

地層処分研究開発第 2 次取りまとめ第 2 ドラフトについて

平成 1 1 年 4 月 2 1 日
核燃料サイクル開発機構

第 2 次取りまとめ第 2 ドラフトは、平成 10 年 9 月に原子力委員会原子力バックエンド対策専門部に報告を行った第 1 ドラフトへのコメントやそれ以降の研究開発の進捗に基づいて取りまとめたものである。これについて以下に報告する。

1. 第 2 ドラフトの構成

第 2 ドラフトは、総論レポート及び 3 つの研究開発分野（「地質環境条件の調査研究」、「処分技術の研究開発」、「性能評価研究」）に対応した分冊によって構成されている。

2. 第 1 ドラフトからの進展と総論レポートの概要（添付 1 ～7 参照）

第 I 章「高レベル放射性廃棄物対策の考え方と進め方」

- 高レベル放射性廃棄物の特性（換算水量ではなく放射能で説明）
- 高レベル放射性廃棄物対策のオプションと地層処分の選択に関する記述の充実

第 II 章「地層処分概念と安全確保の考え方」

- わが国の地層処分概念と安全確保の考え方（適切なサイト選定と設計による地層処分システムの構築）
- 地層処分における多重バリアの概念に関する説明の充実

第 III 章「わが国の地質環境」

- 地質環境の安定性
 - 事例研究を追加，全国レベルで整理
 - 将来十万年程度の期間について地層処分の場としての地質環境の長期安定性を論ずることが可能
- 地質環境特性
 - 1000m ボーリング 2 本から得られた深部地質環境特性データを追加
 - 長期間にわたって人工バリアの健全性を保ち，また天然バリアとして核種の移行を遅延する機能を確認

第 IV 章「地層処分の工学技術」

- 人工バリアの設計
 - わが国の幅広い地質環境に対応した岩盤物性値の幅を考慮した合理的な設計に基づく仕様の提示
- 処分施設の設計
 - 処分場の性能を損なうことなく坑道掘削量を最小とするような合理的な設計の考え方に基づく坑道離間距離、廃棄体ピッチの設定による仕様の提示
 - 処分場レイアウトの例示
- 人工バリア／処分施設の製作・施工
 - 実規模／工学規模試験による技術的実現性の確認

第 V 章「地層処分システムの安全評価」

- 地層処分システムの安全性を論ずる上で評価上考慮すべきシナリオと評価の方法の明示
- 地下水シナリオの基本シナリオに対し、地質環境のバリエーションやデザインのオプションとともに、モデル、データの不確実性を考慮し、レファレンスケースを含めた 30 ケースの解析を実施して、システム全体の性能を幅で提示
- 地質環境のバリエーションやデザインのオプション、モデル及びデータの不確実性を考慮しても、線量の最大値は、例えば諸外国で示されている基準 ($100\sim 300\mu\text{Sv/y}$) を下回っていることを確認
- 接近シナリオの評価例（人間侵入シナリオ）の提示

第 VI 章「処分予定地選定と安全基準策定に資する技術的検討」

- サイト選定にあたって考慮すべき地質環境上の要件および必要となる情報の整理、重要な地質環境情報を取得するために必要な地質環境調査技術・機器開発の成果を記述
- わが国の幅広い地質環境を対象とした人工バリア及び処分施設の設計・施工要件の明示
- 線量あるいはリスクを補完する指標について、河川、海、土壌あるいは岩石中の放射性核種濃度を用いることが可能であることを確認
- 評価の時間スケールについて検討

第 VII 章「まとめ」

- わが国の地層処分の技術的信頼性
- 第 2 次取りまとめ以降の研究開発のあり方の検討

3.分冊の内容

分冊1 「地質環境条件の調査研究」

地質環境の長期安定性と深部地質環境特性に関する技術的情報を集約（総論レポート第 III 章に対応）

分冊2 「地層処分の工学技術」

処分場の設計の工学技術的可能性に関する技術的情報を集約（総論レポート第 IV 章に対応）

分冊3 「地層処分システムの安全評価」

地層処分システムの長期安全性に関する技術的情報を集約（総論レポート第 V 章に対応）

第2次取りまとめ第2ドラフト 総論レポートの構成

第Ⅰ章 高レベル放射性廃棄物対策の考え方と進め方

第Ⅱ章 地層処分の概念と安全確保の考え方

第Ⅲ章 わが国の地質環境

- ・処分予定地選定の要件
- ・サイト特性調査技術

サイト選定の可能性

設計／安全評価に必要な
地質環境特性

地層処分にとって安定な
地質環境条件

第Ⅳ章 地層処分の工学技術

- ・人工バリア、処分施設の設計要件
- ・設計手法、建設・施工技術、品質管理

処分場の設計の工学技術的可能性

- ・人工バリア仕様、長期健全性
- ・処分施設レイアウト

第Ⅴ章 地層処分システムの安全評価

- ・安全指標
- ・評価の時間枠
- ・安全評価手法とデータベース

地層処分システムの長期安全性

多重バリアシステムの安全性能、環境への放射線学的影響、不確実性評価

第Ⅶ章 まとめ

- ・わが国における地層処分の技術的信頼性
- ・2000年以降の当面の地層処分研究開発の考え方について

第Ⅵ章 処分予定地選定の技術的拠り所／安全基準策定の技術的拠り所

第2次取りまとめ第2ドラフト総論レポートの内容

第1章 高レベル放射性廃棄物対策の考え方と進め方

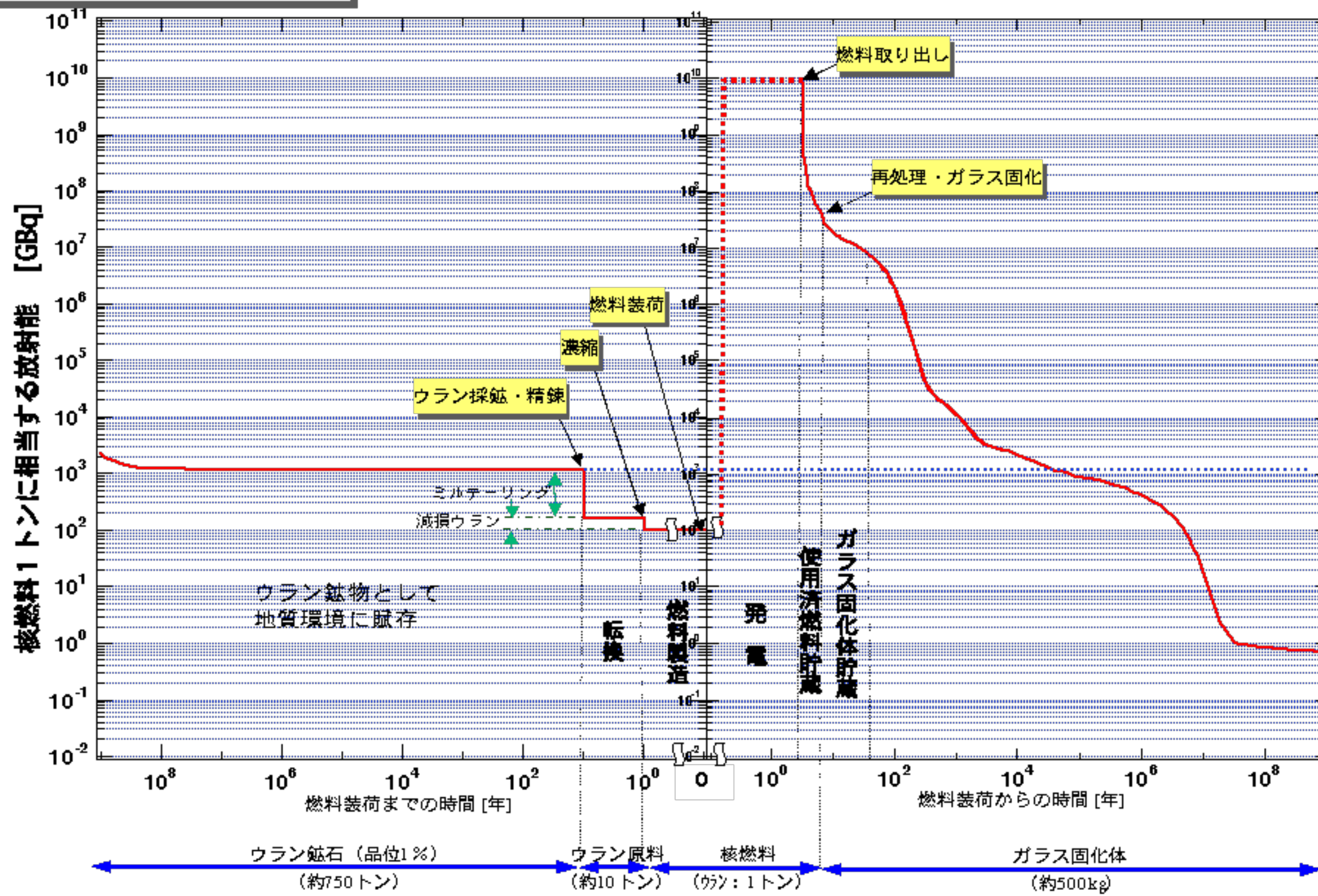
第2章 地層処分の概念と安全確保の考え方

資料(専)22-3 添付-2

平成11年4月21日

第22回原子力バックエンド対策専門部会

高レベル放射性廃棄物の特徴



高レベル放射性廃棄物対策

源流対策

発生量の低減

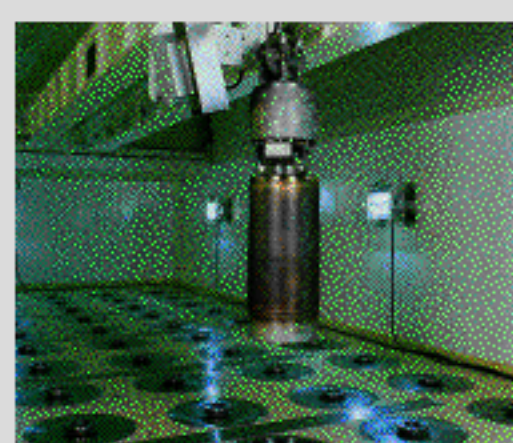


群分離・消滅処理

- ・技術開発要
- ・放射能レベルの低減は可能であるが全量
は困難
- ・残りは処分が必要

制度的管理

人間による監視

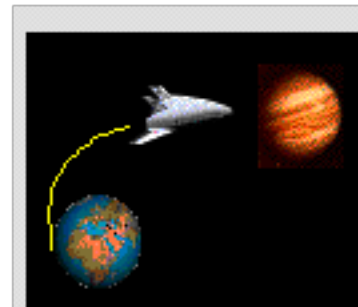


長期管理貯蔵

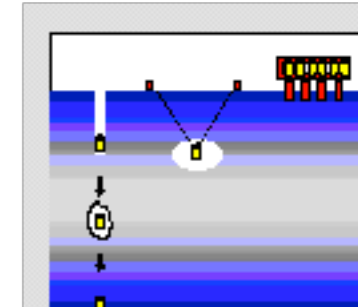
- ・現状技術で対応可能
- ・管理責任が明確であるが無期限には困難
- ・いずれ処分が必要

永久隔離

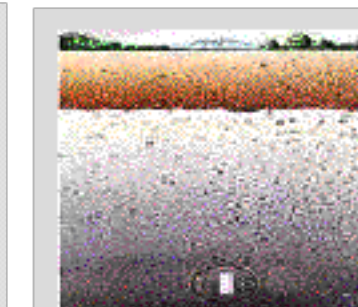
処分



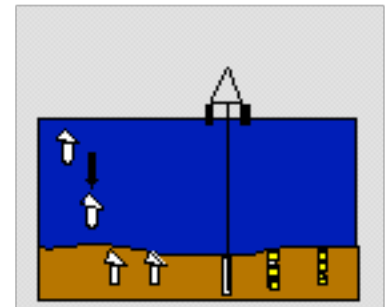
宇宙空間への処分



極地の氷床への処分



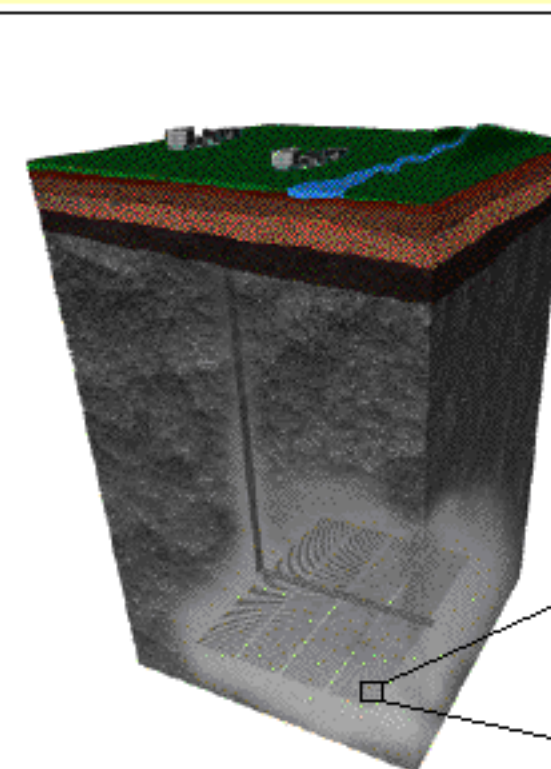
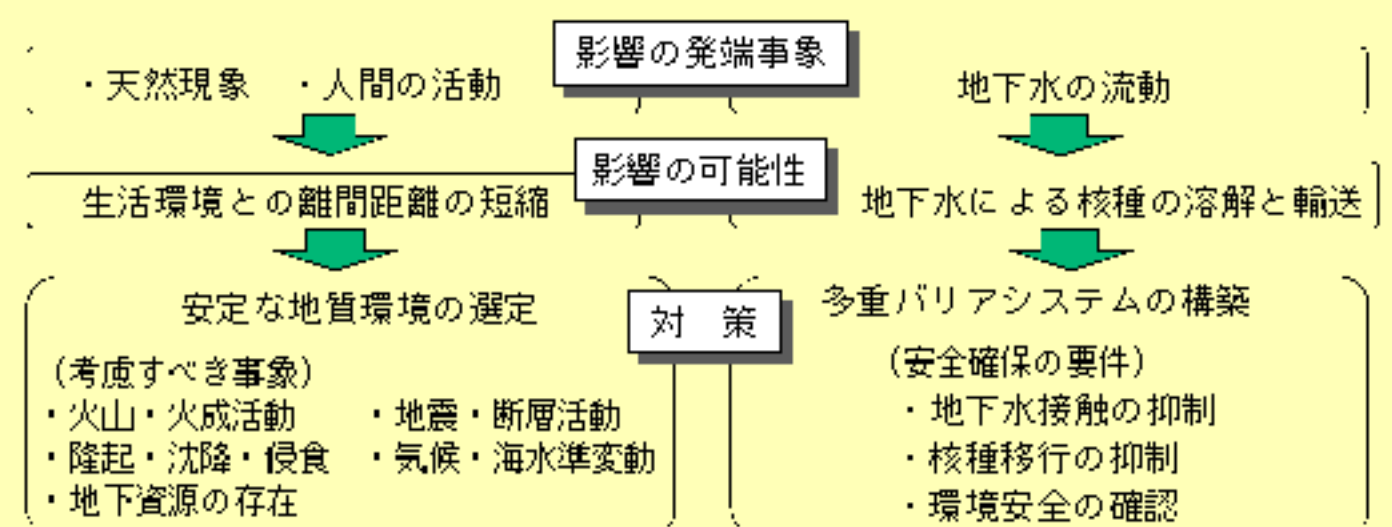
地層中への処分



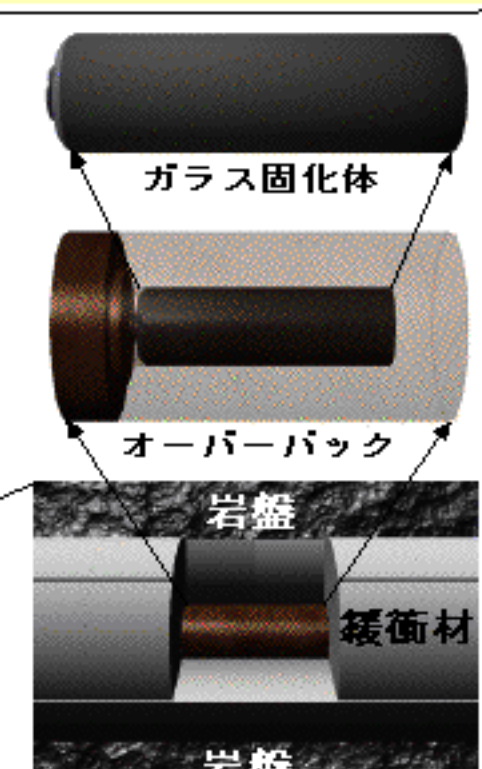
海洋底下への処分

地層処分の選択

安全確保の考え方



安定な地層



多重バリアシステム

第2次取りまとめ第2ドラフト総論レポートの内容

第III章 わが国の地質環境

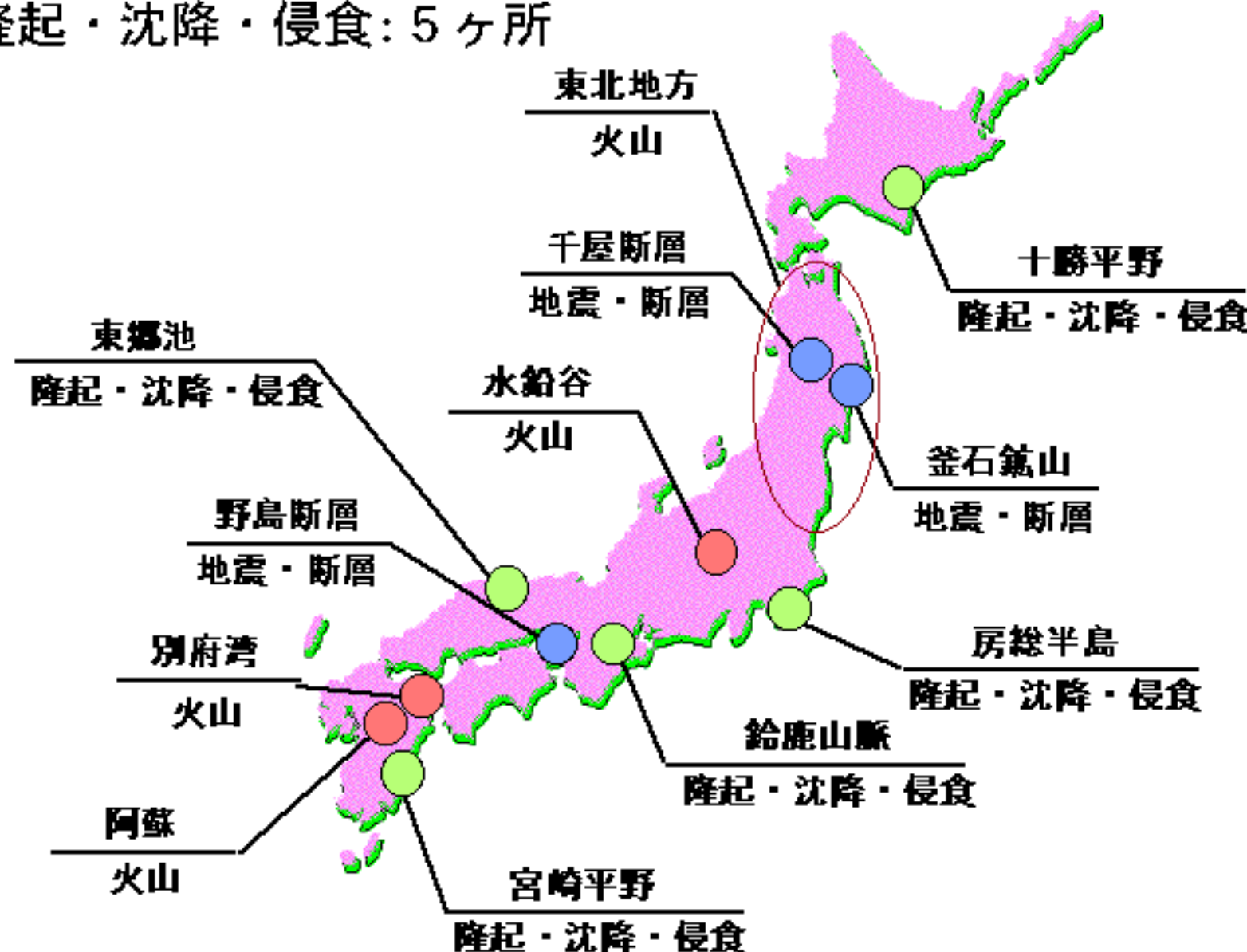
地質環境の安定性

目標：将来の天然現象の発生予測と天然現象が発生した場合の地質環境への影響把握

方法：事例研究と文献情報の分析により、過去から現在までの活動履歴を追跡

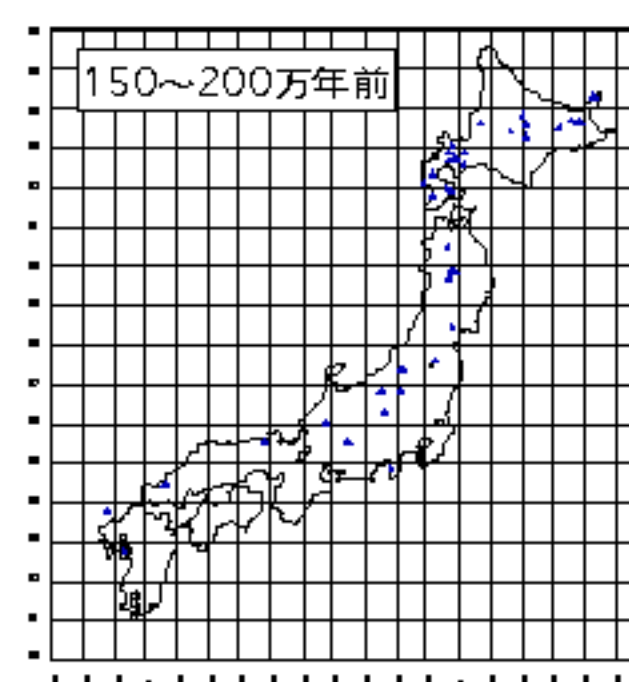
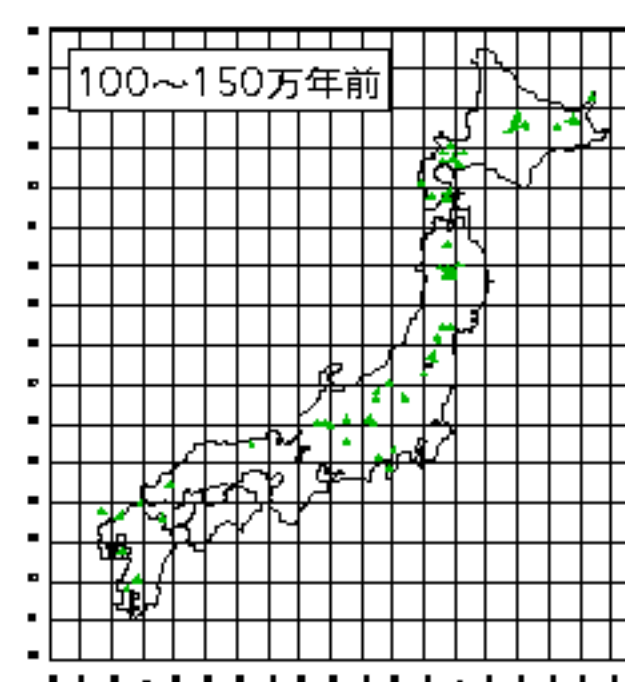
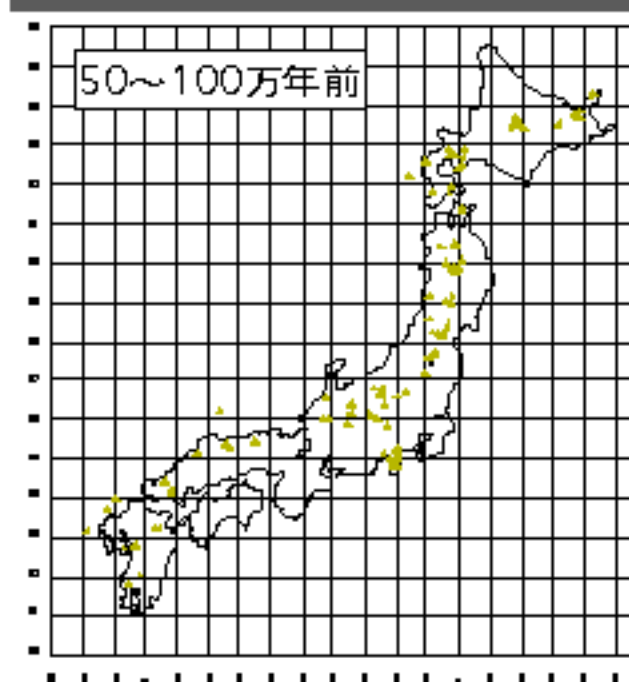
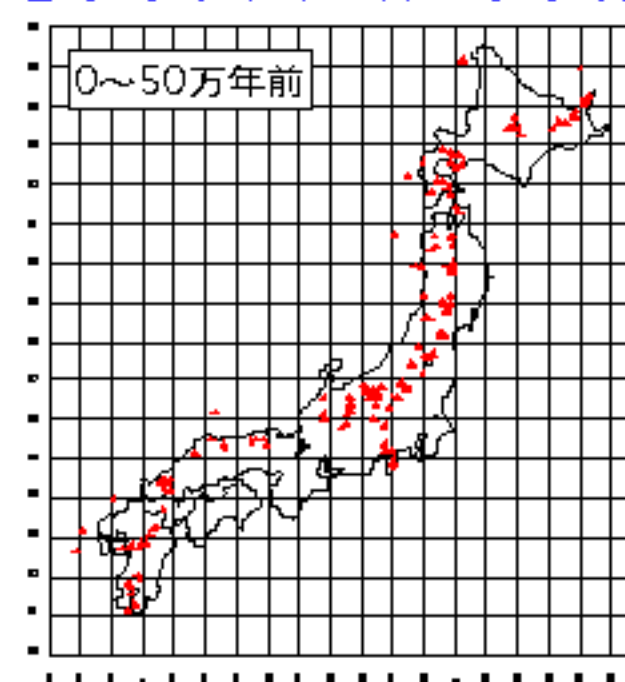
【事例研究主要実施地域】

- 火山：4ヶ所
- 地震・断層：3ヶ所
- 隆起・沈降・侵食：5ヶ所



【事例研究成果例】

第1ドラフトからの進展



第四紀火山の時空分布

- 将来十万年程度の火山活動は現在と同様の地域内に限定
- 将来十万年程度では新たな活断層が発生する可能性小
- 将来十万年程度の隆起・沈降・侵食については現在と同程度の速度

地層処分にとって重要な地質環境の特性

目標：処分システムの設計・安全評価に必要なデータの提示

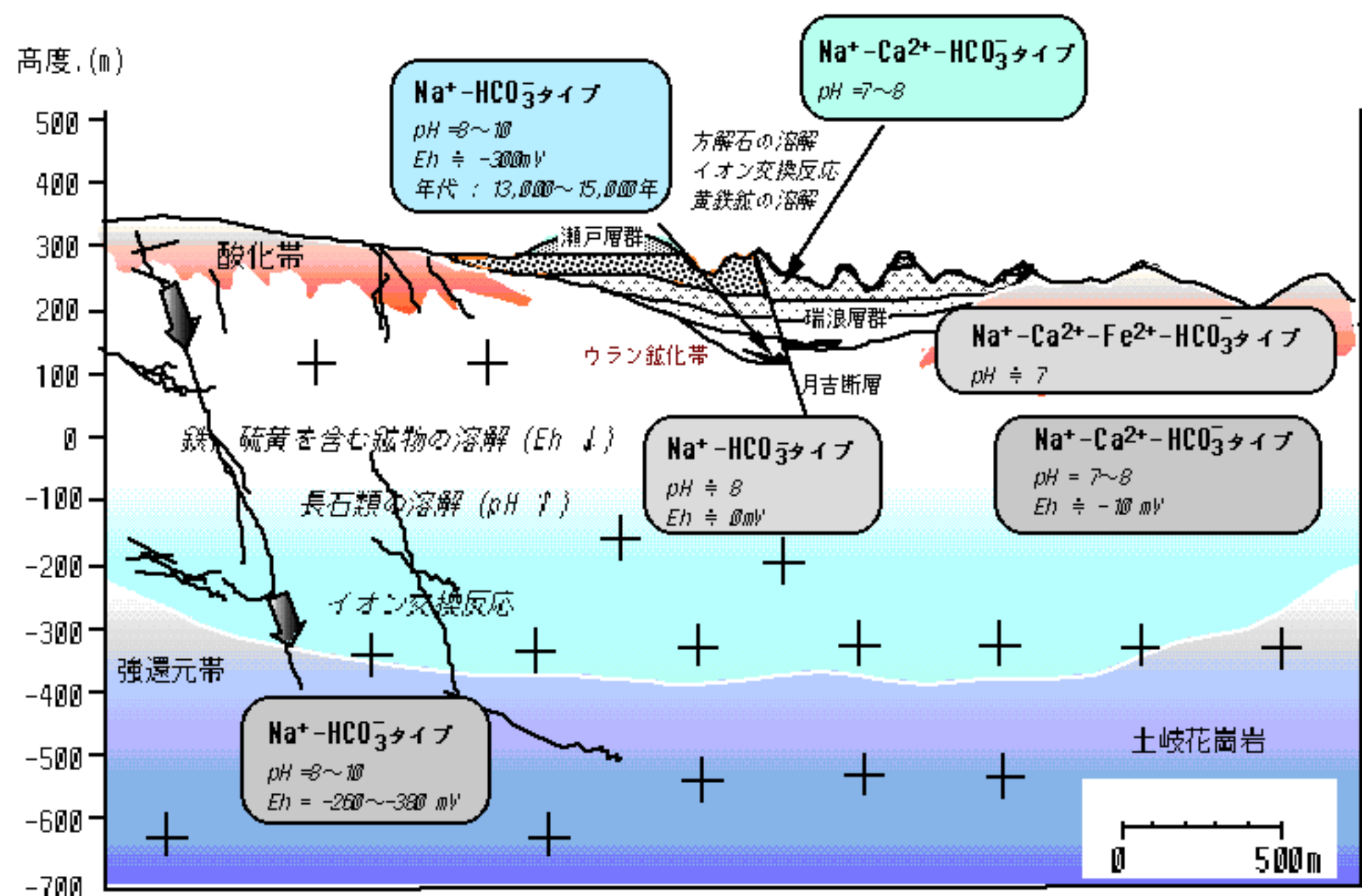
方法：文献データの整理と東濃地域や釜石鉾山の実測データに基づくデータベース整備

【第2ドラフトまでのデータベースに用いたボーリング数】

東濃地域 4本(1000m級), 5本(500m級), 90本(500m以下), 50本(坑内ボーリング)

釜石鉾山 1本(1000m級), 1本(500m級), 150本(坑内ボーリング)

- 地下深部の環境：還元性の確認
- 岩盤の透水係数： $10^{-8} \sim 10^{-9}$ m/s 程度
- 岩盤力学/熱物性：人工バリアや処分施設的设计に必要な情報を整備



東濃地域における地下深部地下水の地球化学的性質

第2次取りまとめ第2ドラフト総論レポートの内容

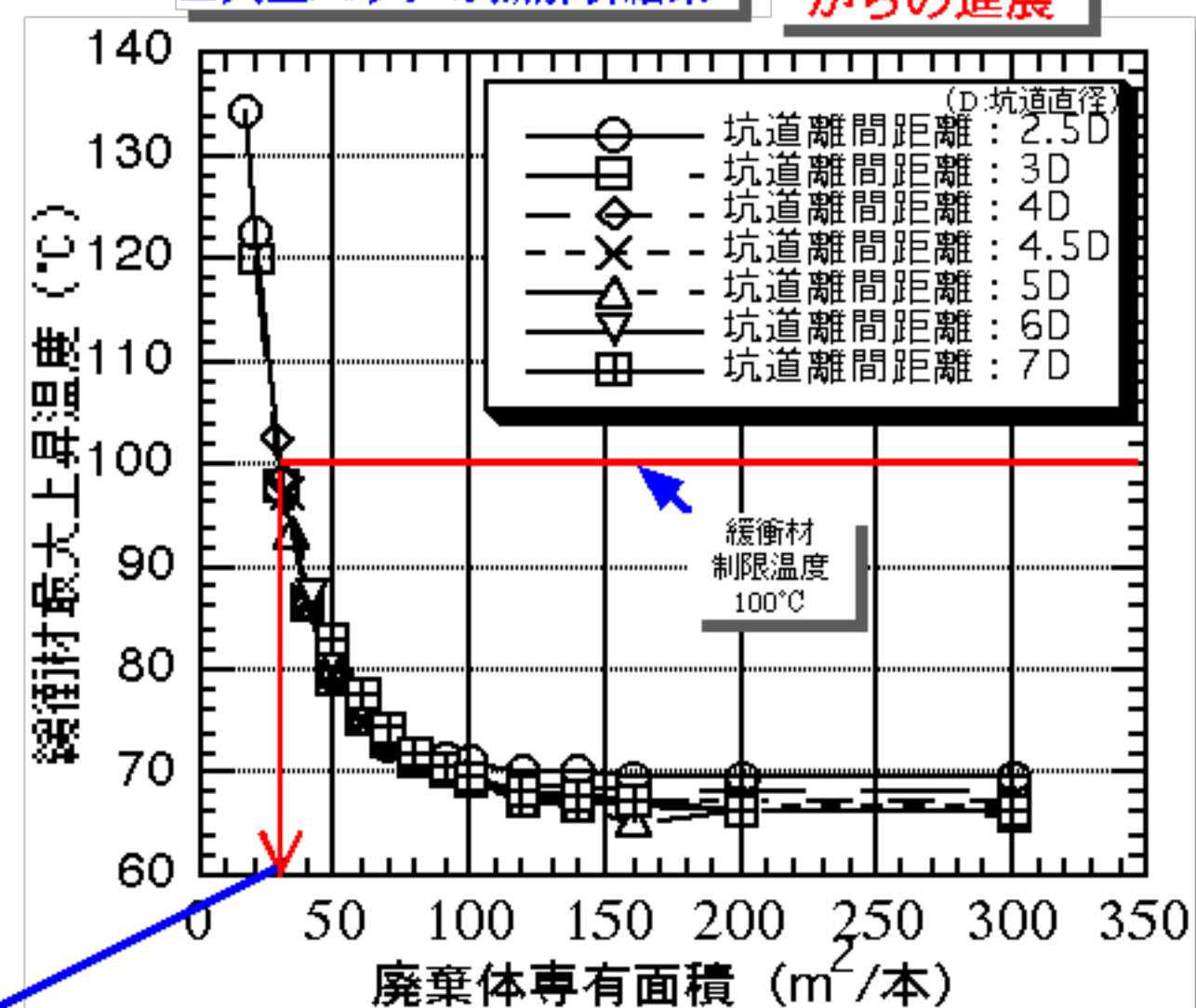
第IV章 地層処分の工学技術

目標：幅広い地質環境を考慮した、現実的な工学技術による合理的な人工バリアと処分施設の提示

人工バリアの設計

第1ドラフトからの進展

■人工バリアの熱解析結果



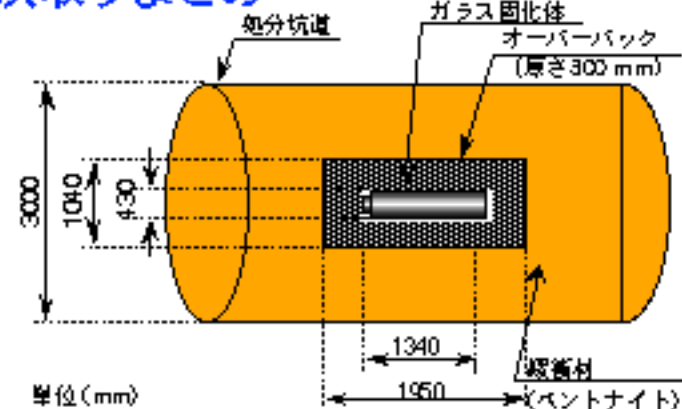
■人工バリア設計仕様の合理化

■オーバーバック
オーバーバックの作用荷重についてより現象に即したモデルの改良により厚さが低減

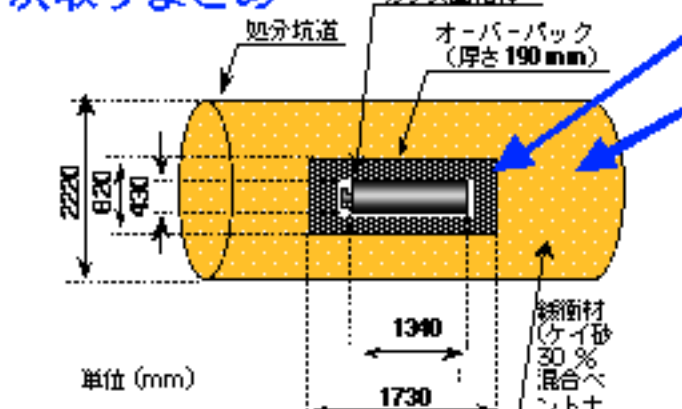
■緩衝材
・施工性、熱伝導性、透気性の観点からベントナイトにゲイ砂を混合
・応力緩衝性の検討により厚さが低減

人工バリア厚さ 30%減
人工バリア材料 50%減

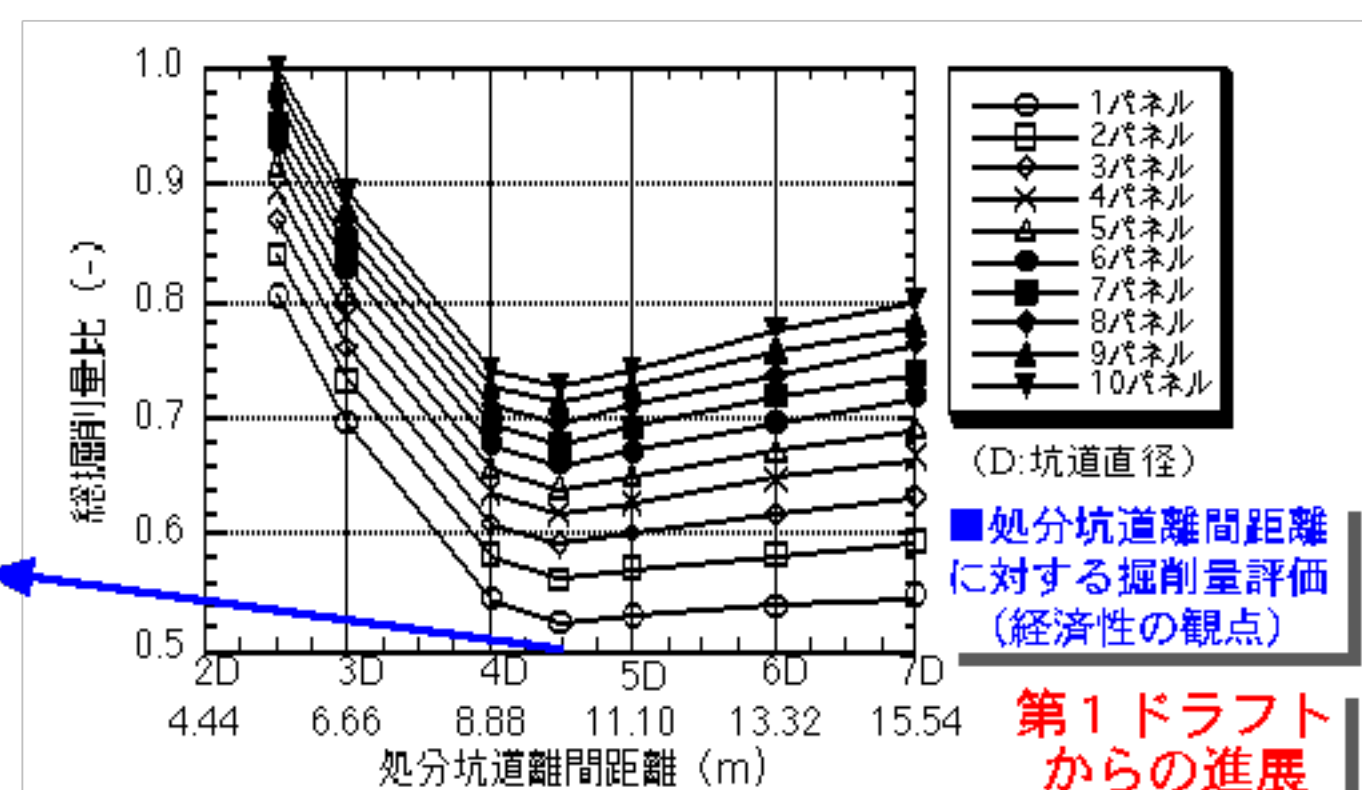
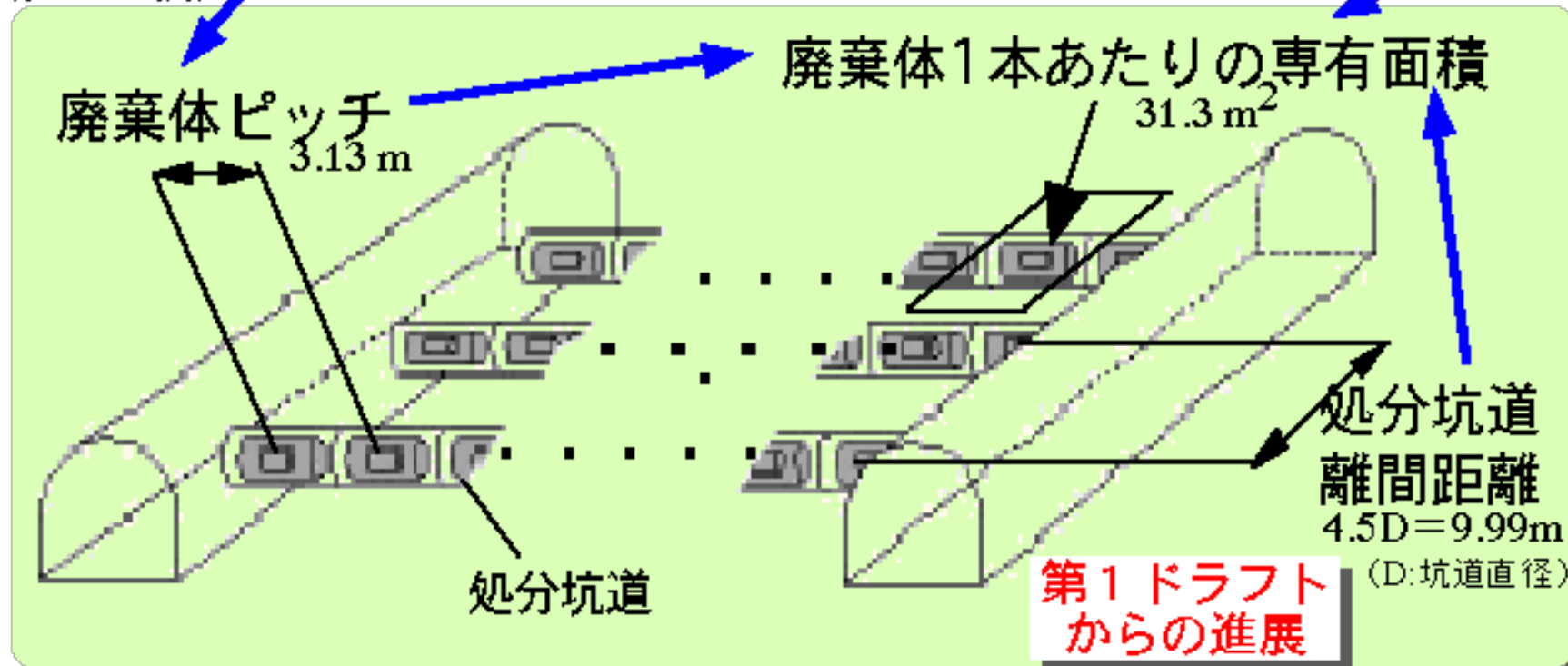
第1次取りまとめ



第2次取りまとめ



横置きの場合)

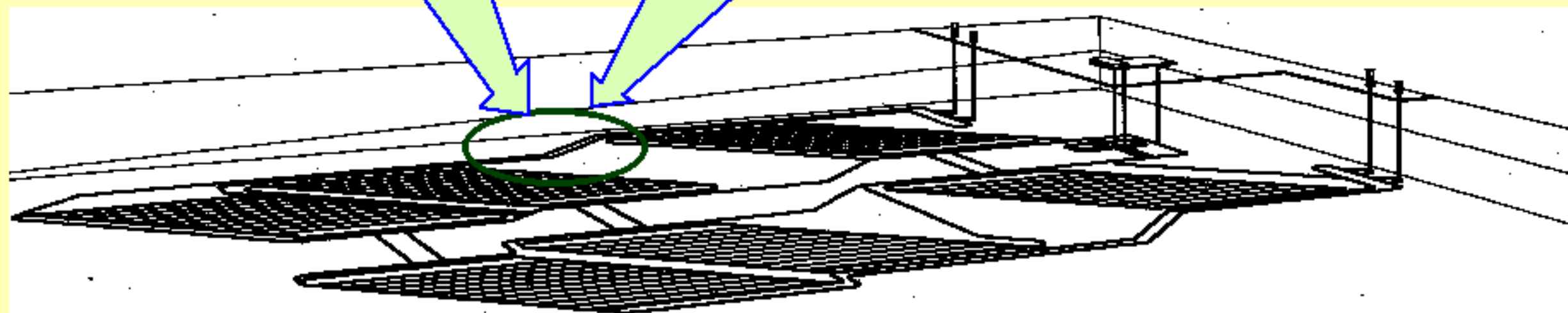


処分施設の設計

■地質環境特性を考慮した処分場レイアウトの検討例

第1ドラフトからの進展

■地質環境特性 (大規模な割れ目, 地下水流動方向, 主要応力場等の情報)
■廃棄体数: 40,000本



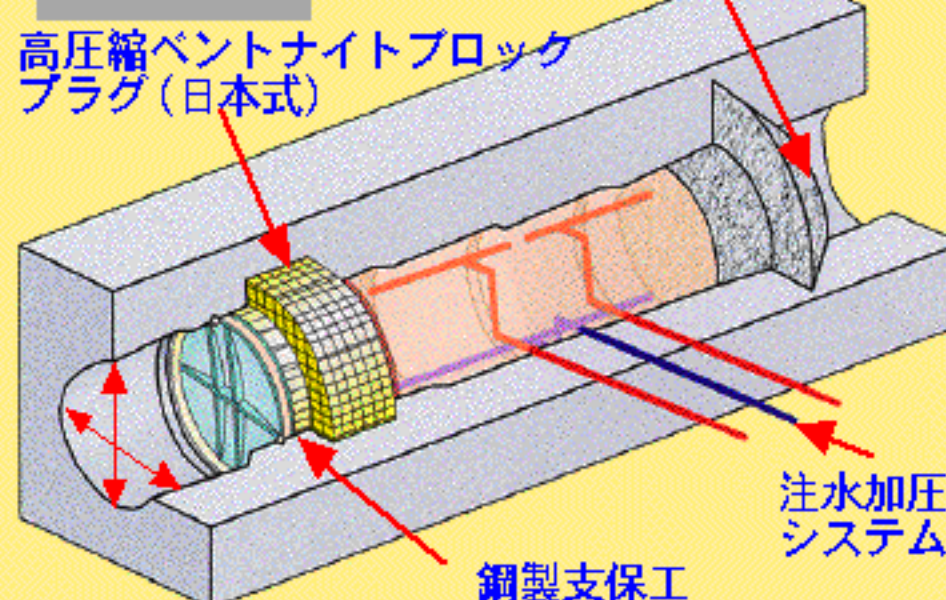
人工バリア／処分施設の製作・施工

●実規模／工学規模試験による技術的実現性の確認



■チタン-炭素鋼複合オーバーバックの設計／試作

試験坑道
■幅 4.5m
■高さ 3.5m
■楕円形



■カナダURLにおける実規模シーリング共同試験

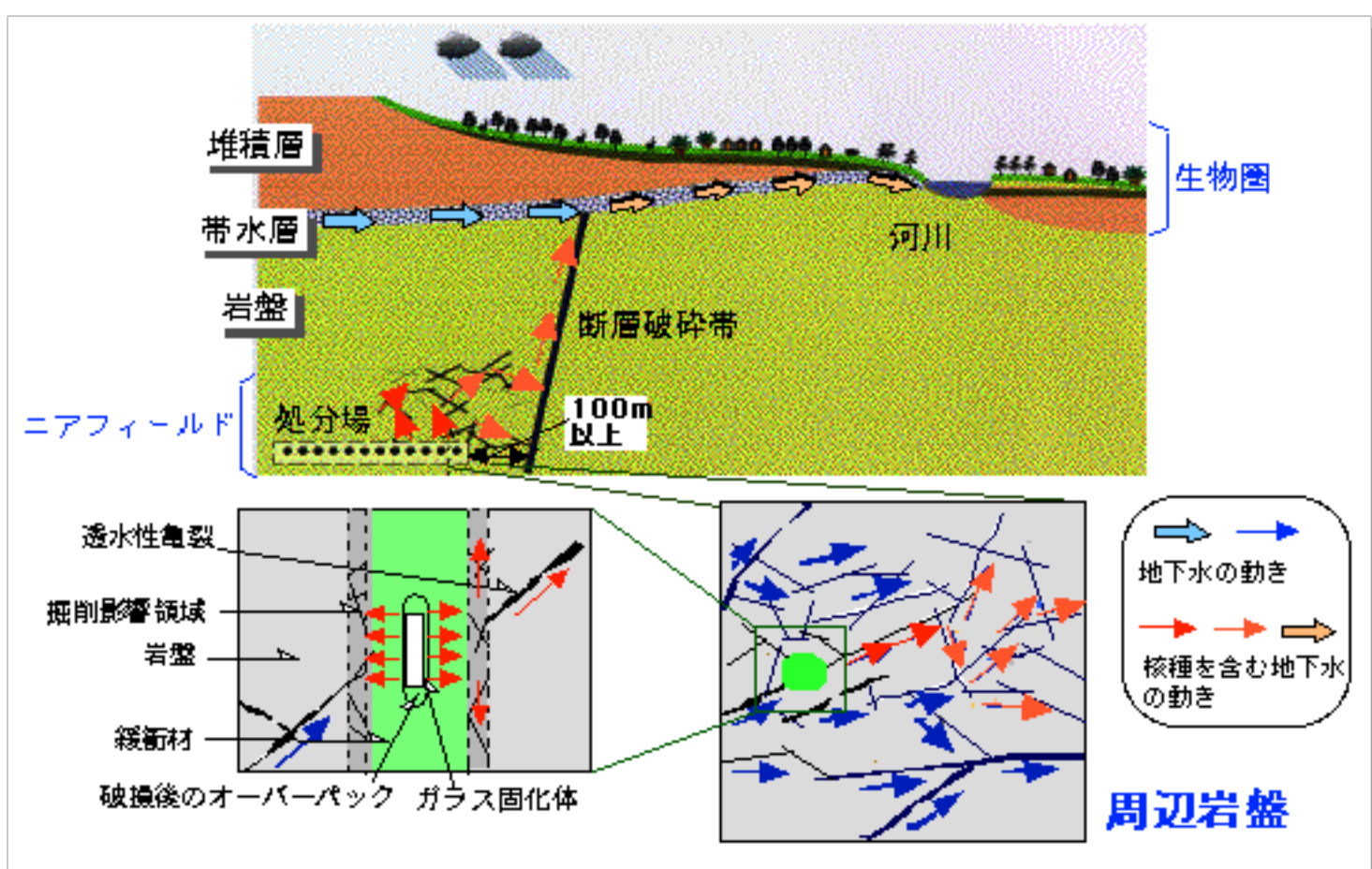
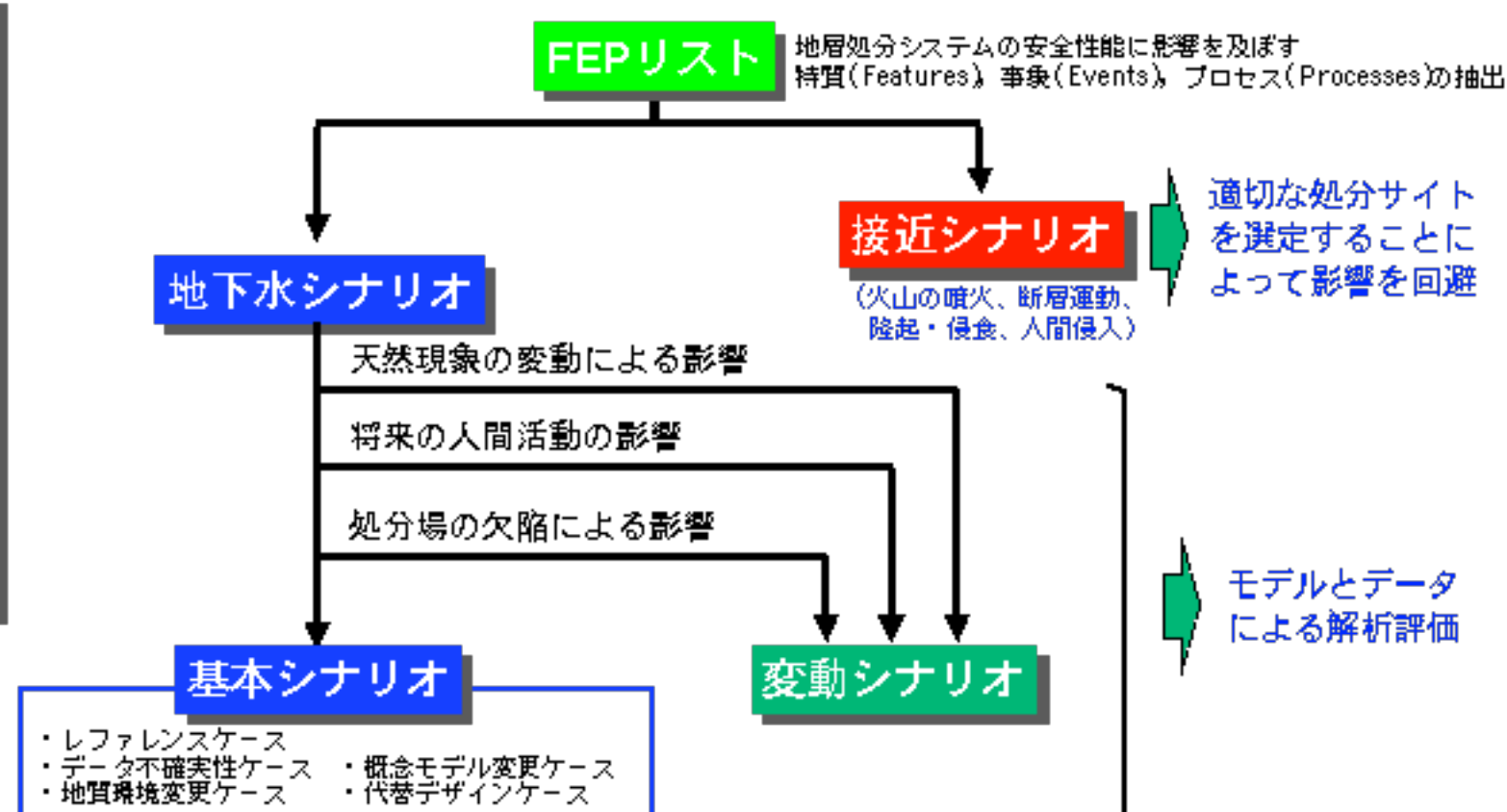
■人工バリア仕様の合理化
■地質環境特性と合理的な坑道離間距離を有する人工バリア仕様による処分施設の設計例の提示
■処分場止水技術 (ゲラトプラグによる止水性能) の確認

目標：地層処分システムのニアフィールドを中心とした信頼性の高い評価

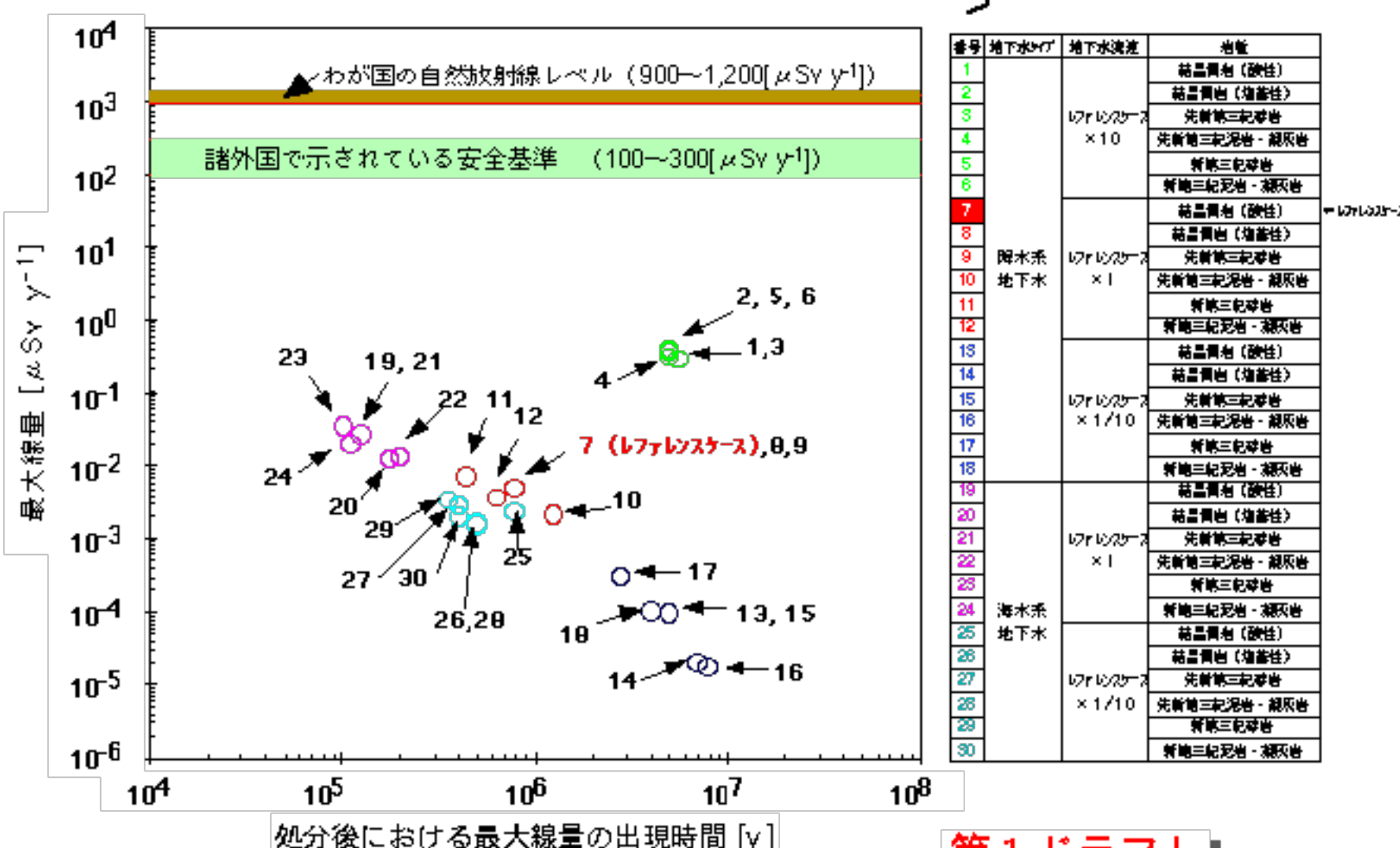
シナリオの分類と取り扱い

地下水シナリオの評価

- 基本的な解析モデル体系は第1ドラフトを踏襲
- 地質環境のバリエーションや人工バリアデザインのオプション、モデルやデータの不確実性を考慮し、レファレンスケースに加え、現実的な範囲で30の解析ケースを設定



処分場から人間環境に至る核種の移行経路のモデル



地層処分システムの全体性能の解析

地下水シナリオ(基本シナリオ)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)

第1ドラフトからの進展

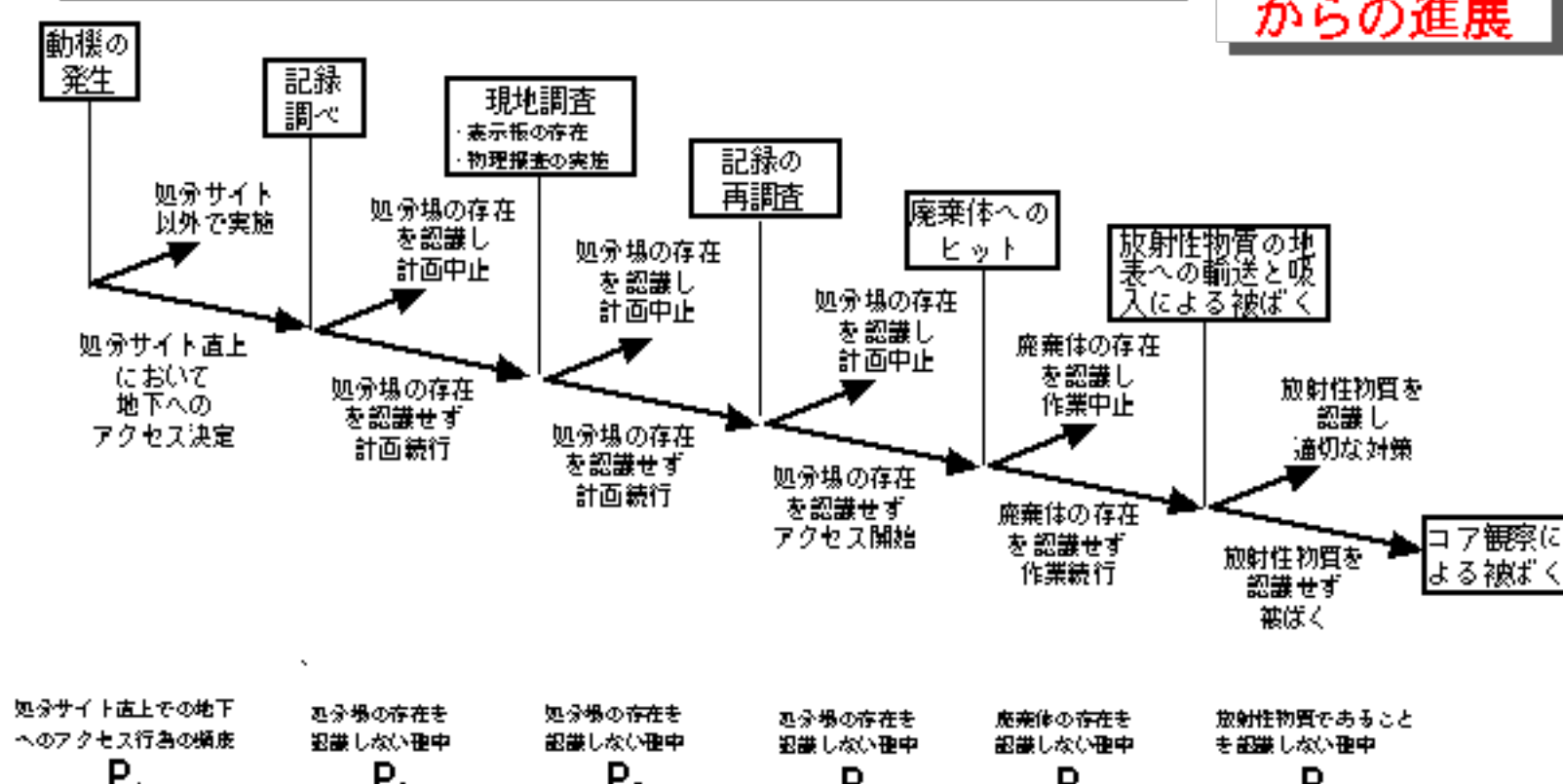
地質環境のバリエーションや人工バリアデザインのオプション、モデルやデータの不確実性を考慮しても、線量の最大値は諸外国の安全基準 (100~300 [$\mu\text{Sv/y}$]) を下回る

接近シナリオの評価例

(人間侵入シナリオの評価事例)

ボーリングが処分場の廃棄物を貫通するシナリオを想定

第1ドラフトからの進展

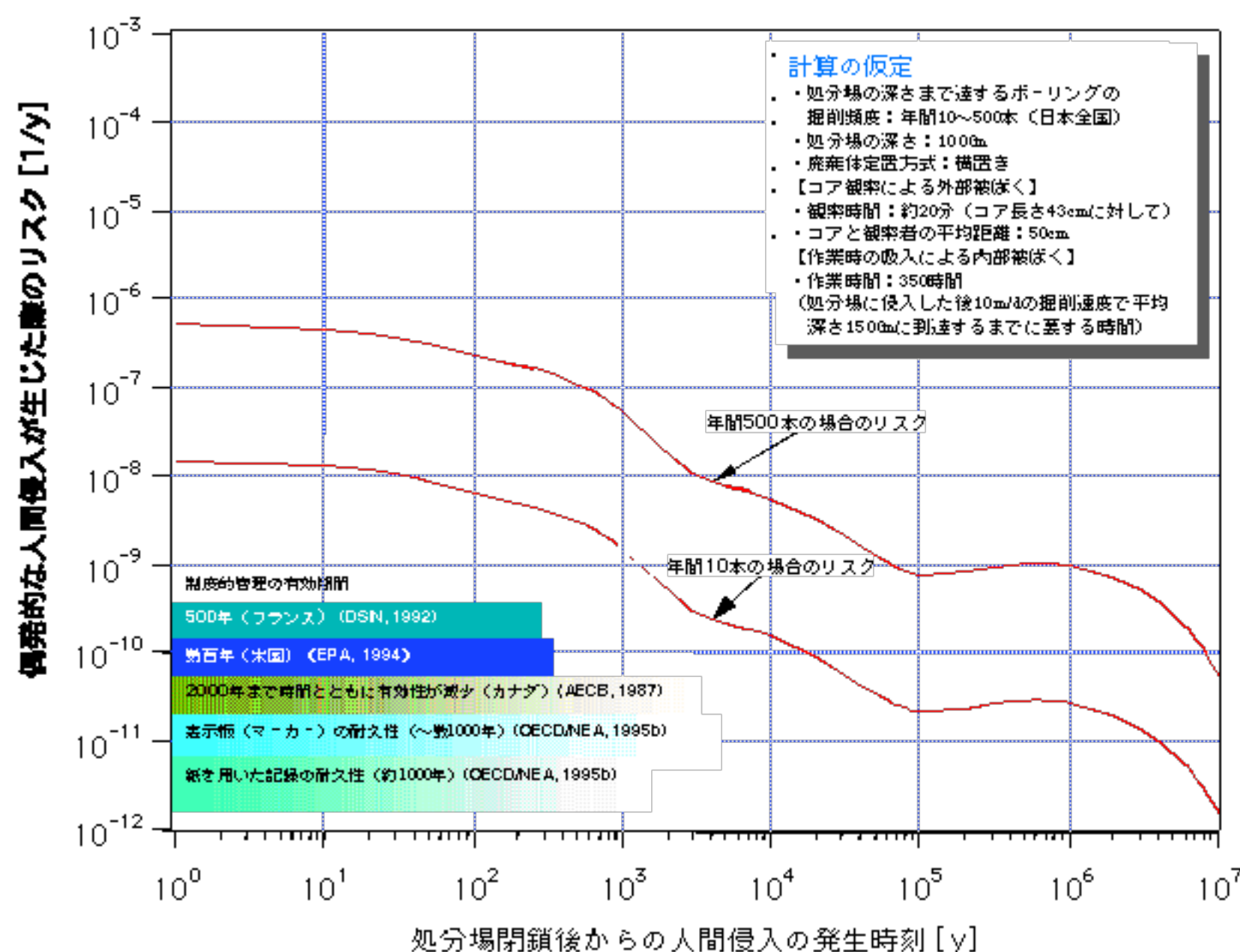


人間侵入シナリオのイベントツリー

リスクの計算

$$R(t) = \gamma \cdot P \cdot \sum_j H_j(t)$$

$R(t)$: 時刻 t における年間のリスク [$1/y$]
 γ : リスクファクター [$1/Sv$]
 P : ボーリングが廃棄物を貫通する確率 [$1/y$]
 $H_j(t)$: 人間侵入による想定被ばく線量 [Sv]



偶発的な人間侵入シナリオの発生を想定して解析を実施した結果、最大値は諸外国の安全基準 ($10^{-6} \sim 10^{-5} [1/y]$) を下回る

処分予定地選定に資する技術的拠り所

第1ドラフトからの進展

【処分サイト選定プロセスの各段階における技術的拠り所】

処分候補地の選定段階

主に文献調査により得られる情報をもとに地層処分の場合として不適切な地質環境を排除することを主眼とし、以下の要件を確認

地質環境の長期安定性に関する要件	過去数十万年以内に活動している断層を避けて処分施設を配置することができないような地域ではないこと
・地震・断層活動	過去数十万年以内に活動している火山地域でないこと
・火山・火成活動	過去数十万年間における隆起・侵食が著しい地域ではないこと
・隆起・侵食	
工学技術的可能性に関する要件	ある程度の広がり地下空間を確保するという観点から、地層処分の対象とすべき岩盤の分布規模や深度が適切であること
人間侵入に関する要件	将来の人間が探査や探査の目的で地下深部の地質環境に接近する可能性を可能な限り排除するという観点から、開発の対象となっている(あるいは過去になっていた)利用可能な地下資源がないこと

処分予定地の選定段階

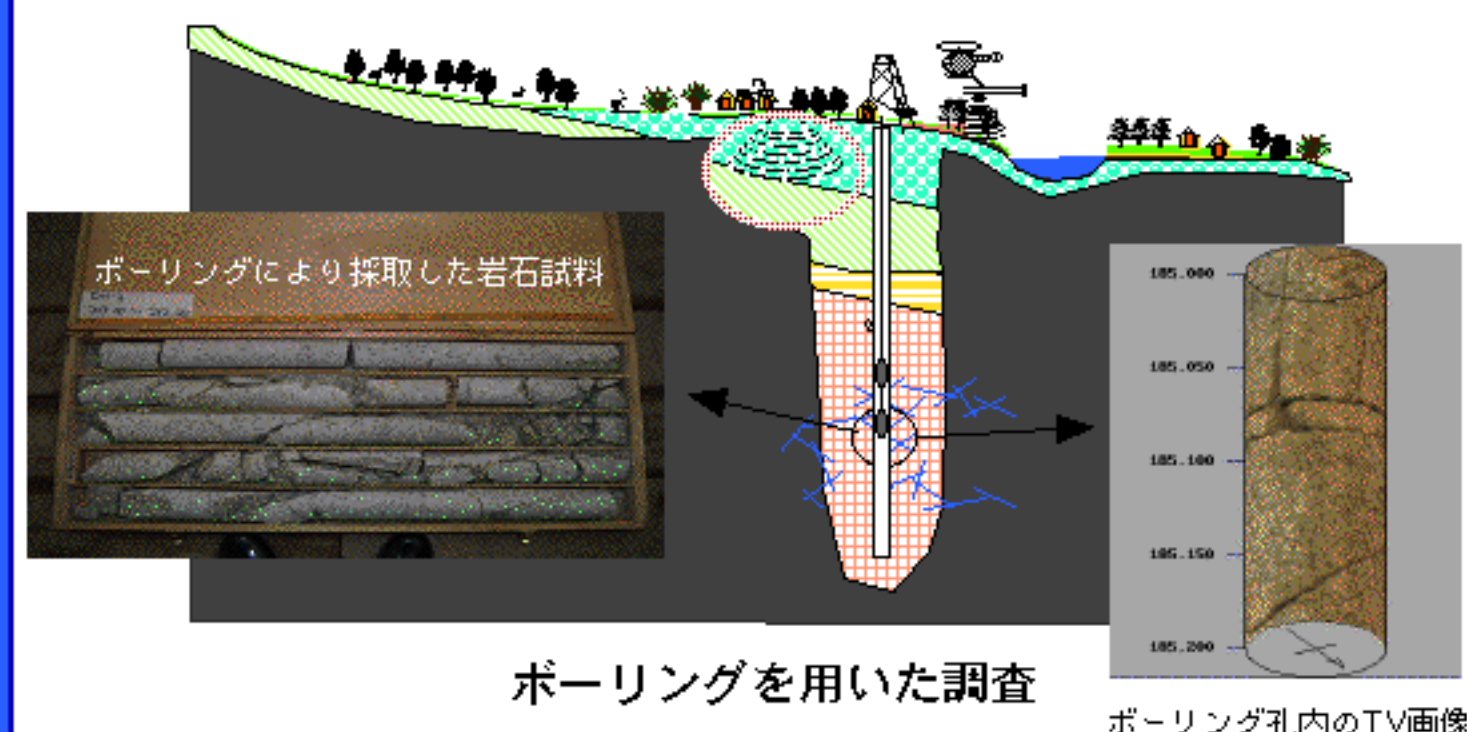
サイトでの現地調査によって得られる実測データ等に基づき、候補地選定時における判断の内容を再確認

地質環境の長期安定性に関する要件	過去数十万年以内に活動している断層の影響を考慮して、処分施設を十分に離して設置できること
・地震・断層活動	過去数十万年以内に活動している火山地域およびそれに起因する地熱・熱水の影響範囲でないこと
・火山・火成活動	過去数十万年間における隆起・侵食を考慮して、適切な深度に処分施設が配置できること
・隆起・侵食	
工学技術的可能性に関する要件	地層処分の対象とすべき岩盤の分布規模や深度が適切であること、適切な深度に処分施設が建設可能であること
人間侵入に関する要件	有用な資源が地下に存在する地域でないこと

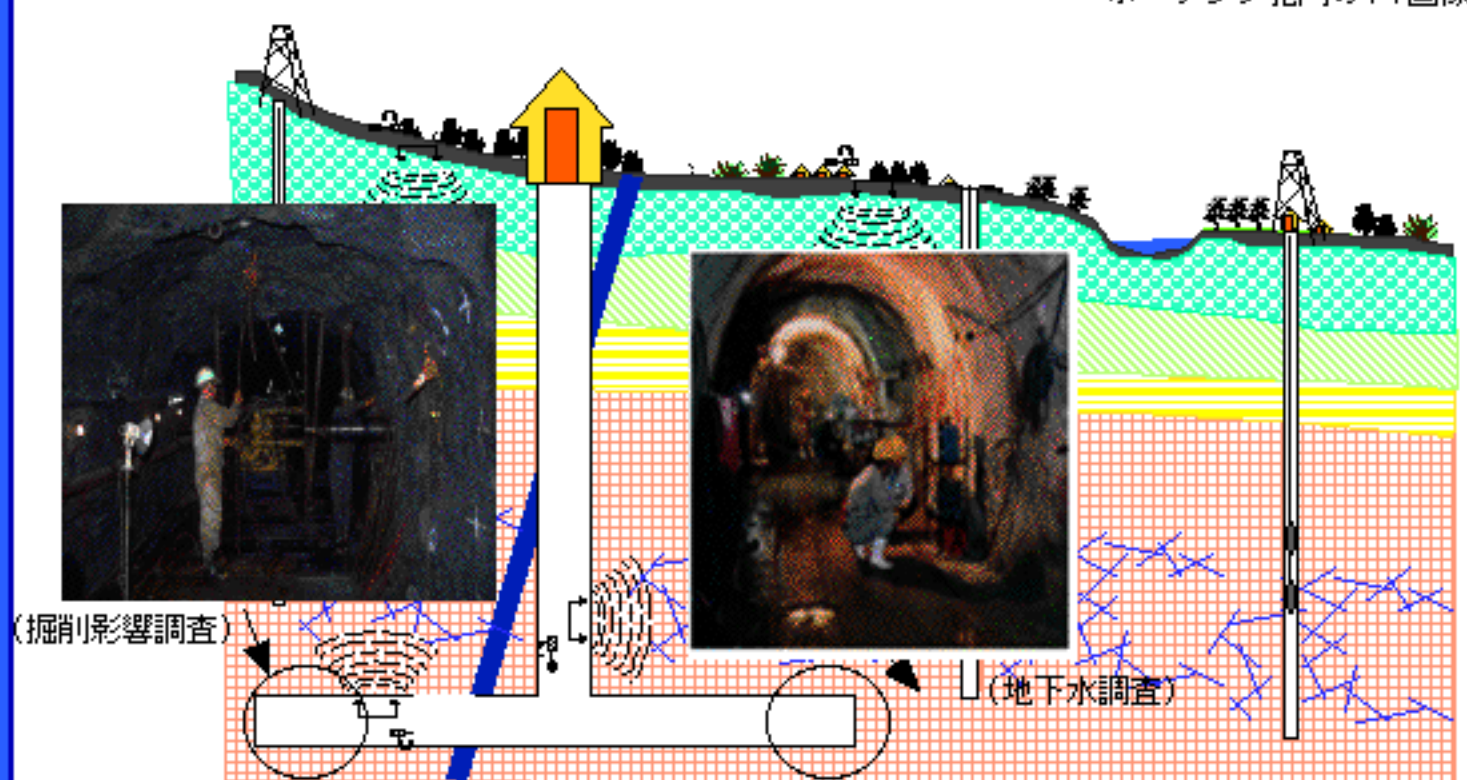
サイト特性調査段階

処分予定地での地表及び地下施設を利用した総合的な調査試験により、詳細な地質環境特性が把握され、人工バリアや処分施設的设计、地層処分システムの安全評価に必要な地質環境データを包括的に整備

【地質環境調査の進め方の検討】 ボーリングや地下施設を利用した地質環境の調査



ボーリングを用いた調査



地下施設を利用した調査

【地層処分システムの安全評価上の要件の検討】

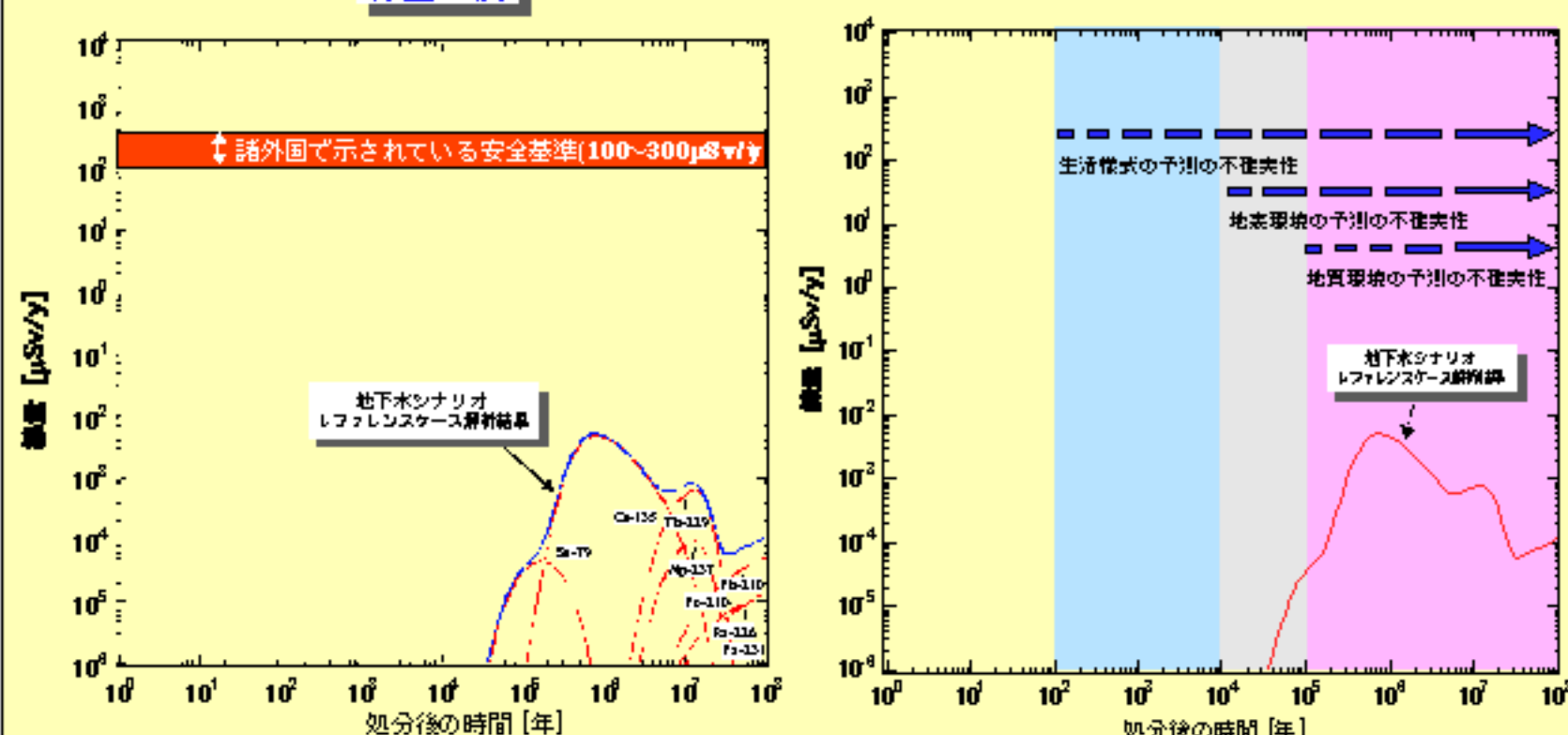
【安全評価指標】

諸外国の安全評価指標の調査

【安全評価期間】

長期の線量評価に伴う不確実性の要因の把握

線量の例

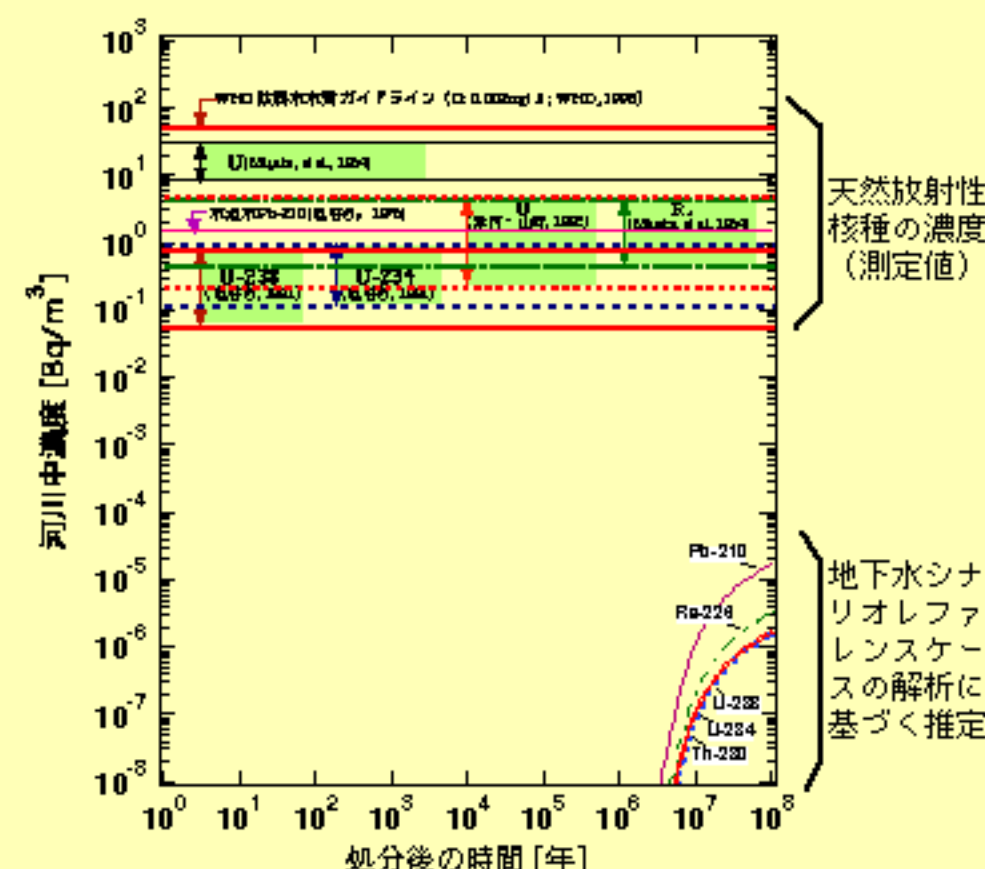


【補完的安全指標】

長期線量評価に伴う不確実性を補完するための指標を検討

- 天然放射性核種との比較:
- 地層処分システム内の任意の地点における濃度やフラックス
- 地下水の年代/移行速度

天然放射性核種との比較例



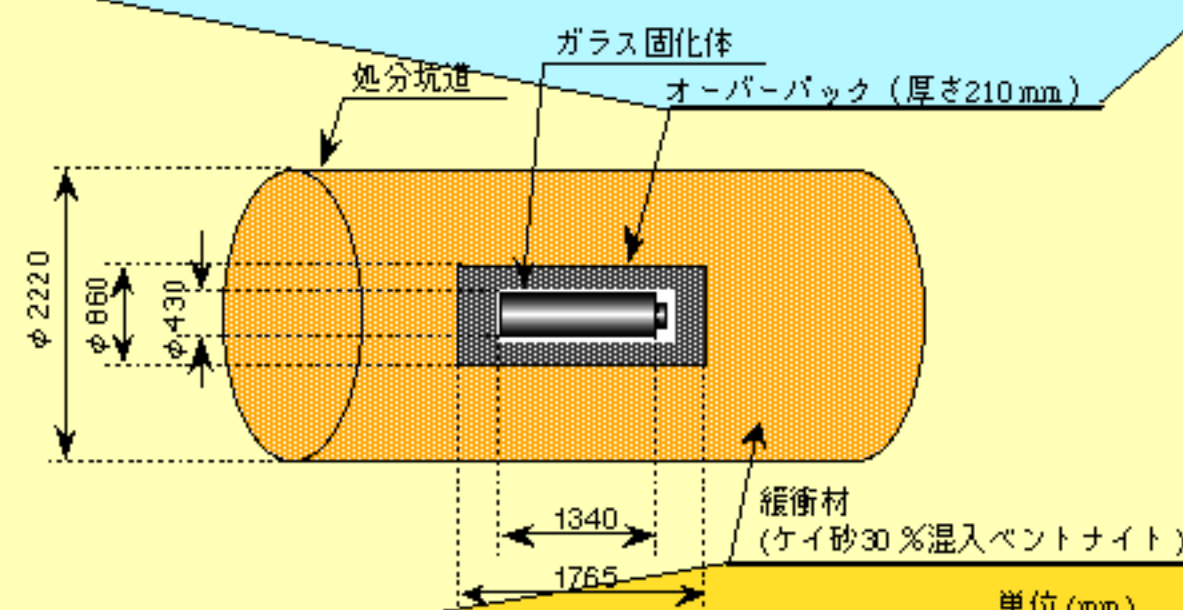
安全基準策定に資する技術的拠り所

【人工バリアの設計・施工要件の検討】

オーバーバックの設計・施工要件の検討例

第1ドラフトからの進展

基本的な要件	機能・役割	設計上考慮すべき項目(設計要件)
放射性核種の物理的閉じ込め	ガラス固化体に地下水を所定の期間接触させない	閉じ込め性を有すること 耐食性を有すること 耐圧性を有すること 放射線への耐性を有すること 耐放射線性を有すること 耐熱性を有すること
製作・封入・配置が可能であること		製作性を有すること 遠隔封入性を有すること 遠隔配置性を有すること 等



緩衝材の設計・施工要件の検討例

基本的な要件	機能・役割	設計上考慮すべき項目(設計要件)
放射性核種の移動抑制	地下水の移動の抑制 溶解した核種の収着 コロイドの移動の防止	低透水性を有すること 収着性が高いこと コロイドフィルトレーション機能を有すること
製作・施工が可能であること	地下水の化学的環境の変動の緩和 施工、その他で生じたすき間等を充填できること 施工可能な特性を有すること	化学的緩衝性を維持すること 自己シール性を有すること 施工可能な締固め特性を有すること 施工可能な強度を有すること
所要の期間人工バリアの性能に有意な影響を及ぼさないこと	応力緩衝性を有すること オーバーバックを力学的に安定に支持できる強度を有すること 力学的に安定に支持できる強度を有すること ガラス固化体及び緩衝材の変質の抑 良好な熱伝導性を有すること 制/良好な熱伝導性を有すること	可塑性を有すること 可塑性を有すること

第2次取りまとめ第2ドラフト

第Ⅶ章 まとめ

資料(専)22-3 添付-7

平成11年4月21日

第22回原子力バックエンド対策専門部会

わが国における地層処分の技術的信頼性

- ・長期間安定で人工バリア性能を発揮させる地質環境がわが国に存在することの確認
- ・わが国の地質環境の幅に対して柔軟に処分場を設計・施工することが可能
- ・地質環境のバリエーションや処分場デザインのオプションを考慮して適切に構築された地層処分システムについて、シナリオやモデル、データの不確実性に配慮した安全評価を行い、推定される線量の最大値は諸外国で示されている安全基準を下回ることを確認

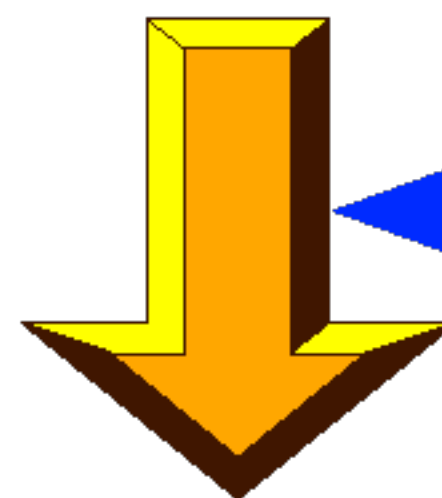


わが国において適切な地質環境を選定し、その地質環境に適合した処分場を設計・施工することにより、長期間安全性を維持できる地層処分システムを構築することが可能

2000年以降の当面の地層処分研究開発の考え方について

2000年以降の研究開発の方向性

- ・「地質環境条件の調査研究」、「処分技術の研究開発」及び「性能評価研究」の3領域を推進
- ・特定される地質環境の条件と安全基準の具体化の進展に合わせた研究開発
- ・第2次取りまとめまでに整備された技術的基盤に基づく処分事業の進展に応じた技術や情報の集大成



研究基盤の整備・拡充

- ・深地層の研究施設
- ・ENTRY
- ・QUALITY

地層処分事業化技術

特定の地質環境に適用可能な
実用的技術の開発

研究開発成果の集約

地層処分システムの長期挙動
を計算機上に実現するための
“数値地層処分システム”の
開発