

低レベル放射性廃棄物の処分（その3）： セーフティケース

清水 智史



日本原燃株式会社

目次

1. セーフティケース
2. 安全確保の考え方
3. 諸外国状況
4. 今後の課題

1. セーフティケース

セーフティケースの定義

- IAEA SSR-5「放射性廃棄物の処分」
 - 埋設施設の安全性を立証するための論拠及び証拠の集合
- IAEA SSG-23「セーフティケースと安全評価」
 - 埋設施設の安全性を裏付ける科学的、技術的、経営管理的な論拠及び証拠の集合
 - 立地、設計、建設、操業の適合性、放射線リスクの評価、埋設施設に関するすべての安全作業の妥当性と品質保証を対象
 - 安全評価がセーフティケースの重要な構成要素であり、不可欠な部分

セーフティ（安全）とは

- 安全

- 安らかで危険が無いこと。平穩無事（広辞苑）
- 災害や事故などによって、生命を脅かされたり、損傷・損失を被ったりする恐れがない状態（様子）（新明解国語辞典）



状態を表現。

- Safety

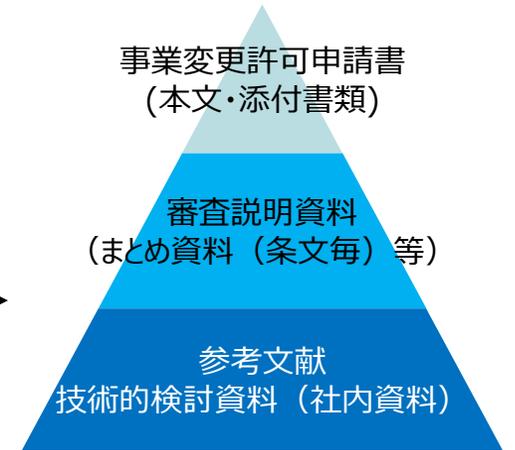
- 許容不可能なリスクがないこと
(ISO/IEC Guide51:2014、JIS Z8015:2015)
- 危険な状態を最小にするか除去することを求め続ける活動
(Those activities that seek either to minimize or to eliminate hazardous conditions that can cause bodily injury.) (ブリタニカ百科事典)



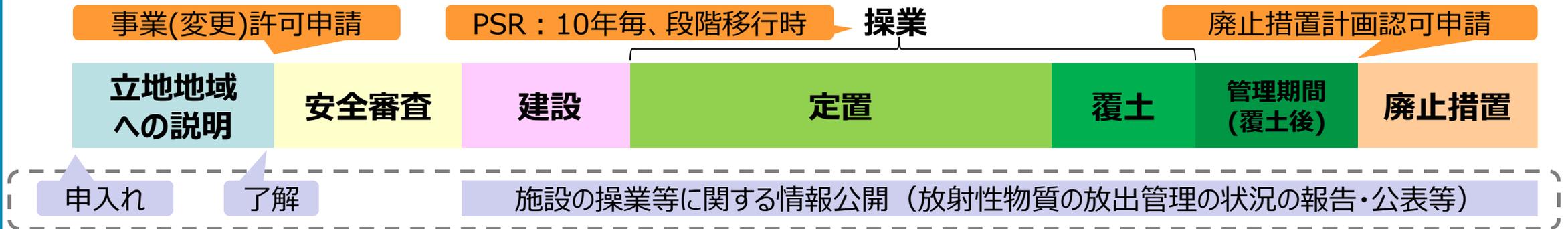
行動を表現。リスクの存在を前提とし、リスクを小さくする「行動」。

事業の進展に応じた安全に関する説明・活動

- 立地地域への説明
 - 新增設に係る説明（施設概要、安全性（長期の安全評価を含む））等
 - 操業等の情報公開（放射性物質の放出管理の状況等）
 - その他広報・理解活動、地域共生活動
- 炉規法等に基づく活動
 - 事業（変更）許可申請：規制基準への適合性審査
 - 定期的な評価（PSR）：10年毎及び覆土・廃止措置時に、放射線の被ばく管理に関する評価を実施（2016年度に初回実施）。
 - 廃止措置実施方針：2018年公表（2021年更新）



安全審査において整備したドキュメント類
日本原燃株式会社廃棄物埋設事業変更許可申請書(令和3年7月21日変更許可)



立地地域との協定に基づく(一例)

※出典：「青森県の原子力行政」

セーフティケースの構成要素

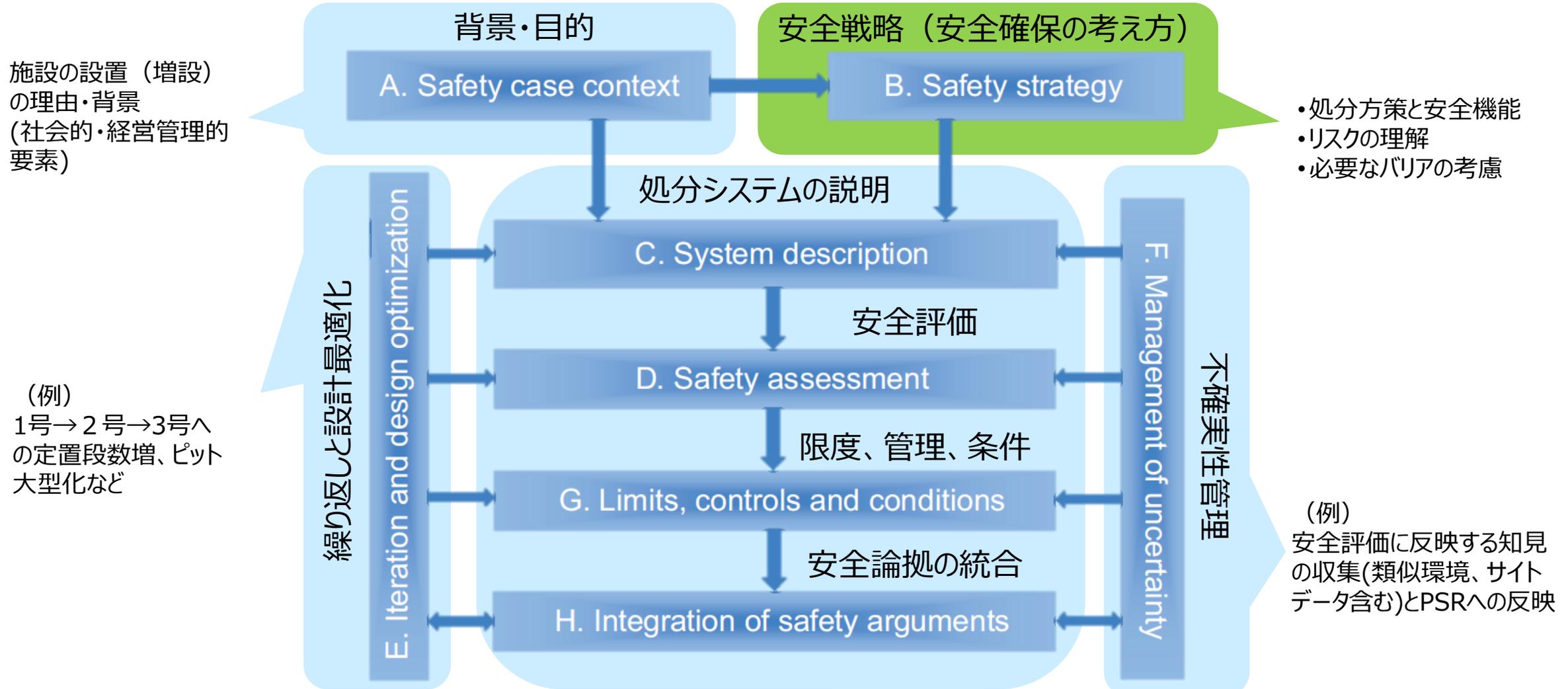


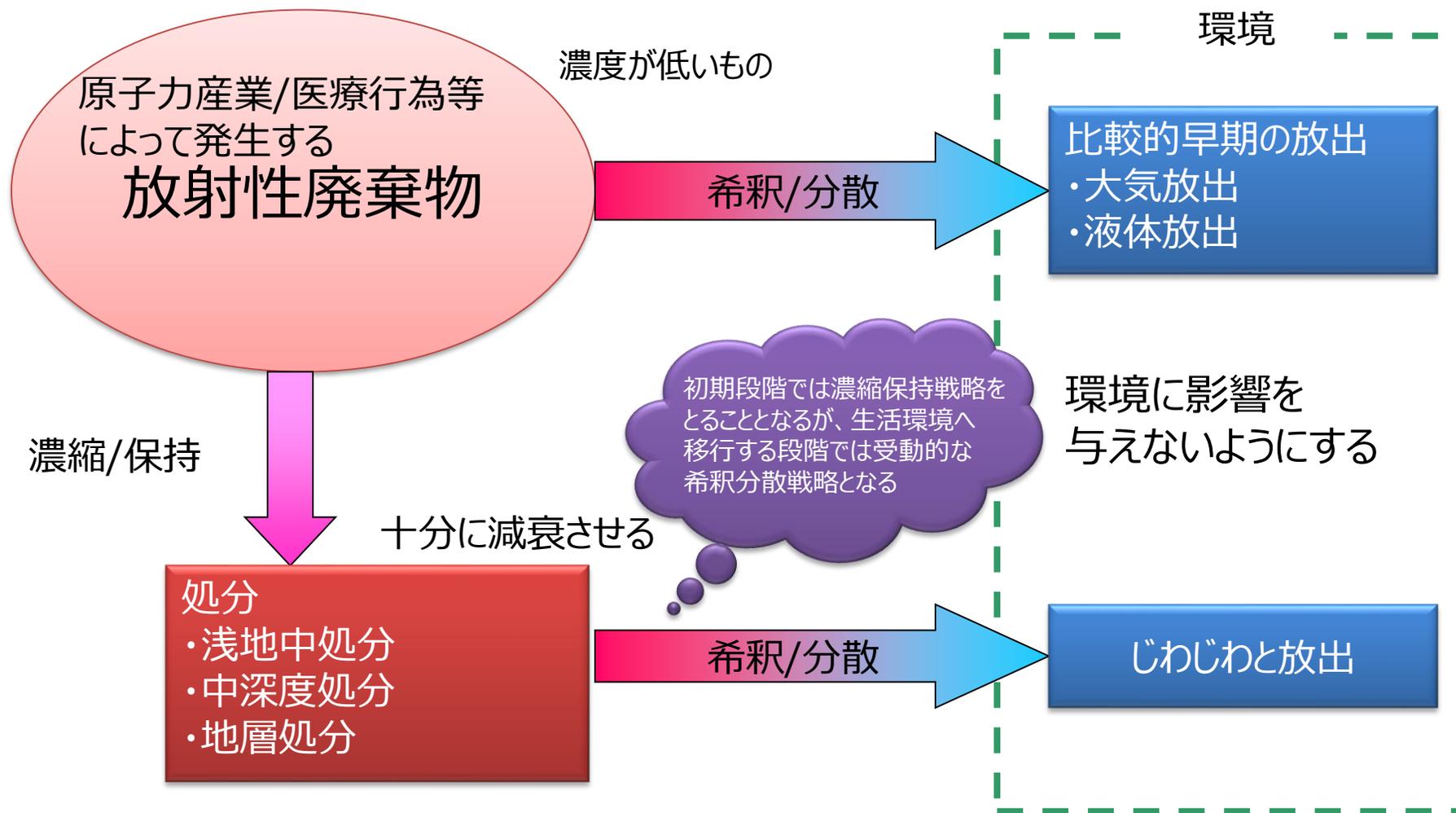
FIG 2. Components of the safety case

2.安全確保の考え方

放射性廃棄物の処分方策

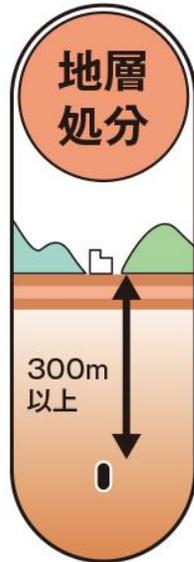


「希釈と分散」、「濃縮と保持」



地中処分の選択

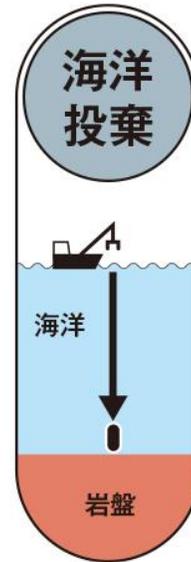
- ・地層中への処分は、地下資源などが長期間保存されてきた多数の実例があり、実現可能性が高い
- ・宇宙空間への処分は、発射技術等の信頼性に問題がある
- ・海の深いところに捨てる海洋投棄は、ロンドン条約により禁止されている
- ・極地の氷床への処分は、南極条約により禁止されている。また、氷床の特性解明が不十分である



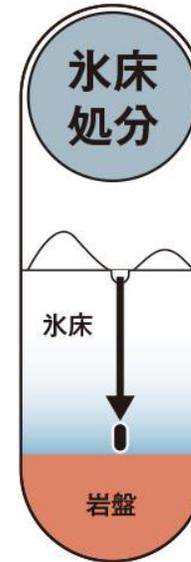
- 地層が本来もっている物質を閉じ込める性質を利用



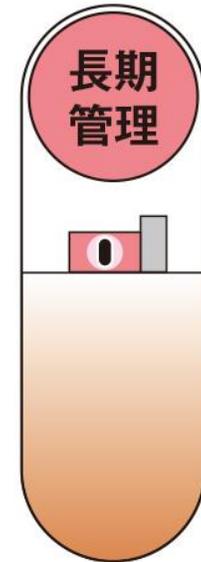
- 発射技術等の信頼性に問題がある



- 海洋投棄を規制しているロンドン条約により禁止



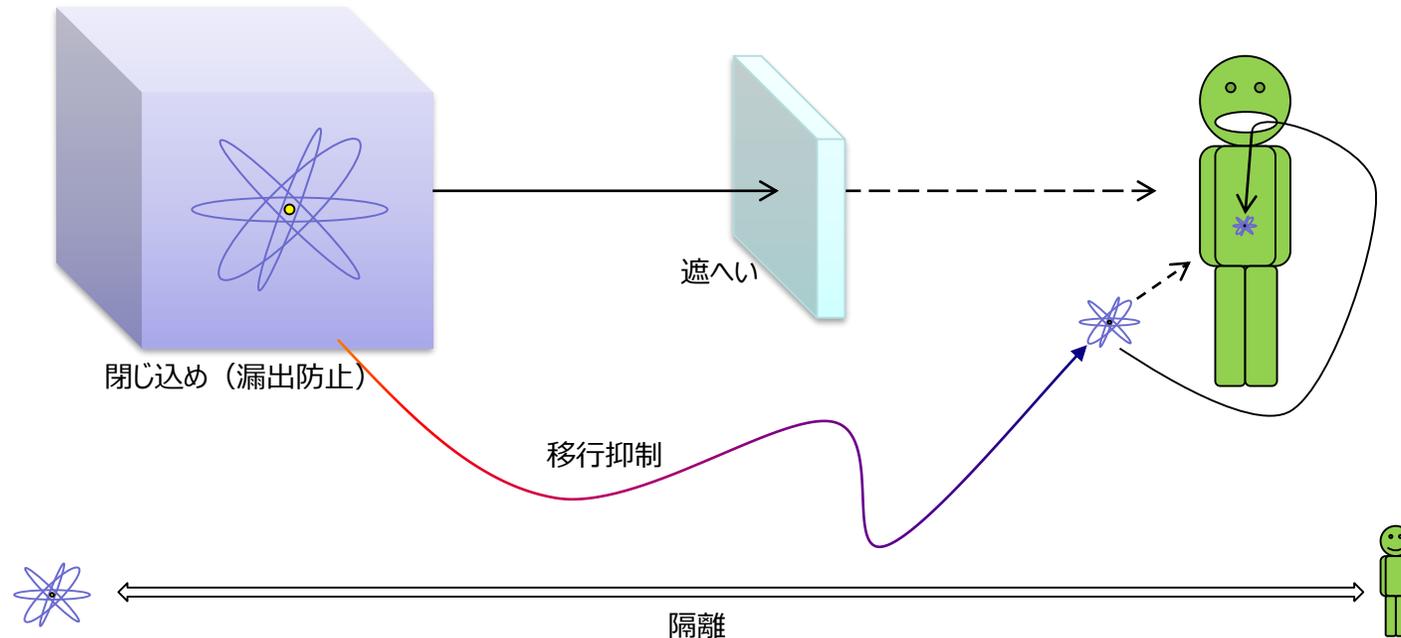
- 南極条約により禁止
- 氷床の特性等の解明が不十分



- 人間による恒久的な管理は困難
- 将来の世代にまで監視の負担を負わせる

廃棄物処分で考慮する安全機能

- 被ばく：放射性物質から放出された放射線が人に到達することで生じる
- 放射線からの防護の方法（自然過程・人間侵入）
 - 放射線を防ぐ（遮へい）
 - 放射性物質の移動を防ぐ（閉じ込め）
 - 放射性物質の移動を抑える（移行抑制）
 - 放射性物質と人を遠ざける（隔離）



廃棄物（放射線源）と人の位置関係が明確な状況ならば、防護の対策はとりやすい。

その位置関係が曖昧もしくは不明となる可能性のある将来においては、人は能動的に防護の手段を講ずることができない。

将来の人が廃棄物の存在を知らずとも受動的に防護が達成されるよう、廃棄物を処分する時点で、利用可能な最善の技術を適用し、合理的に達成できる限り低く被ばく線量を低減する。

(参考)IAEA個別安全要件(SSR-5)に基づく 安全のための設計概念



概念	内容
閉じ込め (Containment)	「放射性廃棄物の閉じ込めは、放射性核種の放出を防ぐため、または最低限にするための処分施設の設計を意味する・・・閉じ込めは、廃棄物形態とパッケージングの特性と、その他の処分システムの工学的構成要素および立地環境と地層の特性によって備えられてもよい。」(IAEA SSR-5/3.39項)
隔離 (Isolation)	「隔離は、接近可能な生物圏から廃棄物とそれに伴う危険性を遠ざけておくように設計することを意味する。それはまた、処分施設の完全性を低減しうる因子の影響を最小化するように設計することを意味している。高い透水係数を持つサイトや場所は、避けられなければならない。廃棄物への接近は、例えば、浅地中処分施設に対して、制度的管理の違反無しに達することが困難なようにしなければならない。隔離はまた、処分施設からの移動を遅らせるため、放射性核種の極めて遅い移動をもたらすことを意味する。」(IAEA SSR-5/3.44項)

安全のための設計概念：要件7：多重安全機能，要件8：放射性廃棄物の閉じ込め，要件9：放射性廃棄物の隔離，要件10：受動的な安全特質のサーベイランスと管理

出典：

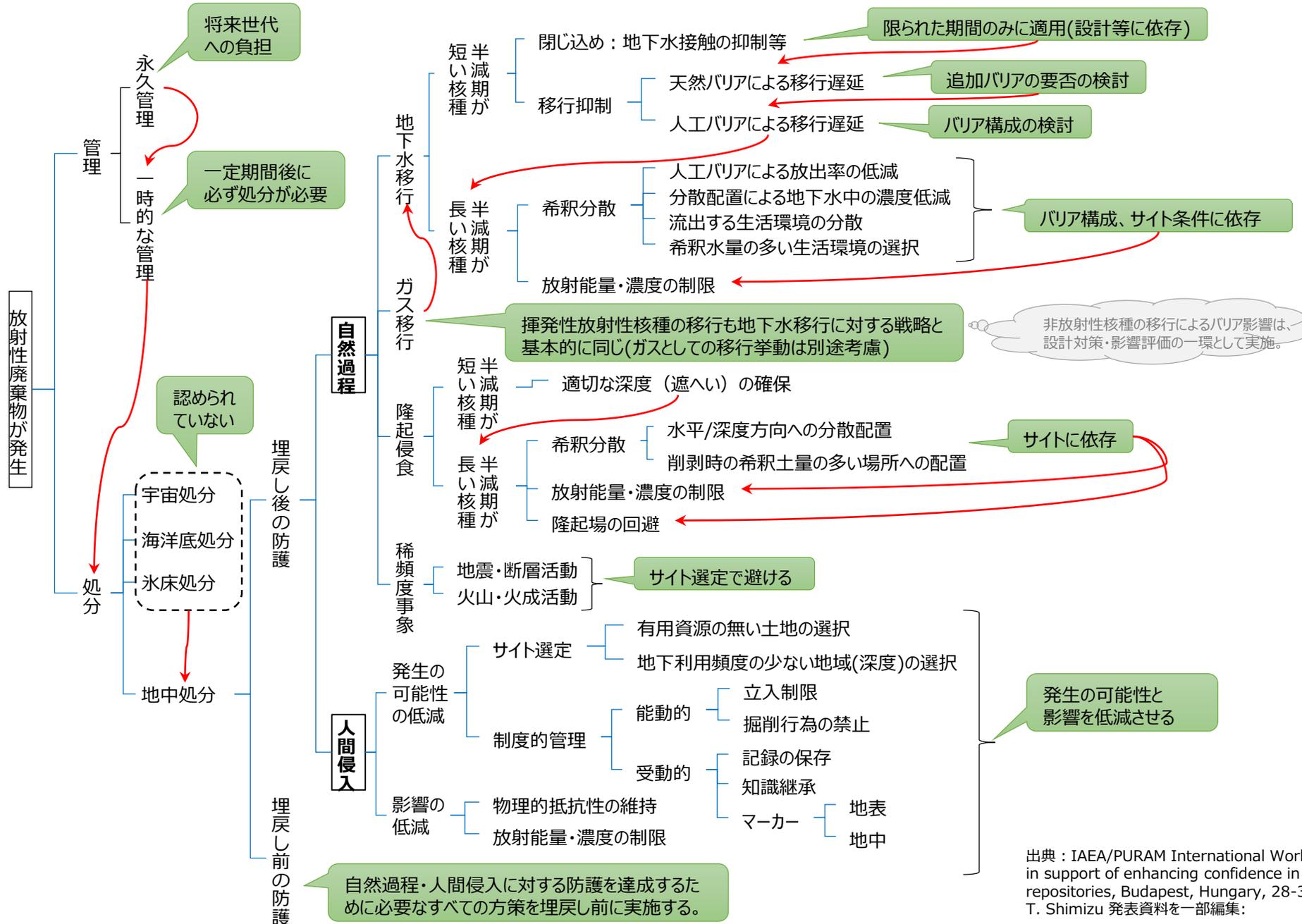
IAEA SSR-5, Disposal of Radioactive Waste (2011)

http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1449_web.pdf

IAEA安全基準，放射性廃棄物の処分，個別安全要件 SSR-5，日本語翻訳版，2012年7月，公益財団法人 原子力安全研究協会，

http://www.nsr.a.or.jp/rwdsr/iaea/NSRA_SSR-5.pdf

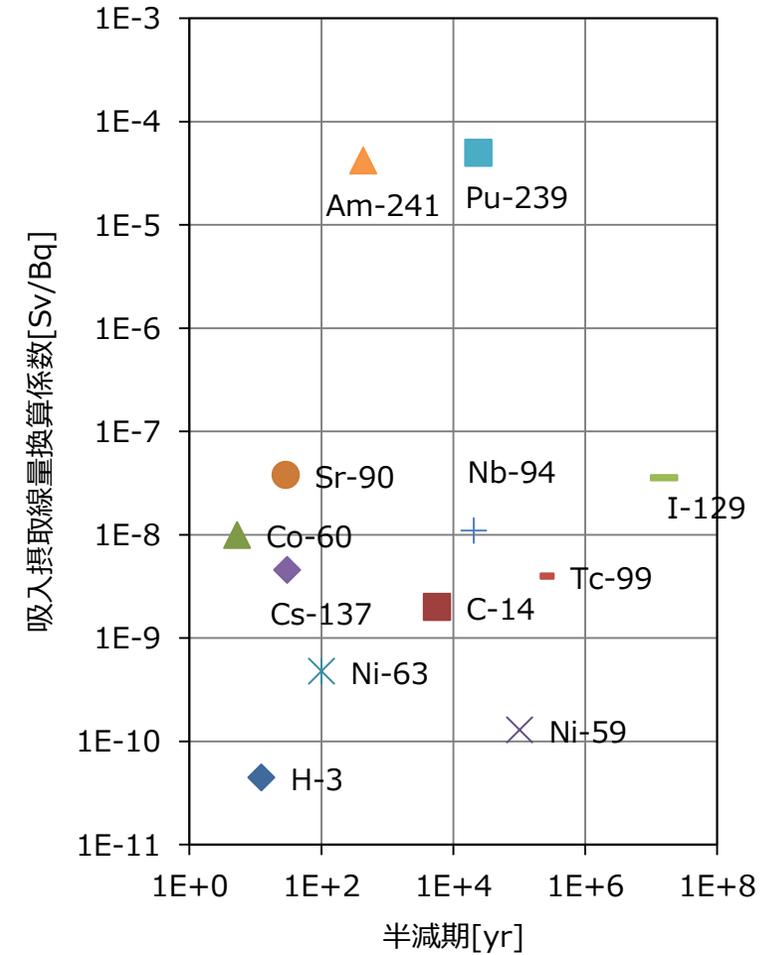
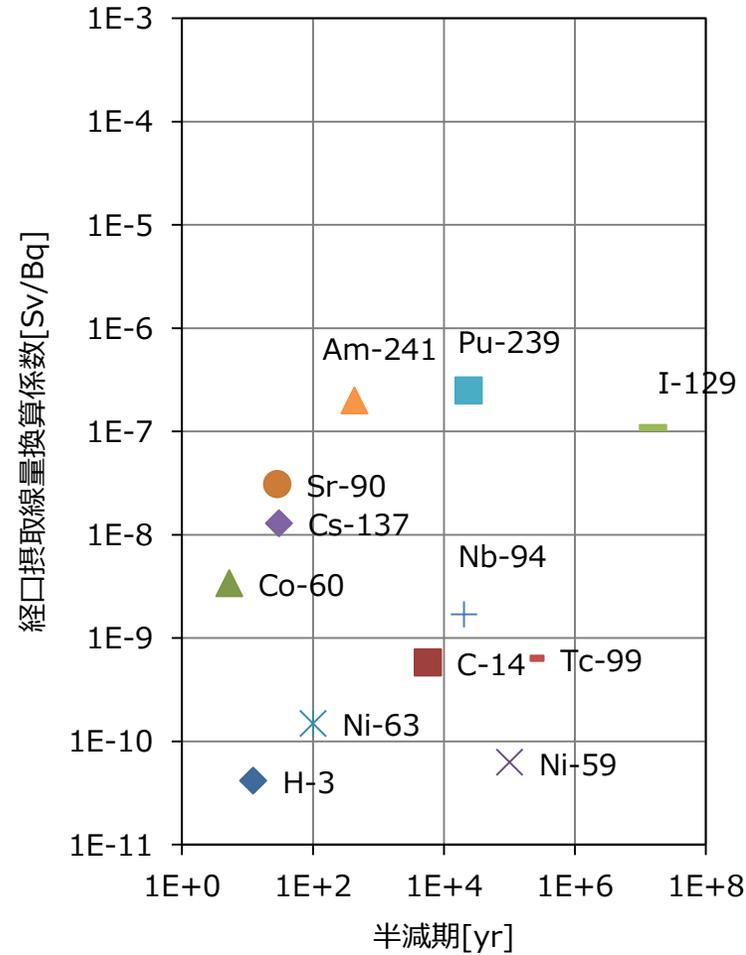
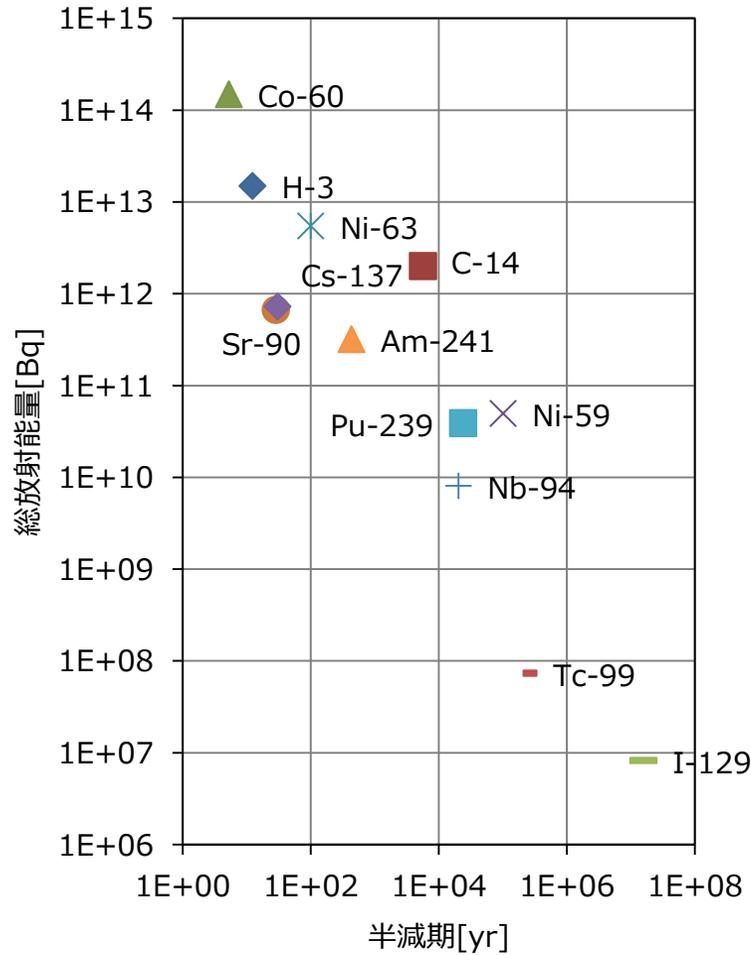
安全確保の考え方の例



放射線源が何を媒介して移行するかに分解して安全確保を図る。

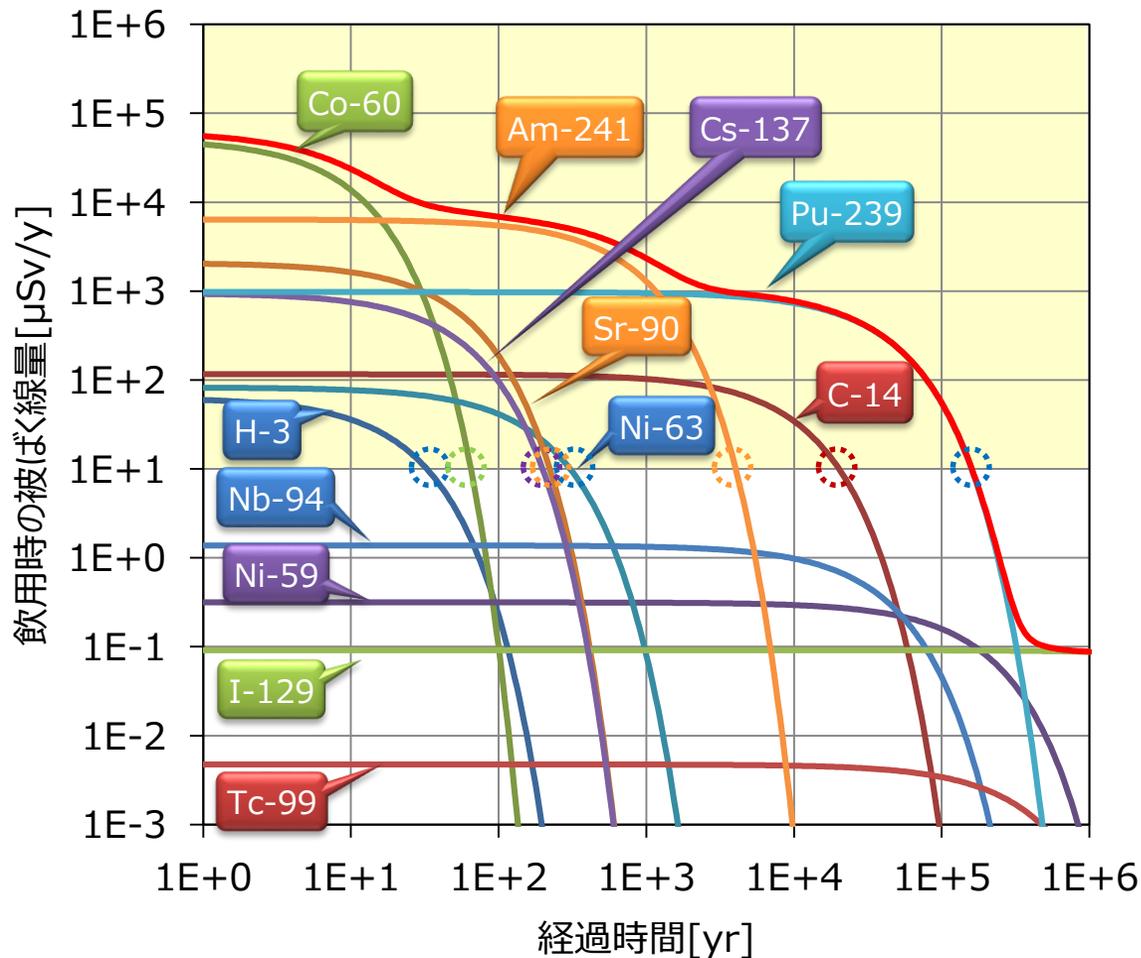
まず、地下水移行など発生の可能性が高い事象に対して設計を行い、他の事象（シナリオ）に対する安全性が確保されるように必要な対策を考慮していく。

リスクの理解



※六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センターにおける申請総放射エネルギー（3号）

リスクの理解（対策せず環境へ放出した極端な例）

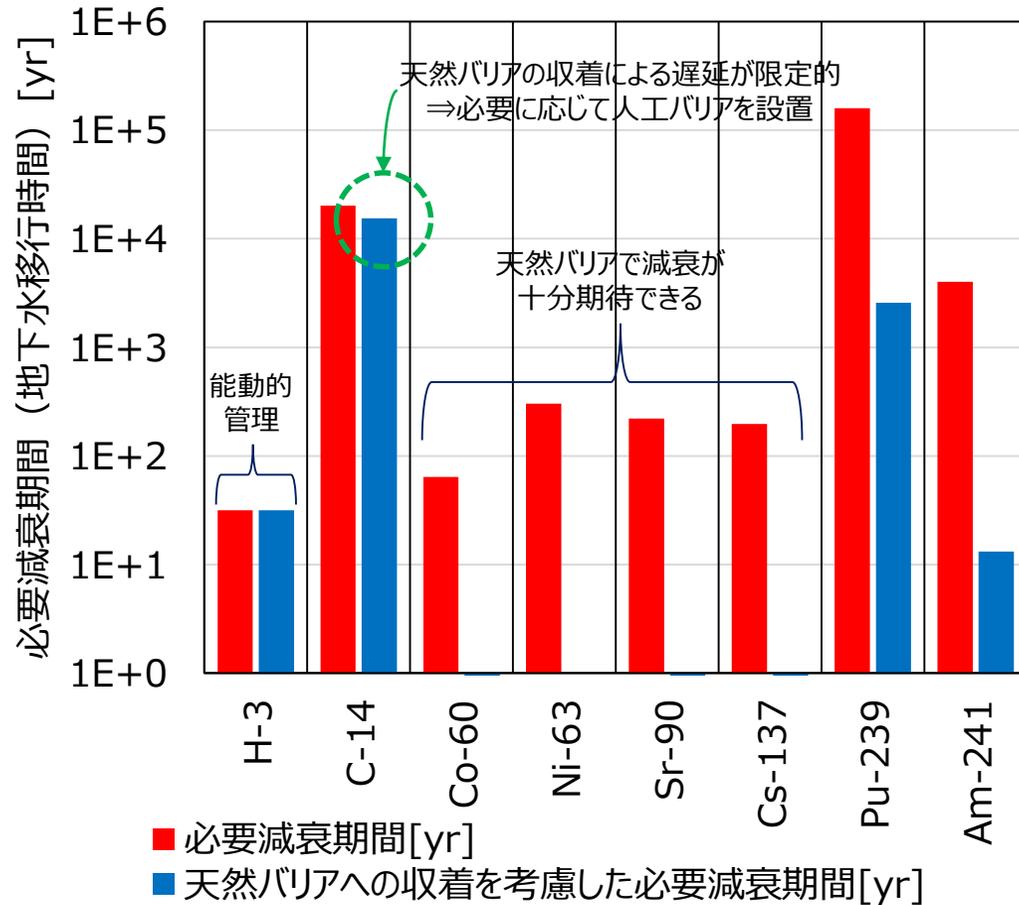


- 何の対策もせず、ある水源に放射性物質（廃棄物）を放出し、飲用したと仮定すると、高い線量寄与となる。
- 10μSv/y以下にするには、長期間の核種の減衰が必要。
- 例えば地下水移行時間だけで減衰期間を確保することができるかは、サイトに依存。

- 仮想的な水源(1000万m³)に前頁の放射エネルギーが分散した場合で、水の出入りがないと仮定。
- 年間1m³を摂取すると仮定。
- 前頁の放射能とその減衰、経口摂取線量換算係数を踏まえ、年間線量を計算。

必要なバリアの考慮

天然バリアへの収着を考慮した場合の必要減衰期間※



天然バリアへの核種の収着を考慮することで、地下水の移行時間に対して分配係数（遅延係数）に応じた遅延 = 核種の減衰を期待できる。

- 天然バリアのみでは十分でない場合、追加のバリア（=人工バリア）により核種の放出を減らす必要がある。
- 放出率（=年間当たりの核種の放出割合）ができるだけ小さくなるような施設を設計し、安全を確保する。

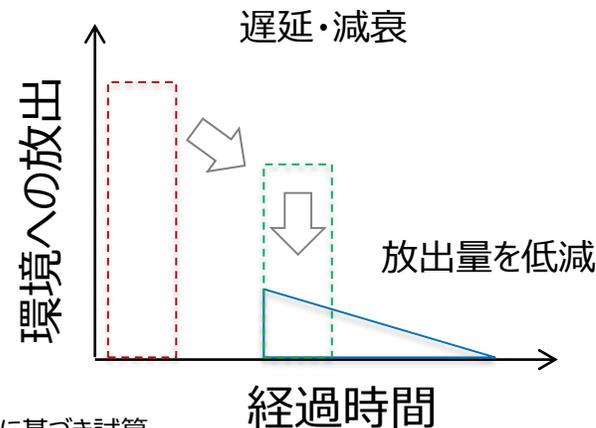
$$\eta(i) = \frac{Q}{\varepsilon R_f(i) \cdot V}$$

低透水性

収着性(核種ごとに異なる)

$$\left(R_f(i) = 1 + \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} \cdot \rho \cdot Kd(i) \right)$$

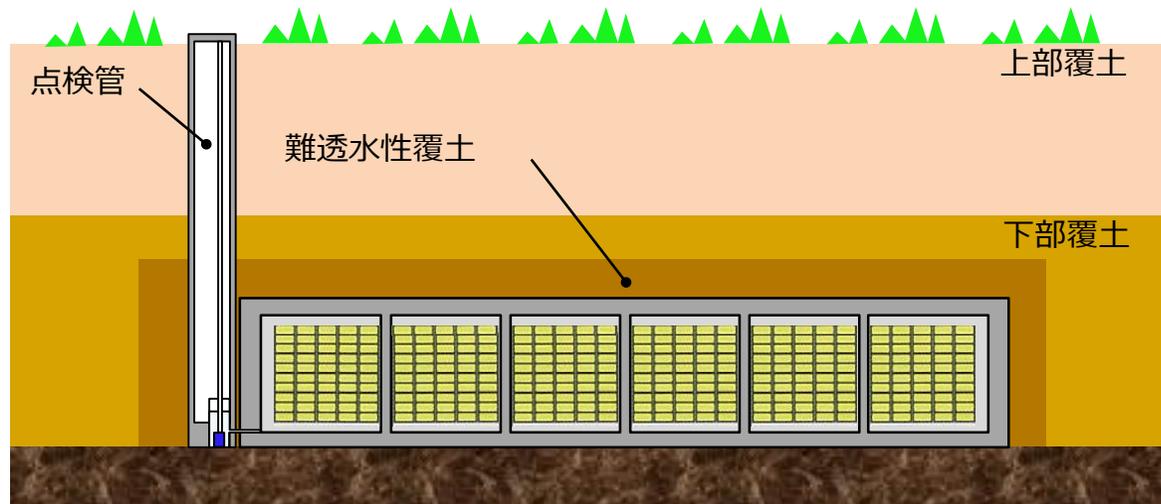
$\eta(i)$: 核種*i*の放出率[1/y]
 Q : 施設浸入水量(通過流量)[m³/y]
 V : 施設体積[m³],
 ε : 間隙率[-]
 ρ : 材料の粒子密度[kg/m³]
 Kd : 材料の分配係数[m³/kg]



※日本原燃株式会社廃棄物埋設事業変更許可申請書(令和3年7月21日変更許可)の岩盤の遅延係数に基づき試算。

(参考) 埋設設備の概要

3号埋設設備



覆土仕様

上部覆土

- ・現地発生土等（必要に応じ砕石）
- ・下部覆土上面から現造成面又はそれ以上

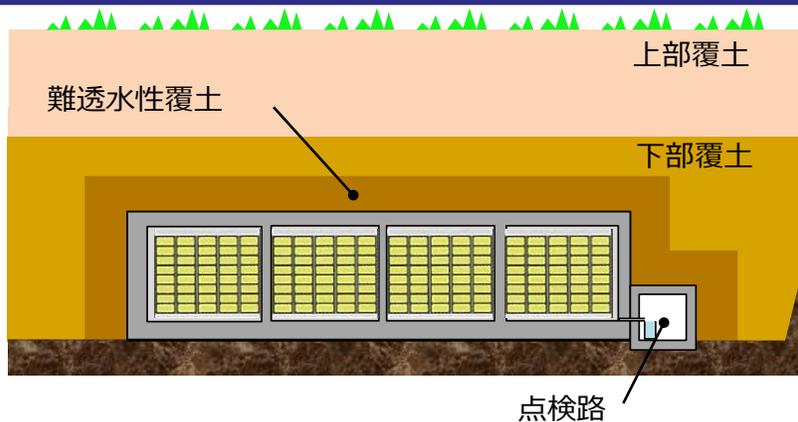
下部覆土

- ・現地発生土等（必要に応じベントナイト、砕石）
- ・難透水性覆土の側部及び上部2m以上

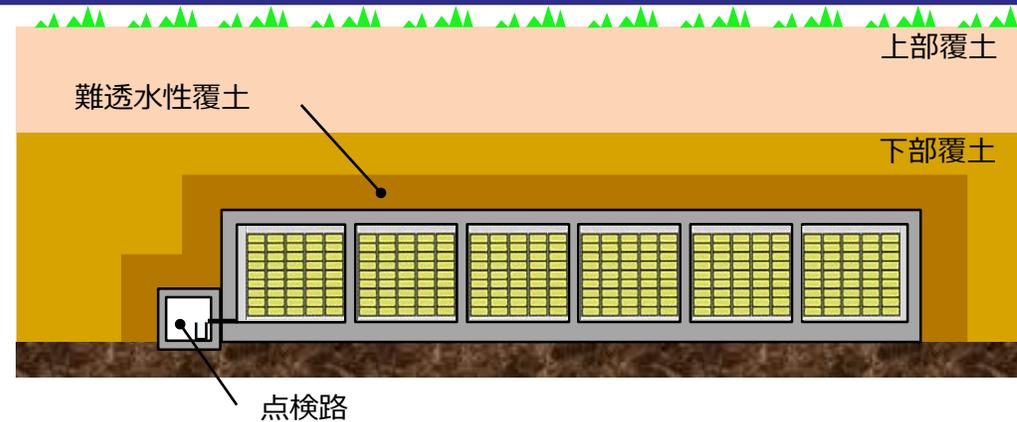
難透水性覆土

- ・ベントナイト混合土
- ・埋設設備外周部2m以上

1号埋設設備



2号埋設設備



設計最適化の例：埋設設備寸法

定置段数増・ピット大型化により、埋設設備の投影面積を低減⇒施設を通過する水の低減、スカイライン線量の低減に寄与。

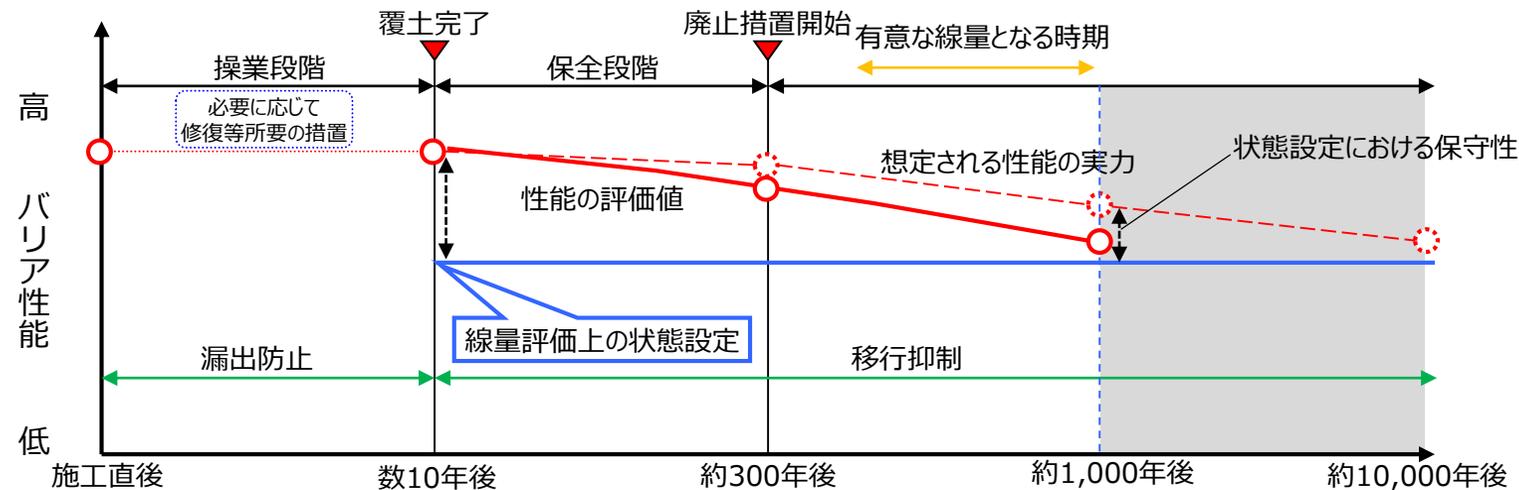


	1号埋設設備	2号埋設設備	3号埋設設備
概要図	<p>平面図</p> <p>A-A断面図</p>	<p>平面図</p> <p>A-A断面図</p>	<p>平面図</p> <p>A-A断面図</p>
主な仕様	<ul style="list-style-type: none"> ・8群 ・5基/群 (1基:約24m(奥行き)×24m(幅)×約6m(高さ)) ・16区画/基 ・廃棄体：320本/区画 ・区画内の廃棄体配置：8段5列8行 ・設置位置：標高約 26m～32m 	<ul style="list-style-type: none"> ・8群 ・2基/群 (1基:約37m(奥行き)×36m(幅)×約7m(高さ)) ・36区画/基 ・廃棄体：360本/区画 ・区画内の廃棄体配置：9段5列8行 ・設置位置：標高約 31m～36m 	<ul style="list-style-type: none"> ・8基 (1基:約37m(奥行き)×約64m(幅)×約7m(高さ)) ・66区画/基 ・廃棄体：400本/区画 ・区画内の廃棄体配置：10段5列8行 ・設置位置：標高約 20m～25m

(参考) 評価対象期間と状態設定

- 線量評価の対象とする期間は、評価する線量の最大値が出現する時期を含む期間とし、10,000年程度までを目安。
(半減期の長い放射性物質の放射エネルギー及び放射能濃度が十分に小さいことを考慮)
- 状態設定を行う将来の期間は、廃止措置の開始までに十分に減衰しない放射性物質の影響が、比較的有意に生じると想定される時期を含む期間である1,000年とする。
(主要な放射性物質の半減期、放射エネルギー及び放射能濃度を踏まえ、岩盤中の移行時間^{*1}を考慮)
- 廃棄物埋設地及びその周辺の状態変化は緩慢であり、1,000年以降は同じ状態が継続するものと設定する。
(1,000年から10,000年の期間において、侵食等の自然事象によって廃棄物埋設地に著しい状態変化が生じることは想定されず、有意な線量影響が生じる可能性が低い)
- 線量評価においては、廃棄物埋設地の各バリアの機能の状態が保守的となるよう、覆土完了時点から1,000年後の状態であるものとして設定する。

*1：岩盤の収着性を期待できない放射性物質の場合、岩盤中の移行時間は数100年程度となる



線量評価におけるバリア性能の経時変化の概念図

出典：3号廃棄物埋設施設の増設等の事業変更許可について
(2021年8月26日第37回バック
エンド夏期セミナー)

3. 諸外国状況

DISPONET 2021の状況からLLWを中心に。

- DISPONET(IAEA International Low Level Waste Disposal Network)は低レベル廃棄物等の処分に関する知識・情報・経験を共有する場としてIAEAに設置。
- 2021年6月にWeb形式で実施。27か国43名が参加。15か国の状況が紹介された。この一部を抜粋して紹介する。

DISPONET

<https://nucleus.iaea.org/sites/connect/DISPONETpublic/Pages/default.aspx>

諸外国状況

● オーストラリア

- 商用発電炉はなく、研究・医療関係廃棄物が発生。
 - キンバ近郊ナパンデー(南オーストラリア州)をサイト選定済。
 - LLW/ILWを対象に、今後100年先までの受入れを視野に施設設計。ILWは中間貯蔵。
- 今後、詳細評価を行った後、規制当局へ申請予定。



出典 : Australian Radioactive Waste Agency
<https://www.industry.gov.au/data-and-publications/video-national-radioactive-waste-management-facility-concept-design>

● ベルギー

- 7基の商用発電炉
- 2013年浅地中処分施設の建設許可申請。
- ドラム缶をコンクリート製容器にモリスとして固型化・処分。
- 2023年の許可、2027年の操業を目指す。



モリス



出典 : ONDRAF/NIRAS
<https://www.ondraf.be/node/563>
<https://www.ondraf.be/le-stockage-en-surface-en-bref>

諸外国状況

● エストニア

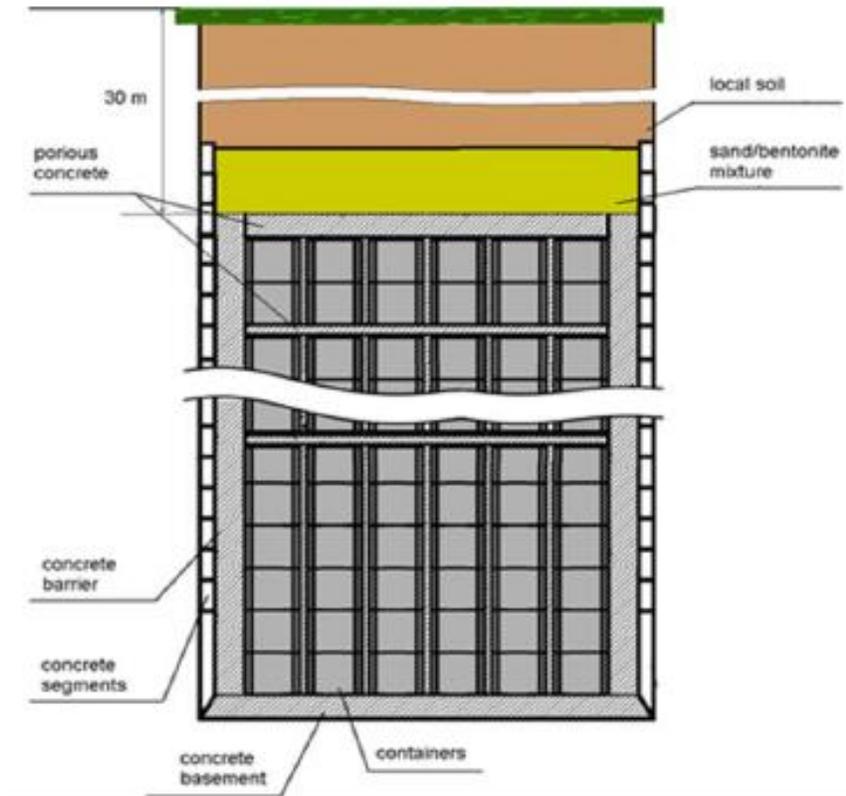
- 旧ソ連時代のパルディスキ原子力施設（原潜訓練施設）の廃止措置廃棄物が主。燃料はロシアに返還済。
- 2019年、処分施設受入れ決定(ハリユ県)
- SL-LLWを浅地中処分施設に、ILWをサイロ型処分施設(地下30-50m程度)に処分することを検討。
- 2040年、操業目標。

● メキシコ

- 2基の商用原子炉が稼働（2030年までに増設を計画）
- 低・中レベル処分場は今後計画。
（これまで旧ウラン鉱床跡地や事故廃棄物（Co-60線源が誤って鉄に溶融、鉄筋に使用）処分場を設置している）

● ブラジル

- アングラ1,2号機及び燃料加工工場からの廃棄物が発生。
- 2026年浅地中処分施設の操業を目標。



出典：エストニア A.L.A.R.A Ltd.
<https://alara.ee/projektid/endise-sojavaeala-paldiski-tuumaobjekti-reaktorisektsioonide-dekomisjoneerimise-ning-radioaktiivsete-jaatmete-loppladustuspaiga-rajamise-eeluuringud-2014-2015/>

諸外国状況

● スロバキア

- ボフチエ、モホフチエ原発の操業・解体により発生する廃棄物等の処分のため、トレンチ処分、浅地中処分施設がモホフチエにて操業中。
- 長期的な健全性の維持を目的に、浅地中処分には繊維補強コンクリート製コンテナを採用。



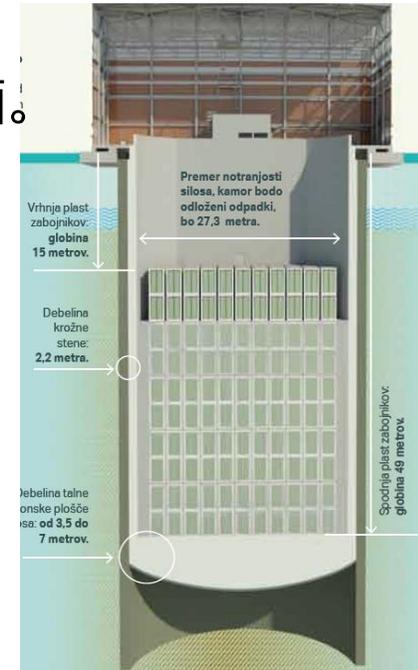
出典：スロバキア JAVYS
<https://www.javys.sk/en/information-service/photo-gallery/raw-management?p=30>

● スロベニア

- クルスコ発電所（1基）近傍にLILW処分場（地下水面下の浅地中サイロ）を計画。
- ドラム缶12本入りで地下水浸入抑制機能のあるコンクリート製コンテナを採用。
- 2019年、建設許可申請

● 南アフリカ

- クバーグ発電所（2基）のほか研究炉、その他原子力施設からの廃棄物が発生。
- 1986年よりファールプッツ処分場が操業（浅地中処分）。
- 今後、発電所から離れた使用済燃料貯蔵施設の設置、密封線源のボアホール処分、LLW圧縮減容施設を計画。



出典：スロベニア ARAO
<https://arao.si/index.php/sl/mediji/publikacije>

4. 今後の課題

- 定期的な評価に向けた継続的な知見蓄積・モニタリング
- 被ばくリスクのさらなる低減とより合理的な処分方法の両立
- 情報処理技術の適用・拡大