

放射性廃棄物の処分について

楠戸 伊緒里

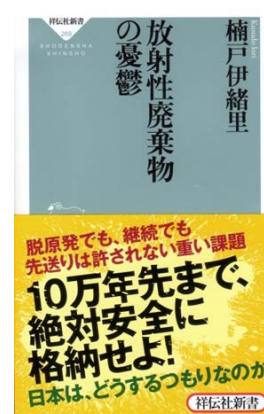
本日の講演内容

<前半「放射性廃棄物の基礎」>

0. 自己紹介
1. 放射性廃棄物とは何か
2. 核燃料サイクルと放射性廃棄物
3. 放射性廃棄物の危険性と処分方法

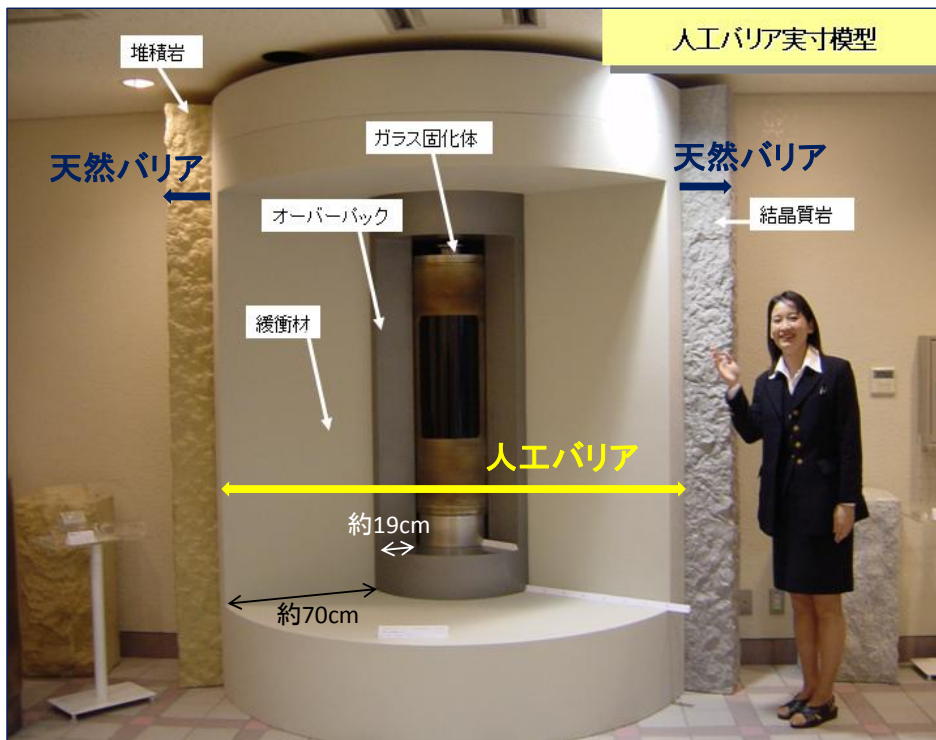
<後半「放射性廃棄物の問題」>

4. 放射性廃棄物問題の現状
5. 「地層処分」対「その他の方法」
6. 地層処分の安全性
7. 将来に期待がかかる技術
8. まとめ
9. 補足資料



0. 自己紹介

高レベル放射性廃棄物を隔離するバリアシステム



人工バリアと天然バリアには、放射能が十分に小さく(自然放射能レベル以下)になるまで、人や生物の活動する範囲から放射性物質を遠ざけるという目的がある。

高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)の大きさ

1. 日本原燃および海外からの返還廃棄物
高さ: 134 cm
直径: 43 cm
重さ: 約 500 kg
2. 原子力機構
高さ: 104 cm
直径: 43 cm
重さ: 約 400 kg

出典: 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TN 8450 2003-005, "地層処分場の概念及び空間スケールの理解促進に資する展示模型", 葛浦信博, 柏崎博, 綿引孝宜, 2003年5月, p.9

1. 放射性廃棄物とは何か

廃棄物の分類と放射性廃棄物

廃棄物の種類	説明
一般廃棄物	産業廃棄物でも放射性廃棄物でもないゴミ。
産業廃棄物	事業活動で発生した放射性廃棄物ではないゴミのうち、燃え殻、汚泥、廃油、廃酸、廃アルカリ、廃プラスチック類などのゴミ。 海外から持ち込まれた放射性廃棄物以外のゴミ。
放射性廃棄物	法令で定められた基準(放射性物質として扱う必要があるかないかを仕分けするクリアランスレベル)を超える放射能を持つゴミ。 3種類の中で最も危険なゴミ。

参考: 廃棄物の処理及び清掃に関する法律(廃棄物処理法、廃掃法)

クリアランスレベルは国によって異なるが、日本のクリアランスレベルは、IAEA(国際原子力機関)の安全指針と同等で、国際的に見て標準的なレベル。
クリアランスレベルは、原子炉等規制法および放射線障害防止法によって規定。

放射能があるからといって、何でもかんでも放射性廃棄物に分類するのは非合理的。

野菜くずはカリウム40を含んでいるが単なる生ゴミ。駅の階段など、建材としてよく使われる花崗岩と同程度の放射能を持つ、放射性物質がほんの少し付着した廃材を特別に危険なものとはみなす必要はない。

原発事故由来の放射性物質で汚染された廃棄物

	説明	法令
災害廃棄物	東北地方太平洋沖地震とこれに伴う原発事故による災害で発生した廃棄物	「東日本大震災により生じた災害廃棄物の処理に関する特別措置法」第二条
対策地域内廃棄物	汚染廃棄物対策地域内にある廃棄物(当該廃棄物が、当該汚染廃棄物対策地域外へ搬出された場合にあつては、当該搬出された廃棄物を含む。また、環境省令で定めるものを除く) ^{*1}	「放射性物質汚染対処特措法」第十三条第一項
指定廃棄物	水道施設、公共下水道・流域下水道、工業用下水道施設、特定一般廃棄物処理施設又は特定産業廃棄物処理施設である焼却施設及び集落排水施設から生じた廃棄物であつて、当該施設の管理者等の調査の結果に基づき、事故由来放射性物質による汚染状態が環境省令で定める要件に適合しないものとして、環境大臣が指定するもの ^{*1}	「放射性物質汚染対処特措法」第十六条～第十八条
特定廃棄物	対策地域内廃棄物又は指定廃棄物 ^{*1}	「放射性物質汚染対処特措法」第二十条
除染廃棄物	除染特別地域内又は除染実施区域内の土地等に係る土壤等の除染等の措置に伴い生じた廃棄物(特定廃棄物を除く) ^{*1}	
除去土壤	除染特別地域又は除染実施区域に係る土壤等の除染等の措置に伴い生じた土壤 ^{*1}	「放射性物質汚染対処特措法」第三十五条第一項
除去土壤等	除去土壤及び土壤等の除染等の措置に伴い生じた廃棄物 ^{*1}	「放射性物質汚染対処特措法」第三十一条第一項

<出典>

1. 環境省「廃棄物関係ガイドライン」平成25年3月第2版

(環境省ホームページ「原子力発電所事故による放射性物質対策」からダウンロード可能 (<http://www.env.go.jp/iishin/rmp.html>))

以上の廃棄物は、放射能を持っていても、法令上、放射性廃棄物とは呼ばない。
本日のテーマである放射性廃棄物には、原発事故に由来する放射性ゴミは含まない。

6

日本で発生する廃棄物の量

廃棄物の種類	発生量	備考
一般廃棄物	年間4539万トン ^{*1} 1日当たり約12.4万トン	平成23年度実績
産業廃棄物	年間約3億8121万トン ^{*2} 1日当たり約104万トン	平成23年度実績
低レベル放射性廃棄物	1日当たり約51トン (但し、福島第一原子力発電所と福島第二原子力発電所の一部のデータについては含まない) ^{*3}	平成23年度実績
高レベル放射性廃棄物	1日当たり約1.4トン ^{*3}	平成12～18年度実績より推定

出典

1. 環境省、「一般廃棄物の排出及び処理状況等(平成23年度)について」、平成25年3月18日

https://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/h23/data/env_press.pdf

2. 環境省、「産業廃棄物の排出及び処理状況等(平成23年度実績)について」、平成25年12月26日

https://www.env.go.jp/recycle/waste/sangyo/sangyo_h23.pdf

3. 電気事業連合会、「原子力・エネルギー図面集」

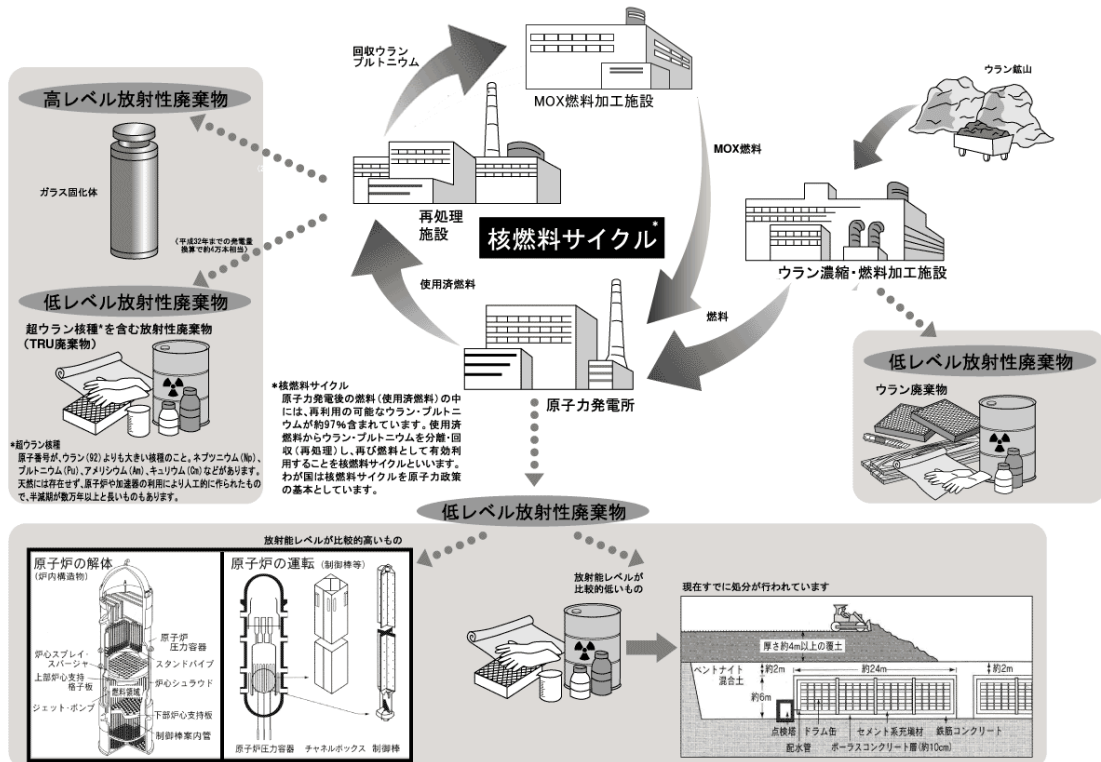
http://fepec-dp.jp/pdf/07_zumenshu_j.pdf(平成26年2月22日閲覧)

日本では、放射性廃棄物を高レベル放射性廃棄物と低レベル放射性廃棄物の2つに大きく分類している。
低レベル放射性廃棄物とは、高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体、高レベル放射性廃液、使用済燃料)以外の全ての放射性廃棄物を指し、**放射能が低いとは限らない**ので注意が必要である。

7

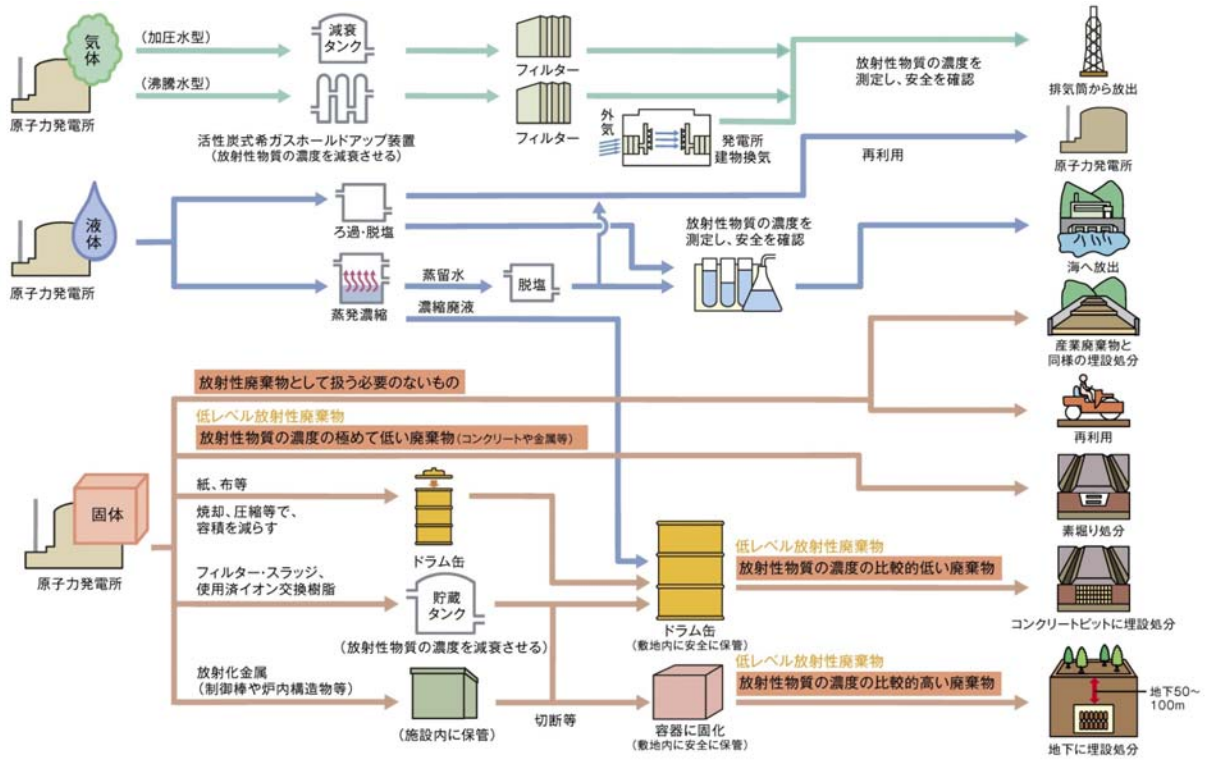
2. 核燃料サイクルと放射性廃棄物

核燃料サイクルと放射性廃棄物



出典：経済産業省資源エネルギー庁放射性廃棄物等対策室。“放射性廃棄物のホームページ”。(オンライン)。
入手先 <http://www.enecho.meti.go.jp/rw/gaiyo/image/gaiyo01.gif> (参照 2012-12-16)

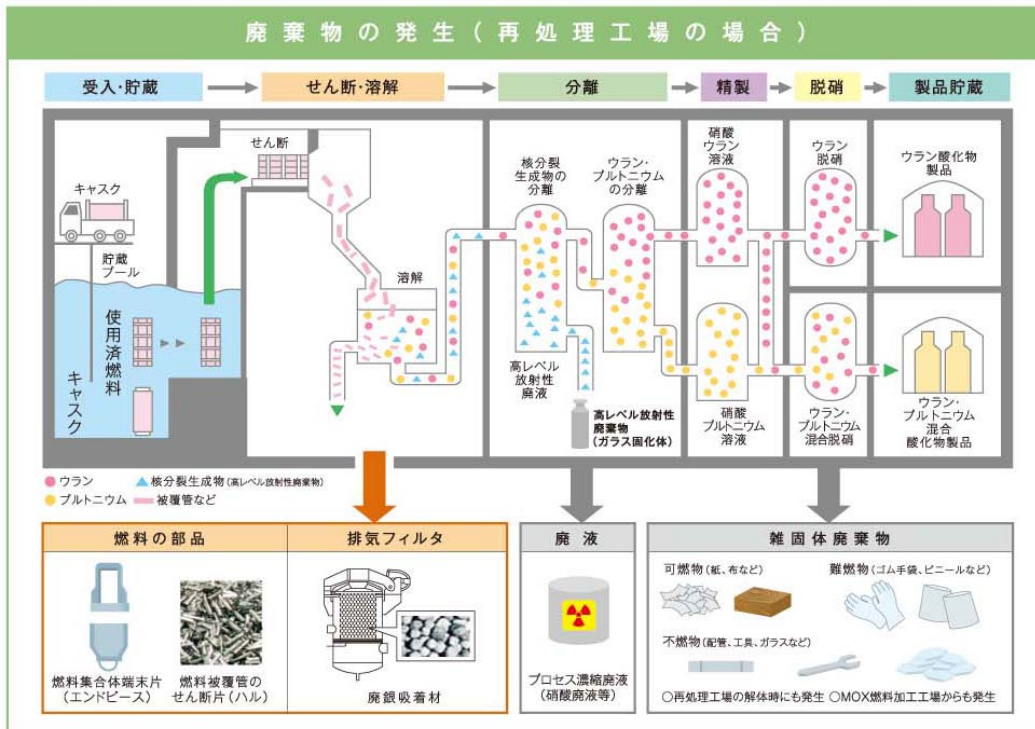
原子力発電所の廃棄物処理方法



出典：電気事業連合会 原子力・エネルギー図面集 8-1-3 http://fecc-dp.jp/pdf/07_zumenshu_j.pdf (参照2014-2-25)

10

使用済燃料の再処理



再処理工場では、地層処分による最終処分が必要なガラス固化体とTRU廃棄物が発生する。

TRU廃棄物は、その性質から、長半減期低発熱放射性廃棄物とも呼ばれる。

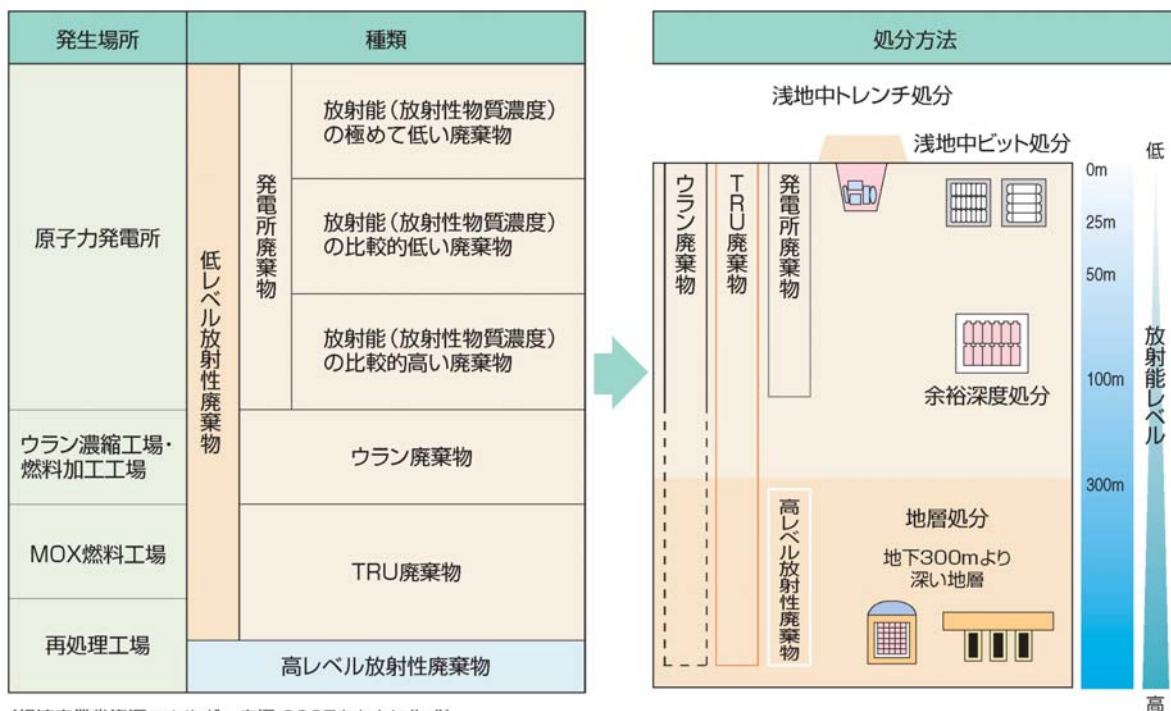
出典：総合資源エネルギー調査会電気事業分科会原子力部会放射性廃棄物小委員会報告書（平成18年9月）をもとに作成

出典：経済産業省資源エネルギー庁。“TRU廃棄物の地層処分について考えてみませんか”。平成20年4月、p.7

11

3. 放射性廃棄物の危険性と処分方法

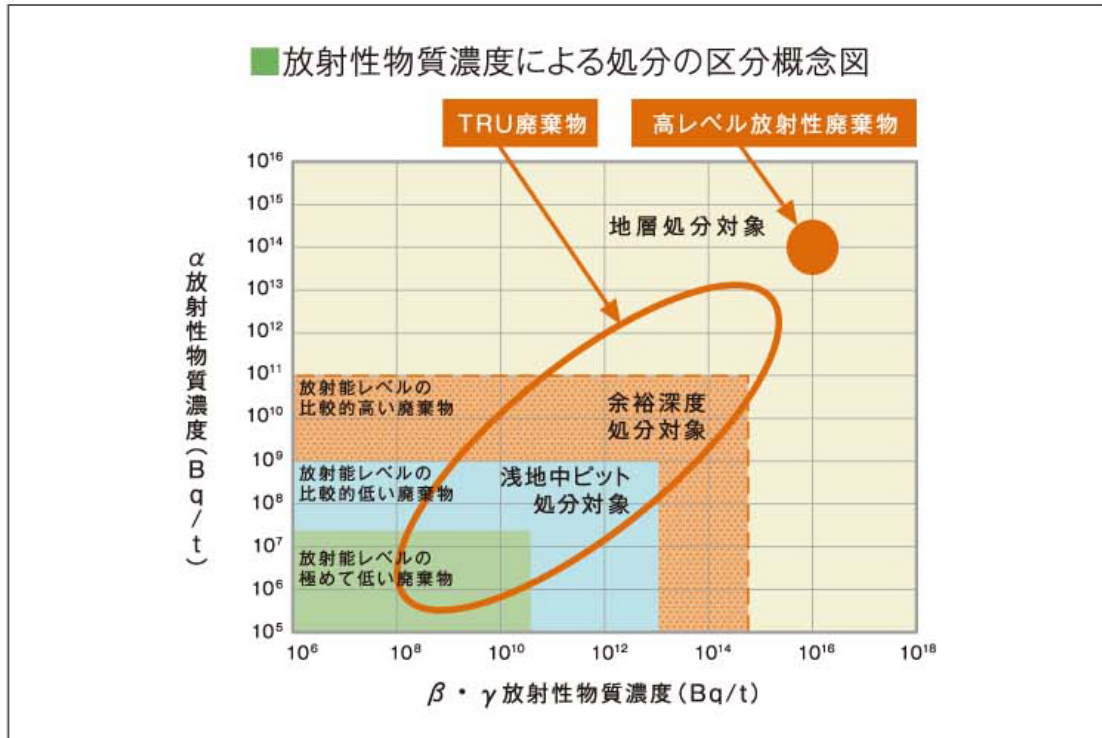
放射性廃棄物の種類と処分の概要



(経済産業省資源エネルギー庁編 2005をもとに作成)

出典：原子力発電環境整備機構，“地層処分 その安全性”，2009，p. 105

処分方法と放射性物質濃度の関係(目安)



出典：原子力委員会 長半減期低発熱放射性廃棄物 処分技術検討会 報告書 (平成18年4月) をもとに作成

出典：経済産業省資源エネルギー庁. "TRU廃棄物の地層処分について考えてみませんか". 平成20年4月. p.6

14

放射性廃棄物の国内保管量と埋設量

1. 高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体) (平成25年10月末時点)

国内で発生した高レベル放射性廃棄物は、ガラス固化体換算で約25,000本存在し、内訳は以下の通り。

- ・日本原燃に1,788本 (うち仏国返還分1,310本、英国返還分132本)、原子力機構に247本が貯蔵。
- ・英国からの未返還分約770本のガラス固化体が存在。
- ・原子力機構には約630本分の高レベル放射性廃液が貯蔵。
- ・全国の原発と日本原燃に、未処理の使用済燃料が約17,000トン貯蔵。

(参考資料：経済産業省資源エネルギー庁放射性廃棄物等対策室「地層処分事業について(制度) (双方向シンポジウム2014 配付資料)」平成26年3月1日など)

2. 低レベル放射性廃棄物(200リットルドラム缶換算)

発電所廃棄物	実用発電用原子炉	約673,000本 ^{*1} (平成24年度の発生量は約46,400本 ^{*1})
	日本原燃低レベル放射性廃棄物埋設センター(埋設量)	約252,000本 ^{*1}
TRU廃棄物	日本原子力研究開発機構	約125,000本 ^{*2}
	日本原燃	約20,000本 ^{*2}
ウラン廃棄物	民間ウラン燃料成型加工事業者	約48,800本 ^{*2}
	日本原燃	約4,800本 ^{*2}
	日本原子力研究開発機構	約50,000本 ^{*2}
RI・研究所等廃棄物	日本アイソトープ協会	約130,000本 ^{*2}
	日本原子力研究開発機構	約350,000本 ^{*2}
	その他	約80,000本 ^{*2}

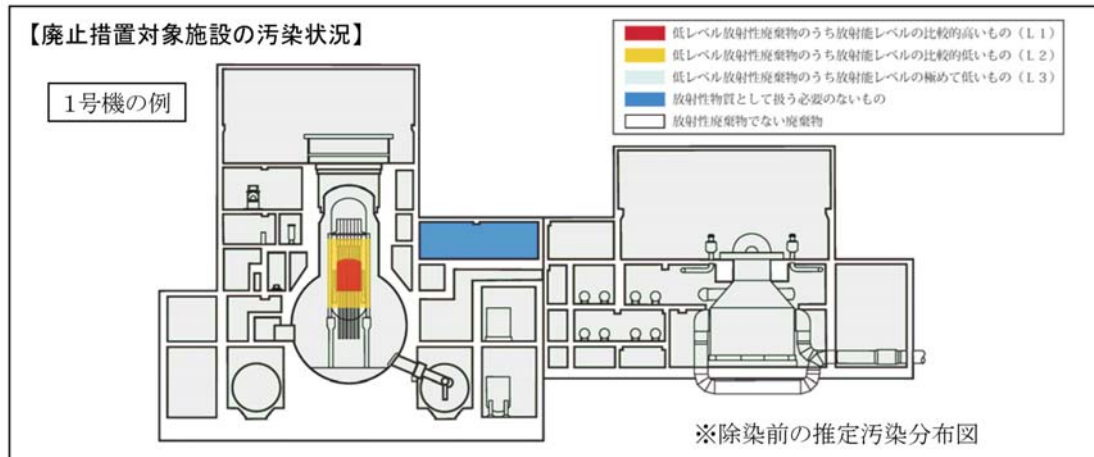
注)

*1: 2012年末現在のデータ(出典：原子力規制庁. "平成24年度実用発電用原子炉施設、研究開発段階発電用原子炉施設、加工施設、再処理施設、廃棄物埋設施設、廃棄物管理施設における放射性廃棄物の管理状況及び放射線業務従事者の線量管理状況について". 平成25年10月、(原子力規制委員会HP (http://www.nsr.go.jp/committee/kisei/data/0026_03.pdf))より入手可能)

*2: 2009年3月末現在のデータ(出典：平成21年度原子力白書、原子力委員会)

15

浜岡原発の廃炉で発生する放射性廃棄物の量



【廃止措置期間中の放射性固体廃棄物の推定発生量】

放射能レベル区分		1号機	2号機
低レベル 放射性 廃棄物	放射能レベルの比較的高いもの(L1)	約100トン	約100トン
	放射能レベルの比較的低いもの(L2)	約1,000トン	約1,200トン
	放射能レベルの極めて低いもの(L3)	約6,300トン	約7,900トン
放射性物質として扱う必要のないもの		約11,200トン	約13,400トン
合計		約18,500トン	約22,600トン
放射性廃棄物でない廃棄物		約192,700トン	約249,500トン

(注)除染を考慮した数値です。端数処理のため合計値が一致しないことがあります。

出典：浜岡原子力発電所1、2号機廃止措置計画認可申請書の概要

http://www.chuden.co.jp/corporate/publicity/pub_release/press/_icsFiles/afieldfile/2009/06/01/0601betsu.pdf (中部電力ホームページより)

解体廃棄物については、浜岡原子力発電所1、2号機廃止措置計画の概要 (http://jnm.or.jp/jnm/images/mt/s14/s14_2_2.pdf) の15ページが参考になる。

16

押さえておきたいポイント

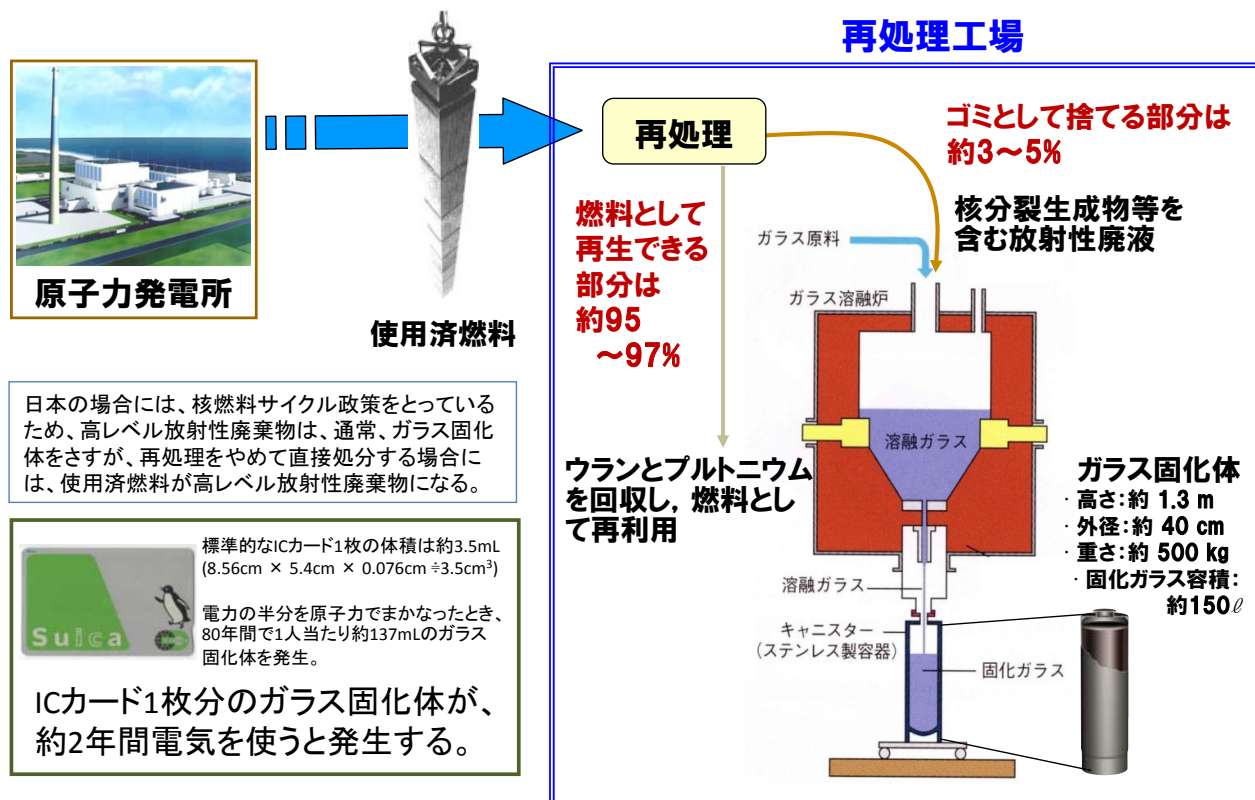
- 一口に放射性廃棄物と言っても多種多様であり、その危険性は低いものから極めて高いものまで様々である。放射性廃棄物に人が不用意に近づくことを考える場合には、ゴミが出す放射線量が高いほど、そのゴミは危険である。
- 放射性物質は、時間と共に放射線を出さない安定な物質へと変わっていくので、ゴミの放射能も時間と共に下がる。
- 放射能の上がり方は、ヨウ素131(半減期約8日)、セシウム137(半減期約30年)、カリウム40(半減期約13億年)というように放射性物質ごとに違う。
- 同じ重量のゴミに含まれる放射性物質が多いほど、つまり放射性物質濃度が高いほど、安全性を確保するために、処分にも注意が必要で、その方法も大がかりなものになる。
- 放射性のゴミは、そのゴミの危険性に応じた適切な処分方法を選ぶことによって、安全に捨てることができる。つまり、適切な方法で管理や隔離を行えば、環境中の放射性物質の量を一般の人々が許容できる範囲内に抑えることができ、人体への影響も無視できる程度に小さくできる。

各処分方法に対応するゴミの危険性のイメージ

処分方法	対象となる廃棄物	人工バリアの有無	必要とされる管理期間	ゴミのイメージ
浅地中トレンチ処分	極めて放射能レベルの低い廃棄物 (別名の例:L3廃棄物)	無	50年程度	クリアランスレベルを少し超える放射能をもつゴミ
浅地中ピット処分	放射能レベルの比較的低い廃棄物 (別名の例:L2廃棄物)	有	300年～400年程度	放射能は浅地中トレンチ処分の濃度上限値を超えるが、時間をかければ放射能が十分に下がるゴミ
余裕深度処分	放射能レベルの比較的高い廃棄物 (別名の例:L1廃棄物)	有	300年～400年程度	浅地中ピット処分の濃度上限値を超える放射能をもつゴミだが、埋設深度(地下50m～100m)や人工バリアによって、安全性が確保できるゴミ
地層処分	高レベル放射性廃棄物 (最終処分法における第一種特定放射性廃棄物) 余裕深度処分の濃度上限値を超えるTRU廃棄物 (最終処分法における第二種特定放射性廃棄物)	有	基本的に、管理という考え方はしない。 いつまでも人間の手で管理し続けるのではなく、忘れ去られても良いように隔離する。	余裕深度処分の濃度上限値を超える放射能をもつゴミ。ゴミの放射能が安全なレベルに下がるには、途方もなく長い時間が必要なので、人間の手による管理が期待できない。

浅地中トレンチ処分、浅地中ピット処分、余裕深度処分は、放射能が十分に下がるまで、人間の手で管理を行うという考え方の処分方法。管理期間の終了後には、一般的な土地利用が可能になる。

高レベル放射性廃棄物



日本においては、核燃料サイクル政策をとっているため、高レベル放射性廃棄物は、通常、ガラス固化体をさすが、再処理をやめて直接処分する場合には、使用済燃料が高レベル放射性廃棄物になる。

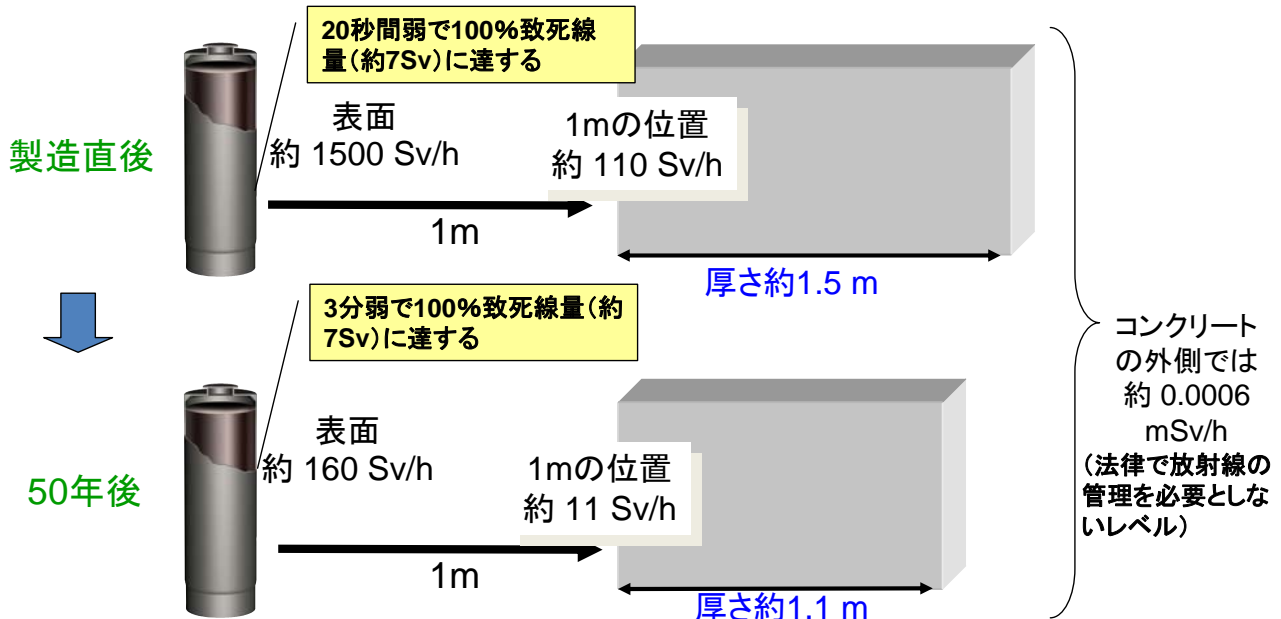
標準的なICカード1枚の体積は約3.5mL (8.56cm × 5.4cm × 0.076cm ≈ 3.5cm³)

電力の半分を原子力でまかなったとき、80年間で1人当たり約137mLのガラス固化体を発生。

ICカード1枚分のガラス固化体が、約2年間電気を使うと発生する。

高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)の危険性

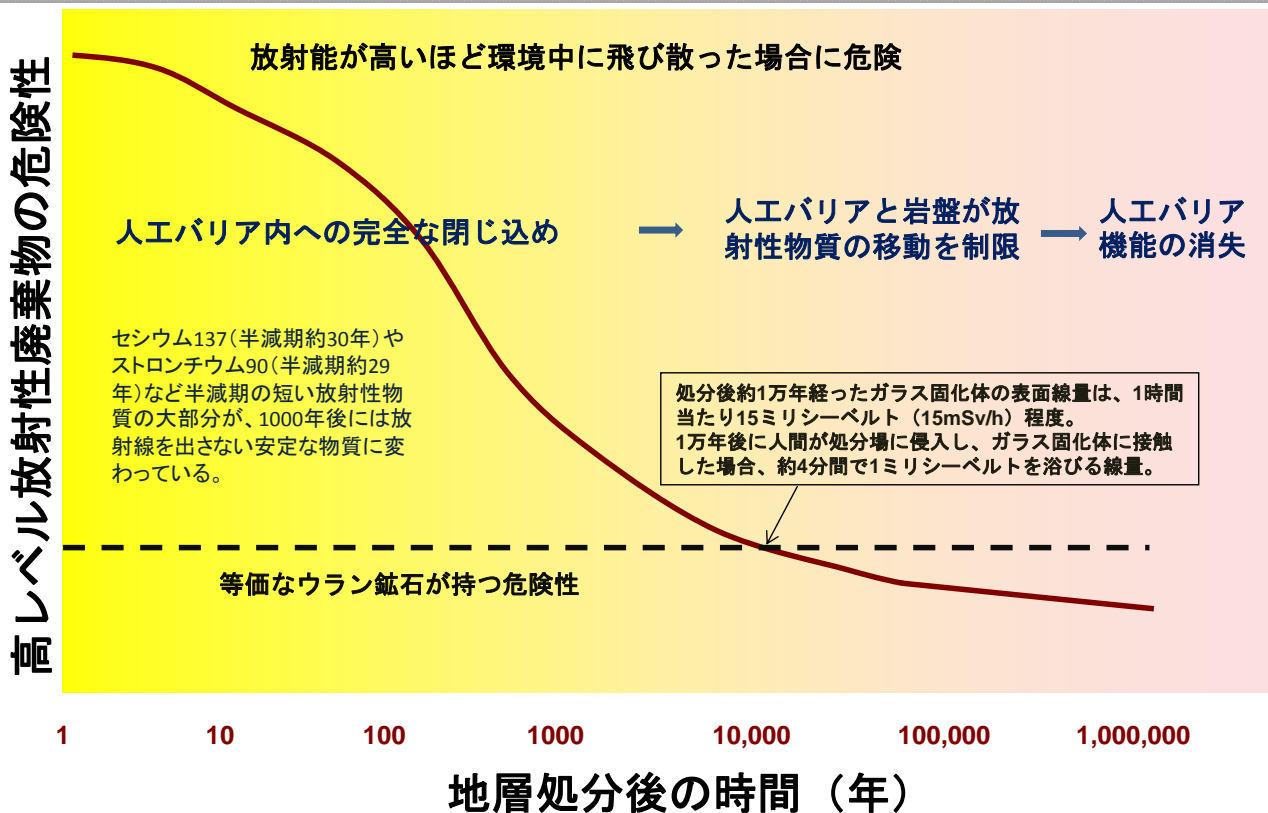
ガラス固化体から1m離れた所で、放射線管理を必要としない放射線レベルに隔離するために必要なコンクリート厚さ



経済産業省資源エネルギー庁「高レベル放射性廃棄物の処分について考えてみませんか」(2002)および日本原子力研究開発機構提供の資料をもとに作成

ガラス固化体を入れたオーバーパック(厚さ19cmの炭素鋼製容器)の50年後の表面線量は約0.0027Sv/h。廃棄物を保護するオーバーパックには放射線を遮る働きがあり、1m離れた場所に厚さ約0.8mのコンクリート壁を置けば、コンクリート壁の外側では放射線を気にせずに作業ができる。

時間の経過と共に変化するガラス固化体の危険性



放射性廃棄物の問題

4. 放射性廃棄物問題の現状

22

日本で核のゴミは最終処分できない？



出典: 原子力環境整備促進・資金管理センター。
諸外国における放射性廃棄物関連の施設・サイトについて。
経済産業省資源エネルギー庁, 2013年3月, p. 45



出典: 原子力環境整備促進・資金管理センター。
諸外国における高レベル放射性廃棄物の処分について。
経済産業省資源エネルギー庁, 2013年2月, p. 36

フィンランドにある使用済燃料を最終処分するための地下特性調査施設「オンカロ」
(将来、最終処分場として活用、2020年に操業開始の予定)

映画「100,000年後の安全」の舞台となり、小泉元首相が視察したことで有名。

2013年11月12日に行なわれた日本記者クラブ記者会見の席で、小泉元首相は以下のように発言。
「これから日本において核のゴミの最終処分場のめどをつけられると思う方が楽観的で無責任過ぎると思いますよ」
出典: 公益社団法人 日本記者クラブ (<http://www.jnpc.or.jp/>)

23

原発即時ゼロで新たに浮上する問題もある

核燃料サイクル政策をとってきた日本は、資源としてゴミから分離したプルトニウムを保有している。

原発を即時ゼロにすると、保有しているプルトニウムをMOX燃料として燃やすという選択肢がなくなる。

→核兵器に転用可能なプルトニウムを資源として使わず保有し続けると、国際的な非難を浴びる。

→お金をかけて回収済みのプルトニウムを安全なゴミに変え、その安全な捨て方を改めて考えなければならない。

資源をゴミに変えるための技術開発が必要で、費用もかかる。
もちろん処分は国内で行なわなければならない。

原子力政策を変えれば、解決しなければならない廃棄物の課題も変化する。

24

放射性廃棄物の処理・処分の状況

- 放射性廃棄物の処理は、基本的に原子力発電所の施設内で行なわれ、日本原子力研究開発機構（茨城県東海村、処理能力は年間210トンウラン）と日本原燃（青森県六ヶ所村、処理能力は年間800トンウラン）に再処理施設があり、現時点で放射性廃棄物の処理施設は一通り国内に揃っている。
- 地層処分対象ではない低レベル放射性廃棄物については、日本原子力研究開発機構（茨城県東海村）と日本原燃（青森県六ヶ所村）に処分場が存在し、放射能レベルが比較的高いものを除き、ゴミの処分が行なわれている。
- 日本原子力研究開発機構（茨城県東海村）では、日本で初めて発電に成功した原子炉の廃止措置で発生した極めて放射能が低い廃棄物（約1,670トン）の埋設を完了している。
- 放射性廃棄物の中でも、地層処分という大がかりな方法を取らなければならない**高レベル放射性廃棄物と一部のTRU廃棄物は、処分場の候補地選びが難航しており、最終処分の目処が立たない。**

（福島第一原発事故関連の放射性ゴミは、特別な対策が必要なので別枠で考える。）

25

放射性廃棄物の地層処分に関する経緯

<高レベル放射性廃棄物について>

- 廃棄物を地下300メートルよりも深い場所に埋設して捨てる地層処分が、日本でも安全に実施できると判断されたため、2000年に最終処分法が可決され、この法律に基づいて地層処分の実施主体である原子力発電環境整備機構（NUMO）が設立された。また同年、地層処分の具体的なスケジュールが閣議決定された。
- 2002年12月から処分場候補地の公募が開始されたが、これまでに正式な応募は2007年の高知県東洋町一件のみである。しかし、当時の町長が選挙に落選し、応募が取り下げられたため、結局、まだ一件も文献調査は実現していない。
- これまでに公募に応募しようという動き自体は、日本各地でそれなりにあったものの、いずれも激しい反対運動が起きて、応募には至っていない。
- 東洋町の失敗を教訓に、従来の公募に加えて、市町村長に申し入れできる別ルートを作り、交付金の限度額も大幅にアップ（年2.1億円から年10億円）したが、効果はなかった。
- 地層処分事業が進まない現状に対して、原子力委員会が、第三者機関としての意見を日本学術会議に求め、その回答が2012年9月11日に発表された。この回答の中で、高レベル放射性廃棄物の処分に関する政策の抜本的見直しが提言され、対処方法を検討する猶予期間を設けるために、いきなり地層処分を行なうのではなく、数十年～数百年の期限付きで廃棄物を保管する暫定保管を柱とした政策の再構築が提言されたため、論議を呼んでいる。

<地層処分対象のTRU廃棄物について>

- 2007年に最終処分法が改正され、低レベル放射性廃棄物に区分されるTRU廃棄物（プルトニウムを扱う施設で発生した放射性廃棄物）のうち、ゴミに含まれる放射性物質の濃度が高くて危険なものについては、地層処分最終処分を行なうことになった。高レベル放射性廃棄物と同様、最終処分場の候補地選びは難航している。

26

処分場のイメージ



(注1)「特定放射性廃棄物の最終処分に関する計画」(平成20年3月閣議決定)を踏まえた施設規模です。

(注2)「長半減期低発熱放射性廃棄物の地層処分の基本的考え方—高レベル放射性廃棄物との併置処分等の技術的成立性—」(原子力委員会決定、平成18年)

出典: 原子力発電環境整備機構, “放射性廃棄物の地層処分事業について分冊-1 処分場の概要”, 2009, p.13-14

地上施設の面積: 1~2km²程度(面積の参考: 富士山静岡空港約1.9km²、皇居1.42km²、東京ディズニーリゾートのテーマパークエリア1km²)
 地下施設の面積: 10km²程度(面積の参考: 静岡県清水町8.84km²、東京都千代田区11.64km²)

27

高レベル放射性廃棄物の処分に必要な地下施設の面積

高レベル放射性廃棄物を地層処分するために必要な地下施設の面積を種々のケースで、大雑把に見積もった。但し、この見積もりは1を除き、公式なものではなく、正確なものでもないの
で、感覚的なものとして捉えて頂きたい。なお、100万kW級の原子力発電所を1年間運転すると、
約30本のガラス固化体が発生することが知られており、使用済燃料を直接処分する研究開発
は日本では始められたばかりである。

1. 現行計画を変更しない場合

ガラス固化体約40,000本(平成20年の閣議決定で見込んだ平成33年頃の発生量の総量)を
処分するために必要な地下施設の面積は約6km²。

2. 原発即時ゼロで既に発生した廃棄物のみを処分する場合

(1) 使用済燃料を全て再処理して、ガラス固化体として処分する場合

平成25年10月時点で、既に発生している使用済燃料を全て再処理すると、ガラス固化体約
25,000本分に相当する。これを処分するために必要な地下施設の面積は、1の場合の5/8程度
と考えられるので、約4km²。但し、この選択肢は再処理をしても、もはや原発でプルトニウムを
燃やすことができないので非現実的である。

(2) 未処理の使用済燃料を再処理せずに直接処分する場合

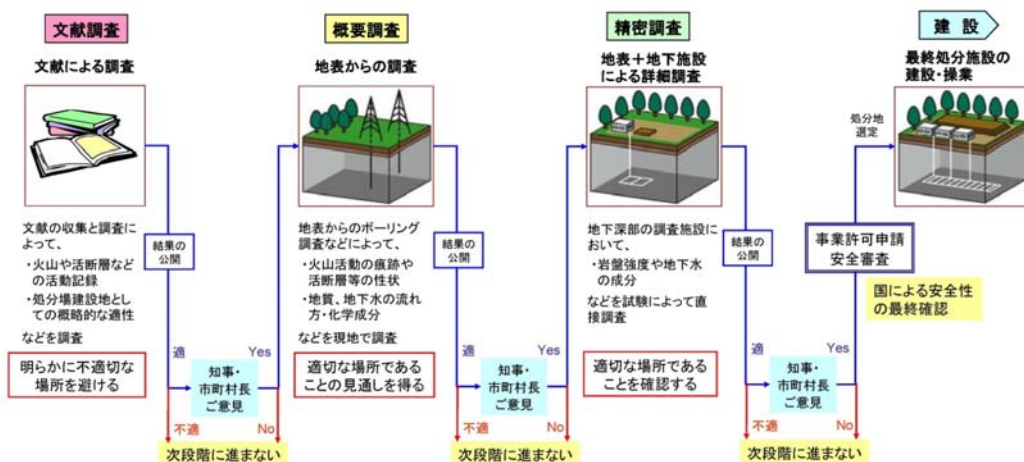
使用済燃料はガラス固化体よりも発熱量が大きいため、必要な地下施設の面積も1.5倍から2
倍程度大きくなると考えられ、必要な地下施設の面積は約8km²。

(参考: 原子力発電環境整備機構「放射性廃棄物の地層処分事業について分冊-1 処分場の概要」、2009、経済産業省資源エネルギー庁放射性廃棄物等対策室「地層処分事業について(制度) (双方向シンポジウム2014 配付資料)」平成26年3月1日、原子力委員会新計画策定会議技術検討小委員会「基本シナリオの核燃料サイクルコスト比較に関する報告書」平成16年11月、第22回原子力委員会定例会議配付資料(1-2)「核燃料サイクル政策の選択肢に関する検討結果について[参考資料]」平成24年6月5日)

28

三段階の調査による候補地の選定

- ・ 処分施設建設地の選定において、約20年をかけて三段階の技術的な調査を行う
- ・ 火山、断層、地下水のほか、隆起・侵食の傾向や岩盤強度など、様々な地質の特徴について広範囲かつ地下深くまでの詳細な調査を行い、将来にわたる影響を把握する
⇒ 処分施設の建設に適した地質環境を有する地点を選定する



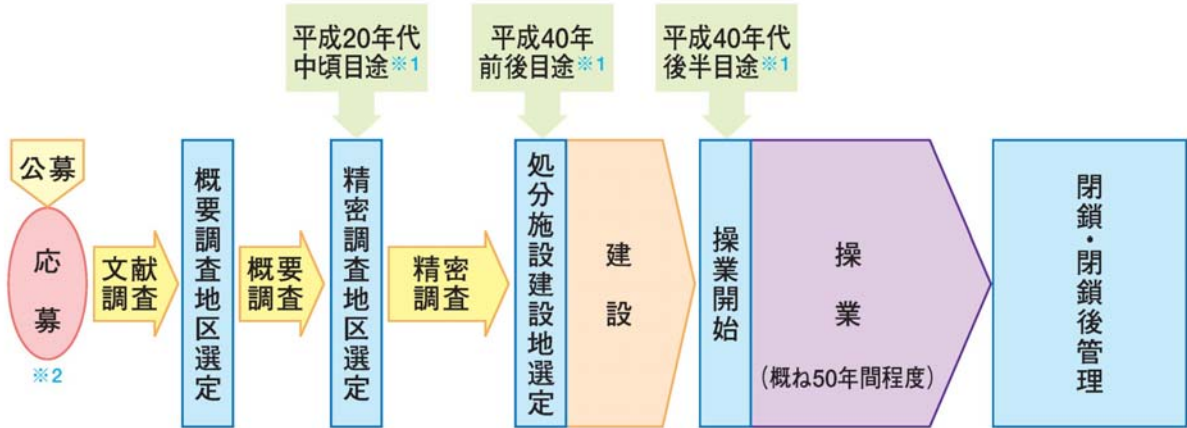
<応募の際の事前確認事項(条件が満たされない場合は文献調査は行なわない)>

- 1.陸域では空中写真判読等、海域では海上音波探査等に基づいて全国的に調査された文献に示されている活断層がある場所が含まれない。
- 2.将来数万年にわたるマグマの活動範囲の拡がりの可能性を考慮し、火山の中心から半径15kmの円の範囲内にある地域が含まれない。

原子力発電環境整備機構「高レベル放射性廃棄物の地層処分の安全性について」、2012、p. 24
原子力発電環境整備機構「放射性廃棄物の地層処分事業について ～公募のご案内～」、2009、p. 18 をもとに作成。

29

地層処分事業のスケジュール



※1 「特定放射性廃棄物の最終処分に関する計画」(平成20年3月閣議決定)より

出典：原子力発電環境整備機構. “放射性廃棄物の地層処分事業について ～公募のご案内～”. 2009, p. 7

最終処分関係閣僚会議では、最終処分に向けた新たなプロセス案として、国が科学的知見に基づいた有望地を選定し、複数地域に申入れを実施することが話し合われた。近い将来、申入れが行なわれる見通しである。
 (参考資料：平成25年12月17日第1回最終処分関係閣僚会議資料「高レベル放射性廃棄物の最終処分に向けた新たなプロセス」(http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/saisyu_syobun_kaigi/dai1/siryou.pdf))

高レベル放射性廃棄物の今後はどうなる？



独立行政法人日本原子力研究開発機構 提供の資料を改変

各国の高レベル放射性廃棄物処分事業の状況



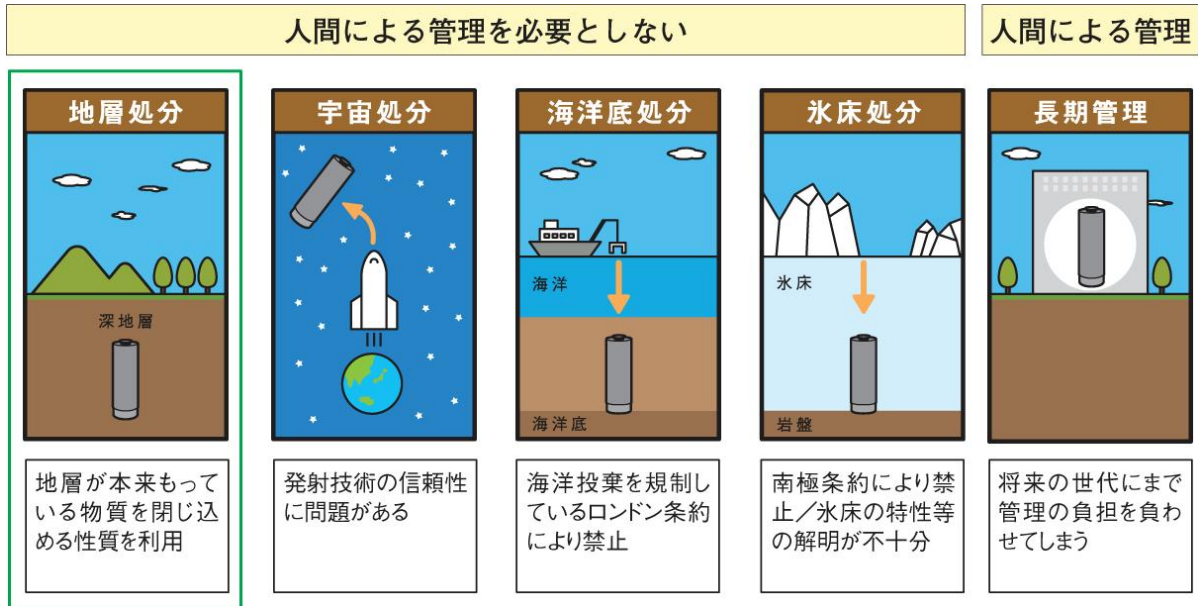
出典：原子力環境整備促進・資金管理センター。諸外国における高レベル放射性廃棄物の処分について。経済産業省資源エネルギー庁、2014年2月、p. 2-3

- ・高レベル放射性廃棄物は地層処分以外に処分方法がなく、原発保有国共通の悩みの種。
- ・ロシアも地層処分を計画。
- ・フィンランド、スウェーデン、フランスでは、処分場の候補地(サイト)選定がうまく進み、フィンランドは2020年、スウェーデンは2029年、フランスは2025年に処分場が操業開始となる予定。
- ・米国では、一旦はネバダ州ユッカマウンテンに処分場の予定地が決定したものの、地元の理解が十分に得られず、当初の計画は失敗。

放射性廃棄物の問題

5. 「地層処分」対「その他の方法」

消去法で最後に残るのは地層処分



出典：原子力発電環境整備機構，“放射性廃棄物の地層処分事業について ～公募のご案内～”，2009，p.4

処分ではなく管理を選ぶと、ゴミの危険性から数万年間は管理し続けなければならない。人間による超長期間の管理には、安全性に疑問が残る。

34

地層処分の発想はどこからきたのか

- 激しい核兵器開発競争を繰り広げていた米国とロシアでは、放射性廃棄物をずさんに管理し、ずさんに処分したために、早い時期から核施設周辺の環境汚染が深刻化し、より安全な処分方法の確立が求められていた。そこで出てきたアイデアが、「超長期間地質環境が安定し、水を通さず、可塑性の大きな岩塩の地層中に放射性廃棄物を格納すること」、これが地層処分の原点の発想とされている。
- 米国のハンフォード核施設では、高レベル放射性廃液をタンクに入れて貯蔵管理していたが、1950年代の中頃から度々漏えい事故が起こるようになった。そしてついに、1973年には、管理責任者が廃液漏れに6週間も気づかなかったために、ハンフォードのタンクから大量の高レベル放射性廃液が漏れ出し、甚大な環境汚染を引き起こした。→人間の手による管理に疑問の声が上がる。
- そもそも液体は、固体よりも保存や管理が難しい。→高レベル放射性廃棄物を液体の状態で長期間貯蔵管理することに疑問の声が上がる。
- 研究を重ねた結果、特に岩塩層という地層に限定しなくても、人工バリアを地層という天然のバリアに合わせて、工学的に設計すればよいということがわかった。
→多重バリアシステムの誕生

35

地上と地下の比較

	地上	地下	
自然現象	地震、火山、断層、 台風、地滑り、 津波、隕石、他	火山、断層	<p>地下水の動きが非常に遅い 深い岩盤ほど、岩盤中の鉱物の隙間や亀裂が小さく、地下水が動きにくくなる</p> <p>+</p> <p>岩盤の中では放射性物質の動きは遅い 岩盤には放射性物質を吸着する性質がある</p> <p>酸素をほとんど含まない 地下水は地下深部へ浸透していくにつれ、土壌中の微生物の活動等により酸素が消費されるため、酸素がほとんどない状態に変化する</p>
人の行為	破壊、爆発、火事、 公害、事故、戦争、 テロ、他	掘削	
ものの動き (100m動くのに必要な時間)	空気：台風 ～数秒 水：河川 ～数分	空気：なし 水：～数万年以上(地下水)	
金属の腐食	腐食しやすい	腐食しにくい	

出典：原子力発電環境整備機構. “高レベル放射性廃棄物の地層処分の安全性について”. 2012, p. 6

放射性廃棄物は地上よりも地下に置く方が有利

36

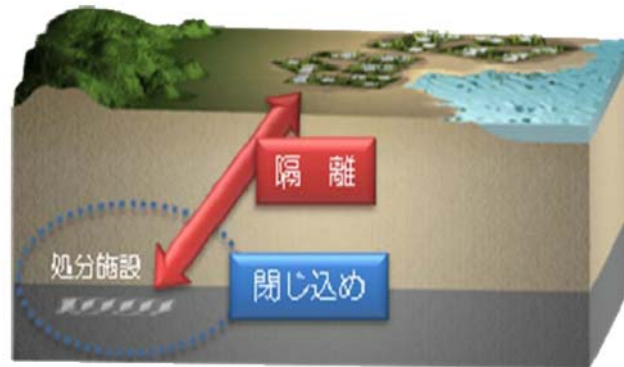
放射性廃棄物の問題

6. 地層処分の安全性

37

地層処分の安全確保の基本的な考え方

- ・地層処分は、人間の管理を必要としない処分方法である
- ・放射性廃棄物の人間に対する危険性がなくなるまでの期間、人間の生活環境から「隔離」し、地下深部に「閉じ込める」ことによって、安全を確保する



地層処分の安全確保の原則

放射性廃棄物の人間に対する危険性がなくなるまでの期間、

- 人間の生活環境から隔離する
- 放射性廃棄物を地下深部に閉じ込める

出典：原子力発電環境整備機構，“高レベル放射性廃棄物の地層処分の安全性について”。2012，p. 8

38

概要調査地区選定上の考慮事項

法定要件に関する事項

- 概要調査地区選定に関する法定要件に対する適格性を評価する事項

- ①地震（断層活動）に関する事項
- ②噴火（火山・火成活動）に関する事項
- ③隆起・侵食に関する事項
- ④第四紀の未固結堆積物に関する事項
- ⑤鉱物資源に関する事項

付加的に評価する事項

- 法定要件に対する適格性が確認された地区を対象に、概要調査地区としての特性を総合的に評価し、必要に応じて相対比較を行う事項

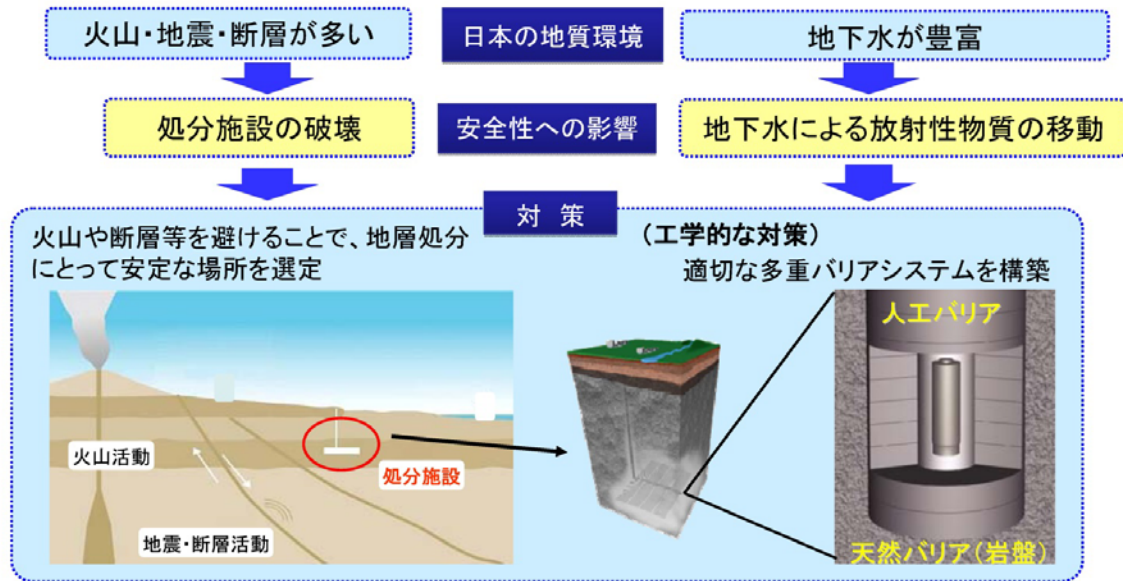
- ①地層の物性・性状に関する事項
- ②地下水の特性に関する事項
- ③地質環境の調査・評価に関する事項
- ④建設・操業時における自然災害に関する事項
- ⑤土地の確保に関する事項
- ⑥輸送に関する事項

出典：原子力発電環境整備機構，“放射性廃棄物の地層処分事業について ～公募のご案内～”。2009，p. 14

39

日本の地質環境を考慮した対策

- ・日本は火山や地震が多く、地下水が豊富といった特徴がある
- ・これらに対処するために適切な処分施設建設地を選定し、工学的な対策を講じる

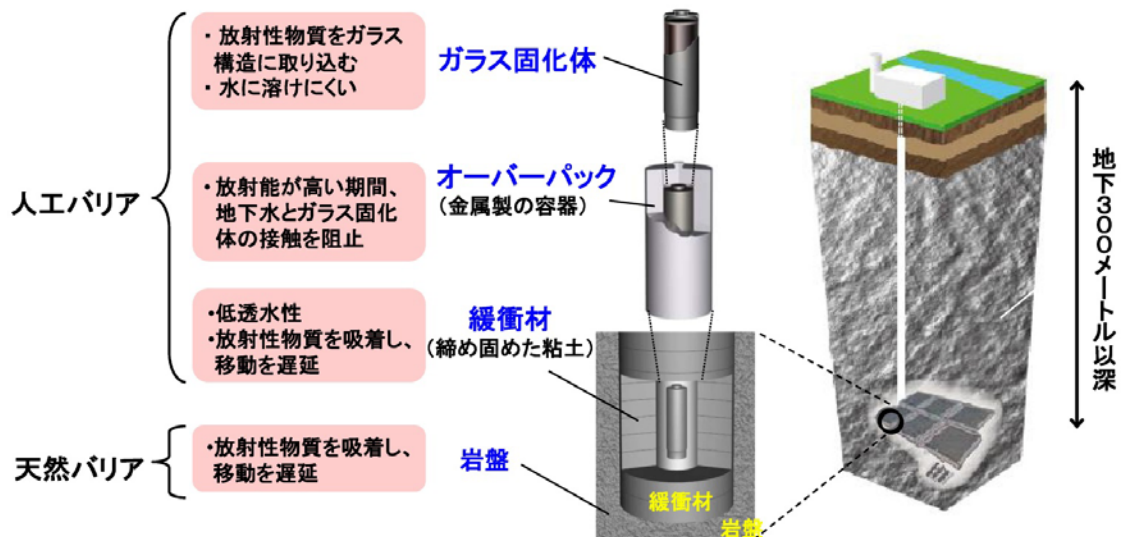


出典:原子力発電環境整備機構. “高レベル放射性廃棄物の地層処分の安全性について”. 2012, p. 16

40

核のゴミを閉じ込める多重のバリア

- ・放射能が人間に影響を及ぼさないレベルに下がるまで放射性物質を長期間閉じ込めるために、多重のバリアを施す
- ・多重バリアは、ガラス固化体、オーバーパック（金属製容器）、緩衝材（締め固めた粘土）からなる人工バリアと、厚い岩盤による天然バリアから構成



出典:原子力発電環境整備機構. “高レベル放射性廃棄物の地層処分の安全性について”. 2012, p. 26

41

安全性の確認方法

- ・地層処分で将来起こると想定される出来事をシナリオとして設定し、放射性物質が移動する様々な現象をシミュレーションして、人が受ける被ばく線量を計算する

地層処分で将来起こると想定される出来事のシナリオ(筋書き)をつくる

- ・「もし、1000年後にオーバーパックが破損し、放射性物質が地下水に溶け始めたら・・・」といった将来起こると想定されるシナリオ(筋書き)を設定する

放射性物質が地表まで移動する現象をシミュレーション(解析)する

- ・実験結果や最新の科学的な知見をもとに、「ガラスの溶け方」、「地下水の流れ方」といった様々な現象をコンピュータ上で模擬し、放射性物質が地表まで移動する現象をシミュレーション(解析)する

人が放射性物質を取り込んだ際の被ばく線量を計算する

- ・地表に出現した放射性物質を、食物など通じて人が摂取すると想定し、被ばく線量を計算する

安全基準と照らし合わせて安全性を評価する

予測しがたいことに対しては、**厳しい評価になる条件を設定して安全性を評価する**

出典：原子力発電環境整備機構，“高レベル放射性廃棄物の地層処分の安全性について”。2012，p. 37

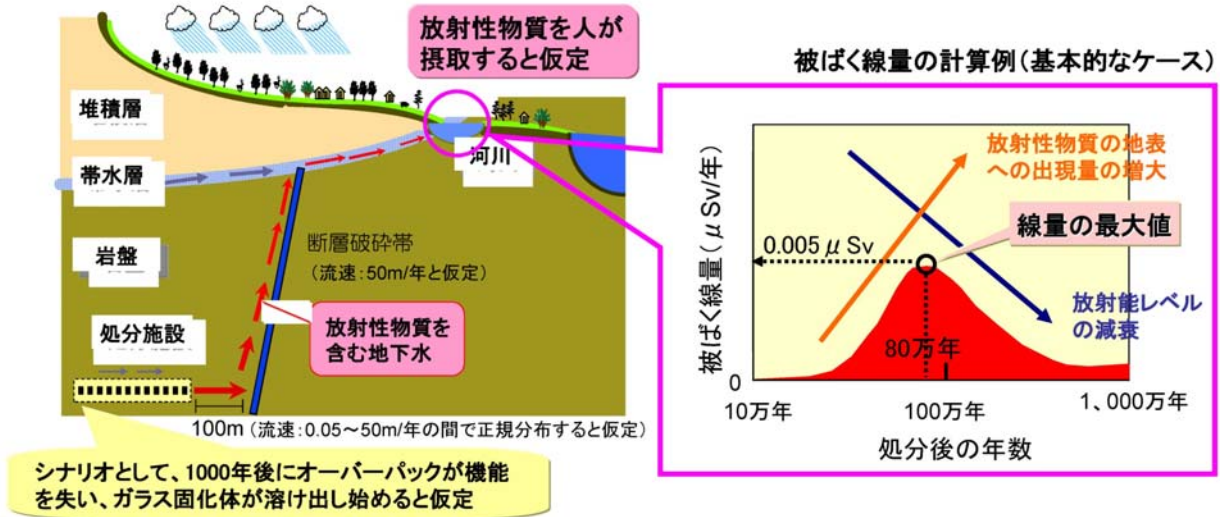
42

安全性の根拠を示すための研究



安全性を確認するための計算例

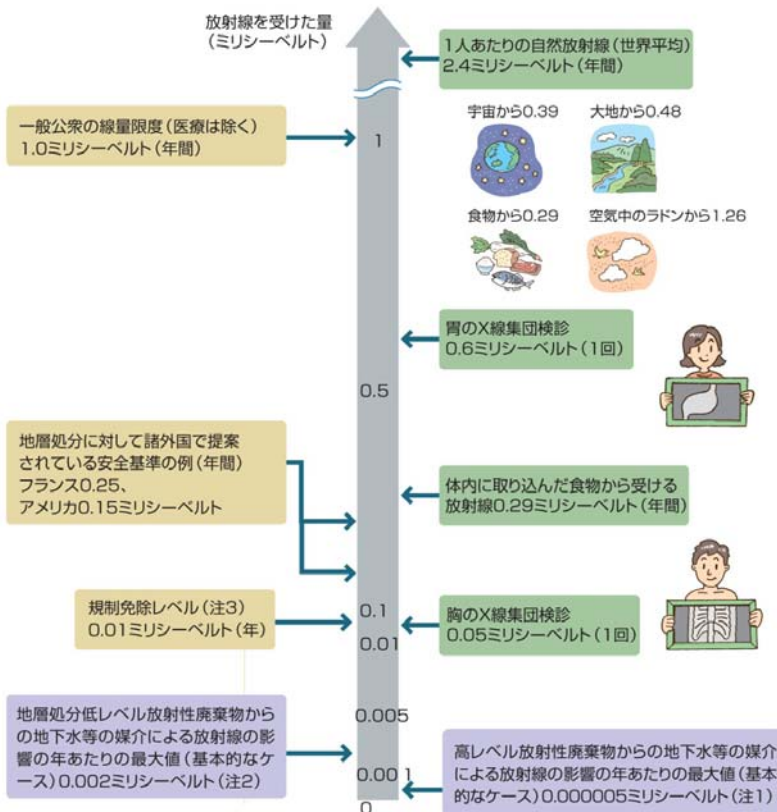
- ・評価上、1000年後にオーバーパックが機能を失ってガラス固化体が溶け出し、放射性物質が地下水にのって岩盤および断層破砕帯を移動して地表に到達すると仮定
- ・岩盤の物性や地下水の流れる速さなどは、日本の一般的な地質環境を仮定
- ・放射性物質が地表に現れる量は徐々に大きくなるが、放射能レベルは時間とともに減衰するため、被ばく線量はある時点を超えて減少する（下記では80万年後に年間0.005 μ Sv）



出典: 原子力発電環境整備機構. "高レベル放射性廃棄物の地層処分の安全性について". 2012, p. 38

44

地層処分による放射線の影響



(注1)「わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第2次まとめ—」(核燃料サイクル開発機構、平成11年)に示された、レファレンス・ケースの値。年あたりの値が最大になるのは処分場の閉鎖の約80万年后と評価されています。

(注2)「TRU廃棄物処分技術検討書—第2次TRU廃棄物処分研究開発の取りまとめ—」(電気事業連合会・核燃料サイクル開発機構、平成17年)に示された、レファレンス・ケースの値。年あたりの値が最大になるのは処分場の閉鎖の約1万年后と評価されています。

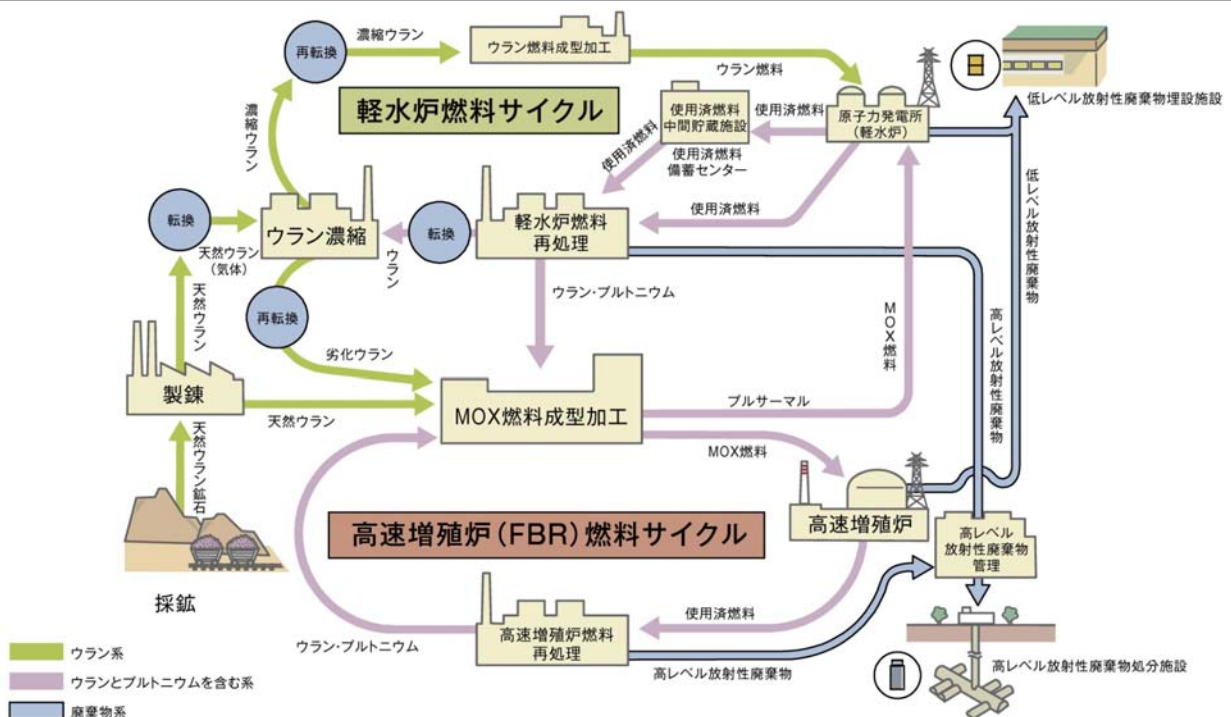
(注3)ある放射線源について、それによる健康への影響が無視できるほど小さく、放射性物質として扱う必要がないことから、放射線防護に係る規制の対象としない放射線影響のレベル (国際放射線防護委員会、publication 46)

出典: 原子力発電環境整備機構. "地層処分 その安全性". 2009, p. 157

45

7. 将来に期待がかかる技術

高速増殖炉燃料サイクルと放射性廃棄物



出典: 電気事業連合会 原子力・エネルギー図面集 8-1-3 http://feqc-dp.jp/pdf/07_zumenshu_j.pdf (参照2014-2-25)

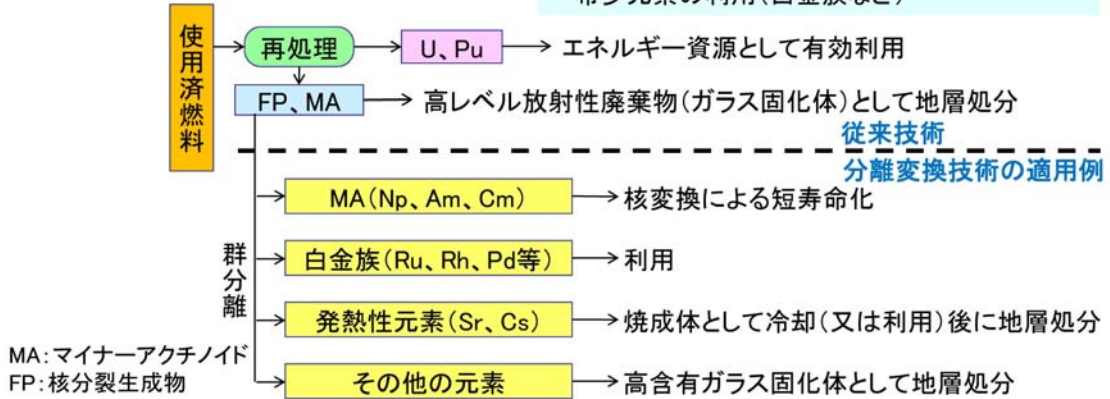
高速増殖炉の技術開発は、ウランやプルトニウムの有効利用だけでなく、高レベル放射性廃棄物の潜在的な有害度を減らし、減容化するという観点からも、大きな期待がかけられている。但し、ゴミの有害度や体積が減っても、超長期間放射能が残る危険なゴミを発生するという点では変わらないので、地層処分は必要である。

群分離・核変換技術とは何か

群分離・核変換技術(分離変換技術)
 高レベル放射性廃棄物に含まれる放射性核種を、その**半減期や利用目的に応じて分離**する(分離技術)とともに、**長寿命核種を短寿命核種あるいは非放射性核種に変換**する(変換技術)ための技術

目標

- ・**長期リスクの低減:**
 廃棄物の潜在的有害度の総量を大幅に低減
- ・**処分場の実効処分容量の増大:**
 発熱の大きい核種を除去してコンパクトに処分
- ・**放射性廃棄物の一部資源化:**
 希少元素の利用(白金族など)



出典: 科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 原子力科学技術委員会 群分離・核変換技術評価作業部会「群分離・核変換技術評価について」の中間的な論点のとりまとめについて(添付資料)
http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/icsFiles/afidfile/2013/11/22/1341663_3_1_1.pdf (文部科学省ホームページより)

潜在的有害度とは、ゴミの中に含まれる全ての放射性物質について、放射性物質ごとにその放射能を人が食べ物や飲み物として体内に取り込んだときの被ばく量に換算し、その被ばく量を全て足した和として計算される値のことであり、潜在的な毒性を意味する。

48

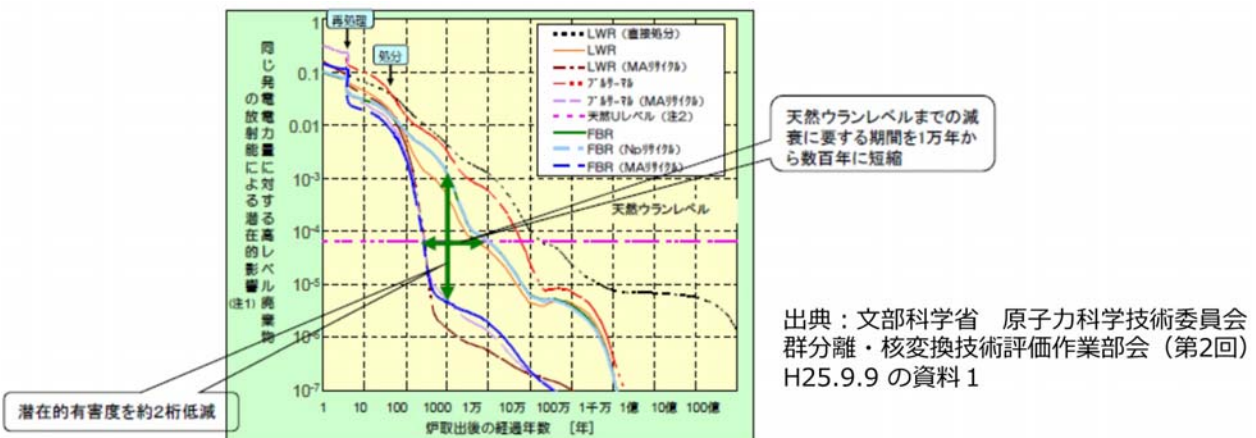
群分離・核変換技術の利点と欠点

<利点>

ゴミの危険性を減らすことができる。
 高レベル放射性廃棄物の発生量を減らすことができる。
 高レベル放射性廃棄物の処分場面積を小さくできる。

<欠点>

まだ研究段階であり、実用レベルに達していない。
 群分離・核変換施設から低レベル放射性廃棄物が大量に発生する。



(注1) 高レベル放射性廃棄物と人間との間の障壁は考慮されておらず、高レベル放射性廃棄物の実際の危険性ではなく、潜在的有害度(経口摂取による年摂取限度で規格化)を示している。使用済燃料取り出し直後の潜在的影響を1とした相対値。
 (注2) 天然ウランレベルの線は、LWR(直接処分)のケースで燃料の原料として必要な天然ウラン(190トン強)とその娘核種による潜在的有害度の経時変化における最大値を示している。

「原子力発電環境整備機構。『エネルギー環境教育教職員セミナー』。2013年12月8日」をもとに作成。
<http://numo-eess.jp/study/img/2013report/okinawa/20131208eess.pdf>

49

8. まとめ

まとめ

- 原子力政策によって核のゴミの課題は変化するが、原発推進、脱原発に関わらず、既に存在する放射性廃棄物の処理・処分問題は、必ず解決しなければならない。
- 原発で発電した電気を利用した我々には、放射性廃棄物を生み出した世代としての大きな責任がある。
- 国内で発生した放射性廃棄物は、国内で処分しなければならないので、我々が何も決めずに単に問題を先送りすればするほど、将来の世代により多くの負担を強いることになる。
- 最も難しい課題は、発生時の放射能が極めて高く、時間と共に放射能が低下するものの、超長期間危険なゴミであり続ける、高レベル放射性廃棄物の最終処分である。
- 高レベル放射性廃棄物を安全に捨てる方法として、300メートルよりも深い地下に人工的なバリアを設けてゴミを封じ込める地層処分が、世界中で唯一無二の最終処分方法であると認識されている。**地層処分は、絶対に安全とは言えないが、科学的で技術的な根拠に基づいて、リスクを最小限に抑えることができ、最も現実的で確実に最終処分を実施できる方法である。**
- 地層処分は処分場の候補地選びから、処分場の閉鎖まで、順調にいったとしても、約100年という長い年月がかかるため、世代を超えた国民的議論と社会的合意が必要になる。
- 核のゴミ問題が、専門家と政治家の力だけでは解決できないことは、これまでの経過から明白である。
- **主権在民の日本でゴミ問題を解決するには、一般市民の力が不可欠である。**

「絶対に安全」や「ゼロリスク」は、理想であって現実にはあり得ない。
→我々は、どうすればリスクを最小にできるかを客観的に考え、より良い方法を合理的に選択し、社会的な合意に基づいて、ゴミの処分計画を実行するべきである。

高レベル放射性廃棄物について勉強・発言する機会

1. 経済産業省にパブリックコメントを提出する

「特定放射性廃棄物の最終処分への取組見直しに向けた意見募集(随時)」

http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/shobun-iken.html

2. 経済産業省主催のイベントを覗いてみる(過去の開催分については配布資料と動画有り)

「双方向シンポジウム どうする高レベル放射性廃棄物」

3. 地域で行なわれるワークショップに参加する、または自主的にワークショップを開催する

a)経済産業省主催のワークショップ

http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/ene/index.html

b)NUMO主催のワークショップ

<https://www.numo.or.jp/pr/workshop/ws/>

4. その他各種イベントに参加する

例えば、「TIME to SOLVE 高レベル放射性廃棄物最終処分ー日本におけるコンセンサスの過程」や「100,000年後の安全」のような放射性廃棄物をテーマとする映画に関連するイベント

5. 普段の会話で、話題にしてみる

家族や友達、職場の同僚など身近な場所での雑談、ツイッターやフェイスブックなどのSNSを使った情報発信

52

放射性廃棄物に関するウェブサイト(目的別)

<放射性廃棄物について一般的な情報を得る>

•放射性廃棄物のホームページ(経済産業省資源エネルギー庁放射性廃棄物等対策室
http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/)

<地層処分に関する情報を得る>

•原子力発電環境整備機構(NUMO) <http://www.numo.or.jp/>

<放射性廃棄物全般や海外の情報を得る>

•公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター(RWMC) <http://www.rwmc.or.jp/>

<低レベル放射性廃棄物の処分や核燃料サイクル全般の情報を得る>

•日本原燃株式会社(JNFL) <http://www.jnfl.co.jp/>

<地層処分に対する批判的な情報を得る>

•地層処分問題研究グループ <http://geodispo.s24.xrea.com/index.html>

•原子力資料情報室 <http://www.cnic.jp/category/cat080>

<専門家向けの情報を得る>

•独立行政法人日本原子力研究開発機構(JAEA) <http://www.jaea.go.jp/index.shtml>

<放射性廃棄物に関する政策や審議会等の情報を得る>

•経済産業省 <http://www.meti.go.jp/>

<放射性廃棄物に関する安全規制の情報を得る>

•原子力規制委員会 <http://www.nsr.go.jp/activity/regulation/haiki/>

•旧原子力安全委員会 <http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/haiki/index.htm>

<わからない言葉を調べる>

•原子力百科事典ATOMICA <http://www.rist.or.jp/atomica/index.html>

<原子力に関する基本方針の策定などの情報を得る>

•原子力委員会 <http://www.aec.go.jp/>

<福島第一原子力発電所の事故で汚染された廃棄物に関する情報を得る>

•環境省 <http://www.env.go.jp/>

ご清聴ありがとうございました。

53

9. 補足資料

54

指定廃棄物の種類と処分方法

指定廃棄物
 原子力発電の事故により放射性物質に汚染された廃棄物

処分実施主体: **国(環境省)**



出典: 環境省 指定廃棄物処理情報サイト

【指定廃棄物の処分方法】



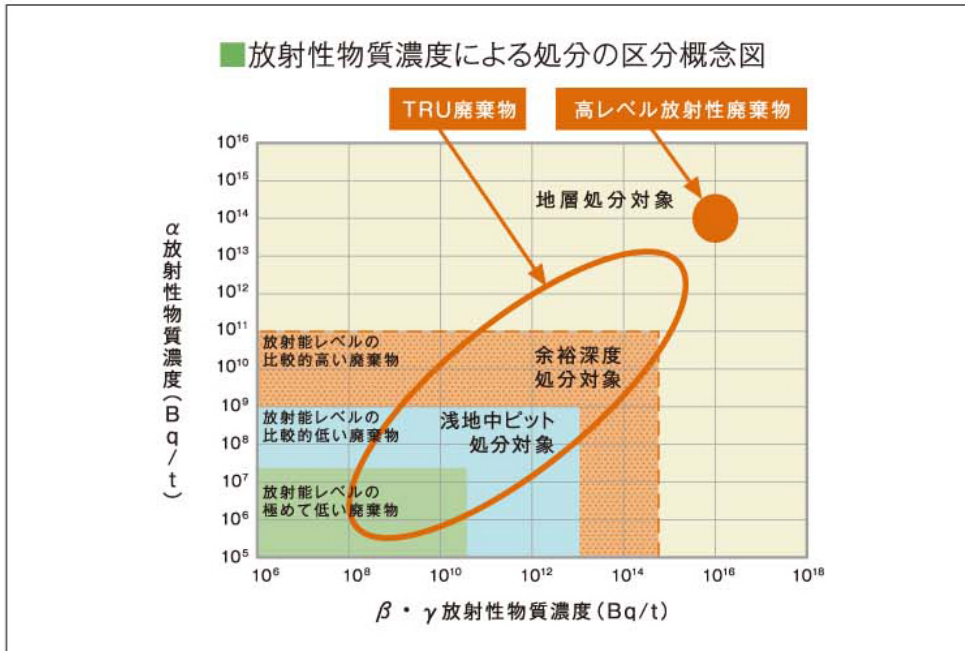
※1: 放射性物質汚染対処特措法で安全確保のための基準(焼却灰のセメント固型化など)が決まっています。

※2: 国が新たに最終処分場を設置する場合は遮断型構造を有する処分場を設置します。

※3: 公共の水域及び地下水と遮断されている場所への埋立とします。また、福島県では中間貯蔵施設設保管されます。

55

放射性廃棄物の濃度区分と指定廃棄物



出典：原子力委員会 長半減期低発熱放射性廃棄物 処分技術検討会 報告書（平成18年4月）をもとに作成

出典：経済産業省資源エネルギー庁. “TRU廃棄物の地層処分について考えてみませんか”. 平成20年4月, p.6

指定廃棄物は1キログラム当たり8000ベクレル($8 \times 10^4 \text{Bq/t}$)を超えたものを環境大臣が指定したものである。

指定廃棄物の処分方法を区分する放射性セシウム(セシウム134およびセシウム137)の濃度基準値は、1キログラム当たり10万ベクレル($1 \times 10^5 \text{Bq/t}$)である。

$1 \times 10^5 \text{Bq/t}$ という放射性セシウム濃度は、浅地中トレンチ処分を行なう際の濃度上限値である。

56

クリアランスレベルとは

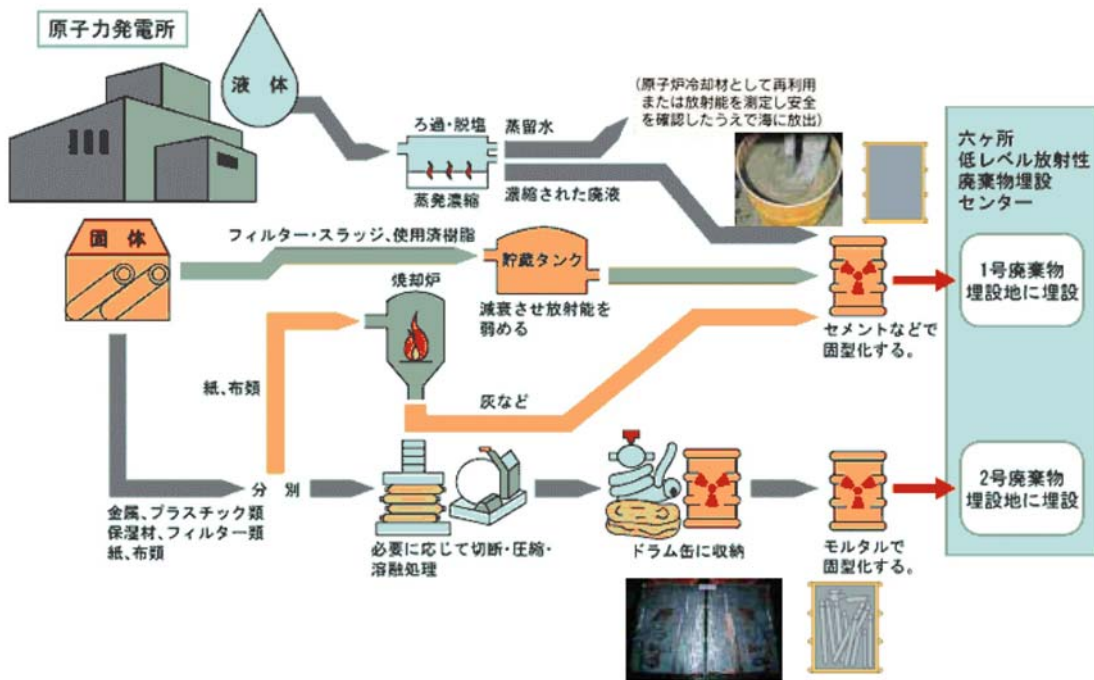
- ある固体状物質に含まれる微量の放射性物質に起因する線量が、自然界の放射線レベルに比較して十分小さく、また、人の健康に対するリスクが無視できるものであるならば、当該物質を「放射性物質として扱う必要がない」と考えられる。
- IAEA等の考え方に基づき、「放射性物質として扱う必要がない物」を区分するレベルを「クリアランスレベル」と呼ぶことにする。「放射性物質として扱う必要がない」ことを満足する要件は、当該物質に起因する線量が「自然界の放射線レベルと比較して十分小さく、また、人の健康に対するリスクが無視できること」であり、実際には、この線量を放射性核種の濃度に換算し基準値として使用する。

出典：原子力安全委員会放射性廃棄物安全基準専門部会. “主な原子炉施設におけるクリアランスレベルについて”. 平成11年3月17日

57

浅地中ピット処分対象の放射性廃棄物の例

埋設するための処理方法(例)



日本原燃ホームページより作成

出典: 総合資源エネルギー調査会 電気事業分科会 原子力部会 放射性廃棄物小委員会 第1回配付資料 資料4
http://www.enecho.meti.go.jp/info/committee/data/waste_01_04.pdf

余裕深度処分対象の放射性廃棄物の例

原子炉施設の運転に伴い発生する廃棄物

- ・燃料の極近くにあるもの
 使用済制御棒、チャンネルボックス、バーナブルポイズン、原子炉内構造物
- ・炉水を浄化したもの
 放射能レベルの比較的高い使用済イオン交換樹脂

原子炉施設の解体に伴い発生する廃棄物

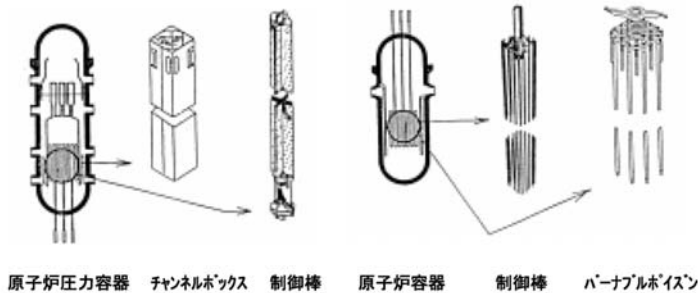
原子炉中心部にあり、燃料を支持し、冷却材(水、ガス)流路を形成している構造物

沸騰水型原子炉

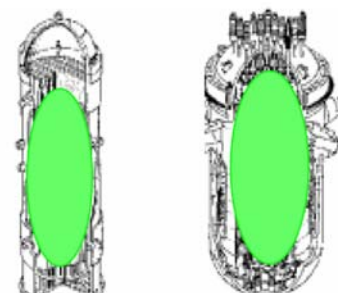
加圧水型原子炉

沸騰水型原子炉

加圧水型原子炉



原子炉圧力容器 チャンネルボックス 制御棒 原子炉容器 制御棒 バーナブルポイズン



原子炉圧力容器内部 原子炉容器内部
 の箇所が対象となる廃棄物

原子力安全委員会放射性廃棄物・廃止措置専門部会資料より作成

出典: 総合資源エネルギー調査会 電気事業分科会 原子力部会 放射性廃棄物小委員会 第1回配付資料 資料4
http://www.enecho.meti.go.jp/info/committee/data/waste_01_04.pdf

放射性廃棄物の発生量推計(参考)

・ 原子力施設の運転、解体に伴い、様々な放射性廃棄物が発生する。

		平成21年度末保管量	平均年間発生量(概算)
高レベル放射性廃棄物 (ガラス固化体)	国内分	354本 ^{*1}	約1,000本/年 ^{*3}
	返還分	1,338本 ^{*2}	約2,200本 ^{*4}
長半減期低発熱放射性廃棄物	国内分	約150,000本 ^{*2}	約16,000本/年 ^{*5}
	返還分	0本	約3,600本 ^{*6}
低レベル放射性廃棄物 発電所廃棄物	余裕深度処分対象	制御棒等: 9,531本 チャンネルボックス: 66,579本 樹脂等: 17,558m ³ ^{*2}	制御棒等: 約300本/年 ^{*7} チャンネルボックス: 約2,000本/年 ^{*7} 樹脂等: 約300m ³ /年 ^{*7} 200ℓドラム缶換算: 約600本/年 ^{*8}
	浅地中(ピット)処分対象	約680,000本 ^{*2}	約38,000本/年 ^{*7,8}
	浅地中(トレンチ)処分対象	約800本	約32,000本/年 ^{*8}
	研究施設等廃棄物	約570,000本	約10,000本/年
ウラン廃棄物		約140,000本	約7,400本/年 ^{*9}

- *1: 「六ヶ所再処理工場に係る定期報告書」(平成22年3月)(JNFL分)
「平成22年版(平成21年度実績)原子力施設運転管理年報」(JAEA分)
- *2: 「平成22年版(平成21年度実績)原子力施設運転管理年報」
- *3: 「特定放射性廃棄物の最終処分に関する計画」(平成20年3月閣議決定)を基に推計
- *4: 「特定放射性廃棄物の最終処分に関する計画」(平成20年3月閣議決定)を基に推計
- *5: 「特定放射性廃棄物の最終処分に関する計画」(平成20年3月閣議決定)を基に推計
- *6: 「TRU廃棄物処分技術検討書」(平成17年9月)及び電気事業者による単一返還の実施を反映
- *7: 「TRU廃棄物処分技術検討書」(平成17年9月)及び電気事業者による単一返還の実施を反映
- *8: 過去5年間の「原子力施設運転管理年報」を基に推計
- *9: 解体引当金算定根拠を基に推計

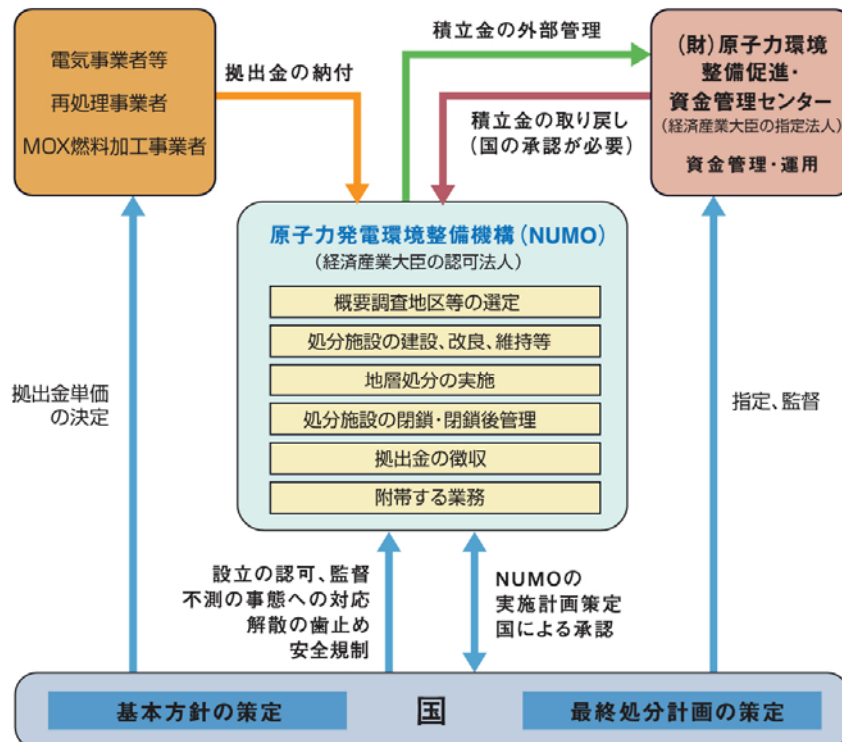
ガラス固化体の単位: ガラス固化体キャニスタ本数
TRU廃棄物の単位: 固形物収納体キャニスタ本数
その他の廃棄物の単位: 200ℓドラム缶換算本数

平成23年3月8日 原子力委員会 新大綱策定会議(第5回) 資料第3-1号より引用 (<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/tyoki/sakutei/siryo/sakutei5/siryo3-1.pdf>)

不明な点が多く、この表についての解説は出来ないが、各放射性廃棄物の発生量について具体的な数値が書かれている資料なので参考までに載せた。

60

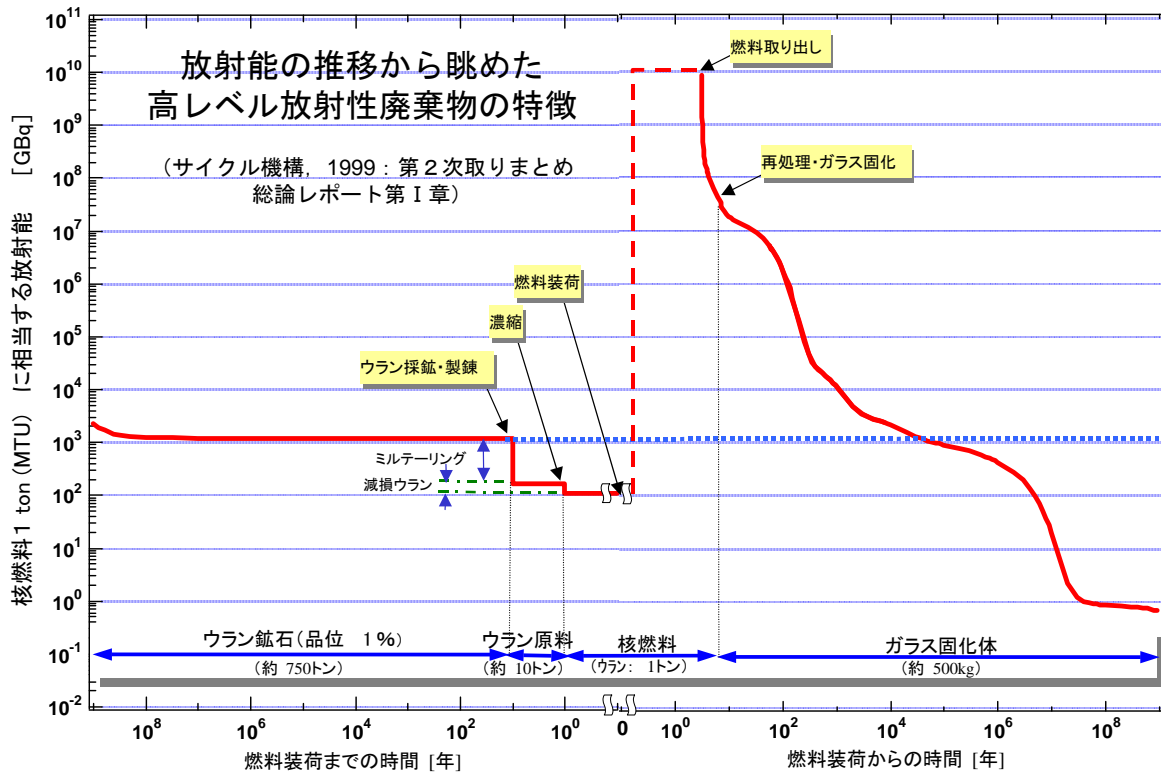
日本における地層処分の実施体制



出典: 原子力発電環境整備機構. "地層処分 その安全性". 2009, p. 159

61

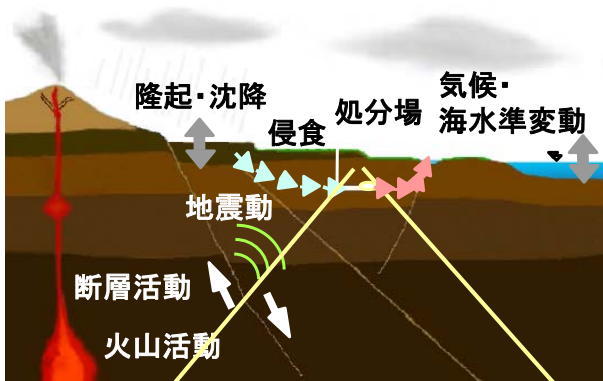
高レベル放射性廃棄物の放射能



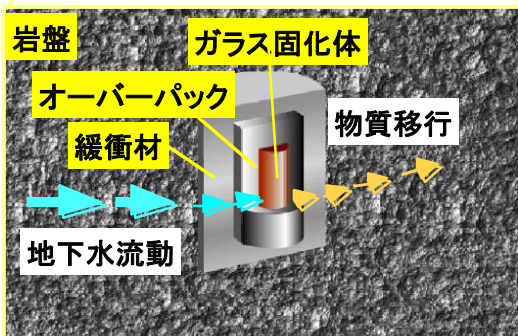
出典: 双方向シンポジウム岡山2010, 梅本博之プレゼンテーション資料『高レベル放射性廃棄物地層処分の安全性「地上管理」と「地層処分」はどちらが安全(危険)なのか?』
http://www.enecho.meti.go.jp/rw/sohoko/dousuru-hlw2010/doc/okayama/3_umeki_1.pdf

62

地層処分システムの長期挙動を理解するために



地質環境の長期的変遷の把握

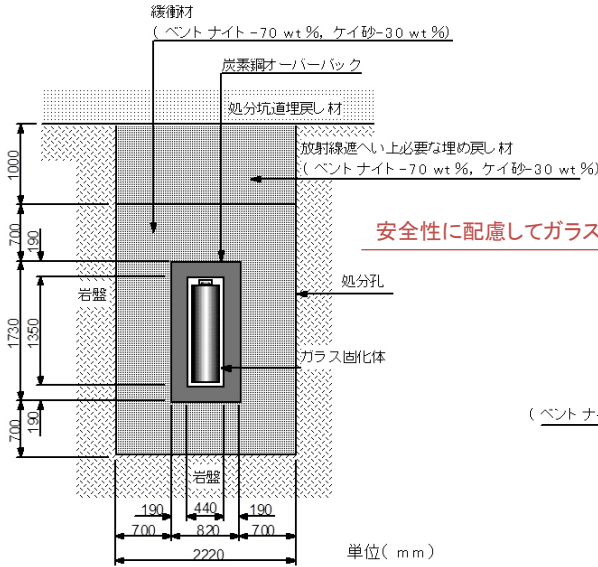


現象理解に基づくモデルの高度化

独立行政法人日本原子力研究開発機構提供の資料を改変

63

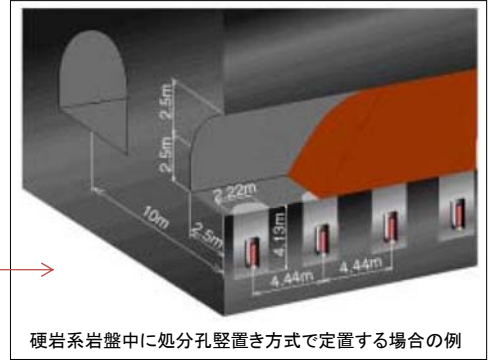
ガラス固化体をどのように埋めるか



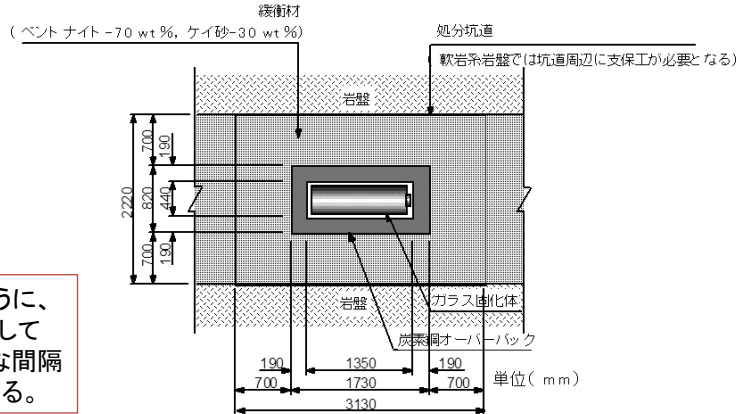
処分坑道縦置き方式の仕様 (硬岩系岩盤/軟岩系岩盤)

無理な圧力がかかって坑道が破壊されないように、ガラス固化体が発する熱でベントナイトが変質してバリアとしての性能が低下しないように、適切な間隔をあけて坑道を配置し、ガラス固化体を定置する。

独立行政法人日本原子力研究開発機構提供の資料を改変



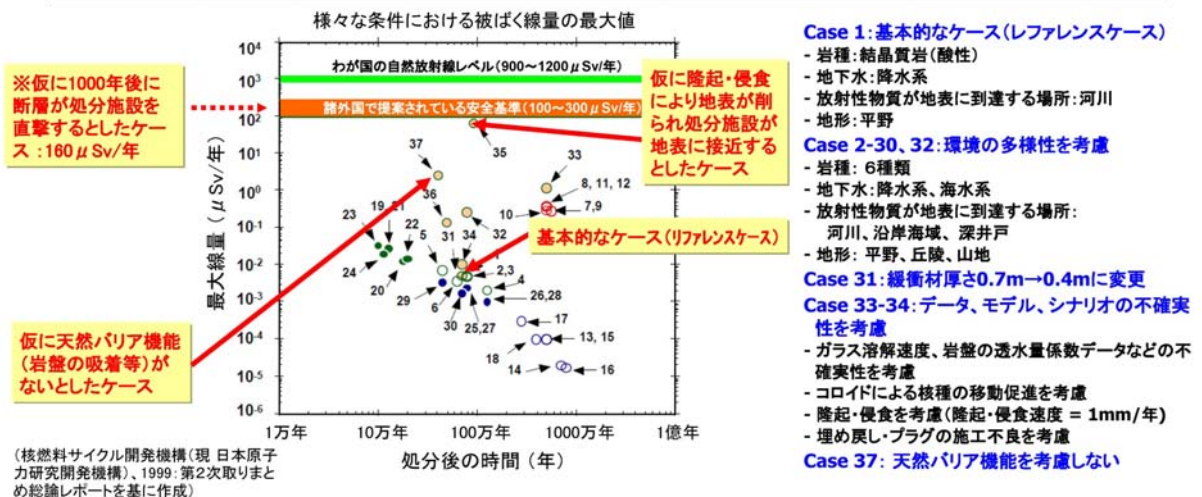
硬岩系岩盤中に処分坑道置き方式で定置する場合の例



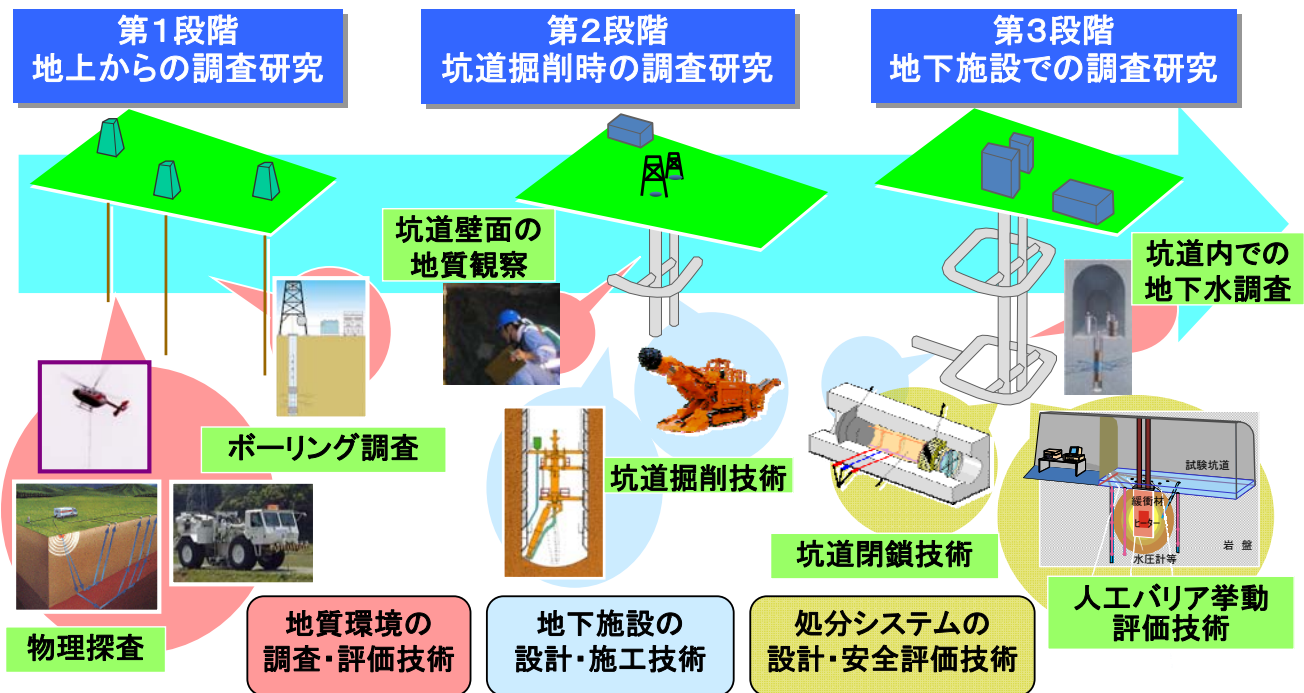
処分坑道横置き方式の仕様 (硬岩系岩盤/軟岩系岩盤)

安全性の確認(不確実性を考慮)

- ・ 基本的なケースの他に異なる岩盤を仮定した場合や、埋め戻しの施工不良、将来の地盤の隆起・侵食など、様々な不確実性を考慮したケースについても計算を実施
- ・ 各ケースの最大線量は諸外国で提案されている安全基準を下回る (※断層が処分場を直撃する仮想的なケースでも安全基準と同等レベル)
- ・ 処分場の候補地が決まれば、より詳細な条件にて被ばく線量を評価し、処分場の選定や、工学的対策に反映させる



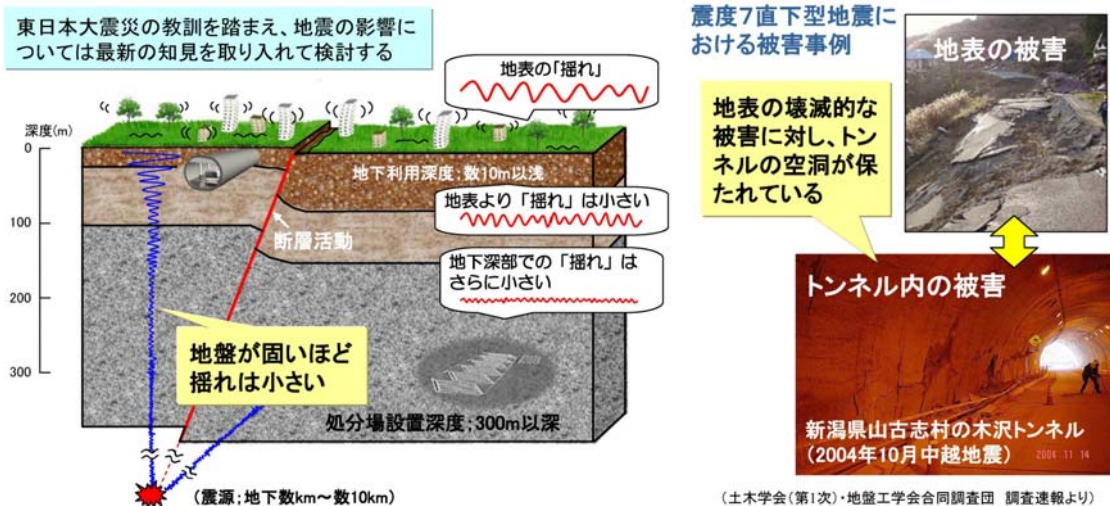
見えない地下の状況を予測しながら掘って確認



独立行政法人日本原子力研究開発機構提供の資料を改変

地震が地層処分施設に与える影響

- ・ 一般に地表部は地盤が軟らかく、地震による揺れが大きい。逆に、地下深くなると地盤が硬いため、地表に比べ地震による揺れが小さい
 - ・ 埋設されたガラス固化体は周囲の岩盤と一体になって揺れる
- ⇒ 埋設されたガラス固化体が地震により破壊される可能性は非常に小さい



出典：原子力発電環境整備機構．“高レベル放射性廃棄物の地層処分の安全性について”．2012，p. 22

岩盤(天然バリア)の役割

- ・岩盤は、人工バリアから漏れ出した放射性物質の移動を遅らせる役割を持つ
- ・地下深部の岩盤では地下水の流れは遅く、かつ岩盤は放射性物質を吸着する
- ・将来ガラス固化体が地下水に接触し、放射性物質が少しずつ溶け出したとしても、地表に到達するまでには数万年～数十万年程度かかると考えられる



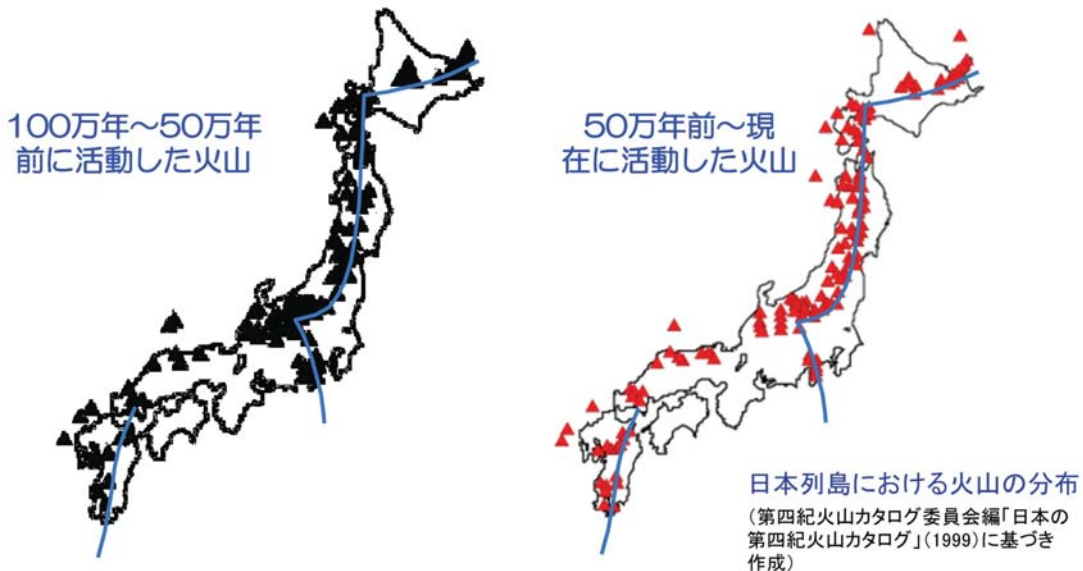
出典:原子力発電環境整備機構. “高レベル放射性廃棄物の地層処分の安全性について”. 2012, p. 30

68

日本周辺の火山分布

- ・プレート運動が変わらないので、火山の発生する場所はほとんど変わりません。
- ・このため、火山が集中する地域と存在しない地域があります。

- ・将来の火山の活動地域と影響範囲を推定し、それらを避けて処分施設を建設することができます。

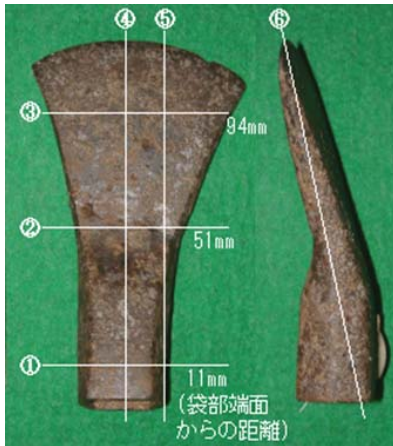


出典:原子力環境整備機構. “エネルギー環境教育 教職員セミナー”. 平成26年1月25日
<http://numo-eess.jp/study/img/2013report/sapporo/20140125eess.pdf>

69

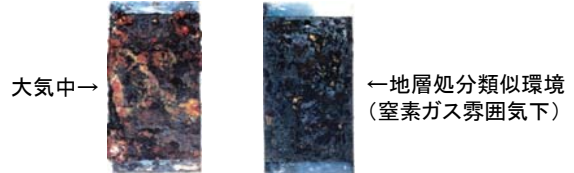
ナチュラルアナログ研究と室内試験

ナチュラルアナログ(自然類似現象)の例 (鉄斧の出土品)



考古学的出土品などを調査するナチュラルアナログ研究では、長期間のデータが取得できる反面、埋められた環境のデータしか取れないという欠点がある。

室内試験の例(炭素鋼の浸漬試験)



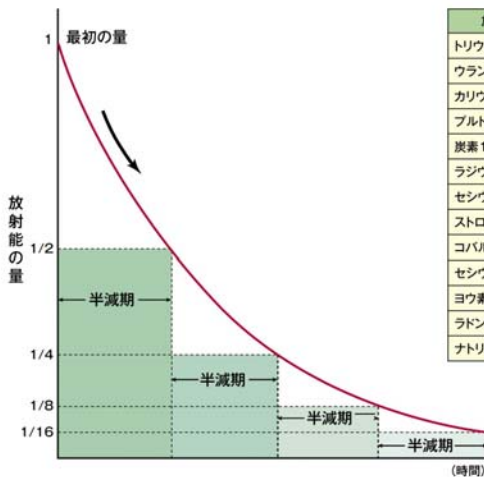
試験条件：温度80°C、人工海水中、ベントナイト共存系、浸漬期間3ヶ月間、炭素鋼(SM400)

室内試験では、試験環境を決めるのは研究者なので、予め欲しい環境を定めてデータが取得できる反面、長期間の試験は不可能という欠点がある。

独立行政法人日本原子力研究開発機構提供の資料を改変

70

放射線に関する単位と放射能の経時変化

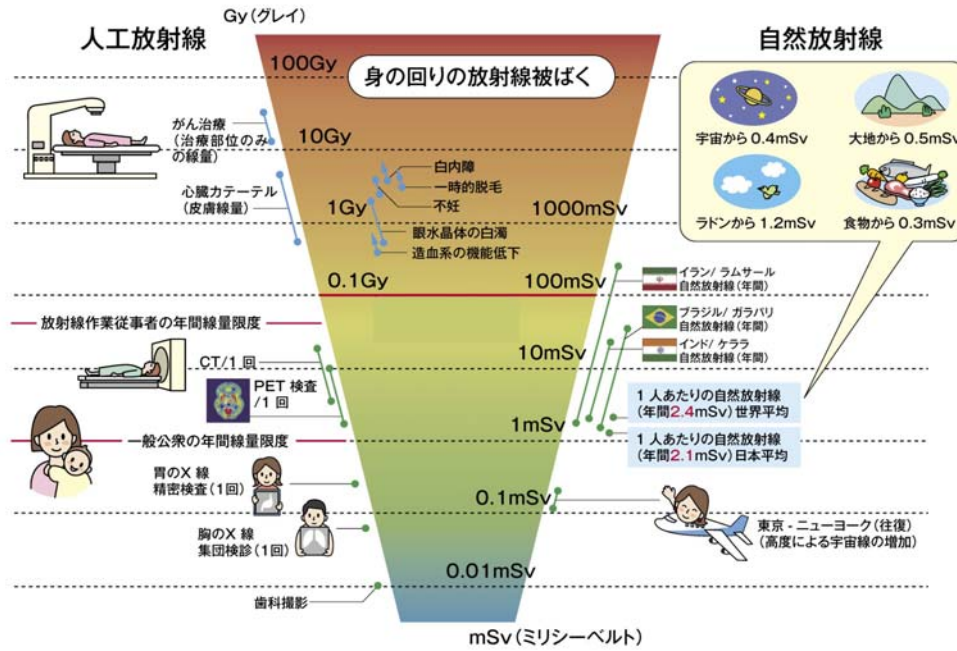


※壊変生成物(原子核が放射線を出して別の原子核になったもの)からの放射線も含む

放射性物質	放出される放射線*	半減期
トリウム232	α - β - γ	141億年
ウラン238	α - β - γ	45億年
カリウム40	β - γ	13億年
プルトニウム239	α - γ	2.4万年
炭素14	β	5,730年
ラジウム226	α - γ	1,600年
セシウム137	β - γ	30年
ストロンチウム90	β	28.7年
コバルト60	β - γ	5.3年
セシウム134	β - γ	2.1年
ヨウ素131	β - γ	8日
ラドン222	α - γ	3.8日
ナトリウム24	β - γ	15時間

名称	単位名(記号)	定義
放射能の単位 国際単位系(SI)		
放射能	ベクレル(Bq)	1秒間に原子核が崩壊する数を表す単位
放射線量の単位 国際単位系(SI)		
吸収線量	グレイ(Gy)	放射線が物や人に当たったときに、どれだけのエネルギーを与えたのかを表す単位 1Gyは1kgあたり1ジュールのエネルギー吸収があったときの線量
線量	シーベルト(Sv)	放射線が人に対して、がんや遺伝性影響のリスクをどれくらい与えるのかを評価するための単位 (1シーベルト=1000ミリシーベルト)

日常生活と放射線



(注) 数値は有効数字などを考慮した概数
目盛(点線)は対数表示のため、ひとつ上がる度に10倍上がる

出典: (独)放射線医学総合研究所ホームページ

電気事業連合会 原子力・エネルギー図面集 6-2-1 をもとに作成 http://fepec-dp.jp/pdf/07_zumenshu_j.pdf (参照2014-2-25)

72

がんのリスクー放射線と生活習慣の比較

相対リスク	黒字は生活習慣に関する全部位の全がん 赤字は放射線を一度に浴びた場合の全部位の固形がん
1.8倍	1000~2000ミリシーベルトの放射線 (1000ミリシーベルト当たり1.5倍と推計)
1.6倍	喫煙者、大量飲酒(エタノール換算量で450g以上/週)
1.4倍	500~1000ミリシーベルトの放射線 大量飲酒(エタノール換算量で300~449g/週)
1.29倍	やせ(BMI<19)
1.22倍	肥満(BMI≥30)
1.19倍	200~500ミリシーベルトの放射線
1.15~1.19倍	運動不足
1.11~1.15倍	高塩分食品
1.08倍	100~200ミリシーベルトの放射線 (100ミリシーベルト当たり1.05倍と推計)
1.06倍	野菜不足
1.02~1.03倍	受動喫煙(非喫煙女性)
検出困難	100ミリシーベルト未満の放射線

(注)

左の表において、黒字は、生活習慣について日本の40~69歳の地域住民を約10~15年追跡調査したデータ(多目的コホート研究)からの引用である。そして、赤字は、広島・長崎の原爆被ばく者を対象に、約40年にわたって放射線影響を研究したデータからの引用である。

長期追跡した結果、当該因子を保有するグループでは、保有しないグループに比べ、何倍(相対リスク)がんのリスクが高くなったのかを示した。このうち、放射線については、原爆による瞬間的被ばくの影響であり、長期にわたる被ばくの影響を観察したものではない。

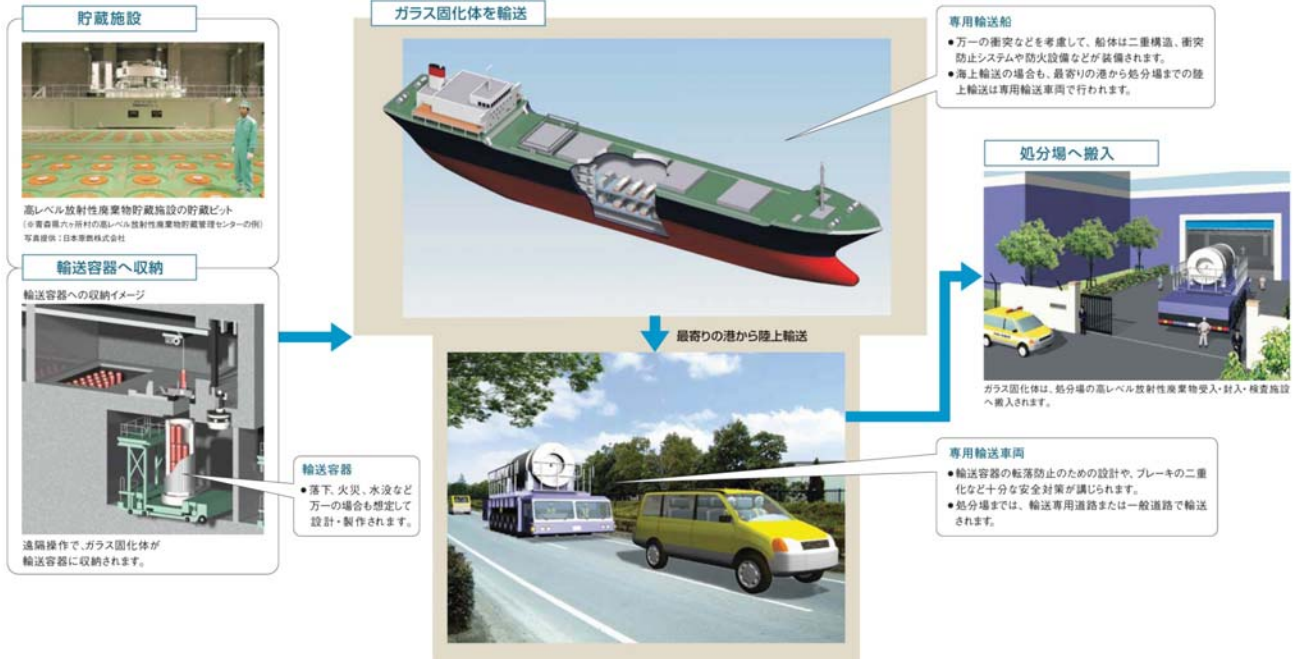
国立がん研究センター「わかりやすい放射線とがんのリスク」を元に作成
(http://www.ncc.go.jp/shinsai/pdf/cancer_risk.pdf)

73

高レベル放射性廃棄物の輸送

高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）の輸送の例

*下記は高レベル放射性廃棄物の輸送の例を示します。地層処分 低レベル放射性廃棄物も同様な方法で処分場まで輸送されます。



出典：原子力発電環境整備機構，“放射性廃棄物の地層処分事業について分冊-1 処分場の概要”，2009，p. 25-26

輸送容器の安全性確認

輸送容器の安全性の確認試験

落下試験

固い鉄板の上に9メートルの高さから輸送物を落下させ、十分な対衝撃強度があることを確認しています。衝撃力は、輸送物を積んだトラック同士が80km/hで正面衝突した際に、輸送物に加わる衝撃力の数倍にも相当します。



9メートルの高さから落下

耐火試験

800度の環境温度での耐火性能を確認しています。800度は、トンネル内での自動車火災事故のような厳しい条件に相当します。



800度の環境温度

浸漬試験

深さ200メートル相当の水圧下でも放射性物質が漏れ出ないことを確認しています。



200メートルの水中に浸漬

出典：原子力発電環境整備機構，“地層処分 その安全性”，2009，p. 73

ガラス固化体の貯蔵方法

安全に処分できる温度に下がるまで高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センターに保管

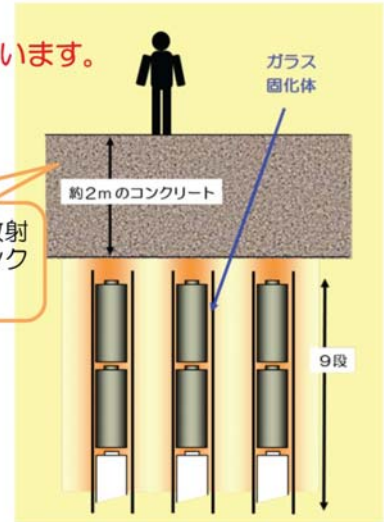
ガラス固化体から出る放射線は、コンクリートにより安全に遮蔽されています。



日本原燃(株) 高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センター (青森県六ヶ所村)
写真提供: 日本原燃(株)

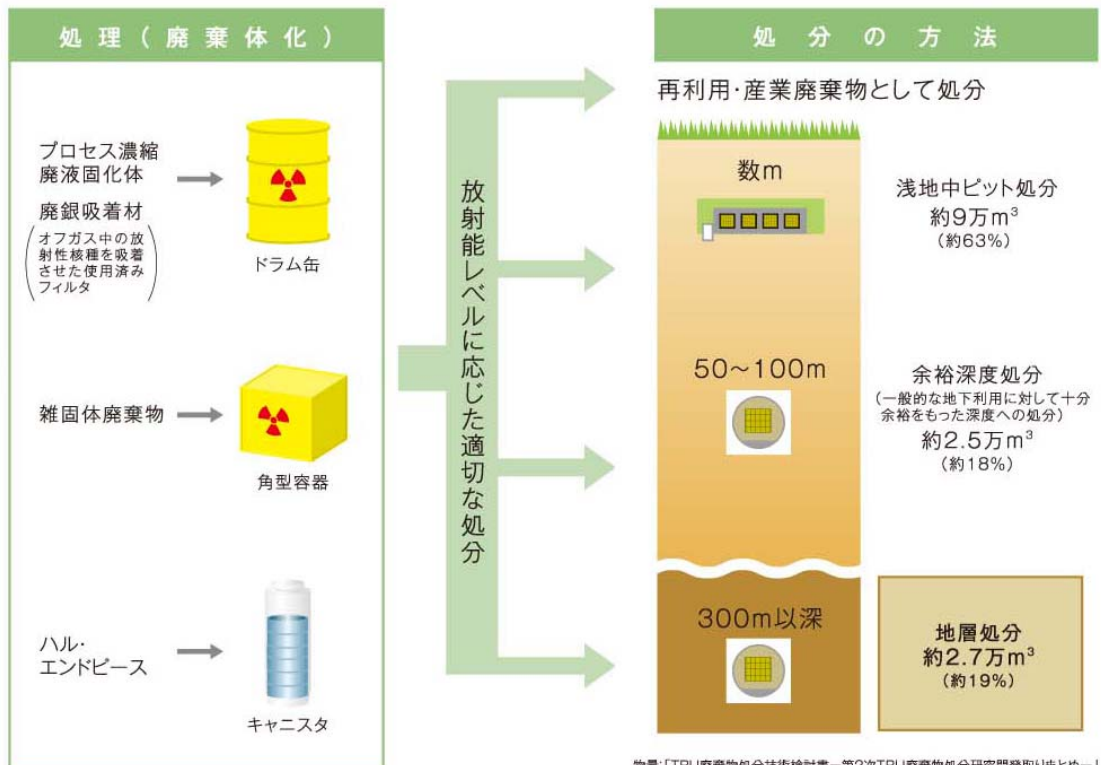
ガラス固化体からは強い放射線が出るが、約2mのコンクリートで十分遮蔽できる。

30~50年貯蔵。この間に放射線量は1/10、発熱量は1/3~1/4に減少。



出典: 原子力環境整備機構. "エネルギー環境教育 教職員セミナー". 平成26年1月25日
<http://numo-eess.jp/study/img/2013report/sapporo/20140125eess.pdf>

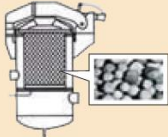
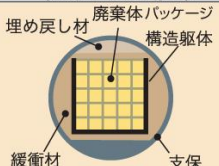
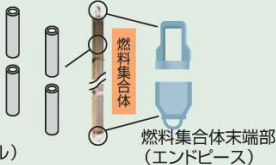
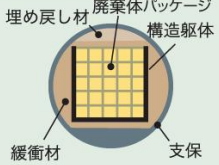
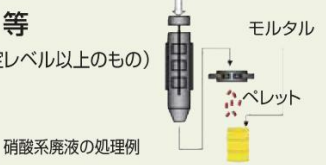



TRU廃棄物の処分方法



出典: 経済産業省資源エネルギー庁. "TRU廃棄物の地層処分について考えてみませんか". 平成20年4月, p.8

地層処分対象TRU廃棄物

地層処分低レベル放射性廃棄物のグループ分けの例

グループ	内容	特徴	処分坑道断面 (円形坑道の場合)
1	排気フィルタ等 (廃銀吸着材) 	<ul style="list-style-type: none"> ●半減期が長く岩盤等に吸着されにくいヨウ素129を多く含む ●発生量が少ない 	
2	ハル・エンドピース 燃料被覆管のせん断片(ハル) / 燃料集合体末端部(エンドピース) 	<ul style="list-style-type: none"> ●半減期が長く岩盤等に吸着されにくい炭素14を多く含む ●発熱量が比較的大さい 	
3	濃縮廃液等 (放射能が一定レベル以上のもの) 硝酸系廃液の処理例 	<ul style="list-style-type: none"> ●人工バリアに影響を与える硝酸塩を多く含む 	
4	雑固体廃棄物 (放射能が一定レベル以上のもの) 可燃物(焼却・溶融) / 難燃物(焼却・溶融・圧縮) / 不燃物(溶融・切断) 	<ul style="list-style-type: none"> ●グループ1～3のような特徴を持たない 	

出典：原子力発電環境整備機構. “地層処分 その安全性”. 2009, p. 29

78

地層処分にかかる費用

- 高レベル放射性廃棄物については、約4万本のガラス固化体を地層処分すると想定した場合に、堆積岩のような軟岩系では2兆8,255億円、花崗岩のような硬岩系では2兆7,143億円のコストがかかると試算されている。
- 地層処分対象となるTRU廃棄物については、約18,100立方メートルの廃棄物を地層処分すると想定した場合に、軟岩系では7,125億円、硬岩系では8,091億円のコストがかかると試算されている。

(参考：資源エネルギー庁放射性廃棄物等対策室. “特定放射性廃棄物の最終処分費用及び拠出金単価の改定について”. 平成25年12月26日)

79