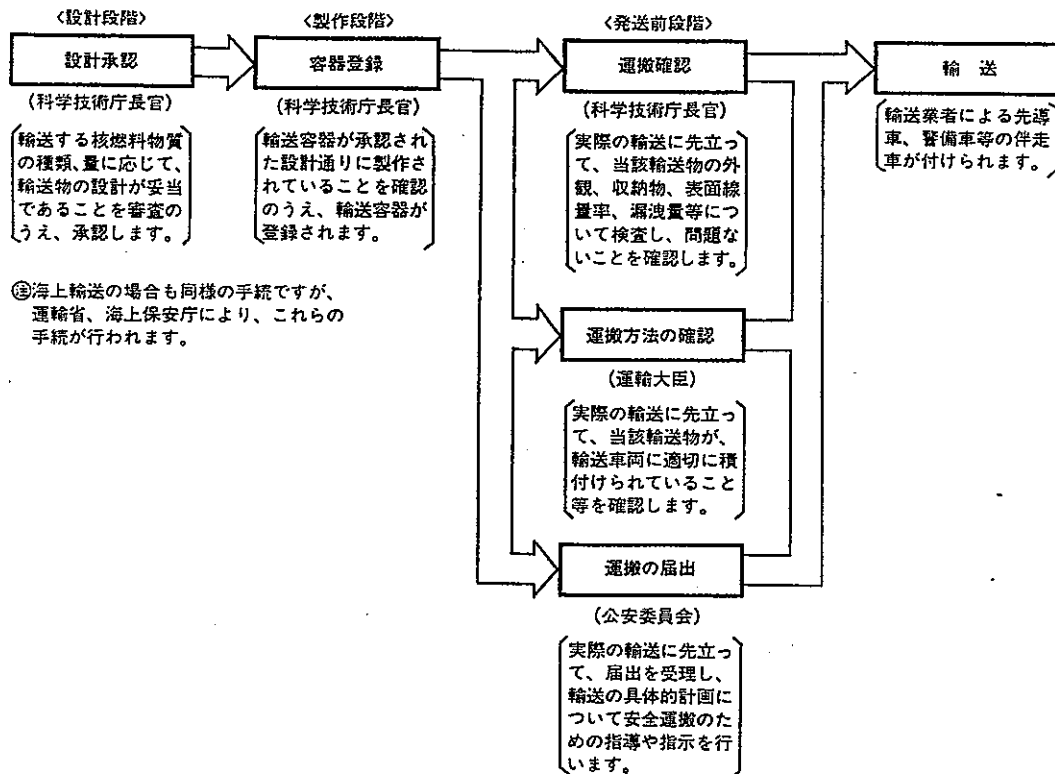


図18 陸上輸送に係る国の手続き

(1) 原子力発電所低レベル放射性廃棄物の輸送

原子力発電所で発生した低レベル放射性廃棄物は、ドラム缶に封入されて発電所敷地内の低レベル放射性廃棄物貯蔵庫に保管されている。これらを長期貯蔵場所に輸送する場合には、まず表面の放出放射線の強さによって4ないし8個をコンテナに入れて一体とし、その1ないし2個がトラックに積載され港の専用埠頭に運搬される。発電所から専用埠頭までの陸上輸送については、大部分が専用道路であり、トラックにコンテナを専用の器具で固定し、作業管理を徹底する等安全確保に万全が期される。

埠頭において低レベル放射性廃棄物専用運搬船に積載され、然るべき港（むつ小川原港等）まで海上輸送される。低レベル放射性廃棄物専用運搬船に対しては、使用済燃料輸送用専用運搬船の構造設計基準に準じた特別構造設備要件が制定されているので、これに基づいて設計建造された専用運搬船が使用される。

六ヶ所村の場合、最後に小川原港から低レベル放射性廃棄物貯蔵センターまで、トラックによる陸上輸送が行われる。

(2) 返還廃棄物の輸送

1993年以降に海外からの返還廃棄物の受入れ貯蔵が予定されている。輸送量は現在はまだ未定であるが、計画によればつぎの通りである。⁷⁾

| 高レベル | 中・低レベル | | | | |
|----------------------------------|--------------------|-----------------|------------|------|-------|
| 分裂生成物等 ガラス固化体 輸送物数/年 24 | ハルエンドピース セメント又は | スラッジ ピッチェウメン | 廃樹脂 固化体 | α雑固体 | 非α雑固体 |
| | 108 | 52 | 3 | 72 | 187 |

このうちガラス固化体については、英国及び仏国より返還されるガラス固化体仕様の概略が両国よりわが国に呈示され、これを踏まえてのわが国での検討結果によれば、その安全輸送は可能であることが明らかになったが、輸送開始時期には改めて法律に基づく安全確認がなされることになっている。ガラス固化体は放射能レベルも高いので、輸送するときには、その複数個を、使用済燃料輸送容器並みの遮蔽能力を持つ大型の輸送容器内に収納し、輸送物表面の線量当量率及び1メートルにおける線量等量率は他の放射性輸送物の場合と同様に規制される。

12. 参考文献

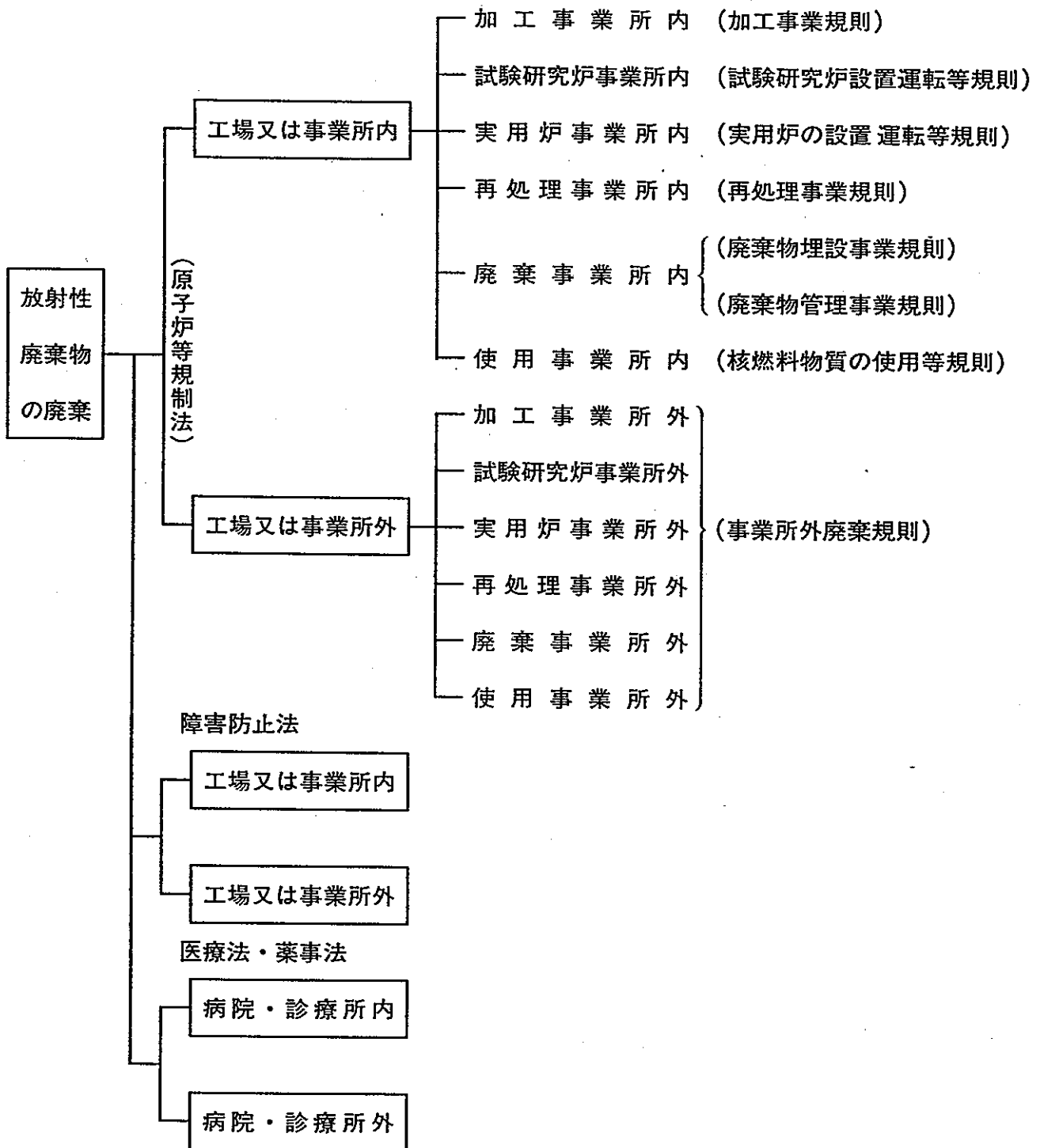
- 1) 鈴木篤之 他 「核燃料サイクル工学」 日刊工業新聞社刊 1981. P83
- 2) " " " " P85
- 3) 「各国における低レベル放射性廃棄物の処分」 原環センタートピックス
No.19 1991. 6
- 4) 原環センター「放射性廃棄物データブック」 1990. 3 P16-19
- 5) J. L. チュー他「放射性廃棄物管理」 IAEA季報 vol31. No.4 1990. P9
- 6) 太田邦弘「原子炉廃止措置に伴う廃棄物の処理処分」原子力工業
31(11) 1985. P30
- 7) 青木成文「放射性物質輸送のすべて」 日刊工業新聞社刊 1990. 6. P199

13. 実務者養成講座用OHP集

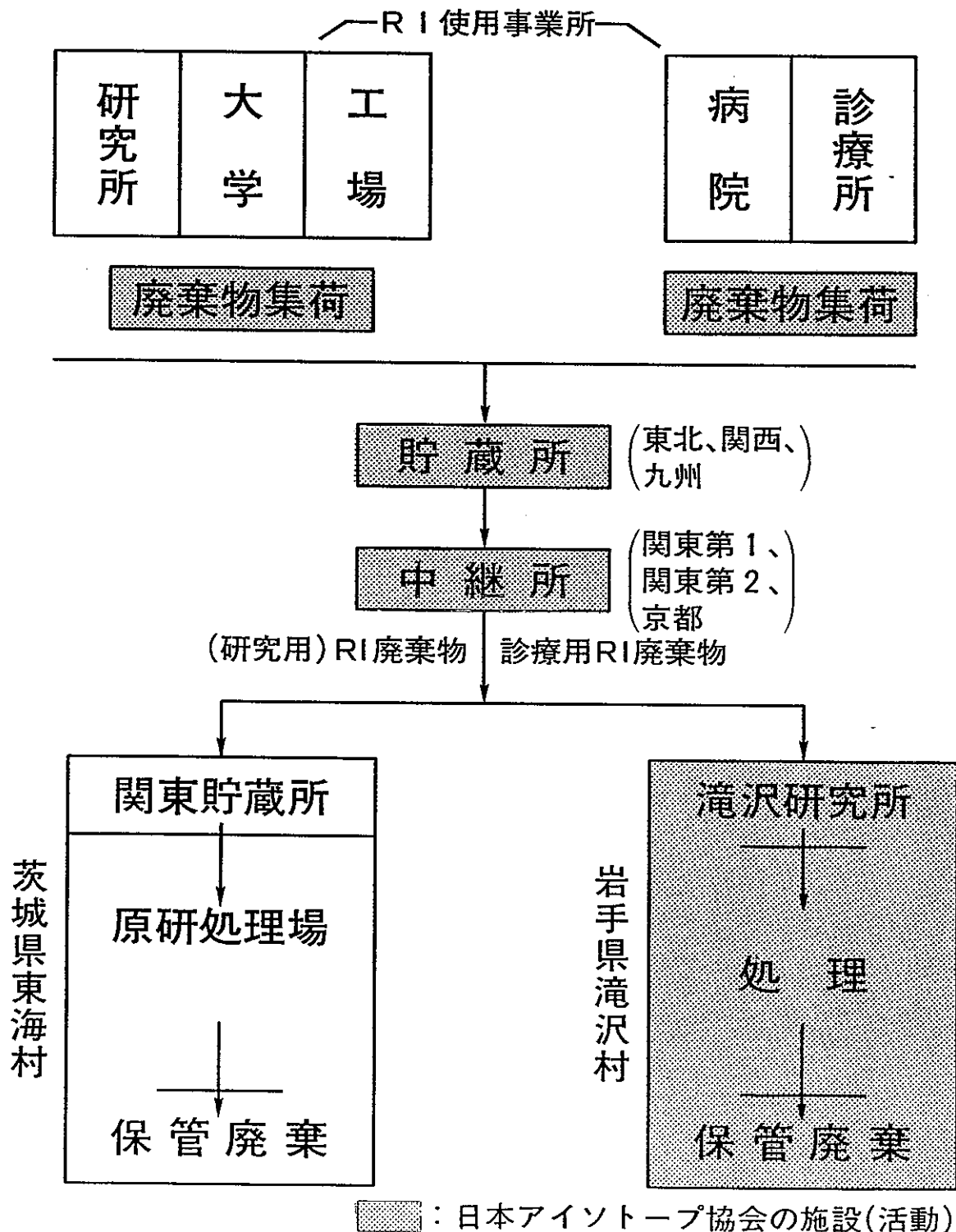
放射性廃棄物の廃棄にかかわる法令とその処分

| 法 令 | 固体廃棄物の処分方法 | 処分事業者 | 廃棄物発生源 |
|--|---|------------------------------------|------------------------------|
| 原子炉等規制法 原子炉運転規則 再処理事業規則 核燃料使用規則など 埋設事業規則 管理事業規則 事業所外廃棄規則 | 事業所内廃棄 事業所内廃棄 事業所内廃棄 埋 設 管 理 海洋投棄／保管廃棄 | 廃棄物埋設事業者 廃棄物管理事業者 廃棄事業者 | 原子力事業所 |
| 放射線障害防止法 施行規則 | 焼 却 保管廃棄 海洋投棄 | 廃棄業者 廃棄業者 廃棄業者 | R I 使用事業所 (大学、研究所、 工場) |
| 医療法 施行規則 薬事法 放射線医療品製造規則 | 保管廃棄 焼 却 保管廃棄 海洋投棄 | 廃棄委託指定業者 (製造業者) 製造業者 製造業者 | R I 使用事業所 (病院、診療所) |

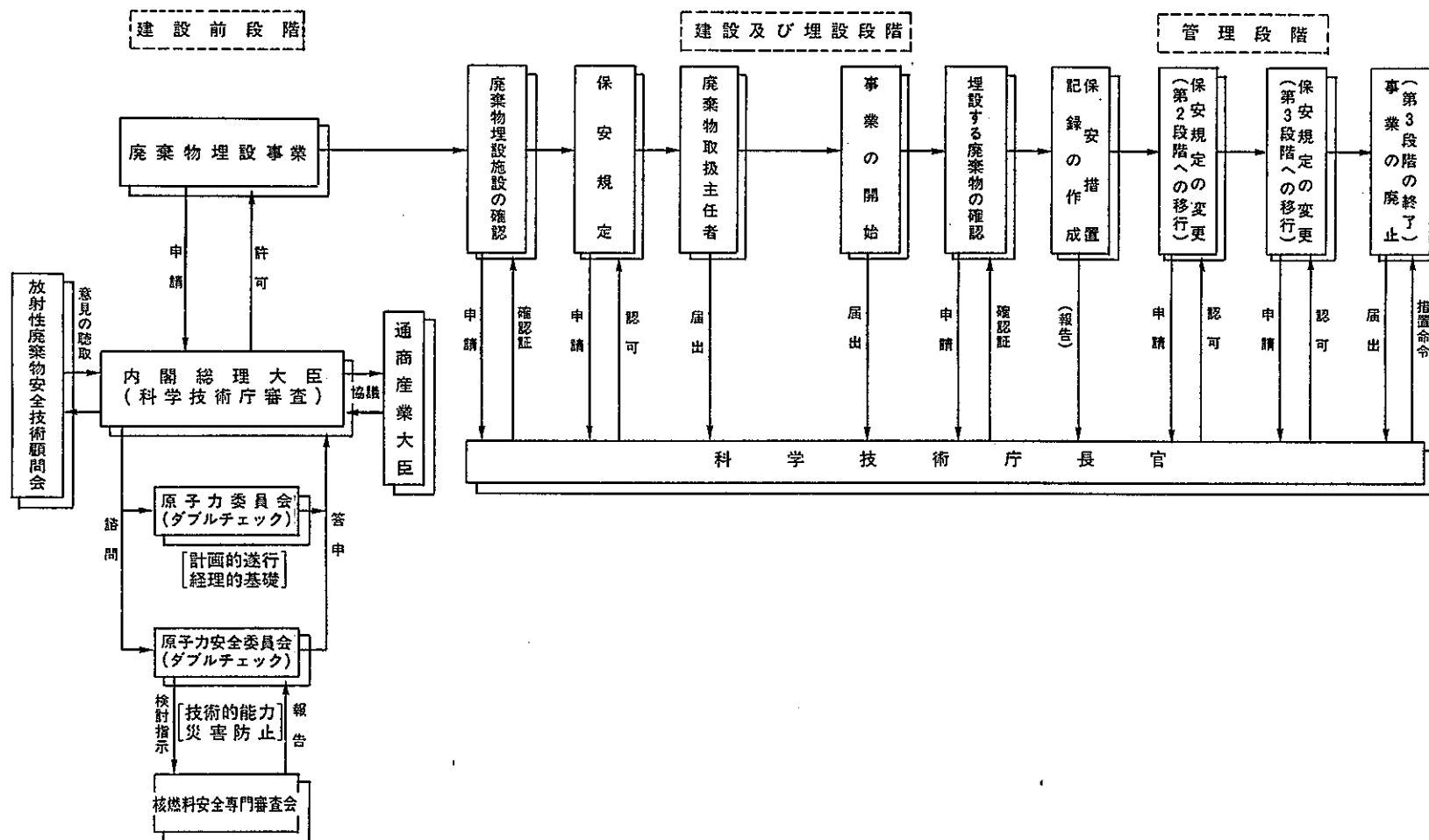
放射性廃棄物の廃棄に関する基本体系



RI廃棄物の集荷、貯蔵、処理のフロー



廃棄物埋設事業の安全規制の流れ



核燃料サイクル施設での放射性廃棄物の発生量の概数 (100万kWe軽水炉を1年間運転するのに相当)

| 発生元及び形態 | 容量(処理・固化後)(m ³) | 放射能量又は重量 |
|---|----------------------------------|---|
| 1. ウラン採鉱・製錬 － 鉱滓 | 60,000 (Pu再利用の場合40,000) | $3.7 \times 10^8 \text{Bq/m}^3 (0.01 \text{Ci/m}^3)$ |
| 2. 燃料加工 － UO ₂ | — | 無視可能 |
| 3. 軽水炉 － 各種固体廃棄物及び固 形化樹脂 | 100～500 | $3.7 \times 10^9 \sim 3.7 \times 10^{11} \text{Bq/m}^3$ ($0.1 \sim 10 \text{Ci/m}^3$) |
| 4. 再処理 － 固化済高レベル廃棄物 (HLW) － 圧縮済被覆ハル － 低及び中レベル ベータ・ガンマ固体廃 棄物 － 固体及び固形化アルフ ァ廃棄物 | 3 3 10～100 1～10 | $55.5 \times 10^{17} \text{Bq} (150 \text{MCi})$ $55.5 \times 10^{15} \text{Bq} (1.5 \text{MCi})$ $3.7 \times 10^{14} \text{Bq} (0.01 \text{MCi})$ 1～5kgPu |

原子力発電所(100万kwe・yr)における放射性廃棄物発生量の概数

| | 発生量/放出量 | 放射能濃度 | 備考 | |
|-------|--|--|---|---|
| 気体廃棄物 | 希ガス、1次系換気系 ヨウ素、1次系換気系 放射化生成物、 ⁴¹ Ar ¹³ N | ~2×10 ¹⁵ Bq/yr ~4×10 ¹⁴ Bq/yr ~1×10 ¹¹ Bq/yr ~2×10 ¹¹ Bq/yr ~8×10 ¹¹ Bq/yr ~4×10 ¹¹ Bq/yr | 炉内インベントリの1/1,000程度がもれるものと仮定。 ¹³³ Xe、 ¹³⁵ Xe、 ^{135m} Xe | |
| 液体廃棄物 | 機器ドレン 床ドレン 再生廃液 ランドリ・ドレン | ~100m ³ /day ~20m ³ /day ~10m ³ /day ~30m ³ /day | ~4×10 ³ Bq/cc ~4×10 ² Bq/cc ~4×10 ¹ Bq/cc ~4×10 ⁰ Bq/cc | いずれも液体廃棄物処理系へ導かれ、さらに濃度を下げて放出される。腐食生成物の発生量が機器ドレンや再生廃液の放射能濃度を左右する。 |
| 固体廃棄物 | 使用済樹脂、中レベル 低レベル フィルタ・スラッジ 濃縮廃液 雑固体、可燃性 不燃性 使用済制御棒等 | 5~15m ³ /yr 100~150m ³ /yr ~100m ³ /yr 200~500m ³ /yr 100~200m ³ /yr 150~200m ³ /yr | (2~8)×10 ⁷ Bq/cm ³ ~8×10 ⁴ Bq/cm ³ Bq/ ~2×10 ⁸ Bq/cm ³ (0.4~4)×10 ⁵ Bq/cm ³ (0.4~4)×10 ¹¹ Bq/ℓ (0.4~4)×10 ³ Bq/cm ³ | 原子炉浄化系、復水脱塩器、使用済燃料貯蔵プール系など 廃棄物処理系フィルタ 紙類、布類、木材 プラスチック類、ゴム類 耐用年数5年 |

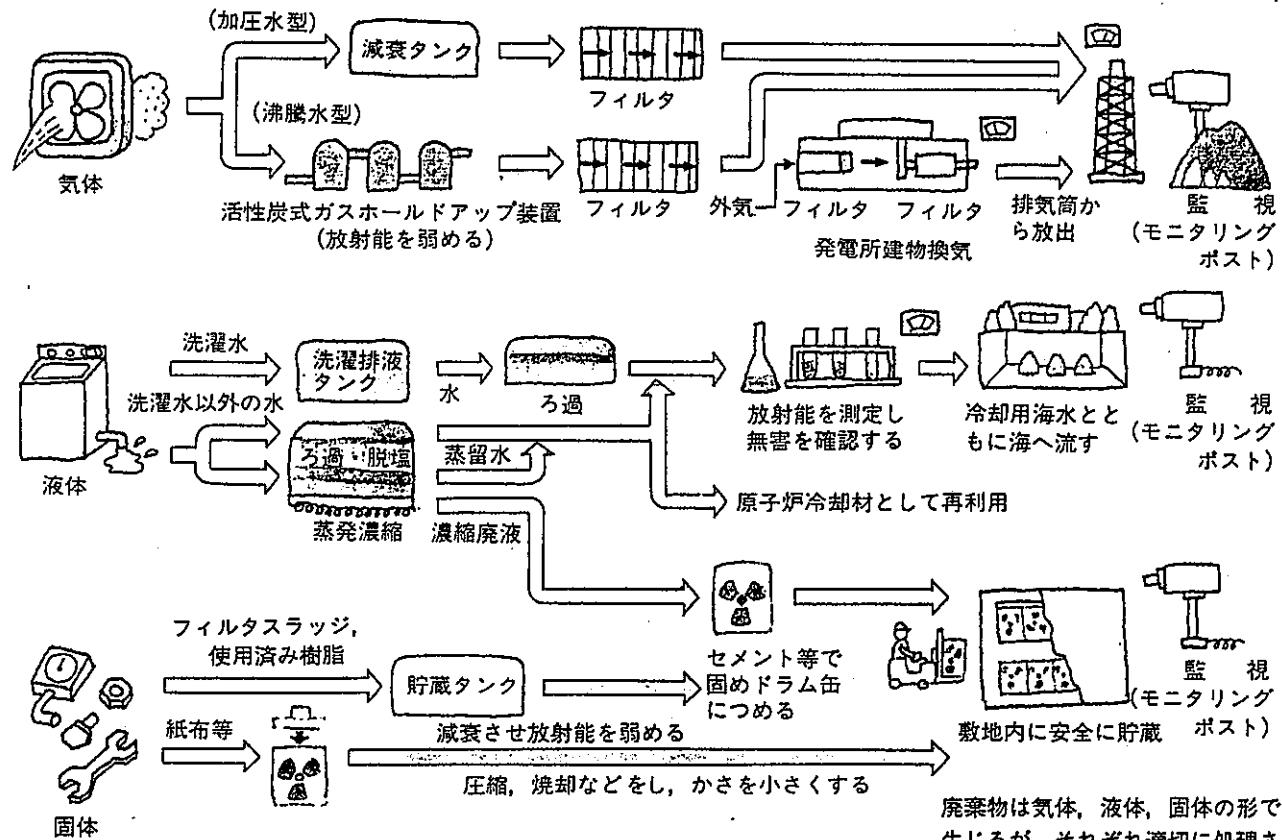
再処理施設における放射性廃棄物

| | 種類 | 形態 | TRU含有 | 処理例 | 閉じ込め形態 | 貯蔵例 | 発生量 [Bq/MHTM] |
|---------|-------------------------------------|----|-------|--------|--------------|-------|----------------------|
| 前処理工程 | ハ | 固 | ○ | 圧縮 | セメント | 地上格納室 | 4×10^{14} |
| | ^{85}Kr | 気 | | 液化蒸留 | ボンベ/金属マトリックス | 水中ポンド | 4×10^{14} |
| | ^{129}I 、 ^{131}I | " | | 吸収 | セメント | 地上格納室 | 2×10^9 |
| | ^3H | " | | 水蒸留 | " | " | |
| | ^{14}C | " | | アルカリ洗浄 | 石 灰 | " | 2×10^{10} |
| 抽出工程 | フ | 固 | ○ | 遠心分離 | セメント/ガラス | 水中ポンド | } 2×10^{16} |
| | ア | 液 | ○ | 濃縮・仮焼 | ガラス | " | |
| | イン | " | ○ | 焼却 | アスファルト/セメント | 地上格納室 | |
| 廃棄物処理工程 | 濃縮廃液 | 液 | ○ | 蒸発 | アスファルト/セメント | 地上格納室 | } 2×10^{13} |
| | スクラップ | " | | " | " | " | |
| | 廃樹脂 | 固 | ○ | 圧縮 | " | " | |
| | フィルタ・スラッジ | " | | " | " | " | |
| | 銀ゼオライト | " | | " | " | " | |
| | 雑廃棄物 | " | | " | " | " | |

放射性廃棄物の累積保管量

| 年 度 レベル | 昭和60年度 末 累 積 | 昭和61年度 末 累 積 | 昭和62年度 末 累 積 | 昭和63年度 末 累 積 | 平成元年度 末 累 積 |
|----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 低レベル放射性廃棄物 (200ℓドラム缶換算) | 627,200本 | 670,900本 | 712,800本 | 739,500本 | 756,600本 |
| 高レベル放射性廃棄物 | 226m ³ | 307m ³ | 321m ³ | 343m ³ | 365m ³ |

原子力発電所の放射性廃棄物の処理方法

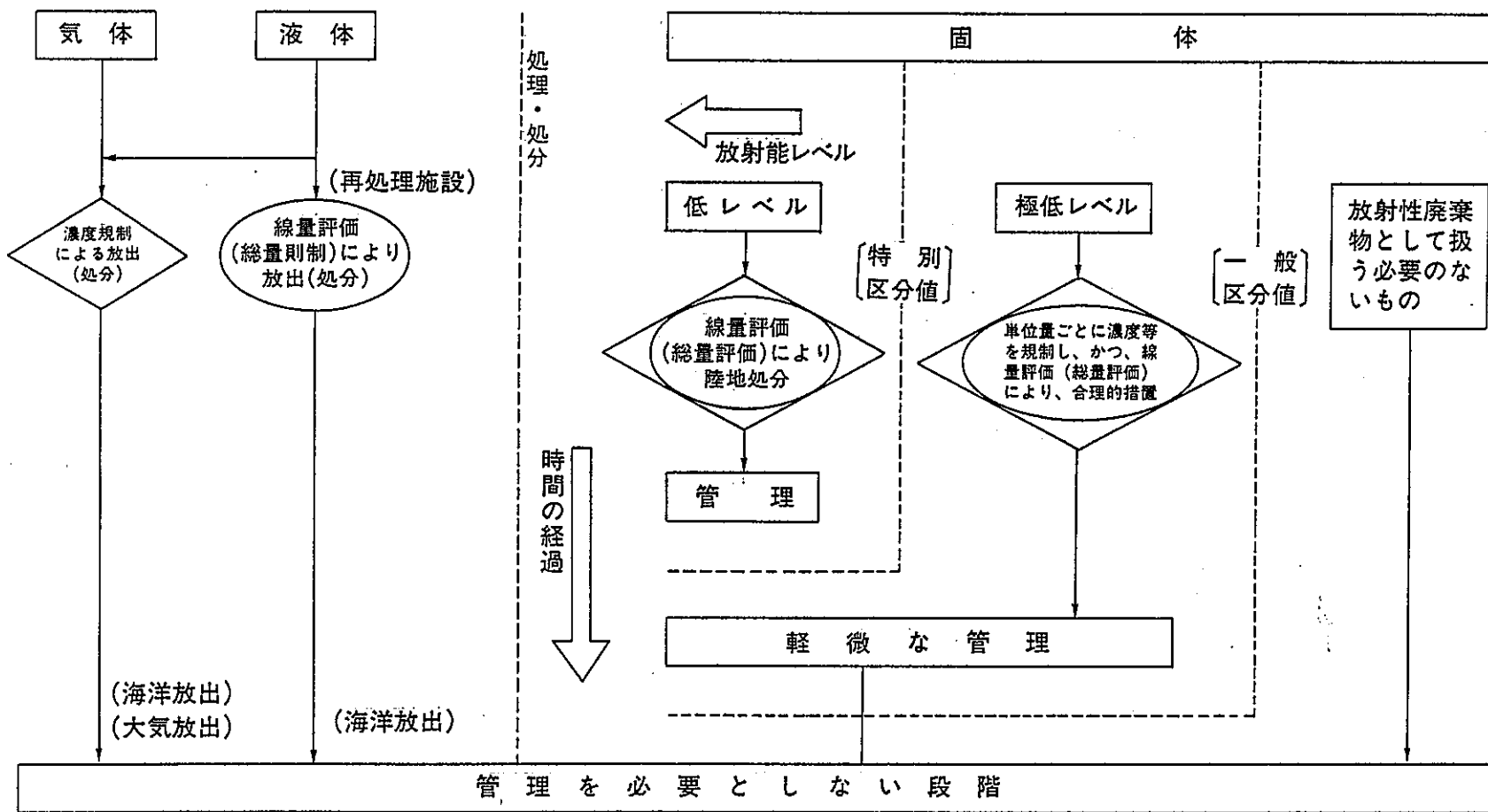


廃棄物は気体、液体、固体の形で生じるが、それぞれ適切に処理され、安全を確認してから環境に放出され、また保管されている。施設周辺にはモニタリングポストがあり、常時放射線レベルを監視している。

原子力発電所の低レベル放射性廃棄物の処理方法例とその特長

| 対象 | 処 理 法 | 方 法 | 特 長 |
|--------|--------|---|--|
| ①気体廃棄物 | ろ 過 法 | プレフィルタ、アブソリュート・フィルタを通し、気体中に含まれるダストを処理する。 | 微粒子の除去に効果がある。 |
| | 減 衰 法 | タンクに貯留して放射能を減衰処理する。減衰管、活性炭を通す処理方法もある。 | 少量の場合、放射能が短半減期の気体処理に適する。 |
| | 希 釈 法 | 大量の空気にまぜて薄め、放射性物質の濃度を許容レベル以下にする。 | 特別の処理を必要とせず、運転経費が安い。 |
| ②液体廃棄物 | イオン交換法 | イオン交換樹脂中に含まれているイオン交換基と、水中に含まれているイオンとを交換させて除去する。 | 溶存イオンの少ない廃液の処理に適している。 |
| | 蒸 発 法 | 蒸気又は熱を加えて、廃液を蒸発、乾固又は濃縮させる。 | 廃棄物の減容の点ではすぐれている。 |
| | 凝集沈澱法 | 飲料水の水処理と同様、沈澱剤を注入し、これに吸着させて除去する。 | 施設費、運転経費は安く、大量の廃液の処理に適している。除染効果があまりよくないのと、スラッジの量が多くなるのが欠点。 |
| ③固体廃棄物 | 圧 縮 法 | 圧縮可能な廃棄物をドラム缶などの容器に入れてプレス機で圧縮・減容する。 | 圧縮可能なものに限られる。 |
| | 焼 却 法 | 焼却炉で可燃性の廃棄物燃焼処理を行う。 | 減容比が他に比べて大きい。可燃物に限られる。 |
| | 固 化 法 | セメント、アスファルト、プラスチックなどに廃棄物（樹脂、スラッジ、濃縮廃液など）をまぜ、ドラム缶などの容器中で混合して固化する。又は外で攪拌混合し、ドラム缶に入れる。 | 樹脂、スラッジ、濃縮廃液等の処理に適する。 |

低レベル放射性廃棄物の処分の流れ



合理的措置には簡易な処分と再利用が含まれる。

原子力委員会放射性廃棄物対策専門部会(84)
：放射性廃棄物処理処分方策について

低レベル放射性廃棄物 貯蔵センターの概要

所在地 青森県上北郡六ヶ所村大石平

敷地面積 約340万 m^2

処分容量 第1期工事約4万 m^3
(200ℓドラム缶20万本相当)
当面の計画約20万 m^3
(200ℓドラム缶100万本相当)
最終計画約60万 m^3
(200ℓドラム缶300万本相当)

施設概要 鉄筋コンクリート造のピット
約40基(第1期工事分)
ピットの寸法
約24^L×24^W×6^Hm

受入廃棄物 原子力発電所で発生し均一に
固型化した廃棄物
(第1期工事分)

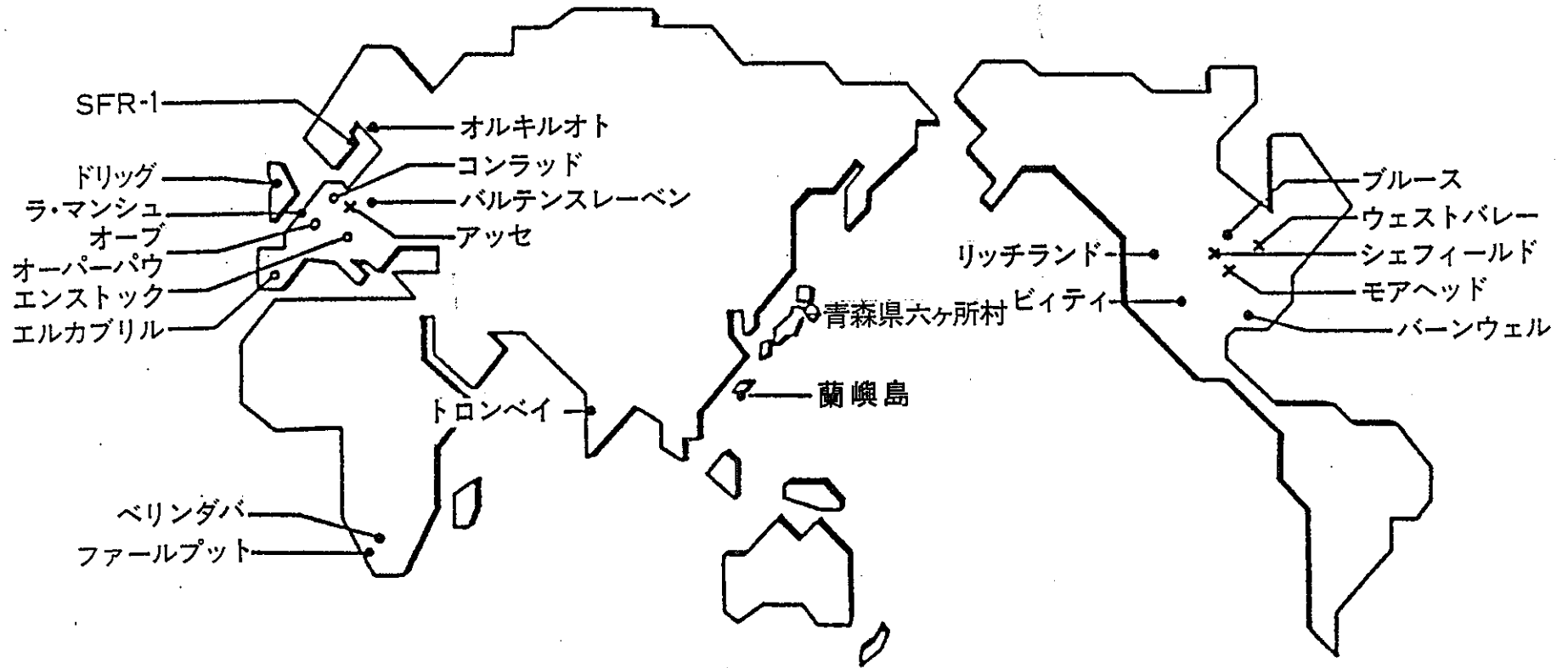
埋設処分する低レベル固体廃棄物 (廃棄体)の技術基準項目

| 項 目 | 説 明 |
|-----------------|------------------------|
| (1)固型化材料 | セメント、アスファルト、不飽和ポリエステル |
| (2)廃棄体容器 | ドラム缶及び同等金属容器 |
| (3)廃棄体の強度 | セメント固化の場合 |
| (4)混合割合 | アスファルト及び不飽和ポリエステル固化の場合 |
| (5)廃棄体の硬度 | 不飽和ポリエステル固化の場合 |
| (6)固型化の方法 | 固化型材料と廃棄物を均質混合のこと |
| (7)有害物質 | 健全性を損う物質を含まないこと |
| (8)線量当量率、 標識 | レベルによる識別 (白、橙、赤) |

低レベル放射性固体廃棄物に係る廃棄物埋設施設の段階的管理

| 段階 項目 | 第1段階 | 第2段階 | 第3段階 | 管理期間の終了 |
|----------|---|--|---|--|
| 安全確保の考え方 | 人工バリアにより放射性物質が人工バリアの外へ漏出することを防止するとともに、人工バリアから放射性物質が漏出していないことを監視 | 人工バリアと天然バリアにより放射性物質の生活環境への移行を抑制するとともに、放射性物質の人工バリアからの漏出及び生活環境への移行を監視 | 主として天然バリアにより放射性物質の生活環境への移行を抑制するとともに、特定の行為の禁止又は制約 | 一般公衆の被ばく線量が、被ばく管理の観点からは考慮する必要のない低い線量であることを確認 |
| 管理の具体的内容 | <ul style="list-style-type: none"> ● 放射線モニタリング ● 周辺監視区域を設け立入制限 ● 埋設保全区域を設け保全措置 ● 人工バリアからの放射性物質の漏出時における修復等の措置 ● 巡視及び点検等 | <ul style="list-style-type: none"> ● 放射線モニタリング ● 周辺監視区域を設け立入制限 ● 埋設保全区域を設け保全措置 ● 巡視及び点検等 | <ul style="list-style-type: none"> ● 埋設保全区域を設け保全措置 ● 農耕作業等、特定行為の制約又は禁止 ● 巡視及び点検等 | (被ばく管理の観点からは管理することを必要としない) |

世界の低レベル放射性廃棄物処分場

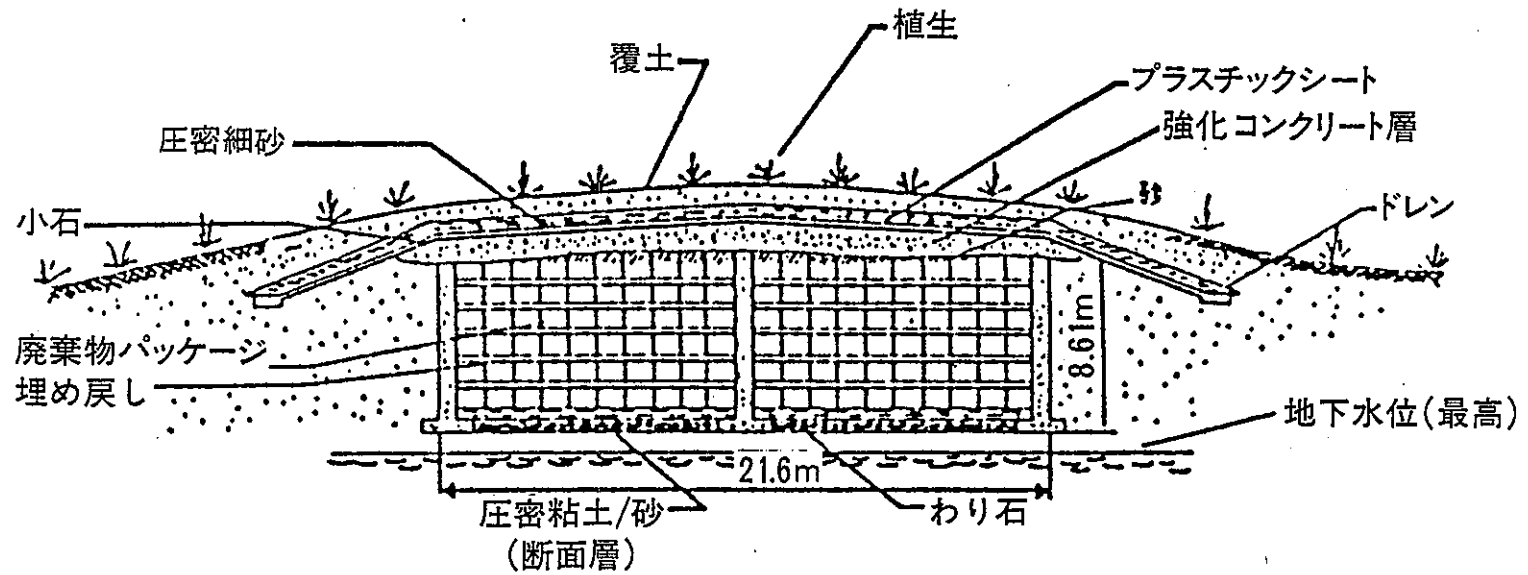


凡例：● 操業中
○ 建設中または計画中
× 閉鎖

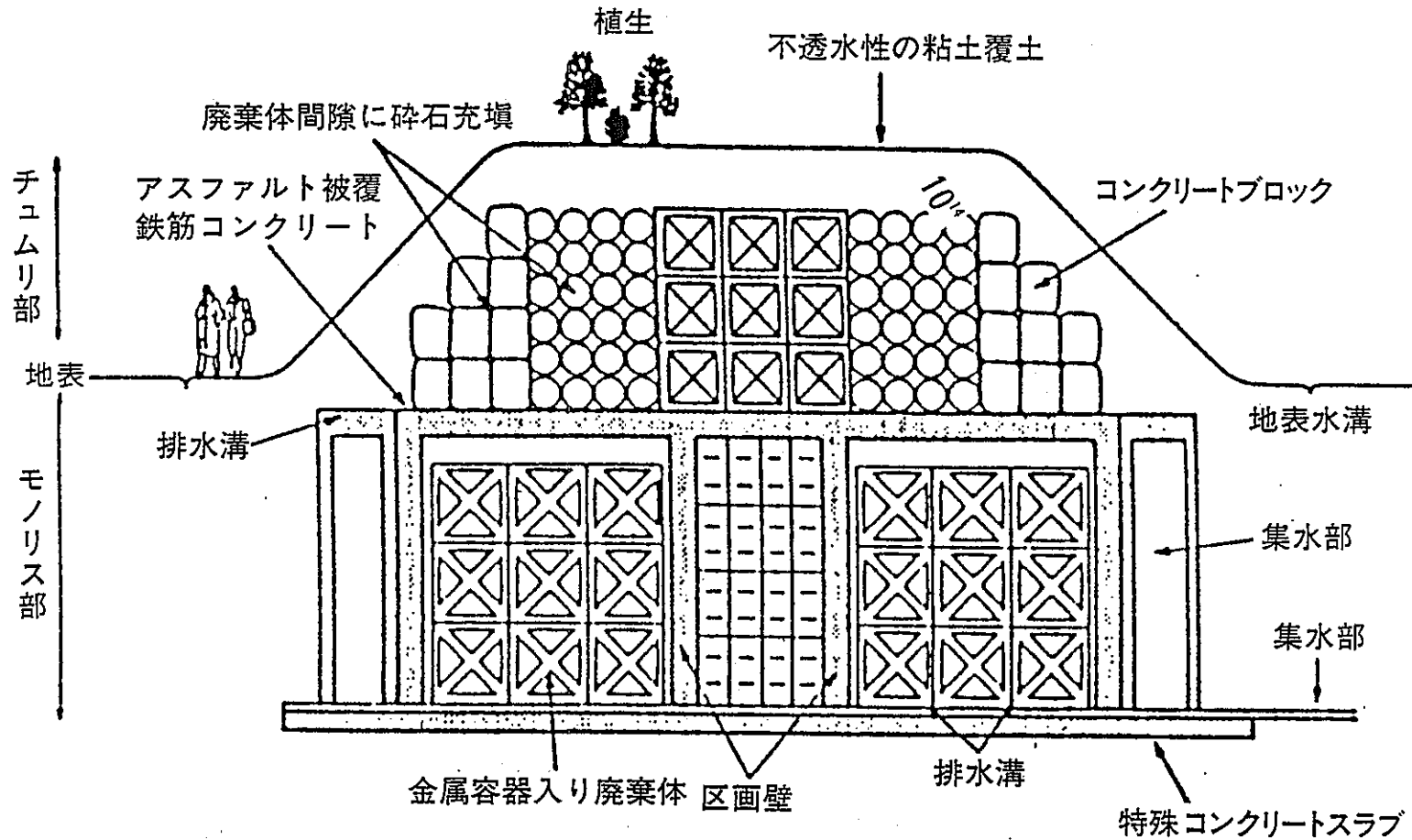
世界の低レベル放射性廃棄物処分施設（例）

| 処分施設名 | 運営者 | 対象廃棄物 (種類・形態) | 受入容量 (計画総量) (既処分量) | 施設主要構造 (方式、処分深さ等) | サイトの現況 |
|---------|----------------------------|--|---|---|---|
| ラ・マンシュ | ANDRA (国立放射性廃棄物管理機関(仏)) | 200ℓ、100ℓドラム詰固体、及び雑固体 2.5、5、10m ³ 金属箱入り雑固体、2m ³ コンクリートブロック詰雑固体 | 約 490,000 m ³ (300,000 m ³ 85年末 30,000 m ³ /年 受入) | モノリス、チュムリ複合方式 (地下部をモノリスとして鉄筋コンクリートで一体固型化し、その上に地上部のチュリム部分を構築する) | '69操業開始 '79ANDRAに移管 '91年頃に満杯の見込み 面積12万m ² |
| SFR-1 | SKB (スウェーデン核燃料・廃棄物管理会社) | コンクリート角型コンテナ詰固化体(中レベル廃樹脂等)、200ℓドラム詰圧縮雑固体 | 約 6,000 m ³ (第1期) 第2期約30,000 m ³ 増設予定 | 海底下岩盤内サイロ 1基 トンネル空洞 4基 水深5mの海底下50m以深 | '83建設開始 '88操業開始 '90年代末第2期建設開始 |
| チョークリバー | AECL (カナダ原子力公社) | 有害寿命L _H < 500年の廃棄物…IRUS L _H ≥ 500年に対してはSRC(浅岩洞) L _H < 150年についてはIST(改良砂トレンチ) | 約 6,000 m ³ (長手方向に3区画 2,000 m ³ /区画) | IRUS (耐侵入地中構造物) 約90'×20'×9'm (処分時は仮設屋根、廃棄物間は砂充填処分後、コンクリートキヤッピング、工学カバー) | '88建設申請 '91操業申請 '92IRUS及びIST開始 SRC:2000年頃から処分開始 |

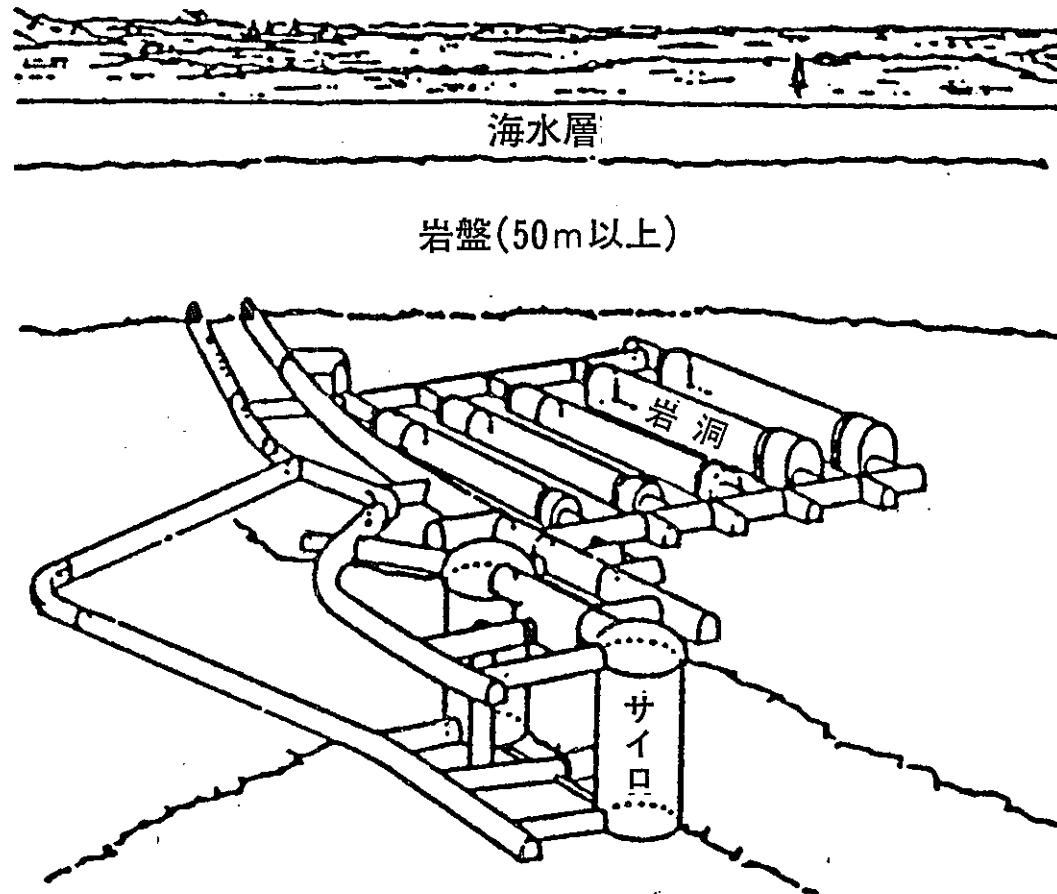
IRUS型低レベル廃棄物処分施設の概念図(加)



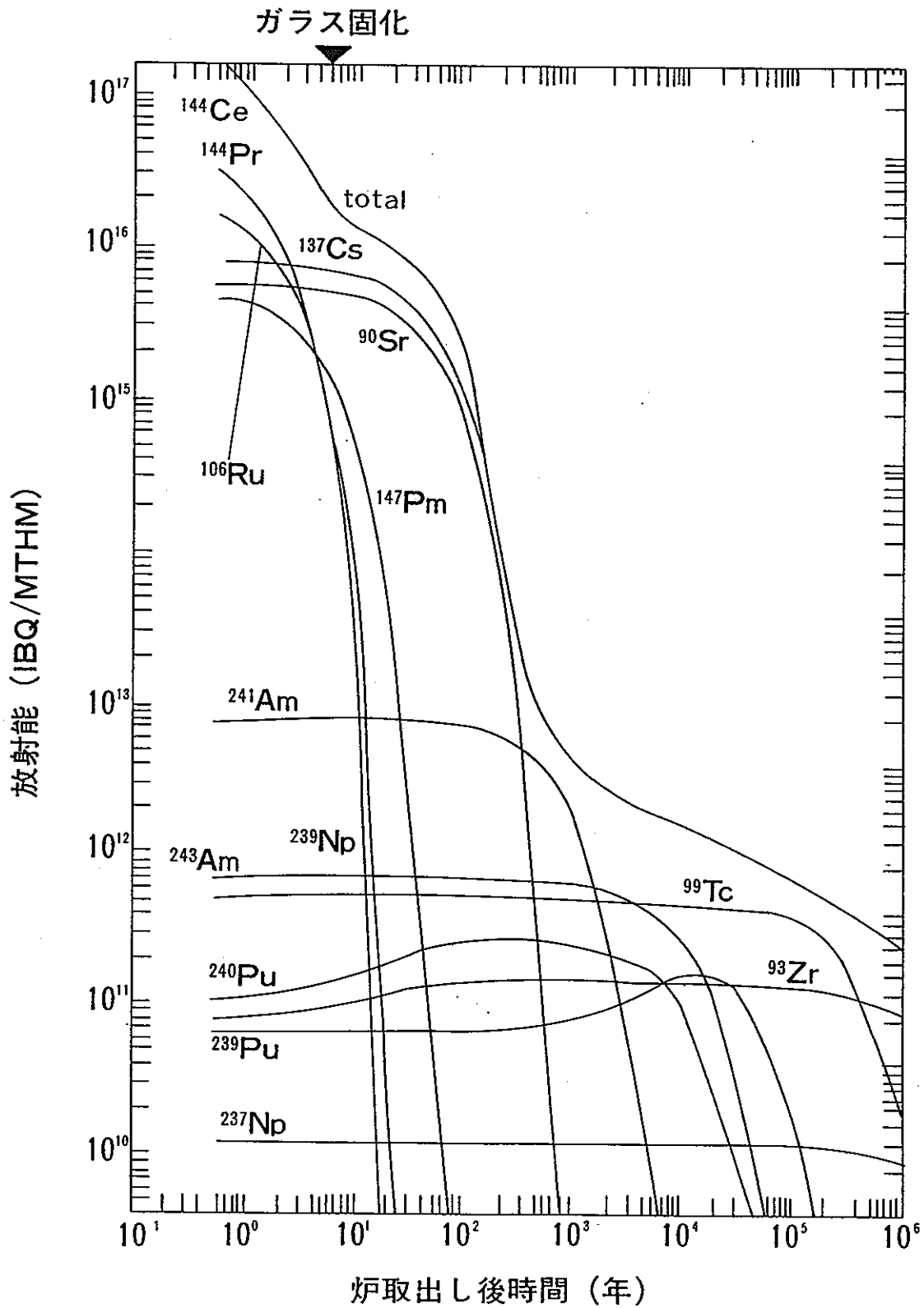
処分用構築物と廃棄体 (仏)



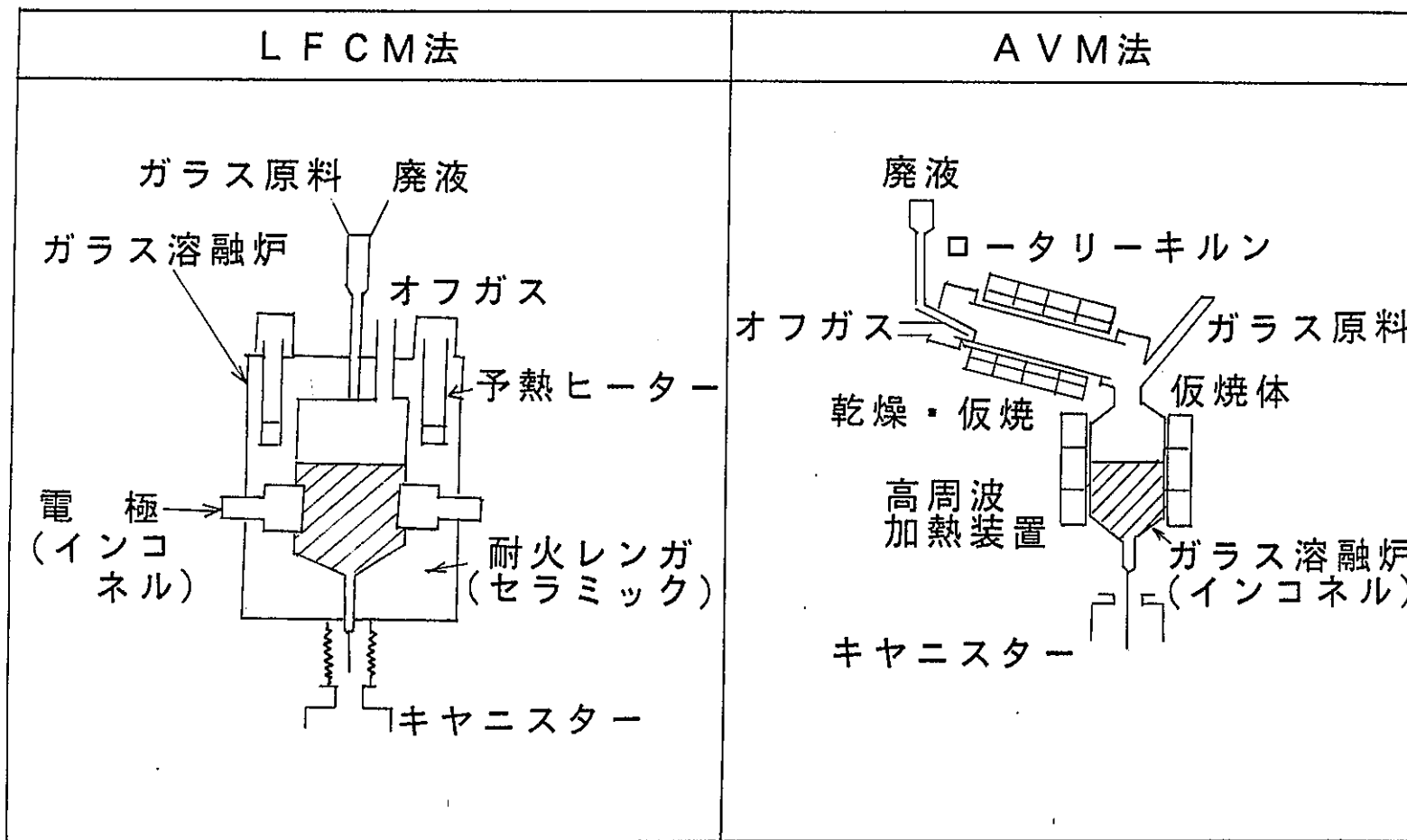
SFR-1 (スウェーデン)



高レベル放射性廃棄物の放射能(一例)



ガラス溶融プロセスの比較

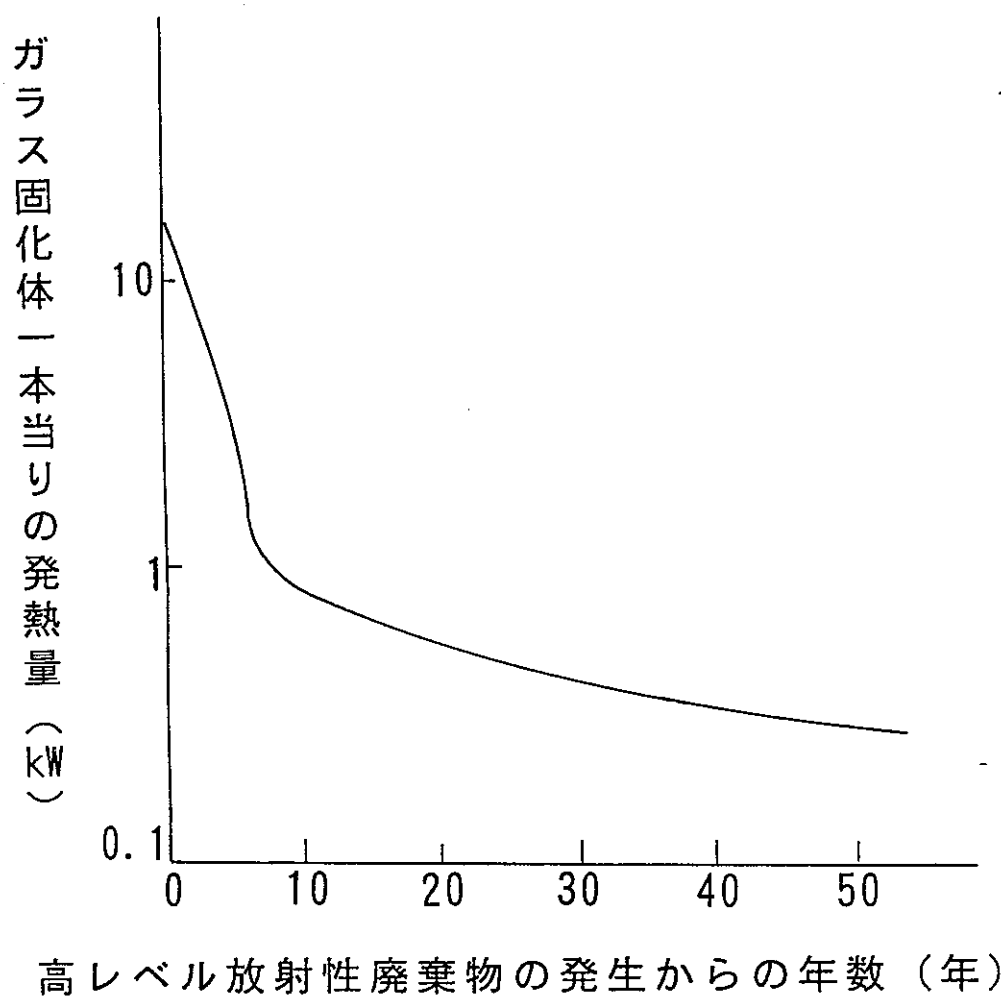


世界のガラス固化プラント

| 国 | プラント | 所在地 | ガラス 固化法 | 製造能力 | 固化処理実績 (t) (本) | ホット運転、 開始時期 |
|-------------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------|-------------------------------------|---|-----------------------------|
| 米 国 | DWPF WVDP 計画中 | サウスカロライナ州 ニューヨーク州 ワシントン州 | LFCM 同 上 同 上 | | — | 1991年 1991年頃 1990年代後半 |
| 英 国 | WVP | セラフィールド | AVM | 25kg/時 2ライン | — | 1991.2 |
| 仏 国 | AVM R-7 (UP 2用) T-7 (UP 3用) | マルクール ラ・アーグ 同 上 | AVM 同 上 同 上 | 15kg/時 35kg/時 同 上 | (1989.1現在) 約565t(1605本) 125本 — | 1978年 1989年 1992年頃 |
| 西 独 ベルギー | PAMELA | モル (ベルギー) | LFCM | 20-25kg/時 | (1988.12現在) 250t | 1985年 |
| 日 本 | 動燃TVF 原燃サービス プラント | 東海村 下北 (六ヶ所村) | LFCM 同 上 | 13kg/時 約70ℓ/h (高レベル廃液) 2 基 | — — | 1991年頃 1997年頃 |

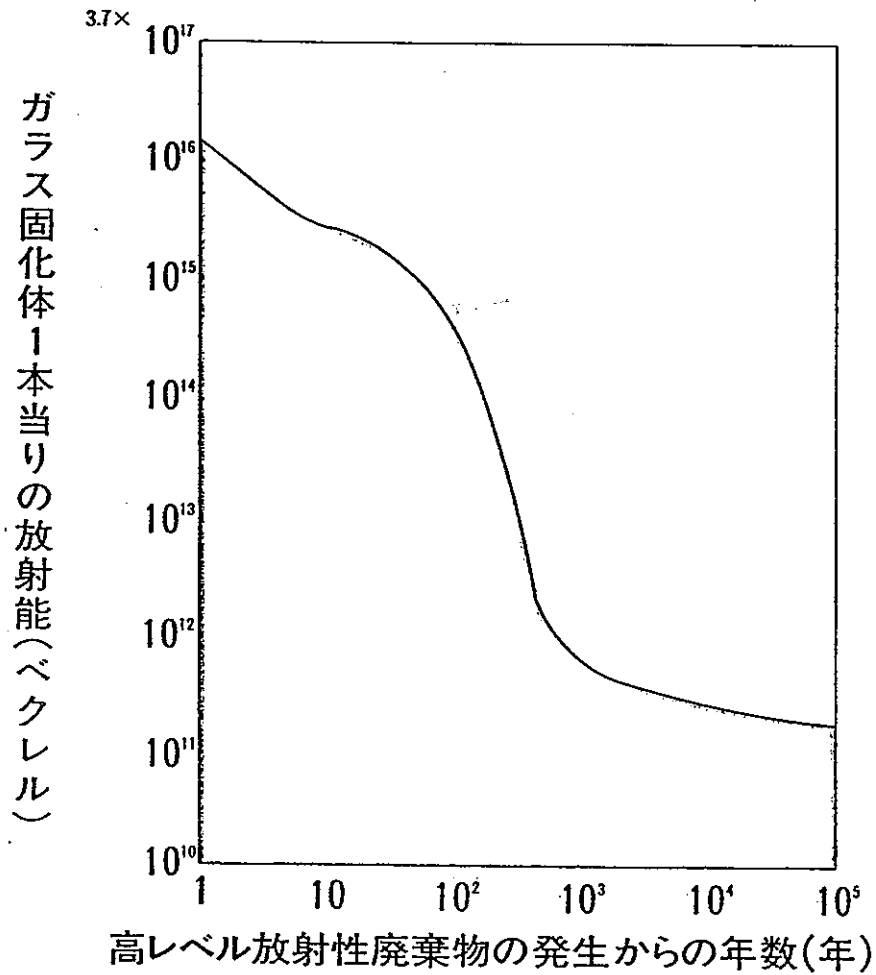
高レベル放射性廃棄物の発熱量

(発生源：軽水炉燃料、燃焼度：28,000Mwd/t)



高レベル放射性廃棄物の放射能

(発生源：軽水炉燃料、燃焼度：28,000MWd/t)



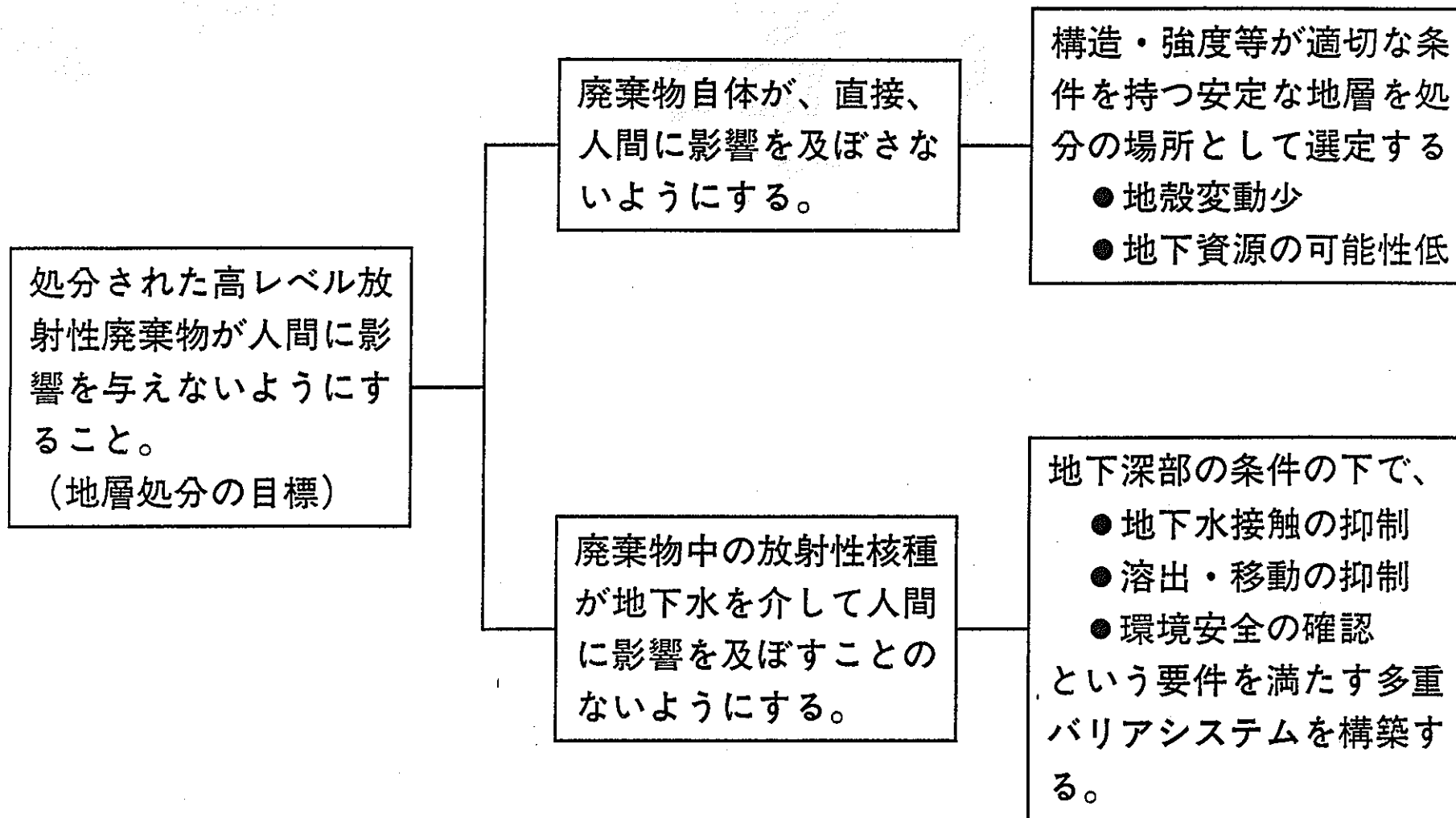
世界のガラス固化体の冷却貯蔵施設(その1)

| 国 | 米 国 | 英 国 | 仏 国 | | 日 本 | | |
|------|---|---|---|---|--|---|---|
| プラント | D.W.P.F (Defense Waste Processing Facility) | V.P.S (Vitrified Product Store) | マルクール ガラス固化 プラント | ラ・アーク ガラス固化 プラント | 動力炉・核燃料 開発事業団の ガラス固化 プラント | 日本原燃サービス (株)の再処理施設 ガラス固化体 貯蔵建屋 | 日本原燃サービ ス(株)の廃棄物 管理施設 |
| 概 要 | 軍用のガラス固 化施設 1991年運転開始 予定 | セラフィールド のガラス固化施 設からのガラス 固化体を貯蔵 1991.2運転開始 予定 | ガラス固化設備 及びガラス固化 体貯蔵設備を有 する(パイロッ トスケール) 稼働中 | 固化設備(R7、 T7)及びガラ ス固化体貯蔵設 備 R7:1969年運 転開始 T7:1992年運 転開始予 定 | ガラス固化体の 一時保管設備 1993年運転開始 予定 | 青森県六ヶ所村 に計画中の再処 理施設から発生 するガラス固化 体を貯蔵 1997年運転開始 予定 | 海外から返還さ れるガラス固化 体を貯蔵 1993年運転開始 予定 |

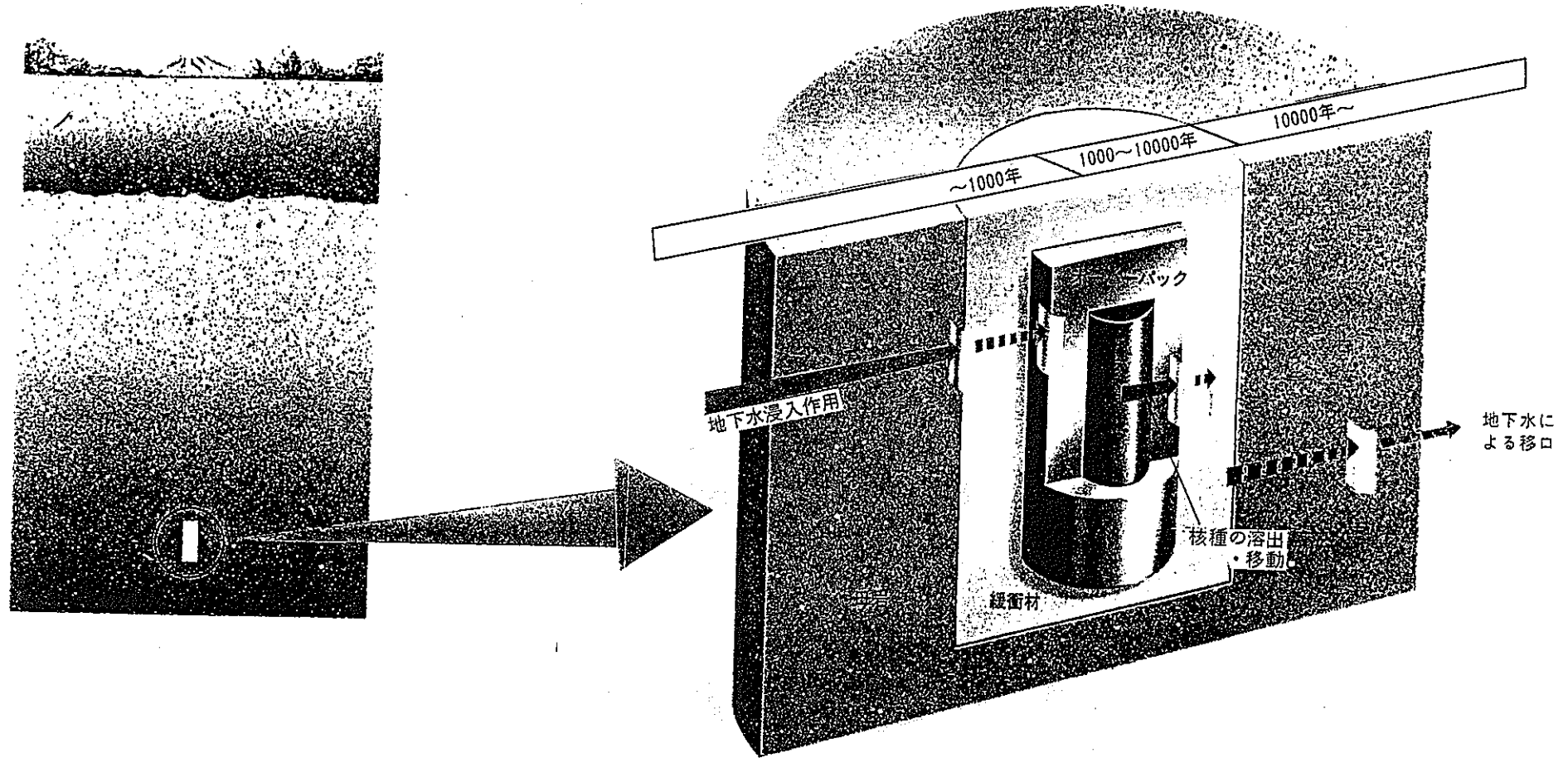
世界のガラス固化体の冷却貯蔵施設(その2)

| 国 | 米 国 | 英 国 | 仏 国 | | 日 本 | | | |
|-----------|--------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| ガラス固化体の仕様 | 外径×高さ (mm) | 610×3,000 | 430×1,340 | 500×1,000 | 430×1,340 | 430×1,040 | 430×1,340 | 430×1,340 |
| | 重 量 | 約 2,200kg | 約 490kg | 約 500kg | 約 490kg | 約 400kg | 約 500kg | 約 490kg |
| | 発 熱 量 | 約0.47kW/本 | 約2.5kW/本 | 0.6~0.8kW/本 | 約3.5kW/本 | 1.4kW/本 | 約2.3kW/本 | 平均 2.0kW/本 最大 2.5kW/本 |
| 貯 蔵 容 量 | 2,300本 | 8,000本 | 2,200本 | 4,500本(R7.T7共) | 420本 | 2,880本 | 1,440本 | |
| 冷 却 方 式 | 直接自然空冷 | 間接自然空冷 | 直接強制空冷 | 直接強制空冷 | 直接自然空冷 | 間接自然空冷 | 間接自然空冷 | |
| 貯 蔵 方 式 | ピット方式 | ピット方式 | ピット方式 | ピット方式 | ピット方式 | ピット方式 | ピット方式 | |
| 積 段 数 | | 10段 | 10段 | 9 段 | 6 段 | 9 段 | 9 段 | |
| 搬 送 方 法 | しゃへい容器を用いた床面走行 クレーン方式 | しゃへい容器を用いた天井クレーン方式 | しゃへい容器を用いた天井クレーン方式 | しゃへい容器を用いた天井クレーン方式 | 天井クレーン方式 | しゃへい容器を用いた床面走行 クレーン方式 | しゃへい容器を用いた床面走行 クレーン方式 | |

地層処分の基本概念



地層処分の安全確保の仕組み(多重バリアシステム)



多重バリアシステムの構成

安全確保の要件

多重バリアシステムを構成する各バリアに期待する性能

安全確保上の位置づけ

地下水浸入作用の防止・抑制

緩衝材の低透水性

オーバーパックスの長期健全性

全ての核種を固化体中に閉じ込めることにより初期の高い放射能を確実に減衰させる

核種の溶出・移動の抑制

固化体の低溶解性

緩衝材の吸着性

長寿命核種を確実にニアフィールド中にとどめる

環境安全の確認

地質環境の吸着性

地質環境の分散希釈性

地表に到る核種の濃度が十分小さく、人間に影響を及ぼさないことが、更に確かなものとなる

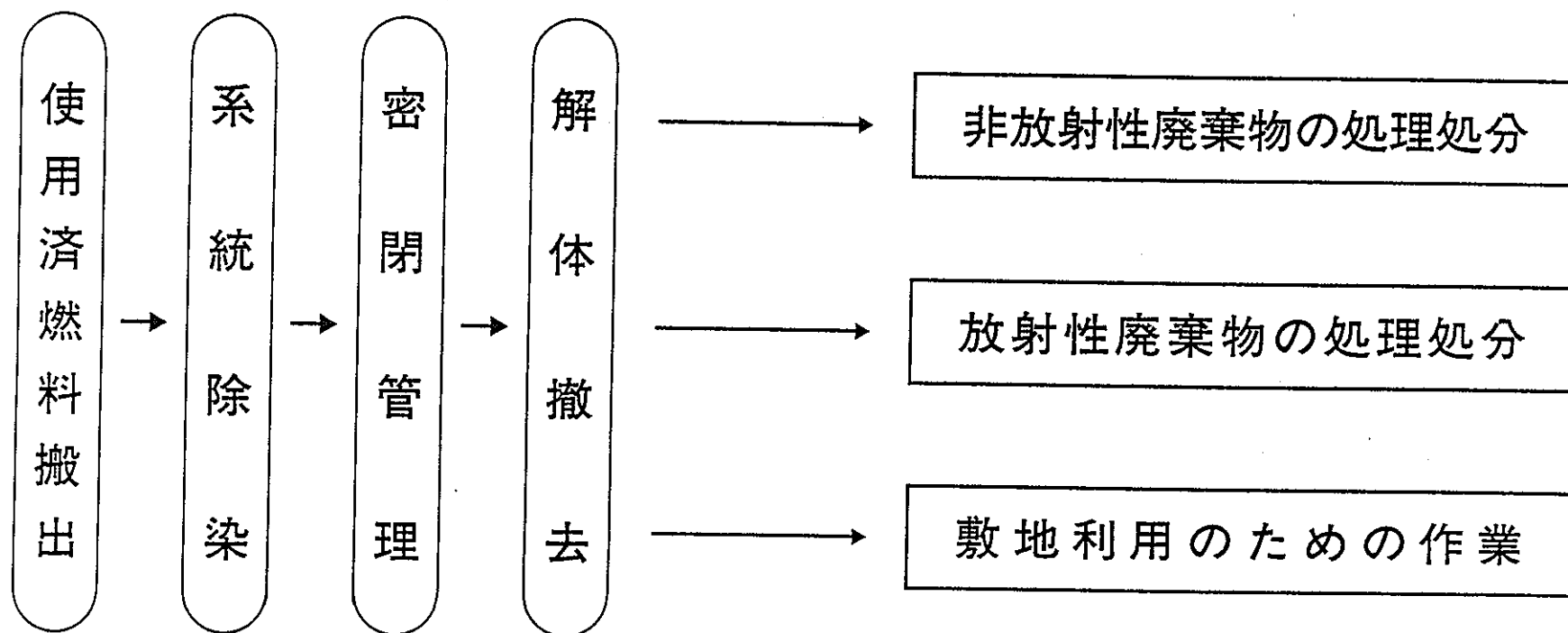
海外主要諸国の地層処分計画

| 項目 | 米 国 | カナダ | フランス | ドイツ | ベルギー | スイス | スウェーデン |
|---------------------------|---|---|--|--|--|--|---|
| 実施機関 〔主たる研究〕 〔開発機関〕 | DOE (OCRWM) | AECL (WNRE) | ANDRA | BfS | ONDRAF (CEN) | 未 定 (NAGRA) | SKB |
| 候補地層 | 凝灰岩 | 花崗岩 | 岩塩、花崗岩 粘土層、片岩 | 岩 塩 | 粘土層 | 花崗岩 粘土層 | 花崗岩 |
| スケジュール | 2010年 第一処分場操業 開始 | 1991～1993年に 処分概念につい て公聴会実施 その後、サイト 選定開始 | 1987年 4 サイト候補地 決定 1990～1991年 計画見直し 2010年 処分場操業開始 | 1991年 ゴアレーベン安 全評価書作成 2008年 処分場操業開始 | 2030年頃 処分場操業開始 | 2010年までに処 分サイト決定 2020年以後に処 分場操業開始 | 1990年までにサ イト選定 2020年までに処 分場操業開始 |
| 処分深度 | 350m | 500～1,000m | 500～1,000m | 660～900m | 220m | 約1,200m (花崗岩) 850m(堆積岩) | 約500m |
| 廃棄物形態 | 使用済燃料 | 使用済燃料 | ガラス固化体 | ガラス固化体 使用済燃料 | ガラス固化体 | ガラス固化体 | 使用済燃料 |
| 中間貯蔵期間 | 10年 | 20～50年 | 30年 | 数10年 | 30又は50年 | 40年 | 40年 |
| 線量目標 | リスク目標 1万年間のがん 死 10^{-3} 以下 1000年まで 0.25mSv/y | リスク目標 $10^{-6}/\text{y}$ (1万年で評価) | 1mSv/y 〔低中レベル〕 〔廃棄物のみ〕 〔規定〕 | 0.3mSv/y 〔1万年間に〕 〔ついて評価〕 | 未 定 SAFIRでの リスク $10^{-6}/\text{y}$ | 0.1mSv/y | 最適化線量 0.1mSv/y 線量限度 1mSv/y |

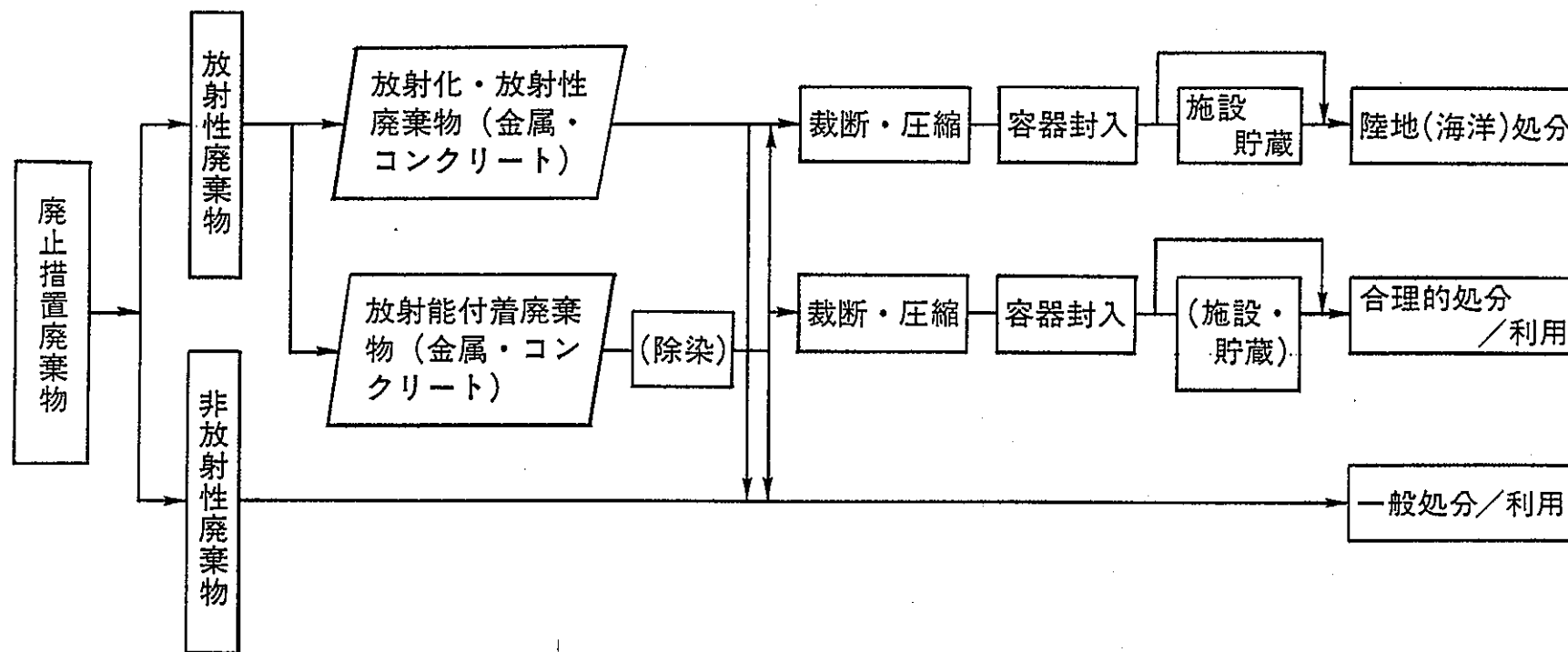
国際共同研究の状況

| 国名 | OECD/NEA | OECD/NEA | ベルギー | カナダ | スイス | スウェーデン | |
|---------|------------------------|---|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------|---|
| プロジェクト名 | ストリパプロジェクト (スウェーデン) | 国際アリゲーターリバー アナログプロジェクト (オーストラリア) | | | | HRL地下研究計画 | |
| 研究内容 | 参加機関 | 動燃、SKB、 USDOE、UK DOE、TVO、 AECL、NAG RA | 動燃、原研、AN STO、UKDO E、USNRC他 | 動燃、CEN/S CK (モル原子力 研究センター) | 動燃、AECL (カナダ原子力公 社) | 動燃、NAGRA | 動燃、電中研、 SKB |
| | 使用施設 または 研究対象 | ストリパ 地下研究施設 | アリゲーターリバー ウラン鉱床 | モル地下研究施設 | WNRE (ホワイトシエル) (原子力研究所) | グリムゼル 地下研究施設 | HRL 地下研究施設 |
| | 対象地層 | 花崗岩 | | ブーム粘土層 (Boom Clay) | 花崗岩 | 花崗岩 | 花崗岩 |
| | 研究題目 | 第3フェーズ ('86~'91) サイト調査技術の 開発と確認、地下 水流路の密封試験 | 天然バリアのナチ ュラルアナログ研 究 | 粘土質環境中での 放射性核種の移行 試験他 | 岩盤の水理調査 技術開発 | 結晶質岩中での放 射性核種の移行試 験等 | 掘削に伴う地質環 境への影響等に関 する調査、評価手 法の確立等 |
| 参加期間 | 1980年~1991年 | 1988年~1990年 | 1987年~1991年 | 1986年~1995年 | 1988年~1993年 | 1990年~1994年 | |

原子炉廃止措置の手順と廃棄物対策

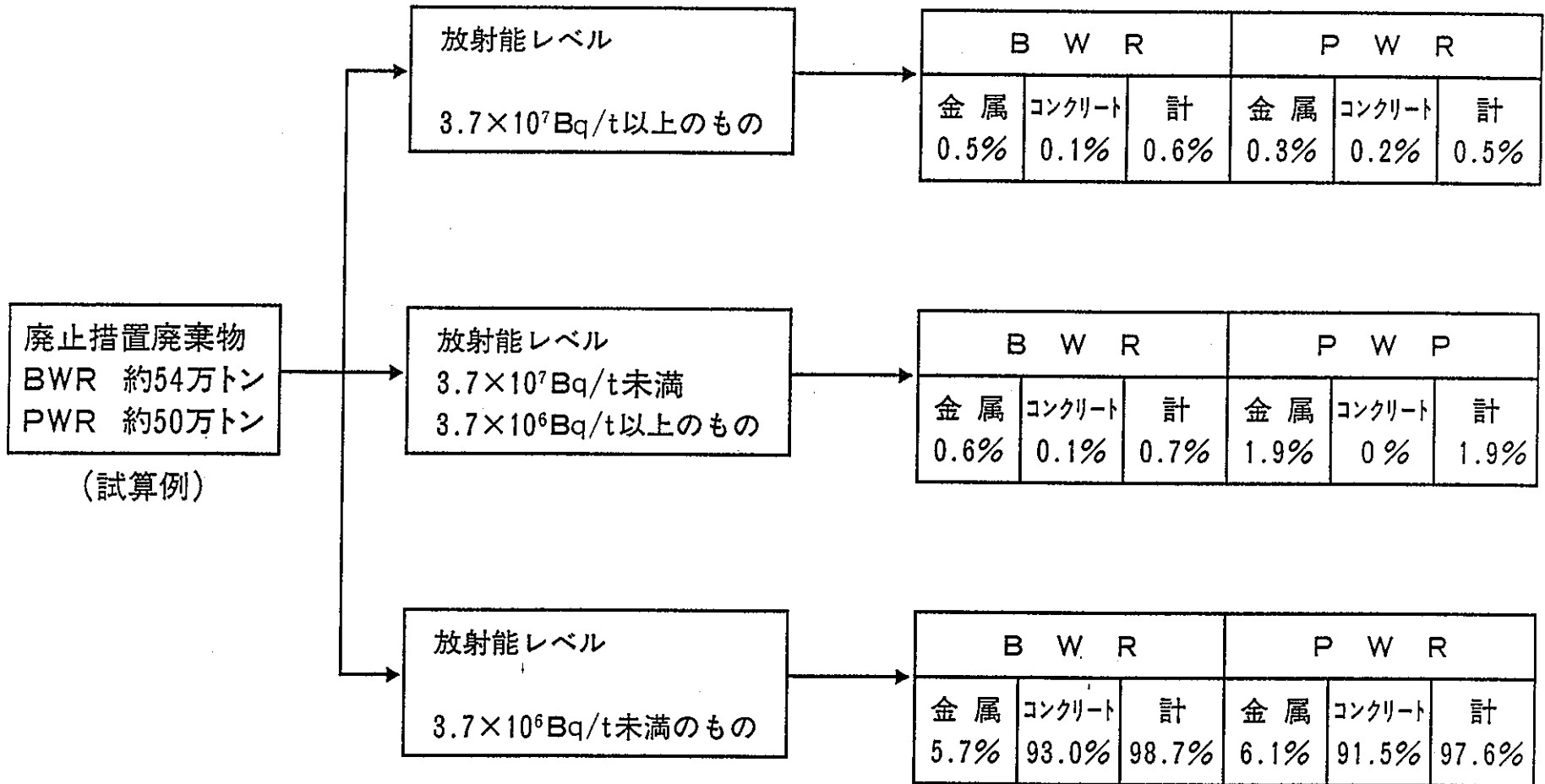


原子炉廃止措置時発生廃棄物処理処分基本フロー

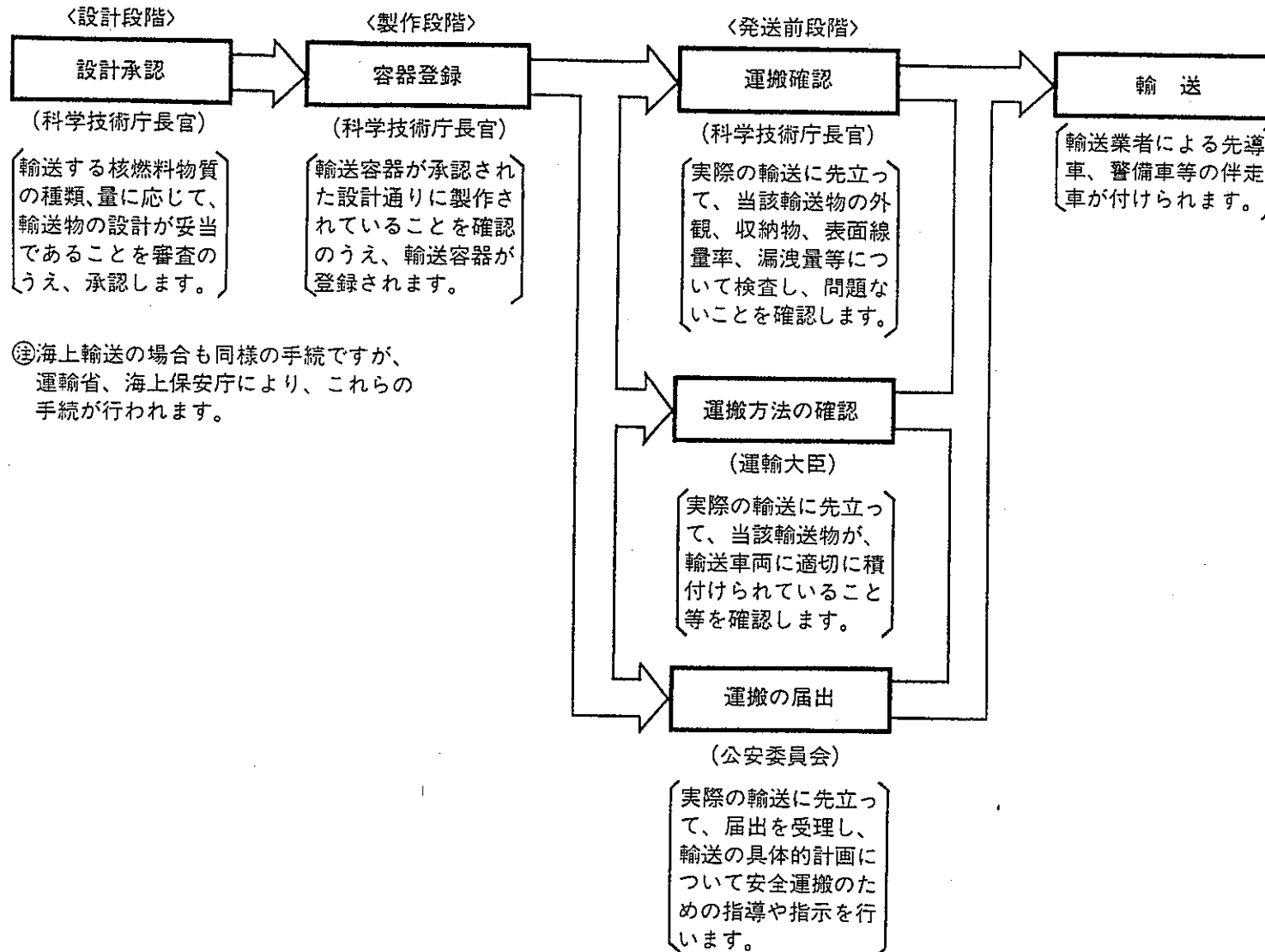


原子炉廃止措置廃棄物試算例

(110万KWeクラス原子炉, 10年密閉管理後解体)



陸上輸送に係る国の手続き



IV. おわりに

本報告内容は、字数の制約等も受けて、分り難い点や、なお、説明を要する箇所も多々あるものと考えられる。今後も繰り返して使用されていく予定であることを考えると、内容の経時的変化を適宜追加し、又必要な修正を加えていくことは勿論のこと、講座を受講した原子力関係自治体職員からの反応や、内容に対する評価等を適正にテキストに取り入れていく必要がある。即ち、テキストへの具体的ニーズをさらに汲み取っていくと同時に、これらにきめ細く応えていくことが、テキスト表現をより全般的で身近かな内容へと収束させ、講座の本旨を達成する上で重要な意味をもつものと考えられる。