



JAEA-Conf

2007-004



JP0750117

## 第1回地層処分研究開発検討委員会(会議報告)

Minutes of "Technical Committee for  
Geological Isolation Research and Development (1st Time)"

佐々木 康雄 虎田 真一郎

Yasuo SASAKI and Shinichiro TORATA

地層処分研究開発部門  
システム性能研究グループ

Performance Assessment Research Group  
Geological Isolation Research and Development Directorate

March 2007

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。  
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。  
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp/index.shtml>)  
より発信されています。このほか財団法人原子力弘済会資料センター\*では実費による複写頒布を行つております。

〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4  
日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課  
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920

\* 〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4 日本原子力研究開発機構内

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency  
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to  
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,  
Japan Atomic Energy Agency  
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan  
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920

第1回地層処分研究開発検討委員会（会議報告）

日本原子力研究開発機構  
地層処分研究開発部門 地層処分基盤研究開発ユニット  
佐々木康雄、虎田真一郎

(2007年1月19日受理)

地層処分研究開発部門が実施している地層処分研究開発のうち、主として東海研究開発センターにおいて実施している研究課題について審議検討を頂き、客観的な助言を得て計画に反映し、優れた成果を効率的に得るとともに、これを処分事業や安全規制等に時宜良く反映していくため、大学や関連研究機関における専門家による「地層処分研究開発検討委員会」を設置している。本資料は、2006年7月に開催した第1回委員会の会議報告を行うものである。

Minutes of "Technical Committee for Geological Isolation Research and Development (1st Time)"

Yasuo SASAKI and Shinichiro TORATA

Geological Isolation Research Unit  
Geological Isolation Research and Development Directorate  
Japan Atomic Energy Agency  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received January 19, 2007)

In order to plan and conduct a program of research and development (R&D) for geological disposal of high-level radioactive waste in JAEA-Tokai, JAEA decided to receive technical comments and advices from the Technical Committee for geological isolation R&D. This committee, which is constituted of specialists who do not belong to JAEA, has evaluated the program, taking into account of the status of geological disposal technology in Japan as well as foreign countries.

This report compiles the minutes of the first meeting held in July 2006.

Keywords: Geological Isolation, Research, Advisory Committee

目次

1. はじめに .....	1
2. 地層処分研究開発検討委員会の構成 .....	2
3. 地層処分研究開発検討委員会（第1回）の開催概要 .....	3
3.1 議事概要 .....	3
3.2 委員会開催結果概要 .....	4
4. おわりに .....	13
付録 地層処分研究開発検討委員会（第1回） 会議資料 .....	14

Contents

1. Introduction .....	1
2. Members of the Technical Committee for Geological Isolation R&D .....	2
3. Summary of the committee (1st Time) .....	3
3.1 Agenda .....	3
3.2 Minutes of the committee(1st Time) .....	4
4. Conclusion .....	13
Appendix Materials for the Technical Committee for Geological Isolation R&D(1st Time) .....	14

This is a blank page.

## 1. はじめに

日本原子力研究開発機構（以下、「機構」という）では、東海研究開発センターにおいて地層処分基盤研究開発を実施しており、これらの研究開発について審議検討を頂き、客観的な助言を得て計画に反映し、優れた成果を効率的に得るとともに、これを処分事業や安全規制等に時宜よく反映していくため、機構外の専門家で構成される「地層処分研究開発検討委員会」（以下、「委員会」という）を平成18年5月16日に設置した。

本資料は平成18年7月24～25日に実施された第1回委員会の会議資料をまとめるとともに、委員会で委員から頂いたご意見等とその回答、そして次回委員会への対応について示したものである。

## 2. 地層処分研究開発検討委員会の構成

委員会の構成員を表1に示す。なお第1回委員会の席上、互選により朽山修東北大学教授が委員長に選出されている。

**表1 地層処分研究開発検討委員会 構成員（平成18年度）**

委員	朝野 英一	原子力環境整備促進・資金管理センター 処分技術調査研究プロジェクト プロジェクトマネージャー
委員	出光 一哉	九州大学大学院 工学研究院 環境システム科学研究センター 教授
委員	大江 俊昭	東海大学工学部 エネルギー工学科 教授
委員	小林 晃	京都大学大学院 農学研究科 地域環境科学専攻 助教授
委員	佐藤 正知	北海道大学大学院 工学研究科 エネルギー環境システム専攻 教授
委員	鹿園 直建	慶應義塾大学 理工学部 応用化学科 教授
委員	竹内 光男	原子力発電環境整備機構 技術部 部長
委員	田中 幸久	電力中央研究所 地球工学研究所 バックエンド研究センター 上席研究員
委員	登坂 博行	東京大学大学院 工学系研究科 地球システム工学専攻 助教授
委員長	朽山 修	東北大学 多元物質科学研究所 教授
委員	長崎 晋也	東京大学大学院 工学系研究科 原子力専攻 教授
委員	増田 純男	原子力安全研究協会 研究参与
委員	森山 裕丈	京都大学大学院 工学研究科 原子核工学専攻 教授
委員	渡辺 邦夫	埼玉大学 地圏科学研究センター 教授
(50音順、以上14名)		

### 3. 地層処分研究開発検討委員会（第1回）の開催概要

#### 3.1 議事概要

第1回委員会の議事概要を表2に示す。また、委員会資料については、付録にてまとめた。なお、委員会資料については、下記のURLに示す、機構の公開ホームページ中の地層処分研究開発部門のコーナーからも入手できる。

<http://www.jaea.go.jp/04/tisou/iinkai/iinkai.html>

表2 第1回委員会議事概要

#### 地層処分研究開発検討委員会（第1回）

#### —議事概要—

1. 日時：平成18年7月24日（月） 14:00-17:00  
平成18年7月25日（火） 9:00-12:00

2. 場所：日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所内  
地層処分基盤研究施設（エントリー） 4階大会議室

3. 出席者

(委員) 枝山委員長、朝野委員、出光委員、大江委員、小林委員、鹿園委員、竹内委員、田中委員、増田委員、森山委員、長崎委員、渡辺委員  
(JAEA) 河田部門長、石川副部門長、梅木主席、油井ユニット長、宮原G.L.、亀井G.L.、虎田主幹

4. 議事

第1日 7月24日（月） 14:00-17:00

- (1) 開会挨拶
- (2) 委員紹介・委員長互選
- (3) 検討委員会での議論のポイントについて
- (4) HLW/TRU処分研究開発を取り巻く動向（共通認識）
- (5) 知識マネジメントシステムの開発
- (6) HLW処分における平成17年度までの成果と『次期5ヵ年』の研究開発計画
  - ①全体概要
  - ②工学技術について

第2日 7月25日（火） 9:00-12:00

- (6) HLW処分における平成17年度までの成果と『次期5ヵ年』の研究開発計画  
[前日からの続き]
- (3) 性能評価について
- (7) 長半減期低発熱放射性廃棄物（TRU廃棄物）の地層処分研究開発
  - ①現状と今後の取り組み、及び研究計画について
- (8) 全体を通して、審議結果の集約に関して
- (9) 閉会挨拶

### 3.2 委員会開催結果概要

第1回委員会の開催結果概要を下記に示す。なお、委員会時の各委員のご意見と当日の回答及び今後の対応についての詳細については表3に示す。

#### 3.2.1 検討委員会での議論のポイント／地層処分研究開発を取り巻く動向（別添1、2参照）

当委員会の審議の重点および機構での地層処分に関する研究開発の全体概要を説明し、委員会での議論すべきポイントを確認した。具体的には、地層処分研究開発のうち工学技術および性能評価を対象として、平成17年取りまとめとそれ以降の研究開発成果を示した上で、当面5カ年の研究期間に重点を置いた研究の方向性とアプローチの観点及び、知識基盤への反映・集約できる成果の視点のそれぞれについて議論を行い、委員からの意見を頂くこととした。

なお、深地層の研究施設計画等のその他の地層処分技術に関する研究開発については、本委員会の審議課題の対象外とした。

委員から、研究開発全般にわたる意見として、以下のものがあった。

- ・統合によって、処分の推進側と規制側の両方を支援する世界最大の研究機関となった機構の全体戦略が見えない。どのような方針で研究開発等を実施していくのかをもっと示して頂きたい。
- ・研究が重ならないよう、国内の他機関との研究の分担等に配慮しているようであるが、世界の中での位置付けをはっきりとさせてもらうよう期待する。

#### 3.2.2 知識マネジメントシステムの開発（別添3参照）

機構の行う地層処分技術に関する研究開発の「知識マネジメントシステム」の考え方について、個々の基盤研究の成果との連携、知識化のイメージの具体化について説明を行った。

知識マネジメントのあり方に関して、委員から以下のような意見があった。

- ・知識情報をリスト化するだけでなく、ユーザ側の立場に立った開発を望む。
- ・不確実な知識や情報は、その適用範囲、限界などについても併せて知識化できるように考慮されたい。

#### 3.2.3 HLW 処分における平成17年度までの成果と『次期5カ年』の研究開発計画

##### ①全体概要（別添4参照）

地層処分基盤研究におけるこれまでの成果と今後の計画について全般的な説明を行った。その後研究計画策定の考え方や研究の進め方について議論した。

地層処分基盤研究全体に関して、委員より以下のような意見があった。

- ・国の政策に沿った研究計画のみでなく、新たな視点で主体的な計画をもつことを望む。
- ・例えば5年後の成果を具体的に提示するなど、知識や技術へどう反映されるのかとの判断、見通しがつくような計画にすべきである。

##### ②工学技術について（別添5参照）

工学技術開発についてこれまでの成果と今後の計画について説明し、研究計画策定の考え方や研究の進め方について議論した。

委員より以下のような意見があった。

- ・サイトを決めずに行う研究は際限がなく、また確証することが難しいテーマがたくさんある。
- ・先を見通した戦略を考えないと行き詰る。

③性能評価について（別添6参照）

性能評価研究についてこれまでの成果と今後の計画について説明し、研究計画策定の考え方や研究の進め方について議論した。

委員より以下のような意見があった。

- ・性能評価研究の柔軟性を高める具体的な取り組みを明示することを望む。
- ・現状での不確実性がどのくらいあるか、それによって処分システムへどれくらい影響があるかをキチンと理解することが重要で、不確実性と不均質性は明確に区別して取り扱うべき。

3.2.4 長半減期低発熱放射性廃棄物（TRU 廃棄物）の地層処分研究開発（別添7参照）

長半減期低発熱放射性（TRU）廃棄物の処分研究についてこれまでの成果と今後の計画について説明し、研究計画策定の考え方や研究の進め方について議論した。

委員より以下のような意見があった。

- ・TRU 廃棄物の評価では、先行した HLW に倣った方法で実施しているが、その方法が適切なのか？また、処理技術を先行して実施すべきであったのではないか？
- ・核種移行ではバリアシステムの変質影響を考慮していない単純な評価を実施しており、バリアシステムの長期挙動に関する研究と、それを受けた核種移行に関する研究との間にアンバランスを感じる。

表3 第1回地層処分研究開発検討委員会で各委員から頂いたご意見等と対応について

	第1回委員会で頂いたご意見・ご質問	当日の回答／対応	担当
	I. H LW/T R U処分研究開発を取り巻く動向（共通認識）		
1-1	・いつも、発表がワンパターンである。スケジュールや課題に対する背景の説明が足りない。世界先進国がぶつかっている問題なども含めて概要説明をしていただきたい。	・次回委員会では、全体／テーマ毎に海外の動向を踏まえた位置づけについても説明する。	地層処分 基盤研究開発 ユニット
1-2	・経産省作成の役割分担マップを見ると必要な技術開発のほぼ全てをJAEAが実施することになっている。しかし、統合によって、処分の推進側と規制側の機能を持つ世界最大の研究機関となったJAEAの全体戦略が見えない。どのような方針で実施していくのかをもっと示してもらいたい。	・国内では原子力機構、RWMC、NUMO等がそれぞれ海外の研究機関と並行して研究を進めているが、最近、エネ庁も含め国内研究機関と海外の研究機関で総合的に取り組んでいく体制ができ始めているところである。 ・次回委員会では、全体／テーマ毎に海外の動向を踏まえた位置づけについても説明する。	地層処分 基盤研究開発 ユニット
1-3	・JAEAとしては、地下研サイトに特化した研究を全うすることが目的なのか。または（処分場に）一般化することが目的なのか。JAEAの成果は事業に対してどのように反映していくのか。	・一般化することが目的。ただし、研究者がサイトに特化した研究をしがちなので、なぜこのデータを取るのか、何に役立つかについて常に考えながら作業をするように心がけている。	地層処分 基盤研究開発 ユニット

	第1回委員会で頂いたご意見・ご質問	当日の回答／対応	担当
	II. 知識マネジメントシステムの開発		
2-1	・知識ベースとは、ただ存在する情報を漫然と集めてくるという受身的ではいけない。知識ベースを作成する側が、どのような中身が必要かを考えて積極的に情報を集めてこなければいけない。	・地層処分基盤調整会議との関係も踏まえて、柔軟に対応することとする。	知識化グループ
2-2	・セーフティケースを想定してシステムを開発しているが、それで品質が確保されているか。それから得られた結論が正しいという保証ができるのか。想定されるユーザーが変われば、知識の展開の仕方が変わってくるはずである。	・将来セーフティケースを作るのは NUMO、レビューするのは規制側である。しかしながら、現在まで分かっているセーフティケースの枠組を使っていれば、抜け落ちはほとんどないと考える。 ・また、利用者が使い易いように、7つの類型化に整理することを考えており、最終的には、両方の利用者の要望にこたえるべく内容を調整していくべきと考えている。	知識化グループ
2-3	・多種多様なユーザーが入る可能性がある。技術的な構築がメインとも取れるが、公衆とのコミュニケーション等非技術的なユーザーの要望は入るのか。同時に考慮することが可能なシステムなのか。	・基本的には、すべて考慮している。	知識化グループ
2-4	・処分技術の知識ベースをその他のステークホルダーや公衆が見ても、不安は解除されないのである。 ・公衆の要望はロジックで割り切れないものもあり、それを技術論でカバーできると考えると、うまくいかないこともあります。	・意思決定をする人たちに答えを押し付けるのではなく、適用可能な技術を提示することを主眼にしている。	知識化グループ
2-5	・技術的課題だけに限定したいのは理解できるが、規制側からの要求と公衆からの要求はひとつのセーフティケースから出てこない。	・公衆の社会観や倫理観に関わるものについては、知識ベースには入れないつもりである。社会の疑問に対する技術課題を提示することが重要と考える。	知識化グループ
2-6	・知識ベースというからには、その適用範囲や不確実性の程度も合わせて示すことが必要なのではないか（例：地下水流动解析には、断層について推定、不確実な要素が入っている）。  ・ユーザーは、目的や使い方もさまざまなので、ガイドラインが必要ではないか。現在のやり方で対応できるのか。	・単に解析手法のリストアップにとどまらず、適用限界などの使い方・注意点もあわせて示すことが重要。  ・その部分は課題である。ユーザーの要望を聞くためのコミュニケーションが重要。現状の知識をどのように整理すると役に立つかが問題である。	知識化グループ
2-7	・実験データのデータベース化も知識化に含まれていると思うが、実験方法が定まっていない場合、集めるほどばらつきが増え、焦点がぼけてくるばかりでなく、データベースとしての信頼性が低下していく可能性がある。	・生データをその目的などの情報に付与してのせれば良いと思われる。	地層処分基盤研究開発ユニット
2-8	・ユーザーとしての公衆の考え方について。慶應大学で類似の取り組みを行っていると思うが？  ・一般公衆が生データにアクセスすることはない。ユーザーに合わせたインターフェイスが必要。	・慶應大学の成果はコミュニケーションの部分に利用できないかと考えている。  ・ユーザー向けのインターフェイスとしては、7つに類型化したものを出発点とし、その後必要に応じて改訂等を行っていく。	知識化グループ

	第1回委員会で頂いたご意見・ご質問	当日の回答／対応	担当
	<b>III. H L W処分における平成17年度までの成果と『次期5ヵ年』の研究開発計画</b>		
3-1-1	<ul style="list-style-type: none"> <li>・H12から始まって、そのままだ続いているように聞こえる。JAEAがなぜこのテーマを今、この5年間にやるのか、という判断基準が不明。5年後の目指す姿と優先度についての考え方を整理しないといけない。</li> <li>・知識ベースに係る、今後の人材育成や予算的な見通しはどのようにになっているのか。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・積み上げ方式で信頼を高めていくのは大事である一方、深みにはまる可能性もある。一方、トップダウン的にやると、ゴールをどこに定めるのかが問題であり、両者の調和が大事。</li> <li>・トップダウン式であれば、世の中の要求を調べて、それに対応することが必要である。</li> <li>・事業が先行していれば課題が明確になり研究が進めやすいものの、先行していない現状ではこのような進め方に成らざるを得ないと考える。</li> <li>・人材育成については、優秀な頭脳の中の一部でも外に出すことが大事。経験・ノウハウをいかに表に出すかという意味で、知識ベースを人材を育てるための道具として重要と考える。</li> <li>・B A Tの概念の理解と研究の方向性について整理する。</li> </ul>	地層処分 基盤研究開発 ユニット
3-1-2	<ul style="list-style-type: none"> <li>・目標一現状=課題でマネジメントするのは無理がある。“国が行う基盤的研究開発とは何か（資料1-4-1P19）”の形で、研究を実施するのはダメだと思う。トップダウン型でやるのではなく、現場からボトムアップでやることが大事であり、過去を見て、マイルストーンを確認し、その達成度を検討した上で課題設定することが必要。我が国全体の知識アップを目指すべきではないか。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・社会を相手にしたときに何が必要か、ということを研究現場でも意識しないといけない。</li> </ul>	地層処分 基盤研究開発 ユニット
3-1-3	<ul style="list-style-type: none"> <li>・無理な目標を設定すると自分たちの首を絞める。“BAT(Best available technology)” “利用可能な最善の技術”を用いるという考え方が重要である。</li> </ul>		地層処分 基盤研究開発 ユニット
3-1-4		<ul style="list-style-type: none"> <li>・基盤研究開発に係る報告会のあり方を考える。</li> </ul>	地層処分 基盤研究開発 ユニット
3-1-5	<ul style="list-style-type: none"> <li>・“客観性をもって技術の信頼性・実現性を提示（資料1-4-1P19）”は重要な点である。しかしそのためには、今の工学技術の限界を述べ、その中の心配事について解決策を示した上で高度化・信頼性を出さないと、信頼性や実現性がどこにあるのか分かりにくい。</li> <li>・資料1-4-2, P20の地下研利用、原位置で確認すべき技術（操業、閉鎖技術）など、“やるべき課題”と“やっている課題”などの区別が見えない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・仰る通り、工学技術の限界はあるものの、ではその技術は国とNUMOのどちらが実施するのかが常に問題となっている。</li> <li>・高度化とか信頼性という言葉は抽象的で判りにくく、ここではグラウト技術の適用性や低アルカリ性セメントの導入といった研究開発を示しているものの、言葉の若干の整理は必要。</li> <li>・操業閉鎖は原位置でデモをして確認するという意味ではなく、地下でやるべきことと地上でやるべきことを整理するという意味。</li> </ul>	地層処分 基盤研究開発 ユニット
3-1-6	<ul style="list-style-type: none"> <li>・研究テーマを各研究者の暗黙の了解にしているとよくない。その前に、現状での不確実性がどのくらいあるか、それによって処分システムへどれくらい影響があるかをキチンと理解してやるべきである。さもないと、ズルズルと課題、テーマが増えるだけで收拾がつかなくなる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・長期挙動評価については、不確実性の影響を考慮し、重点的に取り組むべき課題について検討を進める。</li> </ul>	地層処分 基盤研究開発 ユニット
3-1-7	<ul style="list-style-type: none"> <li>・方法によって評価結果が大きく異なる可能性がある研究項目については、信頼性向上のために、今後も地道に研究を推進してゆく必要がある。また、セメントの溶脱やペントナイト等の特性への影響など時間がかかる現象についても、信頼性の高い評価を目指して、地道にデータを取っていく必要がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・例えば、廃棄体を複数本にする、ボーリング孔に埋めるなど、NUMOの英語版に記載されているオプションについて、検討することによって柔軟性が広がるのではないかという観点である。</li> <li>・方法（モデル、実験手法）の違いも視野に入れる必要がある。</li> </ul>	地層処分 基盤研究開発 ユニット

	第1回委員会で頂いたご意見・ご質問	当日の回答／対応	担当
	<b>III-1. 工学技術について</b>		
3-2-1	・サイトについて、これまで不可能だと思われたところも可能であったり、その逆だったりということがあり得る。工学技術だけではどうしてもクリアできない条件（当該技術での限界）があることを確認するためにやっているのか。	<ul style="list-style-type: none"> <li>工学技術オプションについては、NUMOが中心となって、様々な研究を行っているが、第2次とりまとめのレファレンスだけが処分場概念ではなく、国際的にも多くのオプションが出ていているところ。地質条件に合わせたオプションは何かを整理をした上で、NUMOと仕分けをして、成立性に関わる基盤的な技術についてJAEAで実施しているところである。</li> <li>次回委員会で、地質環境条件に対する工学技術オプションの基盤技術を整理する。</li> </ul>	ニアフィールド研究グループ
3-2-2	<ul style="list-style-type: none"> <li>確証することが難しい話がたくさんある。確認するためには何を見せればいいのか、という戦略を考えないと行き詰る。</li> <li>公衆へのアピール方法をトップダウンで誰かが考える必要があるのではないか。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>確証については、処分場の閉鎖直後の熱-水-応力の把握以降は外挿して信用して頂くより方法はないと考える。</li> <li>データベースの公開により、様々な専門家を介して公衆の意識が上がっていくのではないかということも期待している。</li> </ul>	ニアフィールド研究グループ
3-2-3	・代替OPの腐食挙動で銅の腐食について。銅の場合には、スウェーデンやフィンランドがやっているが、日本ではどこまで具体的な検討を行うのか。	・当面5カ年は海外での技術開発の動向を調べて情報を整理する。銅OPの位置づけは海外と異なるので、わが国独自でやる必要のあるものは、実験的な検討を行う。まずは手法の検討と現象の予想までを示したい。	ニアフィールド研究グループ
	<b>III-2. 性能評価について</b>		
3-3-1	・不確実性と不均質性は明確に区別して取り扱うべき。	・ドキュメントでは区別していきたいと考えている。不均質性の評価においてどのような不確実性があるかなどについて示していきたい。	システム性能研究グループ
3-3-2	・延々と研究開発を続けている印象。例えばセーフティケースの視点や鍵となる要因のデータベース化など、何故この研究開発を進めているのかを示し、ロバスト性やリスク論の評価など見通しがよくなるような研究開発を実施すべき。知識化の要素が多く、一連の評価では見えにくくなるところがある点に留意。	・セーフティケースを作成するための用件の階層構造を念頭に、基盤的な知見を整理しようという方針。総合的な評価に当たって、情報の整理方法などを知識化グループと相談の上、進めていく予定。	システム性能研究グループ
3-3-3	・基礎的な情報の収集は重要。例えば水質形成機構に関しては、淡水と海水の混合や水・岩石反応等いくつかの過程があるため、アプローチの方法論を示すことが重要。また、降水系・海水系の地下水が混ざった条件下での収着係数を取得するなど、天然の条件を考慮することが必要。他の研究機関との全体的な役割分担、スキームを示してもらえると分かりやすい。	・塩水・淡水の混合による水質形成機構を検討予定。天然の条件下のパラメータに関しては、既存のモデルやデータベースから推定することを検討。研究計画については、国が主導となって調整中。	核種移行研究グループ
3-3-4	・どのような要因があるかという視点で研究開発を実施すべき。そのため、不確実性と不均質性を区別することが重要。	・第2次取りまとめでは不確実性の幅を示したが、より網羅性を強化し、シナリオの分かりやすい示し方を提案していく。第2次取りまとめを踏まえて平成17年取りまとめまでに開発した検討の手順を深地層の研究施設で得られる情報に基づき確認していく予定。	システム性能研究グループ
3-3-5	・シナリオ設定の不確実性や信頼性について検討するための、手順がよく分からぬ。		システム性能研究グループ

	第1回委員会で頂いたご意見・ご質問	当日の回答／対応	担当
3-3-6	・性能評価は、将来のことを言い当てるのではなく、どれだけ安全が保たれているかを示すものであり、社会が納得してくれるようなものになるべきだと思う。したがって、説得力のあるものでなければならない。	・シナリオは、ある程度事例を設定し、ある問題に特化した示し方をしたほうが分かりやすいと考えている。	システム性能研究グループ
3-3-7	・社会に分かってもらうために、信頼性をディフェンスのためだけに使うのではなく、前向きに捉えるべき。データ取得に関して、性能評価側からの地質環境調査側への要求は、知識ベースの構築で検討するのか。	・各分野のメンバーによる協働作業チームで検討・実施している。	システム性能研究グループ
3-3-8	・柔軟性とは何を意味しているのか。具体的な手順の整理を考えているのか。  ・柔軟性を高める具体的な取り組みとは何か。	・技術の選択肢を用意するといった柔軟な対応が可能な技術基盤の整備が重要。このような柔軟な対応は事業と規制の段階的展開に応じて処分概念等の具体化を行うのに必要な概念である。  ・地質環境に応じた設計やモデルのオプションの選択、境界条件等の設定を例示的に行うことである。次回性能評価研究の柔軟性を高める具体的な取り組みを明示する。	システム性能研究グループ
3-3-9	・システムの多様性、異なる概念の処分システムに対する検討についてはどう考えているのか。	・第2次取りまとめの設計を実際の地質環境の情報に適用して評価を行う予定。処分技術分野で検討を予定している「異なる概念」の評価も視野に入れている。	システム性能研究グループ
3-3-10	・人工バリアの設計に関する新しい概念が、処分システムとして取り入れられるものかどうかを検討しておくべきではないか。	・工学技術と性能評価分野間の整合について、別途相談することとしたい。	システム性能研究グループ
3-3-11	・今後5ヶ年の計画の中で、異なる概念についての検討は、考えているだけでなく、計画として入れておかなければならぬのではないか。		システム性能研究グループ

	第1回委員会で頂いたご意見・ご質問	当日の回答／対応	担当
	<b>IV. 長半減期低発熱放射性廃棄物（TRU廃棄物）の地層処分研究開発</b>		
4-1	・核種移行や溶解度におけるpHの影響はどのように取り扱うのか。例えば、微生物活動によるアンモニア生成によるpH変化の影響により核種移行、溶解度が変化すると思われるが如何。人工バリアのスメクタイトの溶解の他、カルサイトの溶解も重要ではないか？また、H <sup>+</sup> とカチオンのイオン交換は考慮しているのか。	・カルサイトの他、玉髓なども考慮しているが、速度論的な取扱ではなく、瞬時平衡を仮定している。また、アルカリ性条件ということでH <sup>+</sup> やカチオンのイオン交換については考慮していない。	TRU廃棄物 処分研究 グループ
4-2	・前半のバリアシステムの長期挙動に関する研究と後半の核種移行に関する研究計画の方針にアンバランスを感じる。核種移行では、こうしたバリアシステムの変質影響を無視し、単純な化学アナロジーによる評価になっている。バリアシステムの長期的な変質の方向性が分からぬ時点で、評価できるのか不安である。核種の類型化よりも先に変質を考慮しないといけないのではないか。	・TRU廃棄物の処分では、想定される化学的な条件が多く、代表的な核種についてデータ取得を行なう手法をとっている。現状では、変質させた試料も想定して溶解度や収着分配係数を取得することを計画しており、次回委員会で具体的な計画の説明を行う。	TRU廃棄物 処分研究 グループ
4-3	・遷移金属の溶解度で設定値と実測値の差を単純に保守的な設定で評価しているとしているが、NiやNbの溶解度のデータは保守的ではなく、合っていないと考えられるが。	・今後、解析条件の見直しやCaを含む固相の熱力学データの調査を行ない、5年後には試験結果が説明できるようにしていきたい。 ・次回委員会で具体的な計画について説明を行う。	TRU廃棄物 処分研究 グループ 核種移行研究 グループ
4-4	・TRUの検討では先行したHLWに倣い、評価を実施してきたが、TRU特有の現象や相互作用などを考えると、そのような方法で実施するのが良かったのか。また、処理技術を先行して実施すべきであったのではないか。全体的にHLWに比べると技術的成熟性が足りないように思う。 ・アスファルト固化体はこれ以上増えないのであるから。アスファルト固化体の硝酸を処理した場合を前提に処分を考えることも必要ではないか。	・今回の全体計画に関する報告の仕方が悪かったが。処理側の計画として硝酸分解の技術開発についても準備している。地層中の硝酸塩や硝酸イオンの挙動についての研究を進めつつ。代替技術としての分解処理の技術も確立していく必要があると考えている。 ・処理側と連携した計画を作成したので、次回委員会で説明を行う。	TRU廃棄物 処分研究 グループ
4-5	・処理は発生者、処分は原子力機構が実施するといった分担ではなく、総合的に考え、総合戦略を持つべき。全体をしっかりと把握して原子力機構が中心となって実施してほしい。技術が間に合っていないと感じる。	・処理と処分が組織的に分かれていることは事実であるが、原子力機構は発生者でもあるので、処理側と処分側をしっかりと繋いでいきたいと考えている。 ・硝酸はない方が望ましいが、アスファルトについては現実的な対応を考えるべきであると考える。 ・処理側と連携した計画を作成したので、次回委員会で説明を行う。	TRU廃棄物 処分研究 グループ
4-6	・併置処分においてTRU側が求める条件によってサイト選定条件を厳しく制約しないようにすべきである。	・線量を安全の指標とすれば、ヨウ素がもっとも寄与の大きな核種であり、この対策が重要である。選定されるサイトの地質条件に応じ、緩衝材の機能に期待することに加え、廃棄体からのヨウ素の放出を抑制する技術開発も進めている。地質条件によっては、廃棄体、緩衝材というように複数のバリア機能によって線量を低減させ、サイト選定の制限を厳しくしないようにすることが基本戦略である。	TRU廃棄物 処分研究 グループ

	第1回委員会で頂いたご意見・ご質問	当日の回答／対応	担当
4-7	・処理と処分が有機的に結合していない。新法人化による技術開発体制がお互いに阻害しないように戦略的な研究を進めて欲しい。重要なことは、世界中の原子力機構であり、国内全体で処理と処分の連携が重要であるということである。	・処理側と処分側の両者が共存している原子力機構として、長期的視野で繋ぎ合わせられるか考えていく必要があると考えている。 ・処理側と連携した計画を作成したので、次回委員会で説明を行う。	TRU廃棄物 処分研究 グループ
4-8	・資料15ページに関連して、放射性元素については当然検討されているとして、一般の廃棄物処分で言われる有害金属についてはどのように考えているのか。この部分も計画立案に反映できれば他の廃棄物処分分野からも信頼されるのではないか。	・廃棄体データベースの拡充もマップの中で重要課題として挙げており、この中で核種のインベントリなどに加え、有害物質等の情報も入れるように進めていると聞いている。なお、余裕深度処分等については環境影響の側面から、硝酸イオンの濃度評価を実施している。	TRU廃棄物 処分研究 グループ

#### 4. おわりに

第1回委員会において委員より頂いたご意見等については、平成18年度に実施する地層処分基盤研究開発の実施に迅速に反映させる。また、地層処分に関する研究開発全体として平成22年頃を目途に成果の取りまとめに向けてご指摘事項を踏まえた計画、実施をはかる。

次回(平成18年度末開催予定)の委員会においては、平成18年度の成果報告を中心とした審議を行う予定にしているが、第1回委員会におけるご意見等を踏まえ、特に以下の点をポイントとした報告を行うこととする。

(HLW 地層処分基盤研究開発、TRU 処分研究開発共通)

- ・海外動向と「地層処分基盤研究開発調整会議」での議論を踏まえた、研究の必要性について

(HLW 地層処分基盤研究開発)

- ・BAT(Best Available Technology, 利用可能な最善の技術)概念の理解と研究の方向性について
- ・社会に対しての、地層処分基盤研究開発の現状に関する理解促進への取組みの現状について
- ・処分システムの長期挙動評価における不確実性による影響を考慮した、重点的な取り組み課題について
- ・性能評価研究側と連携した、地質環境条件に対する処分概念オプションの基盤技術の取組みについて
- ・性能評価研究の柔軟性を高める具体的な取組みについて

(TRU 処分研究開発共通)

- ・処理側と連携を取った上での処分研究開発計画について
- ・核種移行研究の具体的な計画について

付録

地層処分研究開発検討委員会（第1回） 会議資料

- |      |           |  |
|------|-----------|--|
| 別添1： | 資料第1-1号   | 検討委員会での議論のポイントについて                             |
| 別添2： | 資料第1-2号   | 地層処分に関する研究開発をとりまく動向（全体概要）                      |
| 別添3： | 資料第1-3号   | 知識マネジメントシステムの開発                                |
| 別添4： | 資料第1-4-1号 | HLW 処分における平成17年度までの成果と『次期5カ年』の研究開発計画－全体－       |
| 別添5： | 資料第1-4-2号 | HLW 処分における平成17年度までの成果と『次期5カ年』の研究開発計画－工学技術について－ |
| 別添6： | 資料第1-4-3号 | HLW 処分における平成17年度までの成果と『次期5カ年』の研究開発計画－性能評価について－ |
| 別添7： | 資料第1-5号   | 長半減期低発熱放射性廃棄物(TRU廃棄物)の地層処分研究開発について             |

## 地層処分研究開発検討委員会

資料第1-1号

別添1

## 地層処分研究開発検討委員会における審議の重点について

## 1. 委員会設置の背景

(独) 原子力研究開発機構（以下、原子力機構）の地層処分研究開発は、原子力委員会による政策大綱や、原子力安全委員会のもとでの安全研究計画の趣旨を踏まえ、中期事業計画にそって、わが国の地層処分計画の円滑な推進に向け処分事業や安全規制策定に資する技術基盤の提供を目的としており、経済産業省資源エネルギー庁の統括の下に組織された「地層処分基盤研究開発調整会議」において議論される国際基盤研究開発<sup>1</sup>を担うものです。

地層処分研究開発調整会議においては、現在 HLW のみならず TRU 廃棄物を含めた、わが国の今後 5 カ年の地層処分の研究開発全体を見渡して研究開発の検討が行われつつあり、平成 20 年代前半の精密調査地区の選定に向けて、事業や規制のニーズを踏まえた研究計画の策定が進められています。

標記委員会においては、上述したような背景の下、原子力機構における地層処分研究開発の進め方について、特に“地層処分の工学技術”および“性能評価”に関する課題への取り組みを重点に審議頂くものとします。具体的には研究開発成果の意義や将来の方向性とそのアプローチなどについて、特に知識基盤（ベース）へ反映・集約のためどのような研究開発を展開すべきか、に関し幅広い視点からご意見をいただき、今後の原子力機構の研究開発に資することとします。

## 2. 本検討委員会における議論の範囲

平成 18 年度は、H17 年取りまとめ（核燃料サイクル開発機構、2005）や TRU-2 レポート（電気事業連合会、核燃料サイクル開発機構、2005）の成果を概観するとともに、平成 20 年代前半の精密調査地区の選定に向けて、原子力機構として取り組むべき課題選択と今後の進め方の妥当性について議論します。

- 1) HLW 処分；原子力機構自らが推進する研究課題を重点に、H17 年取りまとめの成果とそれ以降の研究開発の成果、および次期 5 カ年の研究計画における研究テーマの選択と、その進め方、内容について議論頂く。また、得られた成果の知識ベースへの反映方策についても議論を頂く。
- 2) TRU 廃棄物処分；TRU-2 レポートの成果および次期 5 カ年の研究計画、特に TRU 廃棄物地層処分の技術的信頼性向上や、HLW との併置処分に係る研究開発について議論頂く。

<sup>1</sup> 地層処分に関する国際基盤研究開発とは、日本原子力研究開発機構（地層処分研究開発部門）の研究開発と資源エネルギー庁の調査等の事業を包括して指すもので、実施主体の技術開発や規制機関の規制関連研究とは区別される。

### 3. 委員会でのプレゼンテーション、説明について

- 1) 研究開発をとりまく動向 (HLW／TRU 廃棄物)
- 2) HLW 処分における最近の成果と次期 5 カ年の取り組み
  - ・ 地層処分の工学技術、性能評価分野を中心とした H17 年度までの成果や今後の課題
  - ・ 地層処分の工学技術に関する研究開発の今後の展開、URL との連携、国内外研究機関との連携、知識ベースへの反映
  - ・ 性能評価研究の今後の展開、URL との連携、国内外研究機関の連携知識ベースへの反映

上記いずれも、研究開発の位置づけ・方向性、具体的内容や進め方、プライオリティ、知識ベース構築の具体的アプローチについて、技術基盤の強化という視点でのご意見を頂きます。また、成果公開のあり方等についても御意見を頂ければと考えております。なお、研究開発の位置づけ・方向性、具体的内容や進め方、プライオリティについては、地層処分基盤研究調整会議において並行して検討が行われているところであり、この委員会で頂いたご意見も勘案して機構としての計画を確定してまいります。

- 3) TRU 廃棄物処分の研究開発の成果と次期 5 カ年の取り組み
  - ・ TRU 廃棄物の処分研究の置かれた状況
  - ・ TRU-2 レポートの成果の概要と課題ならびに次期 5 カ年の計画
  - ・ 安全評価の現状、今後の取り組み

TRU 廃棄物処分に関しては、HLW とフェーズが異なり、事業の枠組みや中期計画上の目標が必ずしも明確となっていない状況で今後の研究開発を検討することになりますが、HLW との併置処分、余裕深度処分や研究所廃棄物処分との技術的整合性、TRU 廃棄物処分特有の課題に対する研究開発アプローチ等の視点から議論、ご意見を頂きたいと考えています。

以上

## 地層処分研究開発検討委員会

### ・ 当委員会における議論の重点

- HLW及びTRU廃棄物処分の基盤研究開発の進め方に関し
- 地層処分の工学技術と性能評価に関連する課題への取り組みを重点に平成17年度とりまとめ、ならびにそれ以降の成果と今後の計画について
- 内外のニーズを踏まえ期待される成果と研究開発の方向性中期計画に基づくアプローチの視点と
- 個々の研究の質的向上に加え、知識基盤(ベース)に反映・集約できる成果の観点から議論いただく。



18年度実施計画、中期計画に議論の成果をフィードバック

### 各課題の説明、報告の内容構成

#### ○ 研究分野、課題の説明

「地層処分基盤研究に求められるニーズ」

「H17取りまとめとそれ以降の成果」

#### ○ 研究開発項目の内容

「成果に向けたアプローチ」 当面5カ年

#### ○ 知識ベースへの反映策、成果の見通し

別添2



地層処分研究開発検討委員会

資料第1-2号

## 地層処分に関する研究開発をとりまく動向 (全体概要)

平成18年7月24日  
独立行政法人日本原子力研究開発機構  
地層処分研究開発部門



### わが国 地層処分計画の流れ

#### 研究開発

東海エントリー  
試験開始('93)  
超深地層研究所  
計画開始('96)

第2次取りまとめ('99)  
「地層処分の技術的信頼性」

幌延深地層研究  
計画開始('01)

H17取りまとめ('05)

2000  
2010  
2020  
2030  
2040

処分場の設計・  
建設・操業

処分地の選定

公募開始('02.12)

「安全規制の基本的考え方」  
原子力安全委員会報告書('00)  
原子力発電環境整備機構設立('00)  
特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律('00)

「制度化のあり方」  
原子力部会報告書('99)

「処分に向けた基本的考え方」  
処分懇談会報告書('98)

#### 国の政策等

地層処分  
研究開始

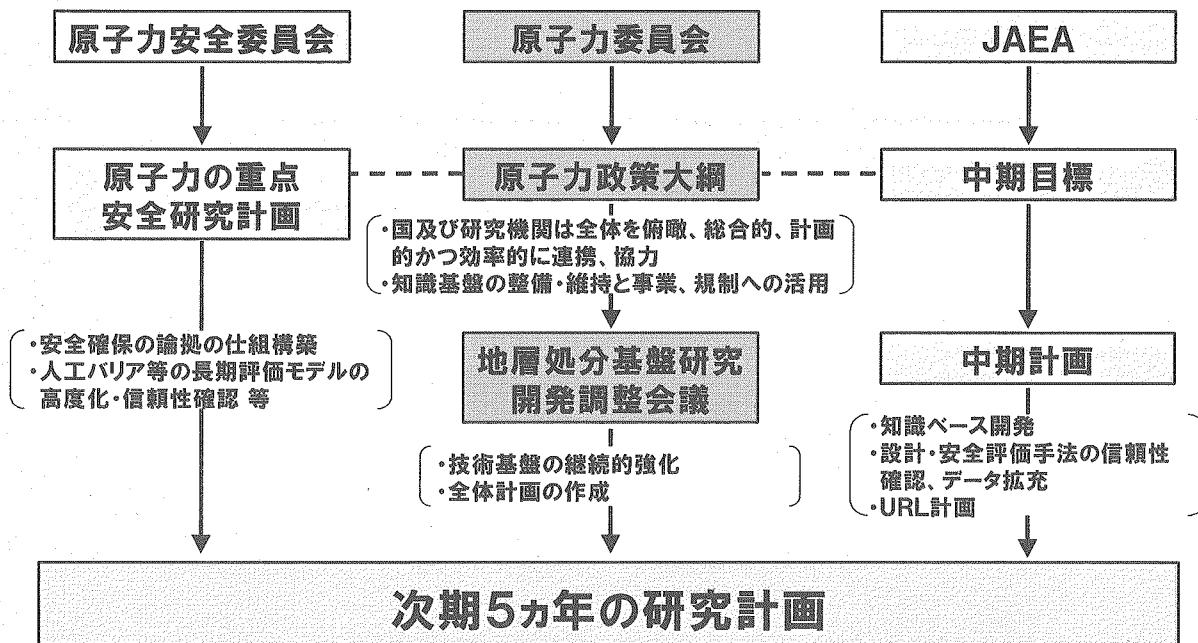
釜石鉱山での  
地層科学研究('88～'98)  
東濃鉱山での  
地層科学研究('86～'03)

第1次取りまとめ('92)  
「地層処分の技術的可能性」

東海クオリティ  
試験開始('99)

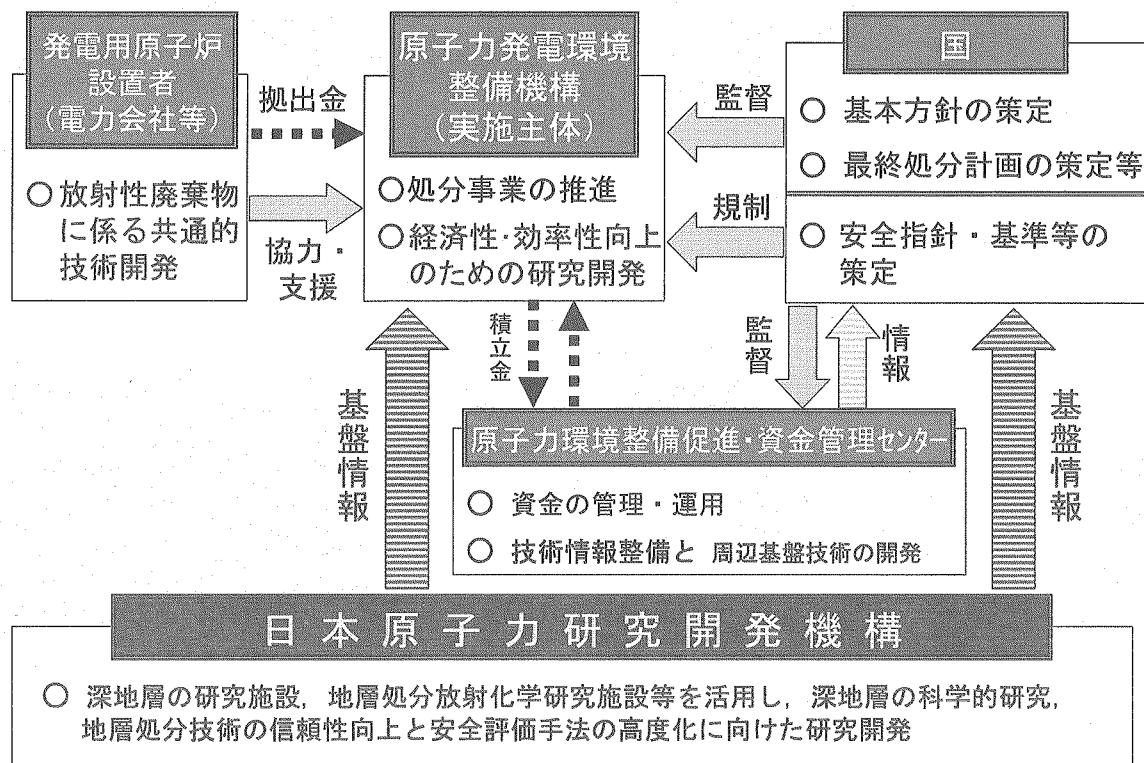
1976  
1981  
1986  
1992  
原子力長期計画など  
「研究開発等の進め方」  
バックエンド対策専門部会報告書('97)

## 地層処分基盤研究開発の背景



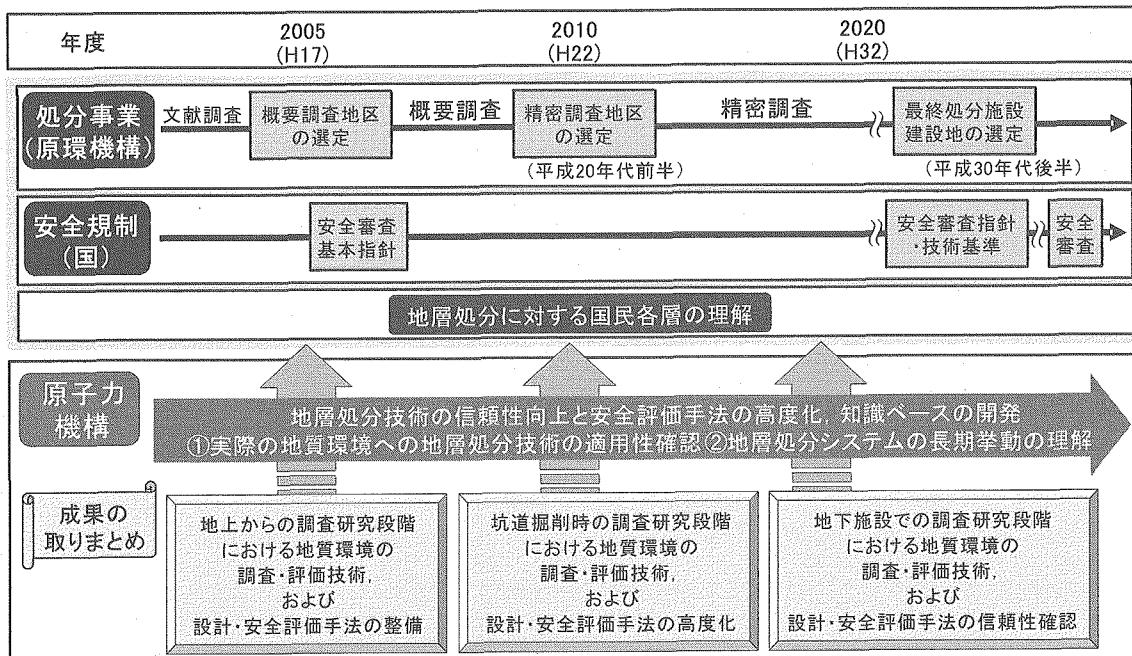
4

## 事業段階における関係機関の役割

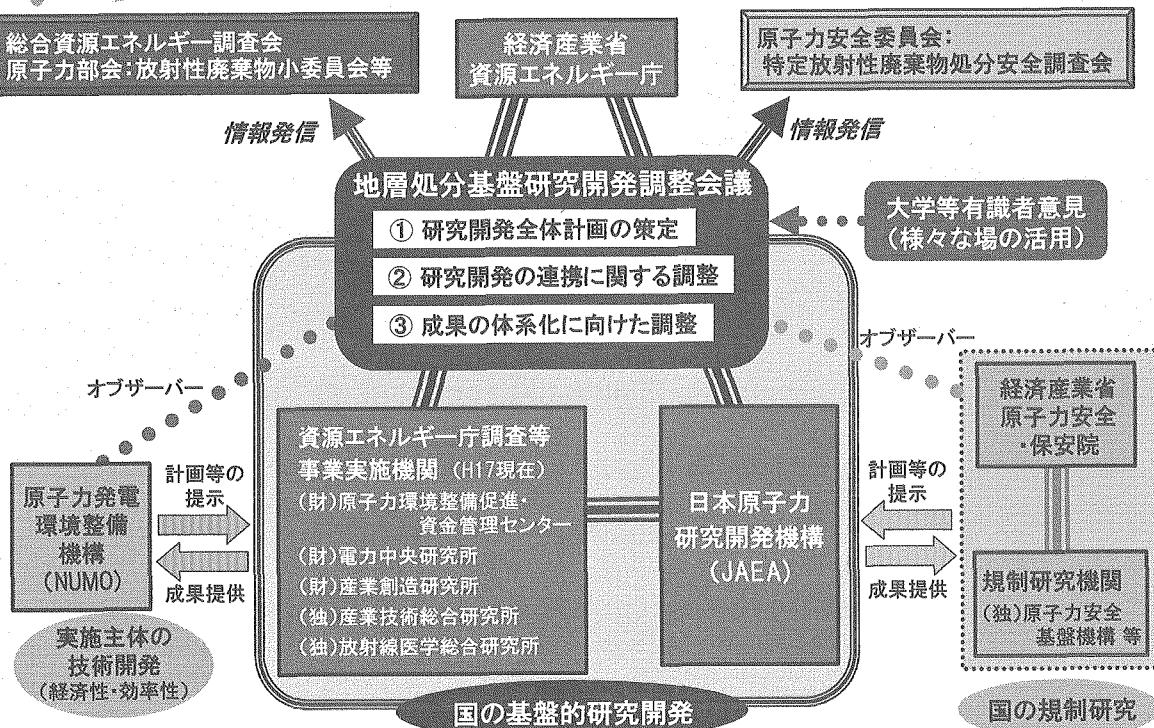




## 成果の段階的な取りまとめと反映



## 地層処分基盤研究開発調整会議の構成



第2回経済産業省資源エネルギー庁総合資源エネルギー調査会原子力部会放射性廃棄物小委員会(平成17年8月8日開催)配付資料を修正

## 日本原子力研究開発機構における 地層処分技術に関する研究開発の概要



### 研究開発の役割と目標

日本原子力研究開発機構

科学的視点が中心

研究開発の目標

- ① 実際の地質環境への  
処分技術の適用性確認
- ② 地層処分システムの  
長期挙動の理解

関係研究開発機関

工学的視点が中心

・技術情報の整備

- ・周辺基盤技術の  
研究開発

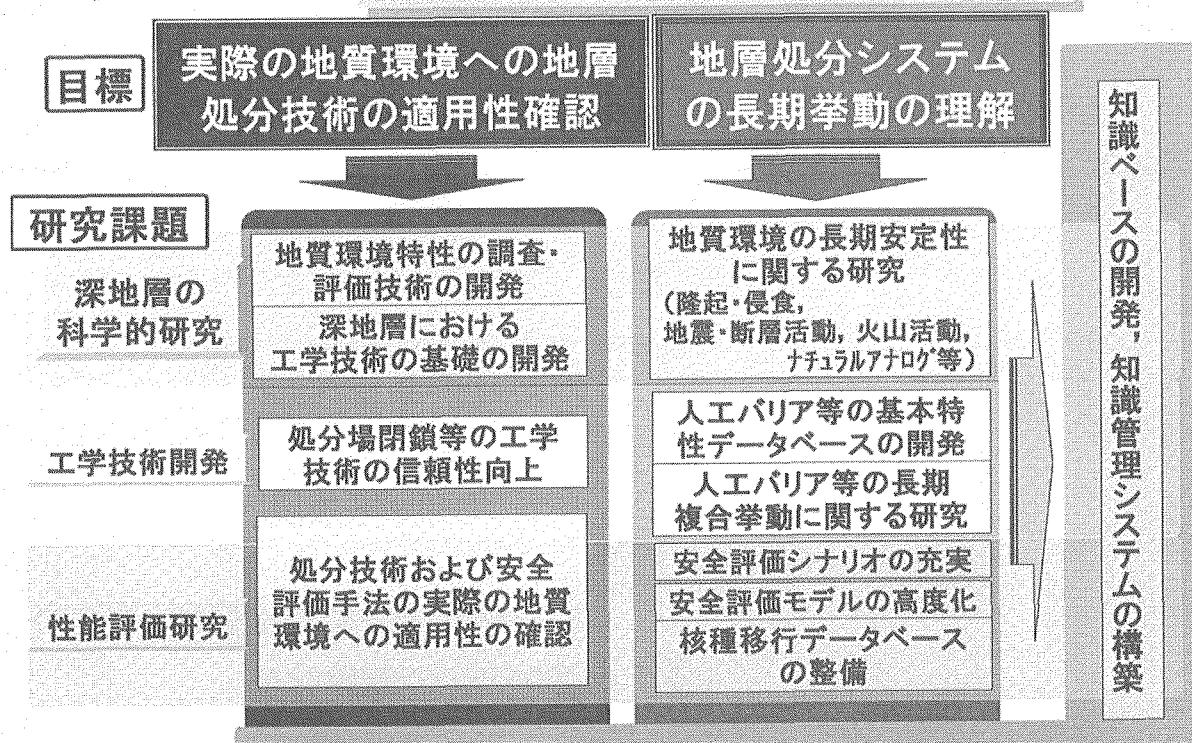
成果の反映

事業実施

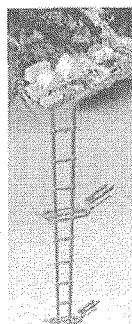
安全規制



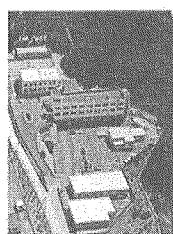
## 研究開発目標と課題



## 原子力機構の研究開発施設と担当分野



(イメージ図)

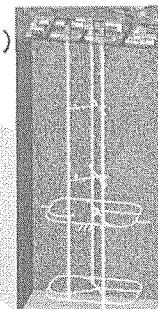
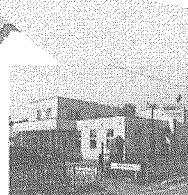


### 東濃地科学センター

- 超深地層研究所計画  
(結晶質岩)

### 深地層の科学的研究

(イメージ図)



### 幌延深地層研究センター

- 幌延深地層研究計画(堆積岩)

### 深地層の科学的研究

- 処分技術の信頼性向上  
安全評価手法の高度化



### 東海研究開発センター



エントリー

クオリティ



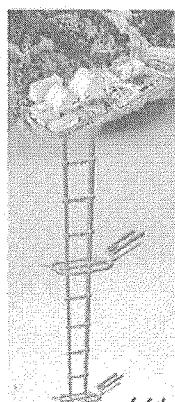
処分技術の信頼性向上 | 安全評価手法の高度化



## 2つの深地層の研究施設設計画

瑞浪超深地層研究所  
(岐阜県瑞浪市)

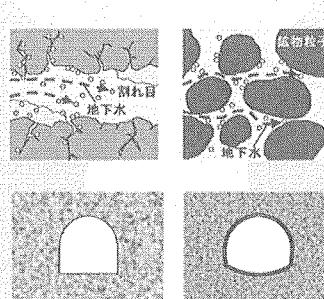
幌延深地層研究所  
(北海道幌延町)



花崗岩  
(結晶質岩)

淡水系

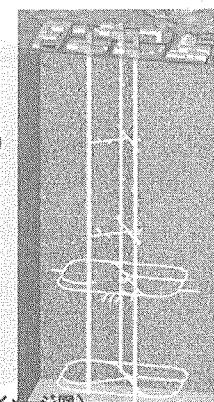
硬 岩



泥 岩  
(堆積岩)

塩水系

軟 岩



段階的な  
調査研究  
の進め方

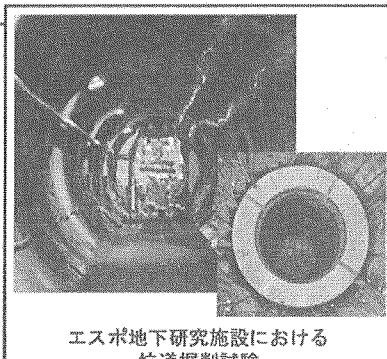
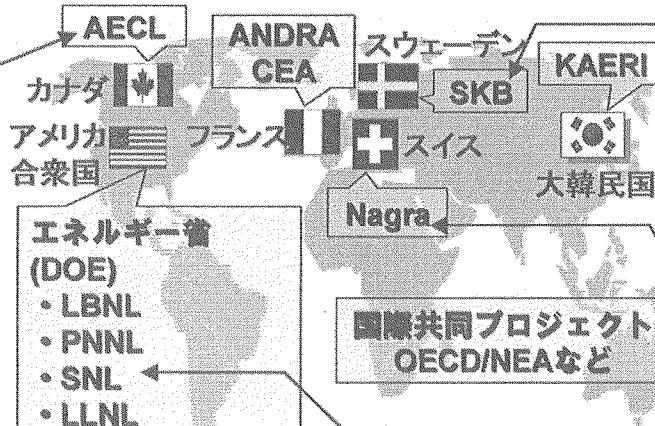
第1段階:地上からの調査研究段階

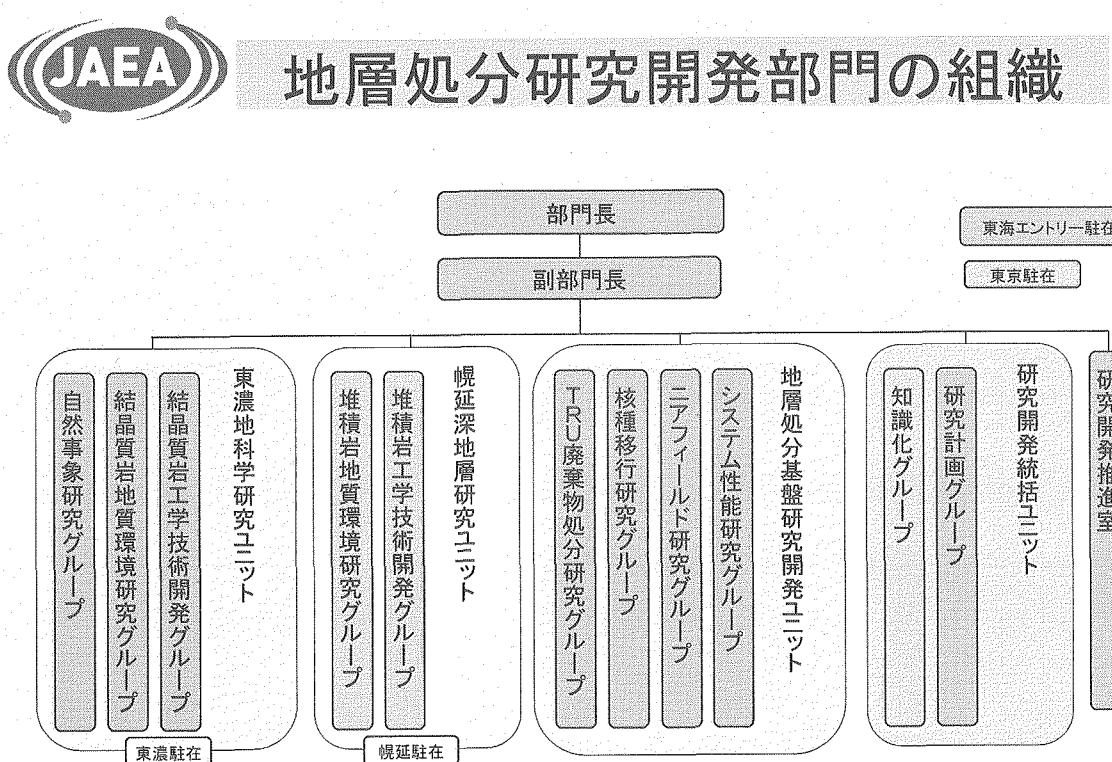
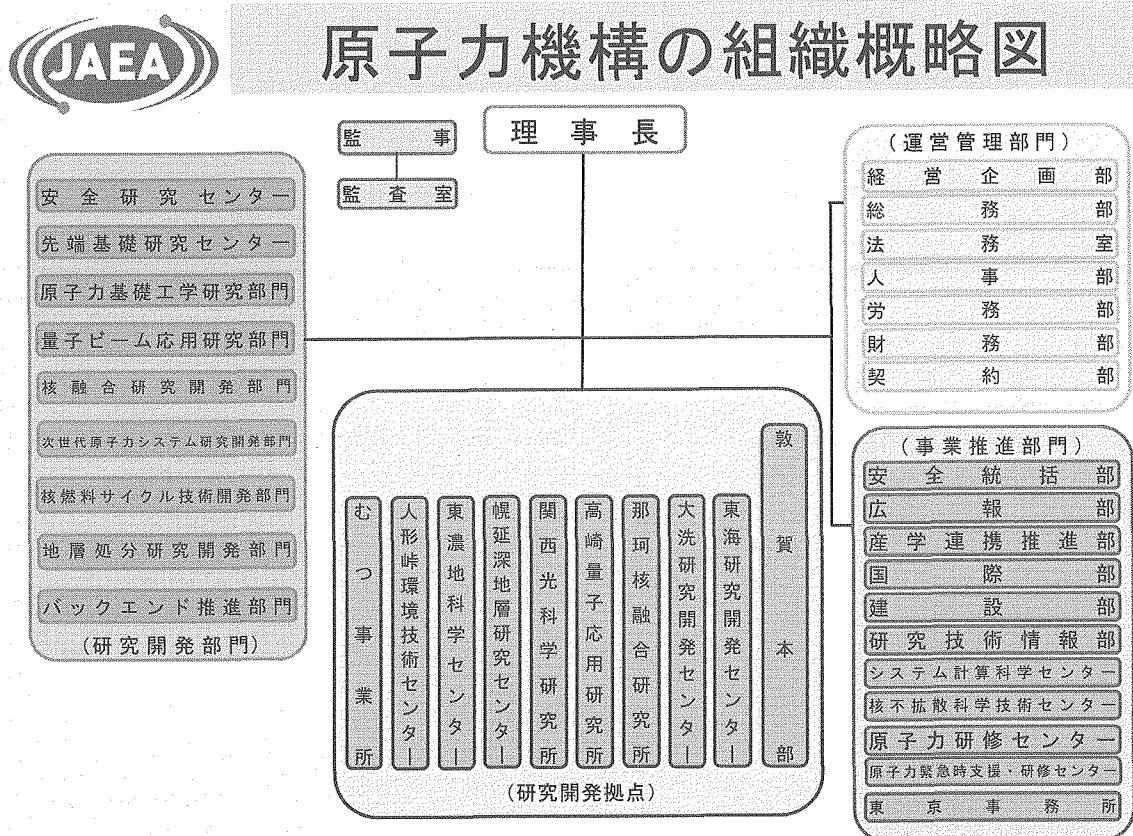
第2段階:坑道掘削時の調査研究段階

第3段階:地下施設での調査研究段階



## 国際協力・国際共同プロジェクト







## 中期目標の概要

- 中期目標は、主務大臣(文部科学省、経済産業省)により定められる。

- 中期目標の期間

平成17年(2005年)10月1日から平成22年(2010年)3月31日までの  
4年6ヶ月

### 高レベル放射性廃棄物の処理・処分技術に関する研究開発(抜粋)

高レベル放射性廃棄物の地層処分の実現に向け、基盤的な研究開発を着実に進め、地層処分技術の信頼性の向上を図り、原子力発電環境整備機構による処分事業と、国による安全規制を支える知識基盤として整備する。

そのため、瑞浪と幌延の深地層の研究計画について、中間的な深度までの坑道掘削時の調査研究を進める。あわせて工学技術や安全評価に関する研究開発を他の研究開発機関と連携して実施し、これらの成果を地層処分の安全性に係る一連の論拠を支える知識ベースとして体系化する。



## 中期計画の概要

- 中期計画は、中期目標を達成するため機構が作成

- 高レベル放射性廃棄物の処理・処分技術に関する研究開発(抜粋)

機構は、我が国における地層処分技術に関する研究開発の中核的役割を担い、処分実施主体である原子力発電環境整備機構による処分事業と、国による安全規制の両面を支える技術を知識基盤として整備していく。

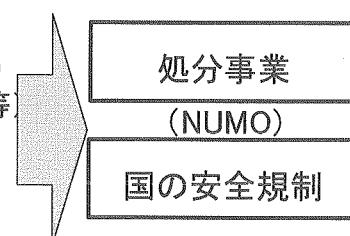
- ◆「地層処分研究開発」と「深地層の科学的研究」について他の研究開発機関と連携して研究を推進
- ◆その成果を地層処分の安全確保の考え方や評価に係る様々な論拠を支える「知識ベース」として体系化
- ◆国内外の専門家によるレビュー等を通じて、包括的な報告書と知識ベースとして取りまとめ

### 地層処分研究開発

- ・処分技術の信頼性向上(人工バリアの特性、長期複合挙動等)
- ・安全評価手法の高度化(核種データベース、安全評価モデル等)

### 深地層の科学的研究

- ・深地層の研究施設計画(瑞浪、幌延)
- ・地質環境の長期安定性に関する研究(火山、活断層等)

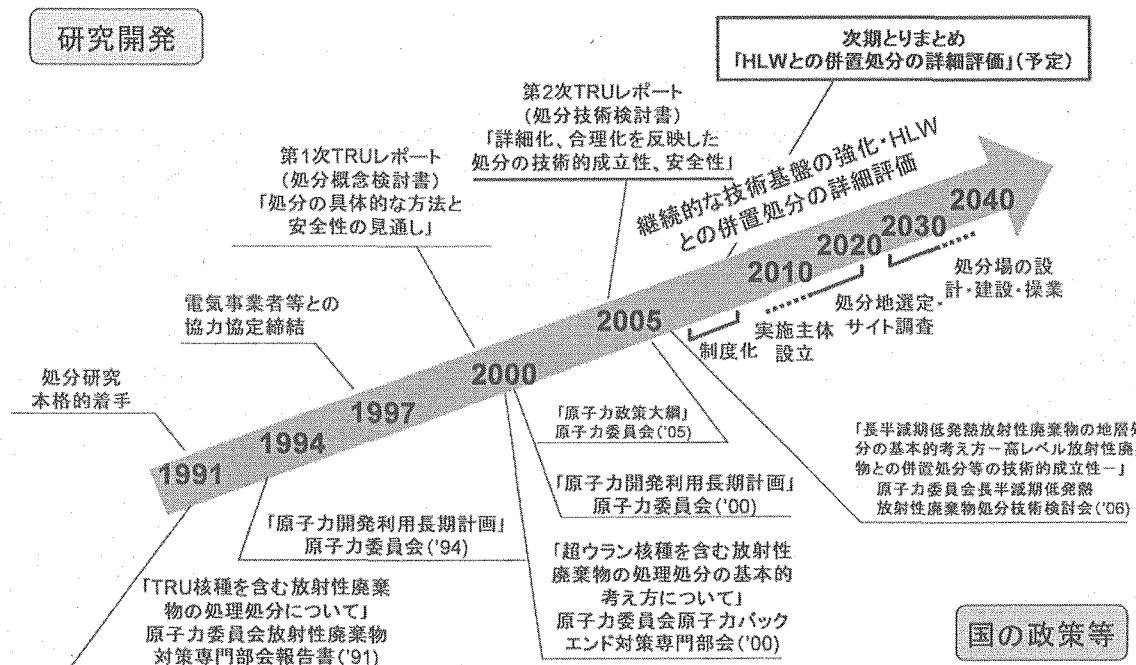


## 長半減期低発熱放射性廃棄物の 処分技術に関する研究開発

### 国 の 動 き (長半減期低発熱(TRU)廃棄物)

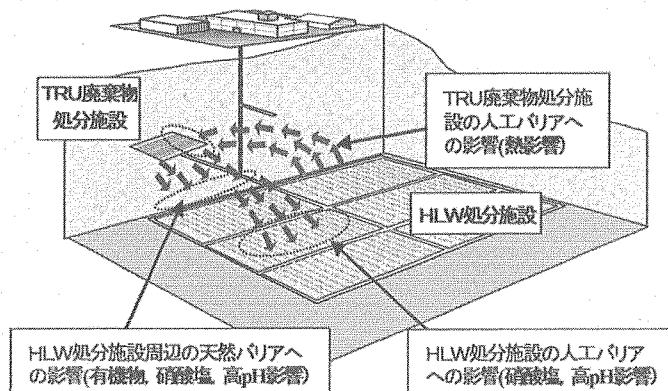
- 原子力委員会
  - 高レベル放射性廃棄物との併置処分等の技術的成立性が定例会(平成18年4月18日)にて了承
- 資源エネルギー庁
  - TRU廃棄物処分の法制化に向けた準備の開始
  - 研究開発の効率的な推進のための役割分担の検討(役割分担マップの作成)
- 原子力安全・保安院
  - 規制に向けた情報収集に着手

## 長半減期低発熱放射性廃棄物（TRU廃棄物） 地層処分計画の流れ



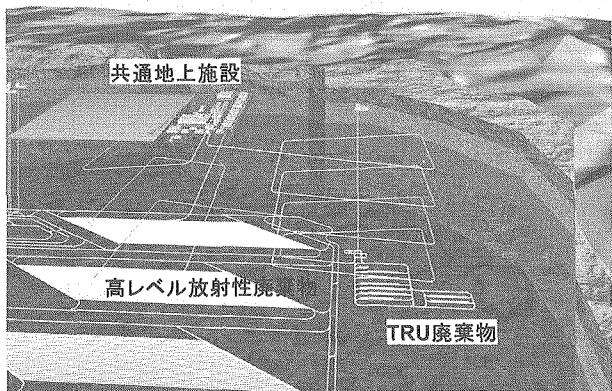
## TRU廃棄物と高レベル放射性廃棄物の併置処分の基本的考え方

- 地層処分対象廃棄物の相互影響について検討
- 各々の影響が小さくなるように処分施設のレイアウトを検討
  - 各々の廃棄物の処分が影響を及ぼす因子として以下の影響を評価
    - 熱
    - 有機物
    - 硝酸塩
    - 高pH





## 併置処分の概念例と相互影響



相互影響因子	影響
熱 (高レベル放射性廃棄物 → TRU廃棄物)	セメントの吸着性低下
有機物 (TRU廃棄物 → 高レベル放射性廃棄物)	溶解度上昇 吸着分配係数低下
硝酸塩 (TRU廃棄物 → 高レベル放射性廃棄物)	吸着分配係数低下 金属腐食
高pH (TRU廃棄物 → 高レベル放射性廃棄物)	ペントナイト変質 金属腐食 ガラスの溶解

諸外国の併置処分概念と同様に、約300mの離間距離の確保により相互影響を回避することが可能。なお、実際の処分サイトにおいては、多様な地質環境条件に応じて、高レベル放射性廃棄物の場合と同様、処分施設の配置、工学的対策など有効な措置を組み合わせることが可能。

別添3



地層処分研究開発検討委員会  
資料第1-3号

## 知識マネジメントシステムの開発

平成18年7月24日  
独立行政法人 日本原子力研究開発機構  
地層処分研究開発部門  
梅木 博之



ナレッジビジョン(H17取りまとめ)

### ● 基本的考え方

- 知識の網羅性(管理の範囲の設定)
- 利用者の視点

### ● セーフティケースの一般概念を視軸とした構造化

- 個々の研究開発成果の有機的な関係をより形式化
- 情報の必要十分性の明示(意思決定の材料としての適合性判断)
- 地層処分の安全性に対する信頼性の評価
- 情報の価値の明確化
- 多分野の研究領域の連携促進

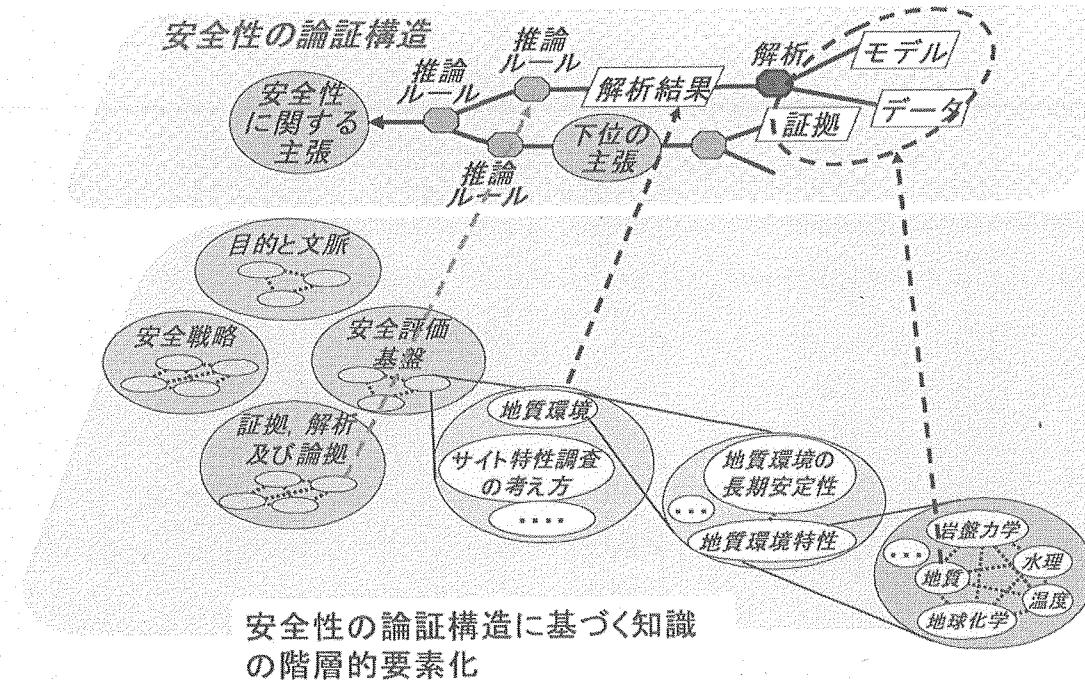
### ● 適切性の確認

- 平成17年取りまとめ(知識化レポート)に対する
  - ・大学等の研究開発機関、処分事業に関わる関連機関の専門家レビュー
  - ・海外専門家の意見聴取



## セーフティケース概念に基づく知識の構造化

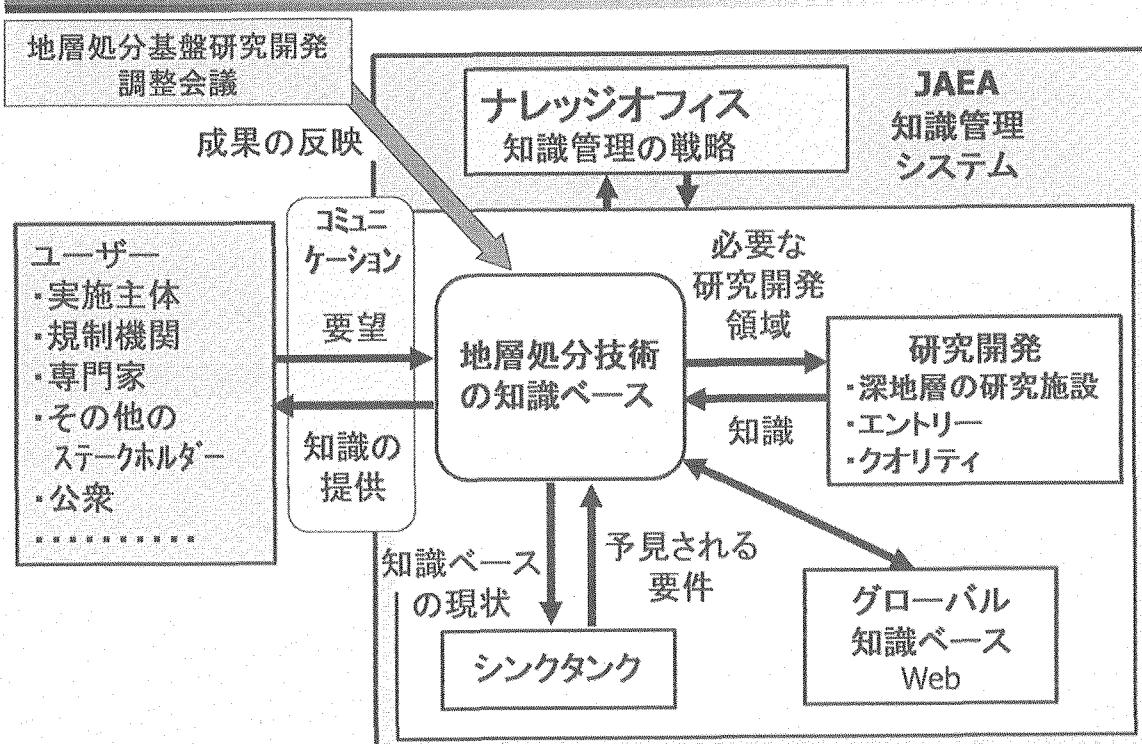
### 知識の構造化



2



## 知識管理システムの概念



3



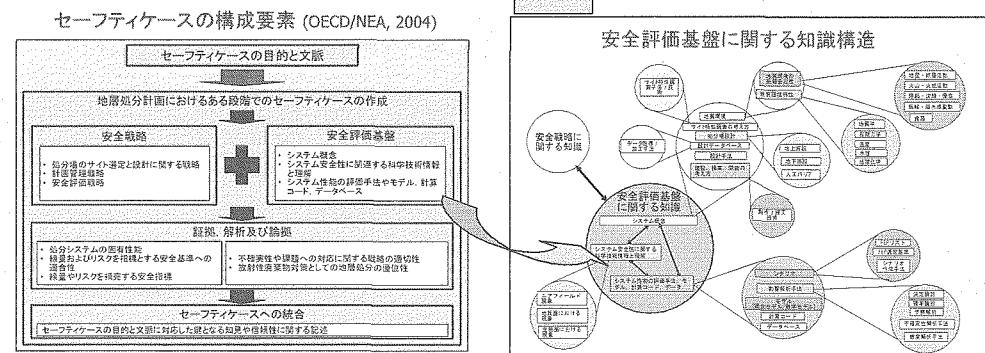
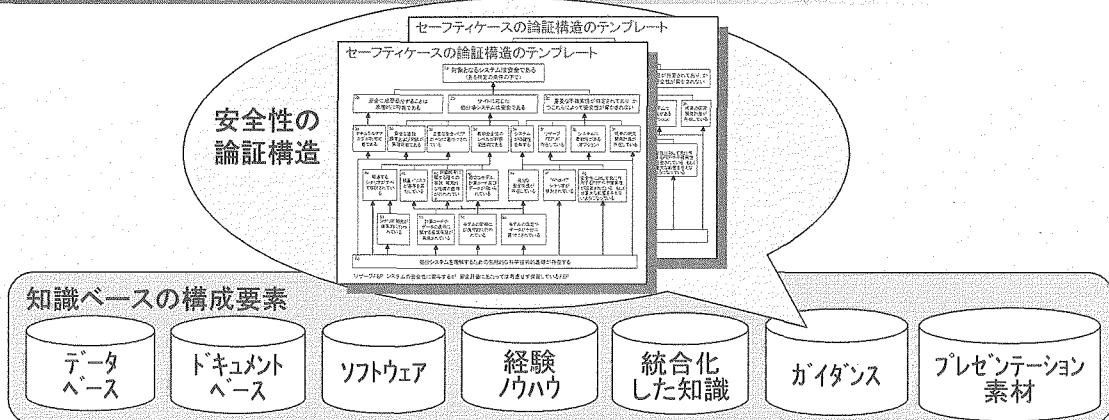
## 地層処分技術に関する知識の類型化

分類	内容	例
データ	・生データ(内部情報) ・データの抽出(外部情報) ・処理データ	・熱力学・収着データベース ・人工バリアの基本特性データベース
ドキュメント	・内部技術資料 ・公開技術資料	・技術メモ ・研究報告書, 論文
ソフトウェア	・関連ソフト/データベースのアーカイブ ・マニュアル, ハンドブックなどのアーカイブ ・関連する研究成果のアーカイブ	・地下水流动解析 ・地形変化シミュレーション ・物質移行解析 ・熱-水-応力-化学連成解析モデル
経験・ノウハウ (方法論など)	・手順マニュアル/ガイドブック ・エキスパートシステム ・トレーニング資料	・断層の推定 ・ボーリング調査手法 ・分析マニュアル
統合化した 知識	・エキスパートシステム	・地質構造の推定 ・地下水の化学特性の推定
ガイダンス	・技術的, 社会政治学的な将来シナリオとこれに基づく知識ベースへの要求・要望事項	・将来シナリオ ・予見される要件と知識
プレゼンテーション 素材	・ユーザーフレンドリーインターフェースを考慮したグラフィック表示素材	・長期変動のビジュアル画像

4



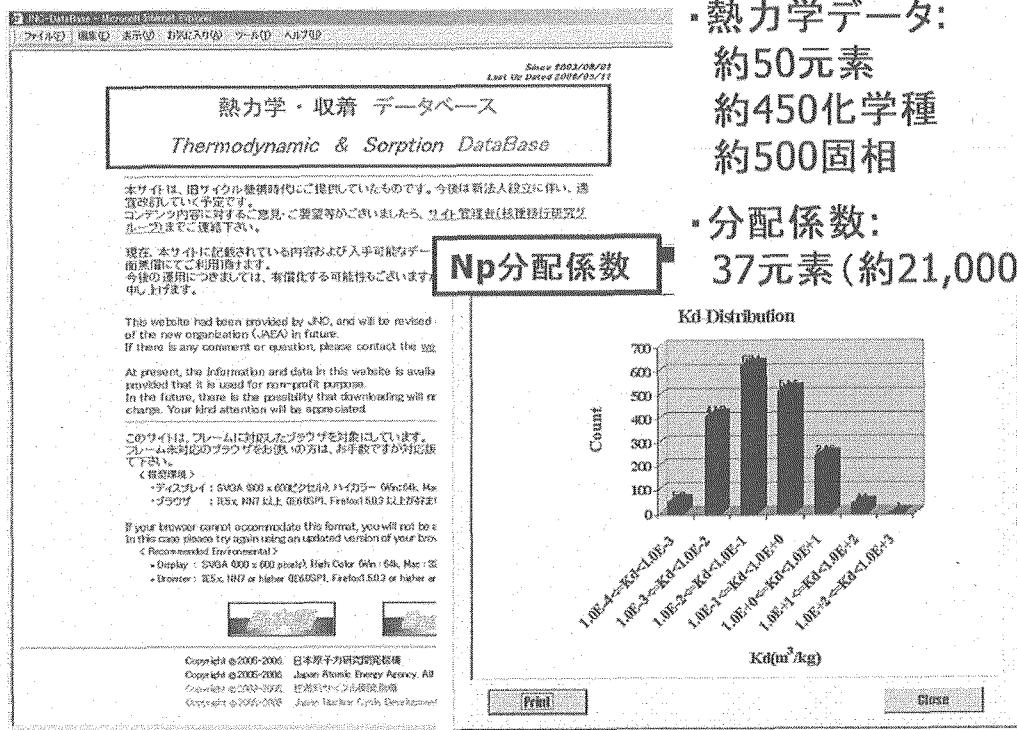
## 構造化された知識による知識ベースの構成



5



## 地層処分技術の知識 - データ -



## 地層処分技術の知識 - ドキュメント -

H17取りまとめ  
「技術的信頼性の向上」

H12(第2次)取りまとめ  
「技術的信頼性の提示」

H3(第1次)取りまとめ  
「技術的可能性的提示」

地層処分  
研究開始

1976

1992

1999

2005

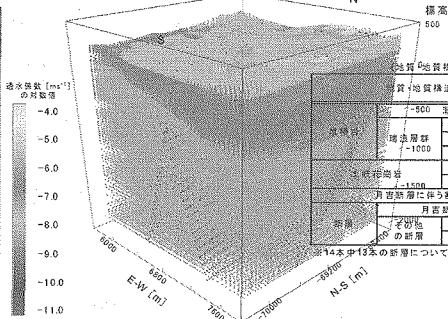
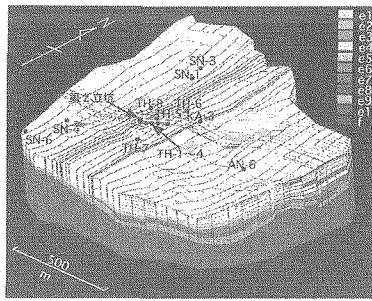
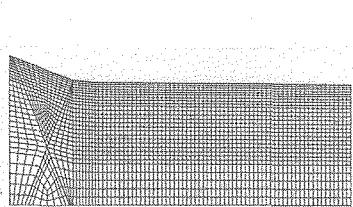
7



## 地層処分技術の知識 - ソフトウェア -

### 水理地質構造モデルの詳細化

「第1次取りまとめ」('92) 「第2次取りまとめ」('00) 「H17取りまとめ」('05)



2次元水理地質構造モデル  
・仮想モデルと文献データ

3次元水理地質構造モデル  
・東濃鉱山周辺における  
地質環境データを使用  
対象領域: 約1km × 1km  
浅層ボーリング孔: 9孔  
(200m級)

3次元水理地質構造モデル  
・瑞浪超新地層研究所周辺の  
地質環境データを使用  
対象領域: 約2km × 2km  
深層ボーリング孔: 3孔  
(500~1,000m級)

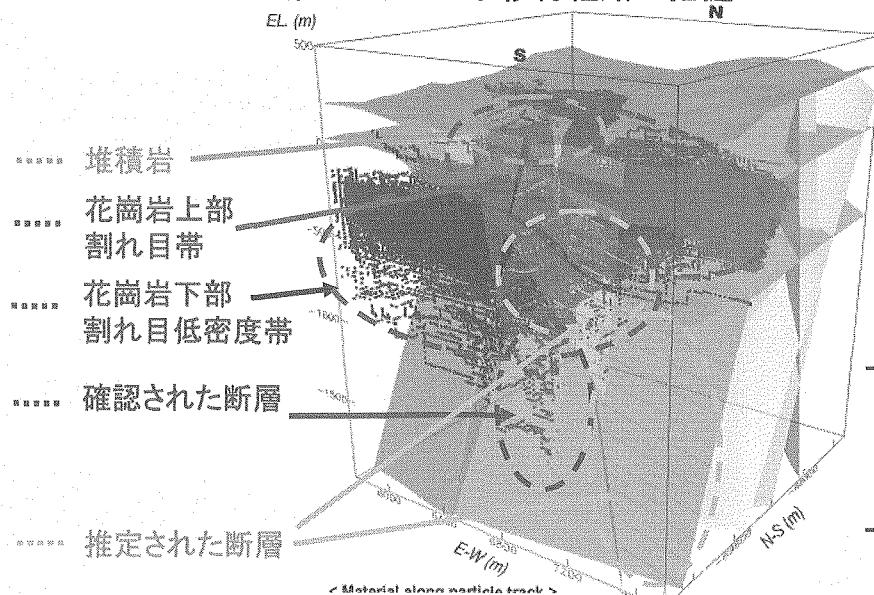
8



## 地層処分技術の知識 - ソフトウェア -

### 地下水流动解析(パーティクルトラッキング法)

#### パーティクルの追跡による地下水移行経路の把握



- 3次元水理地質構造モデル (瑞浪超深地層研究所周辺)
- 推定される全ての断層を考慮した解析ケース

9



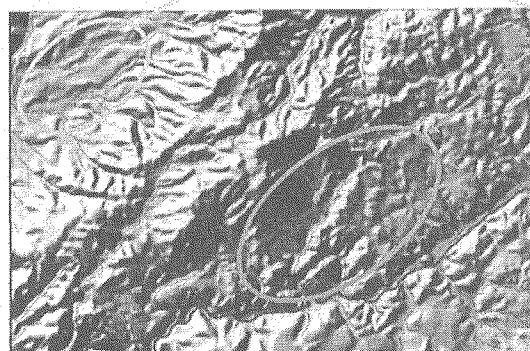
## 地層処分技術の知識 - ソフトウェア -

### 地質環境の長期変動予測

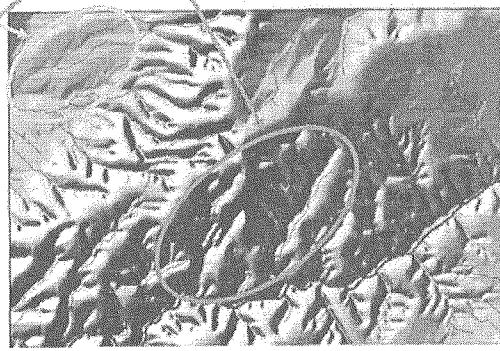
- 隆起・侵食の数値モデルによる地形変化シミュレーション -

低起伏部での地形の平滑化

急傾斜山地における谷の下刻・  
渓谷の形成



現在の地形



12万年後の地形 1km

東濃地域(土岐川流域)

10



## 地層処分技術の知識 - 経験・ノウハウ -

文献

物理探査

航空写真

リニアメント

コア

「断層」かどうか  
の判定!

断層?

これは断層!

- 経験・ノウハウ
- ・リニアメントの判読
- ・動きの痕跡の確認
- 方法

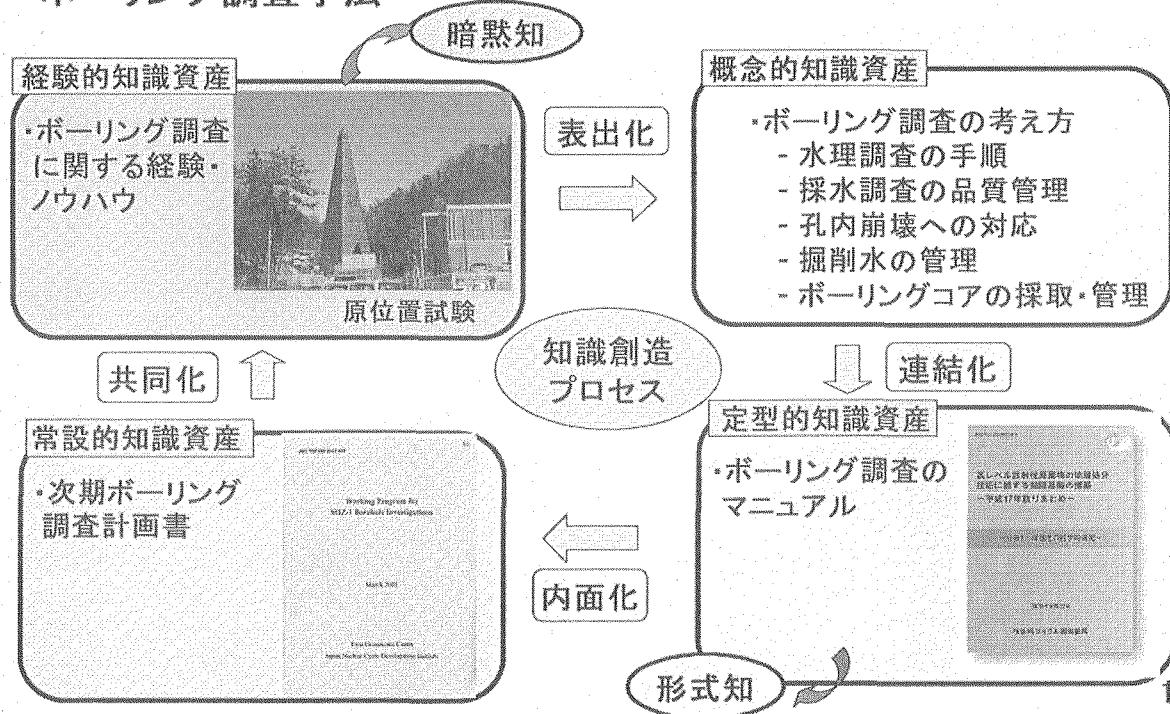
地質の専門家

11



## 地層処分技術の知識 - 経験・ノウハウ -

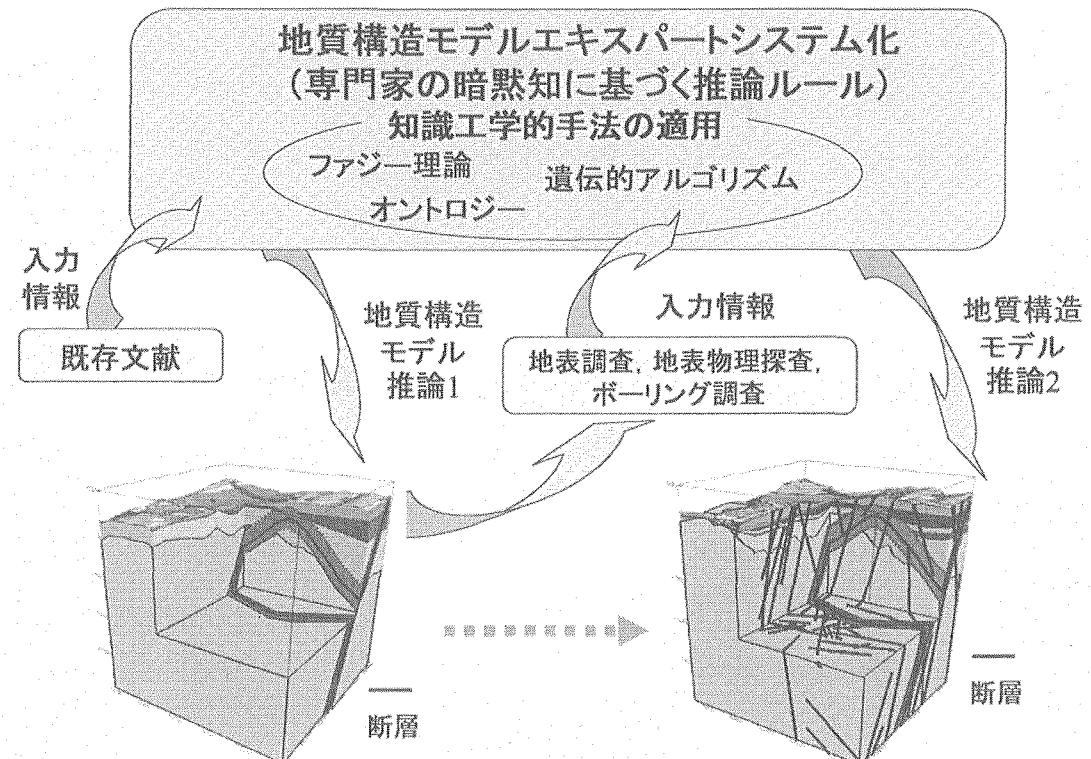
### ボーリング調査手法



12



## 地層処分技術の知識 - 統合化した知識 -

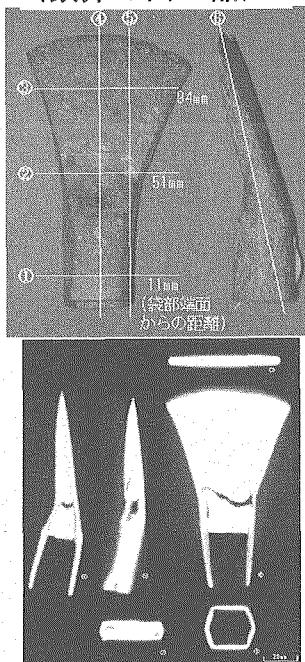


13

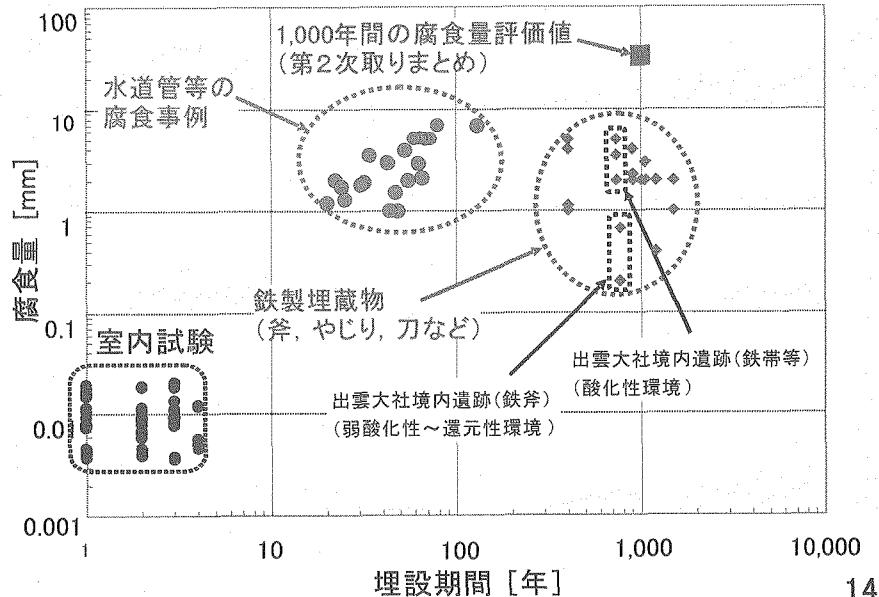


## 地層処分技術の知識 - 統合化した知識 -

(鉄斧の出土品)



X線CT画像

土中の鉄の腐食データに関する天然類似現象  
(ナチュラルアナログ)

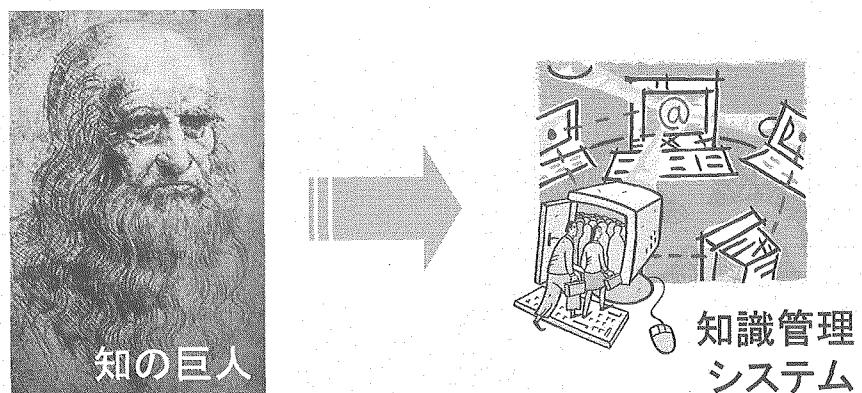
14



## 知識基盤の着実な整備

- 蓄積した膨大な基礎データや地下の調査に関する経験、情報の体系化
- 処分事業や安全規制のニーズに沿った知識の蓄積

平成22年に知識ベースのプロトタイプを公開



頭脳からフリーアクセスの知識ベースへ

15

別添4

第1回地層処分研究開発検討委員会  
2006.7.24~25

資料第1-4-1号 1

## 高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発 平成17年度までの成果と 次期5カ年研究開発計画 全体概要

地層処分研究開発部門  
地層処分基盤研究開発ユニット

油井 三和

### 説明内容

2

## 第2次取りまとめ以降の成果

- H17年取りまとめ
- 新法人設立以降の成果(H17年度下期)

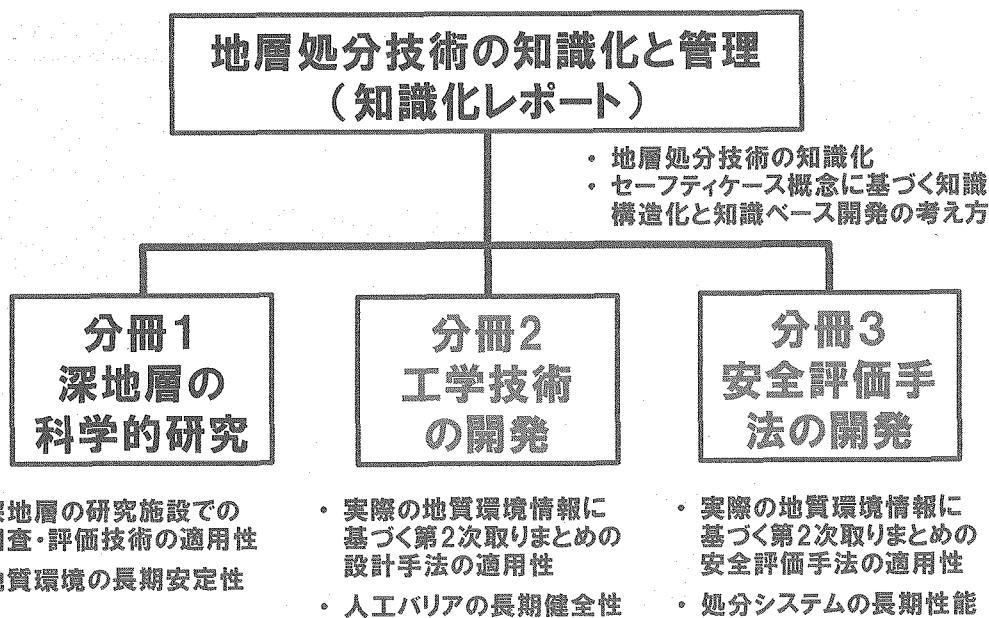
## 次期5カ年計画

- 考え方、目標、重点課題

## 平成17年取りまとめ

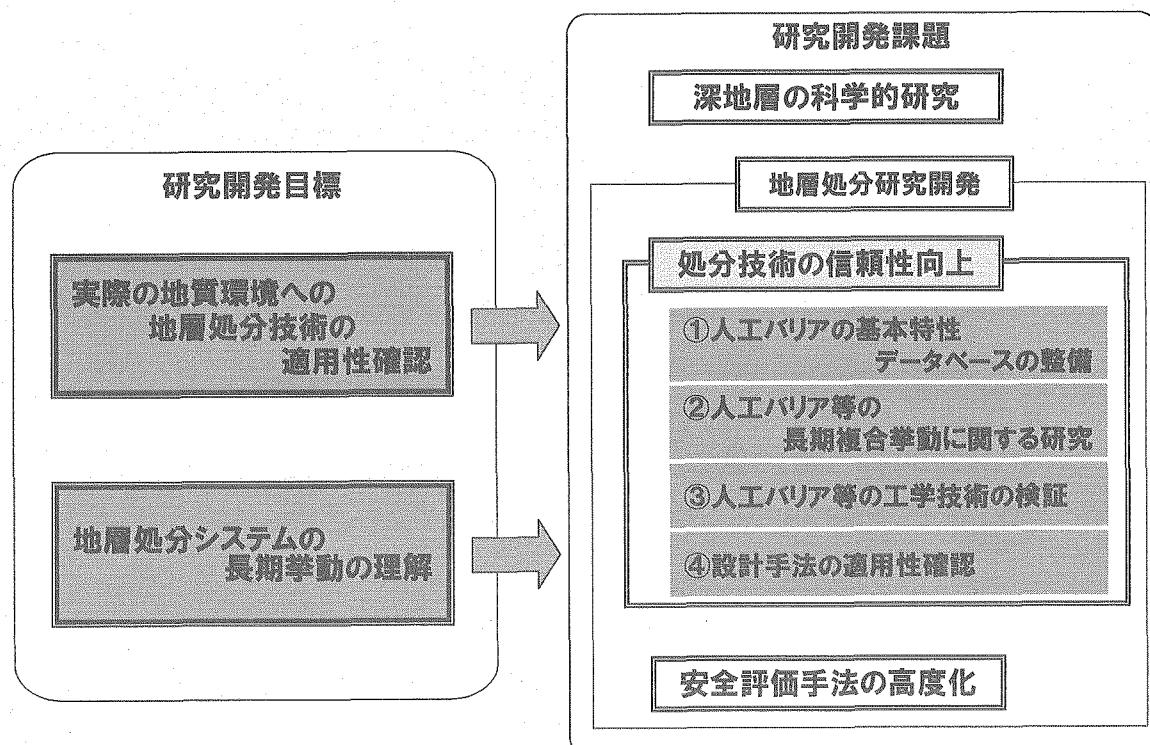
3

### 標題「高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する 知識基盤の構築 -平成17年取りまとめ-」



## 平成17年取りまとめ 工学技術の開発

4



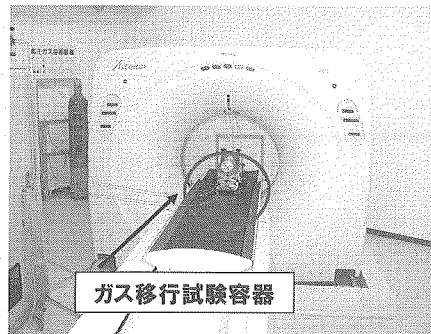
平成17年取りまとめ成果例  
—緩衝材のガス透気回復挙動—

5

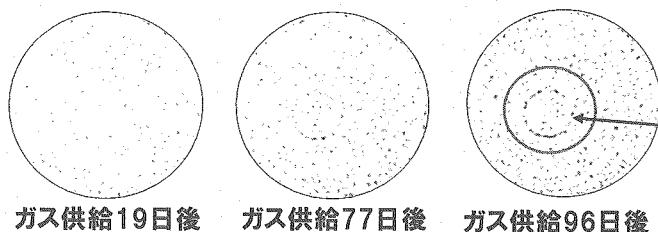
- ・第2次取りまとめ:  
➤ガス圧力の測定データに基づく評価



- ・H17取りまとめ:  
➤緩衝材中のガス移行メカニズムを把握するために、X線CT法の適用可能性を確認  
➤選択的移行経路の形成によるガス移行挙動の確認



X線CTスキャナの概観



リング状に現れた  
局部的な変化領域(選択的移行経路の形成)

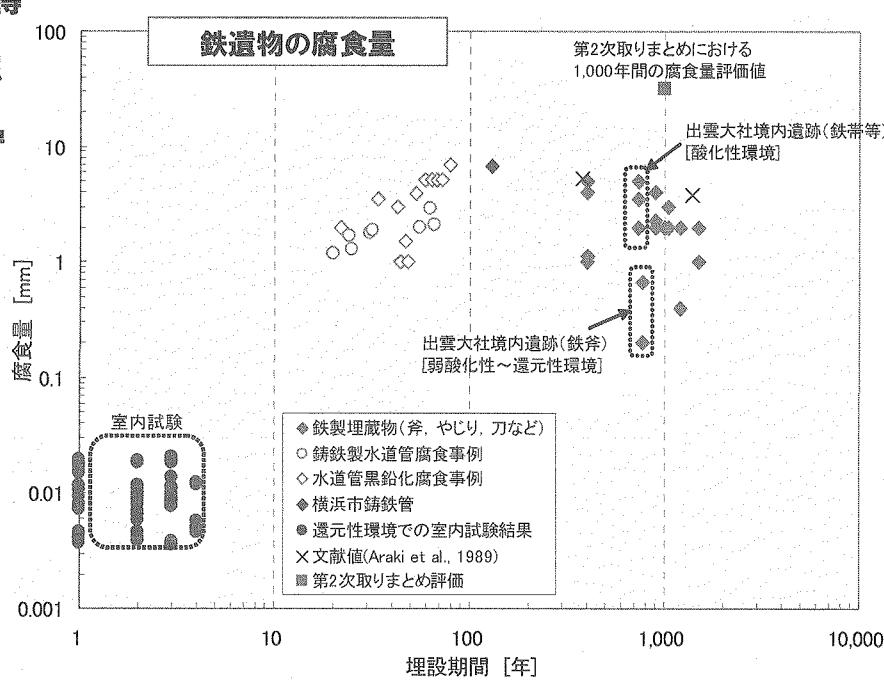
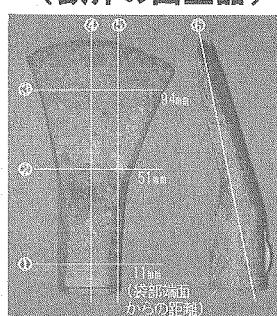
初期状態とガス供給後のCT値の差画像

平成17年取りまとめ成果例  
—ナチュラルアナログ研究—

6

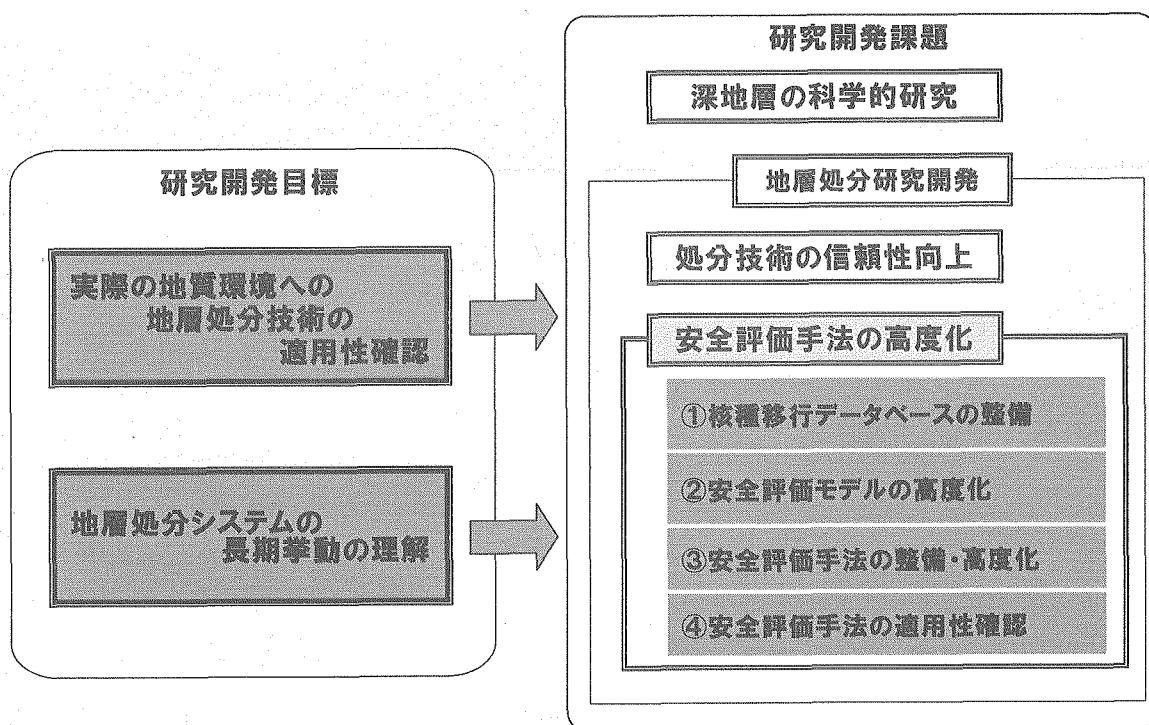
- ・考古学試料の研究により、鉄の長期腐食挙動について、第2次取りまとめ段階ではデータがほとんど存在しなかった1,000年規模の弱酸化性から還元性環境での腐食速度事例データを取得
- ・第2次取りまとめで想定された1,000年後の腐食量評価の保守性を事例的に確認

## (鉄斧の出土品)



## 平成17年取りまとめ 安全評価手法の開発

7



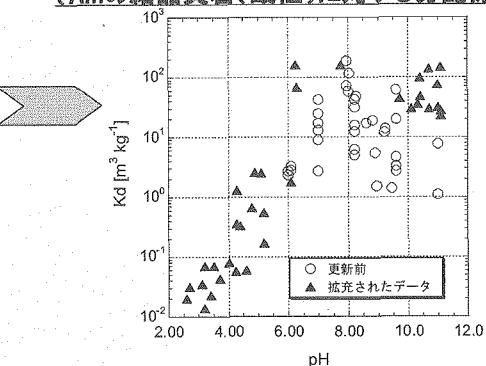
### 平成17年取りまとめ成果例 —核種移行データベースの整備—

8

#### ➤ 第2次取りまとめで不足していた データの拡充

- 海水系地下水、堆積岩系での収着についての実験データの取得(Cs, Seなど)と文献調査を行い、データを拡充
- アクチニド元素の溶存化学種、溶解度積についての実験データを拡充し、データの傾向性、系統性を把握(Np(IV), Pu(IV)など)

JNC-SDBを用いた分配係数のpH依存性の例  
(Amの結晶質岩(酸性)に対する分配係数)



データの充実により分配係数の環境条件への依存性の理解が向上

安全評価上重要なデータの拡充、  
実際の地質環境との整合性の向上

**平成17年取りまとめ成果例  
—岩盤中水理・物質移行モデルの高度化—**

9

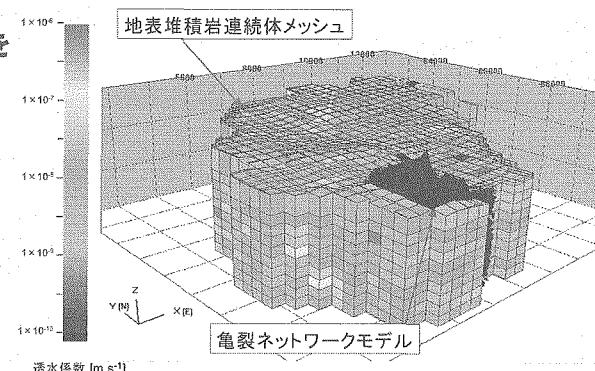
➤ 地下水流動モデルの高度化

亀裂ネットワークモデルと連続体モデルを接続した「入れ子式モデル」を開発し、H12においては不可能であった解析スケールの規模と情報の粗密への対応が可能となった



実際の地質環境への適用性の向上

**入れ子式モデルによるモデル化の例**



➤ 他分野のデータを用いた水理地質構造モデルの信頼性向上

地下水の端成分の特定とバックワードトラッキングによる端成分の混合比の予測を行うことにより、地下水水質の情報を活用して水理地質構造モデルの妥当性を評価する技術を整備

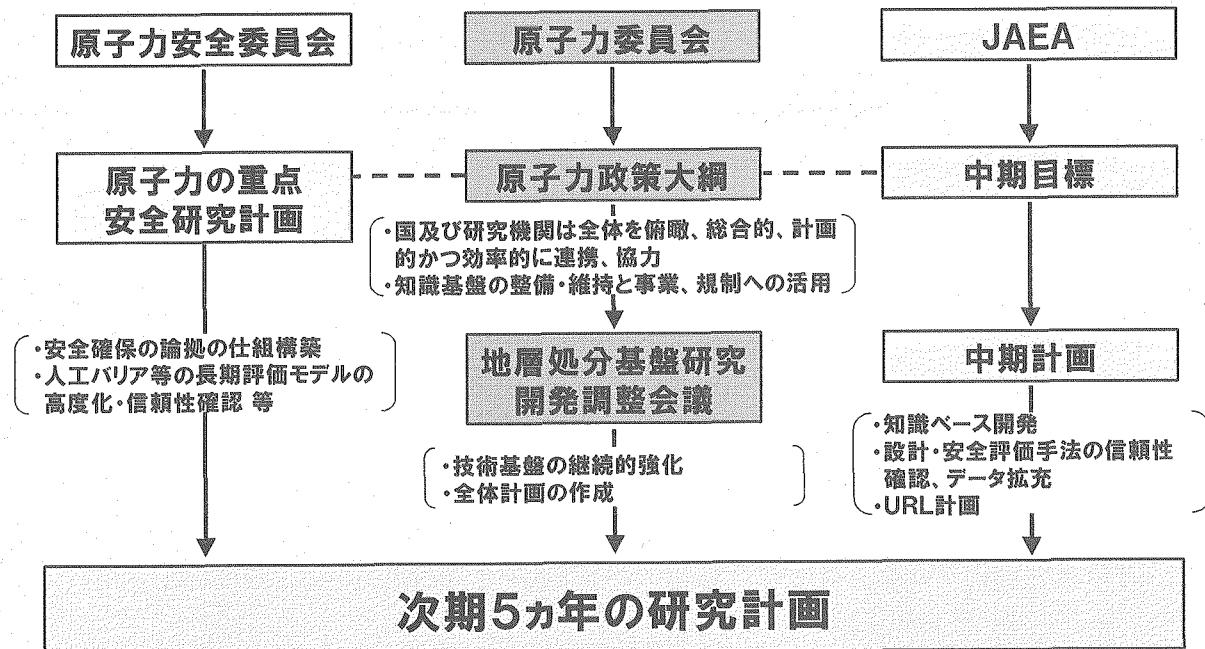


不確実性の低減

**新法人設立以降(平成17年度下期)の成果**

## 次期5カ年研究計画の位置付け

11



## 原子力機構中期計画(1)

12

- 機構は、我が国における地層処分技術に関する研究開発の中核的役割を担い、処分実施主体である原子力発電環境整備機構による処分事業と、国による安全規制の両面を支える技術を知識基盤として整備していく。
- このため、「地層処分研究開発」と「深地層の科学的研究」の二つの領域を設け、他の研究開発機関と連携して研究開発を進め、その成果を地層処分の安全確保の考え方や評価に係る様々な論拠を支える「知識ベース」として体系化する。
- 中期目標期間における研究開発成果を、国内外の専門家によるレビュー等を通じて技術的品質を確保した包括的な報告書と知識ベースとして取りまとめる。

## 原子力機構中期計画(2)

13

- 人工バリア等の長期挙動や核種の移行等に関わるモデルの高度化、データの拡充
- 評価に必要となるデータの標準的取得方法の確立
- 地質環境データ等を考慮した現実的な処分システム概念の構築手法や全体システムモデルの整備
- 掘削深度を考慮した設計、安全評価手法の深部地質環境での適用性確認
- 総合的な技術として体系化した知識ベースを開発し、適切に管理・利用出来るように、品質管理や更新の考え方を含めた知識管理システムを構築
- 知識ベースを活用した地層処分技術の理解促進のための手法開発を進める

## 平成17年度下期成果例 —緩衝材基本特性データベースのWeb公開—

14

基本特性データ集を整備  
(2004年度集約)

データベースのWeb公開  
(2006年3月)

Webアドレス  
<http://migrationdb.jaea.go.jp/bufferdb/>

透水特性	透水試験	力学特性	一軸圧縮試験
膨脹特性	飽和膨潤圧力試験		圧密試験
	不飽和膨潤圧力試験		一次元圧密試験
	熱と膨脹収縮試験		非圧密非排水三軸試験
	不飽和膨脹収縮試験		圧密非排水三軸試験
縮間め特性	動的綿回数試験		圧密非排水三軸クリープ試験
	静的綿回数試験		動的三輪試験
熱特性	熱物性測定(熱伝導率・熱伝導率)		強性波速度測定
乾燥吸収特性	乾燥吸収試験		液状化試験

データ検索機能

グラフ作成機能

## 平成17年度下期成果例 －低アルカリ性セメント施工試験－

15

### ●目的

幌延での低アルカリ性セメントを用いた原位置施工試験に先立ち、吹付けコンクリートの施工性に関する検討を実施

### ●試験概要

幌延深地層研究施設における支保工の設計基準強度(28日材齢で $36\text{N/mm}^2$ )を満足するコンクリート配合の検討及び模擬トンネル構造物に対する吹付け施工試験の実施



写真1 模擬トンネルを用いた吹付け試験の様子

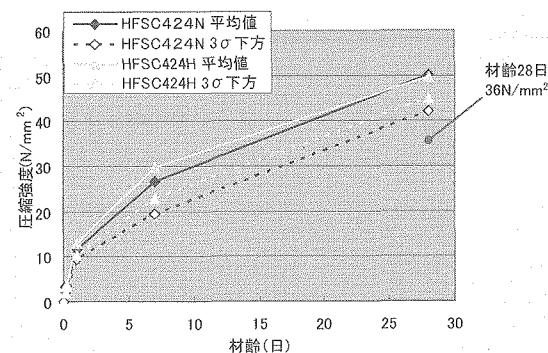


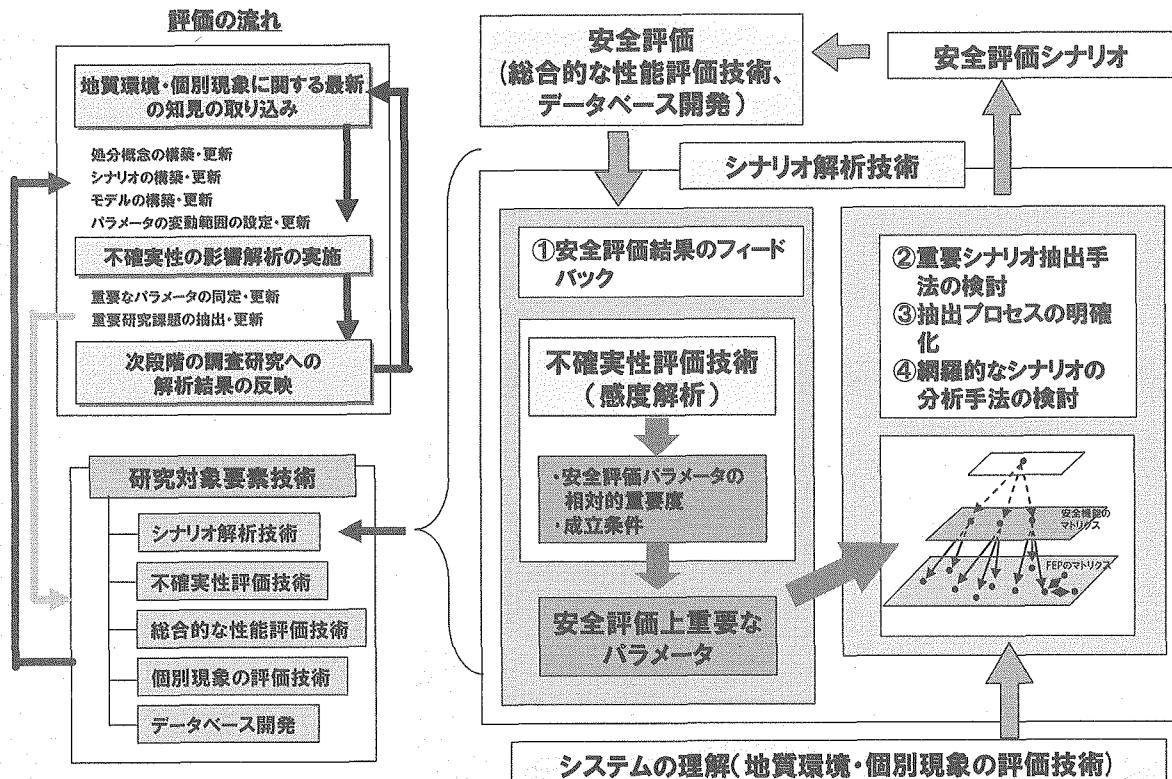
表1 吹付け試験を行ったコンクリートの配合

セメント種類	スランプ(cm)	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )							急結剤	
				W	OPC	HPC	SF	FA	S	G		
HFSC424N	18±2	40	60	200	200	-	100	200	950	645	C×1.1%	HFSC×10%
HFSC424H	45	45	60	203	-	180	90	180	975	663	C×1.2%	HFSC×10%

## 平成17年度下期成果例

### －安全評価シナリオの網羅性確保の手法開発－

16



## 地層処分研究開発の次期5カ年計画

### 次期5カ年計画における議論の視点

18

#### ●反映先と位置づけ

- 事業：精密調査地区選定と精密調査
- 規制：安全審査基本指針等の策定
- “国の基盤的研究開発”とは何かを認識

#### ●目標

- 地上からの調査に関わる技術基盤の確立
- 実際の地質環境への適用可能な評価手法の整備と工学的実現性の提示
- 知識基盤(ベース)の構築

#### ●連携、体系化

- 他機関との共同研究等による研究開発の積極的な分担・協力
- TRU廃棄物の併置処分や共通課題に対する合理的取り組み

## 国が行う基盤的研究開発とは何か？

19

- 事業や規制に先行して技術基盤を継続的に強化
  - 事業: 精密調査地区選定と精密調査
    - ➡ 概要調査地区選定と概要調査も視野
  - 規制: 安全審査基本指針等
- 客観性をもって技術の信頼性・実現性を提示
  - 現象理解を通じた設計や安全評価手法等の信頼性向上
  - 要素技術や個別モデルの高度化
  - 新技術導入による信頼性向上
  - 幅広い地質環境に対応可能なデータベース、技術オプション、設計・評価手法の開発
- 国民の理解と事業や規制の円滑な推進
  - 国民の理解: 最新の知見を取り込んだ設計・安全評価手法の公開
  - 事業や規制への反映: 最新の知見を取り込んだ設計・安全評価手法等に関する知識基盤技術を両者の要求に応えることができるよう体系的に整理・管理

## 事業(NUMO)と規制のニーズ

20

- NUMOのニーズ(幅広い地質環境への対応と柔軟性)
  - 客観性のある工学技術や安全評価に関する基盤情報の体系的提示
    - ➡ 知識ベースの個別要素開発と体系化
  - 地下研究施設での技術の適用性確認
  - 長期的な視点に立った工学技術開発(サイティングに対する柔軟性)
    - ➡ 幅広い地質環境や国内外の最新の動向を踏まえた技術オプション等への取組み
- 規制機関のニーズ(想定)
  - 工学技術や安全評価に関する評価基盤(モデル、データベース等)の信頼性・客観性の向上
  - 地下研究施設を活用した工学技術に関する規制研究

## 工学技術に関する全体目標

- 実際の地質環境への適用を考慮した柔軟性のある工学技術の体系化
  - 設計・建設技術の実際の地質環境への適用性確認と操業・閉鎖技術の整備
  - 実際の地質環境への適用可能な長期健全性評価モデルの整備
- 
- 知識ベースの個別要素 (e.g. 設計/施工方法、モデル、データベース、測定手法・設定手法) の構築・公開・更新
  - 地下研究施設における適用性確認
  - 幅広い地質環境や国内外の最新動向を踏まえた処分概念の高度化や柔軟性の向上

## 工学技術に関する課題構造

- |                  |   |
|------------------|---|
| (1) 処分場の総合的な工学技術 | ① URLにおける適用性検討<br>② 工学技術オプション   |
| (2) 処分場の設計・施工技術  | ① 人工バリア<br>(a) オーバーパック (b) 緩衝材<br>② 支保・グラウト・シーリング<br>(a) シーリング (b) 支保(低アルカリ性セメント) (c) グラウト<br>③ 建設・操業・閉鎖等の工学技術<br>(a) 建設技術 (b) 操業技術 (c) 閉鎖技術        |
| (3) 長期健全性評価技術    | ① 緩衝材<br>(a) 長期力学的変形挙動 (b) 長期変質挙動 (c) 流出・侵入挙動<br>② セメント・コンクリート<br>③ 岩盤<br>(a) 長期力学的変形挙動 (b) 長期変質挙動<br>④ 熱・水・応力・化学連成挙動<br>⑤ ガス移行挙動<br>⑥ 人工バリアせん断応答挙動 |

## 工学技術における次期5ヵ年の重要課題

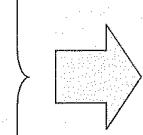
23

- 処分場の長期性能に有意な影響を与えない設計・建設技術(掘削技術, グラウト/支保技術, 情報化施工, 空洞安定性評価技術など)について, URLでの実績や取得データを活用し体系的に整備
- サイト条件の様々な特徴に適した処分概念の構築に資するよう, 代替の処分概念を含む工学技術オプションの成立性\*に関する共通的な技術基盤の整備

\*セメント影響, 緩衝材温度制限, 品質管理...

## 性能評価に関する全体目標

24

- |  |   |   |
|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>● 実際の地質環境へ適用可能な安全評価手法の整備</li> <li>● 実際の地質環境へ適用可能な個別モデルの整備</li> <li>● データベースの拡充, 性能評価用パラメータの設定手法の整備</li> </ul> |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 知識ベースの個別要素(e.g. 安全評価手法, モデル, データベース, 測定手法・設定手法)の構築・公開・更新</li> <li>● 地下研究施設における適用性確認</li> </ul> |
|--|---|---|

## 性能評価に関する課題構造

25

### (1) 評価手法

- ①シナリオ解析技術
- ②不確実性評価技術
- ③総合的な性能評価技術

### (2) モデル化技術

- ①人工バリア中の核種移行
  - (a)地下水化学／間隙水化学
  - (b)ガラス固化体からの核種溶出
  - (c)緩衝材中の核種移行
- ②天然バリア中の核種移行
  - (a)岩盤中の核種移行
  - (b)コロイド・有機物・微生物
- ③生物圏での核種移行／被ばく

### (3) データベース開発

- ①放射性元素の熱力学データベースの整備
- ②収着・拡散データベースの整備

## 性能評価の次期5カ年の重点課題

26

### ●評価手法

- シナリオ解析、不確実性評価の技術の体系化
- 総合的な性能評価のための手法の統合
- URLで得られる地質環境情報を用いた適用性確認

### ●モデル化技術

- ニアフィールド現象に関するより詳細な理解とモデル化
- 現象モデルと性能評価モデルの合理的階層化
- URLで得られる地質環境情報を用いた適用性確認

### ●データベース開発

- データベースの信頼性向上のための継続的なデータ取得
- データベースの管理(更新・公開)
- 性能評価で用いるパラメータ設定技術の体系化

## 連携体系化

27

### ●研究機関間の連携

- エネ庁事業やJNFL等との連携
- 長期的な視点に立った工学技術開発(サイティングに対する柔軟性)  
幅広い地質環境や国内外の最新の動向を踏まえた技術オプション等への取組み

### ●分野間の連携

- 地質環境－工学技術－安全評価－TRU廃棄物処分の4分野の連携

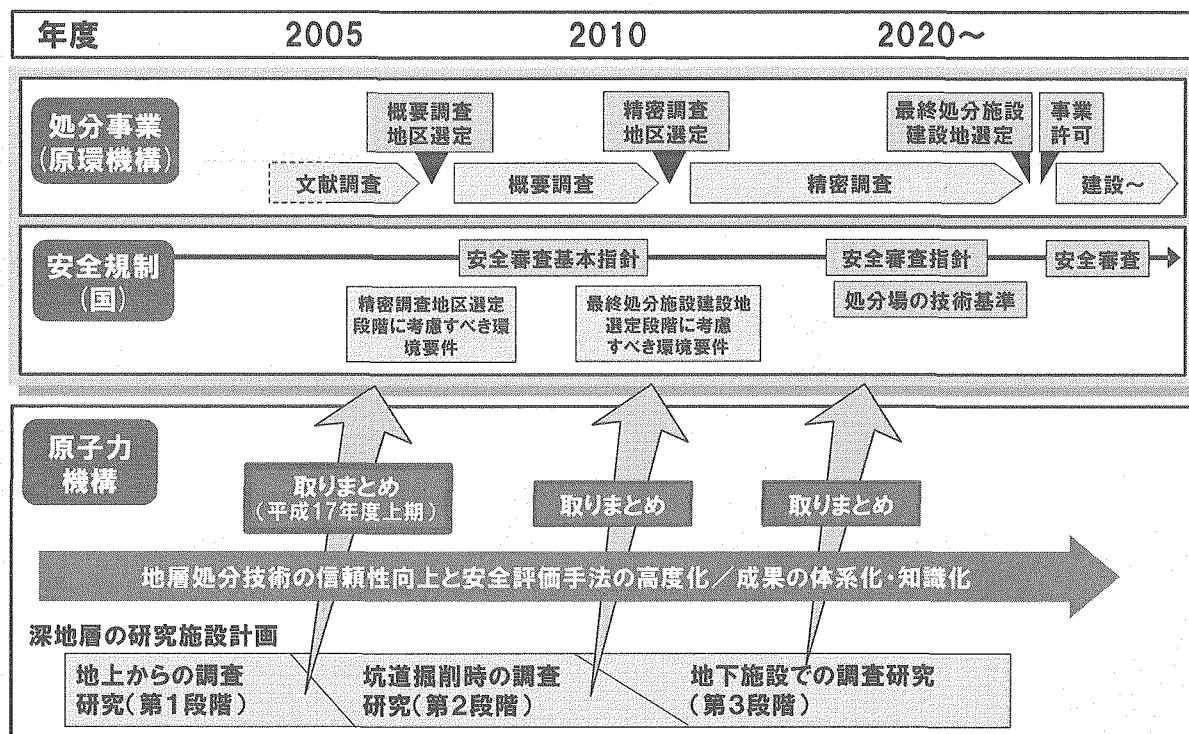
### ●体系化

最新の知見を踏まえた設計・評価、工学技術に関する知識ベースの個別要素(評価手法、データベース等)をNUMO、規制機関の要求に(直ちに)応えることができるよう体系的に整理・管理する。

## 補足資料

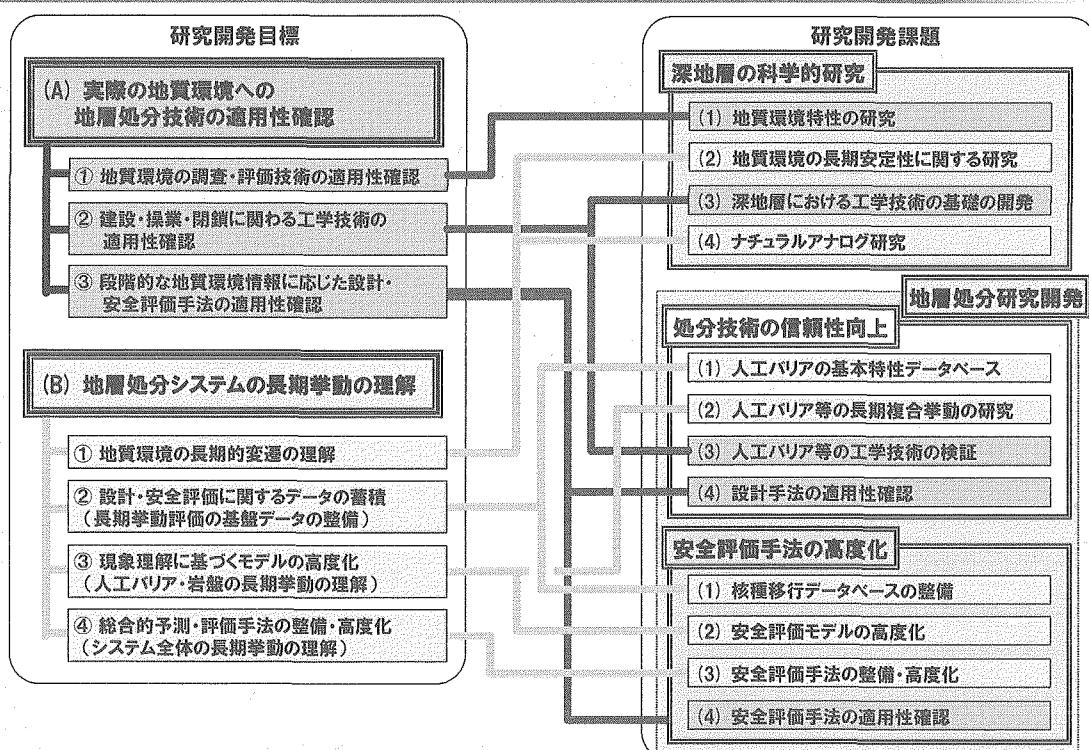
## 段階的な研究開発と成果の反映

29



## 第2次取りまとめ以降の研究開発計画:「全体計画」

30



「高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発の全体計画」(サイクル機構, 2001)

## 第2次取りまとめ以降の 工学技術開発の進め方

31

- 海水系地下水条件などにおける人工バリア基本特性データの拡充とデータベース整備
- 経験則からメカニズムに基づくモデル開発への移行、数値実験手法の開発
- 実験や解析結果の可視化による信頼性向上
- 処分環境に類似したナチュラルアナログデータの拡充
- 深地層の研究施設などと整合した工学技術や設計手法の整備

## 平成17年取りまとめ成果例 —オーバーパックの基本特性—

32

### 炭素鋼オーバーパックの腐食挙動

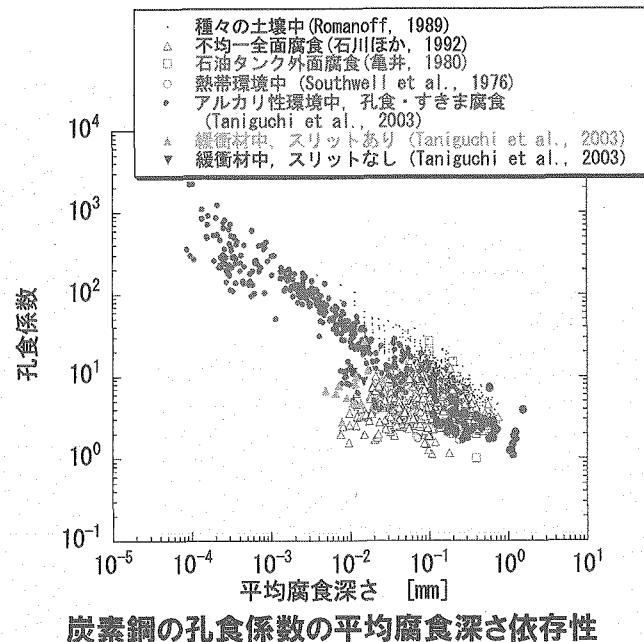
#### ・第2次取りまとめ：

セメントによる影響、マグネタイトによる腐食加速など、限られたデータに基づく評価



#### ・H17取りまとめ：

数年間の長期データを含めた実験データの拡充により、1,000年間の腐食寿命評価の信頼性が向上



炭素鋼の孔食係数の平均腐食深さ依存性

高pH環境において炭素鋼が不動態化して局部腐食を生じたとしても顕著な腐食の局在化は生じない。

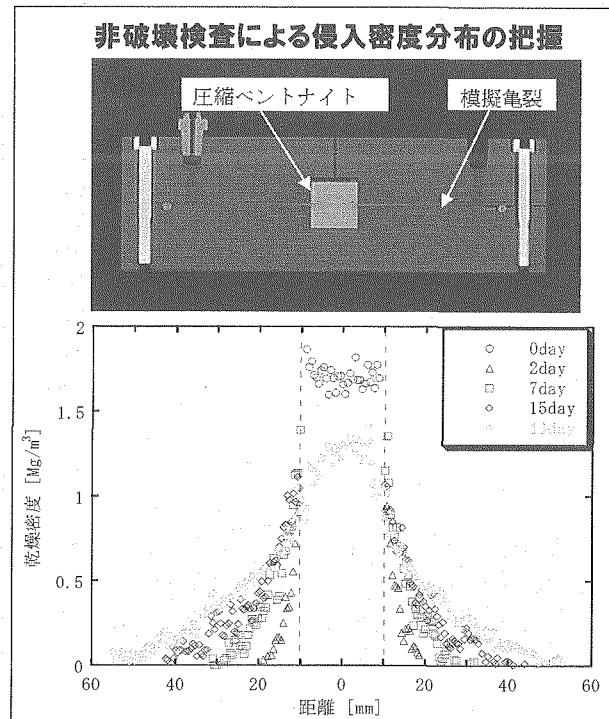
平成17年取りまとめ成果例  
—緩衝材の流出・侵入挙動—

33

- ・第2次取りまとめ:  
実験データに基づく経験則による評価



- ・H17取りまとめ:
  - 第2次取りまとめでは、得られていなかった緩衝材の亀裂侵入密度のデータをX線CTを用いて取得
  - 拡散モデルによる適用性確認
  - 海水系地下水では降水系地下水に比べ緩衝材侵入は、顕著でないことを確認



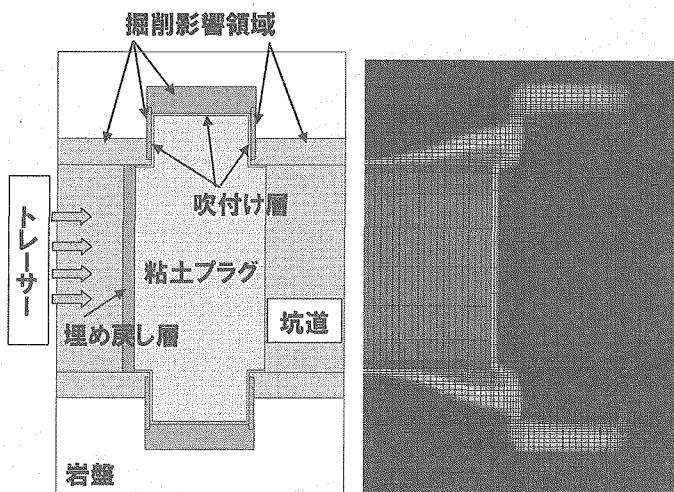
平成17年取りまとめ成果例  
—閉鎖技術—

34

- ・第2次取りまとめ:  
➢ 結晶質岩系岩盤での粘土プラグの施工の実証および降水系地下水条件下での埋め戻し材仕様の提示



- ・H17取りまとめ:
  - データの拡充によるシーリングに関する評価手法の体系化
  - 結晶質岩系岩盤におけるプラグ性能の提示
  - 海水系地下水条件における埋め戻し材の適用性に関する基本データの拡充
  - シナリオ分析による閉鎖性能評価のための手法開発



平成17年取りまとめ成果例  
—低アルカリ性コンクリートの開発—

35

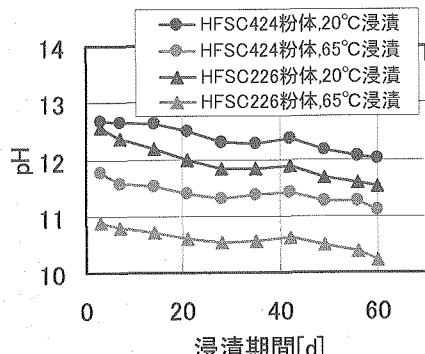
・第2次取りまとめ：

- 普通セメントによる地下水のpH上昇を抑制するため低アルカリ性セメント(HFSC)の使用を推奨

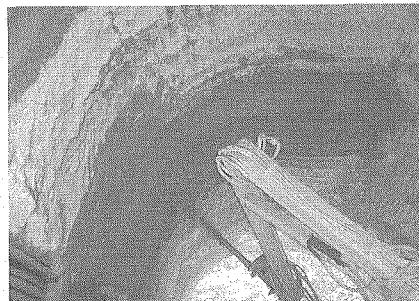


・H17取りまとめ：

- HFSCの流動性・強度特性など、施工上問題ないことを確認
- pHの低下挙動のデータ取得・モデル開発とpH目標達成についての見通し



HFSCを用いたペースト粉体の  
浸漬試験によるpH変化



吹付けコンクリートの模擬施工状況

工学技術の開発 —平成17年取りまとめと今後の課題—

36

■ 基礎データの拡充と設計評価手法の信頼性向上

- 人工バリア等の基本特性や長期挙動に関するデータの拡充とデータベース整備
- 個別現象や複合挙動に関するモデルの更新
- 現象の可視化によるメカニズム理解
- 1,000年規模の考古学的鉄製品に関するナチュラルアナログデータの取得
- 閉鎖技術の検証と閉鎖性能の評価
- 実際の地質環境における試設計と地上からの調査段階における留意点の整理



海水系等を中心とした  
現象理解の向上



現象理解の向上と評価  
モデルの信頼性向上



閉鎖等の個別要素技術  
の強化



設計手法の適用性確認

■ 今後の課題

- 最新の知見に基づく設計手法やデータベースの恒常的な更新、ならびに知識ベースの構築
- 深地層の研究施設設計画と連携した設計手法の適用性確認

## 第2次取りまとめ以降の安全評価手法の開発の進め方

37

- サイクル機構の役割に鑑み、網羅性、全体評価のための統合よりも個別重要課題の技術基盤の強化を重視
- 全体評価を実施しないため、以下の視点を安全評価手法の開発の指標として考慮
  - ・安全評価上重要なデータの拡充
  - ・現象理解、定量的モデルの現実性向上
  - ・合理的評価技術の整備
  - ・実際の地質環境や設計条件等との整合性、適用性の向上
  - ・不確実性の取り扱いの向上
  - ・追跡性、透明性、わかりやすさの向上

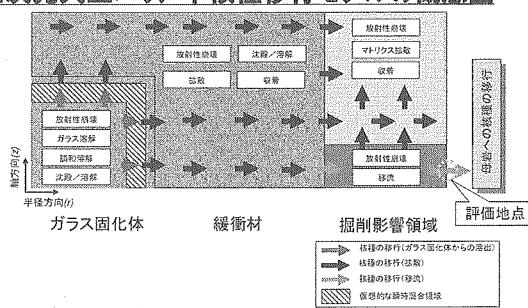
## 平成17年取りまとめ成果例

### －不確実性評価技術の高度化－

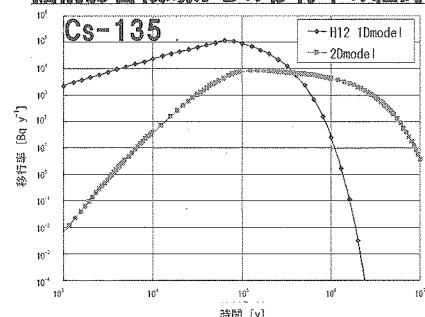
38

- 第2次取りまとめで保守的に簡略化あるいは無視したプロセス等を取り込んだ代替モデルの開発と影響評価(掘削影響領域での核種移行遅延、ガラスの割れの影響)を実施

2次元人工バリア中核種移行モデルの概念図



掘削影響領域からの移行率の経時変化



⇒ 不確実性の取り扱い技術の向上、合理的な評価技術の整備

- データ不確実性を分布として定量化するため、実際の地質環境の特徴、利用可能な情報および専門家の知見・判断を基に設定する体系的手順(誘出法)を整備
- データ不確実性の組合せが評価結果へ与える影響を網羅的かつ効率的に評価するためのモンテカルロ法を用いた影響評価技術を整備
- 目的に応じて重要なパラメータを分析するために、重回帰分析、クラスタ分析、決定木分析などを組合せたり使い分ける技術を整備

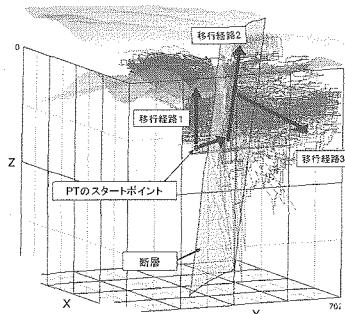
⇒ 不確実性の取り扱い技術の向上、合理的な評価技術の整備

## 平成17年取りまとめ成果例 －安全評価手法の適用性確認－

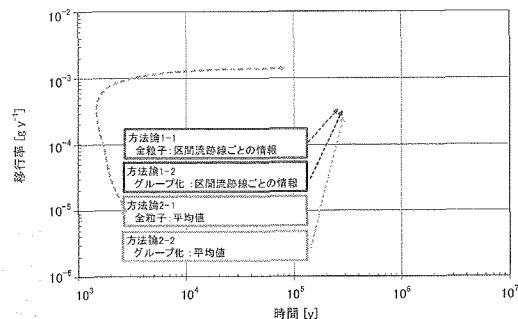
39

- 地質環境の調査から物質移行解析に至る一連の作業の枠組みを整備するとともに、物質移行解析における移行経路情報の処理の複数のオプションを構築

### 物質移行解析の対象とする移行経路の例



### 物質移行解析結果の例(複数の方法の比較)



H12では実施しなかった、実際の地質環境を対象とした地下水流动解析と物質移行解析を接続する手順を整備

→ 実際の地質環境への適用性の向上

- 安全評価に係る個別技術を、深地層の研究施設計画や海外の地下研究施設での調査試験データへ適用し、実際の地質環境に適用する際に重要と考えられる課題や留意点を抽出

→ 実際の地質環境への適用性の向上

## 安全評価手法の開発－平成17年取りまとめと今後の課題－

40

### ■ 基礎データの拡充と安全評価手法の信頼性向上

- 核種移行データベースの整備：溶解度、分配係数（海水系、堆積岩）などのデータの拡充、データベース公開
- 安全評価モデルの高度化：亀裂中の水理・物質移動、コロイド、有機物などの現象理解の進展と実際の地質環境への適用性の向上
- 安全評価手法の整備・高度化：シナリオ解析、天然現象影響評価、不確実性評価技術の高度化、整備
- 安全評価手法の適用性確認：地下水流动解析と物質移行解析技術の実際の地質環境への適用性向上

### ■ 今後の課題

- エンタリー、クオリティ、深地層の研究施設計画を活用した技術基盤の継続的な強化と知見の拡充を以下のようにを行い、知識ベースとして知見の蓄積を図る
- 核種移行データベースの整備：データベースの更新の継続、パラメータ設定技術としての体系化
  - 安全評価モデルの高度化：重要な個別現象モデルの高度化
  - 安全評価手法の整備・高度化：安全評価技術としての体系化
  - 安全評価手法の適用性確認：地質環境の調査等の段階に応じた手法・技術の体系化

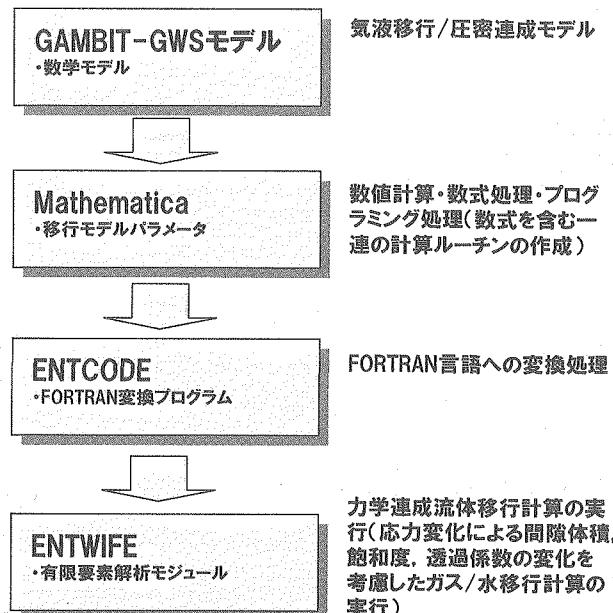
## 平成17年度下期成果例

## —ガス移行-応力連成プロトタイプモデルの構築—

41

>これまで国際共同研究(GAMBIT Club)において開発を進めてきた応力連成ガス移行モデル(GAMBIT-GWSモデル)を動作させるための環境の整備とモジュール類の導入

>GAMBIT-GWSモデル:応力との連成は、多孔質媒体の力学的変形と媒体中の物質移行の組み合わせに対して、Biotの圧密理論を適用し定式化(Biotの式:土粒子そのものの変形や気体の剛性を考慮した飽和した土の支配方程式)



数値解析の概略フロー

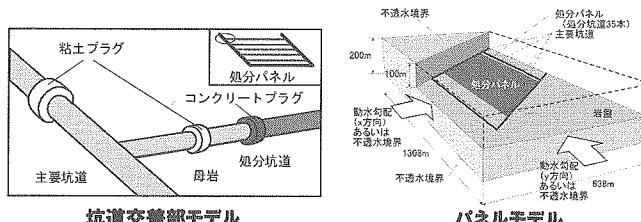
## 平成17年度下期成果例

## —閉鎖システム個別要素の性能の明確化—

42

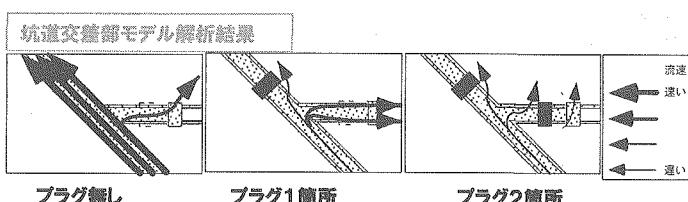
## 1. 目的

- ・処分システムに求められる閉鎖性能の考え方の提示
- ・閉鎖要素(埋め戻し材、粘土プラグなど)の設計要件の明確化



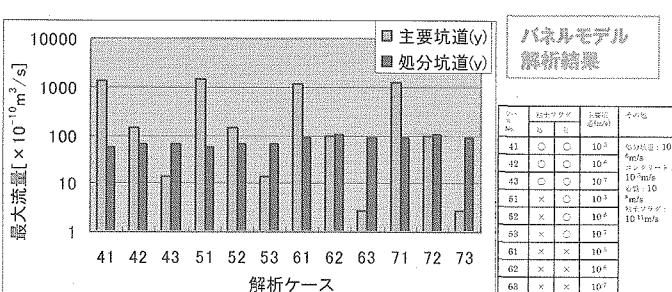
## 2. 実施内容

- ・構成要素を考慮した水理解析
- ・閉鎖要素に対する検証データ(TSX試験等)を用いた解析評価手法の構築



## 3. 結果

コンクリートプラグの透水性、圧力勾配の方向、粘土プラグの設置は、全体の地下水流动及び処分坑道の流量に大きく影響するが、埋め戻し材の透水性の影響は小さい。



## 平成17年度下期成果例

## —掘削段階における設計手法の適用性確認の計画作成—

43

○掘削により得られた地質環境情報に基づき、地表からの調査段階における地下施設の設計手法の適用性確認

○情報化施工(掘削時における岩盤変位などの計測データを支保設計へフィードバック)計画の立案および適用事例の提示

○性能評価の観点から建設技術に要求される要件(掘削影響領域【EDZ】、水みち、掘削対策工に用いる材料選定)等の整理

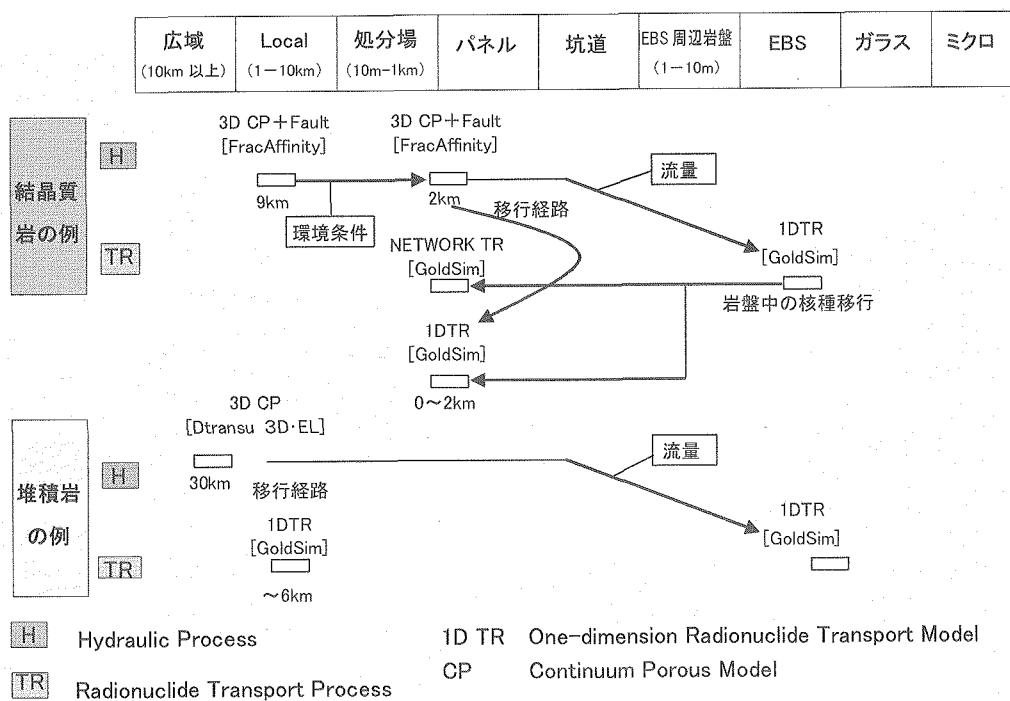
○原位置試験(THMC、オーバーパック、緩衝材等)の準備

- ・幌延での地質環境データを用いた予備解析による連成挙動の把握 等
- ・腐食・環境モニタリング手法の検討、オーバーパック候補材料の適用性検討 等
- ・原位置試験に関わる人工バリア基本特性データの取得 等

## 平成17年度下期成果例

## —スケールに応じたモデル(水理、核種移行)の連結—

44



## 工学技術に関する留意事項

45

### ● 国の政策や電力の動向を踏まえたタイムリーな基盤研究開発

- TRUの併置処分(差別化と整合性)  
(高pH, 硝酸塩等やI-129, C-14に配慮したレイアウト検討等)
- 高燃焼度化やMOX燃料対応  
(発熱影響等)

### ● NUMOの公募動向を踏まえた基盤研究開発

- 幅広い地質環境に対する柔軟性(施工性, 物流等)への対応

## 工学技術の重点課題に対する主要な連携内容(他分野)

46

### ● 地質環境調査評価技術との連携

- ・「深地層における工学技術」での実績と経験を踏まえた処分場の設計・建設技術の検討
  - グラウト(低pHセメント)の適用性検討
  - 低pHセメントを用いた吹付け施工試験

### ● 性能評価技術との連携

- ・掘削影響領域における物質移行経路の評価

### ● TRU廃棄物処分研究との連携

- ・セメント影響
  - セメント影響を考慮した緩衝材基本特性の把握と変質劣化の評価
  - T-H-M-C連成解析コードについて、コンクリート支保による人工バリアへの化学的影响の取り組み
- ・チタンの溶接・検査技術

## 安全評価の重点課題に対する主要な連携内容(他事業)

47

### ●評価手法

#### ・総合的な性能評価技術:

- 総合的な性能評価のための評価体系に関する検討<JAEA>
- 多様なスケールに応じた評価技術、処分場スケールを対象とした解析技術等  
<JAEAとANRE事業の共同研究>

### ●モデル化技術

#### ・収着現象のモデル化:

- 収着現象の性能評価における取り扱いも検討<JAEA>
- 特定の現象の現象理解や現象モデルの整備<ANRE事業>

#### ・生物圏での核種移行／被ばく:

- モデル化や評価技術の開発<JAEA>
- 生物圏での核種移行パラメータの取得<ANRE事業>

### ●データベース開発

#### ・収着データベースの整備:

- データベース事業やパラメータ設定手順・手法<JAEA>
- データベース取得<ANRE事業>

**別添5**

**H LW処分における平成17年度までの成果と  
『次期5カ年』の研究開発計画 ー工学技術についてー**  
**報告概要**

**1. 表題**

実際の地質環境への適用性を考慮した工学技術の体系化

**2. 審議事項**

工学技術の開発に対するニーズを踏まえた取り組みのアプローチ、知識ベースへの反映が適切なものであるか審議頂きたい。

**3. ニーズ**

原子力政策大綱では、機構を中心とした研究開発機関に、「深地層の研究施設等を活用して、深地層の科学的研究、地層処分技術の信頼性向上や安全評価手法の高度化等に向けた基盤的な研究開発、安全規制のための研究開発を引き続き着実に進めるべきである」ことを求めており、研究開発成果については、「海外の知見も取り入れつつ、地層処分にかかる最新の知識基盤として整備・維持され、NUMO（原子力発電環境整備機構）の最終処分事業や国の安全規制において有効に活用されることが重要」としている。

さらに、原子力安全委員会において検討されている原子力の重点安全研究計画に係わる研究課題の整理（放射性廃棄物分野）（案）（原子力安全研究専門部会放射性廃棄物安全研究分科会資料）では、人工バリア等の信頼性向上に関する研究として「人工バリアや地下施設についての長期評価モデルや設計・施工技術の高度化、信頼性確認を行い、処分場の設計に適用すべき安全基準・指針等の作成に資する。」ことを求めている。

これらを踏まえ、工学技術の開発においては、実際の地質環境への適用性確認を念頭においた設計・建設技術や長期健全性評価モデルの体系化とその成果の知識ベースへの反映が求められている。

**4. 対象研究項目とアプローチ****1) 対象研究項目**

高レベル放射性廃棄物地層処分に関する国の中盤的研究開発を対象に、その実施機関であるサイクル機構等の関係機関による共同作業や大学等有識者との意見交換を通じて、体系的かつ中長期的な研究開発計画（重要課題、研究開発の方向性など）として、平成16年度に研究開発全体マップ（以下、「全体マップ」）の整備が実施された。これを踏まえ、平成17年7月には、国の中盤的研究開発を実施する関係研究機関によって、「地層処分基盤研究開発調整会議」が設置され、研究開発全体計画の策定や成果の体系化を推進するとともに、国や委員会等へ積極的に情報を発信して評価を受けることを通じ、国の中盤的研究開発の計画的かつ効率的な推進を図るために仕組みが構築され、「全体マップ」の見直し作業を進めている。

本計画では、「全体マップ」を参考として対象研究項目を以下のように設定する。

- ・総合的な工学技術
  - URLにおける適用性検討
  - 工学技術オプション
- ・設計・施工技術
  - 人工バリア（オーバーパック、緩衝材）
  - 支保・グラウト・シーリング（シーリング、支保（低アルカリ性セメント）、グラウト）
- ・長期健全性評価技術
  - 緩衝材（長期力学的変形挙動、長期変質挙動、流出・侵入挙動）
  - セメント・コンクリート
  - 岩盤（長期力学的変形挙動、長期変質挙動）
  - 热-水-応力-化学連成挙動
  - ガス移行挙動
  - 人工バリアせん断応答挙動

## 2) アプローチ

当面の5カ年においては、処分事業における精密調査地区選定や精密調査、あるいは安全規制における安全審査基本指針の策定に資するため、第2次取りまとめと平成17年取りまとめまでに開発した工学技術の開発に関わる設計、施工技術、モデルやデータベースについて深地層の研究施設計画の地質環境に適用し、改良や信頼性向上を図るとともに、必要に応じ測定手法等に関して標準化を行う。以上を通じて、処分事業と規制の基盤となる工学技術に関して、以下の点に留意して取りまとめる。

- 設計・建設技術の実際の地質環境への適用性確認
- 実際の地質環境へ適用可能な長期健全性評価モデルの整備
- 実際の地質環境への適用性を考慮した工学技術の体系化

## 5. 各研究課題ごとの報告の構成

各研究課題ごとに以下の構成で報告する。

- 研究目的と第2次取りまとめ、H17レポート、H17年度下期における研究成果
- 当面5カ年の計画（平成22年度頃まで）
- 知識ベースへの反映

## 6. 知識ベースへの反映

工学技術の開発は、前述のように主に深地層の研究施設計画における実際の地質環境における適用性確認を念頭に研究開発を進めるが、一方で幅広い地質環境を視野に入れた手法開発の体系化も必要である。

このような体系化されるべき工学技術の技術基盤としては、設計、施工方法、モデル、データベース、測定手法、設定手法、品質管理手法等があり、これらは最新の科学的知見や技術動向を反映して知識ベースとして随時更新する必要ある。これら最新の技術基盤は常に事業、規制側に提供できるように事前に公開が必要であり、必要に応じ土木学会等とも協議し標準化に向けた活動も行う。

本報告では、上記各研究項目から提供される5年後の下記のような技術基盤例を紹介する。

- 緩衝材の基本特性データベースの公開
- 緩衝材の基本特性測定手法の標準化
- 長期健全性評価に関する各計算コードと付随するデータベースの公開
- 空洞安定性の基準（案）の更新
- グラウト材料選定の考え方とグラウト技術の提示
- 設計、施工に関する安全基準の考え方
- 品質管理の考え方
- 閉鎖性能評価手法の提示 など

以上

## 実際の地質環境への適用性を考慮した工学技術の体系化

地層処分研究開発部門  
地層処分基盤研究開発ユニット  
ニアフィールド研究グループ  
藤田朝雄、棚井憲治、谷口直樹

### 審議事項と全体マップ

2/38

#### ◆審議事項

- ニーズを踏まえたアプローチ、成果と今後の計画、知識ベースへの反映が適切か

#### ◆H16全体マップ

- 国の基盤的研究開発を対象に、体系的かつ中長期的な研究開発計画として整備（現在、「地層処分基盤研究開発調整会議」によって見直し中）

## ニーズとアプローチ

3/38

### ◆ニーズ

#### ▶ 原子力政策大綱

- ・ 地層処分技術の信頼性向上や安全評価手法の高度化等に向けた基盤的な研究開発、安全規制のための研究開発の着実な推進
- ・ 成果の知識基盤としての整備

#### ▶ 重点安全研究計画(原子力安全研究専門部会 放射性廃棄物安全研究分科会)

- ・ 人工バリアや地下施設についての長期評価モデルや設計・施工技術の高度化、信頼性確認
- ・ 安全基準・指針等の作成に資する検討

⇒ 実際の地質環境への適用性確認を念頭においていた設計・建設技術や長期健全性評価モデルの体系化とその成果の知識ベースへの反映

### ◆アプローチ

#### ▶ 事業と規制の基盤となる工学技術として総合的に整備

- ・ 設計・建設技術の実際の地質環境への適用性確認
- ・ 実際の地質環境へ適用可能な長期健全性評価モデルの整備
- ・ 実際の地質環境への適用性を考慮した工学技術の体系化

#### ▶ 他分野との連携、関係機関との協力

## 研究項目

4/38

### H17までの課題構造

1. 人工バリアの基本特性データベース
  - ①オーバーパックの基本特性
  - ②緩衝材の基本特性
  - ③人工バリア等の性能保証に関する基盤情報整備
2. 人工バリア等の長期複合挙動に関する研究
  - ①人工バリア等の変形・変質等の長期挙動に関する研究
    - ・緩衝材の力学的変形挙動
    - ・岩盤の力学変形挙動
    - ・緩衝材の流出・侵入挙動
    - ・人工バリアの変質・劣化挙動
    - ②熱-水-応力-化学連成挙動
    - ③人工バリア性能の維持限界条件
      - ・緩衝材のガス透気回復挙動
      - ・人工バリアせん断応答挙動
    - ④ナチュラルアナログ研究
3. 人工バリア等の工学技術の検証
  - ①閉鎖技術
  - ②低アルカリ性コンクリートの開発
4. 設計手法の適用性確認

### H18以降の課題構造

1. 処分場の総合的な工学技術
  - ①URLにおける適用性検討
  - ②工学技術オプション
2. 処分場の設計・施工技術
  - ①人工バリア
    - ・オーバーパック(ナチュラルアナログ含む)
    - ・緩衝材
  - ②支保・グラウト・シーリング
    - ・シーリング
    - ・支保(低アルカリ性セメント)
    - ・グラウト
  - ③建設・操業・閉鎖等の工学技術
    - ・建設技術
    - ・操業技術
    - ・閉鎖技術
    - ・品質管理
3. 長期健全性評価技術
  - ①緩衝材の長期力学的変形挙動
  - ②緩衝材の長期変質挙動
  - ③緩衝材の流出・侵入挙動
  - ④岩盤の長期力学変形挙動/長期変質挙動
  - ⑤熱-水-応力-化学連成挙動
  - ⑥ガス移行挙動
  - ⑦人工バリアせん断応答挙動

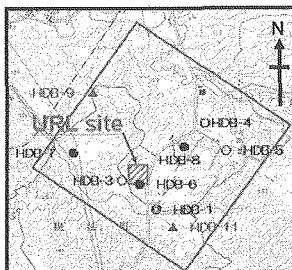
## 1. 処分場の総合的な工学技術

### ① URLにおける適用性検討

5/38

#### ▶ H12までの成果

幅広い地質環境を一般化して扱う人工バリアの設計の考え方を例示



幌延における地上からの調査によって得られたデータをもとに力学、水理、熱及び地下水化学特性をそれぞれ設定

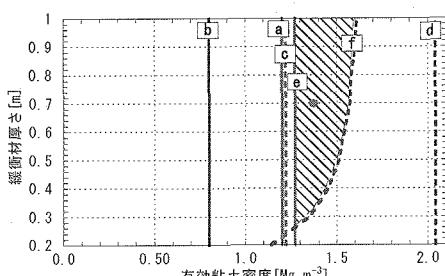
#### 地下水化学特性の設定例

##### 幌延を一例とした検討

Na, K, Ca, Mg, Clについては、水質分析結果より、pH, Eh, C, Fe, Sについては、一般的な深部地下水に関する地球化学的知見とその不確実性をもとに地球化学モデルにより推定

#### ▶ H17取りまとめ

設計手法の適用性確認を通じて、地上からの調査段階における留意点を整理



緩衝材設計例(ブロック方式)

#### 地上からの調査段階における留意点の整理

##### ① 処分孔の安定性の適切な評価

- ・建設・操業中の岩盤クリープ挙動の考慮
- ② 地下水化学データの取得
  - ・大気との接触が避けられない場合、地下水水質の深度依存性に関する知見、熱力学的解析結果及び地層中に認められる鉱物に関する情報を総合的に考慮

##### ③ 埋め戻し材設計

- ・ペントナイト配合率が低い埋め戻し材の海水条件での自己シール性に係るデータの拡充

##### ④ 緩衝材設計

- ・設計要件の一つである自己シール性の範囲を設定するための判断基準の整備

## 1. 処分場の総合的な工学技術

### ① URLにおける適用性検討

6/38

#### ▶ 今後5ヵ年の計画

##### 【～H22】

- ◆ 地質環境条件
  - ・幌延等の具体的な地質環境条件(坑道掘削段階により得られる情報)
- ◆ 設計手法・考え方
  - ・処分坑道横置き方式を一例とした全体フロー更新
  - ・H17設計の見直し
  - ・設計手法の体系化

##### 【H17】

##### ◆ 地質環境条件

- ・幌延等の具体的な地質環境条件(地上からの調査段階により得られた情報)

##### ◆ 設計手法・考え方

- ・処分孔縦置き方式を一例とした全体フローの更新
- ・人工バリア・埋め戻し材設計フローの構築
- ・試設計の実施と留意点の整理

##### 【知識ベースへの反映】

- 坑道掘削段階において得られる情報を基にした、処分場設計の考え方や設計手法の提供
- 坑道掘削段階において適用した施工方法や対策工法の適用事例及び留意点の提供
- 地質環境に応じた処分場設計要件

##### 【H12】

##### ◆ 地質環境条件

- ・幅広い地質環境を一般化(硬岩系/軟岩系)

##### ◆ 設計手法・考え方

- ・処分場全体設計の基本的な考え方の例示
- ・人工バリア設計の考え方の例示

## 1. 処分場の総合的な工学技術 ②工学技術オプション

7/38

### ➤今後5ヵ年の計画

- 第2次取りまとめ概念の拡張あるいは全く異なる概念オプションの成立性や実現性において鍵となる要素技術(人工バリアや処分場の設計・製作/施工、長期健全性評価、処分場の操業・閉鎖、廃棄体の回収、モニタリングなど)の特定
- 国内外の技術開発の動向を踏まえた検討を行い、緩衝材の温度制限、セメント、放射線などの影響評価や処分場の長期性能に関わる施工・操業・閉鎖技術の留意点など、概念オプションの成立性及び実現性に共通的な課題について、それらの技術基盤を提示

### 【知識ベースへの反映】

概念オプションの成立性や実現性に係る技術基盤情報の提供

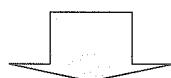
## 2. 処分場の設計・施工技術

8/38

### ①人工バリア [オーバーパック] - 炭素鋼オーバーパックの腐食挙動

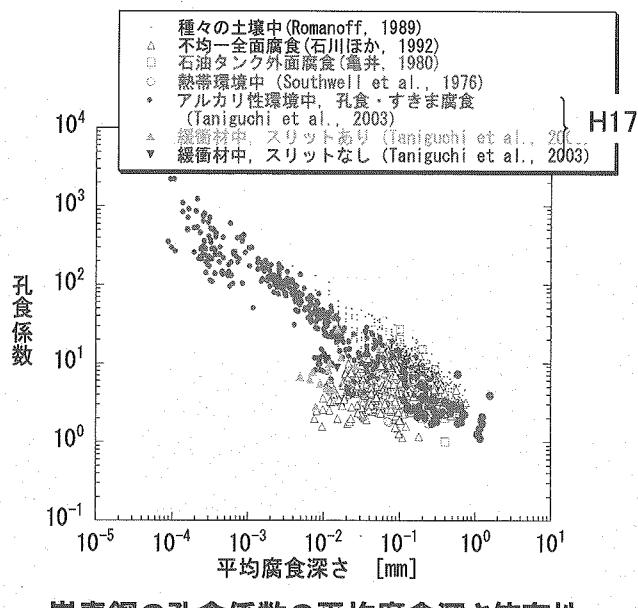
### ➤H12までの成果

日本における地下水条件の範囲内での腐食挙動評価を実施。セメントによる影響、マグネタイトによる腐食加速などは限られたデータに基づく評価



### ➤H17年取りまとめ

セメント、マグнетライト影響、数年間の長期データを含めた実験データの拡充により(右図に一例)、1,000年間の腐食寿命評価の信頼性が向上



炭素鋼の孔食係数の平均腐食深さ依存性

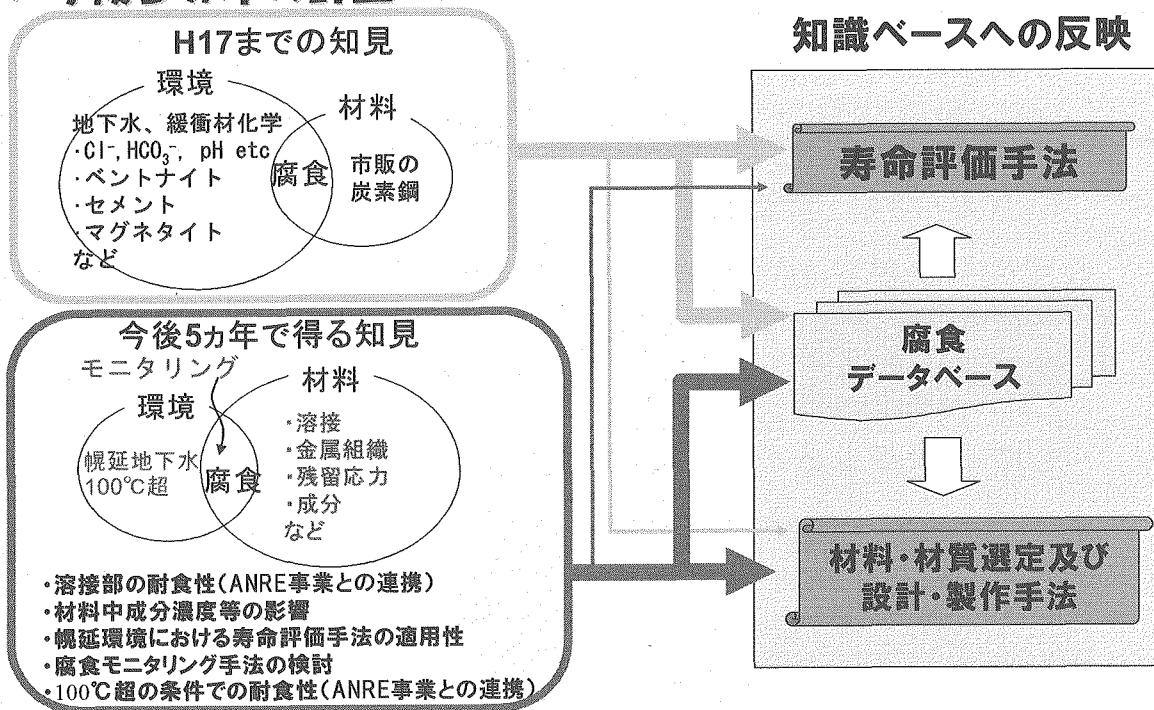
高pH環境において炭素鋼が不動態化して局部腐食を生じたとしても顕著な腐食の局在化は生じない。

## 2. 処分場の設計・施工技術

9/38

## ①人工バリア [オーバーパック - 炭素鋼オーバーパックの腐食挙動]

## ▶今後5ヵ年の計画



## 2. 処分場の設計・施工技術

10/38

## ①人工バリア [オーバーパック - 代替オーバーパックの腐食挙動]

## ▶H12までの成果

チタン: すきま腐食生起条件の実験データ整備、文献データに基づく水素脆化の評価

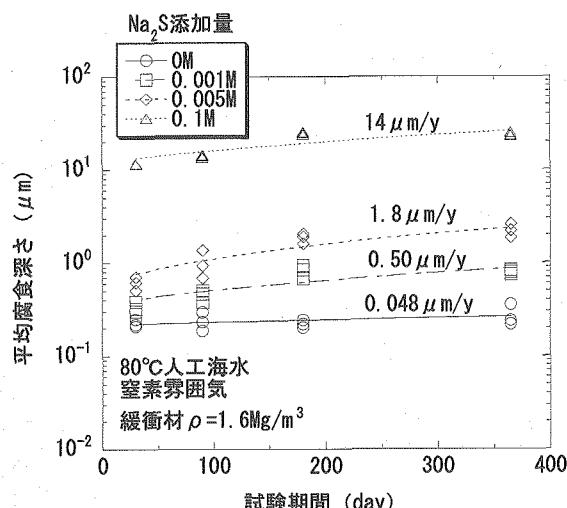
銅: 文献データに基づく簡略的腐食量評価



## ▶H17年取りまとめ

チタン: 水素脆化に関する実験データ取得と寿命評価

銅: 電気化学特性、硫化物影響など基礎データ取得(右図に一例)とH12評価の保守性の確認



低酸素濃度雰囲気下、硫化物共存系における純銅の腐食挙動

硫化物濃度 < 0.001M であれば腐食速度は極めて小さい → 超長寿命化の可能性を示唆

## 2. 処分場の設計・施工技術

### ①人工バリア [オーバーパック - 代替オーバーパックの腐食挙動 - ]

11/38

#### 今後5ヵ年の計画

##### H17までの知見

- チタンのすきま腐食、水素脆化挙動
- 銅の電気化学特性、硫化物環境での耐食性

##### 今後5ヵ年で得る知見

- 銅の局部腐食、応力腐食割れに関する実験データの拡充
- チタンと銅の溶接部における耐食性評価(ANRE事業との連携)

- 地質環境に対する適用条件の提示
- 銅オーバーパックの超長寿命化(10<sup>4</sup>年以上)の可能性

##### 知識ベースへの反映

##### 寿命評価手法

##### 腐食データベース

##### 材料・材質選定及び 設計・製作手法

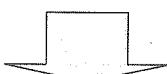
## 2. 処分場の設計・施工技術

### ①人工バリア [緩衝材]

12/38

#### H12までの成果

降水系地下水条件下における各基本特性データを整備し関係式を提案。設計の考え方を例示。



#### H17取りまとめ

海水系地下水条件下におけるデータの拡充と関係式の提示及び緩衝材基本特性データベースのWeb公開(H17下期成果)。具体的な地質環境での試設計の例示と課題の抽出

緩衝材の基本特性データ	
透水特性	透水試験
膨潤特性	飽和膨潤圧力試験 不飽和膨潤応力試験 飽和膨潤ひずみ試験 不飽和膨潤ひずみ試験
総固め特性	動的総固め試験 静的総固め試験
熱特性	熱物性測定(熱伝導率・熱抵抗率)
乾燥収縮特性	乾燥収縮試験

## 2. 処分場の設計・施工技術

### ①人工バリア [緩衝材]

13/38

#### 今後5ヵ年の計画

##### 【～H22】

- ◆環境条件
  - ・セメント影響を考慮したデータの取得
- ◆データ
  - ・関係式の整理(セメント影響)及び国内外の知見を踏まえたデータベースの拡張(ANRE事業との連携)
- ◆標準化
  - ・委員会等による測定手法の標準化に向けた体制の構築
- ◆設計
  - ・自己シール性に関するデータの拡充と設計基準に係る基盤情報の整理(ANRE事業との連携)

##### 【H17】

- ◆環境条件
  - ・海水系地下水でのデータ取得
- ◆データ
  - ・関係式の整理(海水条件)及びデータベースの構築・公開
- ◆標準化
  - ・影響因子(圧縮成型時の残留応力)の特定
- ◆設計
  - ・具体的な地質環境での試設計の例示と課題の抽出

##### 【知識ベースへの反映】

- 緩衝材基本特性データベースの更新
- 膨潤応力等の測定手法の標準化
- 緩衝材の設計基準に関わる基盤情報及び設計の考え方の提供

##### 【H12】

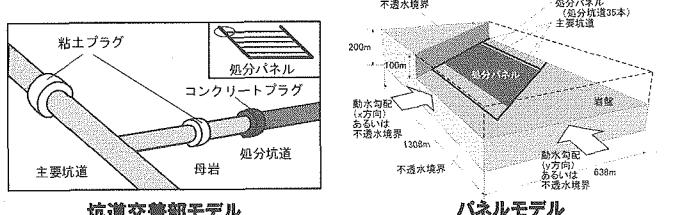
- ◆環境条件
  - ・降水系地下水でのデータ取得
- ◆データ
  - ・関係式の整理(降水条件)
- ◆標準化
  - ・試料の寸法等が膨潤応力に影響
- ◆設計
  - ・設計の考え方を例示

## 2. 処分場の設計・施工技術

### ②支保・グラウト・シーリング [シーリング]

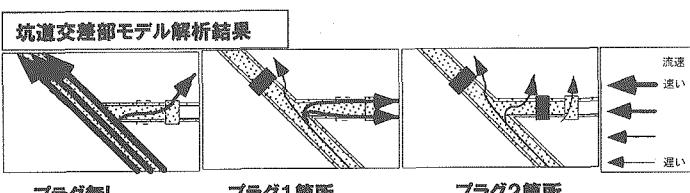
14/38

#### ▶ H12までの成果 埋め戻し材仕様の例示と結晶質岩(カナダ)においてプラグの施工の確認



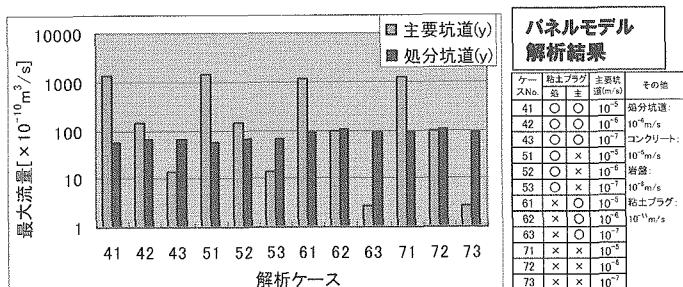
#### ▶ H17取りまとめ

閉鎖シナリオの検討。海水系埋め戻し材仕様を例示。原位置施工されたプラグの低透水性を確認



#### ▶ H17年度(下期)

閉鎖構成要素を考慮した水理解析(NUMOとの連携)



## 2. 処分場の設計・施工技術 ②支保・グラウト・シーリング [シーリング]

15/38

### 今後5ヵ年の計画

【～H22】

- ◆閉鎖要件
  - ・処分場のレイアウト規模を対象とした解析評価及び結晶質岩に関わる閉鎖要素の要件の明確化
- ◆基盤情報
  - ・ズリ、ペントナイト含有率をパラメータとした材料特性データ取得
- ◆原位置実規模試験
  - ・堆積岩(幌延)における閉鎖性能試験に関する知見の蓄積・整備
- ◆長孔の止水確保
  - ・国内外事例の整備

【H17】

- ◆閉鎖要件
  - ・水理解析及びFaultツリー分析を行い、閉鎖シナリオを提示
- ◆基盤情報
  - ・海水系での埋め戻し材の隙間充填性能に着目した基礎試験結果から埋め戻し材仕様を例示
- ◆原位置実規模試験
  - ・施工されたプラグの低透水性を確認し、プラグ設置部の物質移行挙動を解析評価

### 【知識ベースへの反映】

- 閉鎖設計の基本的な考え方と閉鎖要件の提供
- 閉鎖材料及び性能に係るデータベースの提供

【H12】

- ◆閉鎖要件
  - ・埋め戻し材に期待される役割と設計上考慮すべき項目を設定
- ◆基盤情報
  - ・膨潤、透水性等のデータから埋め戻し材仕様を例示
- ◆原位置実規模試験
  - ・結晶質岩(カナダ)においてプラグの施工を確認

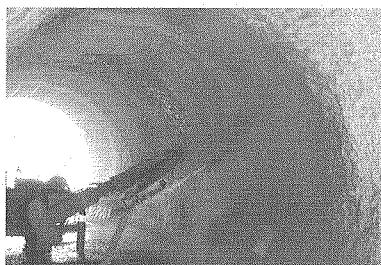
## 2. 処分場の設計・施工技術

### ②支保・グラウト・シーリング [支保 一低アルカリ性コンクリート開発一]

16/38

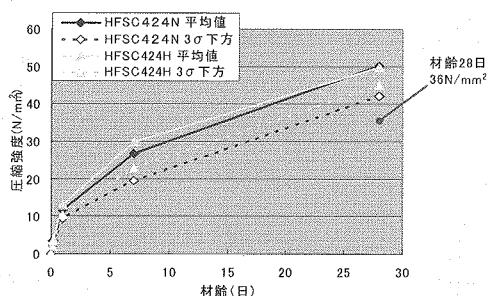
### ▶ H12までの成果

普通セメントによる地下水のpH上昇を抑制するため低アルカリ性セメント(HFSC、pH11以下を目指)の使用を推奨



### ▶ H17取りまとめ

- ・コンクリート打設性能や吹き付け性能等の施工性について問題ないことを確認
- ・pHの低下挙動のデータ取得・モデル開発とpH目標達成についての見通し



### ▶ H17下期成果

幌延における支保工の設計基準強度(材齢28日で36N/mm<sup>2</sup>)を満足するコンクリート配合の選定、模擬トンネルに対する吹付け施工試験を実施

セメント種類	スランプ(cm)	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )								急結剤
				W	OPC	HPC	SF	FA	S	G	減水剤	
HFSC 424N	18±2	40	60	200	200	—	100	200	950	645	C × 1.1%	HFSC × 10%
HFSC 424H		45	60	203	—	180	90	180	975	663	C × 1.2%	HFSC × 10%

**2. 処分場の設計・施工技術****②支保・グラウト・シーリング [支保 一低アルカリ性コンクリート開発]**

17/38

**▶今後5ヵ年の計画****[～H22]**

- ◆施工性
  - ・幌延での試験施工により、吹き付け性能、材料分離抵抗性、品質変動等について確認(CRIEPIとの連携)
- ◆強度特性
  - ・掘削時の詳細支保設計に必要な強度を確保するための配合選定を実施(CRIEPIとの連携)
- ◆低アルカリ性
  - ・pH低下予測の精度向上のため、ボンラン反応の反応速度データの拡充し、速度パラメータを再評価(CRIEPIとの連携)
- ◆低腐食性
  - ・海上暴露試験を継続し、鉄筋腐食の進行性を確認

**[H17]**

- ◆施工性
  - ・場所打ち、吹き付け性能を確認(HFSC424)
- ◆強度特性
  - ・設計基準強度を満足することを確認(HFSC424)
- ◆低アルカリ性
  - ・モデル解析によりpH低下の評価に見通し
- ◆低腐食性
  - ・海上暴露試験により鉄筋の発錆を確認(HFSC226)

**【知識ベースへの反映】**

- 低アルカリ性コンクリートの材料特性データベースの提供・公開
- 配合選定方法の標準化(マニュアル)
- 施工管理基準(マニュアル)の提供

**[H12]**

- ◆緩衝材や周辺岩盤への影響を考慮し、低アルカリセメントの使用を推奨

**2. 処分場の設計・施工技術****②支保・グラウト・シーリング [グラウト]**

18/38

**▶今後5ヵ年の計画**

- 従来用いられているグラウト材料について、材質、止水性、施工性、耐久性、周辺環境への影響の観点から比較し整理する。グラウト材の処分施設への適用性の観点から、岩盤や緩衝材との長期的な相互作用について検討を進める。
- 低アルカリ性セメントのグラウト材料への適用性検討として、実際の岩盤への注入施工性を確認するために、亀裂条件等により材料混合比を見直したグラウト材料の注入試験等を行い、注入材料としての適用性を確認する。

**【知識ベースへの反映】**

- グラウト材料の長期評価手法の提供
- グラウト施工技術の提供

**2. 処分場の設計・施工技術**

③建設・操業・閉鎖等の工学技術 [建設技術]

19/38

**➤今後5ヵ年の計画**

【～H22】

## ◆設計手法:

- ・幌延での掘削時に得られた地質環境情報に基づき、地上からの調査段階に置ける地下施設の設計手法の適用性確認・留意点の抽出
- ・情報化施工計画の立案、適用事例の提示
- ・地下深部における坑道群の設計体型の整備、妥当性の検証

## ◆設計上の留意点:

- ・ニアフィールドの観点から建設技術に要求される要件(掘削影響領域[EDZ]、水みち、掘削対策工に用いられる材料選定)の整理

## ◆原位置試験の計画:

- ・幌延での地質環境データを用いた予備解析による連成挙動の把握、腐食・環境モニタリング手法の検討 等

【H17】

## ◆設計条件:

- ・地上からの調査結果を基に設計用物性値の設定例を提示

## ◆設計手法:

- ・上記設計用物性値に基づく単一坑道の設計例を提示

- ・地下研究施設における防災、耐震を考慮した試設計事例を提示

## ◆設計上の留意点:

- ・情報化施工に関する手法の整備
- ・ニアフィールドにおける地質環境、建設技術の整理 等

## 【知識ベースへの反映】

- 地質環境データを基にした設計用物性値設定の考え方の提供
- 情報化施工システムの提供

【H12】

- ◆幅広い地質環境を対象に、当時の技術で実現可能と考えられる建設技術を例示

**2. 処分場の設計・施工技術**

③建設・操業・閉鎖等の工学技術 [操業・閉鎖技術]

20/38

**➤今後5ヵ年の計画**

- 幌延の掘削段階を通じて得られる地質環境条件を基に、原位置で確認すべき操業技術及び閉鎖技術項目を整理するとともに試験計画案の提示(ANRE事業との連携)

## 【知識ベースへの反映】

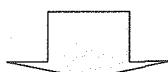
- 原位置で確認すべき操業・閉鎖技術項目の提供

## 2. 処分場の設計・施工技術

### ③建設・操業・閉鎖等の工学技術 [品質管理]

21/38

▶ H12までの成果  
設計要件、製作・施工方法及び品質管理項目を整理。緩衝材ブロックの縫目の水理、力学特性の把握

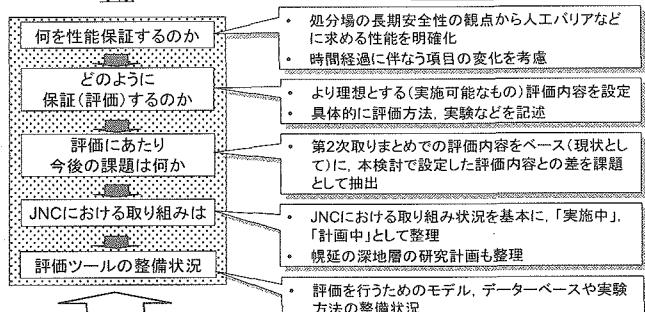


▶ H17取りまとめ  
性能保証項目を抽出し、評価方法、ツール等を整理。  
緩衝材隙間にに対するオーバーパック腐食。

#### 処分場の長期安全性確保のための考え方

構成要素	工程、手順の流れ					
	ガラス固化体、オーバーパック、緩衝材、埋め戻し材、ブレグ、支保工、アクセス・連絡・主要・処分の各坑道および処分孔	設計	製作	建設・施工	モニタリング	安全評価
閉鎖前	何を性能保証するのか	設計の要件	何を品質管理するのか	何を施工管理するのか	何をモニタリングするのか	左の欄に対して
・操業 ・埋め戻し	↓	↓	↓	↓	↓	1) 性能保証できる項目
閉鎖後	何を性能保証するのか	・具体的な保証方法、手法	・品質管理対象項目	・施工管理対象項目	・測定対象項目	条件設定
・緩衝材不 飽和 ・緩衝材飽 和 ・接着移行	↓	↓	・管理(計測) 方法、手法	・管理(計測) 方法、検査方 法など	・測定項目 【個別研究項目】	2) 性能保証でき ない項目
		・現状での対応 ・課題	↓	・管理(計測) 方法、検査方 法など	・測定方法など 【個別研究項目】	↓
		↓	↓	↓	↓	評価項目
		【個別研究項目】	【個別研究項目】	【個別研究項目】	【個別研究項目】	

手順



## 2. 処分場の設計・施工技術

### ③建設・操業・閉鎖等の工学技術 [品質管理]

22/38

▶ 今後5ヵ年の計画

#### 【～H22】

##### ◆品質管理

- ・人工バリアと処分施設設計に必要な情報と幌延URL掘削段階に得られるデータを整理し、品質管理計画の例示。

##### ◆定置精度

- ・幌延URLで検討すべき項目の整理  
(ANRE事業との連携)

#### 【H17】

##### ◆品質管理

- ・性能保証項目の抽出・整理、評価方法、ツール等の整理

##### ◆定置精度

- ・緩衝材隙間にに対するオーバーパック腐食への影響を確認

#### 【知識ベースへの反映】

- 人工バリア等の長期安全性の観点からの品質管理の考え方の提供
- 人工バリア等に係わる性能保証データの計測技術の提供

#### 【H12】

##### ◆品質管理

- ・設計要件、製作・施工方法及び品質管理項目を整理

##### ◆定置精度

- ・緩衝材ブロックの縫目の水理、力学特性の把握

### 3. 長期健全性評価技術

#### ①緩衝材の長期力学的変形挙動

23/38

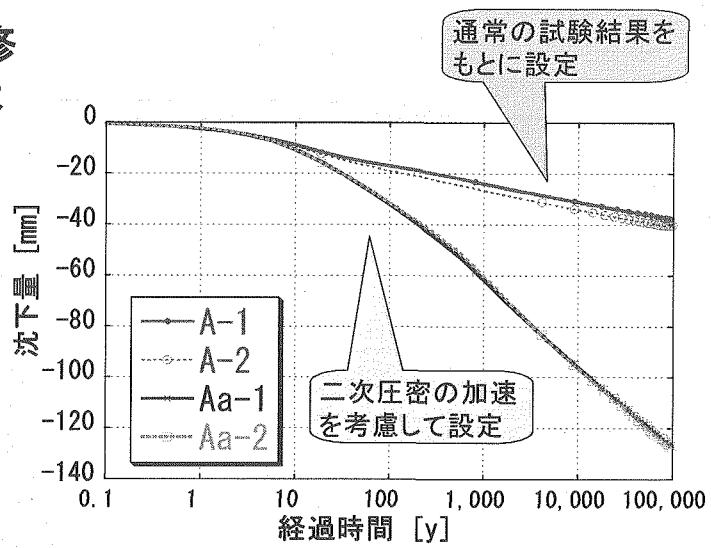
#### ➢ H12までの成果

関口-太田モデルや修正Cam-clayモデルによる概略評価



#### ➢ H17取りまとめ

降水条件での実験データとの比較を通じたモデルの適用性を確認



オーバーパック自重沈下解析結果

### 3. 長期健全性評価技術

#### ①緩衝材の長期力学的変形挙動

24/38

#### ➢ 今後5ヵ年の計画

##### 【~H22】

- ◆クリープモデル/評価
- ・海水系地下水条件でのモデルの適用性確認
- ・緩衝材/岩盤連成モデルの構築(降水系条件)
- ◆データ取得
- ・海水系地下水条件でのデータ取得及びパラメータ設定方法の考え方を整理
- ・長期圧密試験による二次圧密係数の加速の有無に係るデータの取得

##### 【H17】

- ◆クリープモデル/評価
- ・モデルを再度整理・選定し、実験結果との比較を通して降水系地下水条件でのモデルの妥当性を確認
- ・二次圧密係数の加速も考慮した評価の実施
- ◆データ取得
- ・降水系地下水条件でのデータ取得及びパラメータ設定方法の考え方を整理
- ・海水系地下水条件での一部データ取得

#### 【知識ベースへの反映】

- 緩衝材/岩盤応力連成モデルの提供
- 降水/海水条件での解析パラメータ設定方法の考え方の提供
- パラメータ等のデータベースの提供

##### 【H12】

- ◆クリープモデル/評価
- ・既存のモデルを利用し概略的な影響評価を実施(関口-太田モデル:沈下、修正Cam-clayモデル:腐食膨張)
- ◆データ取得
- ・降水系地下水条件でのデータ取得

### 3. 長期健全性評価技術

#### ②緩衝材の長期変質挙動

25/38

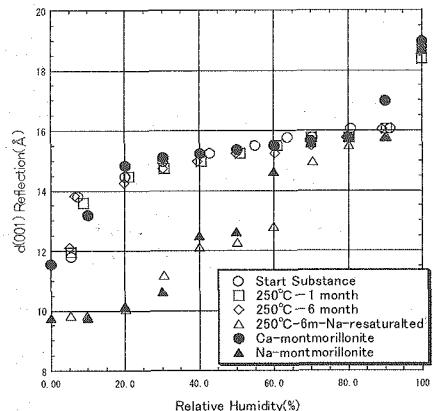
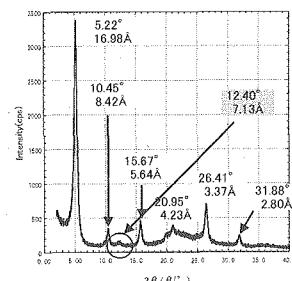
#### >H12までの成果

緩衝材の温度制限と低アルカリセメントの利用を前提に既存文献の調査等に基づいて緩衝材の長期的な性能は維持され得ると判断



#### >H17取りまとめ

鉄型ベントナイト水熱試験による変質生成物の同定、鉄型化に関する予測解析を実施し、鉄型化進展範囲の概略的把握



鉄型ベントナイトを出発試料とした水熱試験結果

### 3. 長期健全性評価技術

#### ②緩衝材の長期変質挙動

26/38

#### >今後5カ年の計画

##### [~H22]

- ◆オーバーパック腐食生成物と緩衝材材料との相互作用に関する実験研究及び熱力学的な評価を実施し、変質可能性とそれが安全機能に及ぼす影響に関する評価手法の整備
- ◆セメント系材料の利用による緩衝材の変質挙動に関する予測解析及びその安全機能に及ぼす影響に関する評価の実施

##### [H17]

- ◆アルカリ変質及び腐食生成物による変質に関する現象理解に基づいた評価の実施
- ・高pH条件でのスメクタイト溶解速度データ取得
- ・鉄型化に関する予測解析及び進展範囲の概略的把握
- ・鉄型ベントナイト水熱試験による変質生成物の同定

#### 【知識ベースへの反映】

- 緩衝材長期変質挙動評価手法の提供
- 緩衝材の安全機能に対する変質が及ぼす影響評価手法の提供

##### [H12]

- ◆温度制限100°Cと低アルカリ性セメントの利用を前提に既存文献の調査等に基づき概略的に評価

### 3. 長期健全性評価技術

③緩衝材の流出・侵入挙動

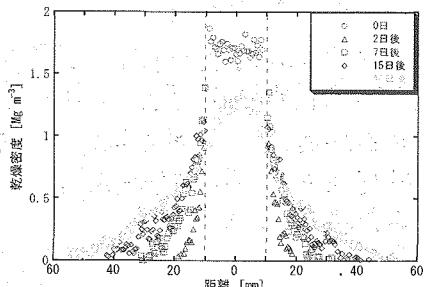
27/38

➤ H12までの成果  
・実験データに基づく経験則による評価

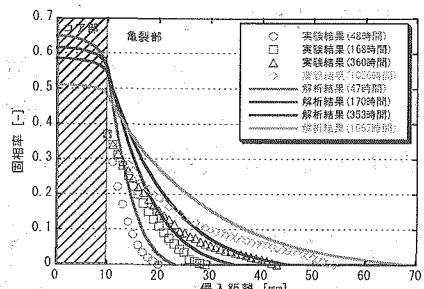


## ➤ H17取りまとめ

- ・第2次取りまとめでは得られていないかった緩衝材の亀裂侵入密度のデータをX線CTを用いて取得
- ・CTデータ等を用いた拡散モデルの適用性確認
- ・緩衝材の侵入現象は、海水系地下水よりも降水系地下水環境の方が顕著



( X線CTを用いた侵入密度分布測定結果 )



( 実験結果のシミュレーション解析結果 )

### 3. 長期健全性評価技術

③緩衝材の流出・侵入挙動

28/38

## ➤ 今後5ヵ年の計画

## 【～H22】

- ◆環境条件: 降水系地下水
- ◆実験系
  - ・侵入: 岩盤亀裂(レプリカを含む)
  - ・浸食: 平行平板亀裂
- ◆モデル/評価
  - ・侵入: 侵入現象モデルの改良
  - ・浸食: ベントナイトコロイドの生成条件の把握

## 【H17】

- ◆環境条件: 海水系地下水
- ◆実験系: 平行平板亀裂
- ◆モデル/評価
  - ・侵入: X線CTにより得られた亀裂侵入密度データなどを用いモデルの適用性を確認
  - ・浸食: 臨界流速よりも低流速でコロイドが生成する可能性を示唆

## 【知識ベースへの反映】

- 緩衝材侵入現象モデルの提供
- 流出・侵入データベースの提供・公開
- ベントナイトコロイド生成条件の提供

## 【H12】

- ◆環境条件: 降水系地下水
- ◆実験系: 平行平板亀裂
- ◆モデル/評価
  - ・侵入: 侵入距離と時間の関係を用い拡散として取扱モデル化
  - ・浸食: 定性的にベントナイトコロイドが生成する臨界流速を評価

### 3. 長期健全性評価技術

#### ④ 岩盤の長期力学変形挙動

29/38

#### > H12までの成果

- ・コンプライアンス可変型構成方程式による解析的検討(横置き処分坑道を対象)

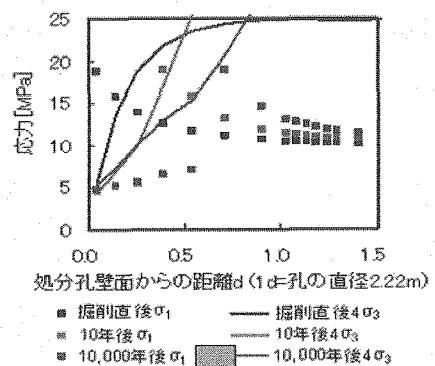
- ・硬岩系岩盤 → 長期にわたり安定
- ・軟岩系岩盤 → クリープにより掘削影響領域(EDZ)が増大



#### > H17取りまとめ

- ・幌延における解析用物性値の取得・初期地圧の異方性を考慮した解析事例の提示
- ・地圧現象を用いた長期への外挿方法の提示
- ・岩盤の自己回復(強度・透水性)特性  
→ EDZの力学特性回復の可能性

コンプライアンス可変型構成方程式  
を用いた空洞周辺応力の予測例



掘削後10年以上10,000年経過

$$\rightarrow \sigma_1 \leq 4 \cdot \sigma_3$$

岩盤が力学的に安定している地圧条件

$$\rightarrow \sigma_1 < 4 \cdot \sigma_3 \quad (\text{国外5地点の実測結果})$$

→ 岩盤クリープが収束、安定に至る条件

### 3. 長期健全性評価技術

#### ④ 岩盤の長期力学変形挙動

30/38

#### > 今後5ヵ年の計画

##### 【～H22】

- ◆ データ
  - ・坑道掘削時に得られる計測データの取得、岩盤の力学特性に関する諸情報の整理
- ◆ 予測手法
  - ・掘削時データを用いた予測手法の再現性検証
  - ・予測に用いる物性値やモデル定数の設定方法の例示
  - ・緩衝材の膨潤、オーバーパックの腐食、支保工を組み込んだ予測手法の提示
  - ・設計への反映
  - ・EDZの自己回復特性など岩盤の長期特性変化に関する検討

##### 【H17】

- ◆ データ
  - ・予測に必要な地質環境データを幌延の地上調査から取得
- ◆ 予測手法
  - ・初期地圧の異方性を考慮した予測手法を提示
  - ・地圧現象を用いた長期予測への外挿方法の提示
- ◆ 設計への反映
  - ・長期力学挙動評価の観点から設計時に考慮すべき留意点の抽出

##### 【知識ベースへの反映】

- 岩盤物性データベースの提供・公開
- 長期力学変形挙動予測モデルの提供
- 解析パラメータ設定の考え方の提供

##### 【H12】

- ◆ データ
  - ・力学的地質情報を統計的に整理
- ◆ 予測手法
  - ・コンプライアンス可変型構成方程式

### 3. 長期健全性評価技術 ⑤熱-水-応力-化学連成挙動

31/38

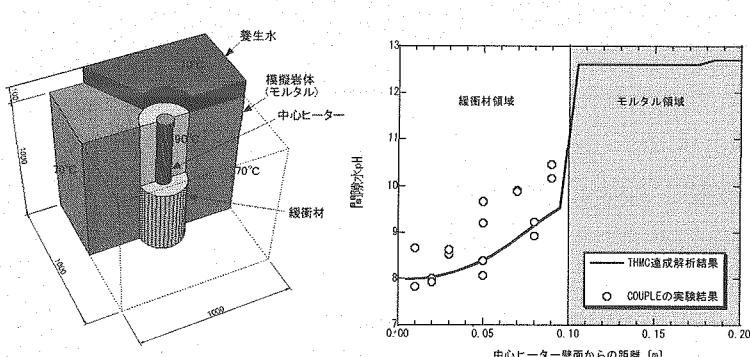
#### ▶ H12までの成果

熱-水-応力連成モデルの開発及び検証を行い、廃棄体定置後のニアフィールド挙動を評価



#### ▶ H17取りまとめ

熱-水-応力-化学連成モデルを開発し、室内連成試験等を通じた検証を実施し、廃棄体定置後のニアフィールド挙動を評価



室内連成試験装置(COUPLE) 180日後のpH分布と解析結果

#### 室内連成試験による連成モデルの検証

### 3. 長期健全性評価技術 ⑤熱-水-応力-化学連成挙動

32/38

#### ▶ 今後5ヵ年の計画

##### 【～H22】

- ◆ 解析モデル
  - ・化学現象から他の現象への影響モデルの精緻化
- ◆ 検証
  - ・室内連成試験、塩の蓄積挙動(ANRE事業との連携)、ベンチマーク試験(国際共研)に対する検証
  - ・更成データ計測技術の開発(ANRE事業との連携)
- ◆ 解析評価
  - ・異なる地質環境条件における解析の実施(適用事例の拡充)

##### 【H17】

- ◆ 解析モデル
  - ・熱-水-応力連成コードに物質移行及び地球化学コードを付加したプロトタイプコードの構築
- ◆ 検証
  - ・室内連成試験、塩の蓄積挙動、YMP坑道加熱試験(国際共研)に対する検証解析
- ◆ 解析評価
  - ・第2次取りまとめにおける結果の妥当性を確認

##### 【知識ベースへの反映】

- 热-水-応力-化学連成モデル及びデータベースの提供
- 热-水-応力-化学連成データ計測技術の提供
- 数値実験技術の提供

##### 【H12】

- ◆ 解析モデル
  - ・熱-水-応力連成モデルの構築
- ◆ 検証
  - ・釜石人工バリア試験、BIG-BEN、国際共研での検証解析
- ◆ 解析評価
  - ・第2次取りまとめの概念での評価

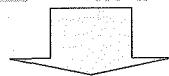
### 3. 長期健全性評価技術

#### ⑥ガス移行挙動

33/38

##### ➤ H12までの成果

- ・ガス圧力の測定データに基づく評価



##### ➤ H17取りまとめ

- ・緩衝材中のガス移行メカニズムを把握するために、X線CT法の適用可能性を確認
- ・選択的移行経路の形成による移行挙動の確認



##### ➤ H17下期成果

- ・応力連成ガス移行モデルの導入

GAMBIT-GWSモデル  
・数学モデル

気液移行/圧密連成モデル

Mathematica  
・移行モデルパラメータ

数値計算・数式処理・プログラミング処理(数式を含む一連の計算ルーチンの作成)

ENTCODE  
・FORTRAN変換プログラム

FORTRAN言語への変換処理

ENTWIFE  
・有限要素解析モジュール

力学連成流体移行計算の実行(応力変化による間隙体積、飽和度、透過係数の変化を考慮したガス/水移行計算の実行)

GAMBITモデルの解析フロー

### 3. 長期健全性評価技術

#### ⑥ガス移行挙動

34/38

##### ➤ 今後5ヵ年の計画

###### 【～H22】

- ◆データ取得
  - ・焼却コアの透気特性
- ◆現象理解
  - ・X線CTによる3次元的な把握(緩衝材)
- ◆モデル/評価
  - ・応力連成モデルによる実験結果の再現及び改良
  - ・モデルの検証を目的とした焼却原位置試験計画の立案及び予備解析

###### 【H17】

- ◆データ取得
  - ・海水系地下水条件での緩衝材の透気特性
- ◆現象理解
  - ・X線CTによる可視化試験の可能性を確認
- ◆モデル/評価
  - ・改良型TOUGH2による実験結果の再現
  - ・応力連成モデルの導入

###### 【知識ベースへの反映】

- ガス移行-応力連成モデルの提供
- 解析パラメータ設定方法の考え方の提供
- 透気特性(岩盤-緩衝材)データベースの提供・公開

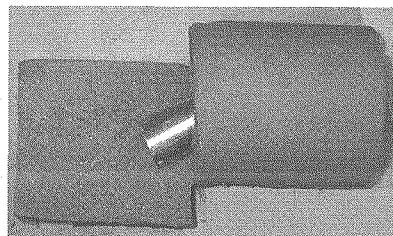
###### 【H12】

- ◆データ取得
  - ・降水系地下水条件での緩衝材の透気特性
- ◆現象理解
  - ・破過圧力や膨潤応力などから推定
- ◆モデル/評価
  - ・二相流モデルTOUGH2による概略評価

### 3. 長期健全性評価技術 ⑦人工バリアせん断応答挙動

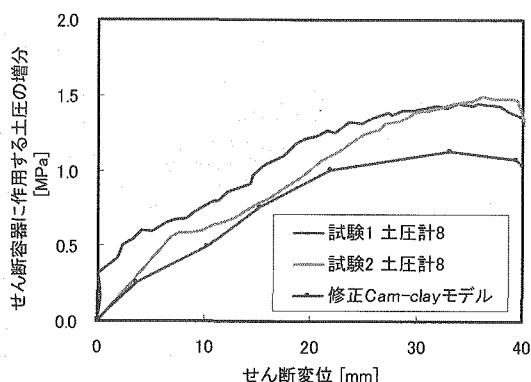
35/38

➤H12までの成果  
人工バリアに0.2mの断層ず  
れが生じた場合のオーバー  
パックの健全性を評価



せん断後のオーバーパックの様子

➤H17取りまとめ  
1/20模型実験によるデータの  
取得及び修正Cam-clayにより実  
験結果を概略的に表現できることを確認



実験と解析結果の比較

### 3. 長期健全性評価技術 ⑦人工バリアせん断応答挙動

36/38

➤今後5ヵ年の計画

【～H22】  
◆データ取得  
・せん断速度をパラメータとしたデータの取得  
◆モデル/評価  
・せん断速度影響を評価可能なモデルの選定  
・パラメータ設定に関する考え方の整理

【H17】  
◆データ取得  
・1/20模型実験によるデータの取得  
◆モデル/評価  
・実験結果のシミュレーション解析を実施しモデルの適用性を確認



【知識ベースへの反映】  
●人工バリアの限界条件の提供  
●解析パラメータ設定方法の考え方の提供

【H12】  
◆データ取得  
・なし  
◆モデル/評価  
・SKBの解析結果を参考に0.2m程度せん断変位した場合の影響を概略的に評価

## 知識ベースへの反映のまとめ①(工学技術)

37/38

知識ベースに反映する成果の例	分類の例
<ul style="list-style-type: none"> <li>・オーバーパック腐食データベース【オーバーパック】</li> <li>・緩衝材基本特性データベース【緩衝材】</li> <li>・閉鎖材料及び性能に係るデータベース【シーリング】</li> <li>・低アルカリ性コンクリートの材料特性データベース【支保】</li> <li>・原位置で確認すべき操業・閉鎖技術項目【操業・閉鎖】</li> <li>・緩衝材/岩盤応力連成評価に用いるパラメータ等のデータベース【緩衝材の長期力学的変形挙動】</li> <li>・緩衝材流出・侵入データベース【緩衝材の流出・侵入挙動】</li> <li>・岩盤長期力学変形挙動に關わる物性データベース【岩盤の長期力学変形挙動】</li> <li>・熱-水-応力-化学連成挙動評価用データベース【熱-水-応力-化学連成挙動】</li> <li>・透気特性(岩盤・緩衝材)データベース【ガス移行挙動】</li> </ul>	データ
各種公開技術資料、レビュー報告書	ドキュメント
<ul style="list-style-type: none"> <li>・緩衝材/岩盤応力連成モデル【緩衝材の長期力学的変形挙動】</li> <li>・緩衝材侵入現象モデル【緩衝材の流出・侵入挙動】</li> <li>・岩盤長期力学変形挙動予測モデル【岩盤の長期力学変形挙動】</li> <li>・熱-水-応力-化学連成モデル【熱-水-応力-化学連成挙動】</li> <li>・ガス移行-応力連成モデル【ガス移行挙動】</li> </ul>	ソフトウェア

## 知識ベースへの反映のまとめ②(工学技術)

38/38

知識ベースに反映する成果の例	分類の例
<ul style="list-style-type: none"> <li>・坑道掘削段階において得られる情報を基にした、処分場設計の考え方や設計手法【URLにおける適用性検討】</li> <li>・概念オプションの成立性や実現性関わる技術基盤情報【工学技術オプション】</li> <li>・オーバーパック腐食評価手法【オーバーパック】</li> <li>・オーバーパック材料・材質選定及び設計・製作手法【オーバーパック】</li> <li>・標準化した緩衝材膨潤応力等の測定手法(土木学会と連携予定)【緩衝材】</li> <li>・緩衝材の設計基準に關わる基盤情報及び設計の考え方【緩衝材】</li> <li>・閉鎖設計の基本的な考え方と閉鎖要件【シーリング】</li> <li>・低アルカリ性コンクリート配合選定方法【支保】</li> <li>・低アルカリ性コンクリート施工管理基準【支保】</li> <li>・グラウト材料の長期評価手法【グラウト】</li> <li>・グラウト施工技術【グラウト】</li> <li>・地質環境データを基にした設計用物性値設定の考え方【建設】</li> <li>・情報化施工システム【建設】</li> <li>・人工バリア等の長期安全性の観点からの品質管理の考え方【品質管理】</li> <li>・人工バリア等に係わる性能保証データの計測技術【品質管理】</li> <li>・降水/海水条件での緩衝材/岩盤応力連成解析パラメータ設定方法の考え方【緩衝材の長期力学的変形挙動】</li> <li>・緩衝材長期変質挙動評価手法【緩衝材の長期変質挙動】</li> <li>・緩衝材の安全機能に対する変質が及ぼす影響評価手法【緩衝材の長期変質挙動】</li> <li>・ペントナイトコロイド生成条件【緩衝材の流出・侵入挙動】</li> <li>・岩盤長期力学変形挙動解析パラメータ設定の考え方【岩盤の長期力学変形挙動】</li> <li>・熱-水-応力-化学連成データ計測技術【熱-水-応力-化学連成挙動】</li> <li>・ガス移行解析パラメータ設定方法の考え方【ガス移行挙動】</li> <li>・人工バリアの限界条件【人工バリアのせん断応答挙動】</li> <li>・人工バリアのせん断応答挙動解析パラメータ設定方法の考え方【人工バリアのせん断応答挙動】</li> </ul>	経験・ノウハウ (方法論など)
<ul style="list-style-type: none"> <li>・坑道掘削段階において適用した施工方法や対策工法の適用事例及び留意点【URLにおける適用性検討】</li> <li>・ナチュラルアナログに関する統合データ【オーバーパック】</li> </ul>	統合化した知識
・地質環境に応じた処分場設計要件【URLにおける適用性検討】	ガイドス
・数値実験技術【熱-水-応力-化学連成挙動】	プレゼンテーション素材

別添6

**H L W 処分における平成17年度までの成果と  
『次期5カ年』の研究開発計画 一性能評価についてー**  
**報告概要**

**1. 表題**

事業段階における総合的な性能評価体系の構築・整備に向けた計画

**2. 審議事項**

性能評価研究に対するニーズを踏まえた取り組みのアプローチ、知識ベースへの反映が適切なものであるか審議頂きたい。

**3. ニーズ**

原子力政策大綱では、機構を中心とした研究開発機関に、「深地層の研究施設等を活用して、深地層の科学的研究、地層処分技術の信頼性向上や安全評価手法の高度化等に向けた基盤的な研究開発、安全規制のための研究開発を引き続き着実に進めるべきである」ことを求めており、研究開発成果については、「海外の知見も取り入れつつ、地層処分にかかる最新の知識基盤として整備・維持され、NUMO（原子力発電環境整備機構）の最終処分事業や国の安全規制において有効に活用されることが重要」としている。

さらに、原子力安全委員会において検討されている原子力の重点安全研究計画に係わる研究課題の整理（放射性廃棄物分野）（案）（原子力安全研究専門部会放射性廃棄物安全研究分科会資料）では、安全評価手法の高度化に関する研究として、「地層処分サイトが選定された場合に取得、抽出される地質環境特性、それに基づく設計条件等の情報及び重要な事項を、サイト調査の進展に応じて適切に反映可能な安全評価手法を開発し、これら検討と通して安全指標とその基準、時間スケール、安全評価シナリオ及び安全評価にリスク論的な考え方を導入する可能性等についての基本的考え方や、安全確保の論拠の仕組みの構築に資する」ことを求めている。

これらを踏まえ、性能評価研究においては、事業者が対象とする可能性のある多様な地質環境や、それに対応させた地層処分システムに適用できる柔軟性を有する評価体系の提示に向けた研究開発とその成果の知識ベースへの反映が求められている。

**4. 対象研究項目とアプローチ****1) 対象研究項目**

高レベル放射性廃棄物地層処分に関する国の中長期的研究開発を対象に、その実施機関であるサイクル機構等の関係機関による共同作業や大学等有識者との意見交換を通じて、体系的かつ中長期的な研究開発計画（重要課題、研究開発の方向性など）として、平成16年度に研究開発全体マップ（以下、「全体マップ」）の整備が実施された。これを踏まえ、平成17年7月には、国の中長期的研究開発を実施する関係研究機関によって、「地層処分基盤研究開発調整会議」が設置され、研究開発全体計画の策定や成果の体系化を推進するとともに、国の中长期的研究開発の計画的かつ効率的な推進を図るために組織が構築され、「全体マップ」の見直し作業を進めている。

本計画では、「全体マップ」を参考として対象研究項目を以下のように設定する。

- ・評価手法
  - シナリオ解析技術
  - 不確実性評価技術
  - 総合的な性能評価技術
- ・モデル開発
  - 人工バリア中の核種移行（地下水化学、間隙水化学、ガラス固化体からの核種溶出、緩衝材中の核種移行）
  - 天然バリア中の核種移行{岩盤中の核種移行（岩盤中の水理・物質移行特性把握、収着・拡散現象）、コロイド・有機物・微生物}
  - 生物圏での移行・被ばく
- ・データベース開発
  - 放射性元素の熱力学データベースの整備
  - 収着・拡散データベースの整備

### 3) アプローチ

当面の5カ年においては、処分事業における精密調査地区選定や精密調査、あるいは安全規制における安全審査基本指針の策定に資するため、第2次取りまとめと平成17年取りまとめまでに開発した安全評価に関する要素技術やデータベースについて適宜改良や信頼性向上を図りつつ、深地層の研究施設計画から得られる実際の地質環境に関する情報やそれを踏まえた設計例に適用し、処分事業と規制の基盤となる安全評価の適用に関する手引きや根拠として、以下の点に留意して総合的に整備する。

- ある地質環境条件が設定された場合に柔軟に適用できること
- 調査研究の進展に伴い利用可能になる情報（地質環境条件、設計条件）や現象に関する知見を容易に取り込めるこ

## 5. 各研究課題ごとの報告の構成

各研究課題ごとに以下の構成で報告する。

- 研究目的と第2次取りまとめ、H17レポートにおける研究成果
- 当面5カ年の計画（平成22年度頃まで）
- 知識ベースへの反映例

## 6. 知識ベースへの反映（生物圏評価を例として）

生物圏での移行・被ばくでは、ある地質環境条件が設定された場合や調査研究の進展に伴い利用可能な情報が変遷することに応じた生物圏評価を行うことができる技術の体系的整備を目的として、以下のように成果を取りまとめ知識ベースへ反映する。

- 実際の環境条件を考慮した生物圏評価に関する考え方の整理、ツールの整備
- 将来の環境変遷を考慮した場合の時間枠に応じた評価手法・考え方の整備
- 人間の放射線影響（線量・リスク）以外の指標を用いた評価に必要な手法・ツールの整備

以上

## 事業段階における総合的な 性能評価体系の構築・整備に 向けた計画

地層処分研究開発部門  
地層処分基盤研究開発ユニット

宮原 要

### 審議事項と全体マップ

#### ◆審議事項

- ニーズを踏まえたアプローチ、成果と今後の計画、知識ベースへの反映が適切か

#### ◆H16全体マップ

- 国の基盤的研究開発を対象に、体系的かつ中長期的な研究開発計画として整備（現在、「地層処分基盤研究開発調整会議」によって見直し中）

## ニーズとアプローチ

3

### ◆ニーズ

#### ▶原子力政策大綱

- ・ 安全評価手法の高度化等に向けた基盤的な研究開発、安全規制のための研究開発の着実な推進
- ・ 成果の知識基盤としての整備

#### ▶重点安全研究計画

- ・ サイト調査の進展に応じて得られる情報等を適切に反映可能な安全評価手法の開発
- ・ 安全指標と基準等の基本的考え方や安全確保の論拠の仕組みの構築に資する検討

### ◆アプローチ

#### ▶事業と規制の基盤となる手引きや根拠として総合的に整備

- ・ ある地質環境条件が設定された場合に柔軟に適用できること
- ・ 調査研究の進展に伴い利用可能になる情報や現象に関する知見を容易に取り込めるここと

#### ▶他分野との連携、関係機関との協力

## 研究項目(H16全体マップを参考)

4

### ◆評価手法

#### ▶シナリオ解析技術

#### ▶不確実性評価技術

#### ▶総合的な性能評価技術

### ◆モデル開発

#### ▶人工バリア中の核種移行

#### ▶天然バリア中の核種移行

#### ▶生物圏での移行／被ばく

### ◆データベース開発

#### ▶放射性元素の熱力学データベースの整備

#### ▶収着・拡散データベースの整備

## シナリオ解析技術

5

### ◆H12までの成果

#### 【シナリオ解析技術】

- 幅広い地質環境を考慮したFEPデータベースとシナリオ解析技術の構築、評価シナリオの例示

#### 【変動シナリオ】

- 天然現象を考慮した、簡略かつ仮想的なシナリオによる評価の実施

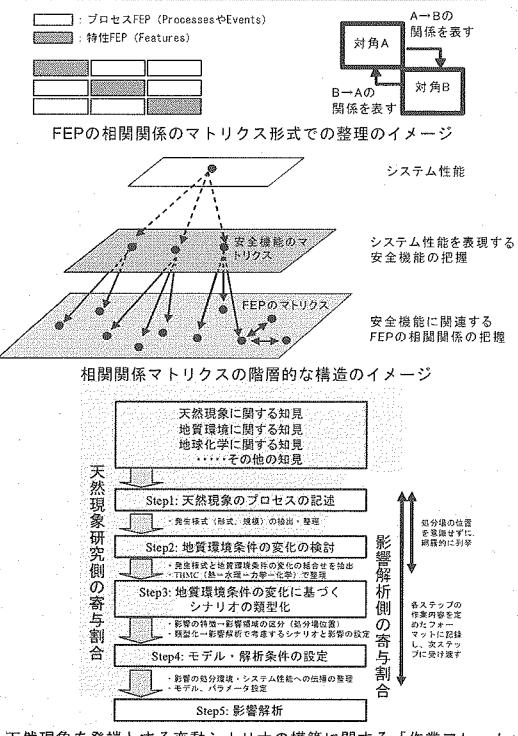
### ◆H17年取りまとめ

#### 【シナリオ解析技術】

- FEPの相関関係の処理の透明性、追跡性、合理性およびわかりやすさの向上を図るために、FEPの相関関係のマトリクス形式での整理と階層構造化

#### 【変動シナリオ】

- 天然現象を発端とする変動シナリオの構築に関する手順の整理（「作業フレーム」の整備）とTHMCを介した関連付け、整理手法の構築

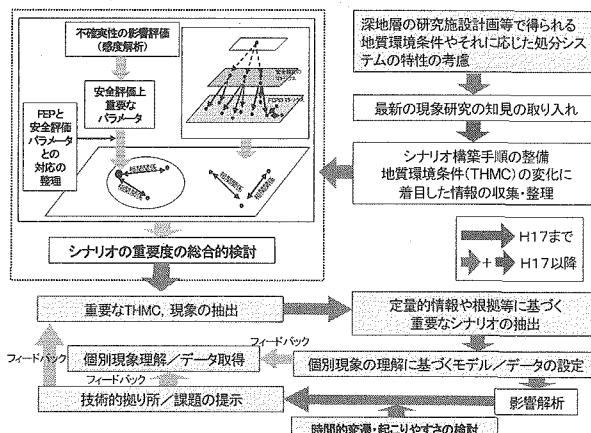


## シナリオ解析技術

6

### ◆今後5カ年の計画

- 相関関係マトリクスと階層構造化によるシナリオ抽出手法の詳細化と体系的な整備
- 実際の地質環境条件を考慮したFEP情報の整備や事例研究等の知見からシナリオ構築・影響解析・評価までを一貫して実施できる技術の整備と体系化
- FEP情報や事例研究等の知見に基づく定性的、あるいは感度解析結果等に基づく定量的なスクリーニングのプロセスおよび技術の整備



### ◆知識ベースへの反映

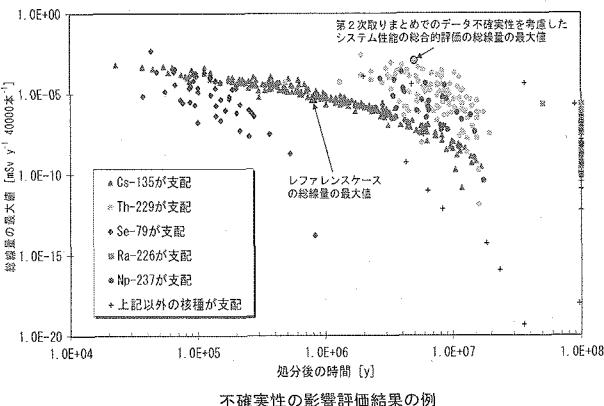
- 実際の地質環境条件や現象を考慮したスクリーニング手法の構築・モデル化
- 地域性、時間変遷など不確実性も考慮したシナリオ構築の考え方の整理
- 調査／事業段階に応じた評価手法の構築／開発

## 不確実性評価技術

7

### ◆H12までの成果

- ・決定論的な影響解析手法を基本として、幅広い地質環境を対象としたシステムの多様性、シナリオ、モデル、パラメータの不確実性を考慮した複数の決定論的影響評価とそれらの組み合せによる評価を実施



不確実性の影響評価結果の例

### ◆H17年取りまとめ

- ・パラメータの不確実性の程度を定量化するための基本的な情報処理の考え方の整理
- ・不確実性の影響評価に関する基本的な手法の整備
  - 複数のパラメータの不確実性を取り扱う確率論的影響解析のための核種移行解析モデルを開発
  - 確率論的影響解析手法と、H12の決定論的影響解析手法とを相補的に用いることにより、システム性能の安全裕度を効果的に提示

## 不確実性評価技術

8

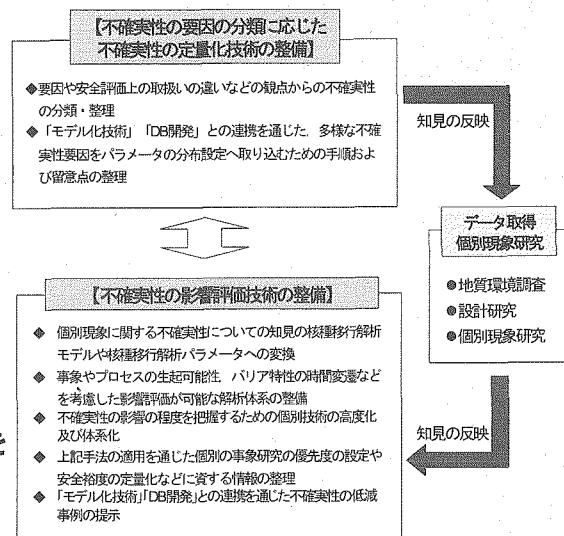
### ◆今後5カ年の計画

#### 【不確実性の要因の分類に応じた 不確実性の定量化技術の整備】

- ・不確実性の分類・整理
- ・多様な不確実性要因をパラメータの分布設定へ取り込むための手順および留意点の整理

#### 【不確実性の影響評価技術の整備】

- ・個別現象に関する不確実性、生起可能性や時間変遷などを考慮した不確実性の影響評価体系の整備
- ・不確実性の影響の程度を把握するための個別技術の高度化・体系化及び適用事例の蓄積
- ・「モデル化技術」「データベース開発」との連携を通じた不確実性の低減事例の提示



### ◆知識ベースへの反映

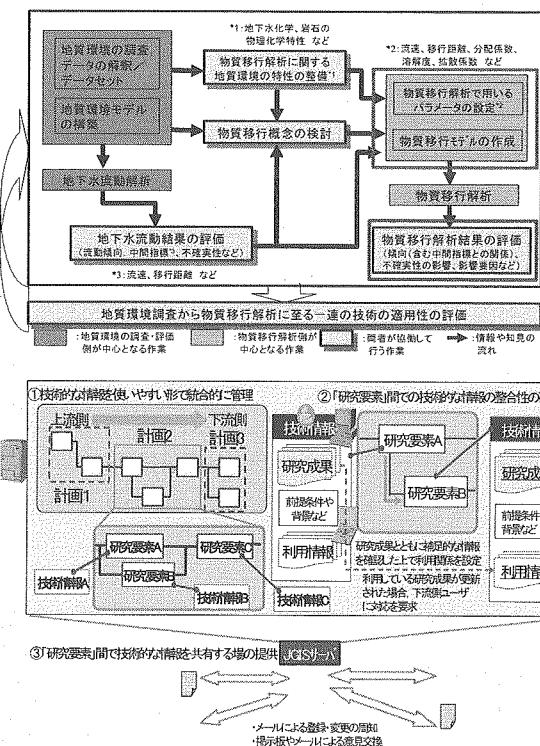
- ・不確実性の分類・整理及びパラメータの分布設定の考え方の整理
- ・個別現象の不確実性、生起可能性、時間変遷などを考慮した不確実性の影響評価の考え方の整理
- ・調査／事業段階に応じた不確実性の影響評価技術の適用事例

## 総合的な性能評価技術

9

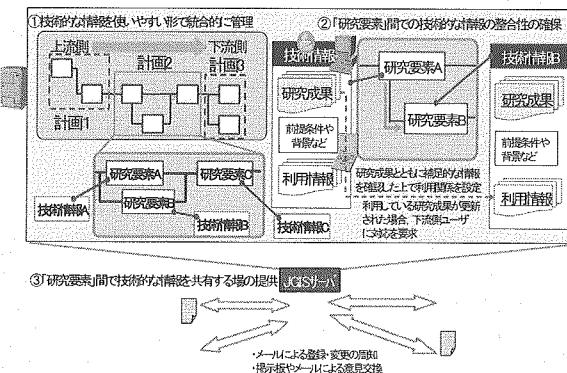
### ◆H12までの成果

- ・概説的な処分システムにおける各サブシステムの評価モデルを接続



### ◆H17年取りまとめ

- ・地質環境調査から物質移行解析にいたる一連の作業フローの構築、解析結果に高い感度をもつ因子の抽出や作業上の留意点の整理
- ・多種多様な課題に対する研究開発により得られる技術情報の管理支援システム (JGIS) の構築

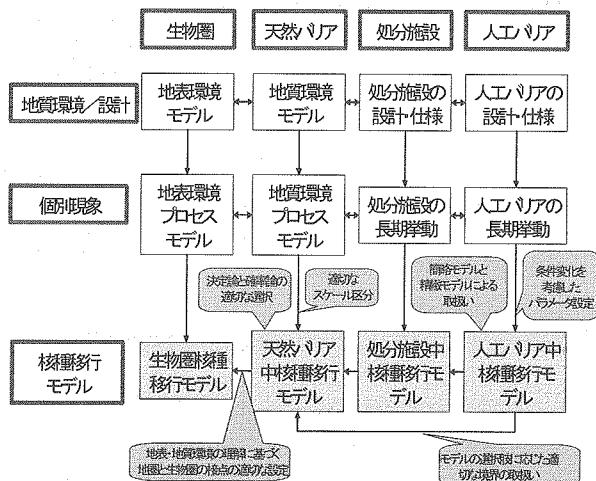


## 総合的な性能評価技術

10

### ◆当面5カ年の計画

- ・調査研究の進展に伴い利用可能になる情報、システムの時間的変化、地質環境に見合う適切なスケール区分に応じ、モデルなどを容易に変更できるような評価の柔軟性の確保
- ・総合的な性能評価の品質を示すための項目や手順を検討・整備することによる評価の信頼性の確保



### ◆知識ベースへの反映

- ・実際の地質環境の情報に基づく総合的な性能評価に関わる一連の作業を品質を確保しつつ行うための技術的な手引き
- ・評価結果の信頼性を向上させるための手法・考え方の整備

## 人工バリア中の核種移行－地下水化学／間隙水化学－

11

### ◆H12までの成果

#### 【地下水化学】

- ・化学平衡論に基づく地下水水質形成モデルを構築、地質環境を特定しない地下水水質を設定

#### 【間隙水化学】

- ・バッチ試験に基づいた間隙水水質形成モデルを構築、圧縮ペントナイト中の間隙水水質を設定

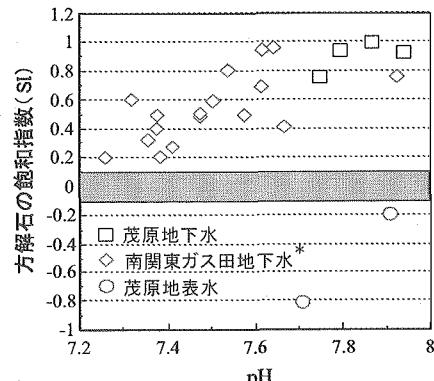
### ◆H17年取りまとめ

#### 【地下水化学】

- ・実際の地質環境における深部地下水の地表での測定値に対する信頼性評価と補正について、化学平衡論に基づく手法を例示

#### 【間隙水化学】

- ・人工バリアの設計や性能評価で必要となる圧縮ペントナイト中間隙水水質について、その時空間変化を把握するための試験手法の開発およびデータ取得を実施



(\*:南関東ガス田に位置する茂原以外のデータ)

深部地下水に対する一般的な知見  
→方解石に対し平衡 ( $SI = \pm 0.1$ )



深度1,000m以深から自噴する  
茂原地下水は、過飽和  $SI > 0.1$



pHは地表での測定値、 $\text{CO}_2(g)$ の脱ガス  
により変化している可能性あり

## 人工バリア中の核種移行－地下水化学／間隙水化学－

12

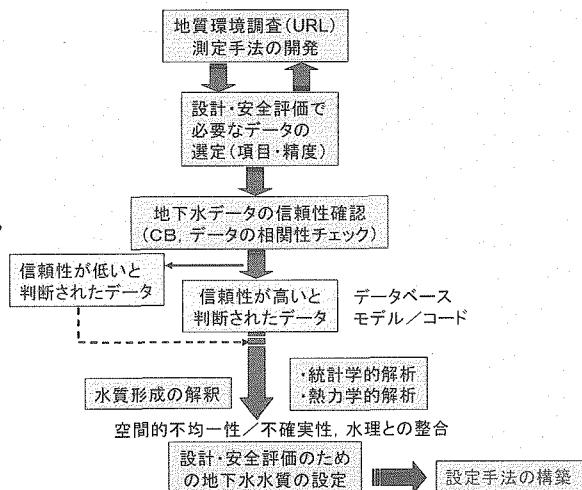
### ◆今後5カ年の計画

#### 【地下水化学】

- ・幌延を例に、実測データの信頼性評価と補正に関する適用性を検討、また、掘削に伴う地下水水質の変化を推定する手法を開発
- ・国内および諸外国における事例をもとに、地下水水質形成モデルの構築に関わる一連の技術の体系化

#### 【間隙水化学】

- ・幌延を例にしたデータの取得などによるモデルの適用性検討
- ・間隙水水質形成モデルの構築に関わる一連の技術の体系化



地下水水質設定の考え方の例

### ◆知識ベースへの反映

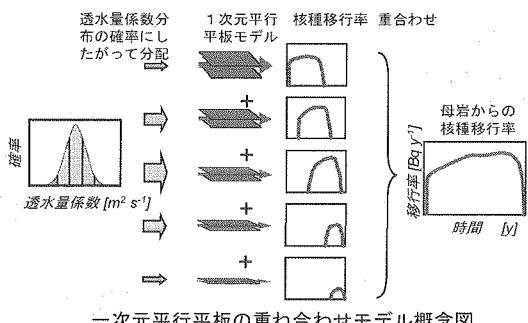
- ・ある地質環境が設定された場合の地下水／間隙水水質設定の考え方の整理
- ・地下水／間隙水水質設定で必要となる地球化学コード、データベースの整理

## 天然バリア中の核種移行－水理・物質移行－

13

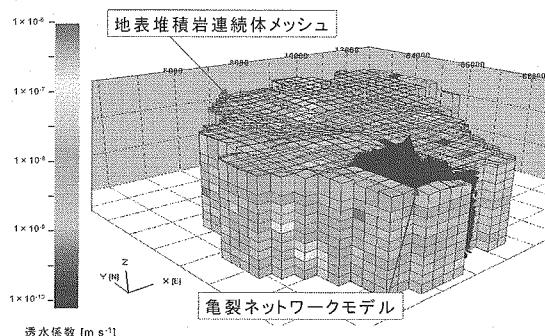
### ◆H12までの成果

- 結晶質岩、堆積岩とも、室内試験や原位置試験等から得られたデータに基づく三次元亀裂ネットワークモデルや連続体モデル等の詳細評価において、保守性・近似性を確認した一次元平行平板の重ね合わせモデルを用いてバリア性能を評価



### ◆H17年取りまとめ

- 性能評価上重要な岩盤中の水理・物質移行現象や岩盤の特性などについて、その影響を評価可能なモデル化手法を提示
- 概要調査での取得が想定されるデータに基づく水理・物質移行現象のモデル化技術の提示と、深地層の研究施設計画等のデータを用いた適用性を例示



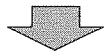
地上からの調査段階における瑞浪地域を対象とした地下水流动モデル例(入れ子式モデル化手法)

## 天然バリア中の核種移行－水理・物質移行－

14

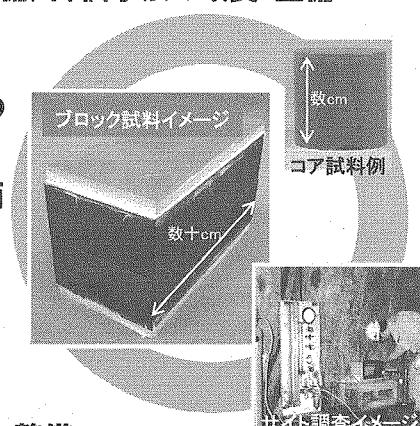
### ◆今後5カ年の計画

- 水理・物質移行現象に影響を及ぼす現象、特性の室内試験～サイト調査間のスケールの違いを補間するための、現象の理解、データの拡充・整備、評価手法の改良・整備
- 地質環境の特徴、調査段階の進展に応じた地下水流动の理解の程度や対象スケールの大きさ等へ柔軟に対応できる処分場周辺の水理・物質移行評価のための一連の技術の整備・改良、体系化
- 瑞浪・幌延の坑道掘削段階の地質環境データによる評価の試行、地上からの調査段階のデータによる評価との比較・検討を通じた評価手法の実用性の向上



### ◆知識ベースへの反映

- 岩盤中の亀裂の水理・物質移行特性などのデータの拡充・整備
- 室内試験～サイト調査間のスケールの違いを補間する知見の蓄積
- 処分場周辺の水理・物質移行評価に必要な一連の技術の整備・改良、体系的整理、瑞浪・幌延の地質環境データを用いた評価の試行による適用性の提示
- 地質環境データの解釈～地下水の移行経路特性の評価に付随する不確実性の整理



## 天然バリア中の核種移行—コロイド・有機物—

15

### ◆H12までの成果

#### 【コロイド】

- 簡略的モデルで評価、線量増加は数倍程度

#### 【有機物】

- 定性的な検討のみ

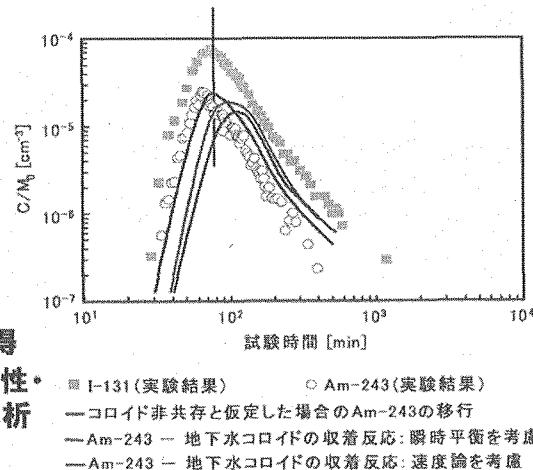
### ◆H17年取りまとめ

#### 【コロイド】

- ペントナイトコロイドとCsとの相互作用データ取得
- CRR<sup>\*</sup>原位置実験結果をCOLFRAC-MRL(亀裂性・多孔質媒体を対象、反応速度を考慮可能)で解析

#### 【有機物】

- フミン酸とTh・Npとの相互作用データ取得



CRR原位置実験結果のCOLFRAC-MRLによる解析結果

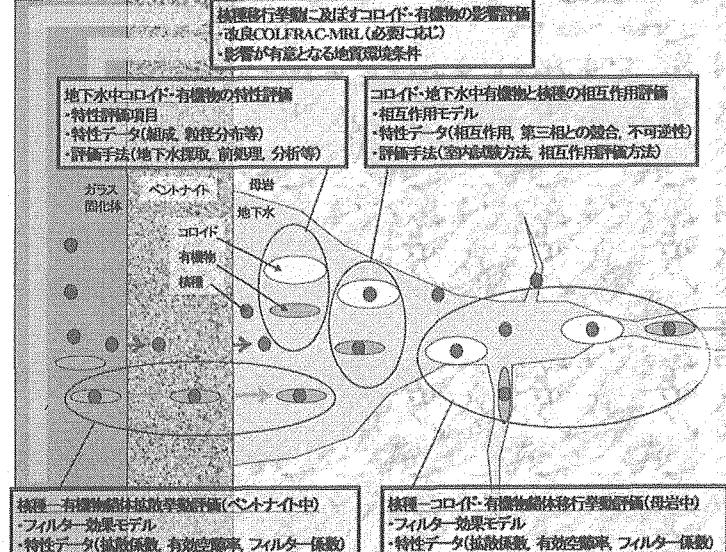
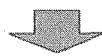
\* CRR: Colloid and Radionuclide Retardation Experiment

## 天然バリア中の核種移行—コロイド・有機物—

16

### ◆今後5カ年の計画

- 地下水中コロイド・有機物の特性評価手法の整備とデータ取得
- 核種との相互作用評価手法の整備とデータ取得・モデル化
- フィルター効果等移行挙動のモデル化とデータ取得
- COLFRAC-MRLを用いた感度解析・影響が有意となる地質環境条件の抽出



### ◆知識ベースへの反映

- 特性評価手法と特性データ、核種との相互作用評価手法と相互作用データ
- 相互作用モデル、移行挙動モデル、それらを反映した影響評価コード
- コロイド・有機物影響の性能評価における取り扱い

## 生物圏での移行／被ばく

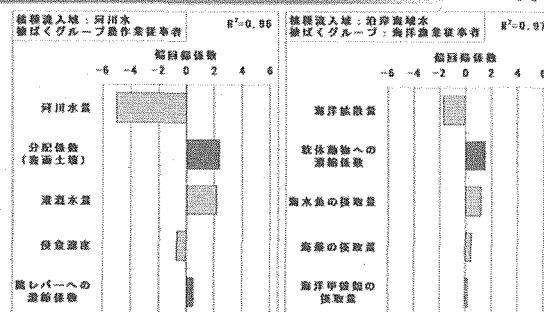
17

### ◆H12までの成果

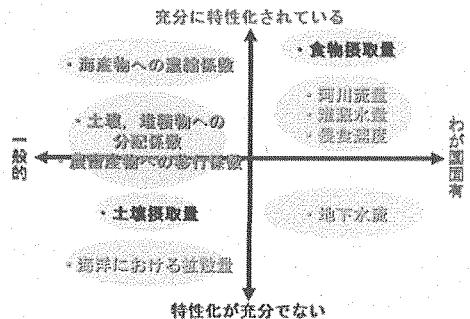
- ・わが国の幅広い地表・地質環境を考慮した生物圏評価モデルを構築、線量への換算係数を算出

### ◆H17年取りまとめ

- ・わが国の幅広い地表環境を考慮した仮想的な環境パターンに対する地図と生物圏とのインターフェイス(GBI)の設定に関わる検討
- ・パラメータの重要度分析と現在の設定状況の整理
- ・補完的指標としての天然放射性核種濃度、フラックスの検討



モンテカルロシミュレーションの結果に対する  
感度解析の結果例(Cs-135)



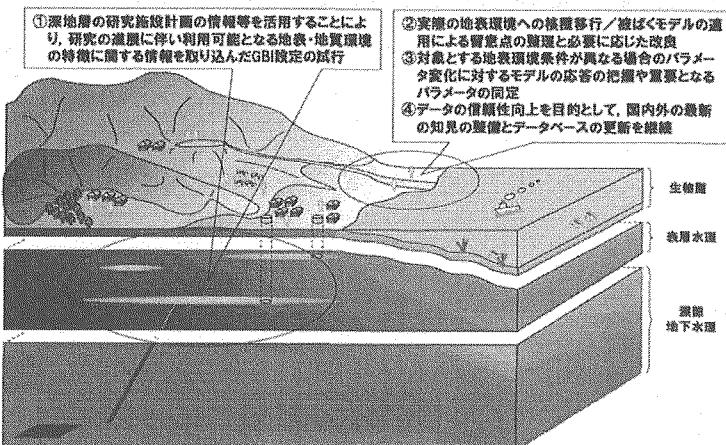
第2次取りまとめ生物圏評価で用いた  
パラメータの設定状況の整理結果の例

## 生物圏での移行／被ばく

18

### ◆今後5カ年の計画

- ・実際の環境条件を考慮したGBI設定手法および地表環境での核種移行／被ばくのモデル化技術の改良・整備



### ◆知識ベースへの反映

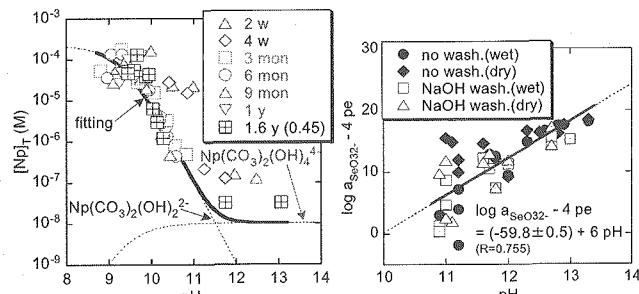
- ・実際の環境条件を考慮した生物圏評価に関する考え方の整理、ツールの整備
- ・将来の環境変遷を考慮した場合の時間枠に応じた評価手法・考え方の整備
- ・人間の放射線影響(線量・リスク)以外の指標を用いた評価に必要な手法・ツールの整備

## 放射性元素の熱力学データベースの整備

19

### ◆H12までの成果

- ・JNC-TDBを整備し、溶解度設定、溶存化学種推定に利用



### ◆H17年取りまとめ

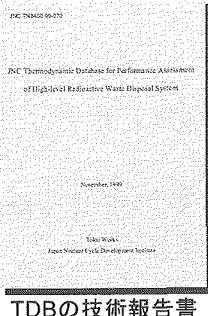
- ・An(IV), Se等の溶解度試験
- ・TDBのホームページでの公開  
(<http://migrationdb.jaea.go.jp/>)

### ◆H17年度(下期)

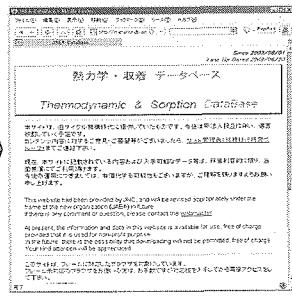
- ・An(IV), Se等の試験研究(溶解度、酸化還元反応)の継続
- ・TDB更新計画書の作成およびレビュー

Np(IV)の溶解度測定  
A. Kitamura and Y. Kohara:  
Radiochim. Acta, 92, 583 (2004)

Fe $Se_2(cr)$ の溶解度測定  
A. Kitamura, M. Shibata and H. Kitao:  
Mat. Res. Soc. Symp. Proc., 807, 609 (2004).



TDBの技術報告書



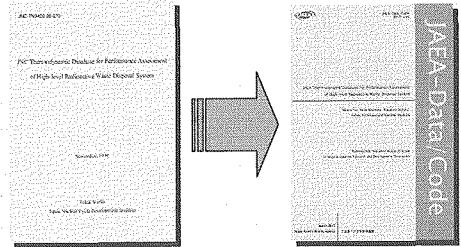
データベースホームページ

## 放射性元素の熱力学データベースの整備

20

### ◆今後5カ年計画

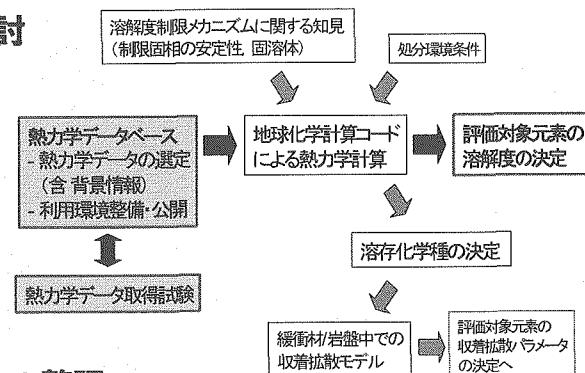
- ・最新のデータベースの整備・公開
- ・核種移行解析における溶解度設定手順および手法の整備
  - An(IV), Se等の試験研究の継続
  - TDBに反映すべきデータの抽出
  - 化学アノログやモデル推定値の検討



TDBの技術報告書 (1999) 新JAEA-TDB (2010予定)

### ◆知識ベースへの反映

- ・信頼性の高い溶解度設定手法の整理
- ・既存の熱力学データの信頼性評価手法の整理

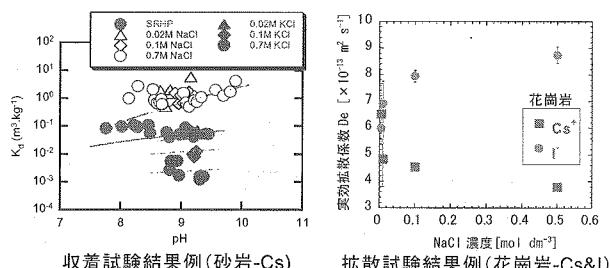


## ◆ 収着・拡散データベースの整備

21

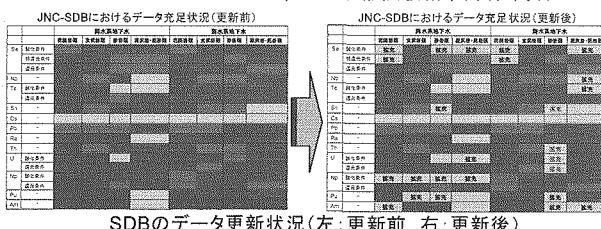
### ◆ H12までの成果

- 降水系地下水を中心とした収着分配係数や拡散係数の実測データの拡充とデータベースの整備



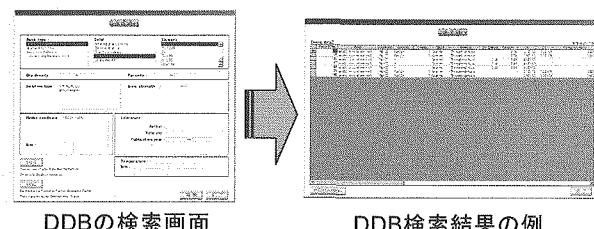
### ◆ H17年取りまとめ

- 海水系環境でのデータ取得
- 収着データベース(SDB)の更新  
およびホームページでの公開  
(<http://migrationdb.jaea.go.jp/>)



### ◆ H17年度(下期)

- 岩石に対する拡散データベース(DDB)の作成
- 分配係数データ取得手法の標準化

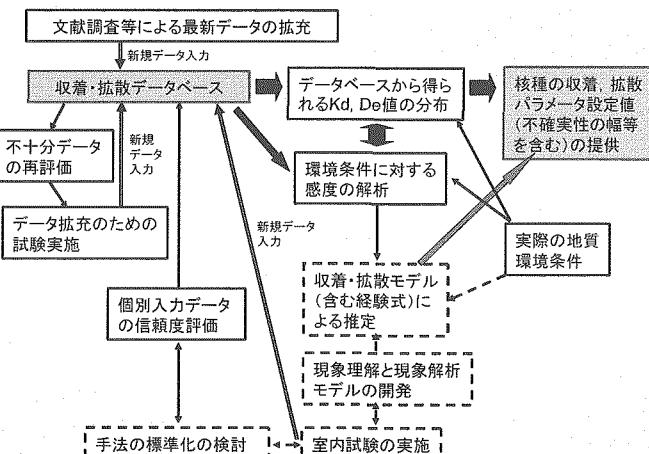


## ◆ 収着・拡散データベースの整備

22

### ◆ 今後5ヵ年計画

- DDBの公開
- SDB/DDBの継続的な更新
- 分配係数や拡散係数の設定手順  
および手法の整備
  - 登録データへの信頼度付与
  - 幌延等の地質環境に対する  
SDB/DDBの適用性の検討



### ◆ 知識ベースへの反映

- 信頼性の高い分配係数・拡散係数設定手法の整理
- 既存の分配係数・拡散係数に対する信頼性評価手法の整理

## 知識ベースへの反映例のまとめ(性能評価)

23

知識ベースに反映する成果の例	分類の例
<ul style="list-style-type: none"> <li>・室内試験～サイト調査間のスケールの違いを補完する知見の蓄積 [水理・物質移行]</li> <li>・岩盤中の亀裂の水理・物質移行特性などのデータの拡充・整備 [水理・物質移行]</li> <li>・特性評価手法と特性データ、核種との相互作用評価手法と相互作用データ [コロイド・有機物]</li> <li>・特性評価手法開発と特性データ、核種との相互作用データ取得 [微生物]</li> </ul>	データ、経験・ノウハウ
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ガラス溶解の現象理解／安全評価における浸出モデル構築に反映可能なツール(ガラスデータベース)の整備 [ガラス固化体]</li> <li>・地下水／間隙水水質設定で必要となる地図化コード、データベースの整理 [地下水化学／間隙水化学]</li> </ul>	データ、ソフトウェア
<ul style="list-style-type: none"> <li>・実際の地質環境条件や現象を考慮したスクリーニング手法の構築・モデル化 [シナリオ解析技術]</li> <li>・調査／事業段階に応じた評価手法の構築／開発 [シナリオ解析技術]</li> <li>・相互作用モデル、移行挙動モデル、それらを反映した影響評価コード [コロイド・有機物]</li> <li>・相互作用モデル、移行挙動モデル、それらを反映した影響評価コード [微生物]</li> <li>・実際の環境条件を考慮した生物圈評価に関する考え方の整理、ツールの整備 [生物圏での被ばく]</li> <li>・将来の環境変遷を考慮した場合の時間的に応じた評価手法・考え方の整備 [生物圏での被ばく]</li> <li>・人間の放射線影響(線量・リスク)以外の指標を用いた評価に必要な手法・ツールの整備 [生物圏での被ばく]</li> </ul>	ソフトウェア、経験・ノウハウ
<ul style="list-style-type: none"> <li>・地域性、時間変遷など不確実性も考慮した、シナリオ構築の考え方の整理 [シナリオ解析技術]</li> <li>・不確実性の分類・整理及びパラメータの分布設定の考え方の整理 [不確実性評価技術]</li> <li>・調査／事業段階に応じた不確実性の影響評価技術の適用事例 [不確実性評価技術]</li> <li>・個別現象の不確実性、生起可能性、時間変遷などを考慮した不確実性の影響評価の考え方の整理 [不確実性評価技術]</li> <li>・評価結果の信頼性を向上させるための手法・考え方の整備 [総合的な性能評価技術]</li> <li>・安全評価における長期溶解速度設定の考え方の整理 [ガラス固化体]</li> <li>・ガラスからの核種溶出および緩衝材中の核種移行評価に関する評価手法の整備 [ガラス固化体]</li> <li>・ある地質環境が設定された場合の地下水／間隙水水質設定の考え方の整理 [地下水化学／間隙水化学]</li> <li>・安全評価で必要となる収着係数や拡散係数設定の考え方の整理 [緩衝材中核種移行]</li> <li>・ハッチ式収着試験から得られる分配係数の圧密系への適用手法の整備 [緩衝材中核種移行]</li> <li>・固溶体を含む溶解度制限固相の設定手法の整備 [緩衝材中核種移行]</li> <li>・処分場周辺の水理・物質移行評価に必要な一連の技術の整備・改良、体系的整理、瑞浪・幌延の地質環境データを用いた評価の試行による適用性の提示 [水理・物質移行]</li> <li>・地質環境データの解釈～地下水の移行経路特性の評価に付随する不確実性の整理 [水理・物質移行]</li> <li>・収着分配係数・拡散係数設定のための収着・拡散モデルの整備 [天然バリア中収着・拡散]</li> <li>・コロイド・有機物影響の性能評価における取り扱い [コロイド・有機物]</li> <li>・微生物影響の性能評価における取り扱い [微生物]</li> <li>・信頼性の高い熱力学データ取得の設定手法の整理 [放射性元素の熱力学データベースの整備]</li> <li>・既存の熱力学データの信頼性評価についての手法の整理 [放射性元素の熱力学データベースの整備]</li> <li>・信頼性の高い分配係数・拡散係数取得の手順および手法の整理 [収着・拡散データベースの整備]</li> <li>・既存の分配係数・拡散係数に対する信頼性評価手法の整理 [収着・拡散データベースの整備]</li> </ul>	経験・ノウハウ、ガイダンス
・実際の地質環境の情報に基づく総合的な性能評価に関わる一連の作業を品質を確保しつつ行うための技術的な手引き [総合的な性能評価技術]	統合化した知識、ガイダンス

地層処分研究開発検討委員会

資料第1-5号

**長半減期低発熱放射性廃棄物(TRU廃棄物)の地層処分研究開発について  
報告概要**

**1. 表題**

長半減期低発熱放射性廃棄物処分研究の方針と計画

**2. 審議事項**

標記課題の研究に対するニーズを踏まえた研究テーマの選択および取り組みのアプローチ、成果の反映の見通しについて審議いただきたい。

**3. 外部情勢・研究のニーズ**

TRU-2 の公開を踏まえ、原子力委員会長半減期低発熱放射性廃棄物処分技術検討会において、「合理化」としての“高レベル廃棄物との併置処分”に係る検討が進められ、その報告書においてその技術的成立性があるものと判断されました。

現在、その原子力委員会での結論を踏まえ、総合資源エネルギー調査会電気事業分科会原子力部会放射性廃棄物小委員会において長半減期低発熱放射性廃棄物の処分事業形態等について制度化に関する審議が行われています。

JAEAとしては、制度化対応に向けての多方面の検討事項に応えられるように技術的エビデンスを整備し協力していくことが求められています。

**4. 対象研究項目とアプローチ**

(1) 多様な地質環境に適用できる長半減期低発熱放射性廃棄物処分の安全性検証のための研究と、(2) 長半減期低発熱放射性廃棄物と HLW との併置処分を念頭において、相互影響に関する信頼性の高い研究がとくに重要。TRU-2 では併置処分の技術的可能性の例が示された段階であるが、今後は実際の地質環境における現象の理解等にもとづいた合理化を指向します。このため、HLW の処分研究と一層の連携体制を組んで以下のテーマに取り組みます。

**(1)多様な地質環境に適用可能な処分の安全性の検証****・セメント(高 pH 液)の緩衝材への影響**

岩盤の透水性が高い場合に緩衝材のバリア機能が長期に確保できること、とくに I-129 に関して拡散場が確保できることがきわめて重要。本件は HLW と共に重要なテーマ。

**・天然バリアの知見拡充と評価モデルへの反映**

評価上有効性の大きい天然バリア機能評価の精緻化研究。本研究は HLW と共に。

**・地質環境の多様性に対応できる基本データの拡充**

地質環境の多様性(塩水環境、堆積岩環境)に対応でき、かつ長半減期低発熱放射性廃棄物に特徴的な高 pH、有機物等の影響に関わる地球化学、核種移行評価、生物圏評価に関する基本データの拡充。なお、データベース化は HLW と連携し、常に更新されます。

**(2)併置処分における廃棄物相互の影響**

TRU-2 では、HLW と TRU 廃棄物の相互の影響がないように配置することで、併置処分が可能という考え方をとっています。当面この考え方を踏襲しつつ以下の課題が

挙げられます。なお、今後の知見の蓄積等により、相互影響と処分の成立性の関係がより定量的に明らかになっていくものと考えられます。今後このような視点は、より合理性のある処分場配置にとって重要なこととなります。

#### ・硝酸塩の影響

HLW 処分への酸化環境の波及の可能性について検討が必要です。仮に HLW 処分場が酸化的環境になった場合には、セレン、アクチニド等の溶解度上昇により、HLW に由来する線量が増大するものと考えられます。このような観点から、地下深部環境での硝酸イオンの挙動を高い信頼性を持って把握することが重要（現在の評価では  $\text{NO}_3^-$  と仮定）。一方、硝酸系環境での核種移行データの蓄積も重要です。

#### ・硝酸塩に関する代替技術

民間再処理が硝酸塩分解を選択した場合は、硝酸塩含有廃棄物処分は JAEA 固有の課題となる可能性もあります。LWTF の濃縮廃液と JNC から発生した既存のアスファルト固化体につき、脱硝技術を有しておくことは重要です。

### 5. 成果の反映の見通し

上記成果については、原子力委員会の長半減期低発熱放射性廃棄物処分技術検討会報告書の主旨も踏まえつつ、予定されている精密調査地区選定時期を一応の目安として、平成 22 年ころを目処に関係機関と協力して取りまとめ報告書として出版すべきと考えます。そのなかには処分の一層の合理化に向けた検討の進捗も含めることとします。それは、長半減期低発熱放射性廃棄物と HLW を包含する地層処分相当廃棄物に対するより適切な処分方法、その段階におけるセーフティケースを提示するものと考えます。

このまとめ方についての留意点、ご意見などを伺い、今後の計画実施に反映するものといたします。

以上

地層処分研究開発検討委員会（7月25日）

# 長半減期低発熱放射性廃棄物 処分研究の方針と計画

平成18年7月

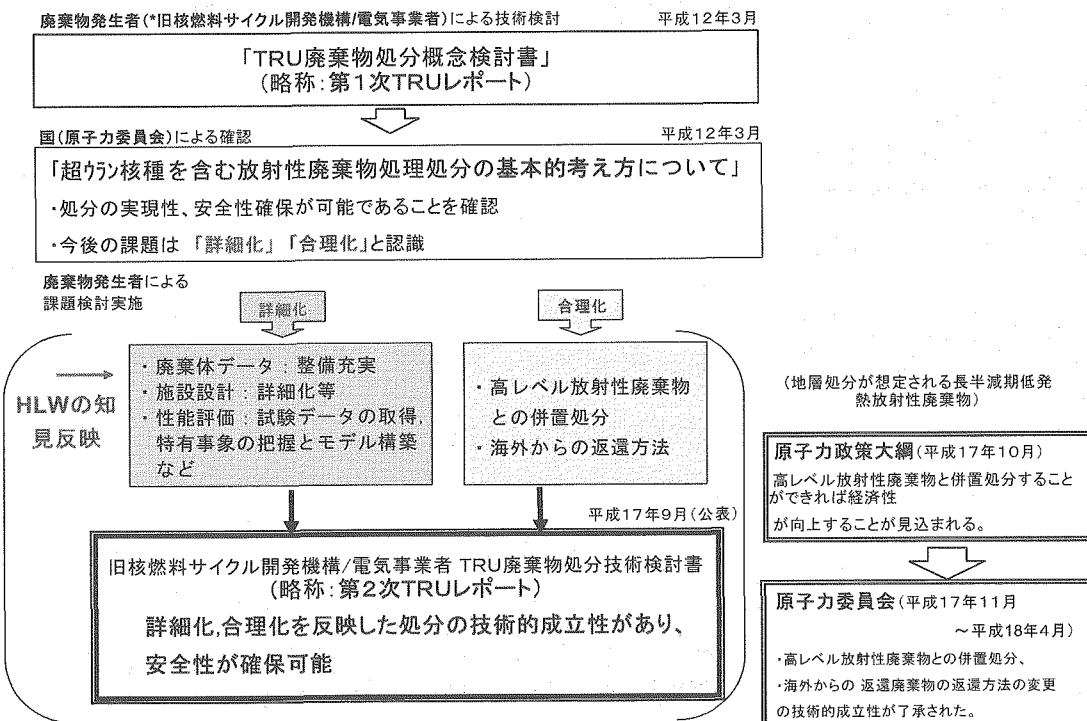
日本原子力研究開発機構  
地層処分研究開発部門  
地層処分基盤研究開発ユニット  
TRU廃棄物処分研究グループ  
亀井玄人、本田明、三原守弘

1

## 第2次TRUレポート段階までの整理

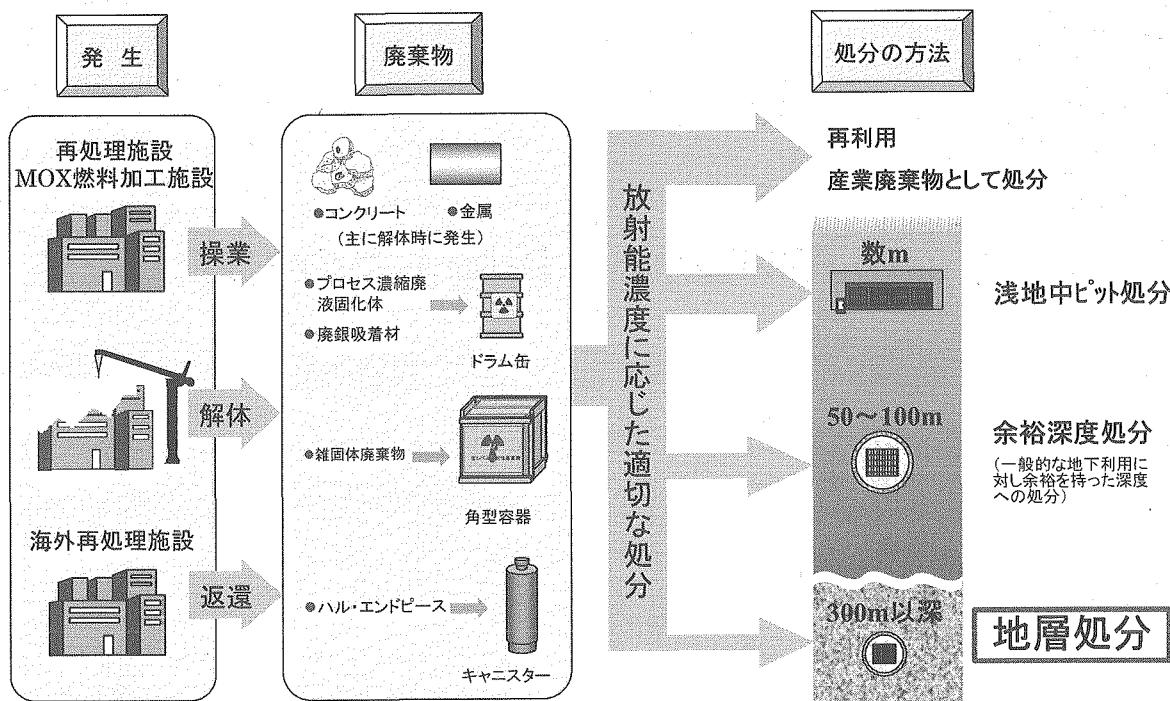
2

## 経緯



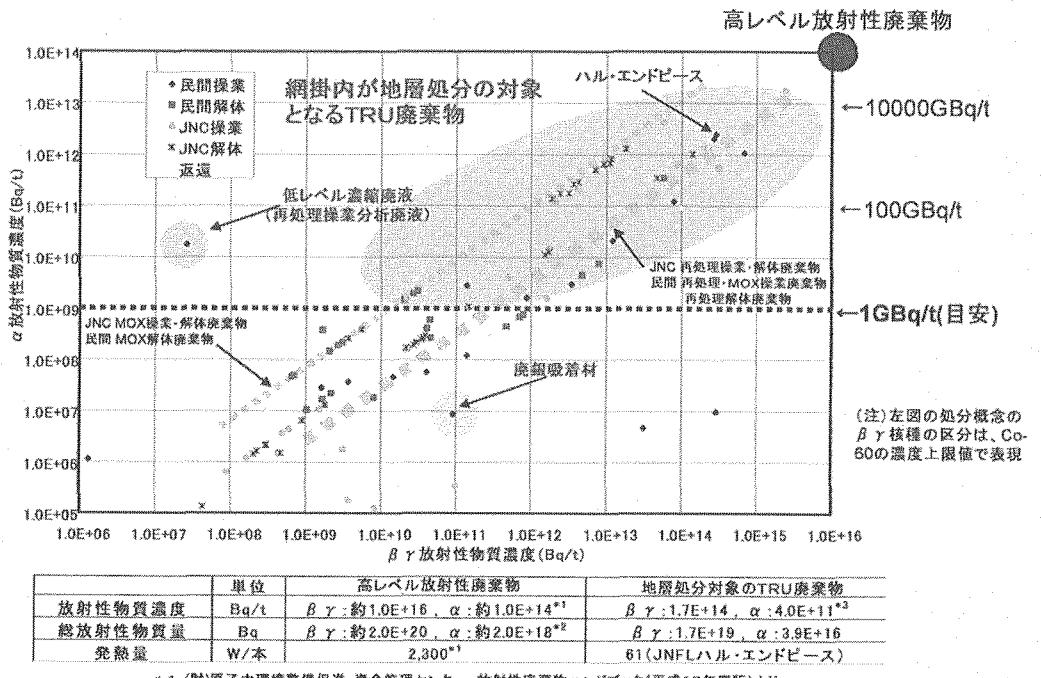
3

## 長半減期低発熱放射性廃棄物の処分の方法



4

## 長半減期低発熱放射性廃棄物の放射性物質濃度



第2次TRUレポートより

5

## 地層処分対象のグループ分け

	グループ1	グループ2	グループ3	グループ4
概要	<b>廃銀吸着材</b>  放射性のヨウ素を除去する吸着材	<b>ハル (断面)</b>  <b>エンドピース</b> 	<b>濃縮廃液等</b> <b>硝酸系廃液</b>  <b>硝酸系廃液の処理例</b>	<b>難燃性廃棄物</b>  <b>ゴム手袋</b> <b>不燃性廃棄物</b>  <b>工具</b> <b>金属配管</b>
廃棄体イメージ	(例) 	(例) 	(例) 	(例) 
特徴	• I-129を含む • 発熱量が比較的大 • C-14を含む	• 発熱量が比較的大 • C-14を含む	• 硝酸塩を含む	—

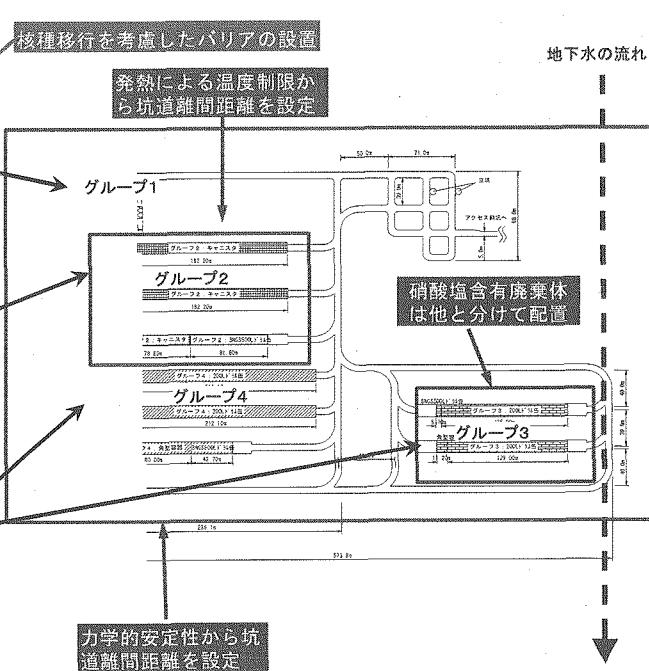
6

## 処分施設設計の例

【各坑道断面レイアウトの例】

グループ	内容 (発生量)	特性	バリア	円形処分坑道の例 (単位:m)
1	廃銀吸着材のセメント固化体 (300m <sup>3</sup> )	半減期が長く地下水と共に移行しやすい核種(I-129)を含む	止水性能の高いバリア(緩衝材)	
2	ハル・エンド・ビース圧縮収納体 (6,700m <sup>3</sup> )	発熱がある 半減期が長く地下水と共に移行しやすい核種(C-14)を含む	止水性能の高いバリア(緩衝材)を設置する	
3	アスファルト固化体等の濃縮廃液固化体 (6,200m <sup>3</sup> )	硝酸塩を含む	止水性能の高いバリア(緩衝材)は設置しない	
4	焼却灰、不燃物セメント固化体等 (13,400m <sup>3</sup> )	—	—	

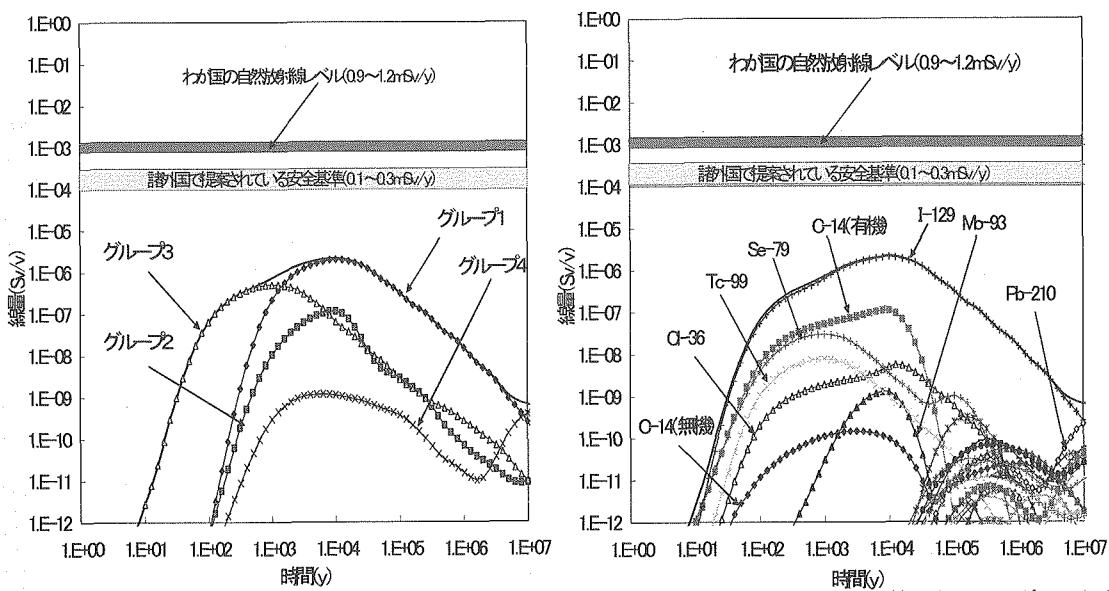
【処分場平面レイアウトの例】



第2次TRUレポートより 7

### わが国地質環境として一般的と考えられる条件での解析結果

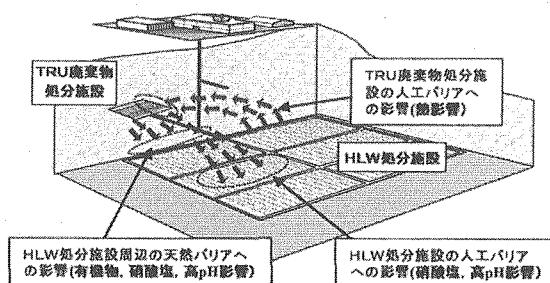
- 諸外国で提案されている安全基準(0.1~0.3mSv/y)を十分下回る。ちなみに、最大線量は約10,000年で、約0.002mSv/y
- 主要核種は、グループ1のI-129、次はグループ2の有機形態のC-14



第2次TRUレポートより 8

## 併置処分の基本的考え方

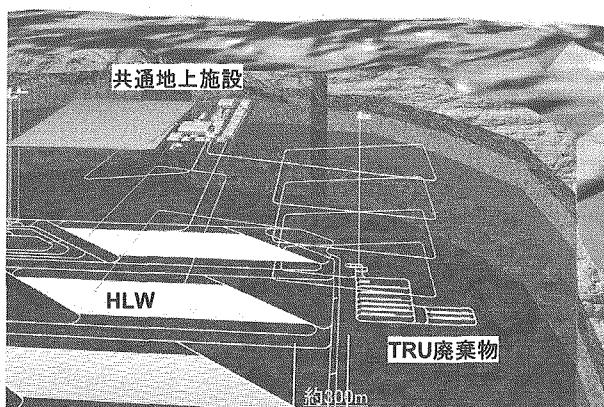
- 廃棄物処分場間の相互影響について検討
- 各々の影響が小さくなるように処分施設のレイアウトを検討
  - 各々の廃棄物の処分が影響を及ぼす因子として以下の影響を評価
    - 熱
    - 有機物
    - 硝酸塩
    - 高pH溶液



\*長半減期低発熱放射性廃棄物をTRU廃棄物と表記

9

## 併置処分の概念例と相互影響評価結果



\*長半減期低発熱放射性廃棄物をTRU廃棄物と表記

相互影響因子	影響	離間距離の目安
熱 (高レベル放射性廃棄物→TRU廃棄物)	セメントの吸着性低下	約50m
有機物 (TRU廃棄物→高レベル放射性廃棄物)	溶解度上昇 吸着分配係数低下	約20m
硝酸塩 (TRU廃棄物→高レベル放射性廃棄物)	吸着分配係数低下 金属腐食	約300m
高pH (TRU廃棄物→高レベル放射性廃棄物)	ペントナイト変質 金属腐食 ガラスの溶解	約30m

施設間の離間距離として数100mを確保することにより、相互影響をほぼ回避することができるという見通し。ただし、今回の相互影響に関する解析は保守的な仮定も多く、かつ、亀裂性母岩に対する不確実性もあることから、今後は具体的な地質環境条件においてより詳細な解析を実施する必要がある。

第2次TRUレポートより 10

## 今後の方針と計画

11

## 原子力政策大綱

国は、事業者による地層処分が想定されるTRU廃棄物と高レベル放射性廃棄物を併置処分する場合の相互影響等の評価結果を踏まえ、その妥当性を検討し、その判断を踏まえて、実施主体のあり方や国の関与等も含めてその実施に必要な措置について検討を行うべきである。

12

## 原子力委員会

### 長半減期低発熱放射性廃棄物処分技術検討会

#### 1. 議論のポイント

##### 事業者による評価結果の妥当性評価

- ①相互影響因子の絞込み方法及び現時点において評価すべき因子の妥当性
- ②評価モデル、解析条件、使用パラメータ及び解析結果の妥当性
- ③処分レイアウト等の妥当性

#### 2. 結論

…両処分施設に関する相互影響をそれぞれ回避することを前提とし、離間距離を確保することにより、併置処分が技術的に成立することを確認した。

今後は処分サイト選定プロセスの進展に合わせて、より詳細な解析を行うとともに、併置処分システム概念の最適化に関する検討が必要である。なお、今後は相互影響は完全に回避するのではなく、その許容範囲等についても検討し、合理化に関する検討も必要である。

13

## 状況（2006年7月現在）

### ・ 原子力委員会

- 高レベル放射性廃棄物との併置処分等の技術的成立性を定例会(平成18年4月18日)にて了承

### ・ 資源エネルギー庁

- 長半減期低発熱放射性廃棄物処分の制度化への準備
- 研究開発の効率的な推進のための役割分担の検討  
(地層処分基盤研究調整会議、全体マップの作成)

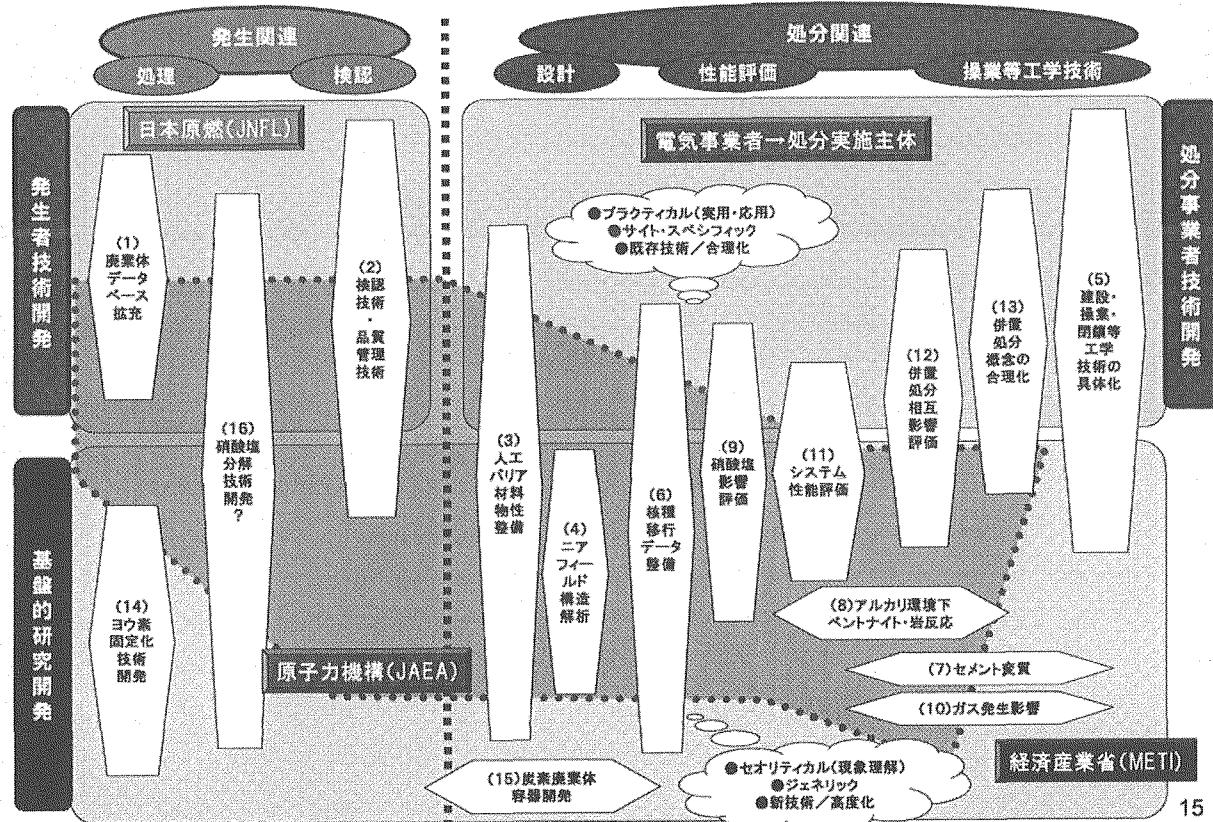
### ・ 原子力安全・保安院

- 規制に向けた準備

14

## 長半減期低発熱放射性廃棄物地層処分に関する技術開発課題の位置付け &amp; 役割分担マップ

経済産業省殿作成



15

## 当面の重点課題 (地層処分研究開発調整会議での検討)

### 1. 併置処分の評価に係る信頼性向上

- 硝酸塩等の影響に係る現象理解とデータ・評価モデルの信頼性向上
- 性能評価技術の体系化・高度化(処分場スケールでの相互影響評価考慮など)

### 2. ジェネリックな評価基盤の拡充 (HLW評価基盤との平仄)

- 塩水環境下でのデータやモデルの整備など、多様な地質環境を対象とした評価基盤の拡充
- 高アルカリ環境での人工バリア等の長期健全性に関するデータ拡充と評価モデルの信頼性向上

### 3. 幅広い地質環境に柔軟に対応するための代替技術開発

- ヨウ素固定化・浸出抑制技術の実現性の提示
- C-14の放出・移行評価の信頼性向上と閉じ込め容器の開発
- 硝酸塩影響の不確実性低減のための硝酸塩分解技術

16

## 重点安全研究計画

### 高 $\beta$ ギャモウ廃棄物、TRU廃棄物、ウラン廃棄物の処理処分

#### 低レベル放射性廃棄物の処分に関する研究

- ・TRU廃棄物及びウラン廃棄物の処分について、評価シナリオの設定、固体化・人工バリア・天然バリアの機能評価等を含めた安全評価手法を開発・整備する。また、処分方法ごとの濃度上限値設定に必要な解析を行う。(以下、略)

#### 放射性廃棄物処分の長期的評価手法の調査

- ・高レベル放射性廃棄物及びTRU廃棄物等を対象に、長寿命核種を含む放射性廃棄物の地層処分等に関して、長期的安全評価手法を開発し、処分にともなう環境影響の不確かさを定量的に明らかにし、地層処分等の安全性の確認及び安全基準等の策定に資する。

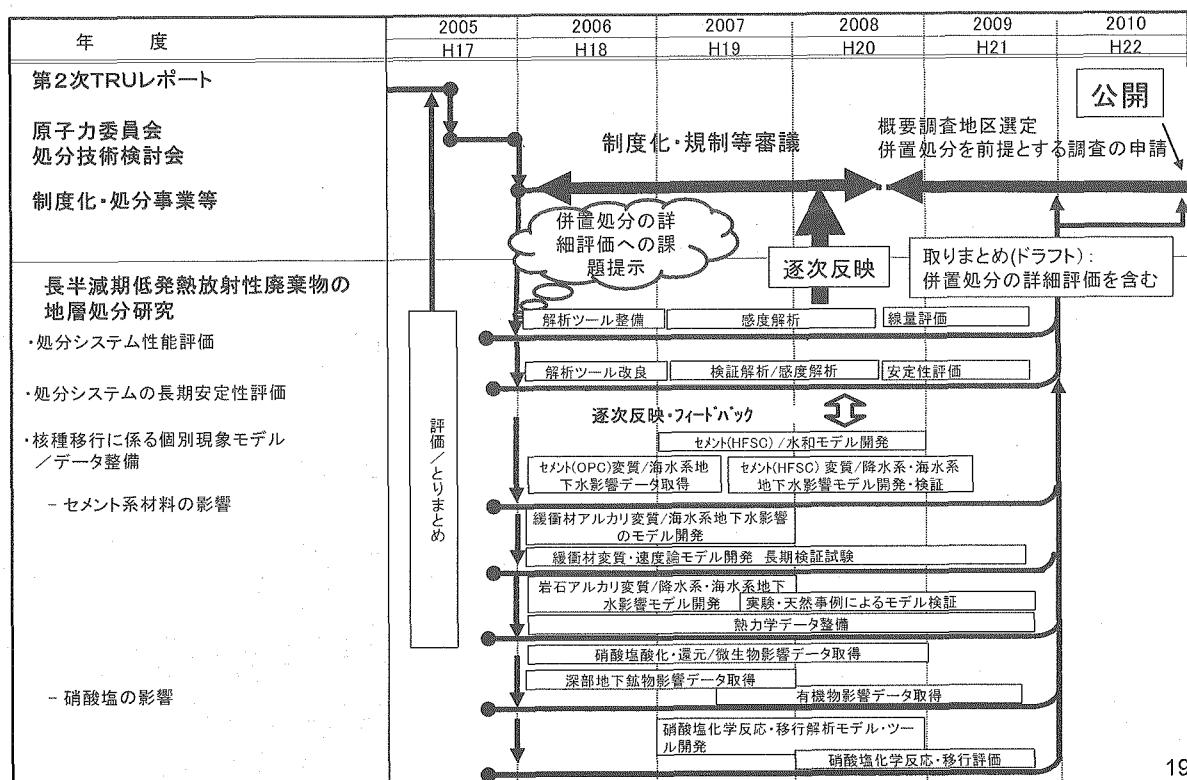
17

### 以上を踏まえて… JAEAの今後の取り組み

1. 多様な地質環境に適用できる長半減期低発熱放射性廃棄物処分の安全性検証のための研究；セメントや、アルカリ性環境での緩衝材、岩盤の長期挙動、海水系地下水環境でのデータ拡充など
2. 併置処分における処分場間の相互影響に関する信頼性向上のための研究；硝酸影響に関するさらなる現象解明など(地下深部環境を考慮したデータ取得・確証)
3. 安全評価技術の高度化
4. 不確実性低減のための研究；硝酸分解技術など(代替技術)

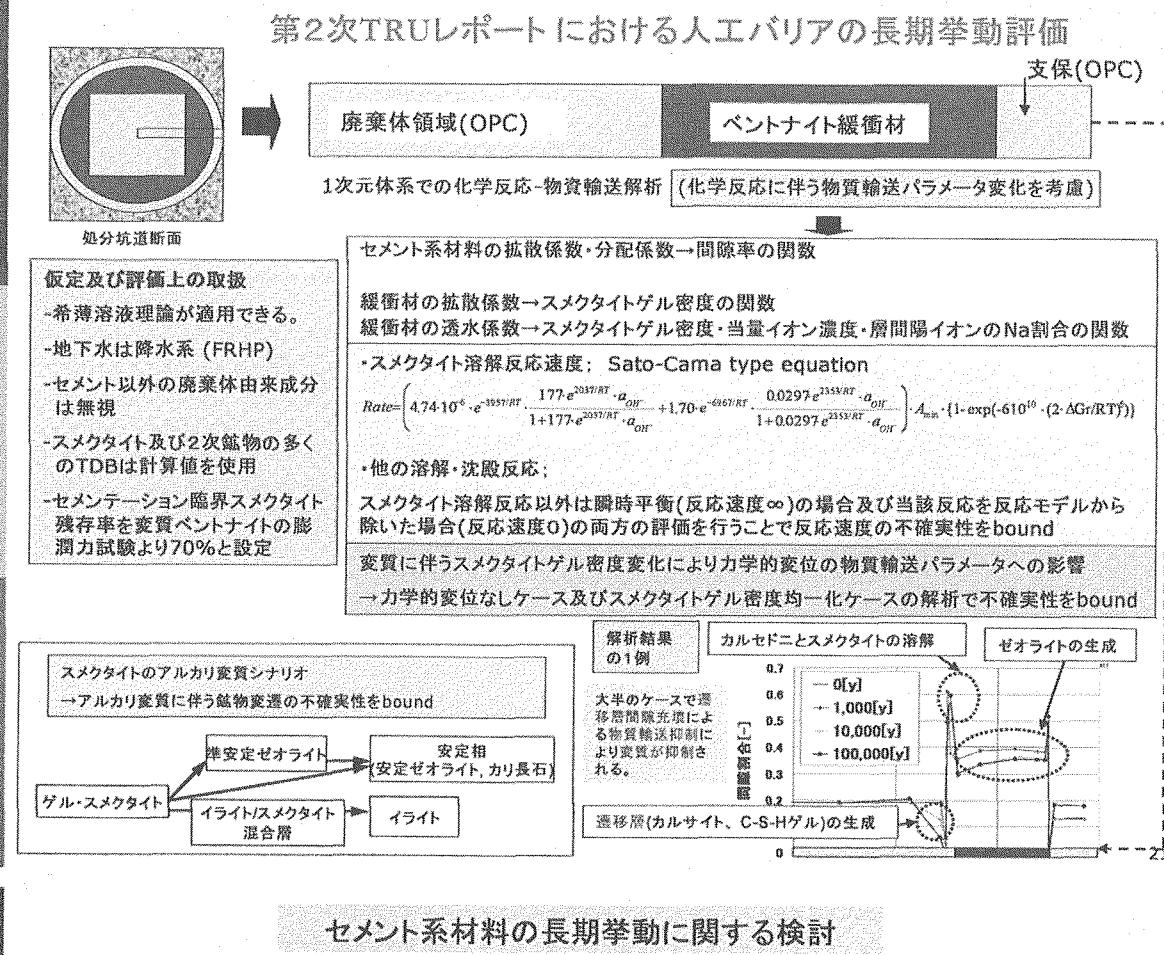
18

## 長半減期低発熱放射性廃棄物処分事業スケジュールにおけるJAEAの処分研究開発



19

## バリアシステム（セメント-緩衝材-岩盤） の長期挙動に関する研究計画



### セメント系材料の長期挙動に関する検討

## ◆研究開発の目標、概要

- I. 研究目標: 多様なセメント-多様な化学物質(地下水及び廃棄体等処分施設由来)との反応による化学的変質現象の解明とモデルへの反映・高度化**
- 1) OPCの海水系地下水によるMg影響やFriedel氏塩生成時のpH上昇に関する詳細検討
  - 2) JAEAの低アルカリ性セメント(以下HFSC)の水和反応過程の詳細な検討
  - 3) セメント系材料(OPC, HFSC)と地下水、廃棄体由来の化学物質(海水影響や硝酸、硫酸、リン酸、炭酸等)による化学的変質影響評価(Ex. OPC-海水系地下水の詳細検討, HFSCの化学的変質評価)
  - 4) 評価に必要なTDBや反応速度データの整備、高イオン強度下、固相影響下での活量補正法の反映、実際の地質環境に即した化学的変質現象の検討によるモデルの検証・高度化の実施
  - 5) 地球化学-物質輸送モデルへの反映については緩衝材部分で記述

関係機関との分担により「ひび割れ影響」についてはJAEAでは実施しない。

## セメント系材料の長期挙動に関する検討

## ◆研究項目及びスケジュール(案)

	H18	H19	H20	H21	H22	H23
I. 1) OPCの海水系地下水によるMg影響やFriedel氏塩生成時のpH上界に関する詳細検討	実験による詳細な検討					
I. 2) HFSCの水和反応過程の詳細な検討	HFSC水和反応の詳細な検討					
I. 3) セメント系材料(OPC, HFSC)と地下水、廃棄体由来の化学物質(海水影響や硝酸、硫酸、リン酸、炭酸等)による化学的変質影響評価(Ex. OPC-海水系地下水の詳細検討、HFSCでの化学的変質評価)	OPC-海水系地下水影響の検討	HFSCの各種地下水、化学種の影響の検討(影響度による重み付けと評価順の検討による)				
I. 4) 評価に必要なTDBや反応速度データの整備、高圧強度下、固相影響下での活量補正法の反映、実地質環境に即した化学的変質現象の検討によるモデルの検証・高度化の実施 上記検討による知見の整理とモデルへの反映・高度化の実施	文献調査や試験研究によるTDBの整備(永続的に実施)					
		化学的変質現象の知見の整理や反応速度データ、活量補正法の検討	モデルの構築、検討			

23

## 高アルカリ性条件における緩衝材の長期挙動の検討

## ◆研究開発の目標、概要

## I. 地下水組成の多様性を考慮した緩衝材の化学的変遷挙動

## a)地下水組成、廃棄体成分、人工バリア材料の多様性に対応した

## シナリオ・解析評価モデルの構築

- ・地下水成分(NaCl, Mg, K, 炭酸etc)及び廃棄体成分の影響評価
- ・人工バリアシステム(材料配合、形状など)の変更の影響検討。

## b)熱力学データ及び速度式の知見の拡充、データベースの整備(HLWと要調整)

- ・スメクタイト溶解に関する現象理解、熱力学データ及び溶解速度に関するデータ取得
- ・二次鉱物の熱力学データ及び生成速度に関する知見拡充
- ・上記2項及び他の最新知見の継続的なデータベースへの反映。

24

## 高アルカリ性条件における緩衝材の長期挙動の検討

### ◆研究開発の目標、概要

#### II. シナリオ・解析評価モデルへの最新知見の反映、評価の信頼性向上

##### a) ベントナイト圧縮体の狭隘間隙における化学に係る知見の拡充

- ・高イオン強度、固相表面の静電場及び表面吸着水の粘性・密度・誘電率の変化などによる活量及び物質輸送への影響(e.g. 改良P-Bモデル導入検討)

##### b) 緩衝材・セメント系材料境界部分における遷移層に関する知見の拡充

- ・鉱物組成、溶液組成、物質輸送速度などをパラメータとした解析・実験を通じて、遷移層の生成条件、物質輸送特性に関するデータ取得を実施

- ・遷移層に係る解析評価上の取扱い及び安全評価上の取扱いを検討する(セメント研究と調整)。

25

## 高アルカリ性条件における緩衝材の長期挙動の検討

### ◆研究開発の目標、概要

#### c) 解析評価モデルの多次元化

- ・変質進行に伴う不均質な物質輸送特性変化(セメント系材料の部分的ひび割れ、ガス圧による流路形成)の反映及び変質解析結果の力学解析への反映のため解析体系の2次元化を実施

#### d) 長期の実験事例、超長期の天然事例などの知見の拡充とシナリオ・解析評価

##### モデルの確証

- ・長期試験、数十年規模の工学データ、超長期の鉱物変遷に係る天然事例を対象とし、シナリオ・解析評価モデルの確証・検証を実施。

#### III. 地下水の多様性を考慮した力学評価及び力学変化に伴う物質移動特性変化の評価

- ・地下水の多様性に応じたスメクタイトのイオン型の変化(K型化、Mg型化)、間隙水の当量イオン濃度変化に応じた力学パラメータの取得
- ・上記を反映した力学挙動及び力学影響による物質移動特性変化の評価を実施

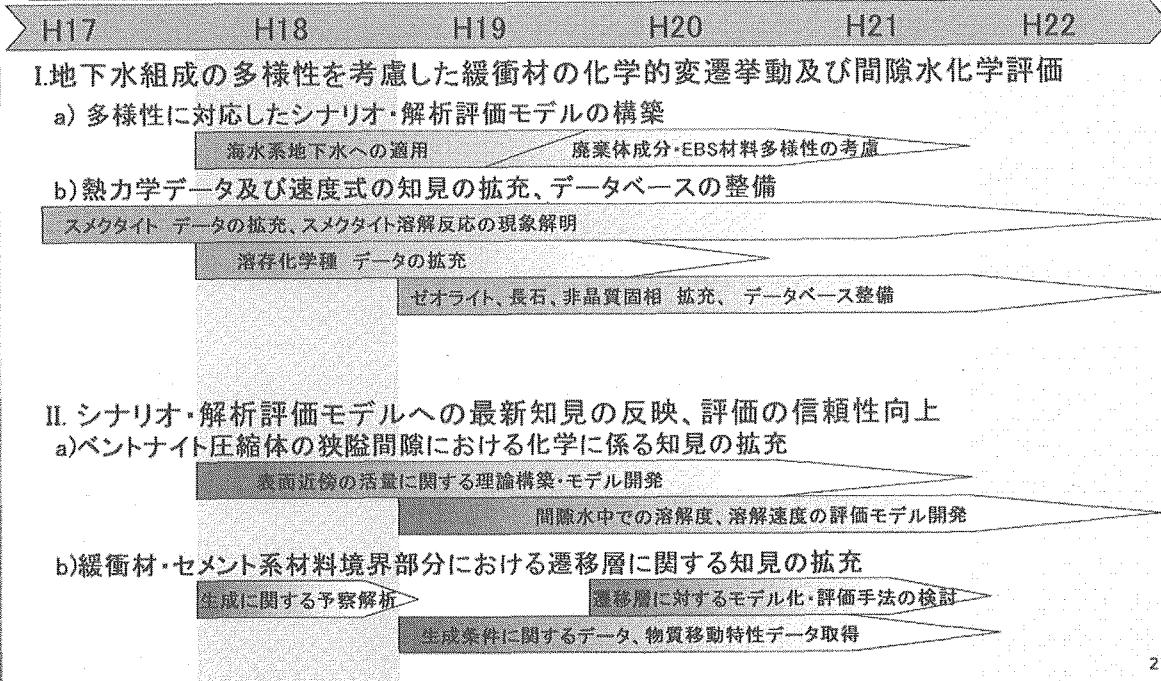
#### IV. 変質によりセメンテーションした場合の力学-物質移動特性評価

- ・変質度合いをパラメータとした変質後の力学特性及び物質移動特性を評価する。
- ・上記を踏まえセメンテーション現象の評価上の取扱について検討する。

26

## 高アルカリ性条件における緩衝材の長期挙動の検討

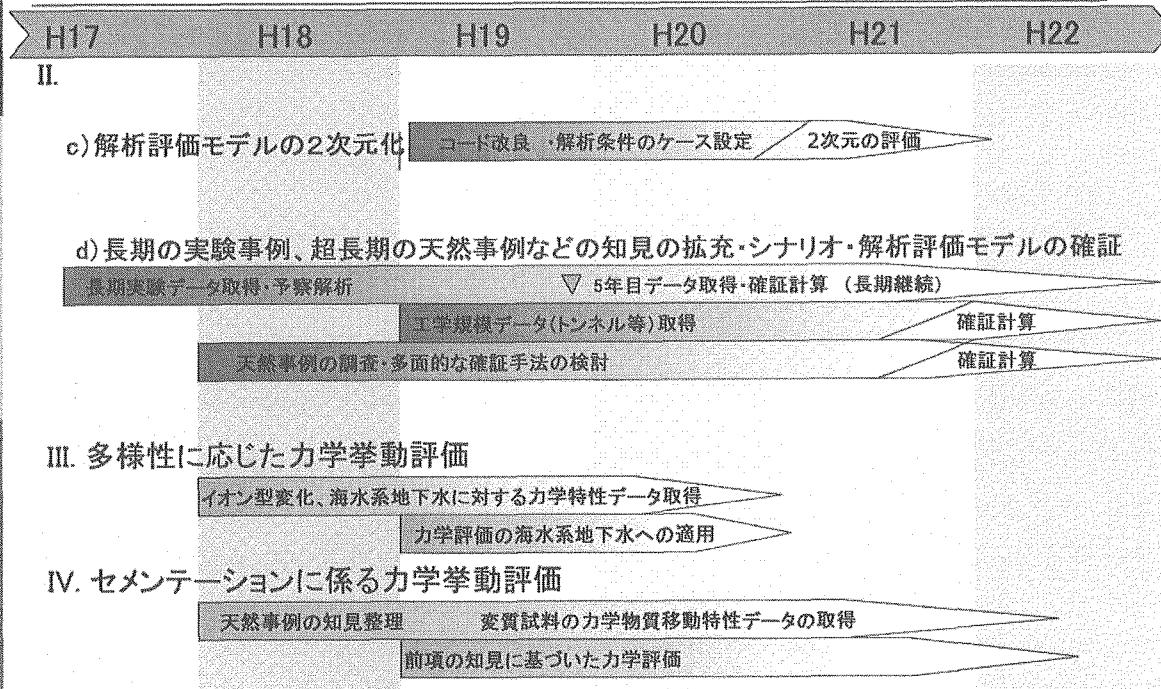
## ◆研究項目及びスケジュール(案)[1/2]



27

## 高アルカリ性条件における緩衝材の長期挙動の検討

## ◆研究項目及びスケジュール(案)[2/2]



28

## 天然バリアへのアルカリ影響の検討

### ◆研究開発の目標、概要

◆アルカリ変質の観点から、岩盤や地下水組成の類型化と変質過程の包括的シナリオの構築

- 既存の研究事例の調査、二次鉱物の組み合わせの影響評価、試験のトレース解析などを通じて変質シナリオを検討
- パッチ法による変質試験(模擬試料、岩石コア試料)により得られた知見を反映

◆アルカリ変質の岩盤の物質輸送特性への影響に関する知見の拡充及び岩盤の不均一性(特に、亀裂性媒体)を考慮したアルカリ性ブルームの影響評価手法の提示

- 溶解速度・沈殿モデルの高度化、(2次元化、大規模化)などを通じた亀裂性媒体としての評価手法の整備
- 試験(模擬試料、岩石コア試料)
  - パッチ法に加えてカラム法の試験装置の製作・試験、岩石鉱物の溶解挙動の観察などを通じた知見の拡充
  - グリムゼル等の地下研究施設における試験研究

29

## 天然バリアへのアルカリ影響の検討

### ◆研究項目及びスケジュール(案)

H17

H18

H19

H20

H21

H22

#### ◆既存の研究事例の調査

- マーリンサイトなど

- アルカリ影響による生起事象の整理  
岩盤・地下水組成類型化  
岩石の変質シナリオの構築

- 物質輸送のモデル化に関する知見の整理

#### ◆亀裂性媒体としての評価手法の整備

- 二次鉱物の組み合わせ評価

- 試験のトレース解析・物質輸送特性の変遷評価

- 高度化(2次元化、大規模化)

- 溶解速度・沈殿モデルの高度化

#### ◆試験計画の作成

- アルカリ-岩反応機構に関する試験(模擬試料、岩石コア試料)

- パッチ法による変質試験

- カラム試験装置の製作及び試験

- 岩石鉱物の初期状態、溶解挙動あるいは二次鉱物沈殿挙動の観察試験

- 地下研究施設における試験研究に向けた検討

- イスのグリムゼル施設を利用した原位置試験への参画

- 原位置における亀裂のモデル化手法

30

## 力学-物質移動-化学連成評価技術に関する検討

### ◆研究開発の目標、概要

#### I. 開発目標：人工・天然バリアの化学-物質移動連成モデルのカップリングと人工バリアの化学-物質移動-力学連成モデルの構築

- 1) 人工バリア、天然バリアにて検討されたそれぞれの化学-物質移動連成モデルのカップリングによる処分システムの連成評価モデルの構築
- 2) 上記連成評価モデルへの人工バリア部の力学モデルのカップリングによる連成評価モデルの構築
- 3) 原位置でのモデル確認試験の計画立案

31

## 力学-物質移動-化学連成評価技術に関する検討

### ◆研究項目及びスケジュール(案)

	H18	H19	H20	H21	H22	H23
I.1) 人工バリア、天然バリアにて検討されたそれぞれの化学-物質移動連成モデルのカップリングによる処分システムの連成評価モデルの構築				人工・天然バリアの連成モデルのカップリング		
I.2) 上記連成評価モデルへの人工バリア部の力学モデルのカップリングによる連成評価モデルの構築				上記連成モデルへの人工バリア部力学モデルのカップリング		
I.3) 原位置でのモデル確認試験の計画立案				連成評価モデルの確認試験計画立案	確認試験の実施	

32

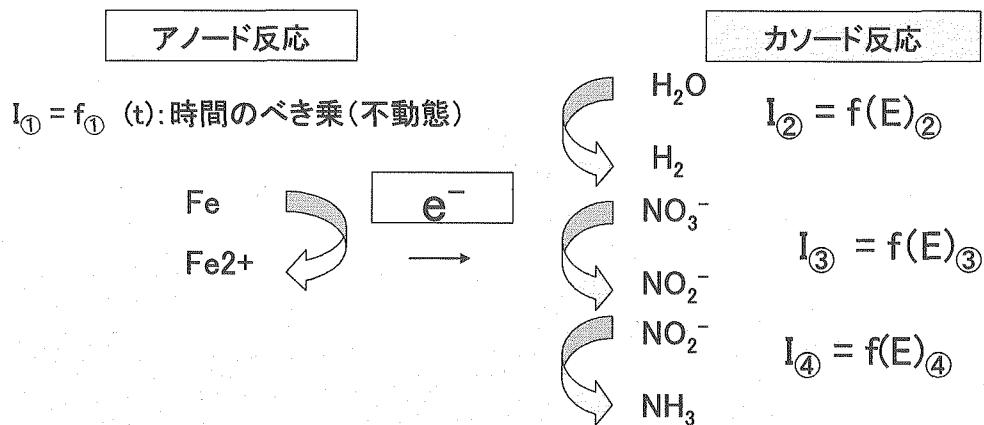
# 硝酸塩影響に関する研究計画

33

## 第2次TRUレポートにおける硝酸イオン変遷の評価(1/4)

### 金属腐食に伴う硝酸イオンの化学的変遷モデル

モデル：アノード反応である金属の溶解反応と電荷授受においてバランスしながら硝酸イオン→亜硝酸イオン→アンモニアなる逐次反応及び水の還元反応がカソード反応として起こる。



時刻  $t$  における電荷バランス  $I_{①} = I_{②} + I_{③} + I_{④}$

$f_{①}(t) = f_{②}(E) + f_{③}(E) + f_{④}(E)$  : 電荷バランスの式を満足する電位  $E$  を決定。

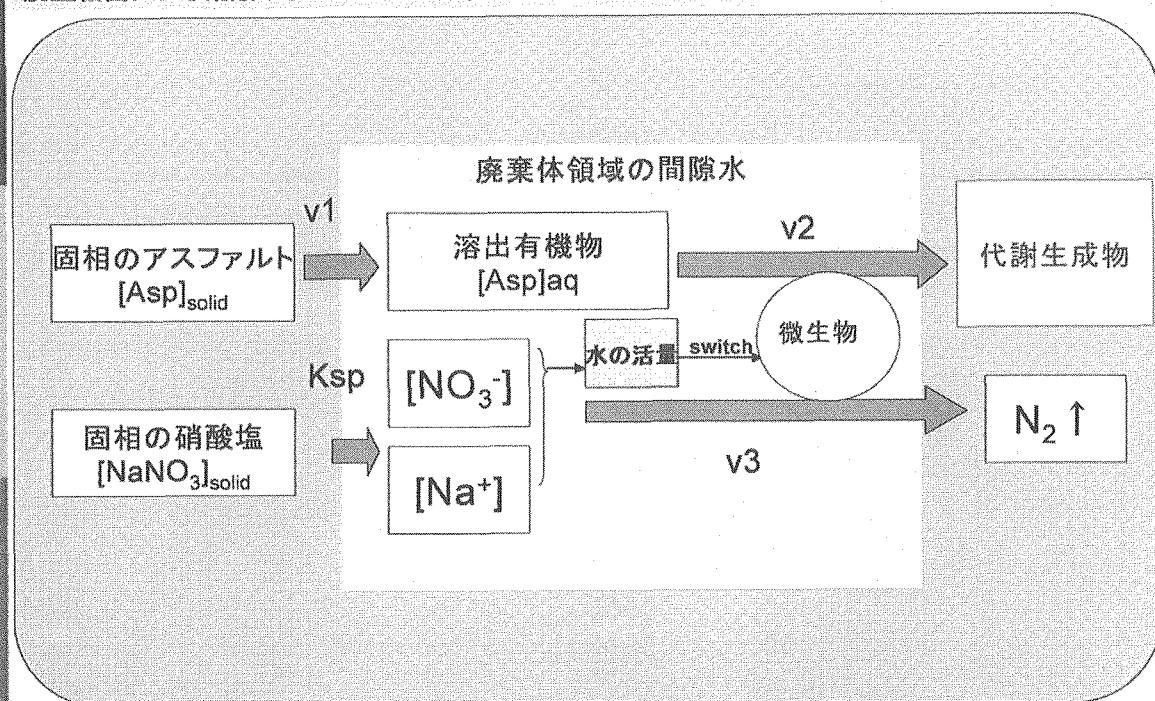
$f_{②}, f_{③}, f_{④}$  に、決定された電位  $E$  を代入し時刻  $t$  における電気化学反応速度を決定

当該時間ステップにおける水素発生量並びに硝酸イオン、亜硝酸イオン及びアンモニアの濃度変化を算定

34

## 第2次TRUレポートにおける硝酸イオン変遷の取扱(2/4)

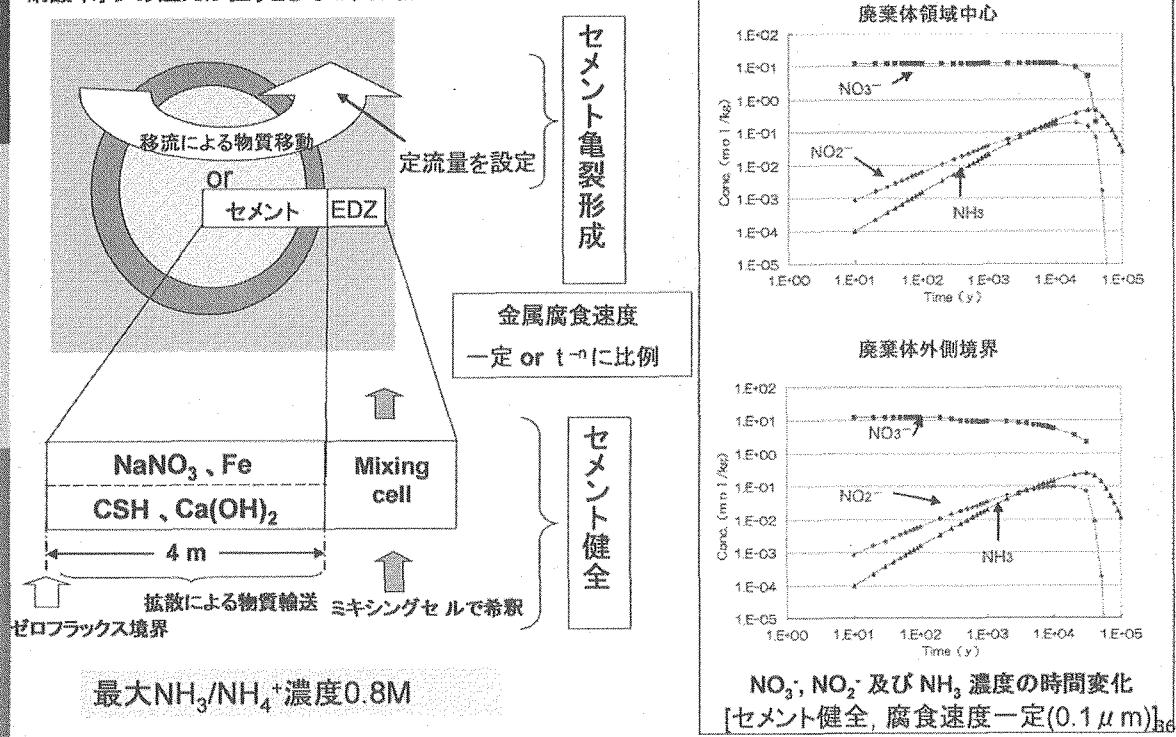
脱窒細菌による硝酸イオンの代謝に伴う窒素ガス発生モデル



35

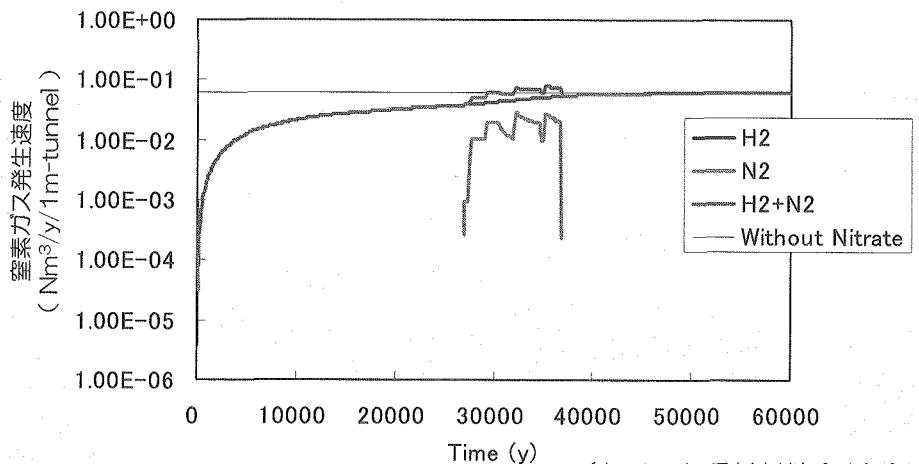
## 第2次TRUレポートにおける硝酸イオン変遷の取扱(3/4)

物質輸送と組み合わせた硝酸イオンの化学的変遷解析

不動態にある金属の腐食反応のカソード反応の一部を  
硝酸イオンの還元が担うとしてモデル化

## 第2次TRUレポートにおける硝酸イオン変遷の取扱(4/4)

## 金属腐食に伴う水素ガス発生及び微生物(脱窒菌)の活動による窒素ガス発生の時間変化



(セメント系材料健全/腐食速度一定)

## 微生物(脱窒菌)のモデル

アスファルト分解生成物消費、硝酸分解: Monodの式

アスファルト分解速度: 一次反応速度式

これらを組み合わせて評価

水素ガスの発生を硝酸イ  
オンが抑制する。しかし一  
定期間、脱窒菌が活動し、  
窒素ガスが発生する。

37

## 硝酸塩影響に関する検討

## ◆研究開発の目標、概要

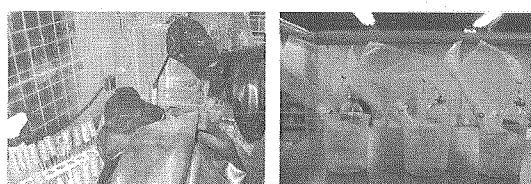
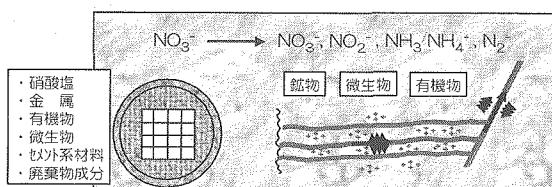
\*核種挙動への影響は本計画のスコープには含まれない

## I. 硝酸塩変遷評価モデルの高度化並びに検証

- 1) 多様な共存化学種による硝酸塩変遷に係る知見、データの拡充
- 2) 鉱物による硝酸塩変遷に係る知見、データの拡充
- 3) 微生物活動による硝酸塩変遷に係る知見、データの拡充
- 4) 上記1)～3) の評価モデルへの反映による硝酸塩変遷評価モデルの高度化並びに検証の実施

## II. 多様な環境における硝酸塩／有機物反応の評価

- 1) 硝酸塩／有機物反応に対する触媒的作用物質に関する知見の拡充・整理
- 2) 触媒的作用を及ぼす物質共存下における硝酸塩／有機物反応過程の評価の実施



高pH環境下の微生物活動による硝酸塩変遷の研究  
- 好アルカリ性脱窒菌 ( $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{N}_2$ ) の取得 -

38

## 硝酸塩影響に関する検討

## ◆研究項目及びスケジュール（案）

&gt;H18 H19 H20 H21 H22 H23

## I. 硝酸塩変遷評価モデルの高度化並びに検証

- (1) 多様な共存化学種による硝酸塩変遷に係る知見・データの拡充
- (2) 飲物による硝酸塩変遷に係る知見・データの拡充
- (3) 微生物活動による硝酸塩変遷に係る知見・データの拡充
- (4) モデルの高度化/検証

## II. 多様な環境における硝酸塩／有機物反応の評価

- (1) 酸媒作用物質に関する知見の拡充・整理
- (2) 酸媒作用物質の探索
- (3) 酸媒共存下での硝酸塩/有機物反応の評価

39

核種移行データの整備及び性能評価の  
今後の計画

40

## 核種移行データの設定の現状と今後の計画

### □ 核種移行データの設定の現状

#### ■ 溶解度の設定

- JNC-TDBを用いた化学平衡モデルにて計算して設定
- 高アルカリ領域について一部の溶解度データについてデータを取得し、TDBの適用確認済み

#### ■ 収着分配係数の設定

- 化学アナログを考慮した代表的な核種に対して取得されたデータに基づき設定
- セメント系材料及び岩石についてはバッチ法のデータを圧縮成型ペントナイトについて見かけの拡散係数より得られた値を適用

### □ 今後の計画

#### ■ 溶解度

- 高アルカリ領域におけるJNC-TDBの適用性確認と整備
- 海水系地下水や廃棄体成分等(特に硝酸イオン)の影響を受けた条件での核種溶解度データの取得
- 可溶性有機物と核種との錯体生成定数の取得・整備(特にNEAで整備されたデータの取り込み(シュウ酸、クエン酸、EDTA、イソサッカリン酸)やセメント混和剤)

#### ■ 収着分配係数

- 化学アナログで設定した核種に対する収着分配係数の取得
- 海水系地下水や廃棄体成分等(特に硝酸イオン)の影響を受けた条件での核種溶解度データの取得
- 可溶性有機物(セメント混和剤)を考慮した核種の収着分配係数の取得
- 取得されたデータをSDBとしての整備

41

## アクチニド元素の溶解度の設定値と実測値との比較

- セメント系材料の長期的な変質を考慮してpH13.2, 12.5, 11.4及び8.5についてデータを設定。
- アクチニド元素としてIII価の代表としてAm, IV価の代表としてThについて、溶解度の取得を実施(0.45 μ 及び10,000限外ろ過、セメント硬化体浸出液、凝灰岩浸出液を使用、浸漬液は蒸留水を基本に使用)。
- 設定値は、中性領域において保守側となっているが、高アルカリ領域では概ね一致。Thの中性領域における結果の違いについて今後議論が必要。
- 今後は、Puなどの他のアクチニドについての高アルカリ領域におけるデータの比較及び熱力学データの見直しを行なう。

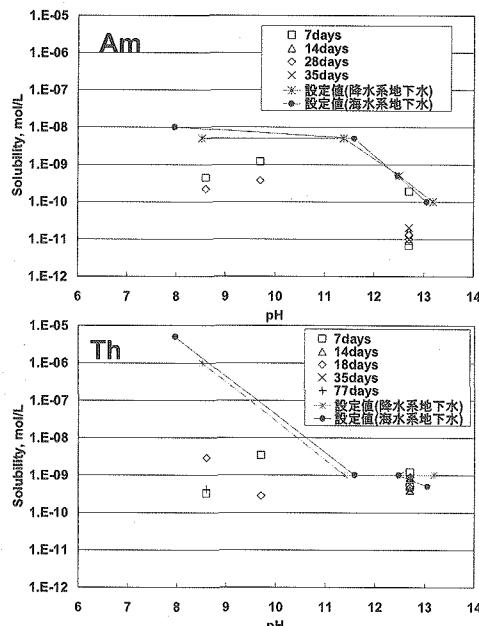


図 第2次TRUレポートにおけるAm及びThの溶解度の設定値と溶解度の実測値(10,000限外ろ過)の比較例

42

## 遷移金属元素の溶解度の設定値と実測値との比較

- 遷移金属元素としてNi及びNbの溶解度の取得を実施。
- 設定値は、対象pH領域において保守側となっている。特にNbについては設定値と実測値との傾向が異なる。
- 設定値については、溶解度制限固相として水酸化物を仮定している。特に、Nbについてはセメント浸出液条件においてCaを含む固相の存在が確認されている(Ochs et al., 2004)。
- 現状の設定値は保守的ではあるが、評価の信頼性向上にむけてカルシウムを含む固相などの熱力学データの調査を行い、熱力学データベースの整備を行なう。

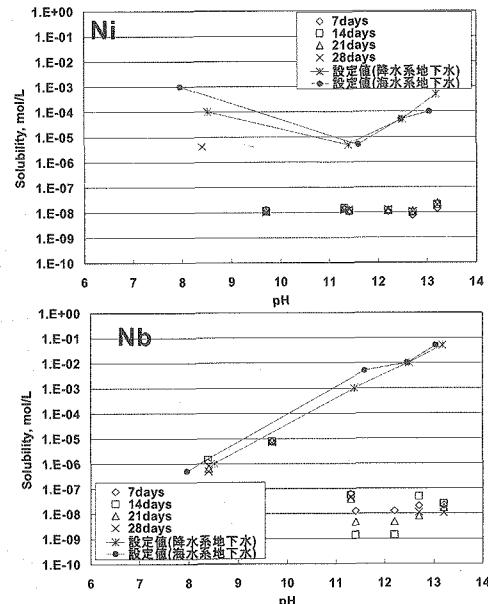


図 第2次TRUレポートにおけるNi及びNbの溶解度の設定値と溶解度の実測値(10,000限外ろ過)の比較例 43

## 収着分配係数設定における化学アナログの考え方

- 収着分配係数については右表に示す化学アナログの分類に従い値を設定。
- 例えば、ランタノイド＋アクチノイドについては、III価のAm及びIV価のThの実測値を基にセメント系材料に対する収着分配係数を設定。
- Pu等に対するデータの取得と化学アナログの設定の妥当性の検討が必要。

### 核種(元素)の化学アナログの分類結果

グループ	元素		主なる化学的特性
	還元	酸化性	
ハロゲン	O,I	O <sup>2-</sup>	典型的な陰イオン
陰イオン	O <sup>2-</sup> 無機 Se, Mb	Tc	
陽イオン	Cs	Cs <sup>+</sup>	典型的な陽イオン
Ca, Sr, Ra			
遷移金属元素	II O <sub>2-</sub> , N, Pb, Pd		水酸化物溶存化学物質分配
IV	Sn, Zr		
V	Tc		
Nb			水酸化物溶存化学物質分配
ランタノイド ＋ アクチノイド	III Sm, Ac, Am, Cm	Th	
IV	Pu, U, Np, Pa		
V	—	Np, Pa	
VI	—	Pu, U	

## 硝酸塩の影響を考慮した核種移行データの取得

### □ 硝酸イオンとの錯体形成

- JNC-TDBを用いた評価においては、 $\text{Np}(\text{V})$ と $\text{NO}_3^-$ の錯体( $\text{NpO}_2\text{NO}_3(\text{aq})$ )が $\text{NO}_3^-$ 濃度0.15mol/kg以上で支配的。  
→最新のNEAのデータベースでは、 $\text{Np}(\text{V})-\text{NO}_3^-$ の熱力学データは選定されていない。今後議論が必要。

### □ アンモニウムイオンとの錯体形成

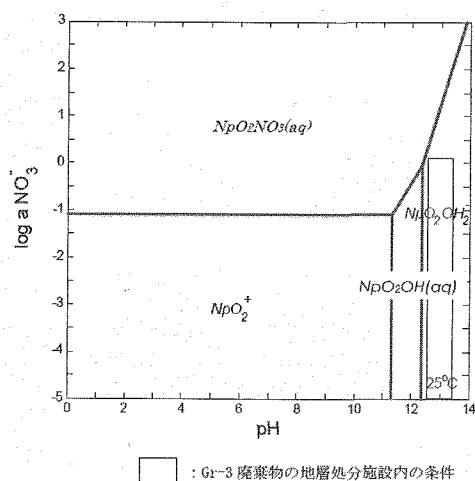
- Am及びTh等のアクチニド元素については、影響は小さい。  
→NiやPb等の遷移金属元素について、溶解度及び収着分配係数を得(Niについては、一部溶解度を取得)。

### □ 硝酸イオンの核種の原子価への影響

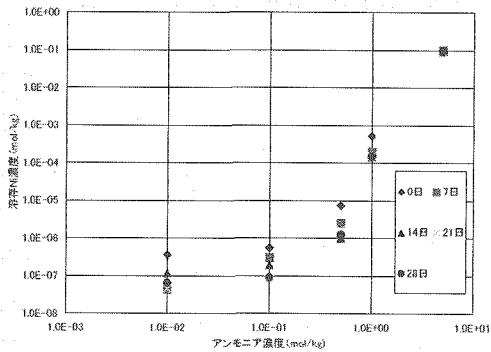
- 高レベル放射性廃棄物処分の線量評価において重要なSe,Tc及びNpに対して影響を調査。  
→硝酸イオン共存による溶解度等の変化。

45

## 硝酸塩影響の検討結果例 (第2次TRUレポート根拠資料集 分冊2より)



Np(V)の支配化学種の $\text{NO}_3^-$ の活量とpHの依存性 (JNC-TDB)



ニッケルの溶解度のアンモニア濃度依存性(実験値, pH12.5程度)

46

## 性能評価の現状と今後の計画

### □ 性能評価手法の現状

- シナリオ開発については、包括的FEP及びFEP辞書を作成し、評価シナリオを設定。変動シナリオ及び接近シナリオについてはHLW処分研究の評価手法に準じて実施。
- 不確実性評価については、包括的感度解析を用いてパラメータの幅や天然バリア中の核種移行モデルの不確実性について評価を実施。
- 総合的な性能評価技術については、TRU廃棄物処分特有の事象に着目した個別現象の解析を行い、モデルチェーンを作成し解析を実施。

### □ 今後の計画

- FEPと解析ケースとの関連の明確化及び処分施設閉鎖直後におけるシナリオの詳細評価。
- 核種移行パラメータ間の相関を考慮した不確実性評価の実施。
- 人工バリアの長期挙動等の個別事象解析結果を踏まえた総合的な性能評価の実施。生物圏の評価については、C-14の生物圏循環モデルの適用性を検討。

47

## 性能評価体系のフロー

- シナリオの検討においては、HLW処分の研究と同様にマトリクス形式等を用いてFEPの相関関係を明確にする。さらにFEPと解析ケースとの関連が容易に追従できるように整理を行なう。
- 包括的感度解析では、核種移行パラメータの幅を各々独立に設定して評価を行なってきたが、FEPの相関関係を基にパラメータの設定の見直しを実施する。
- 詳細化された個別事象の検討・解析結果を反映して総合的な性能評価を実施する。

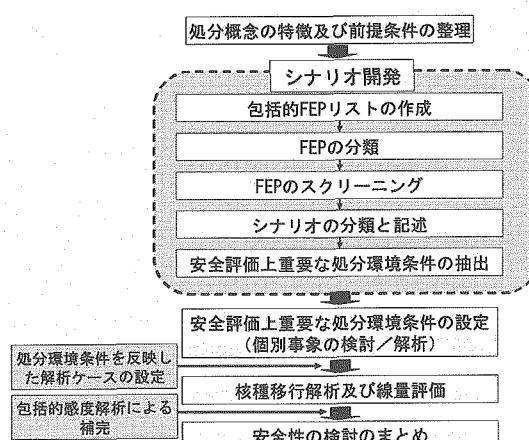
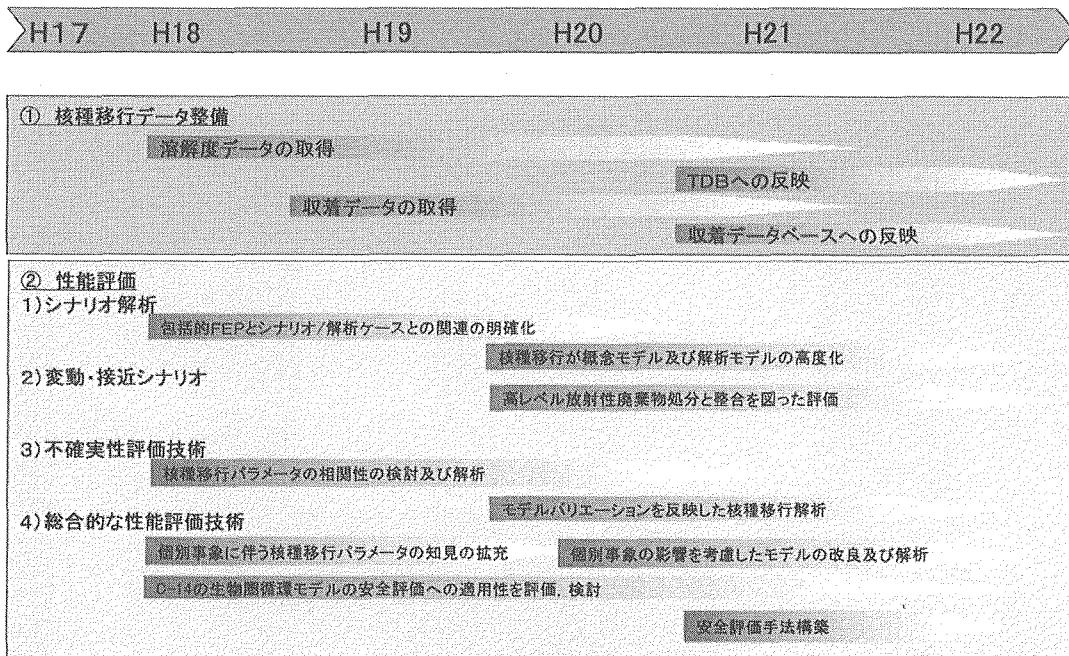


図 第2次TRUレポートにおける性能評価のフロー

48

## 研究項目及びスケジュール(案)



This is a blank page.

# 国際単位系 (SI)

表1. SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	$m^2$
立体積	立方メートル	$m^3$
速度	メートル毎秒	$m/s$
加速度	メートル毎秒毎秒	$m/s^2$
波数	メートル毎メートル	$m^{-1}$
密度(質量密度)	キログラム毎立法メートル	$kg/m^3$
質量体積(比体積)	立法メートル毎キログラム	$m^3/kg$
電流密度	アンペア毎平方メートル	$A/m^2$
磁界の強さ(物質量の濃度)	アンペア毎メートルモル毎立方メートル	$A/m \cdot mol/m^3$
輝度	カンデラ毎平方メートル	$cd/m^2$
屈折率	(数の)1	1

表5. SI 接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
$10^{24}$	ヨーダ	Y	$10^{-1}$	デシ	d
$10^{21}$	ゼタ	Z	$10^{-2}$	センチ	c
$10^{18}$	エクサ	E	$10^{-3}$	ミリ	m
$10^{15}$	ペタ	P	$10^{-6}$	マイクロ	μ
$10^{12}$	テラ	T	$10^{-9}$	ナノ	n
$10^9$	ギガ	G	$10^{-12}$	ピコ	p
$10^6$	メガ	M	$10^{-15}$	フェムト	f
$10^3$	キロ	k	$10^{-18}$	アトト	a
$10^2$	ヘクタ	h	$10^{-21}$	ゼット	z
$10^1$	デカ	da	$10^{-24}$	ヨクト	y

表3. 固有の名称とその独自の記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	他のSI単位による表し方
平面角	ラジアン <sup>(a)</sup>	rad	$m \cdot m^{-1} = 1^{(b)}$
立体角	ステラジアン <sup>(a)</sup>	sr <sup>(c)</sup>	$m^2 \cdot m^{-2} = 1^{(b)}$
周波数	ヘルツ	Hz	$s^{-1}$
圧力	ニュートン	N	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
エネルギー、仕事、熱量	パスカル	Pa	$N \cdot m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
工率、放熱	ワット	W	$N \cdot m \cdot s^{-2}$
電荷、電気量	クーロン	C	$J/s$
電位差(電圧)、起電力	ボルト	V	$W/A$
静電容量	フアード	F	$C/V$
電気抵抗	オーム	Ω	$V/A$
コンダクタンス	シemens	S	$A/V$
磁束密度	ウェーバー	Wb	$V \cdot s$
磁束密度	テスラ	T	$Wb/m^2$
インダクタンス	ヘンリー	H	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
セルシウス温度	セルシウス度 <sup>(d)</sup>	°C	$Wb/A$
光束	ルクス	lx	$m^2 \cdot cd$
(放射性核種の)放射能	ベクレル	Bq	$lm \cdot sr^{(c)}$
吸収線量、質量エネルギー	レイ	Gy	$lm/m^2$
ギガ一分与、カーマ			$m^2 \cdot s^{-4} \cdot cd=m^{-2} \cdot cd$
線量当量、周辺線量当量			$s^{-1}$
方向性線量当量、個々人線量当量、組織線量当量	シーベルト	Sv	$J/kg$
			$m^2 \cdot s^{-2}$

(a) ラジアン及びステラジアンの使用は、同じ次元であっても異なる性質をもった量を区別するときの組立単位の表し方として利点がある。組立単位を形作るときのいくつかの用例は表4に示されている。

(b) 実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号“1”は明示されない。

(c) 測光学では、ステラジアンの名称と記号srを単位の表し方の中にそのまま維持している。

(d) この単位は、例としてミリセルシウス度m°CのようにSI接頭語を伴って用いても良い。

表4. 単位の中に固有の名称とその独自の記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘度	パスカル秒	Pa · s	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-1}$
力のモーメント	ニュートンメートル	N · m	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
表面張力	ニュートンメートル	N/m	$kg \cdot s^{-2}$
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	$m \cdot m^{-1} \cdot s^{-1} = s^{-1}$
角加速度	ラジアン毎平方秒	rad/s <sup>2</sup>	$m \cdot m^{-1} \cdot s^{-2} = s^{-2}$
熱流密度、放熱照度	ワット毎平方メートル	W/m <sup>2</sup>	$kg \cdot s^{-3}$
熱容量、エンロビ	ジュール毎ケルビン	J/K	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
質量熱容量(比熱容量)、質量エンロビ	ジュール毎キログラム	J/(kg · K)	$m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
質量エネルギー(比エネルギー)	ジュール毎キログラム	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m · K)	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot K^{-1}$
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m <sup>3</sup>	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
体積電荷	クーロン毎立方メートル	C/m <sup>3</sup>	$m^{-3} \cdot s \cdot A$
電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	$m^{-2} \cdot s \cdot A$
誘電率	ファラード毎メートル	F/m	$m^{-3} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	$m \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot mol^{-1}$
モルエンロビ	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol · K)	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$
モル熱容量	クーロン毎キログラム	C/kg	$kg^{-1} \cdot s \cdot A$
照射線量(X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	Gy	$kg^{-1} \cdot s^3$
吸収線量	グレイ毎秒	Gy/s	$m^2 \cdot s^{-3}$
放射強度	ワット毎平方メートル	W/m <sup>2</sup>	$m^4 \cdot m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3} = m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
放射輝度	ワット每平方メートル毎ステラジアン	W/(m <sup>2</sup> · sr)	$m^2 \cdot m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3} = kg \cdot s^{-3}$

表7. 国際単位系と併用されこれに属さない単位でSI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
電子ボルト	eV	$1eV=1.60217733(49) \times 10^{-19} J$
統一原子質量単位	u	$1u=1.6605402(10) \times 10^{-27} kg$
天文単位	ua	$1ua=1.49597870691(30) \times 10^{11} m$

表8. 国際単位系に属さないが国際単位系と併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
海里	mi	1海里=1852m
ノット	kn	1ノット=1海里毎時=(1852/3600)m/s
アール	a	1a=1 dam <sup>2</sup> =10 <sup>2</sup> m <sup>2</sup>
ヘクタール	ha	1ha=1 hm <sup>2</sup> =10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>
バール	bar	1bar=0.1MPa=1000hPa=10 <sup>5</sup> Pa
オングストローム	Å	1 Å=1 nm=10 <sup>-10</sup> m
バーン	b	1 b=100 fm <sup>2</sup> =10 <sup>-28</sup> m <sup>2</sup>

表9. 固有の名称を含むCGS組立単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
エルグ	erg	$1 erg=10^{-7} J$
ダイニン	dyn	$1 dyn=10^{-5} N$
ボアズ	P	$1 P=1 dyn \cdot s/cm^2=0.1 Pa \cdot s$
ストーカス	St	$1 St=1 cm^2/s=10^{-3} m^2/s$
ガウス	G	$1 G=10^{-4} T$
エルステッド	Oe	$1 Oe=(1000/4\pi) A/m$
マクスウェル	Mx	$1 Mx=10^{-8} Wb$
スチール	sb	$1 sb=1 cd/cm^2=10^4 cd/m^2$
ホタル	ph	$1 ph=10^4 lx$
ガル	Gal	$1 Gal=1 cm/s^2=10^{-2} m/s^2$

表10. 国際単位に属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
キュリ	Ci	$1 Ci=3.7 \times 10^{10} Bq$
レントゲン	R	$1 R=2.58 \times 10^{-2} C/kg$
ラド	rad	$1 rad=1 cGy=10^{-2} Gy$
レム	rem	$1 rem=1 cSv=10^{-2} Sv$
X線単位	IX unit	$1 IX unit=1.002 \times 10^{-4} nm$
ガンマ	γ	$1 \gamma=1 nT=10^{-3} T$
ジャンスキー	Jy	$1 Jy=10^{-26} W \cdot m^{-2} \cdot Hz^{-1}$
フェルミ	fm	$1 fermi=1 fm=10^{-15} m$
メートル系カラット		$1 metric carat=200 mg=2 \times 10^{-4} kg$
トル	Torr	$1 Torr=(101325/760) Pa$
標準大気圧	atm	$1 atm=101325 Pa$
カリ	cal	$1 cal=1 J=10^4 erg$
ミクロ	μ	$1 \mu=1 \mu m=10^{-6} m$