

使用済燃料の地層処分技術について

1. 米国YMRとスウェーデンの比較

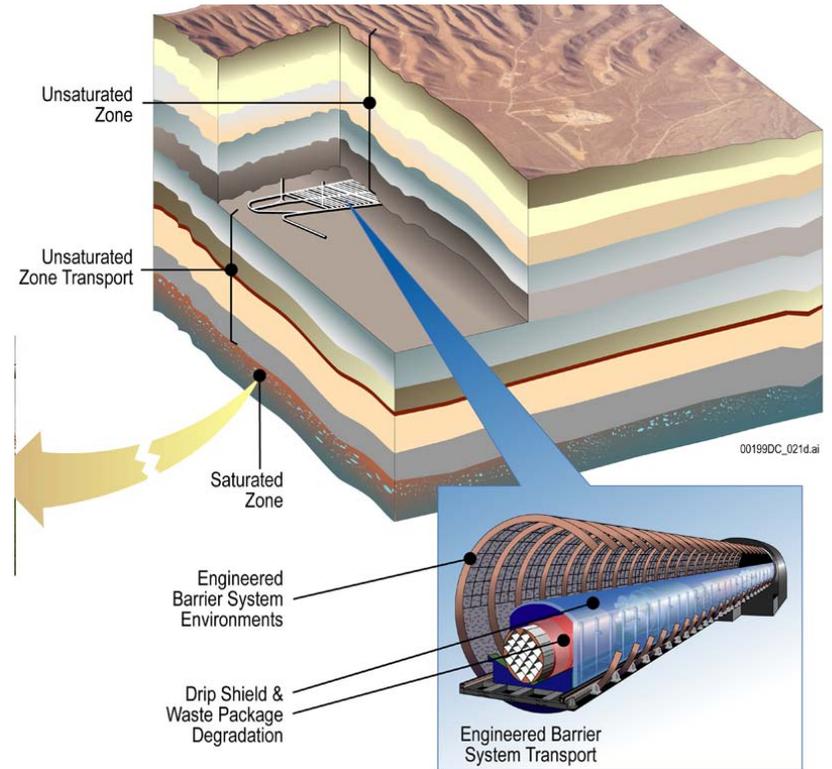
2. 最近のYMRの動向

カリフォルニア大学バークレー校
原子力工学科
安俊弘(Joonhong Ahn)

2004年8月3日
原子力委員会

Yucca Mountain 処分場概要

- **不飽和層 ~厚さ600メートル**
 - この中に処分場が存在する。
 - 地表から約300メートルの深さ。
 - 地下水は鉛直方向に流下する。
 - 火山性凝灰岩 (Tuff)
- **人工バリアシステム**
 - 坑道(埋め戻さない)
 - チタン製“drip shield”
 - Alloy22製容器(平均破損時間7万5000年)
 - 燃料被覆
 - 燃料ペレット(10^{-7} [1/y]の速度で溶解)
 - 75,000年ころから核種漏洩が始まる
- **飽和層**
 - 水平に流れる地下水による核種移行
 - 移行距離一直近の村まで約20km
- **生物圏**
 - 直近の村 (Amargosa 溪谷)
 - 3ケース (自給自足農民、50%自給農民、現在のAmargosa住民)



- **容量**
 - 63,000トン(使用済み燃料)
 - 7000トン(海軍船用炉使用済み燃料、再処理ガラス固化体、解体兵器Pu等)
 - 処分場近傍の地層の類似性から2倍程度の面積拡大が可能。

YMRの多重バリア

チタン製 drip shield

Seepage Into Drift

Breach Areas of Drip Shield on Waste Package

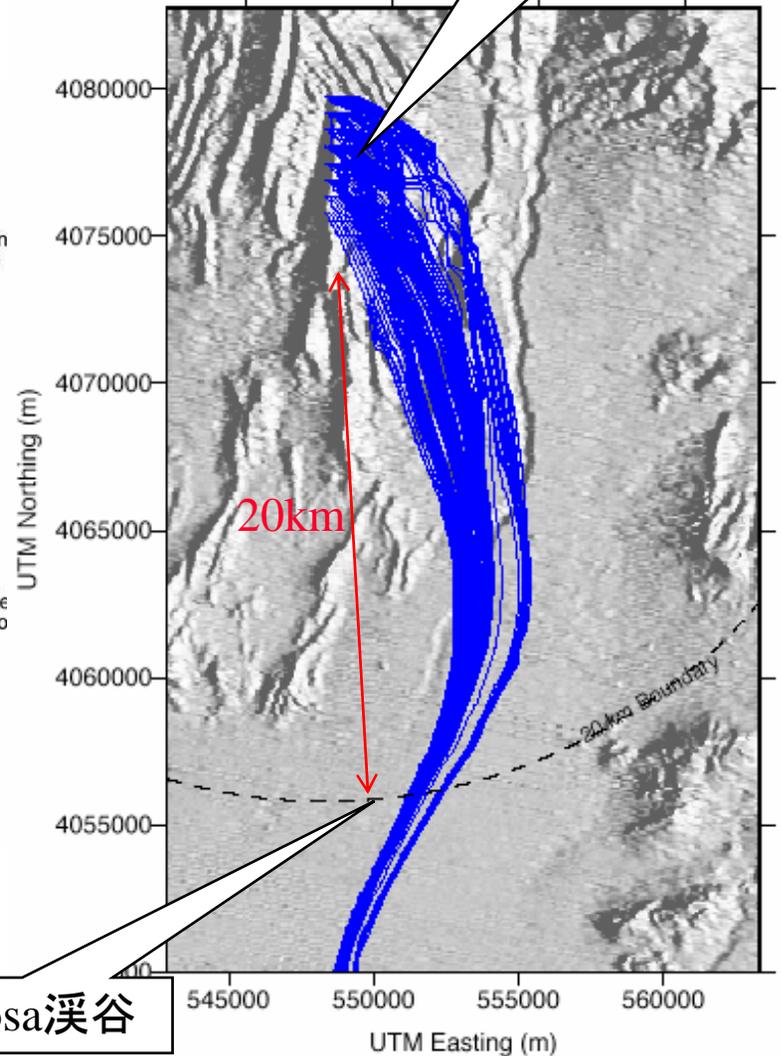
Radionuclide Concentratio

Transport through Invert into Unsaturated Zone

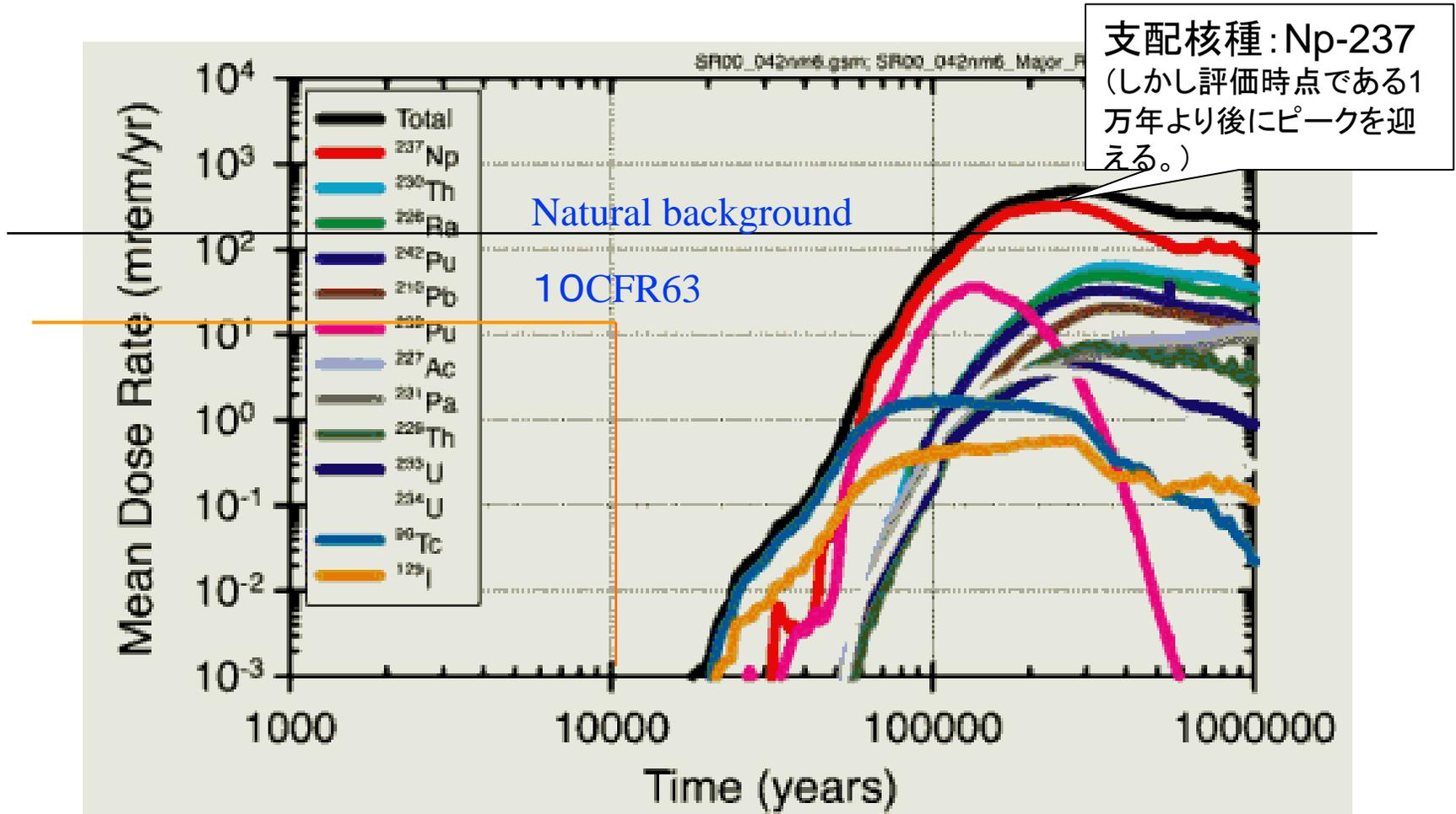
Drawing Not To Scale
154_0131a.ai

Alloy 22 容器

処分場領域



YMR安全評価結果 (Nominal Performance case)



- The radiological safety of the repository is regulated by the individual protection standard after permanent closure of the YMR.
- 10CFR63 states that
 - For 10,000 years following disposal the reasonably maximally exposed individual receives no more than an annual dose of 0.15 mSv from releases from the undisturbed Yucca Mountain disposal system.

スウェーデンにおける高レベル放射性廃棄物処分の概要

操業までのスケジュール

【処分の基本方針】

使用済み燃料を直接処分

【使用済み燃料の発生量】

1998年初頭まで、すでに約4,000トンの使用済み燃料が発生。原子炉の運転期間を25~40年として、6,500~9,500トンの使用済み燃料の発生を見込んでいる。SR 97では、約8,000トンの燃料の処分を想定。

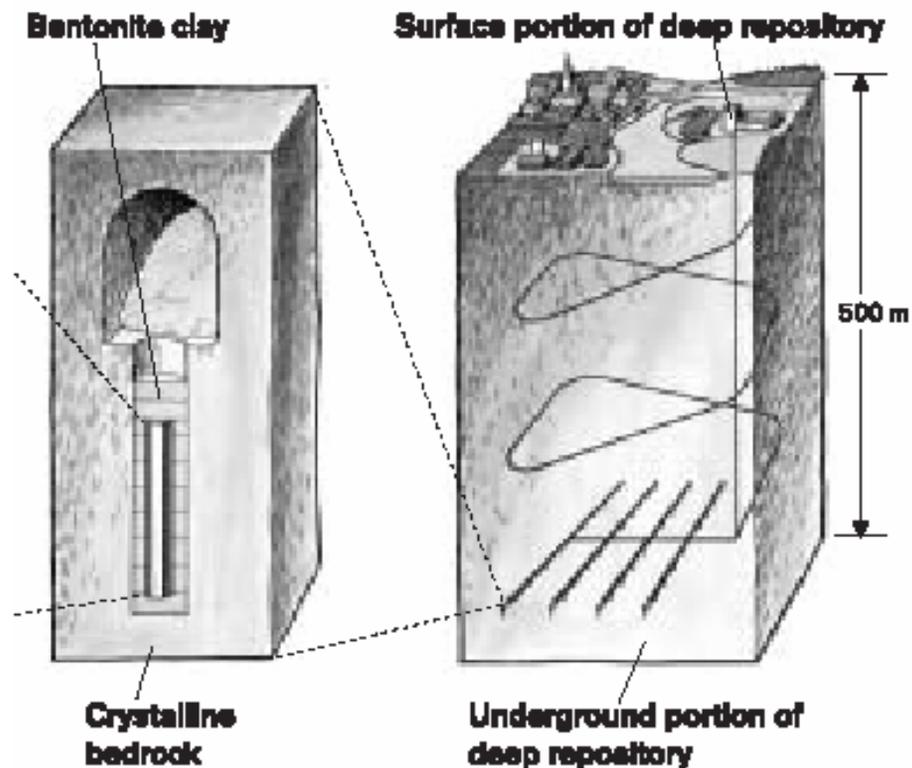
【実施主体】

スウェーデン核燃料・廃棄物管理会社 (SKB)

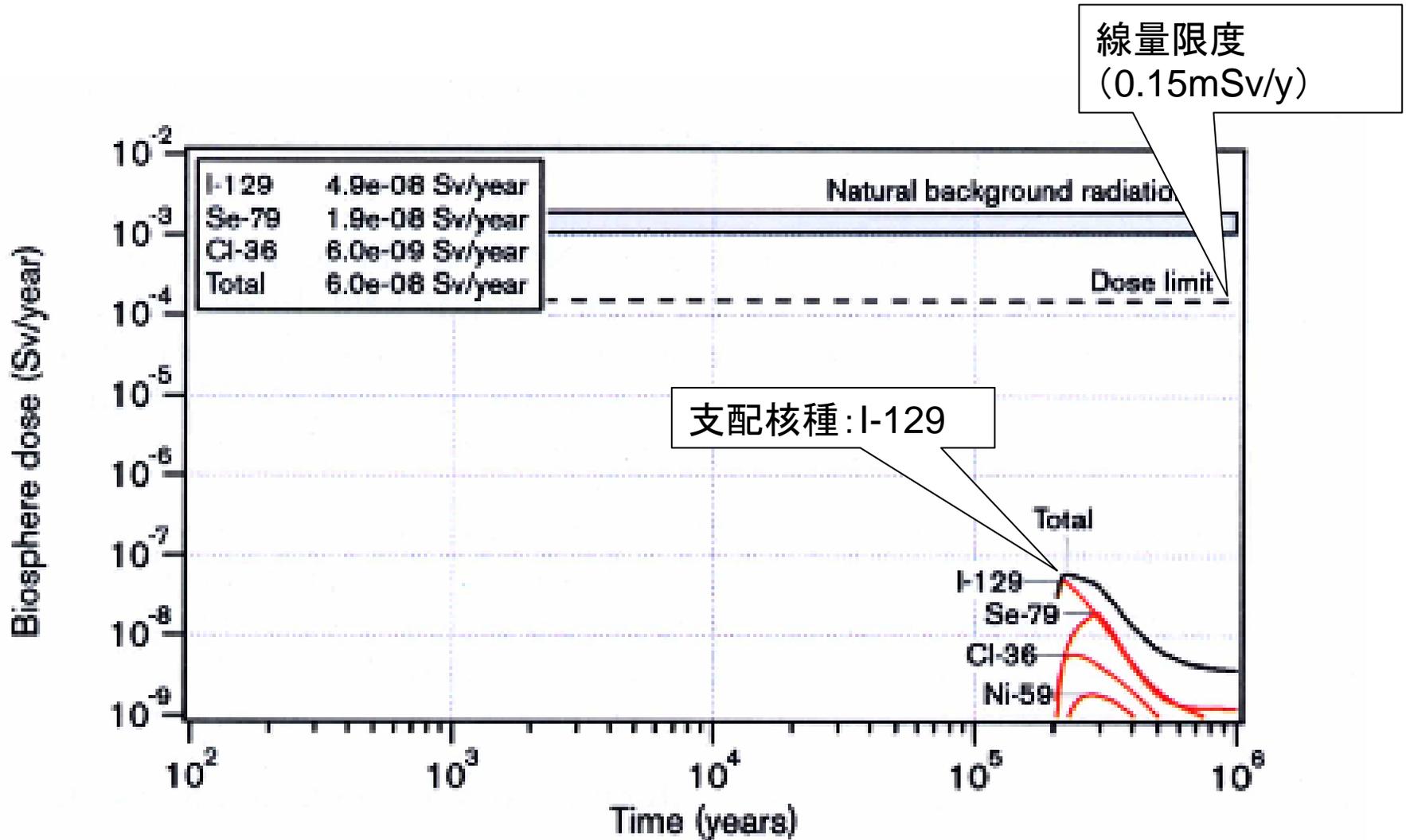
1970年代	岩盤の特徴について情報収集
1992~2000年	8つの自治体に対するフィジビリティ調査を実施
2000~2002年	SKBがサイト調査を行う3つの自治体を選定
2002年~	オスカーシャムとエストハンマルにおいてサイト調査
~2006年	サイト調査／環境影響評価の実施、および処分場候補地の選定
2007~2008年	許可申請の審査
2009年頃	詳細調査
2015年頃	操業開始

スウェーデンの使用済み燃料 処分場概念

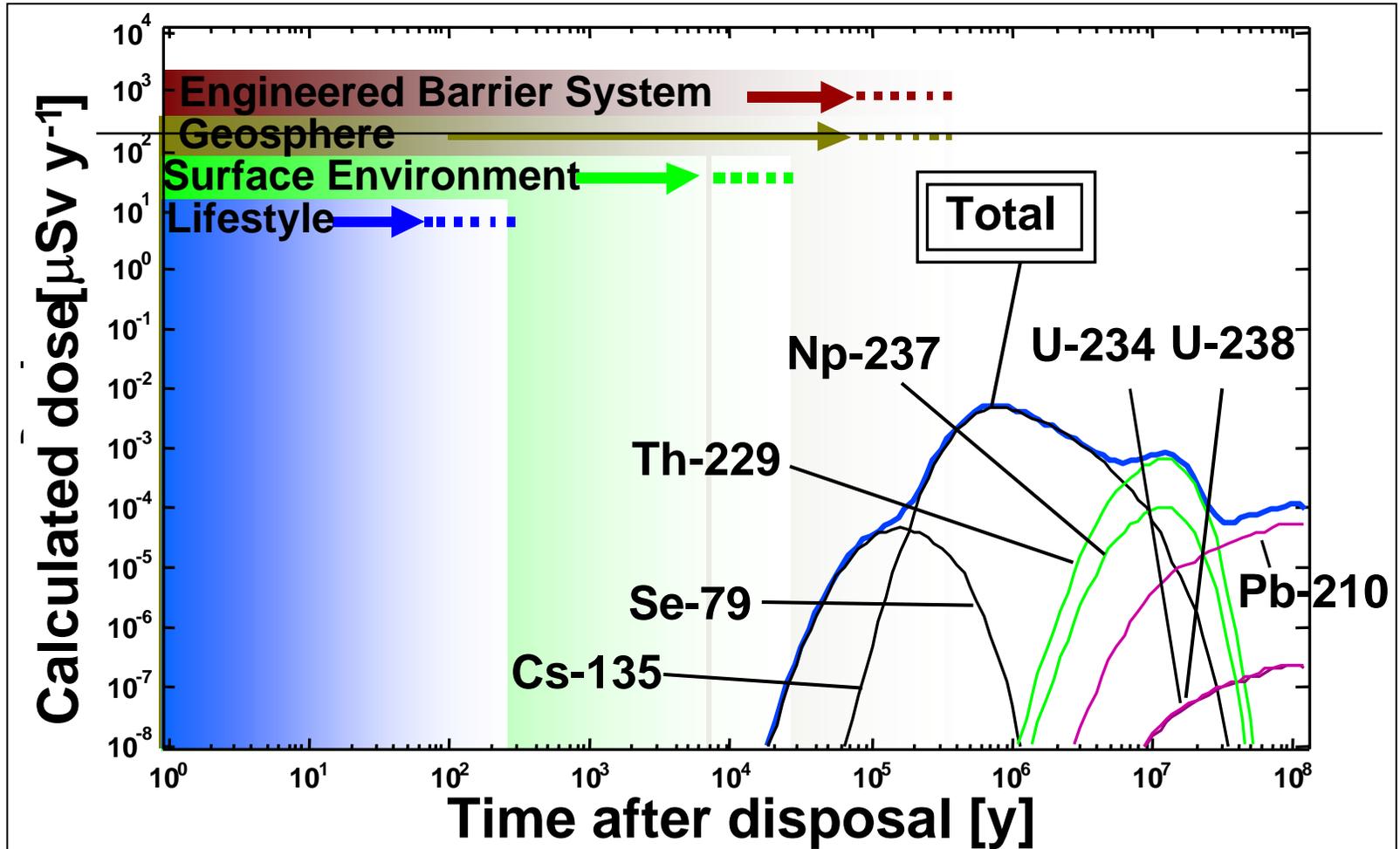
- 飽和層（花崗岩）
 - この中に処分場が存在する。
 - 地表から約500メートルの深さ。
 - ほぼ水平に流れる地下水による核種移行
- 人工バリアシステム
 - 坑道
 - ベントナイト緩衝材
 - 銅（外側）と鋳鉄（内側）の二重容器（20万年で1本破損の仮定）
 - 燃料被覆
 - 燃料ペレット（ 10^{-8} [1/y]の速度で溶解）
- 生物圏
 - バルト海への放出・希釈
- 容量
 - 4000容器



スウェーデン概念処分場の安全評価結果の一例



(参考) 日本・H12処分概念に対する安全評価結果例



YMRでは、「アクチノイド管理」により処分場の寿命を延ばすことができる。

• 核分裂生成物 (FP)

- 核分裂量に比例して増大する。
- おもにCs-137とSr-90による発熱はおよそ30年ごとに半分になる。
- 長期の放射性毒性への寄与は少ない。

• アクチノイド

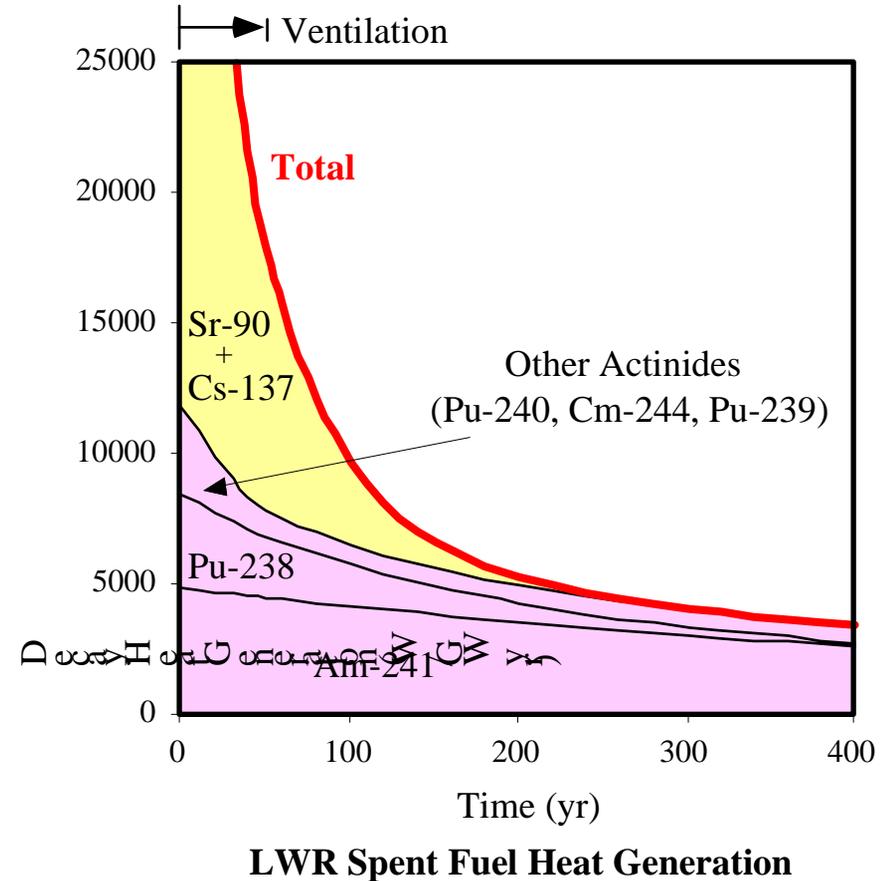
- 使用済み燃料の体積はウランで決定される。
- おもにAm-241がその後の期間(80~450年程度)熱発生を支配する。
- 長期の放射性毒性、公衆への被曝線量率への寄与が大きい。

• 閉鎖前初期100年程度、YMRでは坑道の換気をし、排熱する。

- スウェーデン型の場合、熱の管理は処分場への搬入前の貯蔵・冷却で行う。

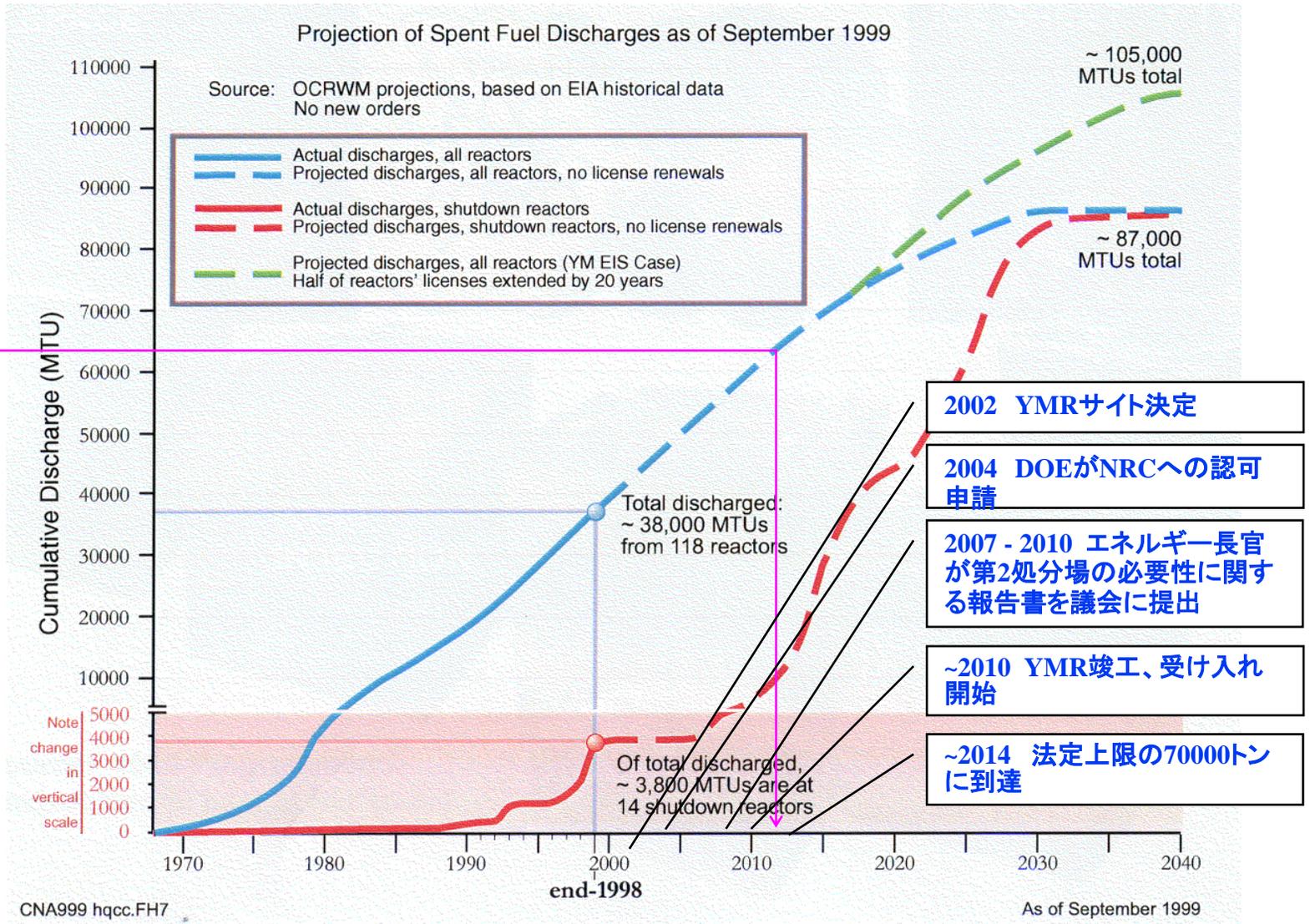
• 将来、アクチノイドを除去するシステムが適用されると、

- 熱的制約が緩和され、同じ処分面積で20万トンまで処分できる。
- 環境へ放出されるアクチノイドが制限され、環境負荷の増大を抑制できる。



米国における使用済み燃料の蓄積と処分場関連タイムライン

YMP
capacity



連邦控訴裁判決(2004年7月)について

- ・ ネバダ州が提訴していた訴訟のほとんどを棄却した。しかし、
- ・ EPAが設定した1万年という評価時点を否定した。
 - 埋設から1万年の間に0.15 mSvを超えない、という基準。
 - DOEのTotal System Performance Assessment (TSPA)によれば、YMRの現在の設計がそれを満たすことを示している。(4枚目の図参照)
 - 控訴・判決で問われているのは、基準そのものの妥当性。
 - EPAが上訴の可能性が高い。というのは、判決では「NASが棄却した基準をEPAが公布した」となっているが、評価期間はEPAの裁量で決めてよいことになっている。以下参照。1万年という評価期間が他の有害廃棄物の場合に考慮されるProtectionの程度とつじつまが合うことをEPAが説明できればその評価期間でかまわないということ。
 - 》 The NAS has stated: “The [National Research Council] TYMS report recommended that compliance assessment be conducted for the time when greatest risk occurs, within the limits imposed by long-term stability of the geologic environment, but also **noted that EPA might choose a different compliance time to be consistent with its management of risks from long-lived hazardous non-radioactive materials.**” (Comments on Proposed Radiation Protection Standards for Yucca Mountain, Nevada (1999) National Research Council, Commission on Geosciences, Environment and Resources (CGER), pg. 3.)
 - YMRの性能評価には多くの保守性が含まれているので、モデルを再検討することで、より長い期間でのComplianceを達成することも可能。
 - そのような性能評価の修正結果を公表してもAccountabilityに問題がのこる。
 - そもそも、地層処分の性能評価結果は、Stylized (形式化された) なものであって、解釈が難しい。
 - 「性能評価」は定量的・科学的にできるが、評価基準は社会が決めるもの。裁判の行方が注目される。

考察

- **スウェーデン:原子力のフェーズアウトが視野にある。**
 - 使用済み燃料処分はLegacyの清算。
 - 「原子力」時代と「原子力後」に線引きをする。
 - 処分場はできるだけ早く完全に閉鎖するのが、将来世代への現世代の責任の取り方。
 - » 「閉鎖」、「モニタリング」、「再取り出し可能性」、「可逆性」という問題が派生する。
- **米国:好むと好まざるとに関わらず、今後100年以上原子力を維持(そして、おそらく発展)する。**
 - 維持・拡大する中でLegacyを管理する。できればLegacyを縮小したい。
 - この先100年以上は「原子力」時代が続く。
 - » しかし、今のまま続ければ、30年ごとにYMRがひとつ必要になる。
 - 処分場をなるべく長く利用したい。さもないと、持続的維持発展ができない。
 - » サイクルと処分の有機的結合 (Advanced Fuel Cycle Initiative)
 - 熱と放射性毒性の管理。
 - 処分とサイクルを結合して考え、費用、環境負荷、核拡散性を「最小化」するモデルの創案。
 - 2007年のエネルギー長官の議会報告書に向けて。