

地層処分概念の開発経緯

第8回 地層処分コロキウム@JAEA
2014.7.28

増田純男

masuda@nsra.or.jp

高レベル放射性廃棄物(HLW)対策の歴史

- 第1期(1950年代～1970年代中頃)
 - HLW問題の認知と対策の模索
- 第2期(1970年代中頃～1980年代末)
 - HLW対策技術として地層処分の選択、その基本的概念確立
- 第3期(1980年代末～2000年頃)
 - 地層処分の研究開発段階から実施段階に移行
- 第4期(2000年頃以降)
 - 地層処分サイト選定等の事業段階に入り、社会的課題に留意した地層処分概念の議論
 - 貯蔵と処分の関係
 - 考慮すべき時間軸
 - 決定の可逆性と廃棄物の回収可能性
 - 地層処分概念の多様性
 - 核種分離・変換の効果

第1期(1950年代～1970年代中頃)

- 1957年、全米科学アカデミー(NAS) レポート:
- “The Disposal of Radioactive Waste on Land”
 - ハンフォードサイトにおいて、タンク貯蔵中のマンハッタン計画により発生した高レベル放射性廃液の漏出による深刻な汚染発生
 - 米国原子力委員会(AEC)はHLW対策の必要性認識
 - 1955年、AECが地層処分の技術的可能性を検討する会議をNASに委託
 - この会議の成果として、岩塩層への定置が有望な方法であるとされ、岩塩に関する研究を開始すべきと提言
- 1965年、ORNLがカンザス州Lyonsの廃坑となった岩塩鉱山にて試験開始

1970年代初めの米国での出来事

□ 2つの事故

- ハンフォードにおいて、1972年にタンク貯蔵の歴史上最大の高レベル廃液漏出事故による広範囲な汚染発生
- 同時期にロッキーフラットのPu工場火災事故、TRUで汚染された大量の放射性廃棄物が発生
- 出来るだけ早い時期に処分場を開設しようとする計画を進める誘因となった

□ 2つのAEC計画の中止

- 1970年にAECは地層処分場をLyonsの岩塩鉱床に立地する計画を決定したが、地元の反対で1972年には中止
- 1972年にAECが発表した、HLW固化体を長期貯蔵するというRSSF (Retrievable Surface Storage Facility) 計画は、それを認めた場合、処分の研究開発が進まず、RSSFがなし崩し的に最終処分場になってしまうというEPAの批判と一般公衆の懸念により中止

第1期(1950年代～1970年代中頃):日本の状況

□ 1962年、原子力委員会廃棄物処理専門部会中間報告書

- 高レベルの放射性廃棄物の処分方式として、タンク貯蔵等の閉じ込め方式は常に監視を必要とするので、最終的な処分とはいえない。
- 最終処分方式として、次の2方式があげられる。
 - ① 容器に入れて深海に投棄すること
 - ② 天然の堅牢な洞窟あるいは岩石層に入れること
- ・・国土が狭いので、地震のあるわが国では最も可能性のある最終処分方式としては、深海投棄であろう。なお、現状では低及び中レベルの廃棄物に留め、高レベルについては研究により安全性が確認されるまで実施すべきでない。

□ 1973年、原子力委員会環境・安全専門部会放射性固体廃棄物分科会報告書

- 高レベル固体廃棄物の処分方法として、人造の保管施設を用いた保管方法について、国際的な技術の進展に注目しつつ研究開発を進める。
- 第1期においては、地層処分は検討対象ではなかった。

第2期(1970年代中頃～1980年代末): 国際的経緯

□ 国際的な環境問題への認識の高まり

- **スウェーデン**: 新規原子炉への燃料装荷の許可条件として、電力会社が使用済燃料(SNF)あるいはHLWを安全に処分できることを示すことを要求する「**原子力条件法**」が1977年に成立、1983年には、SKBが地層処分の実現性評価書(KBS-3)公表
- **スイス**: 国民投票により原子力発電の継続にはHLW対策の技術的実現可能性の提示が条件とされ、1978年に原子力施設の必要性の証明と放射性廃棄物の恒久的な安全管理の保証を求めるよう**原子力法が改訂**され、1985年には、NAGRAが放射性廃棄物処分の実現可能性に関する報告書「**Project Gewähr '85(保証プロジェクト1985)**」を連邦評議会に提出
- **カナダ**: 「核燃料廃棄物管理プログラムに関する1978年の**連邦政府とオンタリオ州政府との共同声明**」に基づき、AECLが地層処分の研究開発を実施することを決定

地層処分の選択経緯(1)

□ 1977年、OECD/NEA/Polvani レポート

「原子力発電計画にともなう放射性廃棄物管理の目標・概念・戦略」
"Objectives, Concepts and Strategies for The Management of Radioactive Waste Arising from Nuclear Power Programmes"

- 現世代は、放射性廃棄物を一定期間、安全に貯蔵する技術能力を保有するが、貯蔵には、人間による制度的・継続的な管理が必要、いろいろな社会的、倫理的側面を考慮すると、最終的には制度的な管理を必要とせず、事後に措置しないでも人間環境から必要なだけ隔離できるような手段を開発することが望ましい。

- 貯蔵(storage); 回収する意図を持って廃棄物を措置すること。継続的な監視を要する一時的な手段
- 処分(disposal); 回収する意図なく廃棄物を放出あるいは措置すること

地層処分の選択経緯(2)

□ 1977年、OECD/NEA/Polvani レポート(続き)

- 長寿命廃棄物のための処分オプション(深地層処分、海洋底下の地層処分、海洋底上の処分、氷床処分、地球外処分、消滅処理)のうち、安定な地層中への閉じ込めることが、最も進歩した解決方法
- 長寿命廃棄物の処分に適していると考えられている地層として、岩塩層への処分が関心を集めているところであるが、粘土質層と硬岩層も候補
- 貯蔵と処分の明確な区別が困難な状況
 - 深地層に設ける“実証過程”の試験中は廃棄物の回収が容易であり、その措置は貯蔵の一形態とみなされるが、もはや、廃棄物を回収しないとしたら、その試験は処分とみなされなければならない。

地層処分の選択経緯(3)

- 1980年、米国「商用放射性廃棄物の管理に関する環境影響評価報告書」
 - “Final Environmental Impact Statement Management of Commercially Generated Radioactive Waste” (DOE/EIS-0046F)
 - 評価対象処分オプション：
 - 地層処分、超深孔処分、岩石溶融処分、島内地層処分、氷床処分、井戸注入処分、海洋底下処分、核種分離・消滅処理、宇宙処分
 - 処分方式の比較の判断基準；
 - 放射線学的、非放射線学的な影響が小さいこと、技術開発の十分な見通しがあり妥当な期間で開発可能なこと、国内法、国際的な合意に合致すること、将来の原子力産業の規模、方式の推移に影響されないこと、万一の場合の修正、修復措置の可能性があること、長期的な維持管理、監視の必要性がないこと
- 結論；地層処分は開発の優先権が与えられる処分方法である。

第2期における日本の状況(1)

- 1975年8月末、投棄による海洋汚染を防止するため、廃棄物(すべての廃棄物を対象)の海洋投棄を国際的に規制しようと、15カ国の批准により海洋投棄規制条約(ロンドン条約)が発効

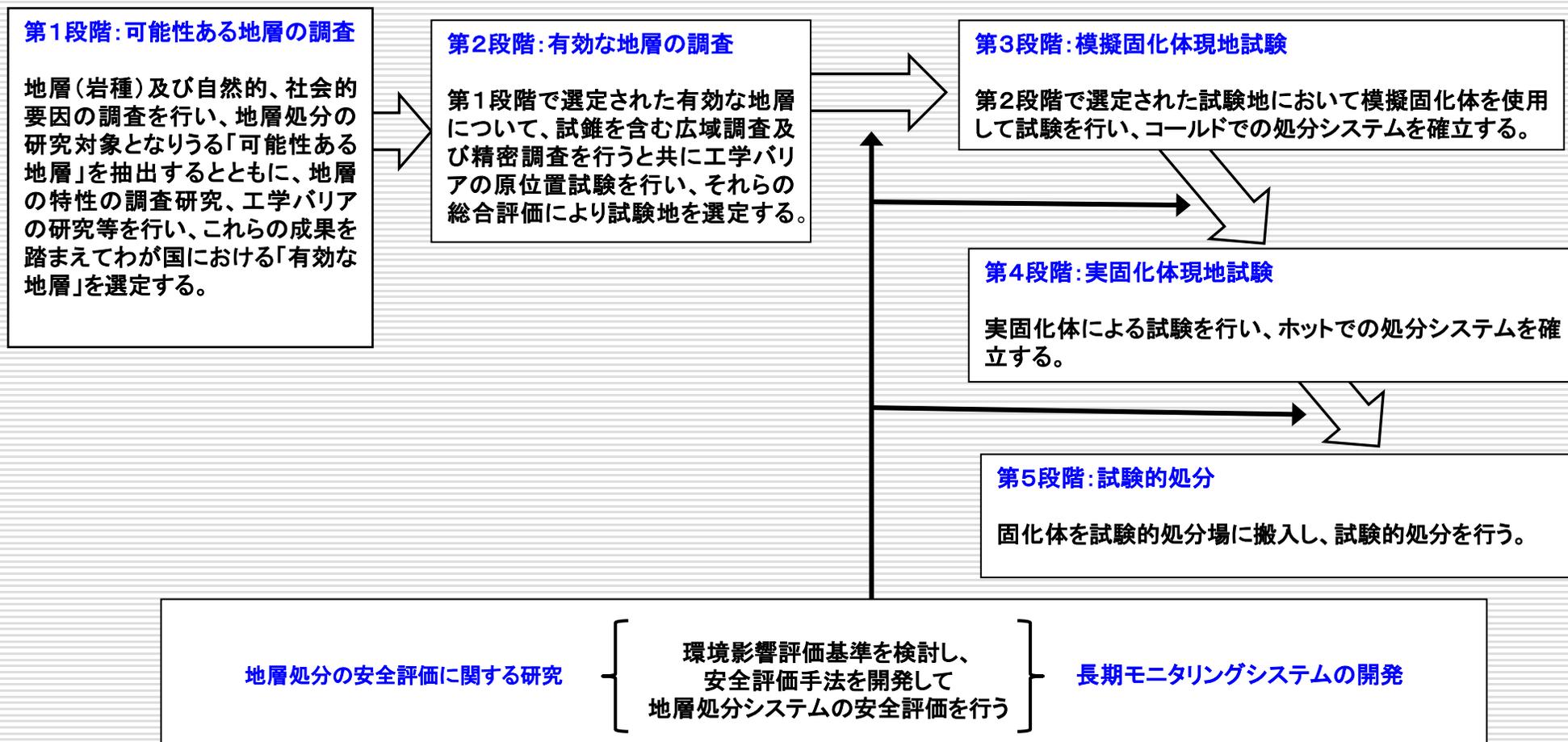
- 1976年10月、原子力委員会決定
 - 「当面地層処分に重点をおき、我が国の社会的、地理的条件に見合った処分方法の調査研究を進め、今後3~5年のうちに処分方法の方向付けを行い、1980年代後半から実証試験を行うことを目標とする」

第2期における日本の状況(2)

□ 1980年、放射性廃棄物対策専門部会報告書

「高レベル放射性廃棄物処理処分に関する研究開発の推進について」

◆ 5段階の手順を経て行う地層処分計画



第2期における日本の状況(3)

□ 1984年、放射性廃棄物対策専門部会報告書

「放射性廃棄物処理処分方策について(中間報告)」

- わが国における「有効な地層」としては、未固結岩等の明らかに適性の劣るもの以外は岩石の種類を特定せずに可能性
- 同一種類の岩石でもそれが賦存する地質条件によって適性に差異
- 地質条件に対応して必要な人工バリアで安全確保可能
- 処分予定地の選定にあたっては自然的条件と社会的条件等に柔軟に対応する余地あり
- 処分予定地の選定は、動力炉・核燃料開発事業団が電気事業者等の協力を得て行い、選定の結果については、国が所要に評価等を行って、その妥当性を確認
- 処分の実施主体については、適切な時期に具体化

地層処分の隔離性能に関する議論

□1983年、全米科学アカデミー(NAS)レポート

“A Study of the Isolation System for Geological Disposal of Radioactive Wastes”

- 対象廃棄物：HLW固化体, 使用済核燃料, TRU廃棄物
- 生活圏への2つの移行経路
 - ✓ 人間侵入や自然事象による廃棄物への接近
 - ✓ 地下水による放射性核種の溶解と運搬
- 廃棄物を地上に置く場合は放射能インベントリーの大きさが安全性の支配的要因の一つであるが、地下に置く場合は、放射能の地下水への移行量が支配要因

地層処分の隔離性能に関する議論

NASレポート(つづき)

□ 廃棄物パッケージの役割

1. 冷却のための貯蔵中の健全性・安全性
2. 貯蔵場所から処分場までの輸送・取り扱いの容易性・安全性
3. 処分後の放射性物質隔離機能

HLW固化体(候補;ホウケイ酸ガラス、高硅土ガラス、シンロック、セラミックス)特性として重要な要素は地下水への浸出率

□ 工学バリアへの期待

- 地下水と固化体の接触抑制
- 地下水侵入後の放射性物質の浸出・逸散の抑制

□ 地層の地質環境特性と天然のバリア機能

□ 安全性の評価基準と評価結果

地層処分の隔離性能に関する議論

NASレポート(つづき)

□ 廃棄物パッケージの構成

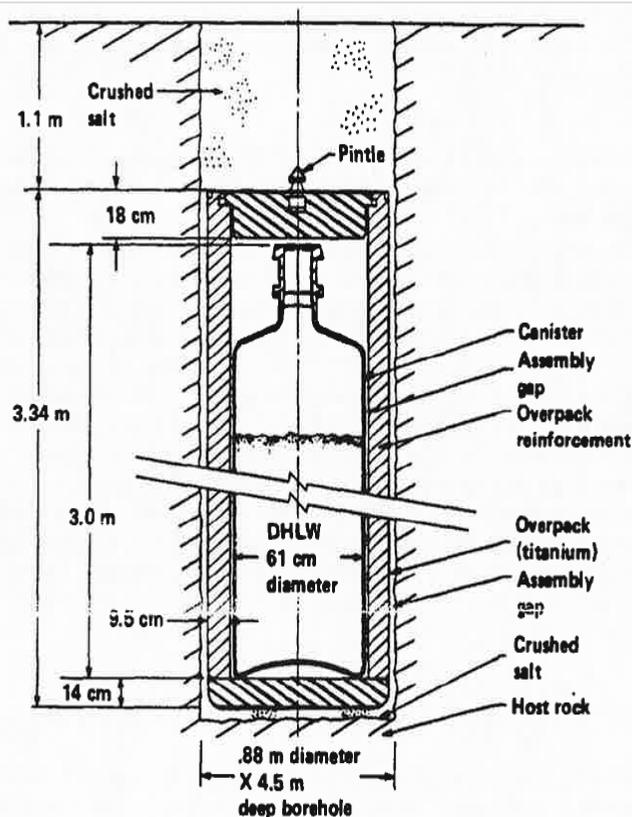


FIGURE 5-6 Defense high-level waste borehole waste package conceptual design. Source: Westinghouse Electric Corporation (1981).

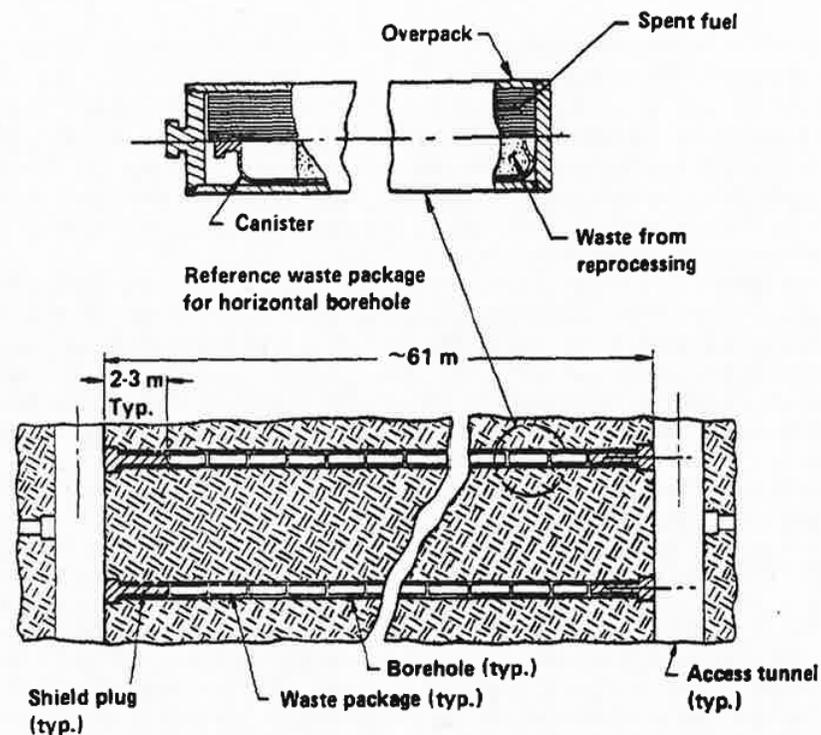


FIGURE 5-8 Borehole type package for horizontal emplacement in basalt. Source: Westinghouse (1981).

地層処分の隔離性能に関する議論

NASレポート(つづき)

● 地層への閉じ込め技術には2種類のシステム

- ✓ 1つは廃棄物と接触する地下水が長期間存在しないことによる完全な閉じ込め性能(岩塩のケース)
- ✓ 第2のものは地質環境が本来的に備えている隔離性能

□ 地質特性:

岩盤による隔離性

□ 水理特性:

透水係数、間隙率、動水勾配

□ 地球化学特性:

➤ 核種の地下水への溶解度限界

➤ 放射性核種の岩石への収着特性

地質環境が本来的に有する物質移動論に基づく包蔵性と多重バリア概念による処分システムの信頼性を示唆

Table 3 . Solubilities and Retardation Factors ^a

Element	Most Probable	Solubility, log ppm				Retardation Factor ^b				
		Reducing: Eh=-0.2		Oxidizing: EH=+0.2		Granite	Basalt	Tuff	Clay, Soil, Shale	Salt ^c
		pH=9	pH=6	pH=9	pH=6					
Se	-3(?)	---	---	---	---	5 50 200	5 50 200	5 50 200	5 50 200	20 200 1,000
Sr	High	-0.2	High	-0.2	High	10 200 2,000	50 200 2,000	20 200 10,000	50 200 5,000	1 10 100
Zr	-4	-4	-6	-4	-6	500 5,000 30,000	500 5,000 10,000	500 5,000 10,000	500 5,000 50,000	300 1,000 5,000
Tc	-3	-10	High	High	High	1 5 40	1 5 100	1 5 100	1 5 20	1 5 20
U	-3	-3	-5	High	High	10 50 500	20 50 1,000	5 40 200	50 200 5,000	10 20 60
Np	-3	-4	-4	-2	-1	10 100 500	10 100 500	10 100 500	10 100 400	10 50 300
Pu	-3	-5	-4	-5	-3	10 200 5,000	100 500 5,000	50 200 5,000	500 1,000 20,000	10 200 10,000
Am	-4	-8	-5	-8	-5	500 3,000 50,000	60 500 50,000	300 1,000 50,000	200 800 50,000	300 1,000 5,000
Cm	-3(?)	---	---	---	---	200 2,000 10,000	100 500 10,000	100 500 10,000	200 2,000 20,000	200 1,000 3,000

地層処分の隔離性能に関する議論

NASレポート(つづき)

■ 溶解度制限による溶出抑制と遅い地下水流速と収着遅延による移行抑制

	半減期	1本あたりに含まれる総放射能 (Bq/本)	ガラスの溶解速度 (Bq/年)	地下水への溶解度 (Bq/L)	起こる結果
Sr-90	29年	5.5×10^{15}	7.8×10^{10}		オーバーパック内で1000年で減衰
Cs-137	30年	7.6×10^{15}	1.1×10^{11}		
Am-241	432年	3.0×10^{13}		6.1×10^6	数万年以上の地下水移行時間で減衰
Am-243	7370年	7.9×10^{11}		3.6×10^5	
Se-79	6.5万年	1.7×10^{10}		6.1×10^2	地表に運ばれる少量の地下水が大量の地表水で希釈
Sn-126	10万年	3.0×10^{10}		6.6×10^5	
Tc-99	21万年	5.2×10^{11}		2.5×10^3	
Zr-93	153万年	7.4×10^{10}		8.6×10^3	
Np-237	214万年	1.8×10^{10}		1.2×10^2	
Cs-135	230万年	1.8×10^{10}	2.6×10^5		

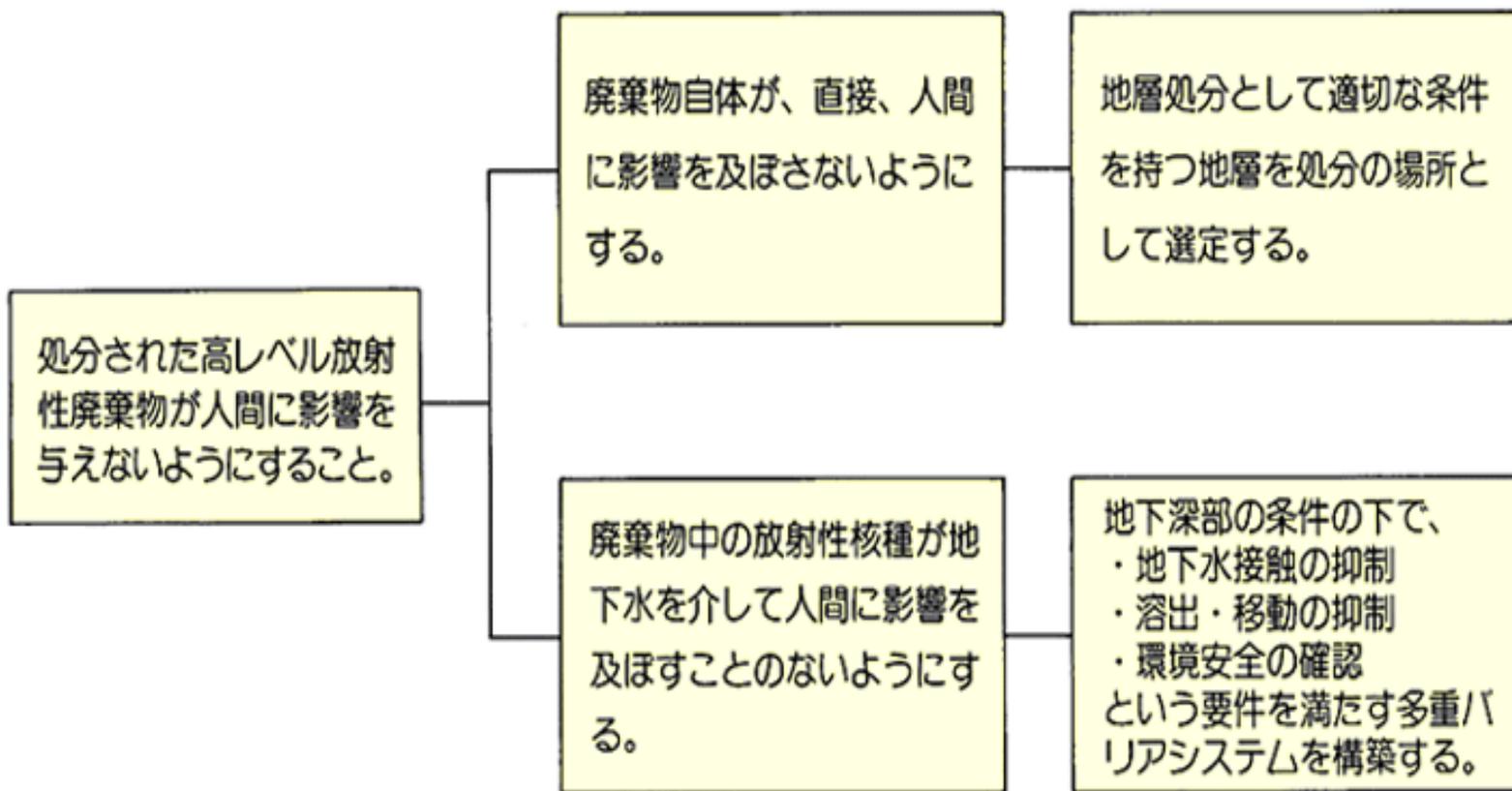
- ほとんどの放射性核種はその場所に固体のまま留め置かれる
- 溶出した放射性核種のほとんどはその近傍で崩壊する
- ごくわずか運ばれる地下水は地表に至るまでに大量に希釈を受ける

日本の研究開発方針の転換

- 1989年末、原子力委員会放射性廃棄物対策専門部会報告書:「高レベル放射性廃棄物の地層処分の重点項目とその進め方」
 - 5段階立地方式の難航から、計画推進に当たって、地層処分についての国民的理解の重要性を再認識
 - 国民の理解を得る重要性に鑑み、多重バリアシステムの性能を明らかにし、これに基づき長期間にわたり安全性が確保できる技術的方法を具体化
 - 地層処分の技術的信頼性に関する研究開発成果を報告書にとりまとめ国が評価するにあたっての重点項目とその進め方を提示

日本の研究開発方針の転換

□「高レベル放射性廃棄物の地層処分の重点項目とその進め方」(続き)



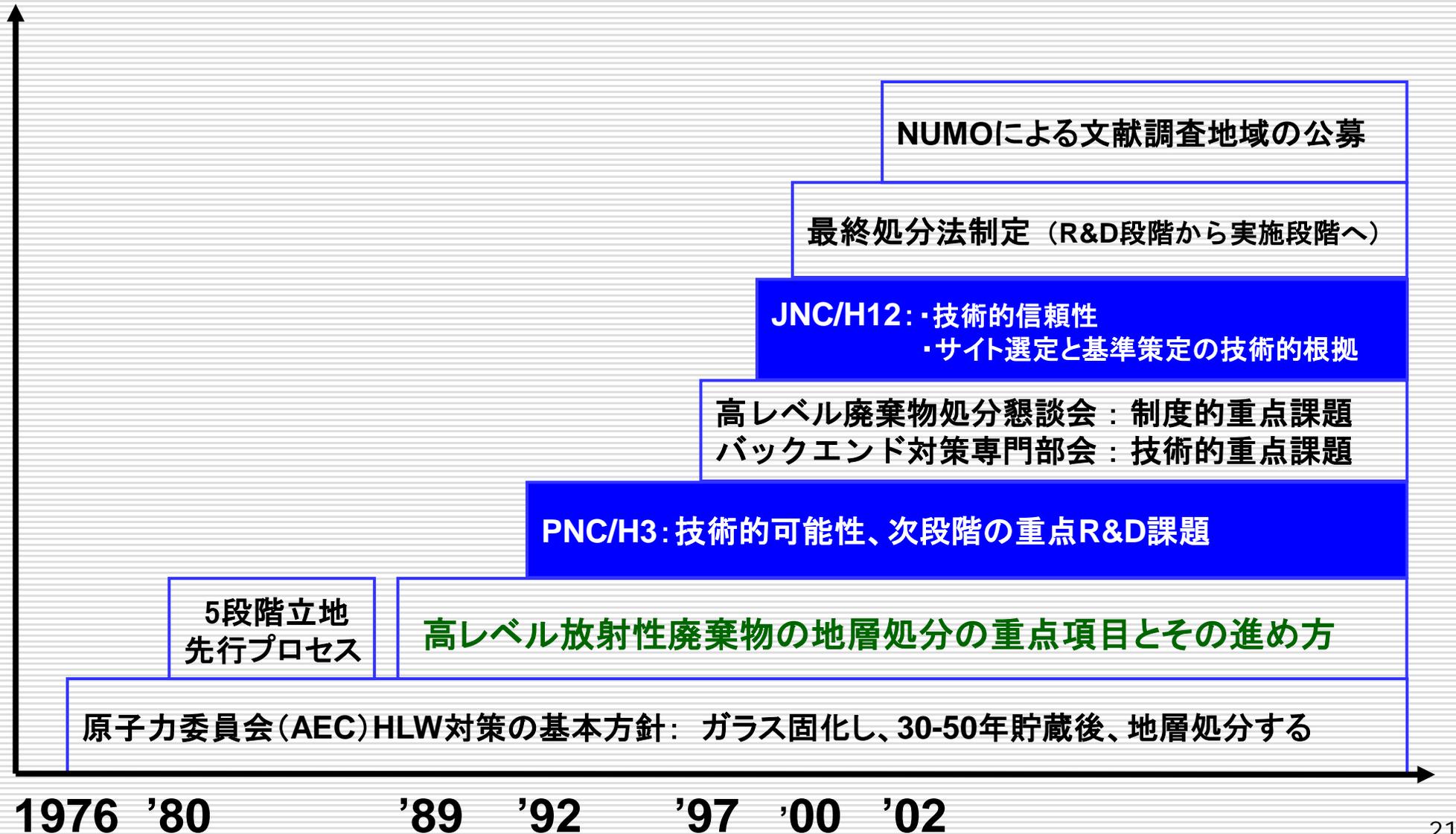
地層処分の基本概念

日本の研究開発方針の転換

□「高レベル放射性廃棄物の地層処分の重点項目とその進め方」(続き)

- 地層処分の安全性を決定づける重要な要素は人工バリアとその近傍の地層(「ニアフィールド」という。)における安全性能であり、その外の広い地層(「ファーフィールド」という。)における性能はその安全性をさらに確かなものとするという役割
- このため、今後は、ファーフィールドの地層に関する研究を着実に推進しつつ、ニアフィールドの人工バリアとその近傍の地層の研究に重点的に取り組む
- 多重バリアシステムの性能評価研究に、地質環境の研究成果と人工バリア等の工学技術の開発成果を集約する研究開発アプローチ

日本の地層処分計画の進展



(参考) 地層処分システム概念の考え方

深部地質環境が**本来的に有する包蔵性**

廃棄物と人間の接触を困難にする**受動的な隔離性能**

- 地表における自然現象による擾乱を受けない
- 厚い岩盤により接近が抑制される

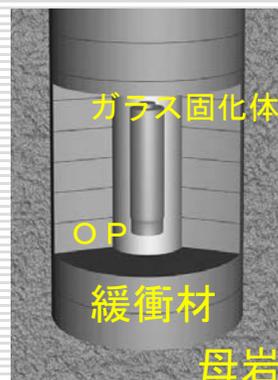


廃棄物中の放射性核種が地下水を介して人に影響を及ぼさないように働く**受動的な閉じ込め性能**

- 深部の地下水は動かない
- 深部地下水の還元性
- 溶解度限界により核種の溶出が抑制される

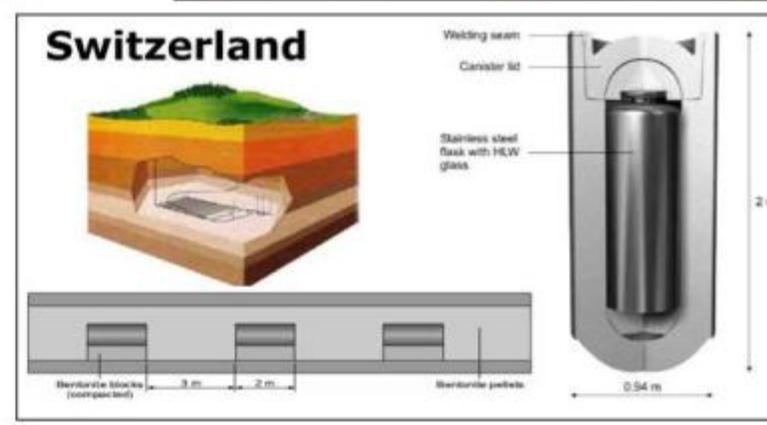
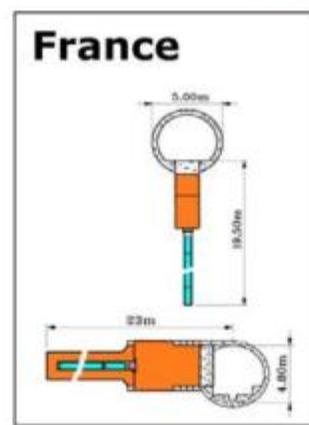
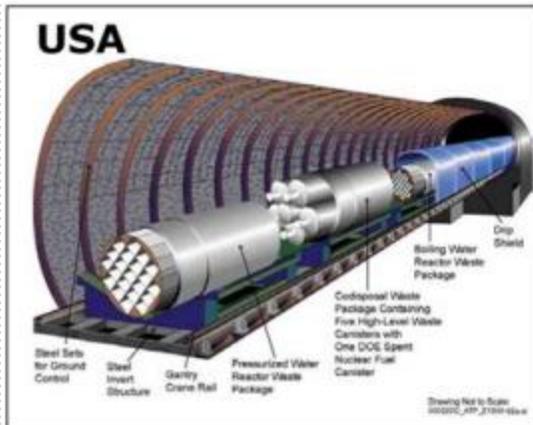
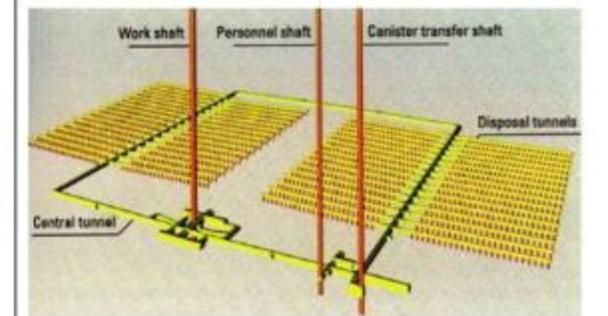
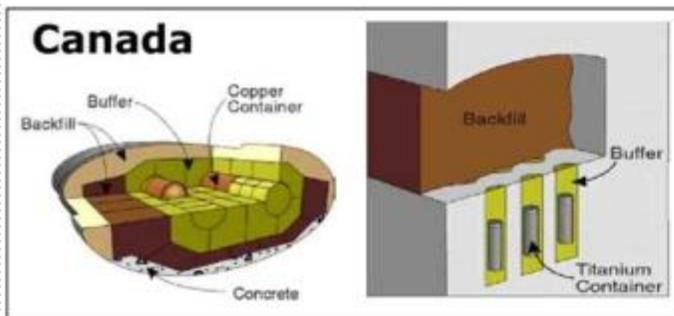
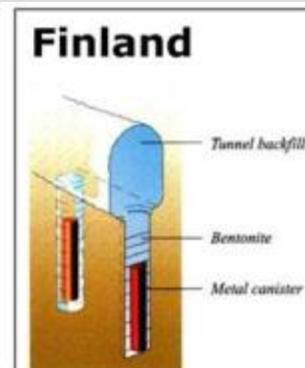
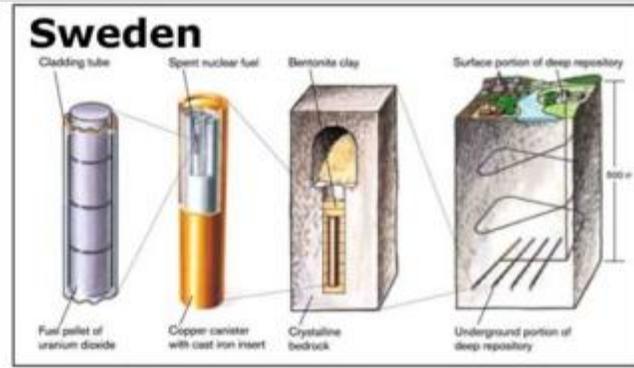
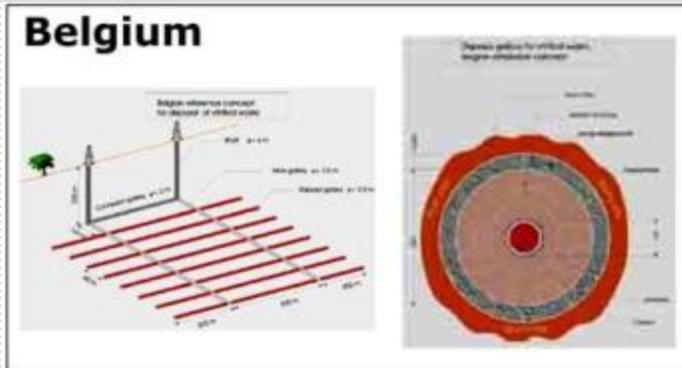
地層処分システムによる安全の**保証**

接近シナリオに対する隔離性能をさらに**確実に**するために、適切な条件を持つ**地質環境**を処分の場所として**選定**する。



地下水シナリオに対する閉じ込め性能をさらに**確実に**するために**多重バリアシステム**を構築する

(参考) 諸外国における地層処分概念



1990年代における日本の研究開発の総括

□ ジェネリックな研究開発アプローチ

研究開発を先行させ、その成果を技術的根拠に処分事業を制度化

□ この時代の特徴

- 総合的に評価する時期
- 研究成果の統合・情報化
- 国際協力の推進
- 情報の公開とレビューによる客観性の確保
- 社会との対話促進
- 専門家の成長

- 地層処分計画推進の要諦として、現在では国際的にも共有されるようになっている、**段階的アプローチ、利害関係者の意思決定への参加、意思決定に必要な情報の確な提供と説明責任等**に関し、実施段階に先立ちH12を取りまとめる過程で関係者がある程度実践できた経験は無視し得ない成果

第3期における国際的議論(1)

- 1990年 米国NAS 「高レベル放射性廃棄物処分の再検討」
“Rethinking High-Level Radioactive Waste Disposal: A position Statement of the Board of Radioactive Waste Management”
- 主要な改善勧告
 - 地層処分システムが**通常の工学システムとは異なることを認識すること**
 - 地層処分の長期にわたる安全性が、**科学を適切に活用して解決すべき問題**であると同時に、その一部は**社会的な判断により決まる問題**であることを認識すること
 - 地層処分に関する**公平性、信頼性についての道義的、倫理的な要求を地層処分の本質的な要素として認識すること**

第3期における国際的議論(2)

- 1991年 OECD/NEA, IAEA, CECの共同報告書「放射性廃棄物の処分、長期にわたる安全性は評価できるか？」“Disposal of Radioactive Waste, Can Long-term Safety be Evaluated?”
- HLW処分システムの安全評価に用いられる科学的手法に関する専門家の共通認識を国際的な集約意見としてとりまとめ
 - 注意深く設計された放射性廃棄物処分システムが、人間及び環境に与える長期の放射線学的影響を評価する安全評価の手法は、今日得られていることを確認
 - 地層処分の場として提案された場所から得られる情報と併せて、安全評価の手法を用いることで、特定の処分システムが現在と将来の世代にとって、満足すべきレベルの安全を社会に提供できるか否かを決定する技術的な基礎を用意し得るものと考察

第3期における国際的議論(3)

- 1995, OECD/NEA「地層処分の環境・倫理的基礎に関する集約意見」“The Environmental and Ethical Basis of Geological Disposal of Long-Lived Radioactive Wastes”
 - **受動的な安全確保**: 社会構造が遠い将来まで変わらないという想定や技術は進展し続けるという想定を置かず、**制度的管理に依存しない対策**を目指すべき
 - **計画の段階的实施**: 科学的進歩と社会的受容性を考えて、後の段階で他の選択肢が考慮される可能性を排除しない
 - **回収可能性**: 地層処分は将来の政策変更の可能性を完全に閉ざした非可逆的なプロセスではない
 - **世代間の負担の公平性**
 - 不当に将来世代の選択の自由を奪わない
 - 将来世代に過度の負担を課さない
 - 汚染者負担原則(PPP)
 - **世代内における負担の公平性**
 - 政策決定プロセスへの公衆参加
 - 適切な資源配分

米国WIPP操業開始

- 1999年3月26日、WIPPにおいてTRU廃棄物処分開始
 - 処分場の深度:655m, 岩種:岩塩層
 - 計画処分容量;TRU 廃棄物 576,000m³

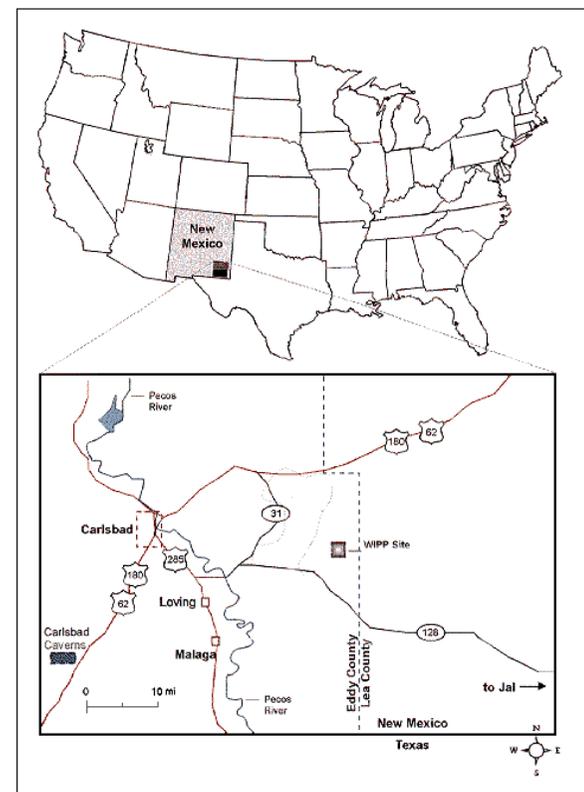
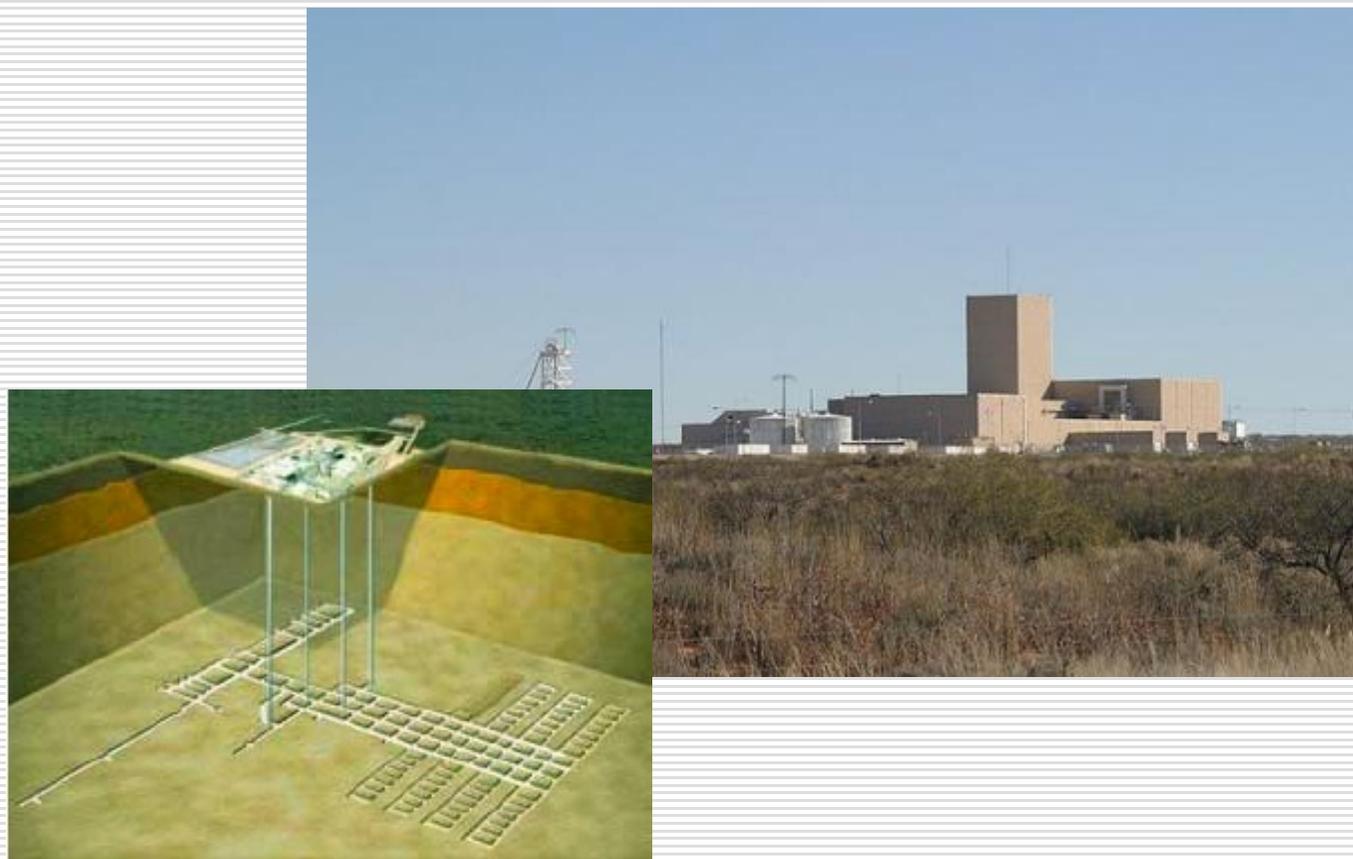


図8 WIPPの位置

[出所]U.S.DOE, WIPP:WIPP Graphics,
<http://www.wipp.energy.gov/photographics/map1.htm>

第4期における主な国際的議論

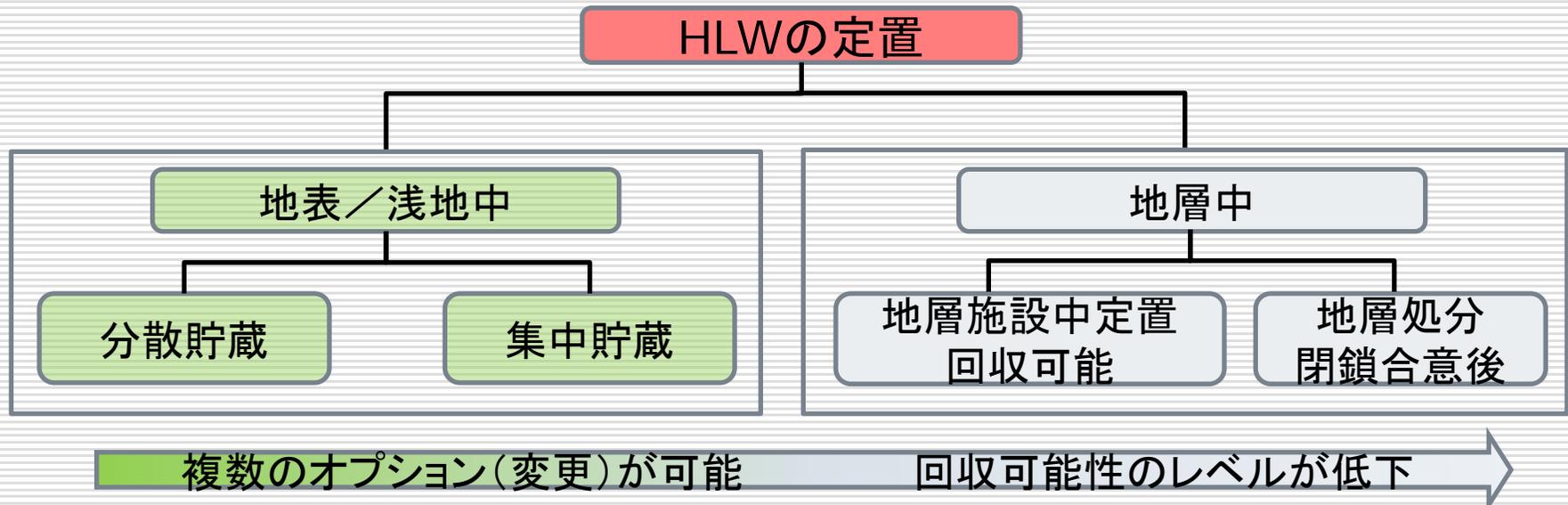
- 地層処分サイト選定等の事業段階における社会的課題も考慮した地層処分概念の要求の拡大
 - 貯蔵と処分の関係の整理
 - 考慮すべき時間軸
 - 廃棄物の回収可能性
 - 地層処分概念の多様性
 - 核種分離・変換の効果

地層処分の代替オプション

□ 2001年、全米科学アカデミー(NAS)レポート;

“Disposition of High-Level Waste and Spent Nuclear Fuel - The Continuing Social and Technical Challenge ”

- 予期しない事態のパックアップとして、代替オプションを策定・維持すべきである。
- 地層処分の代替オプションとなり得るものは今のところ貯蔵期間の長期化しかない。
- 必要な経費やリスク、倫理上の問題及び両オプションが有する不確実性などを考慮して、地上貯蔵施設での貯蔵を継続するか、あるいは地層処分を段階的に実施するかを判断することになる。



貯蔵と処分の関係

- 2006年, OECD/NEA 「長寿命放射性廃棄物の管理における貯蔵の役割」 : The Roles of Storage in the Management of Long-lived Radioactive Waste” : ROST 報告書
- 貯蔵の役割拡大
 - 最終処分決定前に貯蔵を当面の終結点とする廃棄物管理戦略
 - オランダ/HABOG施設
 - 廃棄物管理戦略の選択肢の一つとして長期貯蔵概念を位置付け
 - フランス/バタイユ法 (核種分離・消滅処理、回収可能性付地層処分、地表貯蔵)
 - カナダ/核燃料廃棄物法
 - 英国/CoRWM
 - 小規模原子力国は多国間地域共同処分場を待つまでの貯蔵に関心
 - チェコ、ハンガリー、スロバニア、スイス

ROST 報告書：長期貯蔵/貯蔵の長期化に関する動機*(1)

1. 実際的な理由(適用可能な方策の欠如)
 - 地層処分場が利用可能になるまでに長期間
2. 将来技術への期待
 - 例えば「核種分離・変換(P&T)」技術
3. 将来、資源となる可能性(特に使用済燃料の場合)
4. 倫理・社会的配慮
 - 将来世代による選択肢の排除は必ずしも倫理的とはいえない
 - 取り消し不能な決定を避ける社会的・政治的傾向
 - 処分概念に対するパブリック・アクセプタンス未成立
5. 技術及び信頼面での理由
 - 地層処分システムの長期安全性、処分技術の立証に必要とされる時間確保の可能性

* 様々なステークホルダーはそれぞれ異なった理由により長期貯蔵を支持あるいは不支持

ROST 報告書：長期貯蔵/貯蔵の長期化に関する動機(2)

6. 経済的及びそれに関連する技術的な理由

- 支出の発生を遅らせることによる費用節減可能性
- 短期間で処分場を建設し、廃棄物の収容作業を行う方が経済的(処分場の建設前に廃棄物の蓄積が進んでいる方が有利)
- 放射性崩壊により、廃棄物をより高密度で定置可能

7. 政治的理由

- 立地地域の政治的な反対や一般市民の反対によって国の政策の実施に遅れが生じたり、妨げられたりする可能性

8. イデオロギー的な理由

- 期限を定めない貯蔵を支持することにより原子力に反対する可能性

9. 国際的・多国間での解決策実現を待つこと

- 廃棄物の量が比較的少ない国々の場合、他の国と共同出資して一カ所の処分施設を開発することにより、経済面で重要な利益が得られる可能性

ROST 報告書: 処分の代替となる永続的貯蔵の可能性

- 期限が設定されない貯蔵に関する計画は終結点を定義することができず、その責任を将来の世代に引き渡すことになる。
 - 1940年代後半以来提案されている、永続的な貯蔵(perpetual storage)と保護(guardianship)の概念(例えば、霊廟タイプ施設の利用)は、保護や監視が一定の期間を超えて実効性を維持できると想定することはできない。
 - 必要な決定を先延ばしにすることによって廃棄物を際限なく貯蔵し続けることは、安全性の観点から、最も多くの不確実性を伴う最悪のオプションである。
- したがって貯蔵は、決して、放射性廃棄物管理にとっての終結点となることはできない。

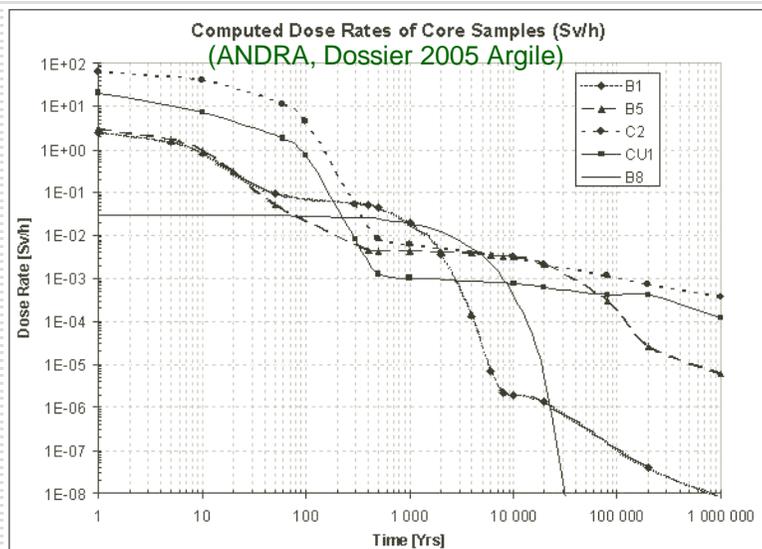
地層処分に関する時間軸に関する考察(1)

□ 危険の性質

- 外部被ばくによる潜在的線量
- 放射性核種の摂取または吸入による潜在的線量
- 廃棄物や容器に含まれる化学毒性物質による潜在的影響

□ 危険性の変遷

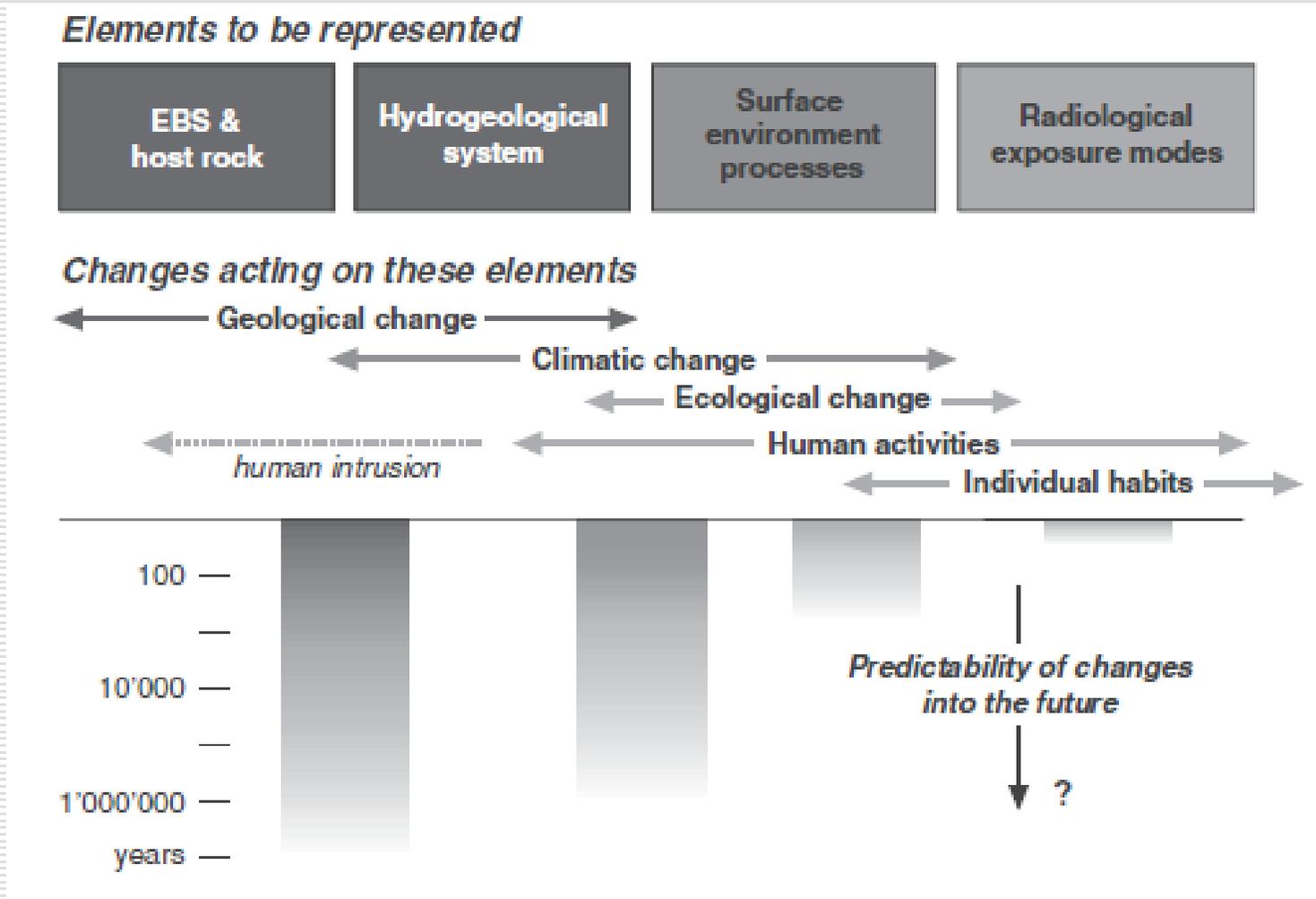
- SNFやHLWの潜在的危険性は時間と共に顕著に減少するが、本質的に無害であると言えるようになることはない



- 外部被ばくの危険性の面から重要と考えられる核種は百万年以上残留
(^{237}Np の子孫核種の ^{209}Tl は百万年後でも遮蔽が必要)

地層処分に関する時間軸に関する考察(2)

□ 処分場の変遷と付随する不確実性



地層処分の時間軸に関する考察(3)

□ 地質環境の安定性と予測可能性

■ サイト選定における要件

- 安定な地質環境とは、内部、外部からの擾乱に対する地質環境の緩衝能力により、長い時間軸にわたって突然あるいは急激な有害変化を受けそうもないもの
- 安全評価に必要な情報を与えることができる程度に予測可能であること

■ 地質環境の予測可能性

- 地質環境の履歴が理解されている程度とその理解がどのくらい将来までの予測を可能とすると考えられているかに依存

地層処分に関する時間軸に関する考察(4)

■ 時間枠の全体像

- 処分場を開放したままにすることさえも含めて、処分場サイトを数百年管理する方策を認めており、この期間は国の機関により管理される。しかし、**300年前**は今日の欧州の国々の約半数は存在していなかったことは注目に値する。

- 人間の歴史の記録の全ては過去**5,000年**の間になされた。これはいくつかの国の処分概念で廃棄物容器の健全性が維持されると期待される時間
- 人類はおそらく**200,000年前**に始めてアフリカに出現したと信じられている (McDougall et al., 2005)。使用済燃料の放射能と毒性レベルがもとのウラン鉱石と“交差”するに至る時間
- **40,000年前**まで人間はヨーロッパに到達していなかった。これは深部の粘土層で水が1メートル動くのにかかる時間



500年前のヨーロッパの国境

回収可能性に関する議論の進展

- 多くの国の地層処分計画が実施段階に近づくにつれ、廃棄物の回収可能性に関する見通しがステークホルダーの関心事に
- 廃棄物管理の意思決定と措置に可逆性を持たせることを法定要件とする国、あるいは処分計画に取り入れ社会的・政治的・経済的な自由度を確保しようとする国など
- 国際的にも様々なフォーラムや報告書で議論
 - 廃棄物管理戦略に組み込むべきか否か；例えば、The Management of Long-Lived Radioactive Waste -The Environmental and Ethical Basis of Geological Disposal. (OECD/NEA,1995)
 - どの程度組み入れるべきか；例えば、Reversibility and Retrievability in Geologic Disposal of Radioactive Waste: Reflections at the International Level. (OECD/NEA, 2001).
 - 政策や安全規制に取り入れるべきか；例えば、RWMC Reversibility and Retrievability Project: Phase-2 (OECD/NEA, 2009).
 - 回収の技術的意味合いは；例えば、Geological Disposal of Radioactive Waste: Technological Implications for Retrievability. (IAEA, 2009)
 - 回収可能性のスケールは；例えば、Reversibility of Decisions and Retrievability of Radioactive Waste -Considerations for National Geological Disposal Programm- (OECD/NEA, 2012).

OECD/NEA_R&Rプロジェクト最終報告書

R スケール: 回収可能性の考え方を示す尺度(国際的に合意された回収可能性に関する段階的区分)



処分概念開発の境界条件の変化

- 世界の地層処分場の「標準」設計の多くは1980年代に開発されたもので主目的は地層処分のフーズビリティ検討



- サイト特性や地域コミュニティの要望等サイト固有の条件に対して柔軟性のある処分概念の要求
 - 応募地域の地質環境特性に対する最適化
 - 応募自治体等の要求や不安解消への適合性



- NUMOの「処分場概念カタログ」*
 - 複数の処分オプション提示
 - カタログの中から応募地域の条件に適合しやすい特定のオプションを選定

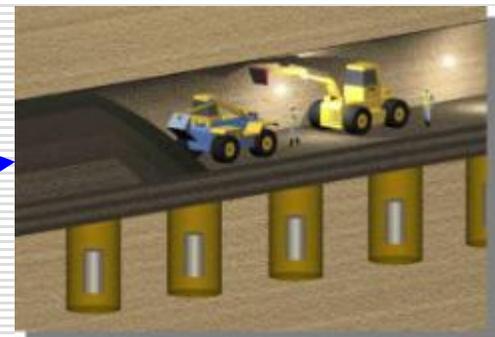
H12概念に基づく地層処分場の設計例

地上施設

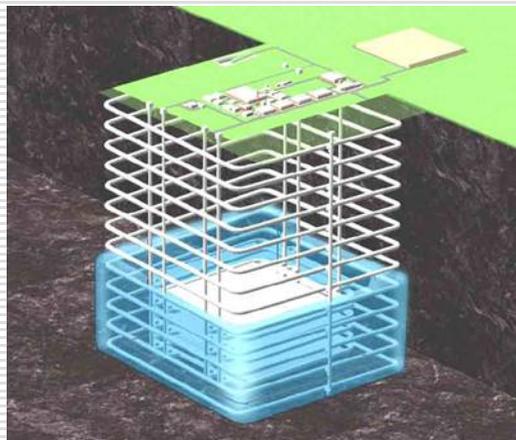
- ・敷地面積: 約1km²

地下施設

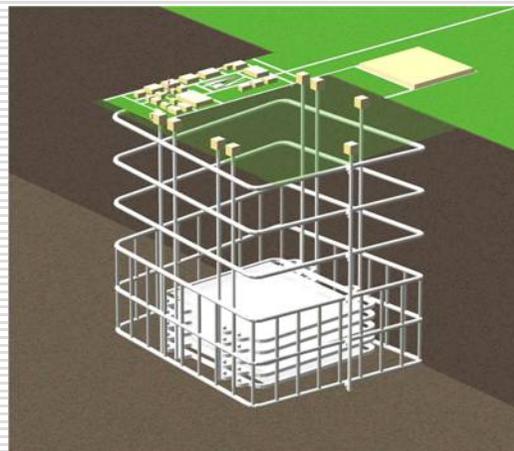
- ・深度: 300m以深
- ・廃棄体本数: 4万本
- ・大きさ(平面):
約3km × 約2km
- ・立坑:
6本(建設・操業・埋め戻し用)
- ・斜坑: 1本(操業用)
- ・坑道断面径: 約5~7m
- ・坑道延長: 約250km
- ・総掘削量: 約630万m³



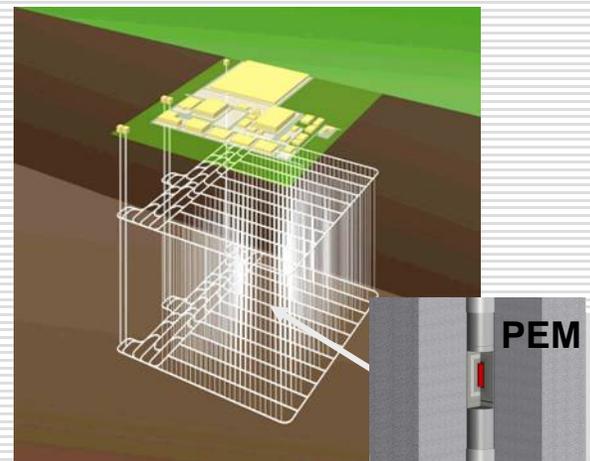
代替処分概念例



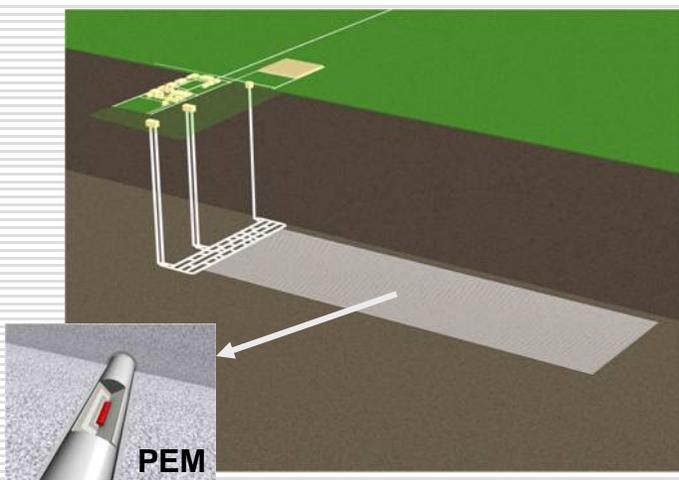
水理バリア方式



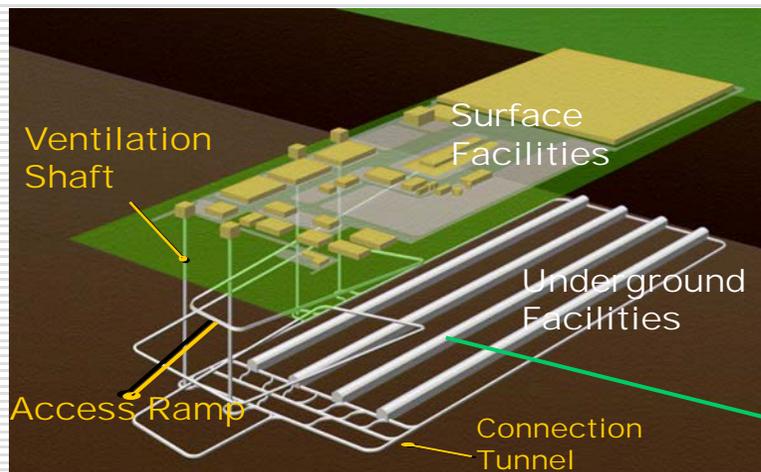
水理カゴ方式



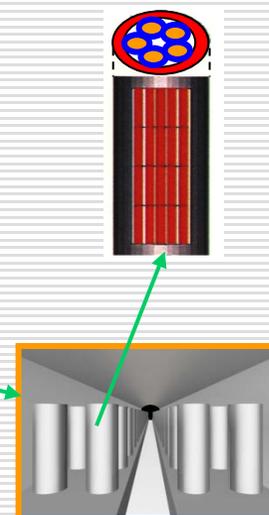
垂直ボアホール方式



水平ボアホール方式



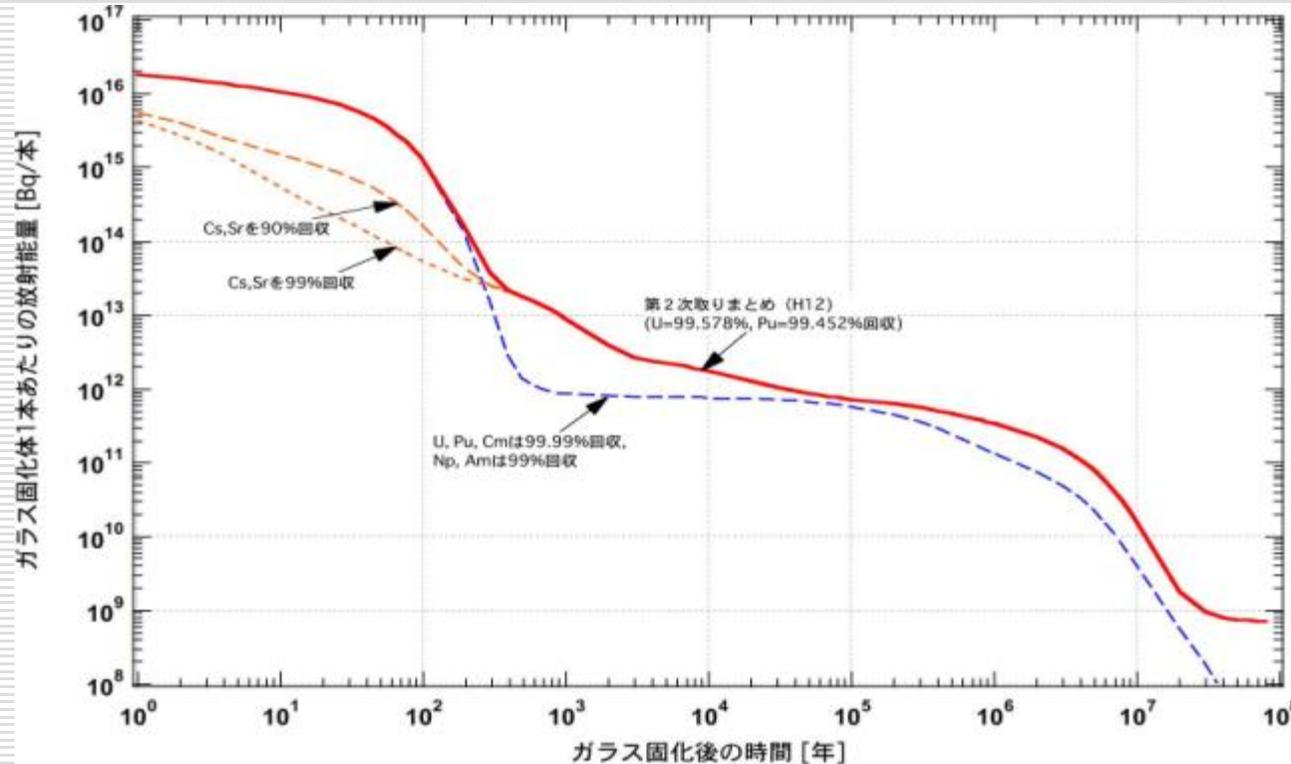
大空洞内設置方式



分離変換(P/T)に関する議論

- 安全性の支配要因は、廃棄物を地上におく場合は放射エネルギーとなり得るが、地下におく場合は、**地下水への移行量(溶解度)**である。
- 放射能毒性がリスクの支配的要因ではなく**放射能が生態系に達するプロセスとその確率**が考慮されるべき
- 地層処分の安全解析では、Tc-99, I-129, Cs-135等FPによる放射線量が懸念されるが、**アクチノイドの分離・変換によっては解決不能**
- 新たに分離施設と変換施設が必要になり、さらに**廃棄物が増加**
- 地層処分の安全性が国民レベルまで理解されていないのは、まだ、**十分に伝わっていないためであり、不安全なためではない**。原子炉の安全性が理解されるようになったのは、つい最近のことである。
- **P/Tと地層処分のトレードオフは純技術的には成り立たない**。技術的に成り立たないものは、結局国民を裏切ることになり、**社会的受容に有利とはなりえない**。

P/Tによる放射能除去効果



- 核分裂生成物(Cs, Sr)を90%以上除去することにより、ガラス固化後約200年間にわたって最大1桁程度下げることができる。
- アクチニド(U, Pu, Np, Am, Cm)をそれぞれ99%以上除去した場合、約300年後から1桁程度下げることができるが、5万年後あたりから両者とも支配核種がTc-99(半減期 2.13×10^5 年)となるため、核種分離を行わない場合とほとんど変わらなくなる。

P/Tによる地層処分安全性向上効果

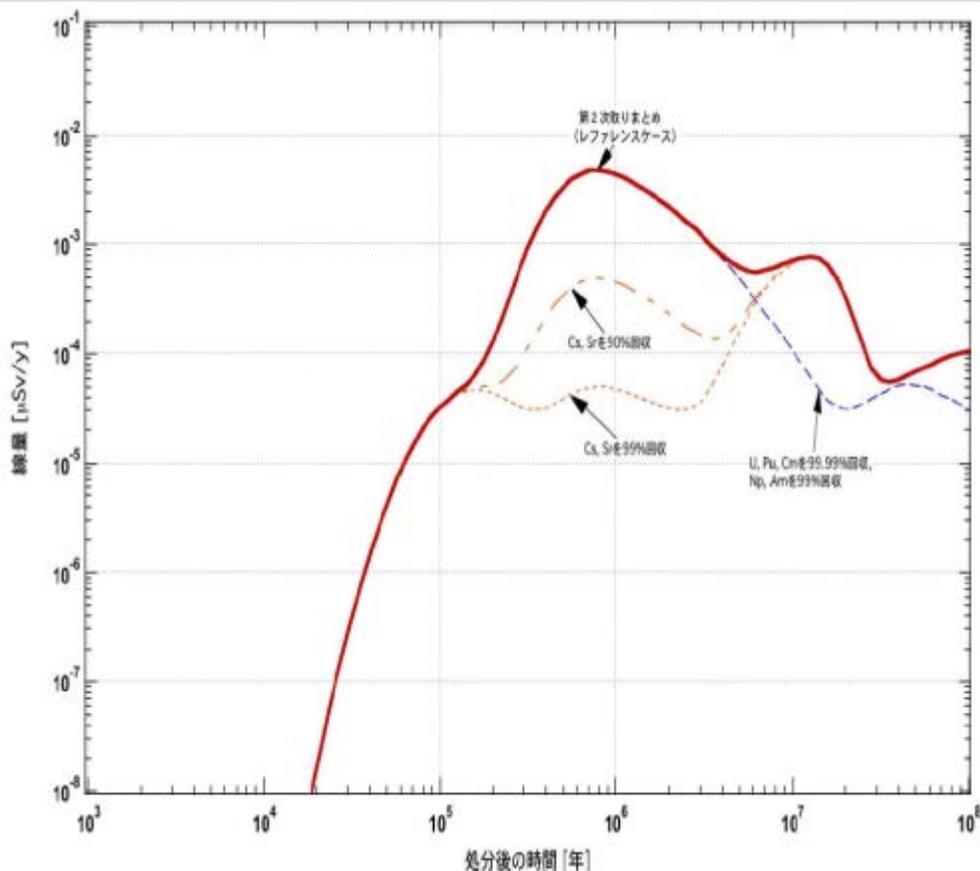


図-12 核種分離した場合の安全評価結果

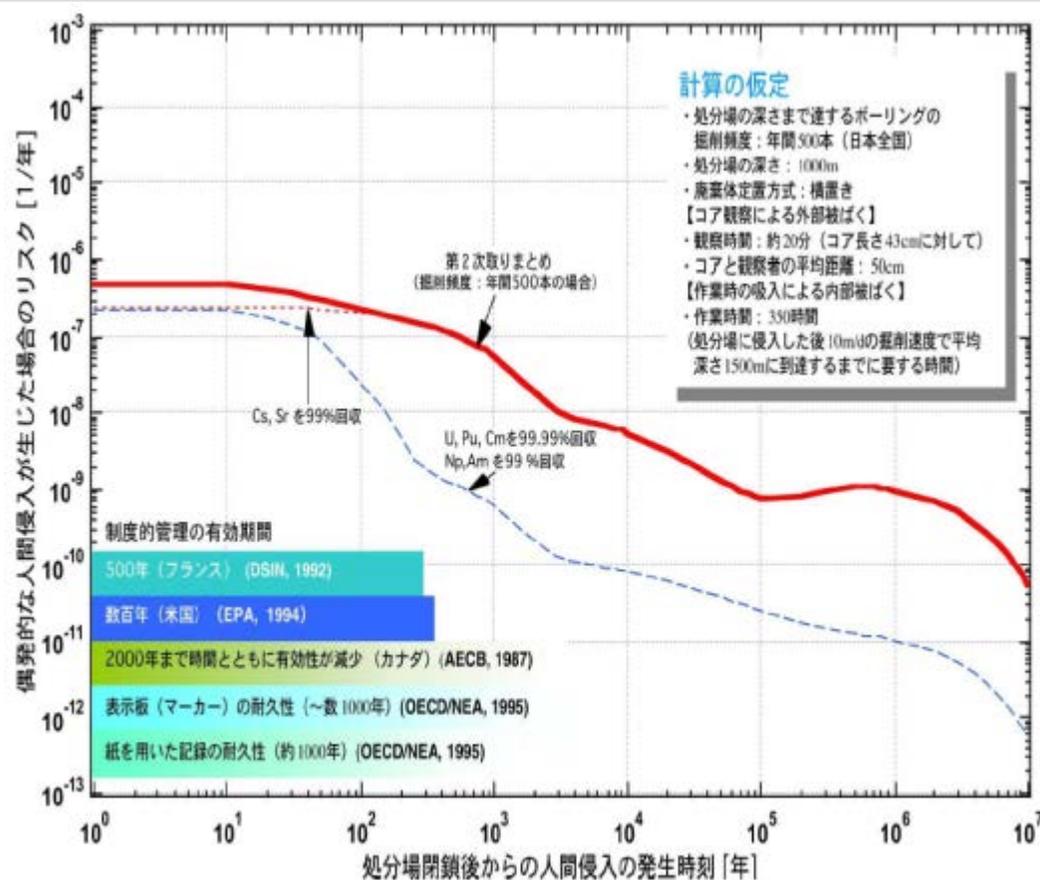


図-13 核種分離した場合の人間侵入によるリスク

まとめ

- 1950年代にアメリカにおいて初めて検討されて以来、HLWあるいはSNFの最終処分に関する実現性の最も高いオプションとして、世界各国において地層処分が採用されている。
- 地層処分に関する多くの公開文献にもとづけば、地層処分を放棄するような決定的(あるいは、致命的)欠陥が見いだされているということはない。
- 1983年のNASレポートが、現在日本を含め各国で採用されている地層処分概念具体化に輪郭を示すこととなった。
- 海洋底下処分と分離・変換技術は、ある程度の規模で研究開発が行われた(ている)が、代替オプションとはなっていない。
- 現在までに実績のあるHLW対策技術は地表における貯蔵と岩塩層中での地層処分(米国 WIPP; 現在は貯蔵状態)である。
- 地下に定置した貯蔵状態から、施設を閉鎖する最終的な合意が得られるまでは回収可能性を残す、という考え方が国際的なトレンドになりつつある。
- 結局、地層処分事業とは地下貯蔵事業であり、処分事業が終了して初めて地層処分概念が成立することになる。