



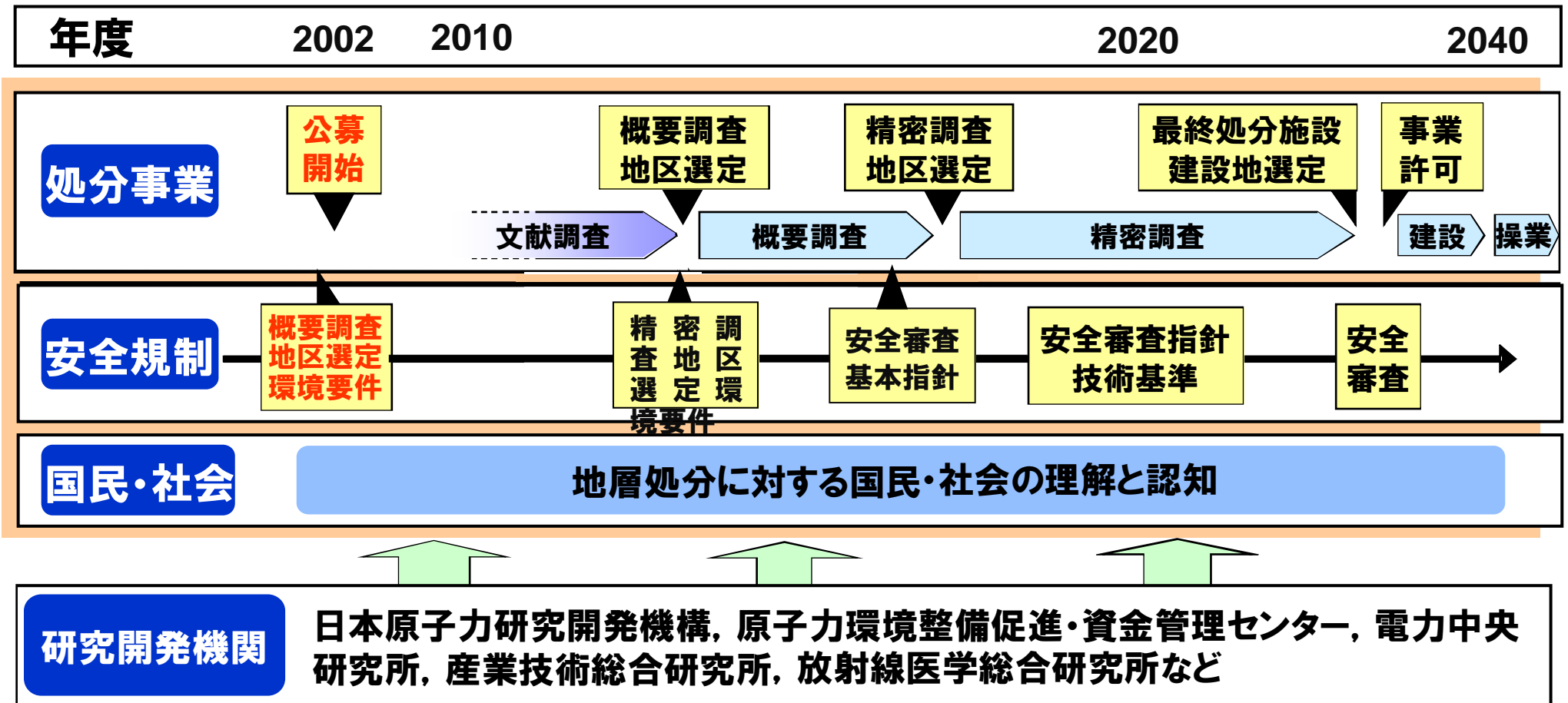
# **JAEA報告：** **地層処分の安全研究の現状及び動向について**

**安全研究フォーラム2010（NSRF2010）**  
**放射性廃棄物処分に係る安全規制及び安全研究の展望**

**平成22年2月23日，於 東洋大学 井上円了ホール**

**（独）日本原子力研究開発機構**  
**梅木 博之**

# 地層処分計画の段階的な進展

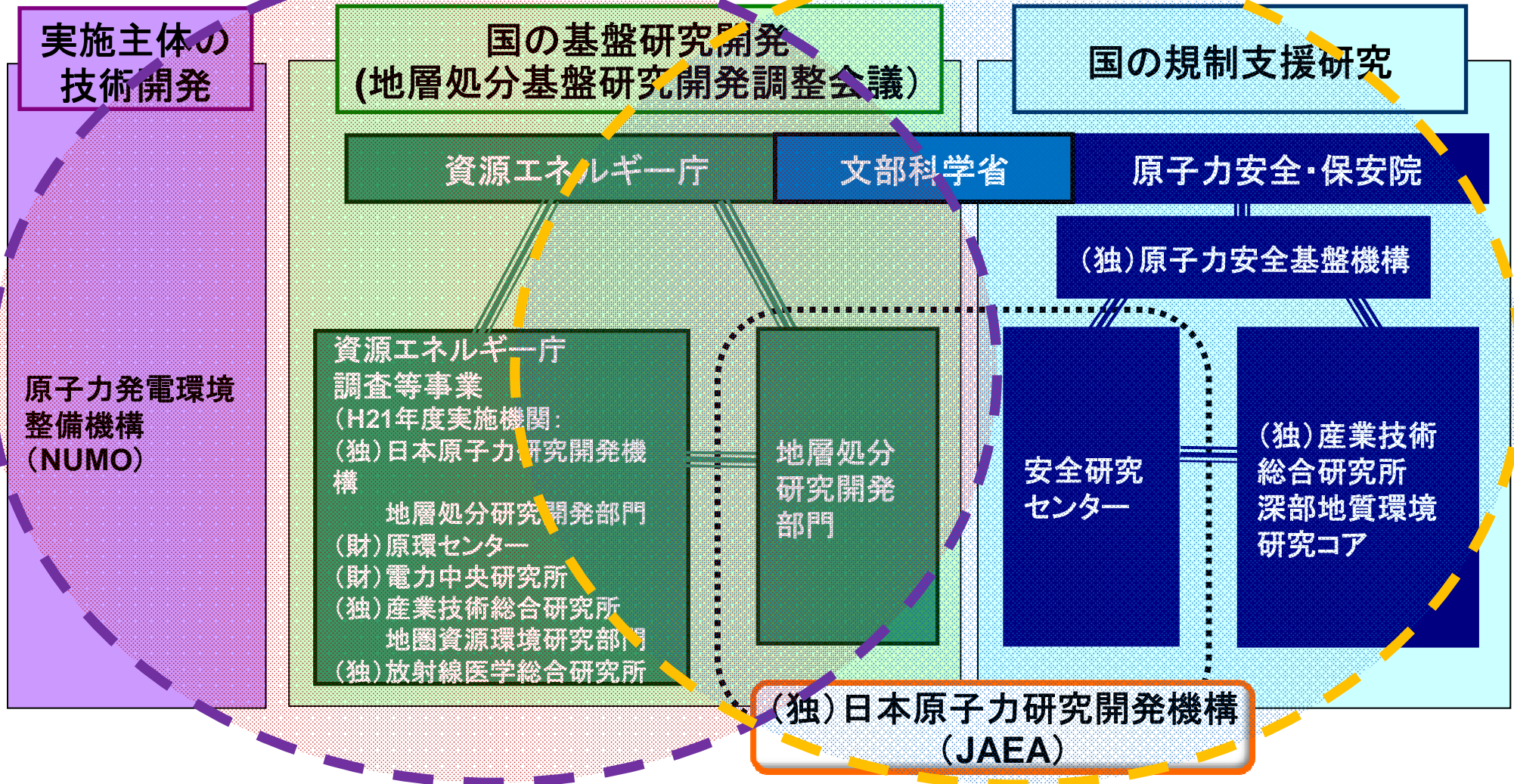


# 日本における地層処分研究の体制



原子力委員会『原子力政策大綱』

原子力安全委員会『原子力の重点安全研究計画』



# 地層処分の重点安全研究の進捗 - 概要 (1)



## • 高レベル放射性廃棄物処分

- 調査の際に考慮すべき地質環境データ等の評価に関する研究
  - 地質変動に関する研究 (JAEA, AIST, JNESなど)
    - ✓ 天然現象の特徴及び地質環境に及ぼす影響を解明するための調査技術・評価手法の開発とデータベース整備
  - 水理・物質移行に関する研究 (JAEA, AIST, RWMC, CRIEPI)
    - ✓ 広域地下水流動, 断層内水理モデル, コロイドによる移行挙動, 地下水年代評価
  - 地質環境に係る調査技術に関する研究
    - ✓ 地質環境情報統合化手法 (JAEA, RWMC)
    - ✓ ニアフィールド周辺岩盤に関する調査技術 (AIST, RWMC)
- 精密調査地区の選定条件の設定に関する研究
  - 深地層の研究施設を利用した地上からの調査段階の調査・評価に関する取りまとめ (JAEA)
  - 概要調査に関するガイドライン案 (JNES)
  - 概要調査段階の調査技術開発と原位置適用性試験 (CRIEPI)

# 地層処分の重点安全研究の進捗 - 概要 (2)



- 高レベル放射性廃棄物処分
  - 安全評価の基本的考え方に関する研究
    - 確率論的安全評価手法に係る研究 (JAEA, CRIEPI)
    - 個別現象に係る詳細評価手法の整備 (JAEA, CRIEPI, RWMC)
    - データベースの整備 (JAEA, NIRS)
    - 国際機関の基準策定や各国の規制に関する動向調査 (RWMC, NSRA)
  - 人工バリアの長期健全性評価の信頼性向上に関する研究
    - 人工バリア等の長期挙動 (ベントナイト, 低アルカリ性セメント等) (JAEA, CRIEPI)
    - 基礎データの拡充とデータベース化 (JAEA)
    - 地下施設の建設工事や覆工対策が長期性能に与える影響等 (JAEA)
- 高 廃棄物, TRU廃棄物, ウラン廃棄物等の処理・処分
  - 適切な安全評価シナリオ及びそれに基づいた安全解析に関する研究
    - TRU廃棄物と高レベル放射性廃棄物を併置処分した場合の相互影響に関する安全評価手法 (モデル, データなど) の整備 (JAEA, JNES)
  - 天然バリア・人工バリアの性能評価に関する研究
    - 人工バリア挙動, ガス移行挙動評価・試験 (RWMC, CRIEPI)
    - 廃棄体開発 (RWMC)

# 研究開発成果の意義(1)



- 「HLW第2次取りまとめ(1999)」と「TRU2次レポート(2005)」は日本における安全な地層処分のための技術的基礎を形成
- 引き続き実施している研究開発を通じて、特定サイトが明らかになった際に適用可能とするため以下の観点から強化：
  - 候補サイトの現実的な地質環境条件の考慮
  - 処分場閉鎖後の長期安全性だけでなく、建設・操業等の安全性や制約条件の包括的な考慮
  - 関心のあるステークホルダーへの積極的な情報提供
  - 科学技術の進歩や社会条件の変化に対応可能な技術的柔軟性の確保
  - 多様な情報の指数関数的な増加(情報爆発)に対応可能な知識マネジメント

「HLW第2次取りまとめ」と「TRU2次レポート」に示された一般的な地層処分技術の現実的な地質環境条件への適合

## 研究開発の視点:

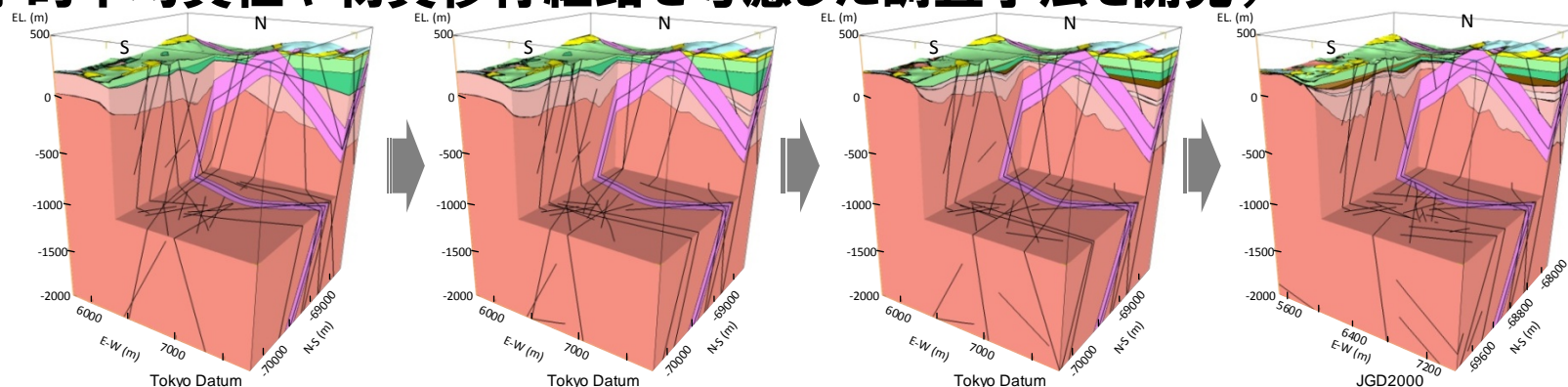
- 候補サイトの特性を把握するための調査技術や評価手法の開発と経験の蓄積
- 候補サイトへの工学技術の適用を支援するための知識の蓄積
- 異なる技術オプションを定量的に評価し、選択肢の検討に資するための評価ツールやデータベースの開発

# 候補サイトの特性を把握するための調査技術や 評価手法の開発と経験の蓄積 — 例



➤ 調査研究の進展に応じて得られるデータに基づく地質構造の  
三次元分布の把握

(地質学的不均質性や物質移行経路を考慮した調査手法を開発)

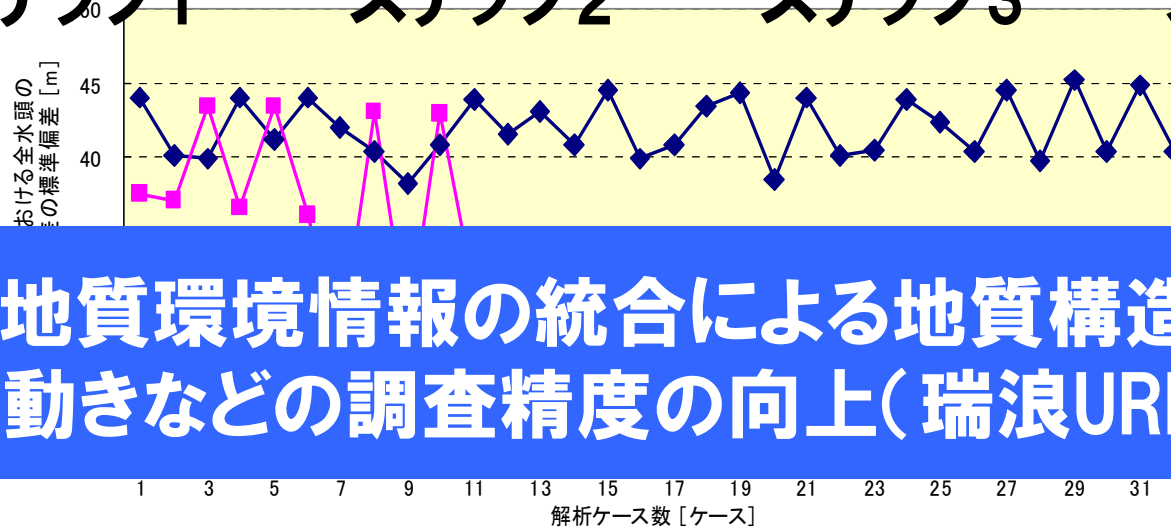


ステップ1

ステップ2

ステップ3

ステップ4



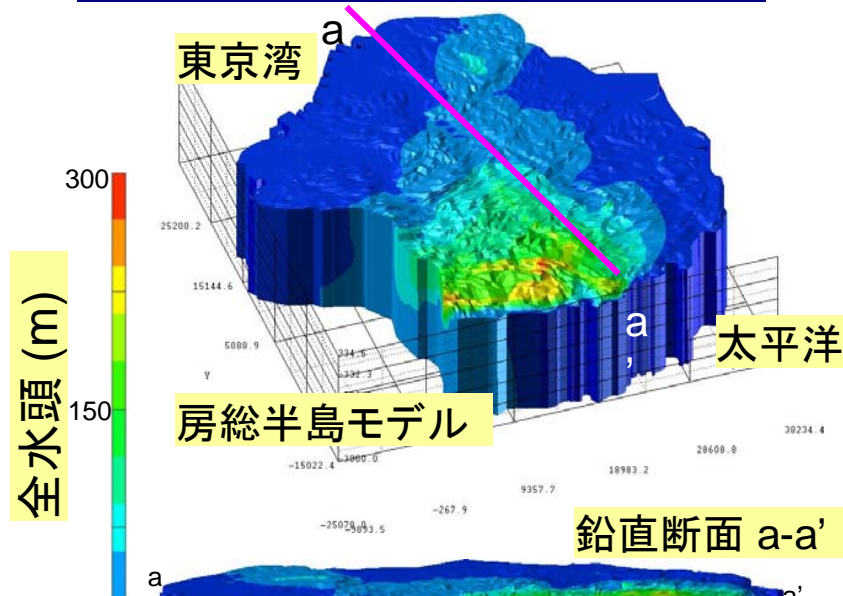
段階的な地質環境情報の統合による地質構造の分布や  
地下水の動きなどの調査精度の向上(瑞浪URLの例)

# 候補サイトの特性を把握するための調査技術や 評価手法の開発と経験の蓄積 — 例

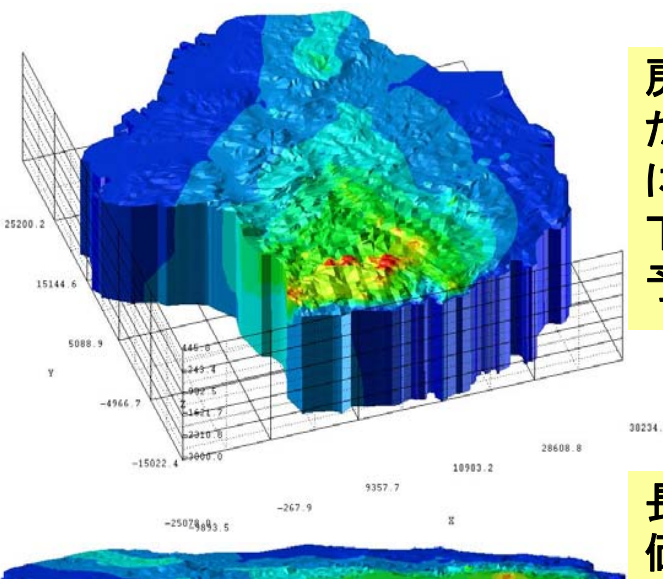


広域を対象とした長期地下水流動解析コード(3D-SEEP)を整備,  
コードの検証方法の調査及びモデル地区での検証を実施

現在のモデルによる解析



8万年後のモデルによる解析



房総半島を例とした隆起・侵食現象に伴う長期的な地下水流動の変動予測の検討



長期的な安全評価手法の整備

地質・気候変動の影響を組み込んだ長期・広域地下水流動  
モデル構築と不確実性の評価法の検討



## 研究開発成果の意義(2)



- 「HLW第2次取りまとめ(1999)」と「TRU2次レポート(2005)」は日本における安全な地層処分のための技術的基礎を形成
- 引き続き実施している研究開発を通じて、特定サイトが明らかになった際に適用可能とするため以下の観点から強化：
  - 候補サイトの現実的な地質環境条件の考慮
  - 処分場閉鎖後の長期安全性だけでなく、建設・操業等の安全性や制約条件の包括的な考慮
  - 関心のあるステークホルダーへの積極的な情報提供
  - 科学技術の進歩や社会条件の変化に対応可能な技術的柔軟性の確保
  - 多様な情報の指数関数的な増加(情報爆発)に対応可能な知識マネジメント

# 低アルカリ性セメントによる対策技術の実証試験例



## セメントによる高pHブルームの長期安全性への影響緩和

### ■吹付けコンクリート

- ・ 地上での模擬空洞による吹付け試験 (H18年度)
- ・ 原位置試験用配合と試験計画設定 (H19年度)
- ・ 幌延URL140m坑道での原位置試験 (H21年度)

### ■覆工コンクリート

- ・ 室内特性試験原及び原位置試験用配合選定 (H20年度)
- ・ 幌延URL立坑底部で原位置試験 (予定)

### ■グラウト材料

- ・ 原位置試験用配合／試験計画設定 (H20年度)
- ・ 幌延URL250m坑道での原位置試験 (H21年度)



140m研究アクセス坑道を用いた  
HFSC吹付け試験の様子(幌延)

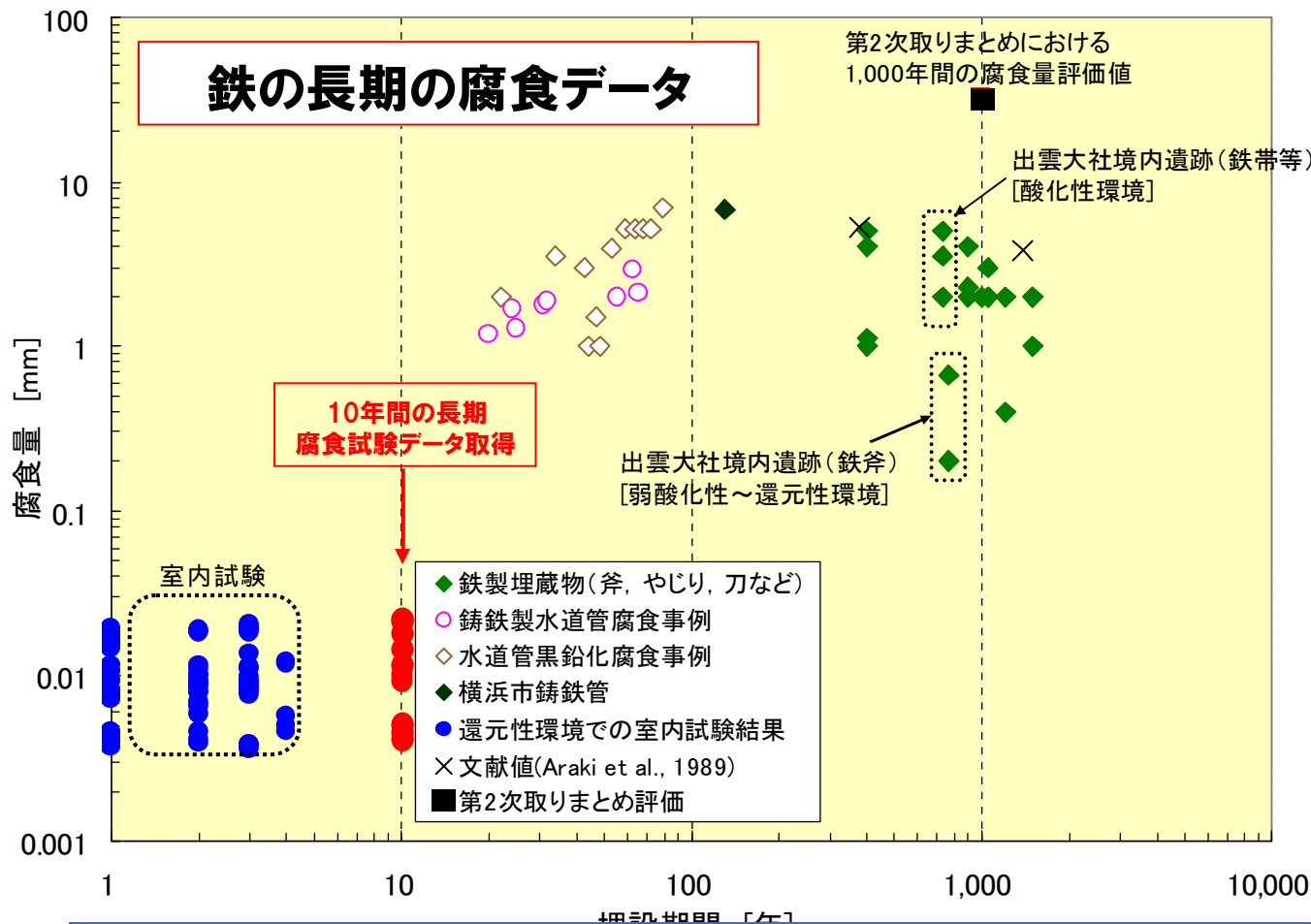
処分場におけるセメントの各適用部位に対し、低アルカリ性セメントの実用性に関わる技術的根拠の整備

# 研究開発成果の意義(3)



- 「HLW第2次取りまとめ(1999)」と「TRU2次レポート(2005)」は日本における安全な地層処分のための技術的基礎を形成
- 引き続き実施している研究開発を通じて、特定サイトが明らかになった際に適用可能とするため以下の観点から強化：
  - 候補サイトの現実的な地質環境条件の考慮
  - 処分場閉鎖後の長期安全性だけでなく、建設・操業等の安全性や制約条件の包括的な考慮
  - 関心のあるステークホルダーへの積極的な情報提供
  - 科学技術の進歩や社会条件の変化に対応可能な技術的柔軟性の確保
  - 多様な情報の指数関数的な増加(情報爆発)に対応可能な知識マネジメント

# アナログ研究による理解促進の例



- ガラス溶解, 鉄や銅の腐食, ベントナイトの変質などのアナログデータを拡充・整備
- 室内試験で10年間の長期腐食データなどを拡充
- 長期の性能に関する理解と信頼性の向上

地下深部の環境条件を再現して実施された実験結果に基づく長期性能の推定とアナログ研究による支援

# 研究開発成果の意義(4)

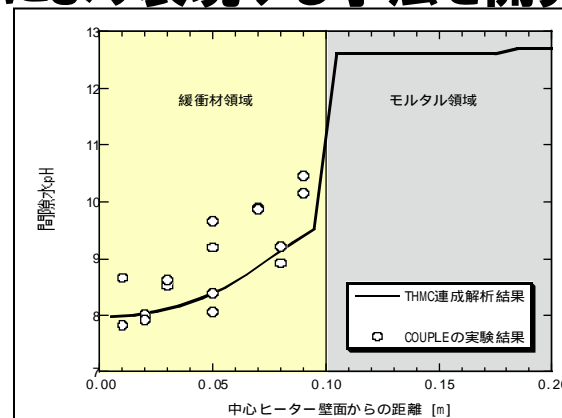


- 「HLW第2次取りまとめ(1999)」と「TRU2次レポート(2005)」は日本における安全な地層処分のための技術的基礎を形成
- 引き続き実施している研究開発を通じて、特定サイトが明らかになった際に適用可能とするため以下の観点から強化：
  - 候補サイトの現実的な地質環境条件の考慮
  - 処分場閉鎖後の長期安全性だけでなく、建設・操業等の安全性や制約条件の包括的な考慮
  - 関心のあるステークホルダーへの積極的な情報提供
  - 科学技術の進歩や社会条件の変化に対応可能な技術的柔軟性の確保
  - 多様な情報の指数関数的な増加(情報爆発)に対応可能な知識マネジメント

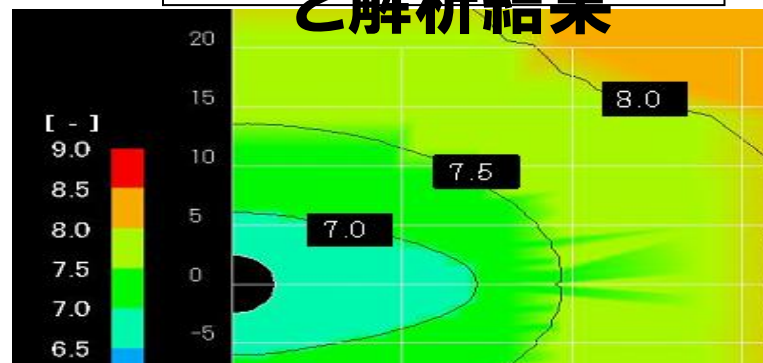
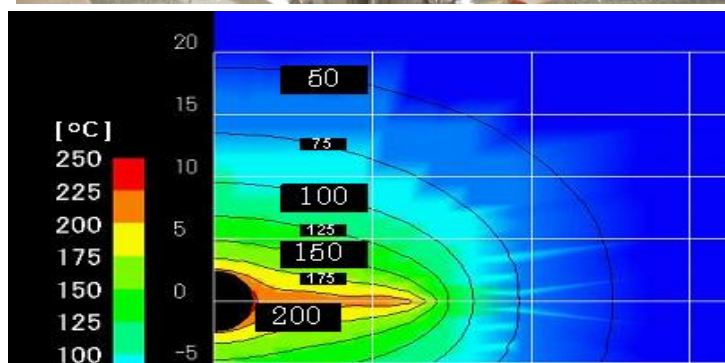
# 処分場ニアフィールドの長期的変遷の可視化による理解促進や人工バリア性能把握のための数値解析技術の開発



- オーバーパックの腐食挙動や核種移行挙動の場となる人工バリアやその周辺環境の熱-水-応力-化学の時空間変化を数値実験により表現する手法を開発



## 180日後のpH分布と解析結果



最新の科学を取り入れたリアルな数値解析技術を開発

# 研究開発成果の意義(5)



- 「HLW第2次取りまとめ(1999)」と「TRU2次レポート(2005)」は日本における安全な地層処分のための技術的基礎を形成
- 引き続き実施している研究開発を通じて、特定サイトが明らかになった際に適用可能とするため以下の観点から強化：
  - 候補サイトの現実的な地質環境条件の考慮
  - 処分場閉鎖後の長期安全性だけでなく、建設・操業等の安全性や制約条件の包括的な考慮
  - 関心のあるステークホルダーへの積極的な情報提供
  - 科学技術の進歩や社会条件の変化に対応可能な技術的柔軟性の確保
  - 多様な情報の指数関数的な増加(情報爆発)に対応可能な知識マネジメント

# 地層処分の知識マネジメント



## ● 地層処分技術の本質的課題

- 放射性廃棄物を人工物と天然の地層を組み合わせた多重バリアによって数万年といった超長期間にわたり人間の生活環境から安全に隔離
- 「安全性の実証(実際に作動させて納得)」ではなく、「安全性の立証(説明による了解)」が社会的合意の根拠－安全性を経験できない、頭で理解することが必要
- 「安全性の立証」(**セーフティケース**)はデータ、専門家の判断やシミュレーションなどを駆使した推論過程－多くの学問分野における多様かつ大量の知識(単なるデータではなく、情報、経験・ノウハウ(暗黙知))が関係

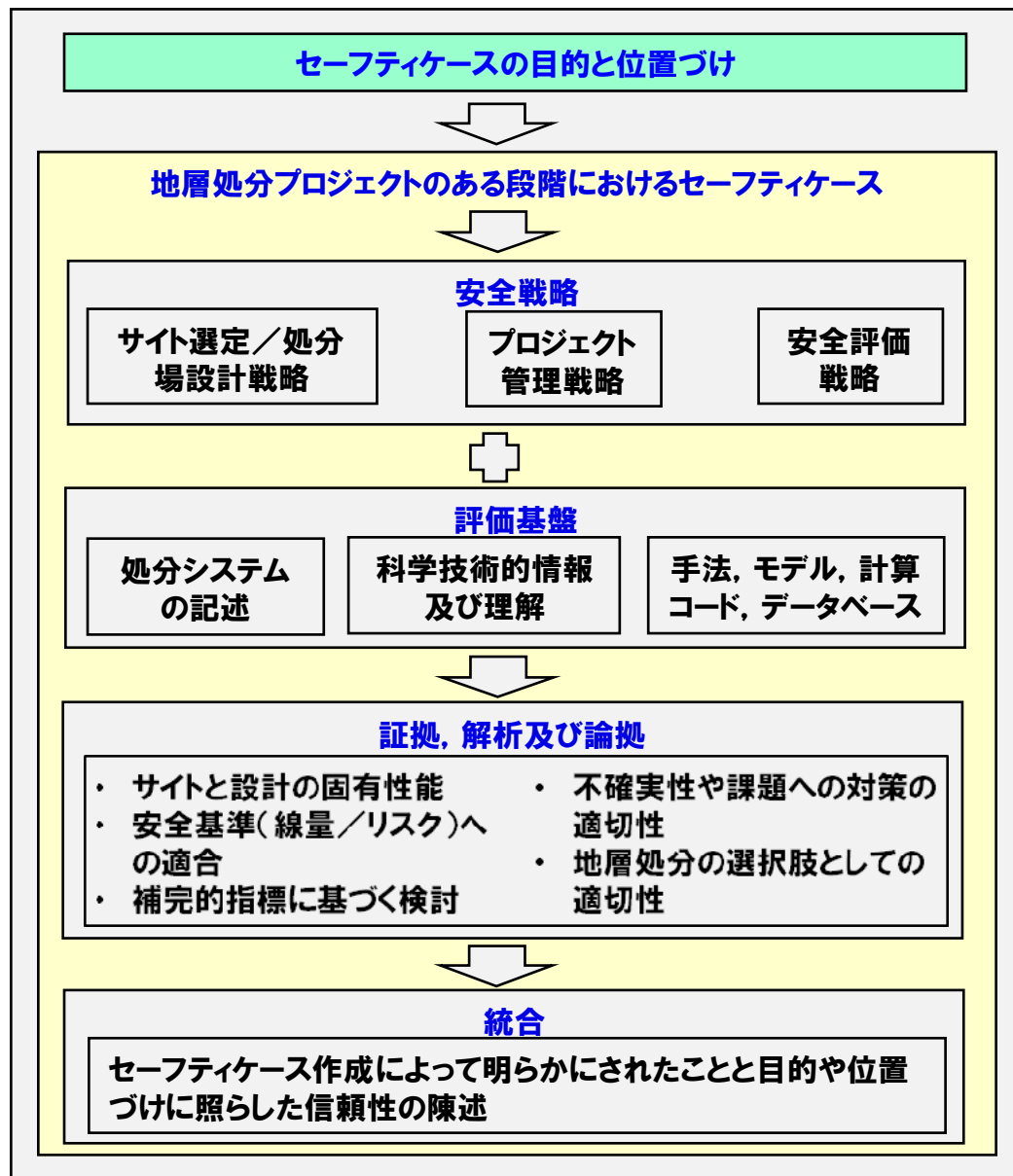
## ● 地層処分技術の知識マネジメントの必要性

- 「安全性の立証」に必要なのは**客観的で正しい科学技術的知識**－**研究機関の役割**
- 大量かつ多様な知識が関係、さらに長い事業期間にわたって知識は増大・進化(立地点の地層の段階的な調査による情報の蓄積、科学技術の進歩)－**「情報爆発」と「知識統合」への対応**
- 「安全性の立証」の正しさを知識の変化に応じて継続的に検証(過去と現在を比較)するため、知識をマネジメント(生産、加工、更新、保存、伝承のQAに留意した繰り返し)することが必要

## ● 知識マネジメントシステムの基本概念

- 「安全性の立証」に階層的に含まれる様々な命題に根拠となるように関連づけて知識(形式知と暗黙知)をもれなく体系化
- 爆発的に増加する知識に対応可能な柔軟な仕組み
- 専門家だけでなくあらゆるステークホルダーにとってユーザーフレンドリーな機能
- 最先端のIT、知識工学の最大限の活用

# セーフティケースを支援する研究



(NEA, "Safety Case Brochure", 2004)

## セーフティケースの文書化(主要な記述)

- **安全性と信頼性の確保のために適切なアプローチがとられていること**
  - サイト選定や設計, 安全評価の進め方
  - 品質保証の進め方
  - 透明性と追跡性の確保の方策
- **適切なサイトが選定されていること**
  - 地質環境の長期安定性
  - 好ましい地質環境特性(還元性・小さな地下水流量と流速)
- **処分場が適切に設計されていること**
  - 適切な設計手法とデータの使用
  - 建設・操業・閉鎖技術の実証
- **信頼できる安全評価が行われていること**
  - 網羅的で体系的なシナリオ設定
  - 品質保証されたモデルとデータ
  - 体系的な性能評価／不確実性評価
- **求められるレベルの安全性と信頼性を有していること**
  - 安全基準を満足すること
  - 安全評価の補完的説明
  - 課題に対する具体的対策の明示

# 米国ユツカマウンテン処分場許認可申請書



総合安全評価（ TSPA: Total System Performance Assessment ）の**反復実施**

- TSPA 1991, 1993, 1995
- TSPA-VA (Viability Assessment) 1998
- TSPA-SR (Site Recommendation) 2001
- TSPA-LA (Licensing Application) 2008**



**申請書本文ー  
約1万ページ**

**知識統合**

**関連データ・情報ー約3,000万ページ**

# 日本の地層処分研究開発における情報爆発

- 過去20年以上にわたり, 研究開発成果の統合は, その間に経験を積んだ, 限られた専門家のチームによって実施  
...情報の爆発的增加によって作業が困難  
...経験を積んだ専門家の引退時期
- 次世代型知識マネジメントの方法 – CoolRep + JAEA KMS



## 地層処分(HLW/TRU廃棄物)計画のスケジュール

H3  
(1992)

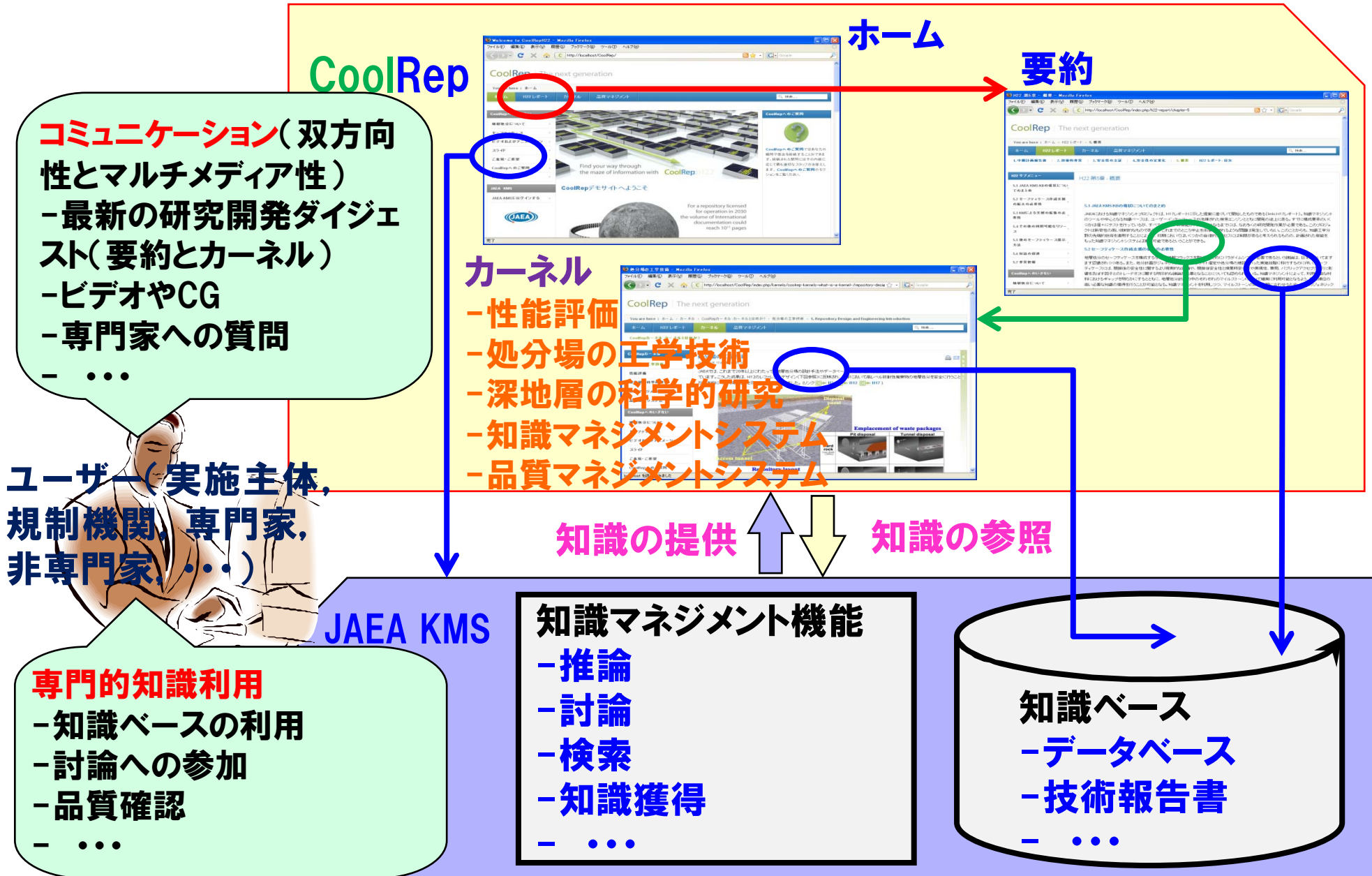
H12 (1999)  
/TRU-1(2000)

TRU-2 / H17  
(2005)

H22  
(2010)

処分場の許認可  
(2030s)

# CoolRep/JAEA KMSの構造



# 地層処分に関する安全研究-今後の方向性(1)

## ● 「原子力の重点安全研究計画(第2期)」(原子力安全委員会, 平成21年8月)

### ➤ 「精密調査地区選定のための環境要件」, 「安全審査基本指針」の検討を進めるため特に重点化すべき内容

- ✓ サイト特性を考慮した地質環境の調査・評価手法の開発
- ✓ 長半減期低発熱性廃棄物の特性を踏まえた人工バリア等の工学技術の開発
- ✓ 操業中及び閉鎖後の安全評価に係る研究, 等

### ➤ 研究を進めるうえでの留意点

- ✓ 研究課題を個別的に行うだけでなく, 処分システムの長期の性能評価に係る信頼性向上のため体系的に国内外の研究成果を共有しつつ実施
- ✓ 国際的水準の品質保証と成果のタイムリーな取りまとめ
- ✓ 基礎・基盤的な安全研究の重要性(学術的基盤, 安全確保に係る知見創出, 安全規制と社会に関する研究や国民理解のためのリスクコミュニケーション等)

### ➤ JAEAへの期待

- ✓ 地質環境の長期変動に係る研究
- ✓ 地下施設等の建設が地質環境に与える影響に関する研究
- ✓ 処分場近傍及び広域の地下水流動評価に関する研究
- ✓ 時間スケールや処分環境を考慮した, 廃棄体や人工バリアの性能評価に関する研究
- ✓ 天然バリア中の核種移行挙動に関する研究
- ✓ リスク論的考え方に基づく安全評価シナリオの整備に関する研究
- ✓ 知識基盤の整備に係る研究

## 地層処分に関する安全研究-今後の方向性(2)



- 「放射性廃棄物処理・処分に係る規制支援研究(平成22年度～平成26年度)について」(原子力安全・保安院, 平成21年10月)

地層処分の安全規制を取り巻く状況の変化に鑑み, 保安院によって明確化された規制ニーズに基づいて設定される研究

### ➤ 研究計画の策定の焦点

- ✓ 立地段階である概要・精密調査結果の妥当性レビューに必要な研究
- ✓ 安全審査等に必要な研究

### ➤ 研究体制・進め方

- ✓ 研究は原安委「原子力の重点安全研究計画」の下で実施, 成果は原安委の検討の素材として提供
- ✓ 規制支援研究機関であるJNES及びJAEA安全研究センターと産総研深部地質環境研究コアが中心となって研究を遂行
- ✓ JAEA安全研究センターはJAEAの資源を活用
- ✓ 国の基盤研究開発等の成果の蓄積と活用

# まとめ



- 候補サイトが明らかになった場合、直ちに適用できるように地質環境調査、工学技術および安全評価の各分野の技術基盤の整備が行われてきている
- 地層処分事業の長期性と安全確保の超長期性を考慮して、事業期間を通じて、計画の実施と規制を恒常的に支援できるように研究開発成果を知識基盤化することが重要
- JAEAでは、このための具体的な方法論として、知識マネジメントシステム(KMS)とこれにリンクした次世代型の研究開発成果取りまとめ手法の開発を進めている
- KMSにおいて研究開発をセーフティケースに関連付けて体系化することにより、安全研究としての意味をより明確にすることが可能
- 原子力安全委員会の第2期重点安全研究計画や原子力安全・保安院の規制支援研究計画に基づき、引き続き着実に進めていくことが重要

# ご清聴有難うございました

本講演にあたり、(独)日本原子力研究開発機構 安全研究センター 廃棄物・廃止措置安全評価グループ 中山真一氏にご協力を頂きました。記して感謝いたします。