

地層処分の展開

技術的視点：

- これまで経験したことのない時間スケールに伴う不確実性を考慮した対策が必要
- 現実的な方法で実施可能であること

倫理的視点(e.g. NEA, 1995)：

- 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
- 世代内における負担の公平性
 - 問題解決のための適切な資源配分
 - 公平かつ公開性のある意思決定プロセス

なぜ地層処分がベストか？

技術的視点

- 安定な環境として深地層を利用することにより，長期にわたる受動的な安全系(Passive Safety System)の構成が可能

【地下深部が有する特徴】

- 地表に比べ人間活動や自然現象の影響を受けにくい
- 還元性の環境にあり，腐食や溶解が進みにくい
- 物質を動かす媒体となりうる地下水の動きが極めて遅い

倫理的視点

- 段階的アプローチ
→ 将来世代の選択の自由度最大化，公平かつ公開性のある意思決定プロセス
- 受動的な安全系 → 将来世代の負担の最小化
- 現実的な技術が適用可能 → 適切な資源配分

地層処分 の 安全性

(サイクル機構, 1999: 第2次取りまとめ総論レポート第II章)

多重バリアシステム =人工バリア+天然バリア

地質環境

長期的な安定性

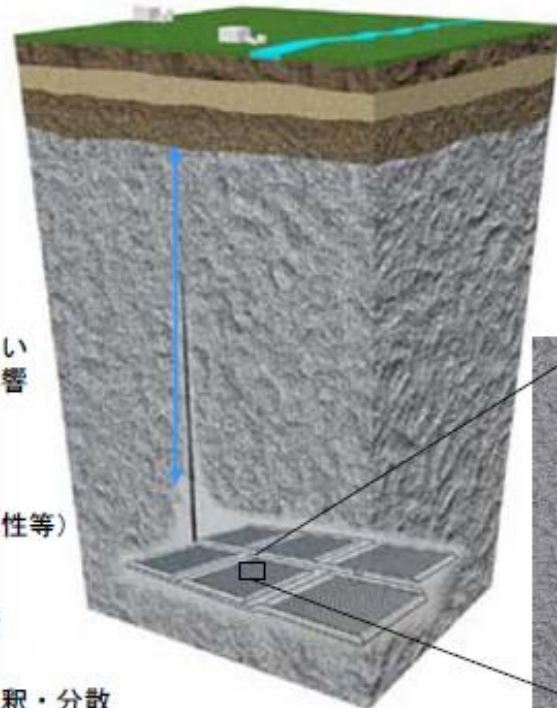
- ・火山活動がない
- ・活断層が存在しない
- ・著しい隆起・侵食が生じない
- ・気候変動によって著しい影響を受けない
- ・資源が存在しない

人工バリアの設置環境

- ・好ましい地下水化学 (還元性等)
- ・小さな地下水流束
- ・力学的安定性
- ・人間環境からの物理的障壁

天然バリアとしての機能

- ・放射性核種の移行抑制と希釈・分散



人工バリア

ガラス固化体

(ステンレス製キャニスタに充填されたもの)

- ・放射性核種を均一かつ安定に固定
- ・高い化学的耐久性により地下水への放射性核種の溶出を抑制
- ・熱や放射線に対する安定性

オーバーパック

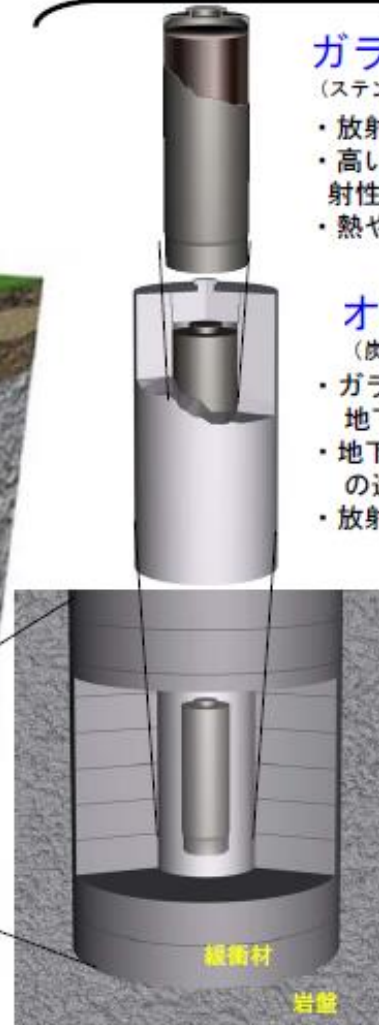
(炭素鋼)

- ・ガラス固化体の発熱や放射能が高い期間、地下水とガラス固化体の接触を阻止
- ・地下水との反応によりガラス固化体近傍の還元性を維持
- ・放射性核種の腐食生成物への収着

緩衝材

(ベントナイトを主成分)

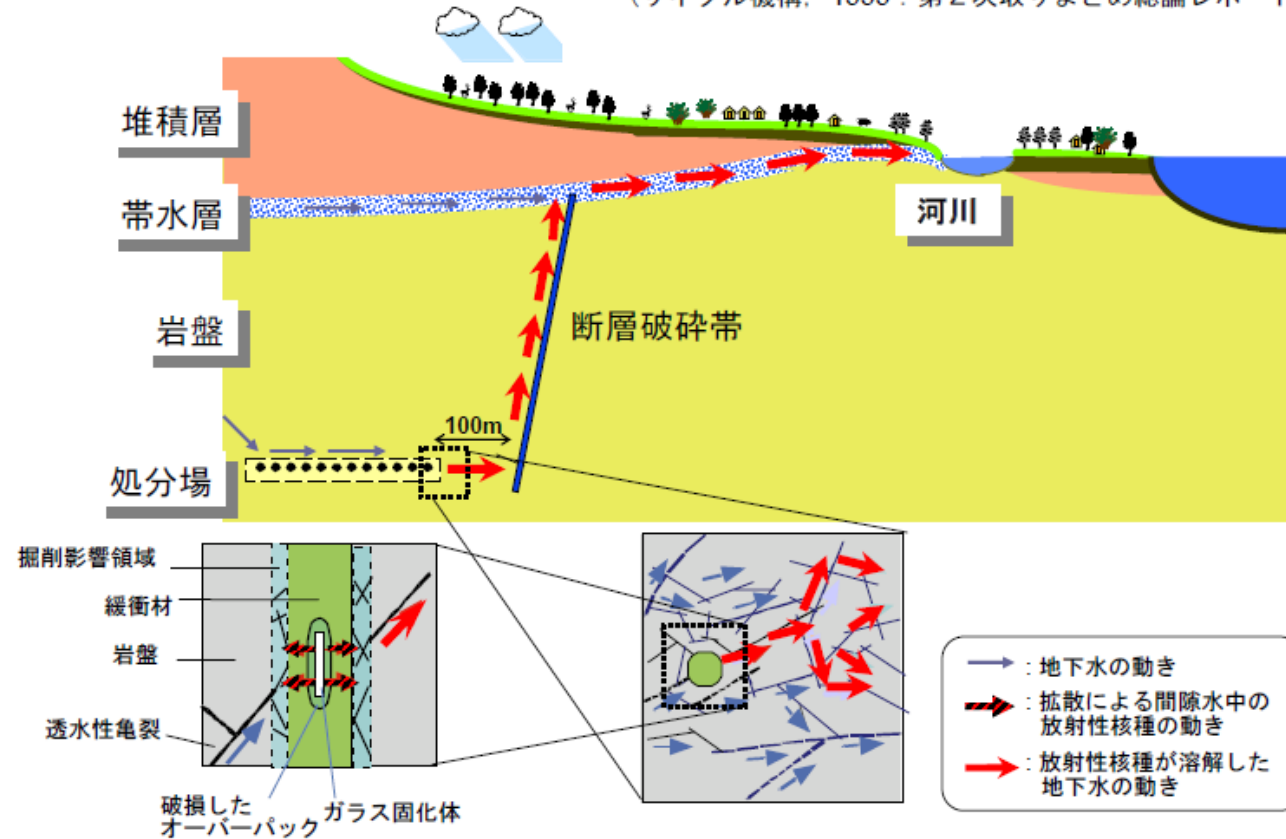
- ・低透水性 (オーバーパックと地下水の接触抑制)
- ・小さな物質移動速度
- ・放射性核種の移行遅延 (収着)
- ・膨潤性と可塑性
- ・化学的緩衝性
- ・空隙水中での低い溶解度
- ・コロイド、微生物、有機物の移動に対するフィルター効果



安全評価・性能評価

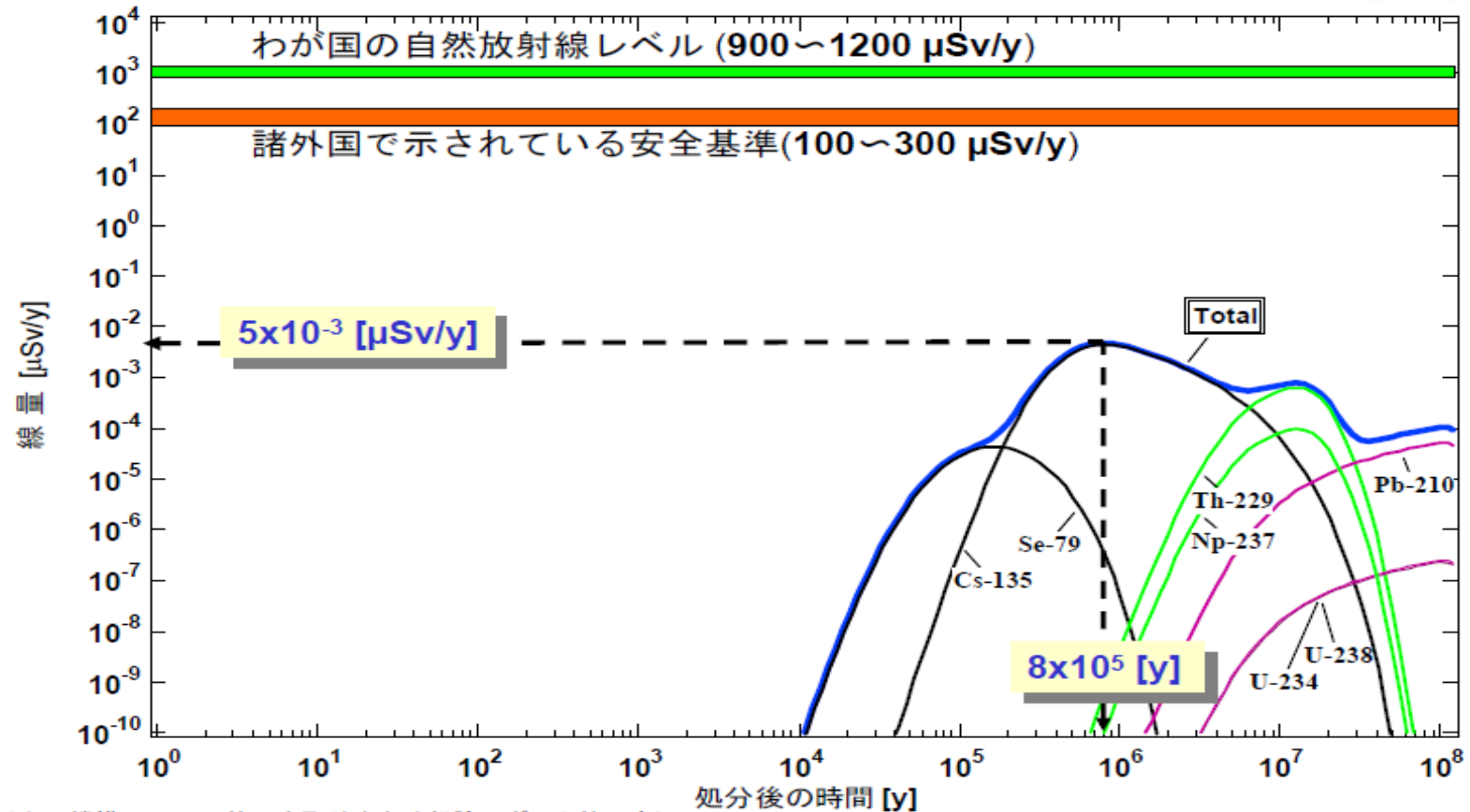
- 標準ケース

(サイクル機構, 1999: 第2次取りまとめ総論レポート第V章)



安全評価・性能評価の結果

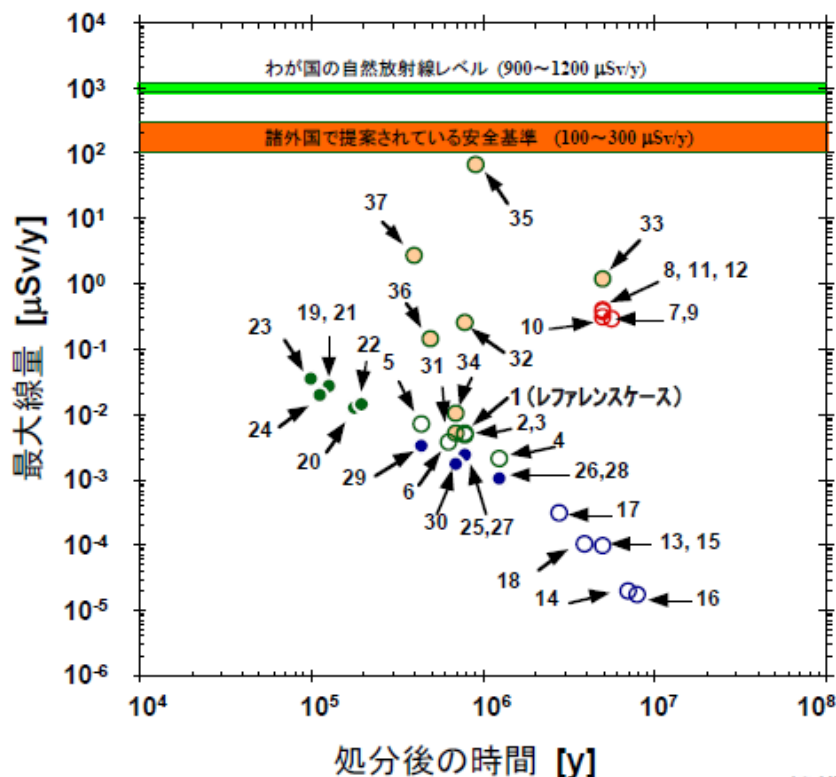
- 標準ケースの評価結果



総合的な安全評価・性能評価の結果

・地層処分システム全体性能の評価

地下水シナリオに対する最大線量の分布
(40,000本の廃棄体を処分する場合を想定)



Case #1: レファレンスケース

- 岩種：結晶質岩（塩基性）
- 地下水/GBI：降水系/河川水
- 地形：平野

Case #2- #32: システムの多様性

以下の可能性ある組み合わせより構成

- 岩種：6種類
- 地下水/GBI：[降水系, 海水系] / [河川水, 沿岸海域, 深井戸]
- 地形：平野, 丘陵, 山地
- 人工バリアの代替デザイン

Case #33: データ不確実性

Case #34: モデル不確実性

Case #35-37: シナリオ不確実性

- 隆起・侵食（隆起・侵食速度 = 1mm/y）
- 埋め戻し・プラグの施工不良
- 天然バリア機能を考慮しない

処分に漕ぎ着けるための最近の動向

1. 国の責任ある主体的な関与
2. 原子力安全規制における「リスク情報を活用する意思決定」への積極的な転換
3. 情報の非対称性と決定論的安全手法による説得，押しつけ安全からの脱却・・・リスク情報を活用する意思決定による新しいリスク・コミュニケーション（金融学におけるリスクプロファイル俯瞰や確率論的リスク評価の活用）

・・・『希望』がある。

史上初は本当だったか？

黒田和夫先生（福岡県出身，1939年東大理学部卒，東大最年少教員，米国帰化，アーカンソー大学教授，2001年没）のフェルミ理論による**1956年**の予言。

“On the Nuclear Physical Stability of the Uranium Minerals”. Journal of Chemical Physics **25**: 781–782, 1956.

- U-235（核分裂性，存在率0.7%）の半減期 . . . 7億年
- U-238の半減期(非核分裂性，存在率99.3%) . . . 45億年
- 20億年前の存在率は？
- U-235は現在の $2^{(20/7)}=7.25$ 倍存在した。U-238は $2^{(20/45)}=1.36$ 倍存在した。
- $0.7\% \times 7.25 / (0.7\% \times 7.25 + 99.3\% \times 1.36) = 3.6\%$ ，この値は現在のウラン濃縮した原子力燃料と同じ，他の条件（水の存在、臨界量など）が満足すれば天然原子炉が成立すると黒田先生が予測。

1972年に実際の天然原子炉がアフリカで発見された。

天然原子炉の発見場所 ガボン共和国オクロ



<https://fr.wikipedia.org/wiki/Gabon>



<https://ja.wikipedia.org/wiki/オートオゴウエ州>



<http://www.ans.org/pi/np/oklo/#Q2>より引用



<http://en.m.wikipedia.org/wiki/Oklo>より引用



<https://apod.nasa.gov/apod/ap100912.html>より引用

60万年にわたり機能した天然原子炉のメッセージ

原子炉ゾーンの分布



出典:原子力百科事典

現在世界では、共通して高レベル放射性廃棄物を地層中に埋設処分することが検討されている。ウランの核分裂で生じた放射性核種が地中の岩石の中を広がるのかどうか、オクロ原子炉のまわりの岩石を分析して、ほとんど広がっていないことがわかった。このことは、地中埋設処分で半減期の長い有害な核種が広く拡散しないことがわかり、地中埋設処分が安全であることを裏づけている。ナチュラル・アナログ（天然類似現象）という。希望はありそう。

講演の要約

1. 75年前にエンリコ・フェルミによって、パンドラの筐が開けられて以来、使用済原子力燃料は最強の放射性廃棄物である。このため、原子力利用は筐から出た災厄という主張もできる。
2. 使用済原子力燃料行方には2つの選択肢が現存する。
3. 使い捨てオプションは安価だが、将来の資源枯渇・争奪紛争が心配。
4. リサイクル・オプションは、高価だが、努力により技術制約性を解決して、実用化するのには夢ではない。
5. どちらの選択肢も廃棄物の最終処分が共通課題である。
6. パンドラの筐が開けられる20億年前に天然原子炉が実在し、共通課題の廃棄物処分の安全性を示している。
7. 自然の摂理の偉大さを再確認するとともに、原子力利用は75年前に筐から出た災厄ではなかったと言えそう。