

廃棄物処分の安全確保の考え方

平成29年8月23日

日本原子力研究開発機構 安全研究センター

前田敏克

- 防護期間の長期性や、通常の事業者規制の枠内に収まらない事情をふまえて、国内外ではこれまで多くの議論がなされたが、未だ、自然科学や社会学等の専門家の多くに「なるほど」と思ってもらえるまでには至っていないと感じる
- 「原子カムラ」と揶揄されるが、その中の我々「処分屋」はさらに特殊かもしれないが、処分屋の間では「異端」な考えが一般には「常識」であることも
- まずは、同じ「原子力安全」の関係者間で、廃棄物処分と原子炉の特徴をふまえて、安全確保の考え方において共通であるべき部分、違っていてもよい部分について共有したい

※廃棄物処分に関しては、一部私見も含まれています

※原子炉安全に関する記載について、間違い等があればご指摘下さい

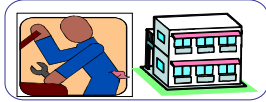
放射性廃棄物の処分概念

放射性物質を起因とするリスクから公衆と生活環境を防護するため、
廃棄物の放射能濃度等に応じた埋設の方法により最終的な処分を行う

放射性物質として扱う
必要のないもの

再利用
再使用

産業廃棄物
処分場



低レベル放射性廃棄物

高レベル
放射性廃棄物

放射能濃度
の極めて低い
もの

放射能濃度
の比較的低い
もの

放射能濃度
の比較的高い
もの

放射能濃度
の極めて高い
もの

クリアランスレベル以下
のもの

トレンチ
処分

ピット
処分

浅地中処分

中深度処分

第二種廃棄物埋設

第一種廃棄物埋設

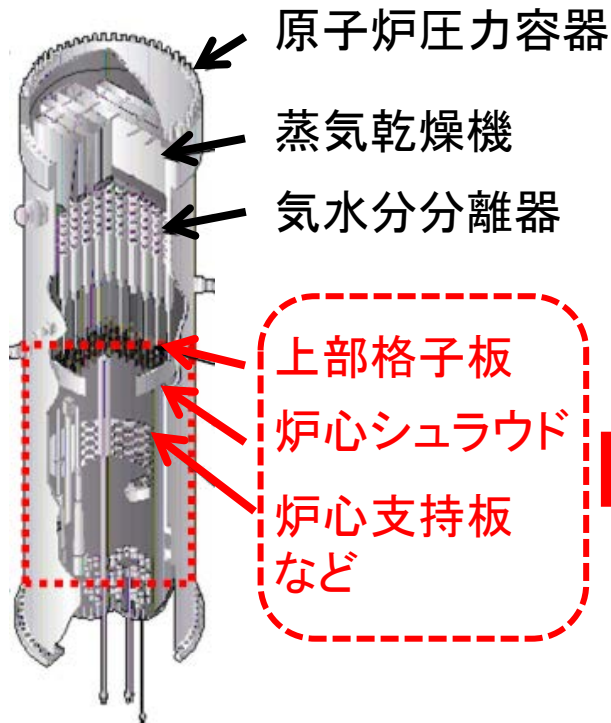
TRU廃棄物

ガラス固化体

地層処分

100m

300m



炉内構造物の例 (BWR)

炉内等
廃棄物
(L1)

L1:8,000トン (0.6%)

L2:63,000トン (4.7%)

L3:380,000トン (28.3%)

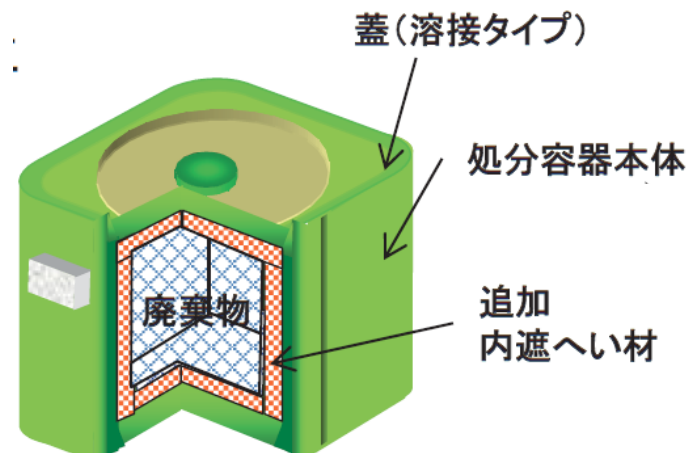
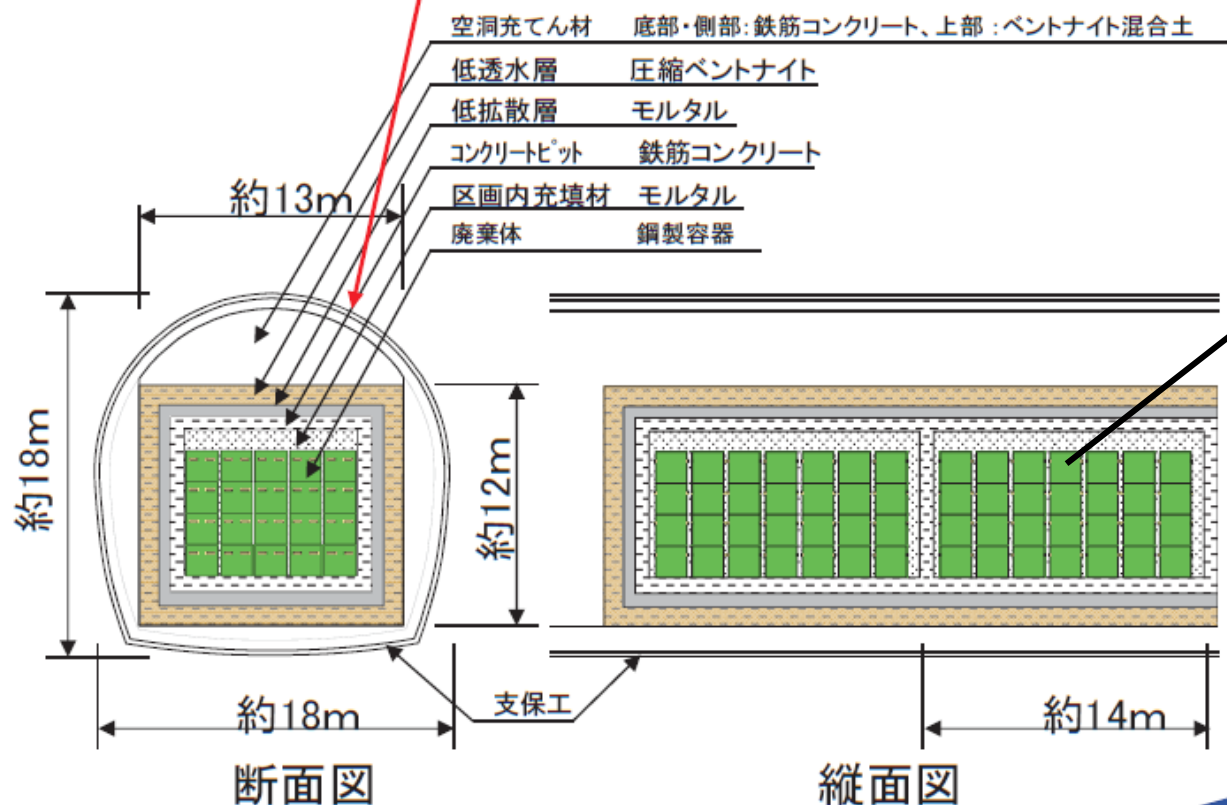
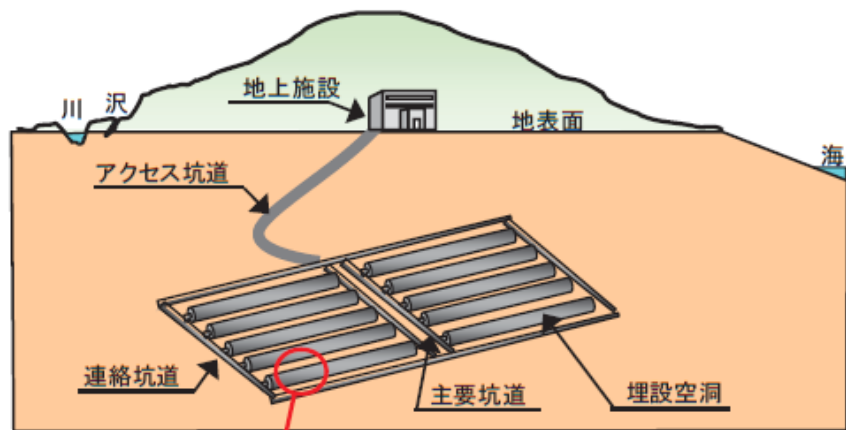
CL:890,000トン
(66.4%)

(57プラント 総量:約1,341,000トン)

- 放射能濃度の比較的高いもの(L1)
- 放射能濃度の比較的低いもの(L2)
- 放射能濃度の極めて低いもの(L3)
- 放射性物質として扱う必要のないもの(CL)

発電用原子炉施設の廃止措置に伴い発生する
放射性廃棄物の推定量

中深度処分施設と処分容器の例



外容器: 圧延鋼板溶接(肉厚5cm)
 外寸法: 縦1.6m × 横1.6m × 高1.6m(or1.2m)
 外容積: 約4m³ (or約3m³)
 最大重量: 約28トン(内部充填要否検討中)

中深度処分 of 事業段階

防護上の問題を生じうるような状態に至ることは合理的に想定し得ないことを確認して事業者規制を終了

事業者規制期間中

規制期間終了後

(主にモニタリングとPSRを実施)

国による掘削制限(無期限)

埋設開始

埋設終了

坑道閉鎖終了

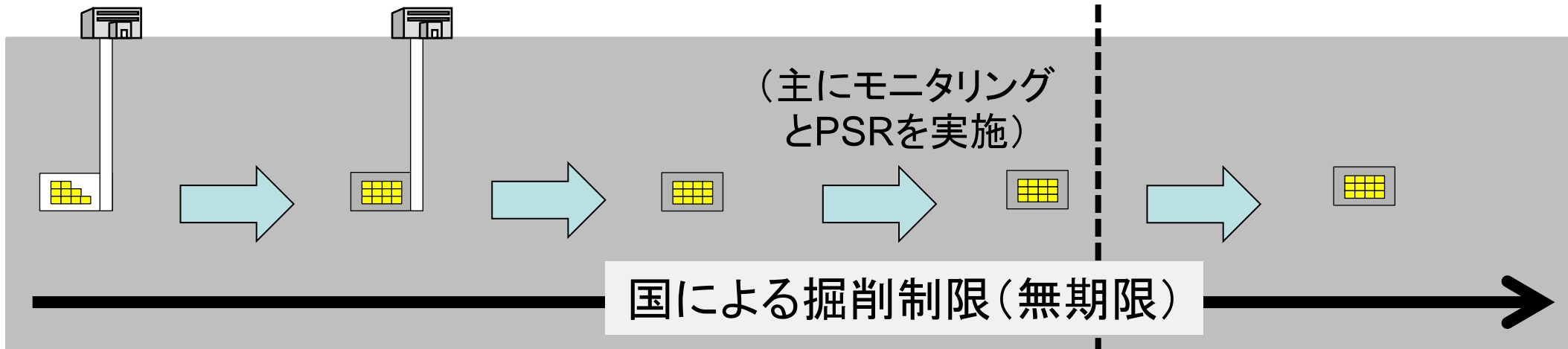
埋設終了

坑道閉鎖終了

廃止措置終了

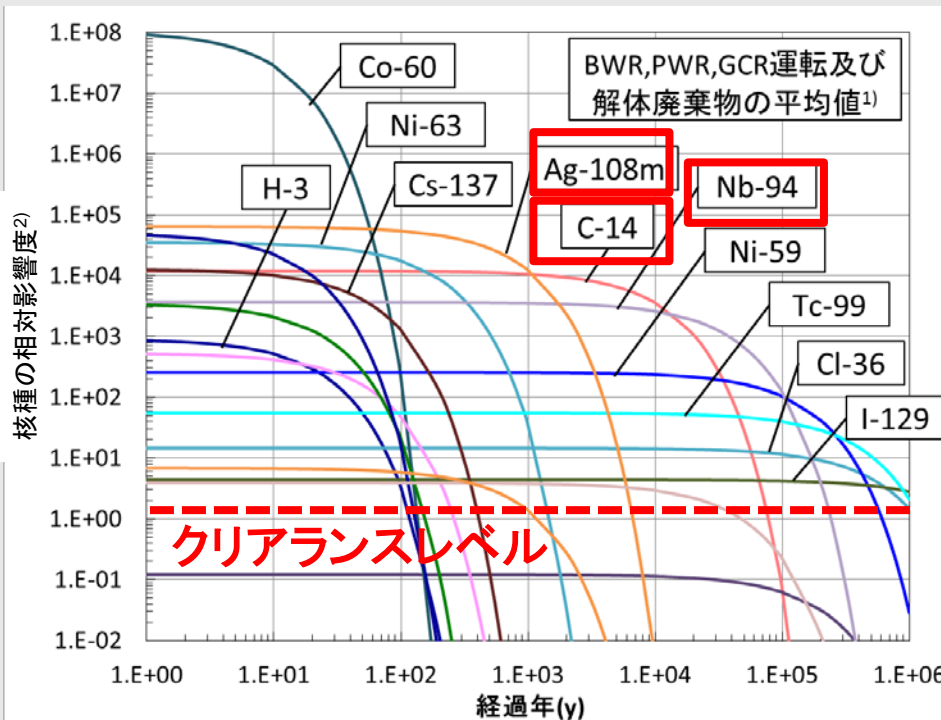
数10年

300~400年



	中深度処分(閉鎖後)	原子炉施設など
ハザード源の状態	<ul style="list-style-type: none"> ・固体、静的な状態 ・基本的に制御(電源も)不要 	<ul style="list-style-type: none"> ・高温・高圧、液体・気体状態 ・制御が必要
事業終了後のリスク	長半減期核種が残存するため、適切な処分が行われなければ、数万年を超える長期にわたり人への影響が生じる可能性	施設は撤去され、必要に応じ除染が行われてからサイト解放されるため、人への影響が生じる可能性はない
防護対象期間と主な課題	将来にわたって、生活環境への核種の移行を抑制すること →通常被ばくのALARA	施設の操業期間中(数十年)、多量の核種放出を防ぐこと →事故の防止
管理の主体	<ul style="list-style-type: none"> ・事業者:300~400年の管理 ・その後は国による制度的管理(ただし、負担はできるだけ少) 	<ul style="list-style-type: none"> ・事業者:数十年間の管理 ・通常は、その後の制度的管理は不要

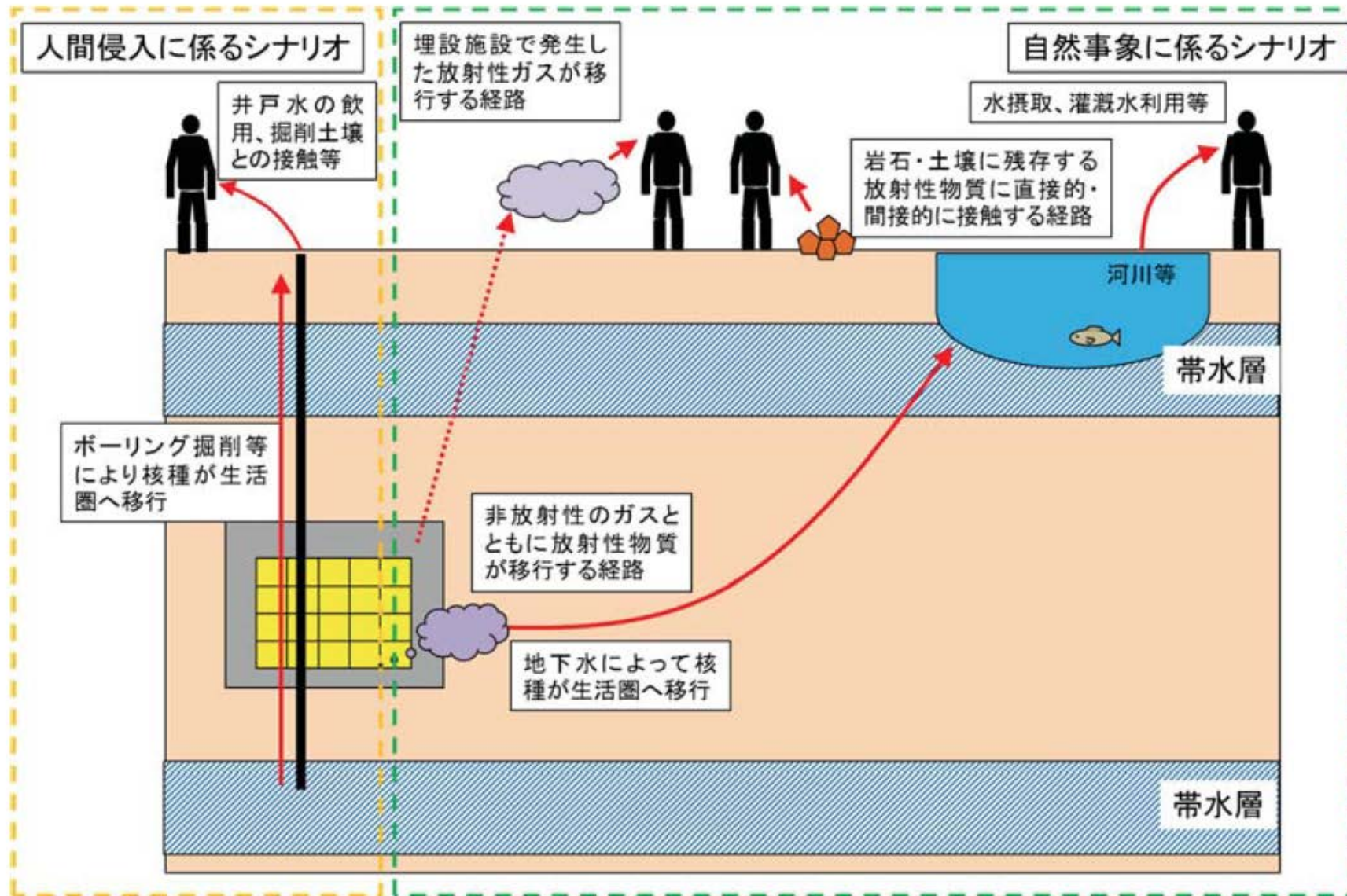
	中深度処分	原子炉施設など
数十年間	地上施設における取扱い時のスカイシャインの要因となるCo-60	事故時に放出され易いI-131、Cs-134,137、Ru-106など
数百年以降	長寿命のC-14、Nb-94、Ag-108など	



炉材の開発においてバックエンドにわたるライフサイクルのリスク低減の視点を加えることも合理的

1) 電気事業連合会「余裕深度処分対象廃棄物に関する基本データ集(一部改訂)」(平成26年12月25日)より作図
 2) 人への影響の程度も加味してとらえるため、クリアランスレベルを基準に各核種濃度を規格化

		中深度処分(閉鎖後)	原子炉施設など
短期的な 多量の 核種放出	内的 事象	— (バリアを破るエネルギーは無い)	故障など
	外的 事象	<u>自然事象</u> ・火山・断層等の地下事象 <u>人為事象</u> ・偶発的な人間侵入(掘削) ・悪意の人間侵入 (ただしリスクは小さい)	<u>自然事象</u> ・火山・断層等の地下事象 ・津波、竜巻、火砕流等の 地表事象 <u>人為事象</u> ・航空機落下、近隣火災等 ・テロ・軍事攻撃 (標的又は巻き込まれ)
長期的な 核種放出	外的 事象	・侵食による地表への接近 ・地下水を介した核種の 漏出、移行	—



公衆の被ばく経路(赤い矢印は核種移行を表す)

		中深度処分(規制期間終了後)	原子炉施設
発生防止	設計	<u>自然現象</u> ・火山、断層、侵食域から10万年離隔 <u>人間侵入</u> ・生活環境から10万年離隔(深度70m) ・鉱物資源からの離隔	・保守的設計 ・安全系 ・工学的安全施設
	管理	<u>人間侵入</u> ・国による無期限の掘削制限(法律)	・制御、監視
影響緩和	設計	<u>自然現象</u> ・人工バリア、天然バリアによる移行抑制 <u>人間侵入</u> ・人工バリアによる区画	・工学的安全施設
	管理	ー(今のところ)	・AM
避難等	管理	ー(生活環境から施設が離隔されており緊急措置は不要だが、認知は必要)	・防災計画 ・公衆の避難等

		中深度処分	原子炉施設など
排除要件	対象断層等	<ul style="list-style-type: none"> ・造構応力により変位が生じた長さ約5km以上の断層(活断層か否かを問わず) ・重力作用により変位した地すべり面 	<ul style="list-style-type: none"> ・将来活動する可能性のある断層等(約12~13万年前以降の活動が否定できないもの)
	施設の離隔距離	<ul style="list-style-type: none"> ・断層長さの1/100以上 ・地すべり面から離す 	<ul style="list-style-type: none"> ・活断層等の露頭がない地盤(Sクラス構築物)
未知の活断層による影響	想定する	<ul style="list-style-type: none"> ・地表に至る地下水流動場の変化 	<ul style="list-style-type: none"> ・施設直下におけるMw6.5地震による揺れ
	想定しない	<ul style="list-style-type: none"> ・施設の変位、せん断 	<ul style="list-style-type: none"> ・施設の変位、せん断

	中深度処分	原子炉施設など
規制期間	300～400年	40～60年
収入	廃棄物受入れ開始～埋設終了までの間は収入があるが、その後廃止措置までの300～400年は収入なし	運転開始～廃止措置までの間は収入あり
異常時の対応	坑道の閉鎖後では、修復や安全な回収に高度の技術的能力を要し、コストも大	SAが起きれば、対応には高度の技術的能力と膨大なコストを要する
経理的基礎について	－（今後検討）	主に施設の建設に関して審査

十分な技術的能力と経理的基礎を、300～400年間にわたり安定的に保持するため、資金の確保に関する措置や業務困難な場合等の不測の事態への措置が国により適切に講じられる等の手当が必要

改正原子炉等規制法(H29.4.14公布)における規定(抜粋)

- 原子力規制委員会は、廃棄物埋設の事業開始前に、当該事業に係る廃棄物埋設施設の敷地及びその周辺の区域並びにこれらの地下について一定の範囲を定めた立体的な区域を指定するものとする。
- 原子力規制委員会は、前項の規定により提出された記録を公示するとともに、これを永久に保存しなければならない。
- 指定廃棄物埋設区域内においては、原子力規制委員会の許可を受けなければ、土地を掘削してはならない。ただし、指定廃棄物埋設区域に係る廃棄物埋設施設を設置した廃棄物埋設事業者がその事業として当該指定廃棄物埋設区域において行う土地の掘削については、この限りでない。

改正原子炉等規制法(H29.4.14公布)に対する衆参の附帯決議※(抜粋)

- 中深度処分を行う第二種廃棄物埋施設設については、放射能濃度が比較的高い廃棄物を数百年にも及ぶ長期間取り扱うことから、その間、事業者によって安定的に事業が継続されるよう、当該事業者の体制強化を図る施策の実施も含め、必要な指導・監督を行うこと。また、事業者による管理終了後に放射性物質の漏えい等が発生した場合においては、国が責任を持ってその対処に当たること。

※国会における附帯決議:

法律の運用や、将来の立法によるその法律の改善についての希望などを表明するもの。法律的な拘束力を有するものではないが、政府はこれを尊重することが求められる。

原子力規制委員会(7/31臨時会)

: ALARA&線量拘束値の考え方を基本的に普遍的な考えとして了承

- 人工バリアについての適切な設計プロセス
 - 構成要素の設計・施工方法について、国内外の類似施設の技術との比較等を行い、それらと遜色ないものとする
 - 構成要素を組み合わせた人工バリア全体(地下施設)の性能を比較し、優れた設計を選ぶこと(核種の年間漏出率や積算漏出量を指標)

- 天然バリアについての適切な設計プロセス
 - 火山、断層等に係る排除要件に適合する区域において、核種の移行抑制の観点から適した場所に地下施設を配置(生活環境への核種の年間放出率や積算放出量を指標)

実際の審査で適格な判断ができるか？が最大の論点

→ 設計プロセスに関する明瞭かつ詳細な審査ガイドが必要

- いつかの時点で人工バリアが壊れ、放射性物質が天然バリア中を移行し地表に達するという蓋然性は高いと考えざるを得ないため、自然現象に伴う被ばくは「通常被ばく」として、線量拘束値を超えないよう設計
- 「人間侵入」による被ばくの発生はいくつかの偶然が重なる必要があり、自然現象に比べて蓋然性は低いいため、「通常被ばく」とする必要はない

被ばく状況	計画被ばく	計画被ばくor緊急時被ばく	
被ばくの種類	通常被ばく	潜在被ばく	
原子炉施設	ALARAとしつつ 0.05mSv/y以下	設計基準事故	重大事故
		5mSv/回	100TBq/回？
中深度処分 (閉鎖後)	<ul style="list-style-type: none"> ALARA 0.3mSv/y以下 	人間侵入	
		20mSv/y or 回？	

原子炉施設の線量基準はリスクベースというよりも実績ベース？

- 廃棄物処分安全と原子炉安全とでは、ハザード源の特徴や防護を要する期間、事業者規制終了後の制度的管理の要否などは異なるものの、以下の考え方は共通と考える
 - 安全設計と安全管理により安全を確保
 - 発生防止や影響緩和といった対策によって防護する
- まずは、共通であるべき部分、違ってよい部分についての相互理解が深まれば幸い
- その上で、見落とししたり、想定から外してしまっている大きなリスクはないか？を考えていければと思う

以下、参考資料

「炉内等廃棄物の埋設に係る規制の考え方について」(平成28年8月原子力規制委員会決定)についての意見公募において、処分概念や規制終了の考え方に対して寄せられた異論を抜粋したもの:例(1)~(8)を紹介

- 「埋設された炉内等廃棄物は、数万年を超える長期にわたり人への潜在的な影響が残る可能性があるが、こうした長期間にわたり事業者を規制して管理させることにより安全を確保することは現実的でない。このため規制は、防護上の問題を生じうるような状態に至ることは合理的に想定し得ないこと等を確認した上で、有限の期間で終了するものとする。...事業開始後 300~400 年程度を念頭に置く」

右のことは、およそ人間として、おのれの責任を最後まで負う心構えのない言葉であると思う。そもそも、そういう何万年も人に危害を及ぼす物質を後世にのこす事業をするべきではなかった。しかし、もうあるのだから、なんとしても責任を子々孫々まで背負わなければならない。

視えないところに、埋めてしまったら、忘れやすい人類がそれを管理し続けることを期待するのも愚かに思う。

(続き)

国や政府の形が変わったら書類も、言い伝えも失われるかもしれない。災害で場所が忘れられることもありえる。ゆえに、これらのものを地層処分せず、明らかに、誰にも視える場所に、安置し、視える限りそれを守るのが、人類としての責任の取り方ではあるまいか。

古墳やピラミッドのように地上にある構築物は、みな、簡単には壊さず、それらを尊重する。原子力施設のあった場所に、視える形でそのまま安置し子々孫々守ることを誓わないととても安心できない。

当然、これをするべきなのは、事業者にかぎらず、原子力政策を始め進めた国であると思う。炉のある自治体と真摯に話しあって、その間の補償も必要になるかもしれないが、核燃料のリサイクルなどやめて、その分の費用をあてることで、ねん出もできるかもしれない。とにかく、地層処分をして適当な年数で管理を終わりにしようとする考え方には反対である。

- 今回の検討では、中深度処分についての検討がされており、前提としては地中への埋設ありきで進められている。しかしながら、昨年、従前からの方式とは異なり、科学的有望地を国が提示して最終処分地を建設しようという流れに変わっている事から分かるように、そもそも、超長期にわたる地殻変動の可能性が無い土地を探索し、そこに埋設することは事実上不可能である。だからこそ、幌延問題にあるように、最終処分地を選定することは非常に困難である。地震国ではないドイツにおいてさえ、最終処分地の決定を覆し、ゼロからやり直すと方針を転換したことは記憶に新しい。

従って、地中への埋設という基本方針をまず撤回し、原子力施設で発生した汚染物は、敷地内で永続的に安全に管理する方向を基本方針とし、また管理作業は国の直轄事業(但し費用は原発などを推進してきた電力会社などが全額負担)とすべきである。

➤ まず、もうこれ以上、核廃棄物がでることのないように、すべての原発を停止し廃炉にして下さい。

いくら処分方法や処分地のことを考えても、原発を稼働させ続ければ核廃棄物は増え続けます。

そもそも、地震国日本に安定した地層などありません。地層処分すれば安全だというのは幻想です。

原発は解体せず、現状のまま「負の産業遺産」として保存管理してください。

- 放射性廃棄物を地中に埋設することは、放射性物質の処理としては不適切です。地震等の危険が回避できる安全な埋設地がありません。放射性廃棄物の地中への埋設は、放射性物質を無制限に拡散する危険を回避できません。絶対にやめるべきです。

- 日本のように地震が多い国で、長期に地殻変動のない場所はない。
地下埋設ではなく、地上で国が常時監視しながらの安全な保管方法
がとられる必要がある。
また、炉内等廃棄物は発生した場所での保管をするべきで、放射性
物質を拡散するべきではない。

- 炉内等廃棄物の埋設にかかわって、現在の科学技術では地層処分が難しいと日本学術会議が以前より判断していることから、炉内等廃棄物の処分にかかわる科学技術が十分確立されるまでは、日本学術会議が提案している「暫定保管施設」による地表管理が望ましいと考えます。

埋設(や地層処分)の困難さとして、まず、人工バリアの欠点として、ケイ砂とベントナイトを混ぜて締め固めたブロックが、地下水に含まれる塩水および塩化物等で結合がほどけて分解されてしまい、バリアの機能をなさなくなることがあげられます。(人工バリアのシーリングテストに使われるのが蒸留水によるデータしかないので、今後は実際の地下水でテストする必要があります。また、たとえ真水であっても、数年単位の長期間浸しておくともやはり結合がほどけてバリアの機能を果たしません)

(続き)

そして、日本列島の大部分で地震や噴火等の可能性があるために、埋設(や地層処分)をした場合、万が一何かが起こった際の対処ができなくなるというおそれがあります。

地下水のある場所に埋めるということは、将来的に汚染物質が海に出てしまうということも考えなくてはなりません。

日本列島のどこにも埋めて良い場所がなく、数万年にわたる安全管理ができる技術もまだありません。

したがって、現在の状況では、炉内廃棄物等の埋設は時期尚早であり、「暫定保管施設」による地表管理を行いつつ、来たるべき科学技術の進歩を待つしか無いと考えます。

- 科学的なことはよくわかりませんが、埋設には反対です。案を読むと、300～400年にわたる事業を想定されているが、これまでの歴史で400年前のことがどの程度きちんと引き継がれているかと思うと300年～400年の期間の事業には無理があると思われれます。

例えば、私の居住する京都市伏見区では、約400年前の伏見城のことがもう全然わからなくなっています。150年くらい前の寺田屋のことすら、現在の寺田屋が当時のままのものなのかどうかわからなくなっています。

国の機関については、組織がコロコロ変わり、そのたびに大切なことがきちんと引継ぎができていなかったりしています。

私は、長年国家公務員をしていて、最近退職したばかりです。最近やっと、全省庁共通の文書のシステムが構築されたばかりで、公務員の中には、ずさんな文書管理をしている方もおられます。そのようななかで、300～400年にわたる事業がうまく引き継がれるか疑問に思えます。

(続き)

いっそのことわが国で1000年以上きちんと引き継がれていることに習ってみてはいかがでしょうか。例えば、伊勢神宮や出雲大社、上賀茂神社などの式年遷宮のような方式はいかがでしょうか。埋設をせず、地上で何か建物を建てて保管し、10年から20年サイクルで建て替え移動させるというような方式をとればよいと考えています。

10年後、今よりもよい方法が考えられる可能性もあります。設備の建て替え需要も10年～20年に一度発生することになり、その都度新しい技術のもとで、保管できる利点もあります。とにかく深さなんてどうでもよいのです。

なんでもすぐ忘れる国民性などを鑑み、やはり、埋設はやめてほしいと思います。

- 廃炉後の、炉内廃棄物は、廃炉となった原子力発電所敷地内に乾式保管すべき。

日本国内の原子力発電所は、遅くとも、稼動後40年経過、または、発電所内の使用済み核燃料プールが満杯になるか、いずれかの状態に達するまでに廃炉とし、使用済み核燃料も含めた全ての放射性廃棄物は、廃棄物の処理方法について、公権力による強制執行が不用となるような国内合意が成立するまでの間、原子力発電所式内で乾式保管すべき。

このような意見は決して少数意見ではないように思う
学会として、こうした意見にきちんと答えていくことが必要

廃棄物処分は「計画被ばく」

- 計画被ばくのリスクレベルは(明示されていないが) $10^{-5}/y$ 以下を念頭
 - 確実に生じると考えられる「通常被ばく」
 - 確実とは言えないが生じるおそれのある「潜在被ばく」
- 「通常被ばく」の公衆の線量基準
 - 将来いくつの施設が隣接されるか分からないが、3つ重畳しても線量限度 $1\text{mSv}/y$ を超えないよう $0.3\text{mSv}/y$ の線量拘束値
- 「潜在被ばく」の公衆の線量基準
 - $1\text{mSv}/y$ より大きいどこか
 - 通常被ばくに比べて発生確率又は年当たりの発生頻度が「少なくとも桁で違う」なら、 $10\text{mSv}/y$ 又は $10\text{mSv}/\text{回}$ よりも大きくて良い

原子炉施設では $0.05\text{mSv}/y$

原子炉施設ではDBAやSクラスの基準である $5\text{mSv}/\text{回}$ が相当？

自然現象に伴う被ばく

- 廃棄物埋設施設からの被ばくは、実際に被ばくするかどうか分からないという意味では、いずれの被ばくも「潜在被ばく」
- ただし、人工バリアはいつかの時点では壊れ、さらにいつかの時点では放射性物質が天然バリアを介して移行して地表のどこかに達するという蓋然性は高いと考えざるを得ない
- つまり、潜在被ばくといっても、こうした自然現象に伴う被ばくが将来にわたって「起きない」蓋然性は限りなく低いので、安全設計の思想としては全て必ず起こる「通常被ばく」と見なし、施設からの被ばくは線量拘束値以下となるよう設計

偶発的な人間侵入に伴う被ばく

- 一方、深いところに埋めた廃棄物に対する「人間侵入」による被ばくは、自然現象とは違い、起こるためにはいくつかの偶然が重なる必要があるため、少なくとも自然現象に伴う被ばくよりも発生の蓋然性は低く、自然現象と同様の「通常被ばく」と見なす必要はない
- このため、 $10^{-5}/y$ のリスクレベル以下とするための線量基準は $0.3\sim 1\text{mSv}/y$ よりも大きいどこかで良い
- また、将来人間侵入が起こり、それが認知され、公衆の被ばくが許容できない状態になれば、何らかの防護措置がとられるかもしれない
- その際、現在の基準に照らして「緊急被ばく」のレベルには至らない程度の設計を施しておく、という考え方で、 $20\text{mSv}/\text{年}(\text{or回})$ 程度を線量基準とすることも考えられる