JAEA-Conf
2009-005

知識マネジメントシステム開発の現状

ー平成 21 年度地層処分研究開発部門意見交換会ー
（会議報告）

Conference on Progress in Development of JAEA Knowledge Management System
(Conference Report)

（編）能登屋 信　太田 久仁雄　清水 和彦
(Eds.) Shin NOTOYA, Kunio OTA and Kazuhiko SHIMIZU

地層処分研究開発部門
研究開発統括ユニット
Research and Development Integration Unit
Geological Isolation Research and Development Directorate

February 2010
Japan Atomic Energy Agency
日本原子力研究開発機構

JAEA-Conf

本レポートは独立行政法人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）
より発信されています。

独立行政法人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
〒319-1195　茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

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, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2010

JAEA-Conf　2009-005

知識マネジメントシステム開発の現状
―平成 21 年度地層処分研究開発部門意見交換会―
（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
研究開発統括ユニット
（編）能登屋　信，太田　久仁雄，清水　和彦

（2009 年 12 月 11 日　受理）

地層処分研究開発部門では，地層処分の事業と安全規制の技術基盤を継続的に支えていくため，研究開発の成果や関連する内外の知見などを体系的に管理し，円滑に伝達・継承していくための知識マネジメントシステムの開発，および知識マネジメントシステムを通じて最新の知識ベースを柔軟に利用できる CoolRep 方式による研究開発成果の取りまとめを進めている。今年度末には，知識マネジメントシステムのプロトタイプならびに現中期計画（平成 17 年度～平成 21 年度）の成果取りまとめ（CoolRep H22）を公開する予定である。その公開に向け，知識マネジメントシステム開発の現状や CoolRep の全体構想などを紹介し，広くご意見をいただくための意見交換会「知識マネジメントシステム開発の現状」を，平成 21 年 7 月 1 日に東京都千代田区で開催した。本資料は，その概要を取りまとめたものである。

核燃料サイクル工学研究所：〒319-1194　茨城県那珂郡東海村村松 4-33

JAEA-Conf 2009-005

Conference on Progress in Development of JAEA Knowledge Management System (Conference Report)

(Eds.) Shin NOTOYA, Kunio OTA and Kazuhiko SHIMIZU

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

(Received December 11, 2009)

Geological Isolation Research and Development Directorate has now been developing a 'next generation' knowledge management system (KMS) that would continuously support the disposal project and associated safety regulations. Work has been also ongoing on synthesizing the results of R&D for the first midterm plan in the style of 'next generation' scientific reporting "CoolRep" which is strongly linked with KMS. In March 2010, a prototype of KMS and a status report (CoolRep H22) will be made publicly available. It is thus of much significance to promote stakeholder's understanding of KMS and CoolRep and have input from them at this timing in order to efficaciously proceed with the future work. To this end, the conference on "Progress in Development of JAEA Knowledge Management System" was held on 1st July 2009 in Tokyo.

This report compiles presentation materials and comments/input to KMS and CoolRep from the stakeholders.

Keywords: Knowledge Management System, CoolRep, Public Comments, Stakeholder, Conference

目　次

1.　はじめに ····· 1

2.　意見交換会の概要 ····· 2

3.　意見交換会資料 ····· 3
3.1 地層処分を支援する JAEA 知識ベース　－中期計画に基づく研究開発成果の全体概要－ 3
3.2 中期計画取りまとめに向けて　－次世代研究開発報告書 CoolRep－ ····· 29
3.3 JAEA 知識マネジメントシステム　－基本概念と機能，デモンストレーション－ ····· 44

4.　意見交換会においていただいたご意見 ····· 54

5.　おわりに ····· 58

謝辞 ····· 58

Contents

1. Introduction ····· 1

2. Overview of the conference ····· 2

3. Presentation materials ····· 3
3.1 JAEA knowledge base
Overview of R&D results during the period of the first Midterm Plan ····· 3
3.2 R&D status report (H22)
Development of next generation documentation 'CoolRep' ····· 29
3.2 JAEA knowledge management system (KMS)
Basic concept, key functions of KMS and its demonstration ····· 44

4. Comments and input from participants ····· 54

5. Concluding remarks ····· 58

Acknowledgements ····· 58

This is a blank page.

1. はじめに

地層処分研究開発部門では,国が示した中期目標とそれを受けて日本原子力研究開発機構(以下，原子力機構または JAEA）が定めた中期計画（平成 17 年 10 月 1 日～平成 22 年 3 月 31 日）に基づき，高レベル放射性廃棄物の処分事業と安全規制の両面を支える技術基盤を整備するため，地層処分研究開発と深地層の科学的研究からなる地層処分技術に関する研究開発を進めている。中期計画では，研究開発成果を包括的な報告書と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取りまとめることとしている。

この取りまとめに向けた新しいアプローチとして，世界に先駆けて開発している知識マネジメントシステム（Knowledge Management System; 以下，KMS）を通じて，最新の知識ベースを柔軟に利用できる CoolRep による研究開発成果の統合方法を提案している。この CoolRep は，地層処分の安全性を説明するウェブサイト上のレポートであり，膨大な知識を最新の知識工学や情報工学の技術を活用して展開することができ，その継続的な更新や透明性の高い品質保証が可能となる。現在，処分事業と安全規制を支える KMS の開発と CoolRep の基本機能の設計や実証を進めるとともに，研究開発成果の知識ベースとして体系化を図っている。

平成 21 年度末には，CoolRep 方式を用いて現中期計画の成果報告書（CoolRep H22）を取りまとめてウェブサイト上に公開し，KMS プロトタイプを通じて，最新の知識ベースにアクセスできるようにする予定である。その公開に向けて，地層処分研究開発部門では，主要なユーザーとなる事業主体（NUMO）や規制関連機関，地層処分に関係する省庁や研究開発機関，大学や企業などの専門家，知識を継承していくべき次世代の若手研究者を主な対象として，KMS 開発の現状や CoolRep の全体構想などを具体的に紹介し，その内容や進め方についての理解の促進を図るとともに広くご意見をいただくことを目的とした意見交換会「知識マネジメントシステム開発の現状」を，平成 21 年 7 月 1 日に東京都千代田区で開催した。

本資料は,「知識マネジメントシステム開発の現状」（地層処分研究開発部門意見交換会）において用いた発表資料および意見交換会の概要を取りまとめたものである。

2. 意見交換会の概要

意見交換会は２部構成として実施した。第１部では「知識マネジメントシステムの開発」を主題として，「第２次取りまとめ」や「TRU２次レポート」以降の事業段階における研究開発の成果として，地層処分事業を支える技術基盤が実用化の観点から強化が図られてきていることを具体的に示すとともに，次世代型の文書化 CoolRep の背景や機能，ならびに KMS の開発の現状を一部機能のデモ操作を交えて報告した。第２部では「知識マネジメントシステムへの期待と要望」を主題として，第１部の内容を踏まえて，地層処分の専門家や科学ジャーナリストによるパネルディスカッションを行い，さらに会場の参加者との意見交換を行った。以下に，プログラムの概要を示す。

第１部　「知識マネジメントシステムの開発」
【座　長】小島　圭二（地圏空間研究所　代表，東京大学名誉教授）
①地層処分を支援する JAEA 知識ベース　－中期計画に基づく研究開発成果の全体概要－
（発表者：地層処分研究開発部門　副部門長　油井　三和）

②中期計画取りまとめに向けて　－次世代研究開発報告書 CoolRep－
（発表者：地層処分研究開発部門　研究主席　梅木　博之）

③JAEA 知識マネジメントシステム
－基本概念と機能－
（発表者：研究開発統括ユニット　知識化グループ　日置　一雅）
－デモンストレーション－
（発表者：研究開発統括ユニット　知識化グループ　大澤　英昭）

第２部　「知識マネジメントシステムへの期待と要望」
【座　長】小島　圭二（地圏空間研究所　代表，東京大学名誉教授）
○パネルディスカッションおよび会場参加者との意見交換
【パネリスト】
朽山　修（原子力安全研究協会　処分システム安全研究所　所長）
山崎　晴雄（首都大学東京大学院　都市環境科学研究科　教授）
長﨑　晋也（東京大学大学院　工学系研究科　教授）
中村　浩美（科学ジャーナリスト）
土　宏之（原子力発電環境整備機構　技術部　技術部長）
【原子力機構】
油井　三和
梅木　博之

3. 意見交換会資料

3.1 地層処分を支援する JAEA 知識ベース

【発表要旨】

地層処分を支援する JAEA 知識ベース
－中期計画に基づく研究開発成果の全体概要－

地層処分研究開発部門
副部門長　油井 三和

1. はじめに

日本原子力研究開発機構（以下，原子力機構）では，国が示した中期目標や関連する計画・方針に従って定めた原子力機構の中期計画（平成 17 年 10 月 1 日～平成 22 年 3 月 31 日）に基づき，地層処分技術に関する研究開発として，地層処分研究開発およびその基盤となる深地層の科学的研究を進めている。中期計画では，研究開発成果を包括的な報告書と地層処分の安全確保の論拠を支える知識ベースとして取りまとめることとしている。

ここでは，地層処分技術に関する研究開発の背景と中期計画の概要，中期計画の研究開発成果に基づく知識ベースの事例を紹介する。

2. 背景と中期計画の概要

1）背景

地層処分をはじめとする放射性廃棄物対策は，原子力による社会の持続的な発展を支える必須の要件である。原子力機構の地層処分研究開発部門では，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を中核となって進めるとともに，TRU 廃棄物（長半減期低発熱放射性廃棄物）の地層処分に関する研究開発の一部を担いつつ，地層処分の事業を着実に進めるための技術基盤の継続的な強化を図っている。

地層処分の特徴は，百年にわたる事業の長期性と，千年，万年といった安全確保の超長期性にあり，そのため，国の責任のもと長期的な視点に立った研究開発の推進が求められる。地層処分の研究開発は，科学技術の進歩や社会条件等の変化に適切に対応できるように，計画性と柔軟性をもって継続的に進めることが重要であり，得られた成果は地層処分事業の円滑な進展を先導し，重要な意思決定プロセスを支える技術的拠り所となる必要がある。また，研究開発によって整備される基盤技術が事業や規制に適切に継承されていくためには，タイムリーな人材供給を念頭においた，中長期にわたる計画的な人材育成が求められる。

研究開発の成果は，地層処分事業の段階的な進展に先んじて公開し，事業者や規制者を含む様々なユーザーの利用に供していく必要があるが，対象となる情報は時間とともに急激に増加していく。原子力機構では，そのような研究開発の成果や関連する国内外の知見を体系化して適切に管理，伝承・継承していくため，知識マネジメントシステムの開発構想を打ち出し（核燃料サイクル開発機構，2005），現中期計画の中心テーマとして取り組んできた。

2）原子力機構の中期計画

中期計画では，原子力機構は地層処分技術に関する研究開発の中核的役割を担い，処分事業と安全規制の両面を支える技術基盤を整備するため,「地層処分研究開発」と「深地層の科学的研究」の二つの研究領域において，他の研究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」として体系化するとしている。また，中期計画期間の研究開発成果を，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としている。

「地層処分研究開発」では，地層処分の工学技術と安全評価手法の開発を進め，モデルの高度化やデータの拡充，データの標準的取得方法の確立，実際の地質環境データを用いた設計や安全評価手法の適用性確認等を行うとしている。「深地層の科学的研究」では，岐阜県瑞浪市（結晶質岩）と北海道幌延町（堆積岩）の深地層の研究施設（URL）において，地上からの調査技術やモデル化手法の妥当性評価，坑道掘削に係る工学技術の適用性確認等を行うとしている。また，地質環境の長期安定性に関する研究では，火山活動や断層活動，隆起・侵食に係る調査技術の体系化や評価モデルの開発を行うとしている。

また，本中期計画を踏まえて，他の研究機関も含めたオールジャパンでの研究開発計画が，高レベル放射性廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計画（資源エネルギー庁・原子力機構，2006）として取りまとめられている。

なお，研究開発の品質保証については，外部専門家による４つの評価委員会を組織し，年度ごとに計画や成果のレビューを受けるとともに，知識マネジメントシステム開発，核種移行研究などの特定テーマについては，国際ワークショップを開催し，研究のアプローチや品質等に関する議論，確認を行ってきた。また，スイス，スウェーデン，フィンランド等との国際共同研究や国内関係機関との協力を通じ，常に最新の国際的レベルの維持や技術動向の把握に努めてきた。こうした研究開発の成果は，数多くの関連論文や原子力機構研究開発報告書類等として公開されている。

3. 研究開発成果に基づく知識ベースの事例

1）事業段階における研究開発の視点

研究開発の成果は，事業や規制の着実な進展となって社会に還元される必要がある。ここでは，事業を支援する立場から，どのような基盤技術を提示できるのか，それは事業を進める上でどのような意義をもつのかを議論する。

まず，前提となるのは,「第２次取りまとめ」（核燃料サイクル開発機構，1999）や「TRU２次レポート」（電気事業連合会・核燃料サイクル開発機構，2005）などの総合的な研究開発成果報告書が,日本において高レベル放射性廃棄物および TRU 廃棄物の安全な地層処分が実現可能であることについての確かな基盤を与えているという認識である。この認識は，その後の諸外国の動向や科学技術の進歩などに照らしても，なお有効である。

このような日本全体を視野に入れた地層処分の技術基盤は,「第２次取りまとめ」や「TRU２次レポート」以降の事業段階における研究開発，すなわち URL 等を中心とした研究開発によって,実際の地質環境に対して具体的に適用するという実用化の観点から強化が図られてきている。実用化に向けては，とくに以下のようなポイント（視点）が重要となる。

・ 候補サイトへの適用を念頭においた現実的な地質環境条件の考慮

・ 処分場の建設・操業等の制約条件と閉鎖後の長期安全性への配慮
・ ステークホルダーへの積極的な情報提供
・ 科学技術の進歩や社会条件の変化に対応できる柔軟性
・ 情報の指数関数的な増加（情報爆発）に対応できる知識マネジメント

2) 知識ベースとしての成果例

研究開発の成果は上記1)に示した5つのポイントとマトリックス的に関連し合うものであるが，ここでは，各ポイントを切り口として，関連する研究開発成果の事例を紹介する。

(1) 現実的な地質環境条件の考慮

「第２次取りまとめ」や「TRU２次レポート」が示した地層処分の一般的な概念を，候補サイトの地質環境条件に適合させていくためには，①候補サイトの特性を把握するための調査技術や評価手法の開発と経験の蓄積，②候補サイトへの工学技術の適用を支援するための知識の蓄積，③異なる技術オプションを定量的に評価し，選択肢の検討に資するための評価ツールやデータベースの開発が重要となる。以下に，各項目に関する具体例を紹介する。

① 候補サイトの特性を把握するための調査技術や評価手法の開発と経験の蓄積

瑞浪URLの研究においては，段階的に得られる地質環境情報の統合により，地質構造の分布や地下水の動き等を把握するための調査の精度向上が図られたことや地下水流動に影響を及ぼす水みちの抽出評価手法が例示できたこと（三枝他，2007など），幌延URLの研究においては，地質構造や地球化学データの統合により大曲断層周辺の塩化物イオン濃度の分布等を把握したこと（太田他，2007 など），地質環境の長期安定性の研究においては，実際の地下深部におけるマグマの存否を確認するための調査手法や内陸部にも適用可能な隆起量の推定手法を整備したこと，安全評価手法の開発においては，整備した手法で取得した実際の地質環境データを用いて隆起侵食シナリオの評価手法を例示したこと（江橋他，2009）等が挙げられる。このような調査技術や評価手法は，具体的な候補サイトが明らかになった場合に，そのサイトの特性や適用性を評価するための基本的なツールとなる。

② 候補サイトへの工学技術の適用を支援するための知識の蓄積

工学技術の開発においては，強固な人工バリア性能の鍵となる緩衝材に関するデータベースを開発し，とくに重要な海水系地下水条件に対応した緩衝材基本特性データを拡充したこと，これを受け，幌延URLの実際の地質環境データを用いて人工バリアの設計技術が提示できたこと（藤田他，2007）等が挙げられる。このようなデータベースは，幅広い地質環境への適用が可能であり，候補サイトにおける人工バリアの設計や評価にとって有用なツールとなる。

③ 異なる技術オプションや選択肢の検討に資する評価ツールやデータベースの開発

工学技術の開発においては，炭素鋼オーバーパックの寿命評価のためのデータベースを開発するとともに，代替材料として銅オーバーパックの腐食挙動データを拡充することにより，サイト条件に柔軟に対応するためのオーバーパック材料選定オプションの検討を可能にしたこと，TRU 廃棄物の地層処分研究開発においては，普通セメントを用いた場合の高アルカリ影響に係る地球化学 - 物質移行連成評価モデルを開発し，その妥当

性をナチュラルアナログ研究の手法により定性的に確認したこと等が挙げられる。このようなデータの拡充やモデルの開発は，具体的な候補サイトが明らかになった場合に，人工バリアや工学材料のオプションを選定する際の有効なツールとなる。

(2) 処分場の建設・操業等の制約条件と閉鎖後の長期安全性への配慮

工学技術の開発においては，人工バリア性能等への影響に配慮した安全な建設・施工技術開発として，支保工やグラウト技術で用いる低アルカリ性セメント材料の仕様を例示するとともに，同材料を用いた原位置での施工技術の実証試験を行い，低アルカリ性セメントの実用性に係る技術的根拠を整備したこと，URL の研究においては，湧水抑制対策技術等の様々な安全対策に配慮した建設技術を適用し経験を蓄積したこと等が挙げられる。このような新材料の開発,施工技術の実証,安全に配慮した現場での建設等の経験の蓄積は，処分場の長期安全性の確保に配慮しつつ，安全かつ合理的に建設・施工を進めていくための実用技術として活用できる。

(3) ステークホルダーへの積極的な情報提供

工学技術の開発においては，炭素鋼オーバーパック性能について，様々な実験やナチュラルアナログ研究に基づき，1 年，10 年，100 年，1000 年オーダーでデータを俯瞰することにより，長期性能への信頼性を高めたこと，安全評価手法の開発においては，シナリオ解析の際にプロセスインフルエンス・ダイヤグラムの表示が可能となる計算機支援ツール（FepMatrix）を開発し関係機関の利用に供したこと，核種移行評価で用いられる重要な分配係数の取得手法としてバッチ法に加え，現実的な圧密固相中での測定手法を提示したこと，核種の分配係数の設定のために世界初の試みとして信頼度を付与した収着データベースを開発し，関係機関や国内外専門家の利用に供したこと等が挙げられる。このような俯瞰的な情報，解析技術，測定技術，実用的なデータベースの公開は，事業者や規制者のみならず，様々な利害関係者の利用を通じて，処分場の長期安全性への信頼向上につながるものと期待される。

(4) 科学技術の進歩や社会条件の変化に対応できる柔軟性

工学技術の開発においては，オーバーパックの腐食や核種移行の場となる人工バリアとその周辺環境における熱 - 水 - 応力 - 化学の時空間変化を数値実験により表現する手法を開発した。これにより，処分場の長期的な変遷の可視化や人工バリアの初期性能のモニタリング等に活用できる精緻な解析技術の提供が可能となった。このような技術は，処分場の操業中に定期的あるいは社会の要請等に応じて安全確認を行う場合のツールとしても有効であり，計算科学等の進歩に応じてさらなる効率化が期待できる。

(5) 情報爆発に対応できる知識マネジメント

地層処分事業を支えるデータや情報の量は指数関数的に増加しており，最近では，関連する全ての文書等を従来の方式で取り扱うことが難しくなってきている。原子力機構では，こうした多分野にわたる多量な情報を管理するため，世界に先駆けて知識マネジメントシステムの開発・導入に着手した。開発中の知識マネジメントシステムは，根幹となる知識

ベースを中心に，ユーザーである実施主体，規制機関，専門家，公衆等との窓口となるコミュニケーションインターフェース，知識の管理・分析等のためのナレッジオフィス，関連する海外の情報等を取り入れることのできるグローバル知識ベース等より成る。

4. まとめ

原子力機構では，事業段階における基盤的な研究開発として，候補サイトが明らかになった場合に直ちに適用できるように，地質環境の調査評価技術，地層処分の工学技術および安全評価技術の各分野における技術基盤の整備を進めてきた。今後は，平成21年度末を目途に，中期計画の成果報告書(CoolRep H22)を取りまとめてWebサイト上に公開し，世界に先駆けて開発しているJAEA知識マネジメントシステム（プロトタイプ）を通じて，各分野の最新の知識ベースにアクセスできるようにしていく。このような，地層処分の安全確保に係る様々な論拠や知識を恒常的に提供できるシステムの構築により，わが国の地層処分計画を着実に進めるための強固な支援体制が整備できる。プロトタイプの公開後も継続的に知識ベースの更新とマネジメント機能の強化を進め，処分事業と安全規制の段階的な進展を支える知識基盤の維持・強化を図っていく予定である。

参考文献

核燃料サイクル開発機構（1999）：わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 - 地層処分研究開発第2次取りまとめ - ，サイクル機構技術資料，JNC TN1400 99-020～024.

核燃料サイクル開発機構（2005）：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 - ，サイクル機構技術資料，JNC TN1400 2005-020，014～016.

電気事業連合会・核燃料サイクル開発機構（2005）：TRU廃棄物処分技術検討書-第2次TRU廃棄物処分研究開発取りまとめ-，サイクル機構技術資料，JNC TY1400 2005-013/FEPC TRU-TR2-2005-02.

資源エネルギー庁・原子力機構（2006）：高レベル放射性廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計画.

三枝博光他（2007）：超深地層研究所計画における地表からの調査予測研究段階（第1段階）研究成果報告書，JAEA-Research 2007-043.

太田久仁雄他（2007）：幌延深地層研究所計画における地上からの調査研究段階（第1段階）研究成果報告書　分冊「深地層の科学的研究」，JAEA-Research 2007-044.

藤田朝雄他（2007）：幌延深地層研究所計画における地上からの調査研究段階（第1段階）研究成果報告書　分冊「地層処分研究開発」，JAEA-Research 2007-045.

江橋健他（2009）：仮想的な堆積岩分布域における地層処分の地下水シナリオを対象とした隆起・侵食の影響評価手法の例示，JAEA-Research 2008-117.

【発表スライド】

地層処分を支援するJAEA知識ベース
－中期計画に基づく研究開発成果の全体概要－

日本原子力研究開発機構
地層処分研究開発部門意見交換会
平成21年7月1日

日本原子力研究開発機構　地層処分研究開発部門
油井　三和

説明内容

- 背景と原子力機構中期計画
- 中期計画取りまとめに向けての視点と成果例
- まとめ

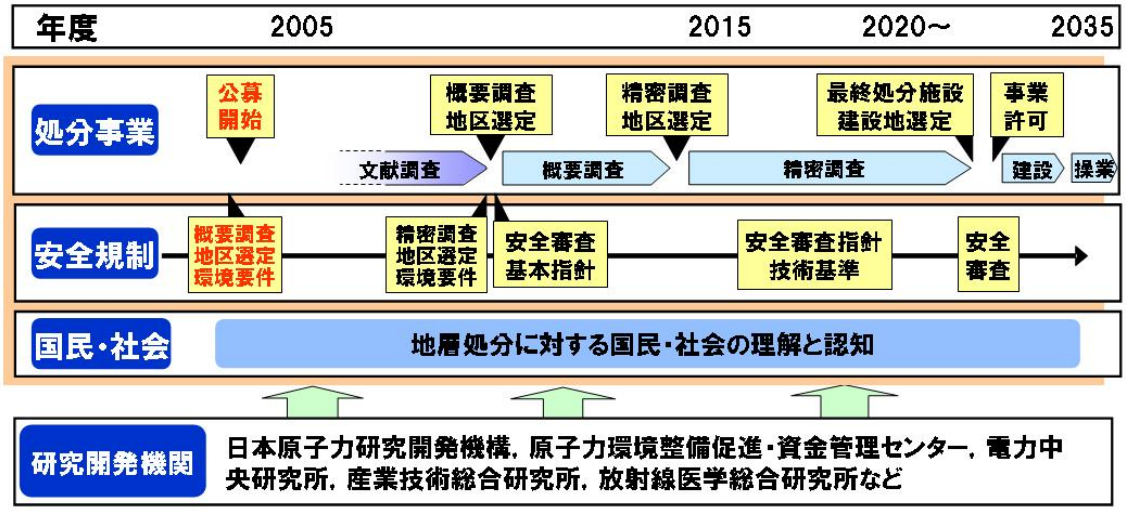
背景と原子力機構中期計画

地層処分研究開発で考慮すべき点

- 放射性廃棄物管理は原子力の持続的利用の要件として不可欠
- 地層処分事業の長期性と安全確保の超長期性
  - ✓ 長期的な視点に立った研究開発の推進
  - ✓ 事業の節目における重要な意思決定プロセスへの知識の継続的提供（重要なことは超長期の安全性を説明するための「知識」）
  - ✓ 知識の柔軟な創出と信頼性の継続的向上が必須（科学的知見の進歩や社会的条件などの変化に適切に対応）
  - ✓ 研究開発成果（基盤技術）の適切な技術移転
  - ✓ 地層処分に関する長期的な人材の育成と供給

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会（2009年7月1日，内幸町ホール）

地層処分計画の段階的な進展



➢知識マネジメントシステムの開発は、H17レポート（JNC ,2005）によって打ち出され、実施主体と規制機関に技術的基盤を提供する原子力機構の中心的テーマとして、中期計画策定に反映

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会（2009年7月1日，内幸町ホール）

原子力機構中期計画（1）－全体

●機構は，研究開発の中核的役割を担い，
- ✓ 処分事業と安全規制の両面を支える知識基盤を整備
- ✓ 「地層処分研究開発」と「深地層の科学的研究」の二つの領域を設定
- ✓ 他の研究開発機関と連携
  - ➔「地層処分基盤研究開発調整会議」による運営と統合
- ✓ 技術的信頼性の継続的強化

●研究開発成果を
- ✓ 安全確保の論拠を支える「知識ベース」として体系化
- ✓ 国内外専門家によるレビュー等を通じた技術的品質の確保
- ✓ 包括的な報告書と知識ベースとして取りまとめ

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会（2009年7月1日，内幸町ホール）

原子力機構中期計画（2）－研究開発

- 地層処分研究開発
  - ✓工学技術の開発および安全評価手法の開発
    - モデルの高度化とデータの拡充、データの標準的取得方法の確立
    - 実際の地質環境データを用いた設計や安全評価手法の整備等
- 深地層の科学的研究
  - ✓深地層の研究施設（URL）
    - 瑞浪URL（結晶質岩）や幌延URL（堆積岩）における地上からの調査技術やモデル手法の妥当性評価
    - 坑道掘削に係る工学技術等の適用性確認
  - ✓地質環境の長期安定性に関する研究
    - 天然現象に係る調査技術の体系化やモデル開発
- TRU廃棄物地層処分研究開発
  - ✓自らの廃棄物に対する設計・安全評価のデータ取得等
  - ✓高レベル放射性廃棄物との併置処分に向けた研究開発

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会（2009年7月1日，内幸町ホール）

研究開発成果の品質保証

■外部専門家による評価委員会（年度毎に計画，成果をレビュー・審議）

地層処分研究開発・評価委員会

深地層の研究施設計画検討委員会
地層処分研究開発検討委員会
地質環境の長期安定性研究検討委員会

■国際ワークショップ（特定テーマに対する国内外専門家によるレビュー）

知識マネジメントシステム，品質保証，
核種移行研究，微生物影響評価研究，
グラウト技術高度化　など

■査読付論文，JAEA研究開発報告書類など（多数）

■その他

国際共同研究，国内共同研究
特定テーマ専門委員会　など

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会（2009年7月1日，内幸町ホール）

中期計画取りまとめに向けての視点と成果例

中期計画取りまとめに向けての視点

- 「HLW第２次取りまとめ」と「TRU２次レポート」は日本における安全な地層処分のための基本的な技術基盤を形成
- この基礎は、引き続き実施している研究開発を通じて、特定サイトの条件への適用という観点から強化
- 現中期計画における研究開発成果の取りまとめは、地層処分実施主体と安全規制機関、また、この問題に関心のあるすべてのユーザーを支援するために作成
- 知識マネジメントシステムと直結した次世代型報告書「CoolRep」の形式は 、今世紀を通じて展開される日本の地層処分プロジェクトを支援するための新たな取り組み

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会（2009年7月1日，内幸町ホール）

中期計画取りまとめに向けての視点 －研究開発の進展－

「HLW第２次取りまとめ」と「TRU２次レポート」の技術基盤を実際の地質環境条件への適用という観点から強化：

- 候補サイトへの適用を念頭においた現実的な地質環境条件の考慮
- 処分場の建設・操業等の制約条件と閉鎖後の長期安全性への配慮
- 関心のあるステークホルダーへの積極的な情報提供
- 科学技術の進歩や社会条件の変化に対応できる柔軟性
- 情報の指数関数的な増加（情報爆発）に対応できる知識マネジメント

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会（2009年7月1日，内幸町ホール）

候補サイトへの適用を念頭においた現実的な地質環境条件の考慮

いかに「HLW第２次取りまとめ」と「TRU２次レポート」の一般的な概念を現実的な地質環境条件に適合させるか？

研究開発の視点：

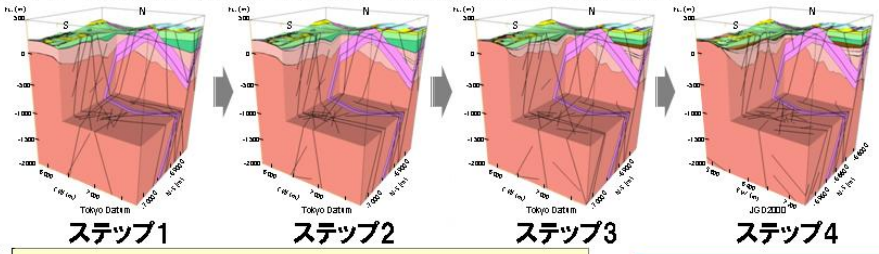
- 候補サイトの特性を把握するための調査技術や評価手法の開発と経験の蓄積
- 候補サイトへの工学技術の適用を支援するための知識の蓄積
- 異なる技術オプションを定量的に評価し，選択肢の検討に資するための評価ツールやデータベースの開発

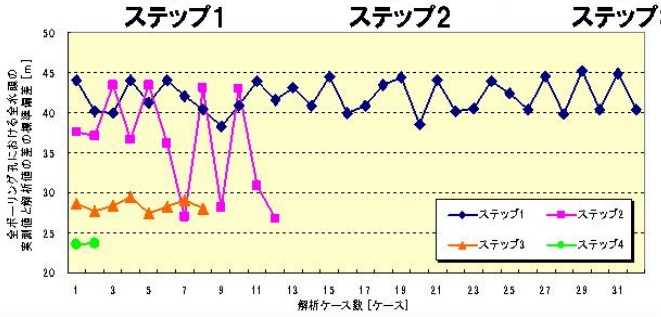
平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会（2009年7月1日，内幸町ホール）

候補サイトの特性を把握するための調査技術や評価手法の開発と経験の蓄積

- 調査研究の進展に応じて得られるデータに基づく地質構造の三次元分布の把握

（地質学的不均質性や物質移行経路を考慮した調査手法を開発）



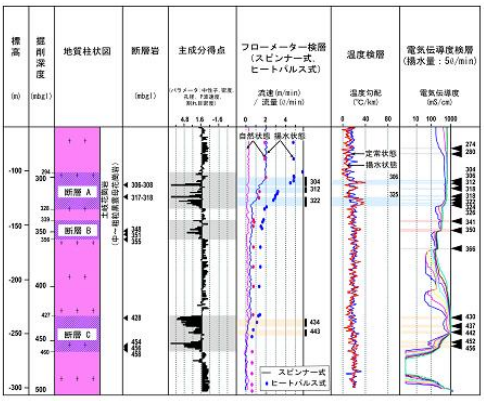


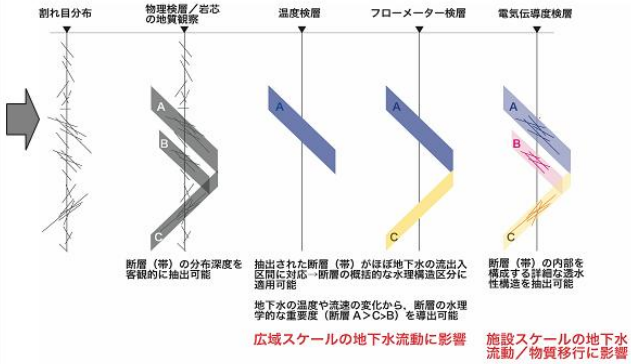
段階的な地質環境情報の統合による地質構造の分布や地下水の動きなどの調査精度の向上（瑞浪URLの例）

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会（2009年7月1日，内幸町ホール）

候補サイトの特性を把握するための調査技術や評価手法の開発と経験の蓄積

➢地下水流動に影響を及ぼす水みちの抽出評価

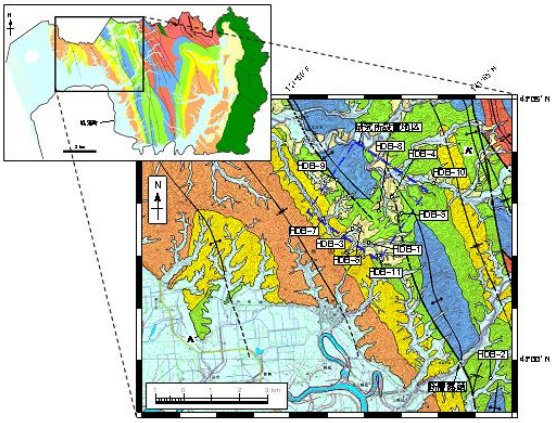


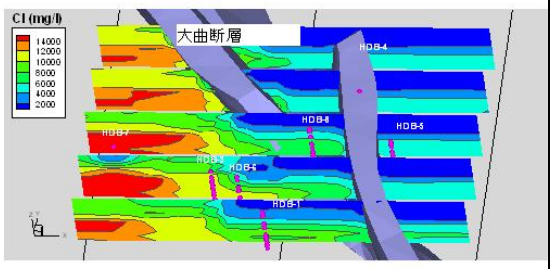


原位置における品質保証された調査手法の例示（瑞浪URLの例）

候補サイトの特性を把握するための調査技術や評価手法の開発と経験の蓄積

➢大曲断層周辺の地下水中の塩化物イオン濃度の分布





研究所設置地区及び周辺の地質図

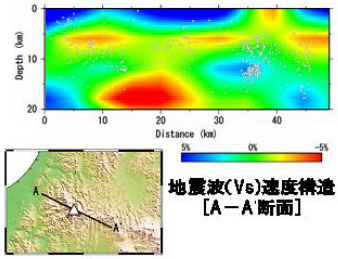
地質データの包括的な統合（e.g. 地質構造と地球化学）の例示（幌延URLの例）

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会（2009年7月1日，内幸町ホール）

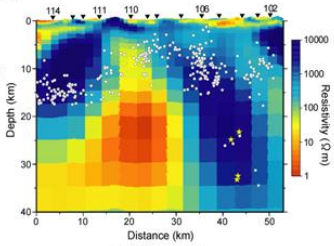
候補サイトの特性を把握するための調査技術や評価手法の開発と経験の蓄積

➢火山・地熱活動の調査

実際の地質環境における地下深部のマグマの存否を確認するための調査手法の開発



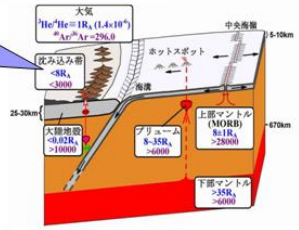
地震波(Vs)速度構造
[A－A'断面]



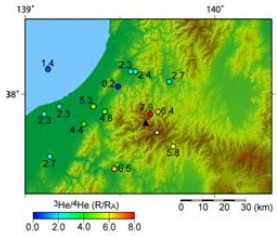
比抵抗構造

震源分布，地震波速度構造，比抵抗構造の解析の結果，飯豊山地（非火山地帯）の地下には400℃以上の高温の物質が存在することが示唆→地球物理データにより，高温物質がマグマであることを推定

マグマはマントルが溶融した物質であり，そのヘリウム同位体比もマントルのそれと同程度



大気・地殻・マントルのヘリウム同位体比



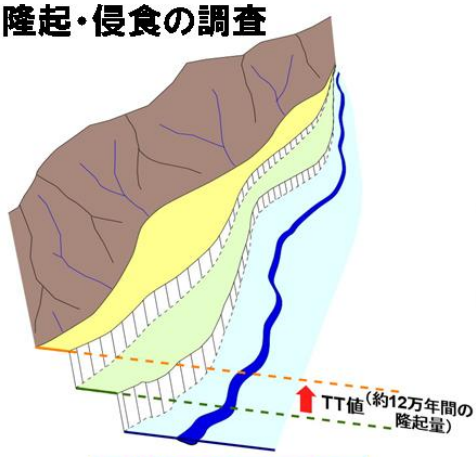
飯豊山地周辺の温泉ガスのヘリウム同位体比の分布

高温物質が存在している地域では，高いヘリウム同位体比が認められ，その値は東北日本の活火山から放出される火山ガスの値と同程度→地球化学データによって，高温物質がマグマであることを確認

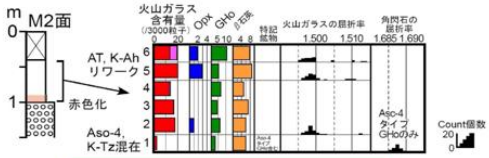
平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会（2009年7月1日，内幸町ホール）

候補サイトの特性を把握するための調査技術や評価手法の開発と経験の蓄積

➢隆起・侵食の調査

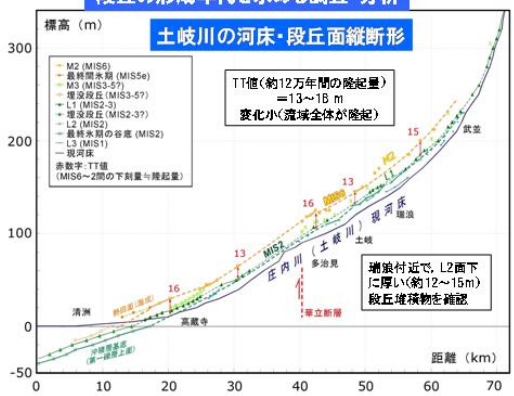


河岸段丘の比高による隆起量推定（模式図）



段丘の形成年代を求める調査・分析

土岐川の河床・段丘面縦断形



河岸段丘の年代と比高を利用したTT法が，内陸部の隆起量を推定する手法として有効であることを確認した。

内陸部にも適用可能な隆起量の推定手法の開発

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会（2009年7月1日，内幸町ホール）

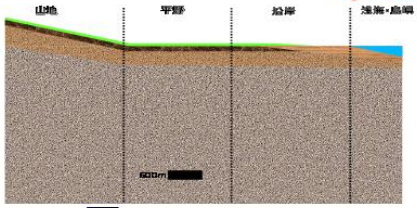
候補サイトの特性を把握するための調査技術や評価手法の開発と経験の蓄積

➢隆起・侵食の安全評価手法

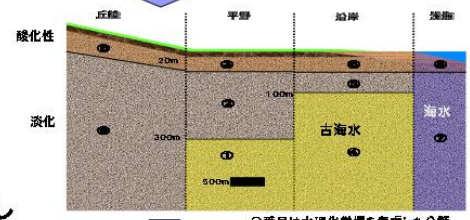
幌延の第一段階調査結果等を参考として，隆起・侵食事象を対象とした安全評価モデルを作成し，安全評価手法の構築を行う

- 幌延の第一段階調査結果等を参考に，地下深部における化学環境や水理環境を区分
- 仮想的な堆積岩分布域を設定
- 隆起・侵食による具体的な「場」の条件変化の類型化

→ モダンアナログ的な考え方（隆起・侵食が継続したとしても、将来においても、大局的には現在と同様の場の水理・化学的条件は保たれる）の適用により、安全評価のための概念モデルを構築



調査データからの【場】の情報



○番号は水理化学場を考慮した分類

評価モデルの構築，隆起・侵食速度に関する考え方の整理，感度解析の実施，モダンアナログ的な考え方の適用性検討

隆起・侵食シナリオに対する安全評価手法の例示

場の調査結果を踏まえた安全評価手法の構築

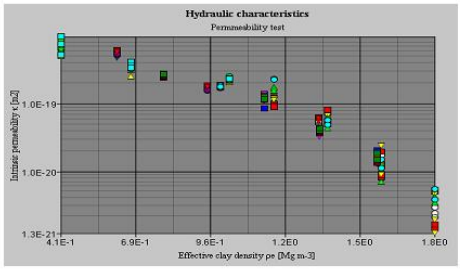
平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会（2009年7月1日，内幸町ホール）

候補サイトへの工学技術の適用を支援するための知識の蓄積

データベースのトップページ

検索機能（透水特性を一例）

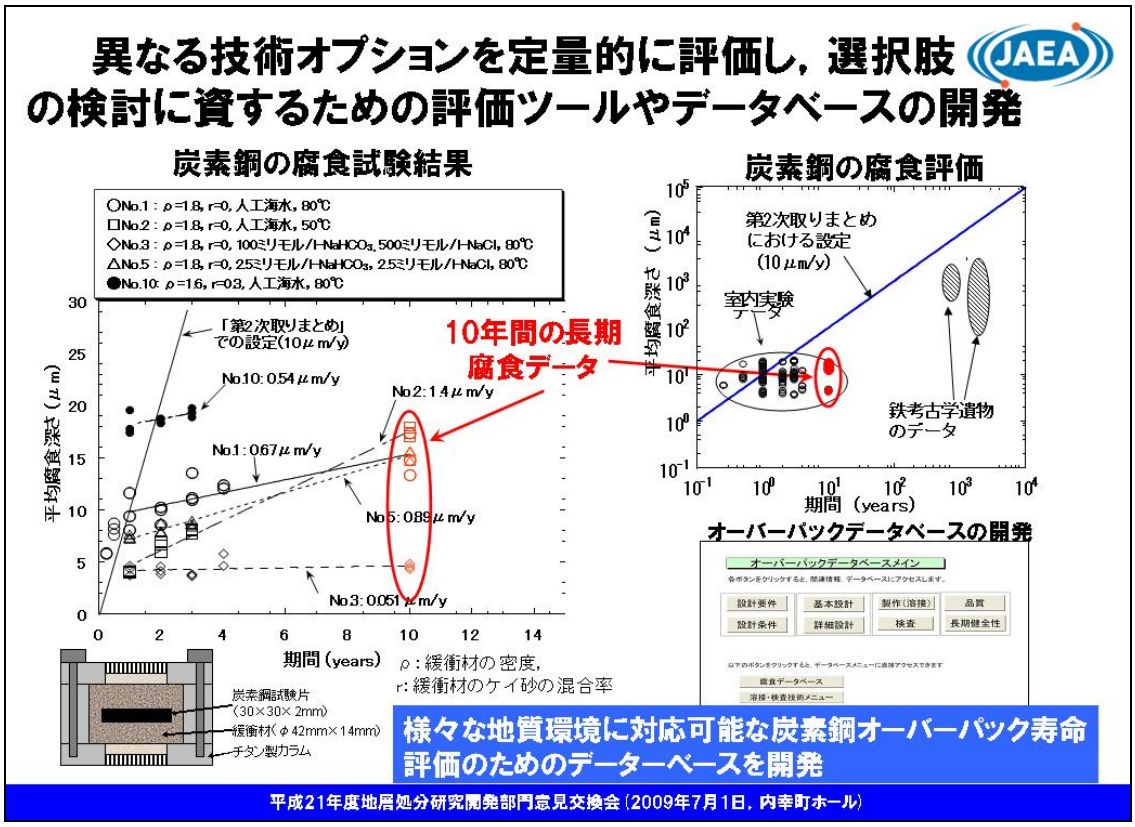
➢密度や砂の混合割合，試験に使用した溶液の水質，試験温度などによる検索

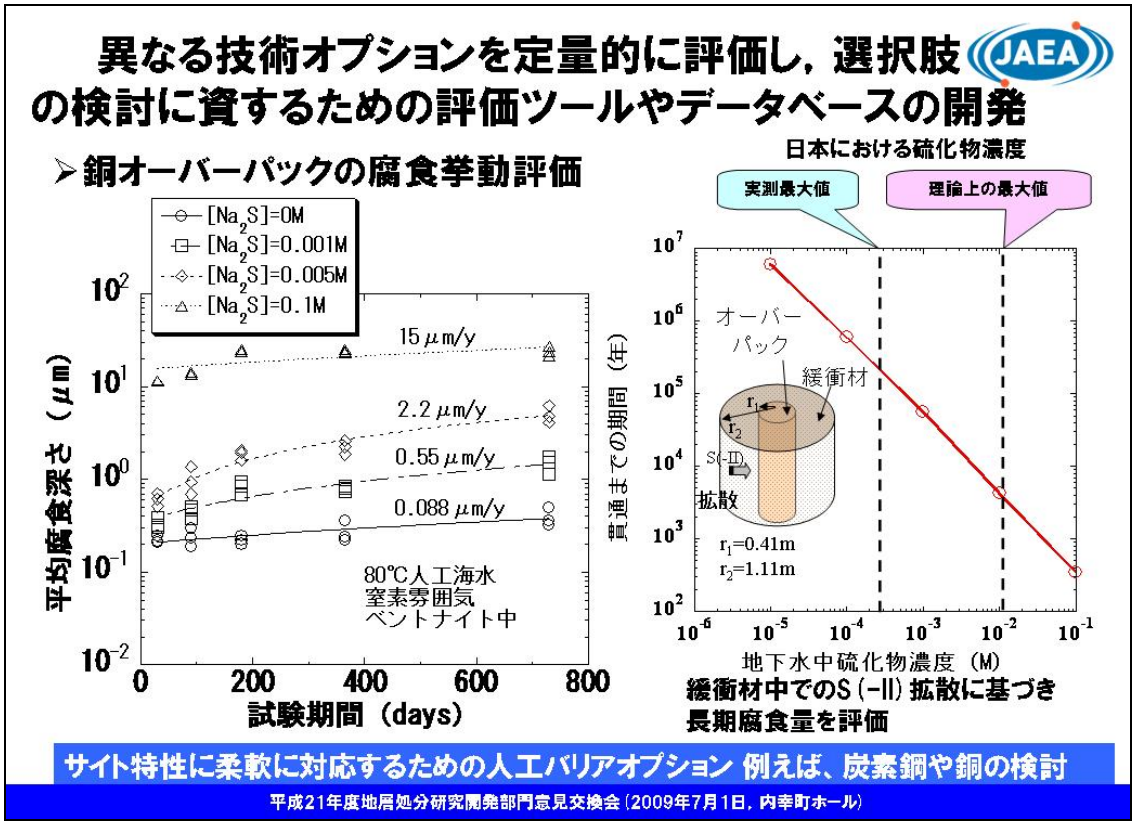


グラフ表示機能（固有透過係数の例）

ロバストな人工バリア性能の鍵となる緩衝材に関する包括的なデータベースの開発、特に重要な海水系地下水条件に対応した緩衝材基本特性データの拡充

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会（2009年7月1日，内幸町ホール）

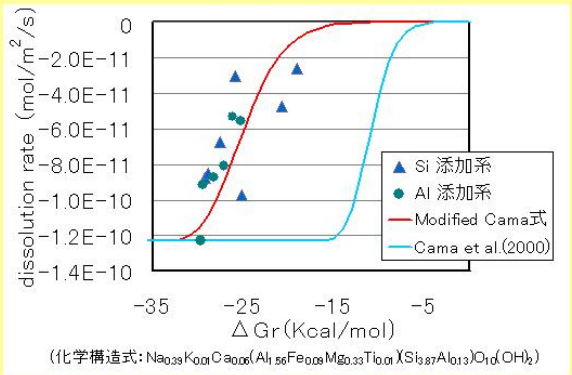

異なる技術オプションを定量的に評価し，選択肢の検討に資するための評価ツールやデータベースの開発
JAEA
炭素鋼の腐食試験結果
○No.1：ρ=1.8, r=0, 人工海水, 80℃
□No.2：ρ=1.8, r=0, 人工海水, 50℃
◇No.3：ρ=1.8, r=0, 100ミリモル/l-NaHCO3, 500ミリモル/l-NaCl, 80℃
△No.5：ρ=1.8, r=0, 25ミリモル/l-NaHCO3, 25ミリモル/l-NaCl, 80℃
●No.10: ρ=1.6, r=0.3, 人工海水, 80℃
「第2次取りまとめ」での設定(10μm/y)
No.10: 0.54μm/y
No.2: 1.4μm/y
No.1: 0.67μm/y
No.5: 0.89μm/y
No.3: 0.051μm/y
平均腐食深さ（μm）
期間（years）
10年間の長期腐食データ
炭素鋼の腐食評価
第2次取りまとめにおける設定(10μm/y)
室内実験データ
鉄考古学遺物のデータ
期間（years）
ρ：緩衝材の密度，
r：緩衝材のケイ砂の混合率
炭素鋼試験片(30×30×2mm)
緩衝材(φ42mm×14mm)
チタン製カラム
オーバーパックデータベースの開発
様々な地質環境に対応可能な炭素鋼オーバーパック寿命評価のためのデーターベースを開発
平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会（2009年7月1日，内幸町ホール）


異なる技術オプションを定量的に評価し，選択肢の検討に資するための評価ツールやデータベースの開発
JAEA
➢銅オーバーパックの腐食挙動評価
[Na2S]=0M
[Na2S]=0.001M
[Na2S]=0.005M
[Na2S]=0.1M
15μm/y
2.2μm/y
0.55μm/y
0.088μm/y
80℃人工海水
窒素雰囲気
ベントナイト中
平均腐食深さ（μm）
試験期間（days）
日本における硫化物濃度
実測最大値
理論上の最大値
オーバーパック
緩衝材
拡散
r1=0.41m
r2=1.11m
貫通までの期間（年）
地下水中硫化物濃度（M）
緩衝材中でのS(-II)拡散に基づき長期腐食量を評価
サイト特性に柔軟に対応するための人工バリアオプション 例えば、炭素鋼や銅の検討
平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会（2009年7月1日，内幸町ホール）

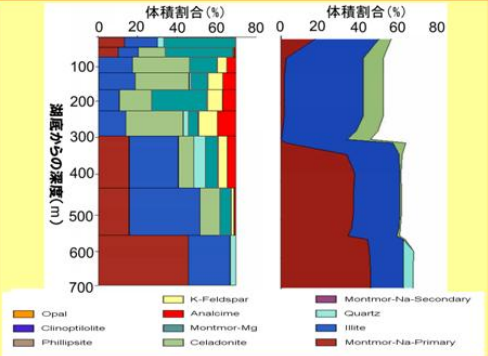
異なる技術オプションを定量的に評価し，選択肢の検討に資するための評価ツールやデータベースの開発

➢ 高アルカリ性条件における緩衝材の長期挙動評価（TRU廃棄物地層処分研究開発）

セメント影響に関する地球化学－物質移行連成評価モデルの構築とナチュラルアナログによる妥当性確認



スメクタイトの溶解速度とΔGr（反応の自由エネルギー変化）の関係
Cama et al.（2000）（pH8.8）で求めた経験式と本実験で求めた式（処分環境を考慮したpH12以上）



Serles Lake湖沼堆積物（左：コアデータ，右：Cama et al.（2000）のスメクタイト溶解速度式の適用性検討（堆積物の圧縮を考慮したケース））

普通セメントと低アルカリ性セメントの定量的なオプション比較が可能なモデル開発

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会（2009年7月1日，内幸町ホール）

中期計画取りまとめに向けてのポイント
－研究開発の進展－

「HLW第２次取りまとめ」と「TRU２次レポート」の技術基盤を実際の地質環境条件への適用という観点から強化：

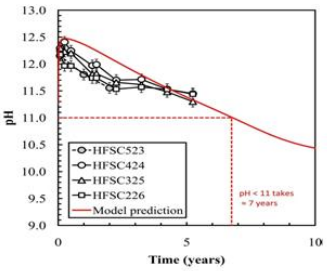
- 候補サイトへの適用を念頭においた現実的な地質環境条件の考慮
- 処分場の建設・操業等の制約条件と閉鎖後の長期安全性への配慮
- 関心のあるステークホルダーへの積極的な情報提供
- 科学技術の進歩や社会条件の変化に対応できる柔軟性
- 情報の指数関数的な増加（情報爆発）に対応できる知識マネジメント

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会（2009年7月1日，内幸町ホール）

バリア性能への影響に配慮した安全な建設・施工技術の開発

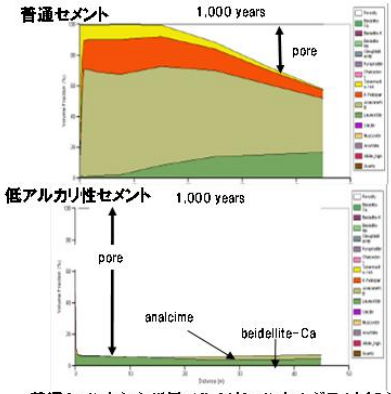
普通セメントによる人工バリアや岩盤の変質に伴なう不確実性を低減するための低アルカリ性セメント材料（OPC，シリカフューム，フライアッシュ）の配合開発

- ➢吹付けコンクリート（支保）：幌延URLの設計基準強度を満足する配合を選定済み
- ➢覆工（場所打ち）コンクリート（支保）：高流動コンクリートを指向した配合でFAの品質変動の影響を確認
- ➢低アルカリセメントグラウト：最適な配合として超微粒子セメント：シリカフューム＝1：1を選定



目標のpH<11に達するには7年必要

支保工に用いる低アルカリ性セメントの水和反応に伴うpHの経時変化例



1000年後，普通セメントでは亀裂がほぼ閉塞されるのに対して、低アルカリ性セメントではほとんど変化がない。

普通セメントおよび低アルカリセメントのグラウトによる亀裂閉塞予測の例

支保工やグラウトで用いる低アルカリ性セメント仕様の例示

低アルカリ性セメントを用いた対策技術の実証試験

■吹付けコンクリート

- 地上での模擬空洞を用いた吹付け試験完了（H18年度）
- 原位置試験に向けた配合／試験計画設定済み（H19年度）
- 幌延URL140m坑道での原位置試験（H21年度）

■覆工コンクリート

- 特性に関する室内試験および原位置試験に向けた配合選定（H20年度）
- 幌延URL立坑底部で原位置試験（予定）

■グラウト材料

- 原位置試験に向けた配合／試験計画設定済み（H20年度）
- 幌延URL250m坑道での原位置試験（H21年度）

140m研究アクセス坑道を用いたHFSC吹付け試験の様子（幌延）

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

建設・操業時の様々な安全対策

水平坑道貫通（幌延140m研究アクセス坑道）

水平坑道建設（瑞浪300m水平坑道）

先行ボーリング（瑞浪300m水平坑道）

グラウト注入（瑞浪主立坑）

深地層の研究施設の建設を通じて得られた経験

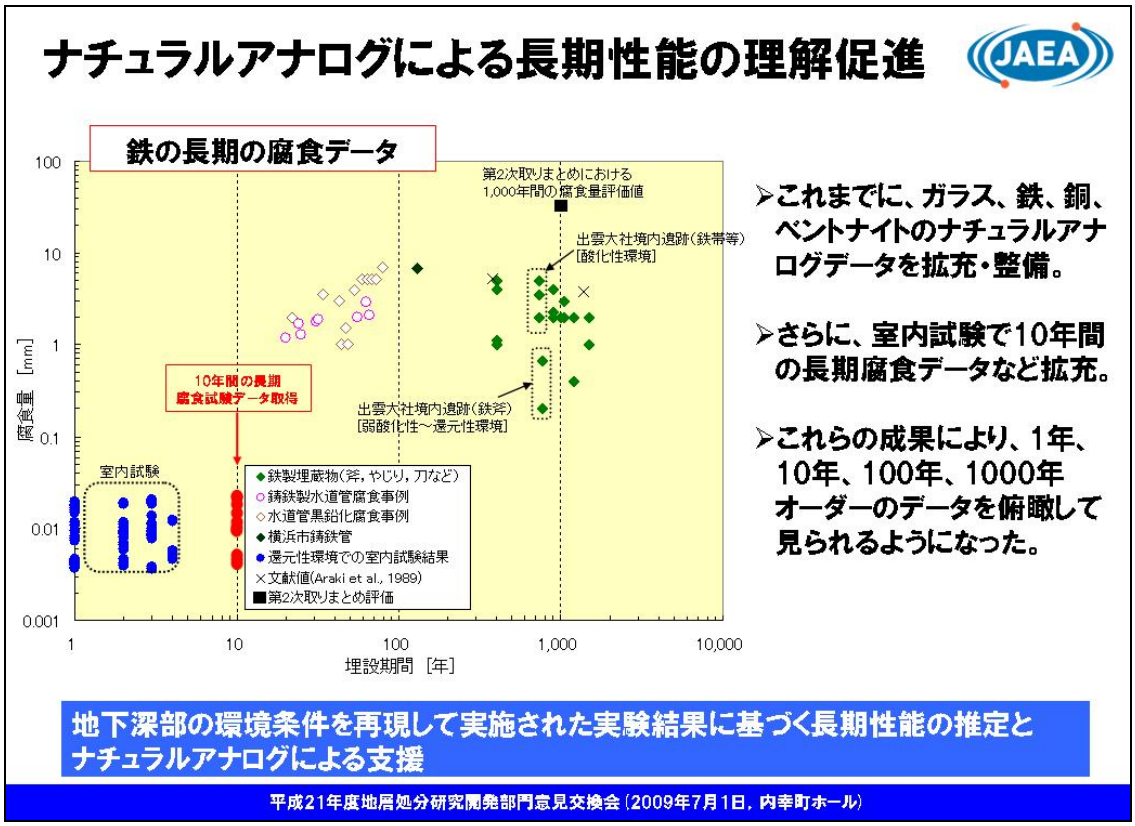
平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会（2009年7月1日，内幸町ホール）

中期計画取りまとめに向けてのポイント
－研究開発の進展－

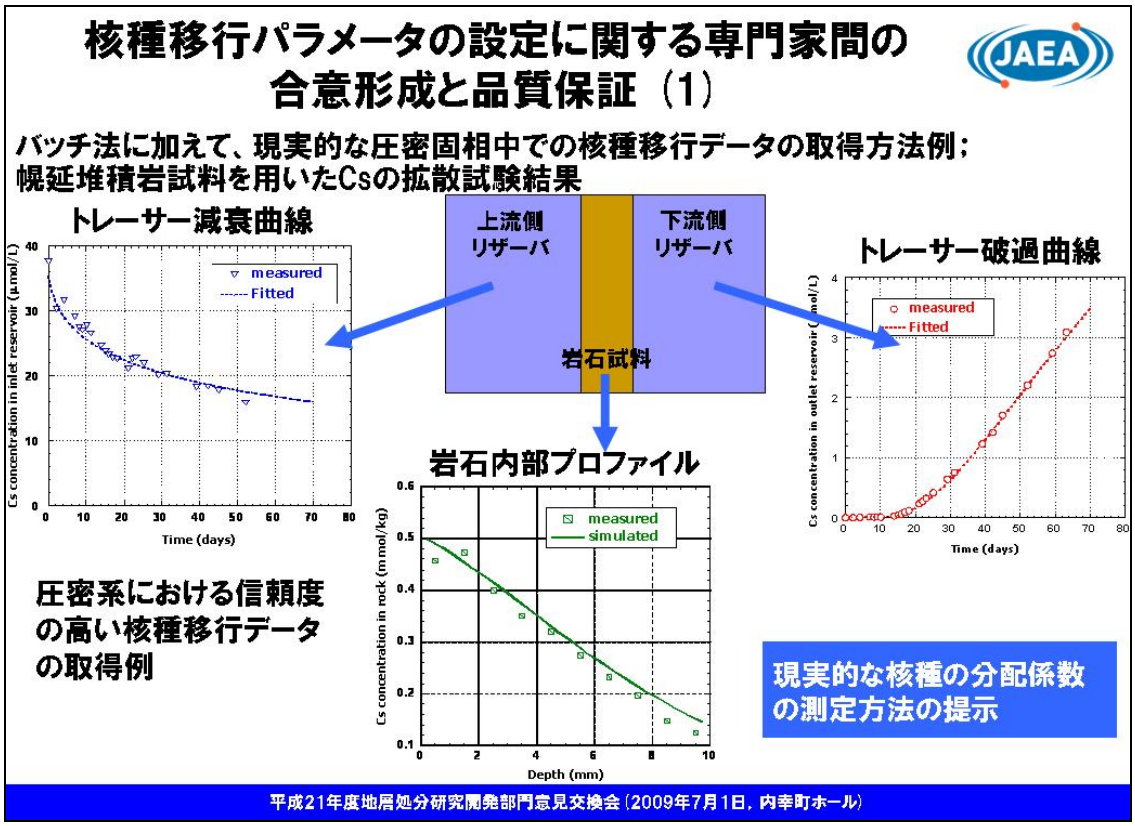
「HLW第2次取りまとめ」と「TRU2次レポート」の技術基盤を実際の地質環境条件への適用という観点から強化：

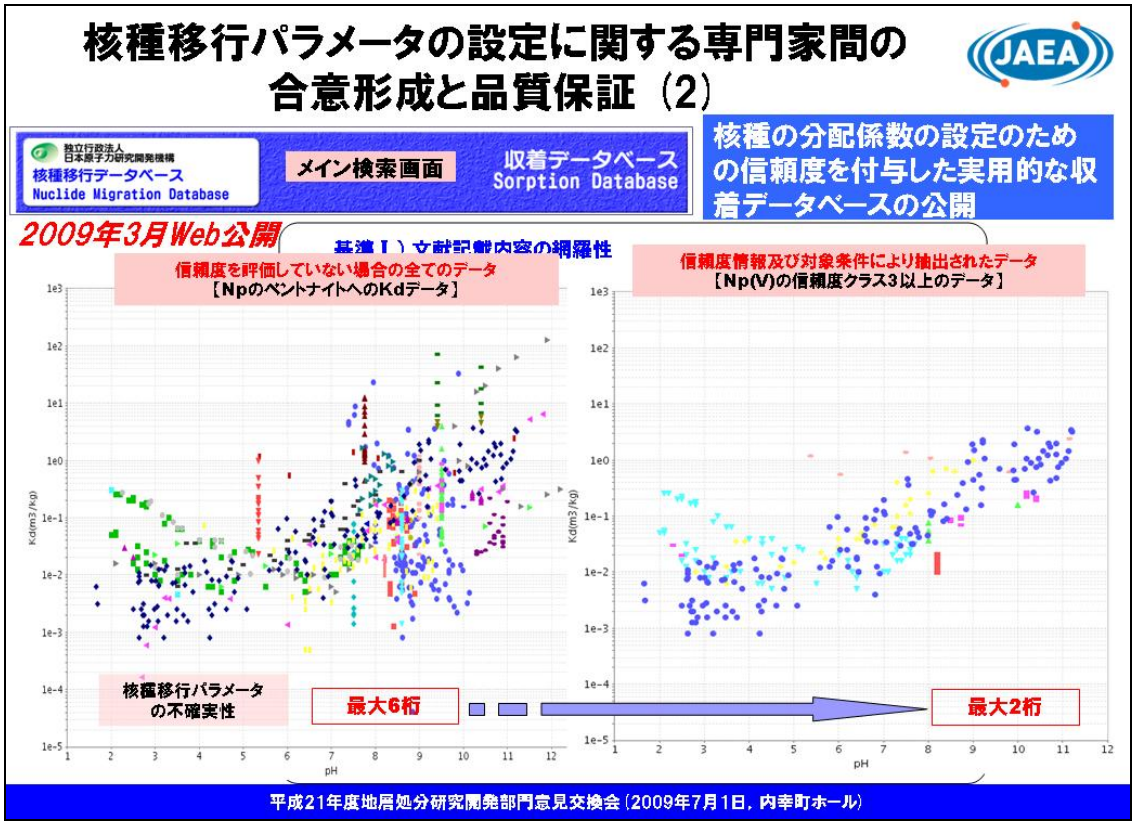
- 候補サイトへの適用を念頭においた現実的な地質環境条件の考慮
- 処分場の建設・操業等の制約条件と閉鎖後の長期安全性への配慮
- 関心のあるステークホルダーへの積極的な情報提供
- 科学技術の進歩や社会条件の変化に対応できる柔軟性
- 情報の指数関数的な増加（情報爆発）に対応できる知識マネジメント

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会（2009年7月1日，内幸町ホール）


ナチュラルアナログによる長期性能の理解促進
JAEA
鉄の長期の腐食データ
第2次取りまとめにおける
1,000年間の腐食量評価値
出雲大社境内遺跡(鉄帯等)
[酸化性環境]
10年間の長期
腐食試験データ取得
出雲大社境内遺跡(鉄斧)
[弱酸化性～還元性環境]
室内試験
◆鉄製埋蔵物(斧，やじり，刀など)
○鋳鉄製水道管腐食事例
◇水道管黒鉛化腐食事例
◆横浜市鋳鉄管
●還元性環境での室内試験結果
×文献値(Araki et al., 1989)
■第2次取りまとめ評価
腐食量 [mm]
埋設期間 [年]
100
10
1
0.1
0.01
0.001
1
10
100
1,000
10,000
➢これまでに、ガラス、鉄、銅、ベントナイトのナチュラルアナログデータを拡充・整備。
➢さらに、室内試験で10年間の長期腐食データなど拡充。
➢これらの成果により、1年、10年、100年、1000年オーダーのデータを俯瞰して見られるようになった。
地下深部の環境条件を再現して実施された実験結果に基づく長期性能の推定とナチュラルアナログによる支援
平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会（2009年7月1日，内幸町ホール）

地層処分の安全性に関する様々な懸念に関する
コミュニケーションツールの開発
JAEA
地層処分システムの現象理解
特性 (Feature)，出来事 (Event)，過程・経過 (Process) =FEP
これらの相互関係を把握整理
計算機上に具現化
計算機支援ツール FepMatrixへの展開
2007年3月
外部への
提供開始
シナリオ解析に係わるいろいろな機能を提供
機能の例
FEP情報の入力・編集のイメージ
プロセスインフルエンスダイヤグラム
表示による解析のイメージ
現象理解に基づく地層処分システムの
モデル化とFEP解析のイメージ
対角A
対角B
A→Bの
関係を表す
B→Aの
関係を表す
システム性能層
安全機能層
FEP層
トップ
ダウン
ボトム
アップ
マトリクス形式の整理
シナリオ解析手法 (FepMatrix) の公開
平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会（2009年7月1日，内幸町ホール）


核種移行パラメータの設定に関する専門家間の
合意形成と品質保証（1）
JAEA
バッチ法に加えて、現実的な圧密固相中での核種移行データの取得方法例；
幌延堆積岩試料を用いたCsの拡散試験結果
トレーサー減衰曲線
measured
Fitted
Cs concentration in inlet reservoir (μmol/L)
Time (days)
上流側
リザーバ
下流側
リザーバ
岩石試料
トレーサー破過曲線
measured
Fitted
Cs concentration in outlet reservoir (μmol/L)
Time (days)
岩石内部プロファイル
measured
simulated
Cs concentration in rock (mmol/kg)
Depth (mm)
圧密系における信頼度
の高い核種移行データ
の取得例
現実的な核種の分配係数
の測定方法の提示
平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会（2009年7月1日，内幸町ホール）


核種移行パラメータの設定に関する専門家間の
合意形成と品質保証（2）
JAEA
独立行政法人
日本原子力研究開発機構
核種移行データベース
Nuclide Migration Database
メイン検索画面
収着データベース
Sorption Database
核種の分配係数の設定のため
の信頼度を付与した実用的な収
着データベースの公開
2009年3月Web公開
信頼度を評価していない場合の全てのデータ
【NpのベントナイトへのKdデータ】
信頼度情報及び対象条件により抽出されたデータ
【Np(V)の信頼度クラス3以上のデータ】
Kd(m3/kg)
pH
核種移行パラメータ
の不確実性
最大6桁
最大2桁
平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会（2009年7月1日，内幸町ホール）

中期計画取りまとめに向けてのポイント
－研究開発の進展－

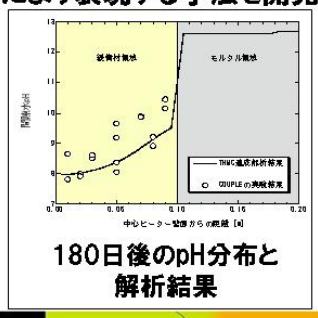
「HLW第２次取りまとめ」と「TRU２次レポート」の技術基盤を実際の地質環境条件への適用という観点から強化：

- 候補サイトへの適用を念頭においた現実的な地質環境条件の考慮
- 処分場の建設・操業等の制約条件と閉鎖後の長期安全性への配慮
- 関心のあるステークホルダーへの積極的な情報提供
- 科学技術の進歩や社会条件の変化に対応できる柔軟性
- 情報の指数関数的な増加（情報爆発）に対応できる知識マネジメント

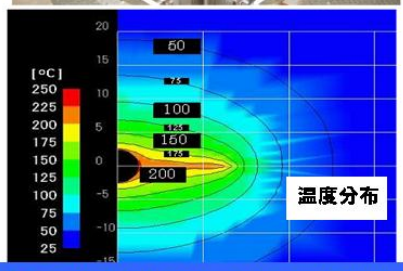
平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会（2009年7月1日，内幸町ホール）

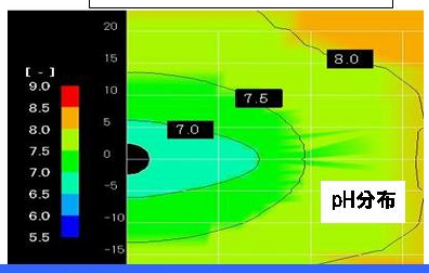
処分場の長期的変遷の可視化による理解促進や人工バリアの初期性能のモニタリング等に対応可能な数値解析技術の開発

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



180日後のpH分布と解析結果





最新の科学を取り入れたリアルな数値解析技術を開発

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会（2009年7月1日，内幸町ホール）

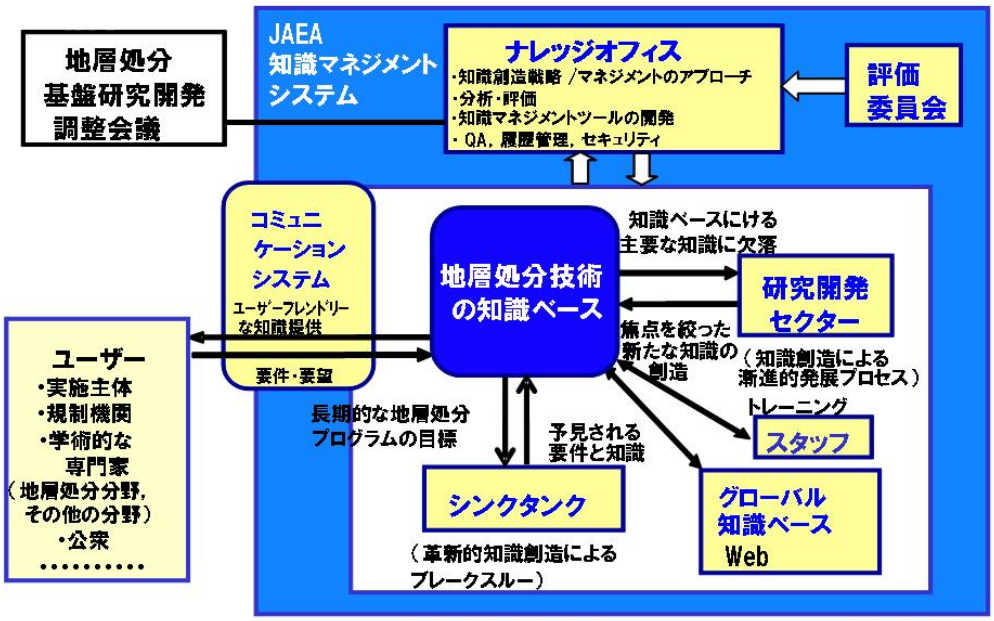
中期計画取りまとめに向けてのポイント
－研究開発の進展－

「HLW第２次取りまとめ」と「TRU２次レポート」の技術基盤を実際の地質環境条件への適用という観点から強化：

- 候補サイトへの適用を念頭においた現実的な地質環境条件の考慮
- 処分場の建設・操業等の制約条件と閉鎖後の長期安全性への配慮
- 関心のあるステークホルダーへの積極的な情報提供
- 科学技術の進歩や社会条件の変化に対応できる柔軟性
- 情報の指数関数的な増加（情報爆発）に対応できる知識マネジメント

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会（2009年7月1日，内幸町ホール）

知識マネジメントシステムの基本構成



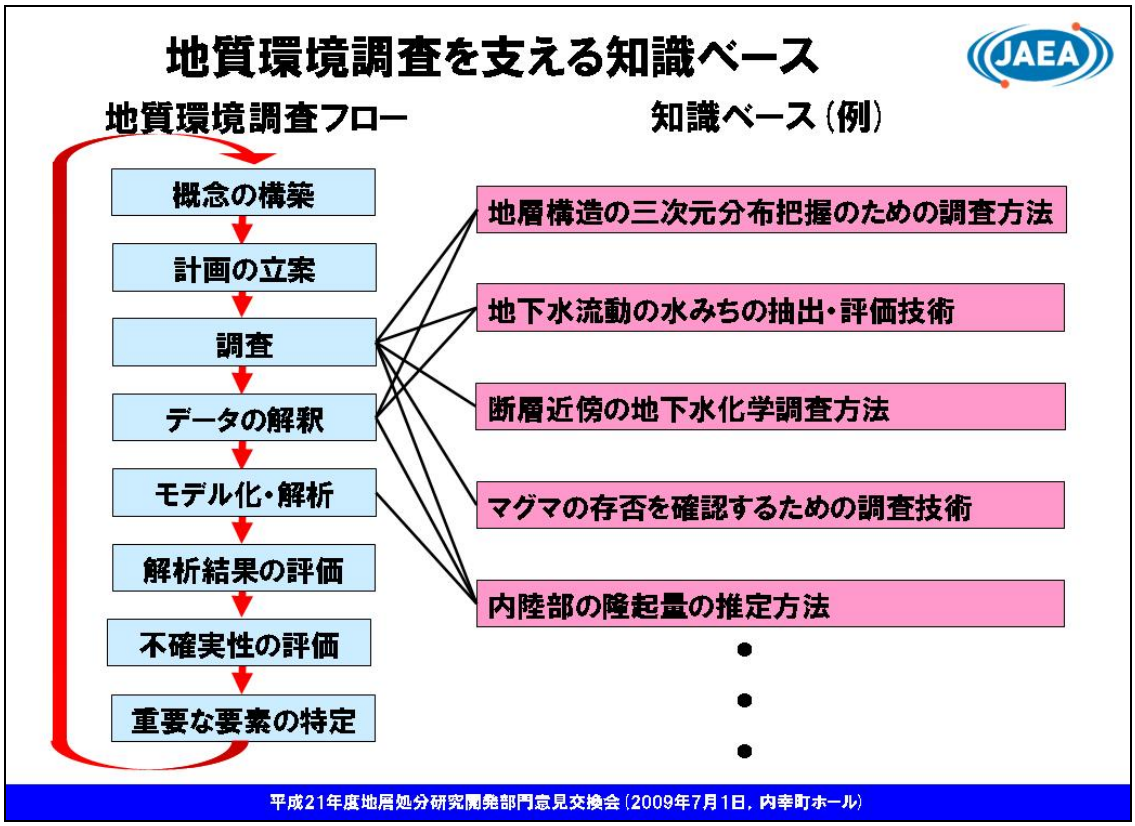
平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会（2009年7月1日，内幸町ホール）

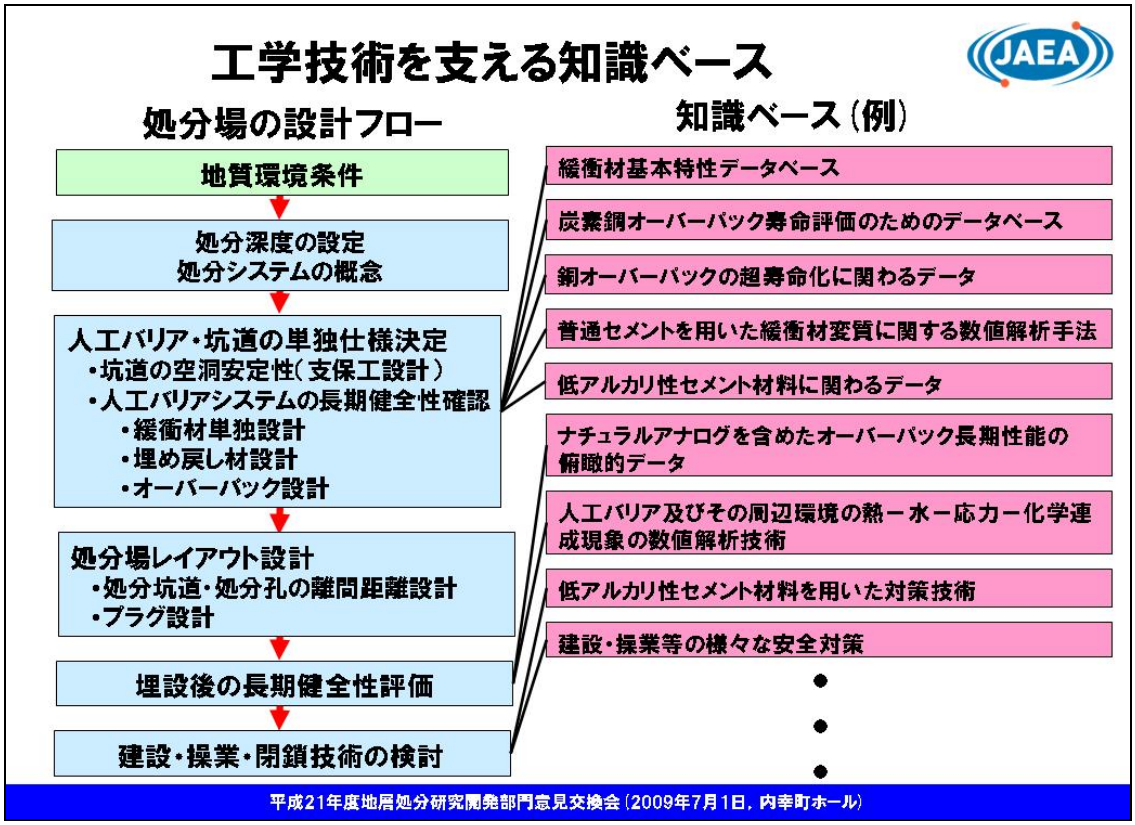
まとめ

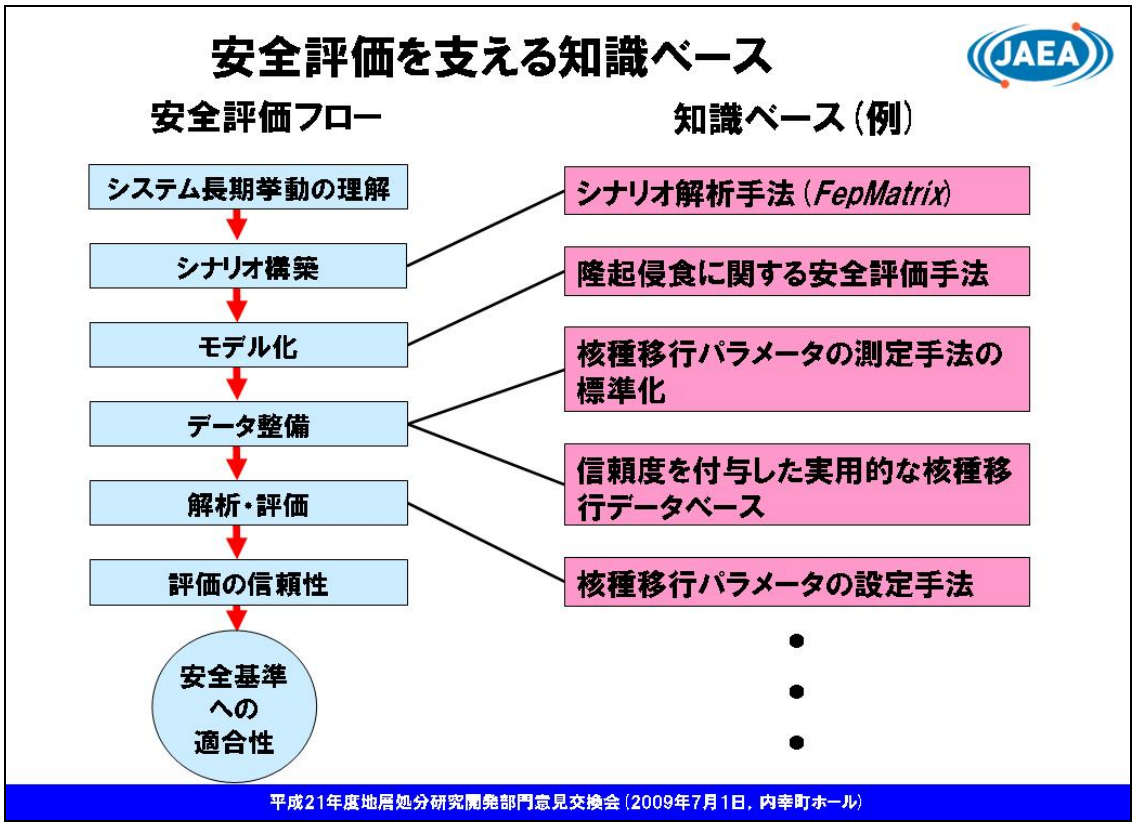
- 候補サイトが明らかになった場合、直ちに適用できるように地質環境調査、工学技術および安全評価の各分野の技術基盤を整備してきた。
- 中期計画の包括的な報告書（名称：CoolRep H22）を取りまとめてWebサイト上に公開し、世界に先駆けて開発した知識マネジメントシステムを通じて地質環境調査、工学技術、安全評価の各分野の最新の知識ベースにアクセス可能となるシステムの原型を構築した。
- 処分事業と安全規制を恒常的に支援できるシステムの構築により、処分事業を着実に進めるための支援体制を整備することが可能となる。今後も継続的に強化される基盤技術を同システムに導入していく。

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会（2009年7月1日，内幸町ホール）　36

参考資料


地質環境調査を支える知識ベース
JAEA
地質環境調査フロー
知識ベース（例）
概念の構築
計画の立案
調査
データの解釈
モデル化・解析
解析結果の評価
不確実性の評価
重要な要素の特定
地層構造の三次元分布把握のための調査方法
地下水流動の水みちの抽出・評価技術
断層近傍の地下水化学調査方法
マグマの存否を確認するための調査技術
内陸部の隆起量の推定方法
平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会（2009年7月1日，内幸町ホール）


工学技術を支える知識ベース
JAEA
処分場の設計フロー
知識ベース（例）
地質環境条件
処分深度の設定
処分システムの概念
人工バリア・坑道の単独仕様決定
・坑道の空洞安定性（支保工設計）
・人工バリアシステムの長期健全性確認
・緩衝材単独設計
・埋め戻し材設計
・オーバーパック設計
処分場レイアウト設計
・処分坑道・処分孔の離間距離設計
・プラグ設計
埋設後の長期健全性評価
建設・操業・閉鎖技術の検討
緩衝材基本特性データベース
炭素鋼オーバーパック寿命評価のためのデータベース
銅オーバーパックの超寿命化に関わるデータ
普通セメントを用いた緩衝材変質に関する数値解析手法
低アルカリ性セメント材料に関わるデータ
ナチュラルアナログを含めたオーバーパック長期性能の俯瞰的データ
人工バリア及びその周辺環境の熱－水－応力－化学連成現象の数値解析技術
低アルカリ性セメント材料を用いた対策技術
建設・操業等の様々な安全対策
平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会（2009年7月1日，内幸町ホール）


安全評価を支える知識ベース
JAEA
安全評価フロー
知識ベース（例）
システム長期挙動の理解
シナリオ構築
モデル化
データ整備
解析・評価
評価の信頼性
安全基準への適合性
シナリオ解析手法（FepMatrix）
隆起侵食に関する安全評価手法
核種移行パラメータの測定手法の標準化
信頼度を付与した実用的な核種移行データベース
核種移行パラメータの設定手法
平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会（2009年7月1日，内幸町ホール）

3.2 中期計画取りまとめに向けて

【発表要旨】

中期計画取りまとめに向けて
ー　次世代研究開発報告書 CoolRep　ー

地層処分研究開発部門
研究主席　梅木博之

1. はじめに

極めて長期にわたる地層処分の安全性の説明は，今日，セーフティケースと呼ばれる考え方に基づいて行われるということが広く認識されつつある（例えば[1]）。セーフティケースは段階的に進められる地層処分プロジェクトにおいて繰り返し作成され，ある段階から次の段階に進むための意思決定を行う際の主たる材料となる。この意味で，地層処分に関わるステークホルダー間の合意形成のためのプラットフォームといえる。セーフティケースがステークホルダーに理解され，受け入れられるものとなるには，その論証の隅々にわたり必要なレベルで信頼に足るものであることが必要である。このためには，その基となる科学技術的な知識[1]が確かなものでなければならない。地層処分の研究開発はこうした知識基盤を適切に整え，これによって地層処分の安全性に対する信頼性を高めることを目的としている，ということができる。

日本原子力研究開発機構（以下，原子力機構）では，国が示した中期目標や関連する計画・方針に従って定めた原子力機構の中期計画（平成 17 年 10 月 1 日～平成 22 年 3 月 31 日）に基づいて地層処分技術に関する研究開発を進め，その成果を包括的な報告書と地層処分の安全確保の論拠を支える知識ベースとして取りまとめることとしている。本稿では，この取りまとめに向けた新たなアプローチと方法論について紹介する。

2. 次世代研究開発報告書の必要性

セーフティケースは，処分場がなぜ長期間安全であるということができるのかを論を尽くして陳述するものである。こうした論拠には，長期的な安全性の確保の観点から処分場の立地選定や設計が適切に行われていること，これによって注意深く構築される地層処分システムが安全基準に適合することを安全評価によって示すことなど，様々なものが含まれ，これらを矛盾なく体系立ててセーフティケースが作成される[2][3]。

一般に，セーフティケースは実施主体により作成され，規制機関や特定のステークホルダーグループによりレビューされるものとされる[2][3]。また，セーフティケースは意思決定のための主要な論点となり，これに関わる専門家や非専門家など，様々なステークホルダーはそれぞれが必要とするレベルで関連する科学技術的な情報を利用する。研究開発の成果はこうした

[1] ここでは，地層処分に関係する様々な分野（原子力工学，地質学，地球科学，物理学，化学，保健物理学，農学，生物学，計算科学，土木工学，資源工学，法律，経済学など）における数値データ，情報，専門家の経験やノウハウなど，すべてを総称して「知識」と定義する。

セーフティケースの作成やレビュー，意思決定のための判断など，地層処分計画を進めていくためのプロセスに多面的に役立つものであるべきである。このような研究開発への期待は，国の政策のなかで,「研究開発や技術開発の全体像の提示」,「国民の理解の促進（安全確保の考え方，技術的課題に対する取り組みの進捗状況や将来の見通しに関する分かりやすい説明)」,「技術移転や伝承のための適切な仕組みの構築」,「技術データに関する国際的な水準での品質保証」,「将来の原子力計画を見通した研究」といった表現で示されている[4]-[7]。

セーフティケースを展開する文書は，多くの学問分野の多量の知識が関わる複雑な構造となる。図１は，日本で地層処分が実現可能であることを，サイトを特定しないで一般的に示すことを目的として進められた研究開発の成果に基づいて原子力機構が作成した包括的な報告書の変遷を示す。これらは地層処分の実施主体として作成したものではなく，また，セーフティケースの考え方がまだ国際的に十分に議論されていない時代に作成されたものも含まれているが,様々な観点から地層処分の長期的な安全性を説明しようとしたものであるという点では，研究開発の成果をセーフティケースとして統合するという形式化を示しているといえる。こうした報告書の変遷に見られるように，研究開発が進むにつれ，データや情報は多量化し，これらを駆使する安全評価の情報統合プロセスや方法論も加速度的に高度で複雑なものとなっている。

このような状況は海外でも同じである。例えば，米国では DOE が 2008 年 6 月 3 日，ネバダ州ヤッカマウンテン（YM）サイトに使用済燃料の処分場を建設するための許可申請書を NRC に提出した。YM の申請書は，8,600 ページの申請書本体と約 200 冊の主要な付属文書から構成されている。申請書以外にも，関連文書が約 360 万点に上る（http://www.ocrwm.doe.gov/)。今後も，NRC の許認可の過程で，さらには，建設開始以降にも新たな知識が付加され，関連情報の量はますます増大するものと予想される。

これまで，セーフティケースの作成と文書化は，地層処分全体を見渡すことができる限られた専門家のチームによって行われてきた。今後も続く情報の爆発的増加に伴って，従来型の知識管理の方法は限界に達し，経験を有した専門家であっても，すべての情報を把握することが難しくなってくることは容易に想像できる。原子力機構において，新たに先進的な知識マネジメントシステム（JAEA KMS）を開発していることの一つのねらいは，こうした地層処分における情報の爆発的な増加に対応するためである[8]。JAEA KMS の開発の現状については本意見交換会における別の紹介に譲る[9]。

地層処分の知識マネジメントを行うための先進的な方法論の開発とともに，研究開発成果を統合するための新しい文書化のアプローチによって，次のような点に対応できるようにすることが必要である。

- 関連する多量の情報の取り扱い
- 多数の関係者がアクセス可能なユーザーフレンドリーな方法を提供
- より透明性の高い品質保証の実施
- 必要な研究開発の特定と限られた資源のもとでの優先順位付けに関するプロセスの支援
- ユーザーからのフィードバックによる情報の構造化のための方法論やプレゼンテーションのためのソフトウェアの改良（自律的進展機能：例えばサイト選定や許認可のためのセーフティケースの作成といった重要な意思決定への適用に向けた継続的改良）

このようなアプローチとして知識マネジメントシステム（KMS）を利用した次世代型文書化

「CoolRep」[2]の方法論を開発している。

3. CoolRep の概要

CoolRep は，セーフティケースに資する知識基盤を提供するウェブサイト上のレポートであり，実施主体や規制関連機関，専門家など地層処分に関連するステークホルダーの要求に応じて知識や情報をスムーズに提供することを指向したものである。この目的のため，CoolRep の構造を次のように考えている。

- セーフティケースを念頭に置いて作成する要約（50 ページ程度）
- 階層化の手段として，要約と JAEA KMS の管理対象となる個々の研究開発内容とを結びつける「カーネル」[3]と名付けた中間層
- 要約から，ハイパーリンクあるいはカーネルを介して，接続されるサポート情報（例えば，より詳細な技術的情報を提供する報告書，重要な参考文献，ビデオやアニメーションなどの可視化支援資料，レビューや品質保証に関するすべての資料，関連するウェブサイトなど）

要約では，セーフティケースの開発に関わるプロセス（作成，レビュー，必要な知識の創出，理解と意思決定への利用など）を支援するために，これまでに蓄積されてきた様々な研究開発成果（[10]参照）がセーフティケースとどのような意味で関わり合っているのかを明らかにする。また，地層処分の長い事業期間を考慮し，将来のセーフティケースに求められる知識（例えば先進的核燃料サイクルに対応した処分技術など）の範囲を論ずるとともに，その取り扱いのために必要となる KMS のあり方を提示し，それに基づいて開発される KMS 自体を取り込んだ報告書とする計画である。

このような構造を持たせることにより，以下のようなことが可能となる。

- 技術的な支援情報を専門家向け報告書として別に提供するのではなく，要約のなかの関連する場所（テキスト本文）から直接アクセス可能とし，「見たいものがすぐ見られる」ようにすることによる理解の効率化
- 技術的深さに応じたハイパーリンクの階層化によるステークホルダーそれぞれの立場から必要とする情報の提供
- ピアレビューを実施したテキストとのリンクによる品質保証の透明性と追跡性の確保
- JAEA KMS のエキスパートシステムを稼働させることによる地層処分技術の理解促進，専門的作業のトレーニングなどの実施
- 研究開発成果取りまとめ報告書作成過程における管理の容易性向上

作成中の CoolRep ウェブサイトのデザイン画面の一例を図 2 に示す。

CoolRep は，知識ベースを含む知識マネジメントシステムの進展に応じ，時間とともに進化する「生きた文書」である。研究開発の具体的成果を上記のような体系のもとに提示するとともに，中期計画取りまとめといった主要なマイルストーンにおける研究開発の位置づけや到達点を端的なメッセージとして発しておくことは研究開発の全体像を示し理解を得るうえで有効

[2]膨大な知識を従来のような大量の紙ベースの文書として取りまとめるのではなく，最新の知識工学や情報工学の技術を活用した環境に優しい（紙資源を節約する）形態で展開することから，「クールビズ」をもじって命名したもの。
[3]中期計画期間の成果を中心に研究開発の状況を簡潔に取りまとめるもの。「性能評価」，「処分場の工学技術」，「深地層の科学的研究」，「知識マネジメントシステム」，「品質マネジメントシステム」について作成することとしている。

である。

現中期計画の研究開発成果に関するメッセージは，来年 3 月に最終的な取りまとめの結果を公表するまでになお議論を行う必要があるものの，日本全体としての技術基盤を概観するものとして，おおよそ次のようにまとめることができると考えている。

- 第２次取りまとめや TRU2 次レポートは，日本において安全な地層処分が基本的に実現可能であることを示し，幅広い地質環境を考慮した技術基盤を提供した。その後の科学技術の進歩に照らしても，そこで示された結論はなお有効である。
- この日本全体を視野に入れた一般的な技術基盤は，それ以降，実施主体，安全規制機関，原子力機構を含めた研究開発機関によって進められている事業段階の研究開発によって，処分地の候補となるサイトが明らかとなった際にその固有の条件に対して適用可能とするため，以下のような観点から強化が図られてきた。
  - 候補サイトの地質学的，地理的，社会政治学的条件の考慮
  - 閉鎖後の長期安全性を念頭に置いた処分場の建設・操業期間の安全性確保のための要件や実際的な制約条件を包括的に考慮
  - 「情報の非対称性」の問題認識－ステークホルダーへの積極的な情報提供
  - 安全性が確保されることを必須条件として，科学技術の進展や社会的条件の変化に応じて計画を柔軟に変更することができる技術的柔軟性の確保
  - 研究開発の進展や科学技術の進歩，候補サイトが決まった後に行われる地質環境調査などによって今後も予想される関連情報の爆発的増加は従来の情報管理の方法を超えたものになりつつあるという認識と，これに対応するための先進的な知識マネジメントシステムの導入

原子力機構の研究開発の意義や成果の有効性についても，CoolRep のなかでこのような観点から体系づけて取りまとめる予定である。

4. おわりに

地層処分の知識基盤を体系化し，事業期間を通じてこれを継続的に提供するための新しいアプローチとして，JAEA KMS とリンクした研究開発成果の統合方法 CoolRep を提案し，基本機能の設計や実証を進めている。その意義と妥当性については，様々な機会（OECD/NEA，IAEA などの国際会議における紹介（例えば[1]），ワークショップの開催[11][12]（http://www.jaea.go.jp/04/tisou/kms/kms_chishiki.html），外部専門家による評価委員会（地層処分研究開発・評価委員会等）によるレビューなど）を通じて確認し，支持を得てきた。

CoolRep の方法論はなお開発途上であるが，最新の情報技術や知識工学の技術を利用することにより実現可能であるとの結論に至っている。今後，CoolRep と JAEA KMS（プロトタイプ）の公開（平成 22 年 3 月予定）による幅広い利用を開始し，利用者の要望を反映しながら引き続き方法論やツールの改良・高度化を図るとともに，研究開発による継続的な知識の創出，拡充，更新を進める計画である。

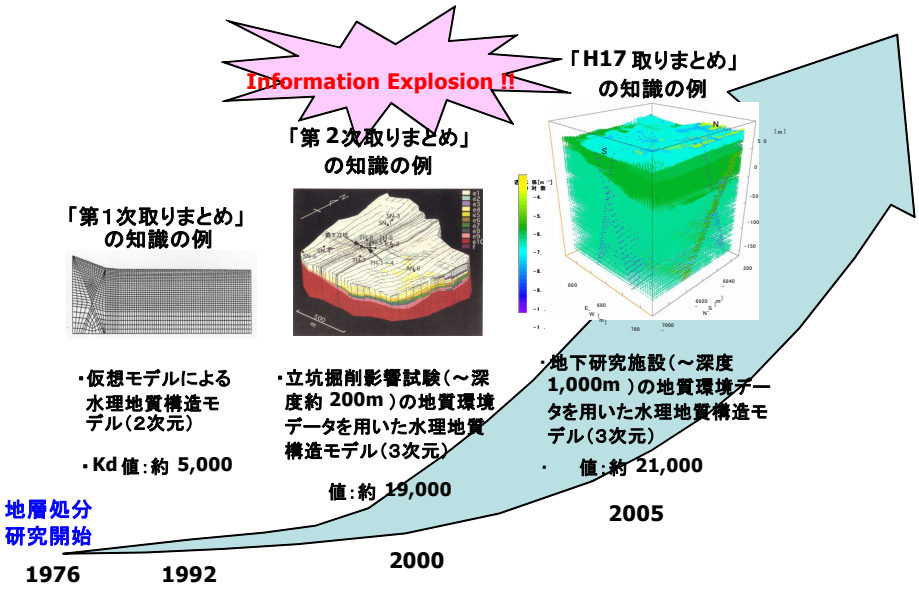


図１　地層処分に関する「情報の爆発」（日本の例）

図 2 CoolRep website の画面デザイン例

参考文献

[1] NEA (2008): Safety Cases for Deep Geological Disposal of Radioactive Waste: Where Do We Stand?, Symposium Proceedings, Paris, France, 23-25 January 2007, OECD Nuclear Energy Agency, Paris, ISBN 978-92-64-99050-0.

[2] NEA (2004): Post- Closure Safety Case for Geological Repositories – Nature and Purpose, OECD Nuclear Energy Agency, Paris, ISBN 92-64-02075-6.

[3] IAEA (2006): Geological Disposal of Radioactive Waste – Safety Requirements, Jointly Sponsored by the International Atomic Energy Agency and the OECD Nuclear Energy Agency, International Atomic Energy Agency, Vienna, WS-R-4.

[4] 原子力委員会（2005）：原子力政策大綱.

[5] 原子力委員会（2008）：原子力政策大綱に示している基本的考え方に基づく放射性廃棄物の処理・処分に関する取組の評価について，原子力委員会政策評価部会報告書.

[6] 原子力安全委員会（2004）：原子力の重点安全研究計画.

[7] 資源エネルギー庁，日本原子力研究開発機構（2006）：高レベル放射性廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計画.

[8] 核燃料サイクル開発機構（2005）：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−，サイクル機構技術資料，JNC TN1400 2005-020, 014～016.

[9] 日置一雅，大澤英昭（2009）：JAEA 知識マネジメントシステムー基本概念と機能／デモンストレーション，地層処分研究開発部門意見交換会「知識マネジメントシステム開発の現状」（2009 年 7 月 1 日，東京），予稿集.

[10] 油井三和（2009）：地層処分を支援する JAEA 知識ベースー中期計画に基づく研究開発成果の全体概要，地層処分研究開発部門意見交換会「知識マネジメントシステム開発の現状」（2009 年 7 月 1 日，東京），予稿集.

[11] 日本原子力研究開発機構（2008）：知識マネジメントシステムに関する国際レビューワークショップの概要，http://www.jaea.go.jp/04/tisou/kms/kms_chishiki.html.

[12] 日本原子力研究開発機構（2009）：地層処分における品質保証に関する国際ワークショップの概要，http://www.jaea.go.jp/04/tisou/kms/kms_chishiki.html.

【発表スライド】

中期計画取りまとめに向けて
ー次世代研究開発報告書CoolRepー

日本原子力研究開発機構
地層処分研究開発部門意見交換会
平成21年7月1日

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

地層処分のセーフティケース

地層処分技術

- 超長期の安全性確保
- 学際的総合技術
- 事業期間の長期性

➢ セーフティケースの作成
地層処分の長期的安全性を様々な証拠に基づいて立証しようとするもの

多くの学問分野の「知識」（データ，情報，経験，ノウハウなど）を用いて行う論理立てた説明

事業期間を通じた繰り返し過程

➢ セーフティケースの信頼構築
段階的に蓄積されるサイトの情報や最新の科学技術的知見を用いた信頼性の向上

➢ セーフティケースの受容
事業を次段階へ進めるためにセーフティケースが信頼に足るものであることについての合意

セーフティケースの作成

（NEA, "Safety Case Brochure", 2004）

セーフティケースの文書化（主要な記述）

□安全性と信頼性の確保のために適切なアプローチがとられていること
- サイト選定や設計，安全評価の進め方
- 品質保証の進め方
- 透明性と追跡性の確保の方策

□適切なサイトが選定されていること
- 地質環境の長期安定性
- 好ましい地質環境特性（還元性・小さな地下水流量と流速）

□処分場が適切に設計されていること
- 適切な設計手法とデータの使用
- 建設・操業・閉鎖技術の実証

□信頼できる安全評価が行われていること
- 網羅的で体系的なシナリオ設定
- 品質保証されたモデルとデータ
- 体系的な性能評価／不確実性評価

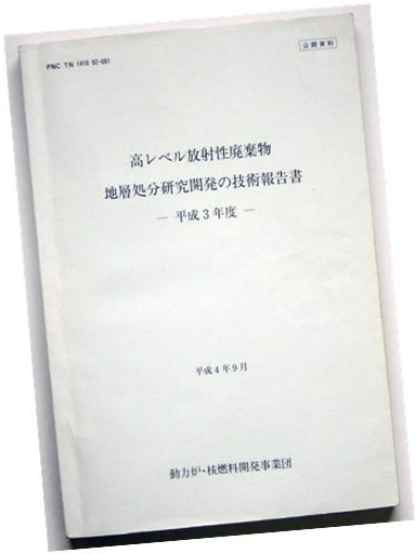
□求められるレベルの安全性と信頼性を有していること
- 安全基準を満足すること
- 安全評価の補完的説明
- 課題に対する具体的対策の明示

研究開発のあり方

- **研究開発はセーフティケース（SC）に役立つものであるべき**
  ⇒地層処分のステークホルダーは何らかの形でSCに関連
  - SCは，知識を生産する研究機関の支援を得て実施主体により開発
  - 規制機関や特定のステークホルダーグループによりレビュー
  - ステークホルダーや意思決定者の議論の焦点
  - 専門家や非専門家，それぞれ必要とするレベルで関連情報を利用
- **研究開発への期待**（原子力委員会：原子力政策大綱（2005年），政策評価部会報告書（2008年），原子力安全委員会：原子力の重点安全研究計画（2004年），地層処分基盤研究開発調整会議：全体計画（2006年）など）
  - 研究開発や技術開発の全体像の提示
  - 国民の理解の促進（安全確保の考え方，技術的課題に対する取り組みの進捗状況や将来の見通しに関する分かりやすい説明）
  - 技術移転や伝承のための適切な仕組み
  - 技術データに関する国際的な水準での品質保証
  - 将来の原子力計画を見通した研究
  - ・・・

統合化と品質保証に関する問題（1）

- 初期には,地層処分システムの統合的性能評価はすべてのプロジェクト要素を概観する少人数のチームによって実施
- 報告書類は，単独の報告書（あるいは少数の報告書群）として伝統的な技術分野（地質環境，工学技術及び安全評価）に沿って作成
- 内容の品質保証は，内部レビューあるいは限られた範囲の外部レビューに基づく,「定型化」されていない方法で実施

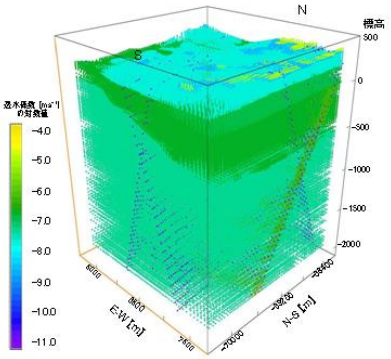


統合化と品質保証に関する問題（2）

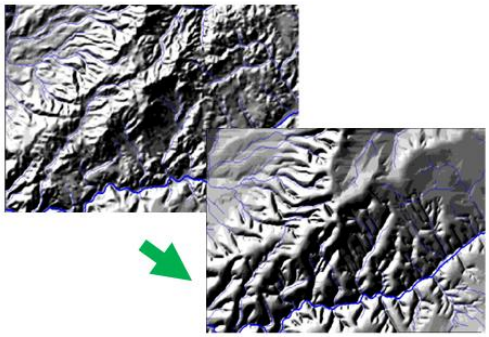
- 20世紀末までに，プロジェクトに関する文書化には多数の報告書をシリーズとして取りまとめる必要性が生じた
- 各報告書はそれぞれの内容に対応した専門家によるチームによって作成され，個々の分野においてさえ全体を概観することが次第に困難となった　→ 重複や全体としての整合性の確保に関する問題の発生
- 定型化された品質保証プロセスが導入されたが分量の多さから適用に限界

日本の地層処分研究開発における情報爆発

- 最初の統合性能評価(H3)報告書は約400ページ，9年後の第2次取りまとめ(H12)では約2000ページに増加
- 最も難しかった点の一つは，地質環境，工学技術，性能評価に関連する多量の情報／データを統合すること
- 将来的にはHLW/TRU廃棄物処分場全体を対象とした3次元，時間依存のより統合的なモデルの取り扱いによってさらにデータ量が増加



3次元水理地質モデルによる透水係数の分布

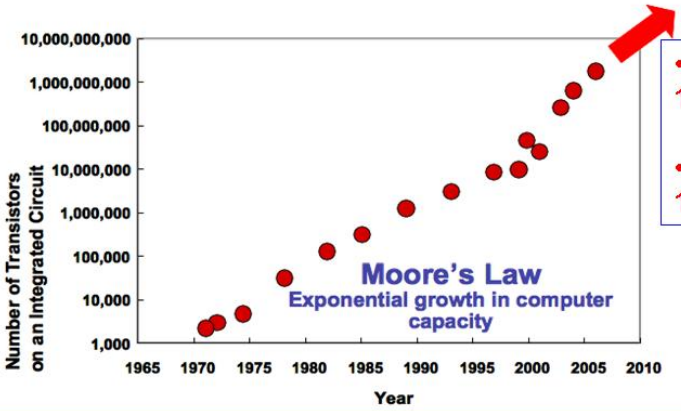


東濃地域の3次元地形変化予測の例

米国ユッカマウンテン処分場許認可申請書

情報爆発と地層処分

- 情報爆発はコンピュータ能力の発展によって加速
  - 今後もこの傾向は持続 – 2002-2007年の間にさらに加速，倍増する時間は3年から1.5年に短縮！
- 放射性廃棄物処分分野では特に問題：研究開発計画の作成にあたって事業期間の長期性に留意することが必要
  - 従来型アプローチでは破綻する可能性大



・処分場の操業 ~ 2035?
10^6 x 現在の能力 / 速度

・処分場の閉鎖 ~ 2095?
10^{14} x 現在の能力 / 速度!!!

中期計画取りまとめ－課題設定

■ 報告書作成に関する息の長い新たなアプローチの開発

- 世界的傾向にある情報爆発への対処
  - 平成17年報告書（H17）において指摘され，JAEAは新たなプロジェクトとして先進的な知識マネジメント技術の開発（JAEA KMS）を開始
- 繰り返し作成されるセーフティケースを継続的に支援するための研究開発成果の提供という要求への対処
- 技術移転を継続的／効率的に実施することが必要
- 国民理解の促進のためには，「様々な読者自身が知りたいと思う情報を欲しいときにすばやく引き出せる」ことが重要（情報の非対称性の解消→「道路地図」から「カーナビ」へ）

解決の方策

■ 知識マネジメントシステムとリンクした“次世代型文書化－CoolRep”

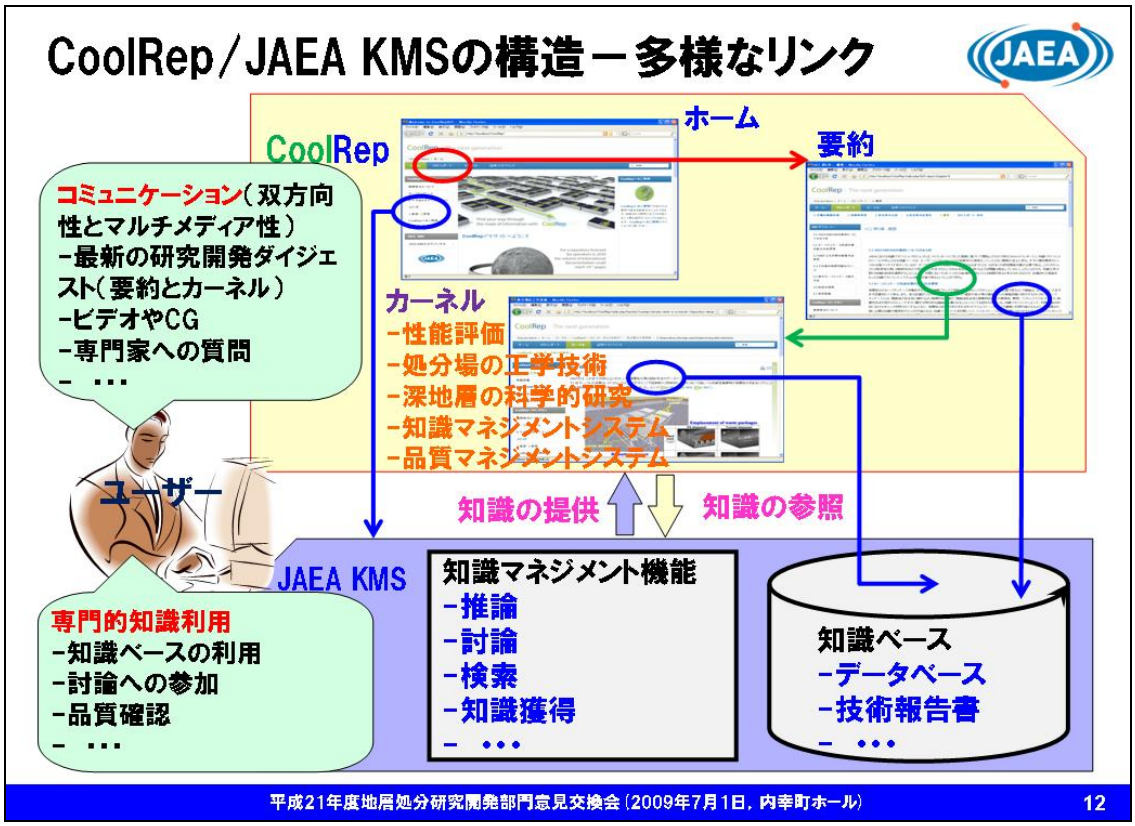
- 関連する多量の情報の取り扱い
- 多数の関係者がアクセス可能なユーザーフレンドリーな方法を提供
- より透明性の高い品質保証の実施
- 必要な研究開発の特定と限られた資源の下での優先順位付けに関するプロセスの支援
- ユーザーからのフィードバックによる情報の構造化のための方法論やプレゼンテーションのためのソフトウェアの改良（自律的進展機能：例えばサイト選定や許認可のためのセーフティケースの作成といった重要なマイルストーンにおける適用に向けた継続的改良）

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会（2009年7月1日，内幸町ホール）　10

新たなアプローチ－CoolRep

- CoolRep（クールレポ）とは？
  - ウェブサイト上のレポート，「クールビズ」をもじって命名
  - セーフティケースに資する知識基盤を提供
  - 主要なマイルストーンにおける研究開発の位置づけや到達点に関するメッセージ
  - ステークホルダーの要求に応じて知識や情報をスムーズに提供
  - JAEA KMSの進展に応じて進化する「生きた文書」
- 構造
  - セーフティケースを念頭に置いて作成する要約（50ページ程度）
    - 蓄積された研究開発成果のダイジェスト
    - 将来のセーフティケースに求められる知識の範囲や必要となるKMSのあり方を提示するとともに，これに基づいて開発されるKMS自体を取り込んだ報告書
  - 階層的ハイパーリンクにより接続されるサポート情報，例えば：
    - より詳細な技術的情報を提供する報告書や重要な参考文献
    - ビデオやアニメーションなどの可視化支援資料
    - レビューや品質保証に関するすべての資料
    - 関連するウェブサイト
  - 要約とJAEA KMS内の個々の研究開発成果とを結びつける「カーネル」の導入

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会（2009年7月1日，内幸町ホール）　11



CoolRepの利点

- 要約による研究開発の全体像の提示
  - セーフティケースにおける研究開発の意義や位置づけを明示
- 迅速な情報提供による研究開発に関する理解の効率化
- 技術的な深さに応じたハイパーリンク（ユーザーの要求に即した情報提供）
- ピアレビューを実施したテキストとのリンクによる品質保証の透明性と追跡性の確保
- 報告書作成過程の管理への効用
  - マスター文書による修正履歴管理
  - 報告書全体を通じた情報の一貫性の確保
  - JAEA KMSのエキスパートシステムを稼働させた模擬体験による地層処分技術の理解促進，専門的作業のトレーニング

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会（2009年7月1日，内幸町ホール）　13

CoolRep デモンストレーション

- Websiteの基本構成と役割
- 様々なリンクのデモ
  - CoolRep → カーネル → KB(データベース，文献，・・・)
  - 双方向，マルティメディアコミュニケーションツールの紹介

CoolRepのメッセージ(案)

- 第2次取りまとめ及びTRU2次レポートは，日本における高レベル放射性廃棄物／TRU廃棄物の安全な地層処分が基本的に実現可能であることについて確かな基盤を提供，その後の著しい科学技術の進歩に照らしても基本的な結論はなお有効
- この日本全体を視野に入れた一般的な技術基盤は，それ以降，実施主体，安全規制機関，JAEAを含む研究開発機関によって進められている事業段階の研究開発によって，特定の候補サイトが明らかとなった際に適用可能とするため，以下の観点から強化が図られてきた:
  - 候補サイトの地質学的，地理的，社会政治学的条件の考慮
  - 閉鎖後の長期安全性を念頭に置いた処分場の建設・操業期間の安全性確保のための要件や実際的な制約条件を包括的に考慮
  - 「情報の非対称性」の問題認識－ステークホルダーへの積極的な情報提供
  - 安全性の確保を必須条件としたうえで，科学技術の進展や社会的条件の変化に応じた計画の変更を可能とする技術的柔軟性の確保
  - 研究開発の進展や科学技術の進歩，候補サイトが決まった後に行なわれる地質環境調査などによって今後も予想される関連情報の爆発的増加は従来の情報管理の方法を超えたものになりつつあるという認識と，これに対応するための先進的な知識マネジメントシステムの導入

まとめ

- 地層処分の知識基盤を体系化し，これを事業期間を通じて継続的に提供するための新しいアプローチとして，JAEA KMSとリンクした研究開発成果の統合方法CoolRepを提案し，基本機能の設計や実証を進めている。
- その意義と妥当性について様々な機会（OECD/NEA，IAEAなどの国際会議における紹介，ワークショップの開催（http://www.jaea.go.jp/04/tisou/kms/kms_chishiki.html），外部専門家による評価委員会（地層処分研究開発・評価委員会等）によるレビューなど）を通じて確認し支持を得た。
- CoolRepの方法論はなお開発途上であるが，最新のITや知識工学の技術の利用により実現可能との結論に至っている。
- 今後，CoolRepH22とJAEA KMS（プロトタイプ）の公開（平成22年3月予定）による幅広い利用を開始し，利用者の要望を反映しながら引き続き方法論やツールの改良・高度化を進めるとともに，研究開発による継続的な知識の創出，拡充，更新に資する計画である。

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会（2009年7月1日，内幸町ホール）　16

3.3 JAEA 知識マネジメントシステム

【発表要旨】

JAEA 知識マネジメントシステム
基本概念と機能／デモンストレーション

地層処分研究開発部門
知識化グループ　日置一雅
大澤英昭

1. はじめに

日本原子力研究開発機構（以下，原子力機構）では，国が示した中期目標や関連する計画・方針に従って定めた原子力機構の中期計画（平成 17 年 10 月 1 日～平成 22 年 3 月 31 日）に基づき，地層処分技術に関する研究開発として，地層処分研究開発およびその基盤となる深地層の科学的研究を進めている。中期計画では，研究開発成果を包括的な報告書と地層処分の安全確保の論拠を支える知識ベースとして取りまとめることとしている。ここでは，知識ベースを適切に管理するための JAEA 知識マネジメントシステムの基本概念と機能を紹介し，デモンストレーションを行う。

2. 背景

放射性廃棄物の地層処分の特徴は，将来数万年といった極めて長い時間を対象として安全を確保しようとする点にある。こうした超長期にわたる安全性は，実際に体験することができないため，様々な証拠に基づく説明によって，安全に対する社会の納得を得て行く必要がある。地層処分の研究開発は，その説明が信頼に足るものとなるように知識基盤を適切に整え，その成果によって技術の信頼性を高めることを目的としていると言える。地層処分の安全性を示すための体系は，多くの学問分野にわたる多量の知識がかかわる。また，関連する知識は数 10 年以上にわたる処分事業期間をとおして増加し続ける。こうした新しい知識も取り入れながら，安全性の説明が信頼に足ることを継続的に示していくためには，単に多量な情報の中から個別の知識を利用するだけでは十分とは言えない。安全性の説明の枠組みの中でこうした知識を位置づけ，関係者間で共有することが重要であり，そのための新たな場（プラットフォーム）の構築が求められる。原子力機構では，このような地層処分技術の鍵となる知識を適切に体系化して管理し，関係者や将来の世代に伝達・継承していくことを目的として，平成 17 年度より，最新の情報技術や知識工学技術を活用した知識マネジメントシステムの開発にチャレンジしている。

3. 知識マネジメントシステムの概要

図 1 に，知識マネジメントシステムの全体像を示す。本システムは，大きく知識ベースとマネジメント機能からなる。研究開発で得られたデータ，ソフトウェア，情報，知見を

構造化するのみならず，専門家の経験やノウハウなどいわゆる暗黙知に依存する部分をできるだけ引き出して知識を構造化し，知識ベースに組み込んで行く。マネジメント機能としては，知識ベースに格納されている知識が，安全性を説明するという観点からどのように利用されるのかを透明性をもって示すための論証支援機能などが中心となる。たとえば，「地層処分は長期的に安全である」という主張に関する説明を，主張の根拠となる種々の「論証」と，その論証に対して考えうる「反証」との連鎖（討論モデル）で表現する。

また，地層処分事業者や規制関係機関だけではなく，政治家や一般国民を含む全てのユーザーにとって使いやすいシステムにするために，知識ベースに対して，最新の検索技術を最大限活用したパワフルで効率的な検索機能を適用できるようにするとともに，さらに，複数のホームページからの同時検索を可能とする機能（中間スキーマインターフェース）などを持たせる。

4. デモンストレーション

知識マネジメントシステムの機能のうち，討論モデルによるいくつかの利用の仕方を紹介する。図 2 に討論ダイアグラムエディタ（討論モデルをコンピュータで表示し，その他の情報とリンクを張ったものを討論ダイアグラムと称する）で表示した討論モデルの例を示す。

5. まとめ

原子力機構では，平成 17 年 10 月の発足当初から，知識マネジメントシステムの概念の検討を開始し，平成 18 年度にその基本設計を，平成 19 年度に詳細設計を行い，平成 20 年度からプロトタイプの製作を開始した。知識マネジメントシステムを社会共有の知的財産とすべく，平成 21 年度末にプロトタイプを公開する予定である。

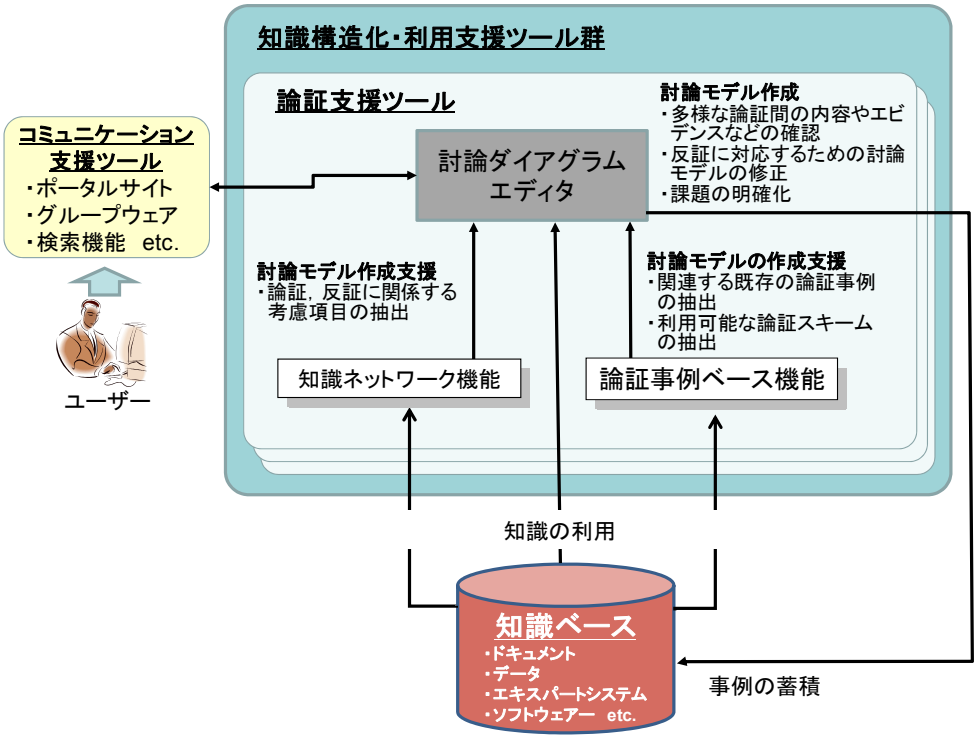


図 1 JAEA の地層処分技術に関する知識マネジメントシステムの全体像

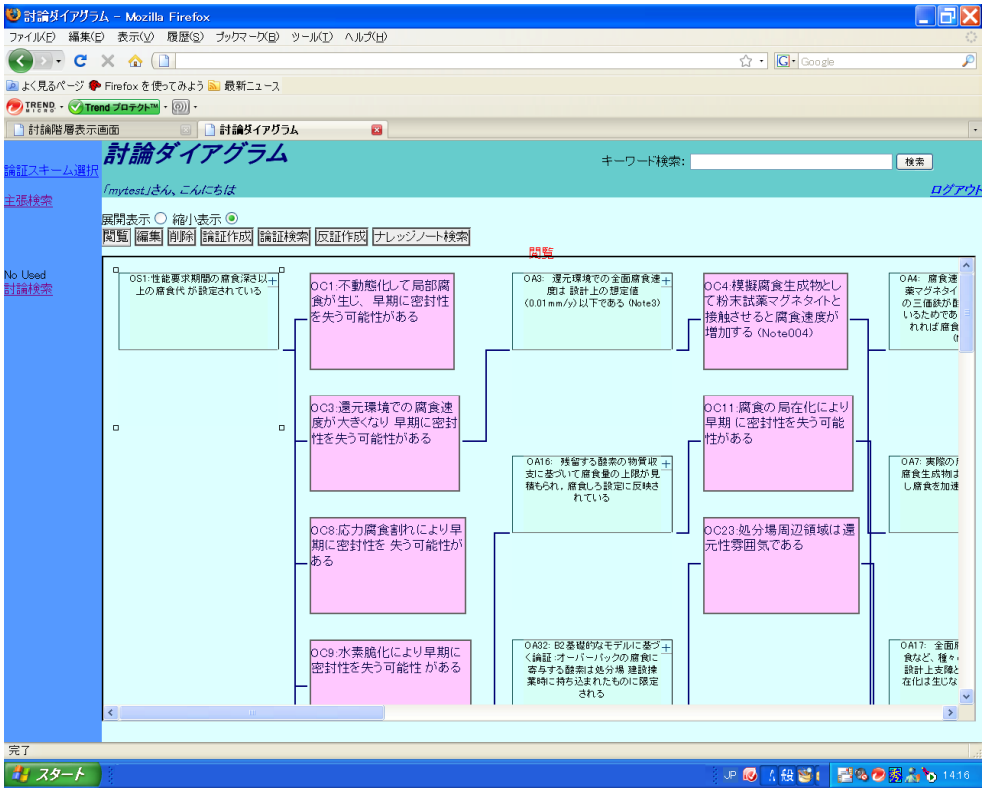


図 2 討論ダイアグラムエディタの表示画面の例

参考文献

NEA (2004): Post-closure Safety Case for Geological Repositories, Nature and Purpose, OECD Nuclear Energy Agency, ISBN 92-64-02075.

梅木博之(2006)：21 世紀の地層処分研究開発：技術的知識基盤の構築，　日本原子力学会誌，Vol.48, No.3, 14-19.

大澤英昭，梅木博之，内藤守正，中野勝志，牧野仁史(2006)：高レベル放射性廃棄物地層処分に関する知識基盤構築に向けた取り組み；地層処分技術に関する知識マネジメントシステムの基本概念”，研究・技術計画学会第 21 回年次学術大会講演予稿集Ｉ，１F16, 376-379.

Kawata, T., Umeki, H., McKinley, I.G.(2006)：Knowledge Management: Emperor’s New Clothes?”, International High-Level Radioactive Waste Management Conference (IHLRWM)2006, Las Vegas, Nevada, April 30-May 4, 1236-1243.

梅木博之，大澤英昭，内藤守正，中野勝志，牧野仁史(2006)：地層処分技術に関する知識管理システムの基本的概念，JAEA-Research 2006-078.

河田東海夫(2007)：地層処分技術に関する知識の伝承～社会共通の知的財産作りに向けて～，月刊エネルギー，2007-07, 6-11.

日置一雅(2008)：知識マネジメントシステムの開発，原子力 eye，2008 年 7 月号.

【発表スライド】

JAEA知識マネジメントシステム
－概要と開発状況－

日本原子力研究開発機構
地層処分研究開発部門意見交換会
平成21年7月1日

日本原子力研究開発機構　地層処分研究開発部門
日置　一雅

JAEA KMS とは？

- 知識
  - 地層処分プロジェクトを支える全ての科学技術（社会科学，経済学，医学などを暗に内包）を示す広い意味で使用
- 知識ベース
  - 種々の媒体（文書，電子ファイルなど）によって体系的に保存し必要に応じて直ちに取りだせるようにされている様々な知識
- 知識マネジメント
  - 知識ベースを構築，保存，更新，伝達，共有するとともに知識の作成と活用を支援するための行為
- 知識マネジメントシステム（KMS）
  - 知識マネジメント機能　＋　知識ベース

JAEA KMS 開発の必要性

- 地層処分　ー　極めて長い時間、安全性を確保
- 研究開発　ー　多分野
- 数十年以上にわたる処分事業期間　ー　コミュニケーション、人材育成
- 「情報の爆発」
- 従来の方法では管理しきれない
- 必要な情報に容易に辿り着けない
- 指数関数的に成長する知識ベースに対応可能であることが必要
- データ生産者にフィードバックを行なうことができる機能が必要

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会（2009年7月1日，内幸町ホール）　2

特別な関心事　ー　暗黙知

- 暗黙知の文書化は、形式知の文書化より困難。
- 暗黙知の例
  - 実験手法のノウハウ、
  - システム性能評価における留意点、
  - 地質環境調査上のノウハウ　など
- 暗黙知は、危機に瀕している
  - 技術伝承
  - 人材育成
  - 組織の財産の継承
- E-Learning などの新しい可能性

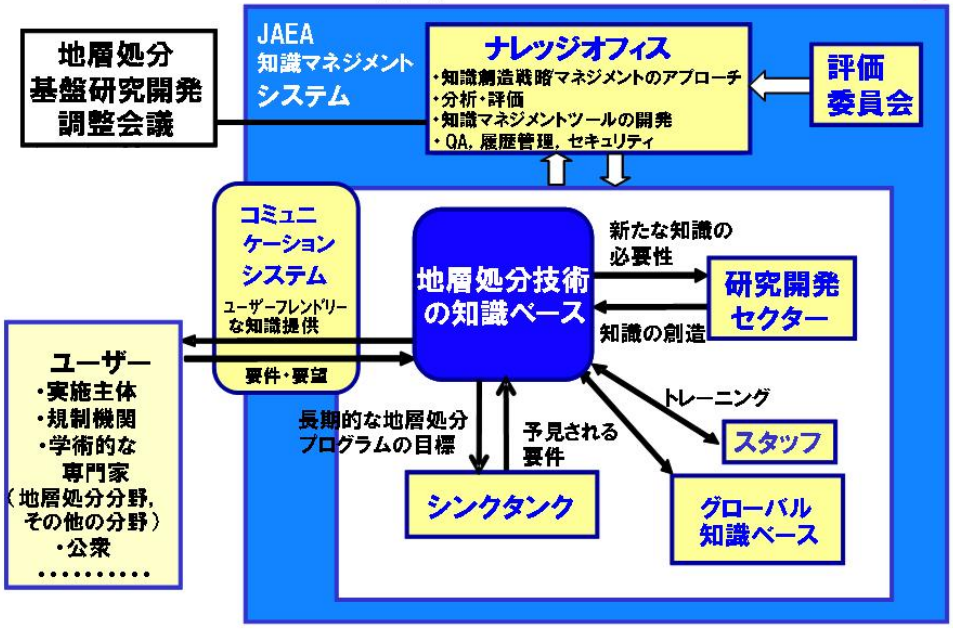
平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会（2009年7月1日，内幸町ホール）　3

JAEA KMSの開発方針

- ユーザーのニーズに対応できるシステム
- 先進的な知識工学的技術、エキスパートシステム、人工知能を利用
- 知識ベースの厳密な構造化を必要としない
- 機能
  - 知識ベースの維持、更新、アクセスの促進
  - 知識生産者とユーザー間の効果的インターフェース
  - 自動化することができないタスクを実行するための暗黙知の開発

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会（2009年7月1日，内幸町ホール）　4

JAEA KMS の全体構成



平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会（2009年7月1日，内幸町ホール）　5

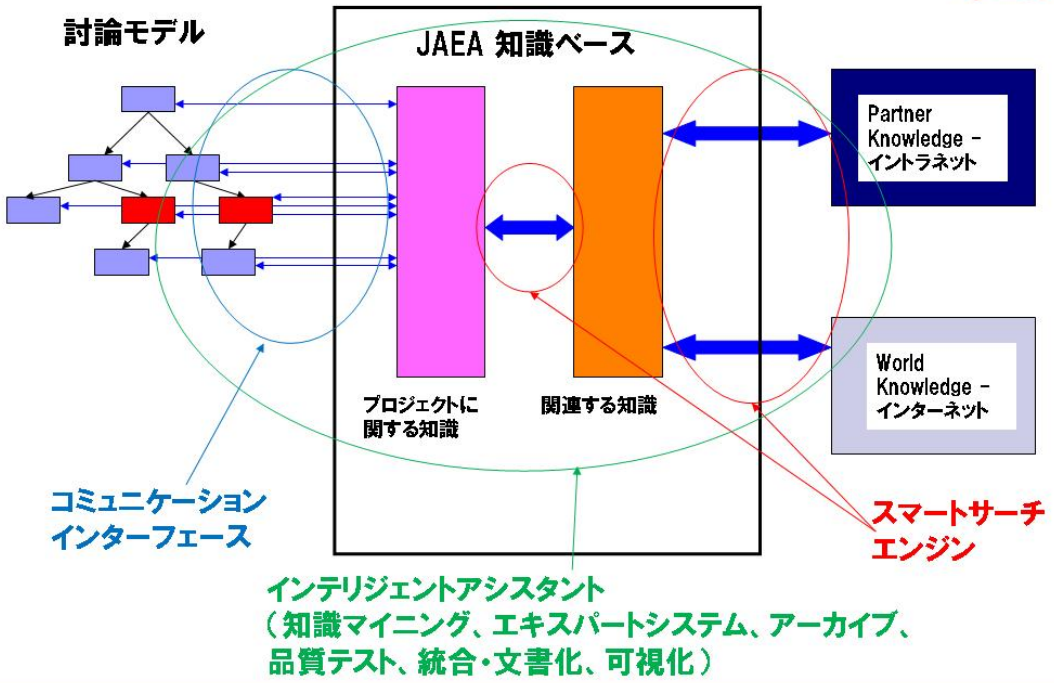
JAEA KMSの中身

知識形態	マネジメント機能	内容	必要な開発項目	コメント
データ	データマネジメント	- 生データ(内部) - 抽出データ(外部作業用) - 処理データ	- 自律的なQA - データマイニング - 自律的データ	- 国際協力が有効な分野
ドキュメント	ドキュメントマネジメント	- 作成文書 - 外部で作成された主要文書	- 頑健なアーカイヴ - 自律的QA/カタログ化/相互参照	- 電子的なアーカイヴが決定的な課題となる分野
ソフトウェア	ソフトウェアマネジメント	- 関連するすべてのコード/データベースのアーカイヴ - マニュアル＆ハンドブックのアーカイヴ - 関連する出力のアーカイヴ	- 頑健なアーカイヴ - 自律的変更管理 - 定式化されたQAアプローチ	- 電子的なアーカイヴが決定的な課題となる分野
経験・ノウハウ(方法論)	リソースマネジメント	- 手順書＆ガイドブック - エキスパートシステム - トレーニング資料	- 経験保存のためのエキスパートシステムの利用 - 次世代専門家へのトレーニング	- 国内(あるいは地域的)トレーニングセンターからの強い要求が想定
統合化した知識	知識統合	- 経験をつんだ統合チーム - エキスパートシステム	- 主要な統合プロセスの明示 - QAアプローチの提示	- 自動化への強い潜在的ニーズ
ガイダンス	知識コーディネーション	- 経験をつんだ調整チーム	- 要件の予測(シンクタンク) - 知識における主要なギャップを解消するためのアプローチ	- 自動化は極めて困難
プレゼンテーション素材	ユーザー/生産者の対話	- ユーザーフレンドリ・インターフェース(対話を可能とするインタラクティヴな機能)	- 複雑な情報を提示するための高性能グラフィカルインターフェース	- 様々なステークホルダーの要求への対応

朱書きは部分的ではあっても先進的なITの適用が可能と考えられる項目

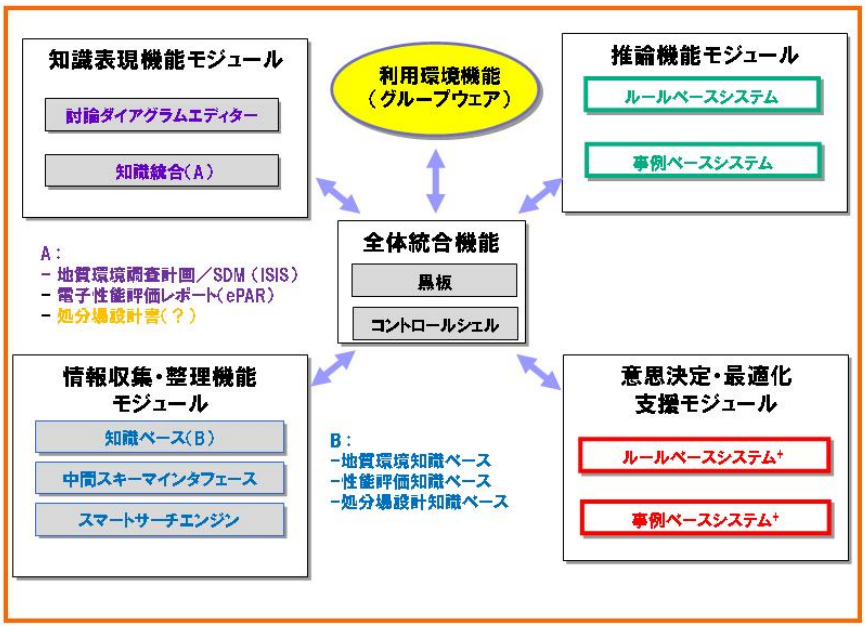
平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会(2009年7月1日, 内幸町ホール)　6

JAEA KMSの主要要素間の関係



平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会(2009年7月1日, 内幸町ホール)　7

JAEA KMSの設計：基本構成



＊：既往のソフトウェアを利用
＋：推論機能モジュールを利用

JAEA KMSに求められるもの

- セーフティケースと意思決定の履歴管理
- 安全性に関する新たな論拠の作成
- 現状の知識におけるギャップの発見と解決策の提示
- ステークホルダー間のコミュニケーションの促進
- 理解促進のための知識の普及
- 概念や用語の統一化
- 分野間のインターフェースの明確化

JAEA KMS 開発の全体スケジュール

2010年に プロトタイプを公開

2005年	2006年 ～ 2009年		2010年
概念検討 ➡	設計 ➡	システム構築 ➡	運用

JAEA KMS でできること

探す	情報、データ、ソフトウェア
内容を理解する 手伝ってもらう	わからないことを調べる 仕事を支援してもらう
記録する	知識を加える、更新する
コミュニケーション	関係者への周知・連絡・意見交換

4. 意見交換会においていただいたご意見

今回の意見交換会ではパネリストならびに参加者から，KMS や CoolRep の内容や進め方について多くのご意見をいただいた。以下に，その概要をまとめる。いただいたご意見は，KMS プロトタイプおよび CoolRep の公開に向けた作業に反映させていく。

4.1　第 1 部「知識マネジメントシステムの開発」

機構からの発表後に会場に意見を求めた。いただいた主な意見は以下の通りである。なお，「→」以下に機構の回答を示す。

・CoolRep の「道路地図からカーナビ」の例えはとてもわかりやすく，良く理解することができた。

・セーフティケースやセーフティカルチャーという言葉がわかりにくいので，もっと分かりやすいキーワードをお願いしたい。

→CoolRep の中に用語集と質問を受け付けるコーナーを設ける予定である。また，難しい言葉については繰り返し説明するなどの取り組みを行って，言葉を定着させていきたい。

4.2 第 2 部「知識マネジメントシステムへの期待と要望」

4.2.1 パネルディスカッション

小島圭二　座長より，第 1 部の発表およびデモンストレーションに対する感想や意見などを各パネリストに求め，その後，パネルディスカッション形式の自由討論を行った。いただいた主な意見は以下の通りである。

・「知識」を辞書で引くと「ある事柄に対しての information と understanding」とあった。それぞれの単語自身には意味があるが，単語と単語がつながると新たな意味を生み，それらがつながり文章やストーリーとなると，また新たな知識が生まれてくる。その新たな知識を生み出すのが知識マネジメントシステム（KMS）である。知識をマネジメントするのは各ユーザーであるが，新たな知識を生み出すことを可能にするのが KMS と認識している。ストーリー中の文章あるいは文章中の単語に含まれている意味をうまくマネジメントできるようなシステムとなっており感心した。

・今後は KMS を運用していくことが大事であり，その際はいろいろと大変だと思うが，関係者が協力してやっていくべきである。

・CoolRep は，大学の卒論などで学生が使うといった形で，双方向的に利用されるシステムになり得ると思う。エキスパートシステムは，目的地への路線検索のごとく，知りたいものに対して道筋を教えてくれるものとして役立つと思う。討論ダイアグラムは，これまでの議論を集めた良いものであるが，新しい情報（論証・反証）を入れるのに手間がかかり大変なイメージがある。身近な人たちが身近な問題の解決のために活用していければと思うので自分でも試してみたい。

・自分自身，紙に書かれていない知識や技術の伝承がなかなかできないという問題を抱えている。暗黙知がなかなか伝承されない世の中にあり，その問題に対する点でもエキスパートシステムは役に立つものと思う。

・学生に接し指導する立場として，授業には教科書が重要であり，教科書が知の体系であるが，文章の行間をどう読み取り伝えていくのかが大事である。これまではノウハウや実験装置の使い方などを伝えるのが困難であった。KMS は教科書にあたる情報を視覚的に捉えることができ，かつ，世界中からアクセスが可能なものとなっており，単なる本ではない。問題は，行間を埋めていく作業を今後誰が行うのかであり，原子力機構，事業者，それとも国なのかを議論した上で実際に実行していただきたい。
・今後，KMS をあらゆる層に対応できるものにしていってほしい。
・KMS は情報爆発の中で必然として要求されるものである。これを使う人は単にユーザーとして機能が充実するのを待っているのではなく，自らも知識生産者であるとの自覚を持つ必要がある。
・KMS と CoolRep がリンクできていて良い。分厚い報告書を敬遠している人たちに興味を持ってもらえることが期待できる。ただし，CoolRep が報告書の単なる電子化では意味がない。CoolRep と KMS とをより密接に関係づけるためには，目次と要約，そしてカーネルが今後のカギである。カーネルが魅力的で，容易に希望の情報にたどりつけるようになっていなければならない。
・KMS の討論モデルについて，論証・反証が恣意的なものになってきた際にどう対応するのか検討の余地がある。公開した場合，ルールを無視した書き込みがなされることが懸念されるため，ある種の障壁となるシステムを備えておく必要があろうと考える。
・CoolRep や KMS の維持・管理をどうするかが気になるところである。予算・人員を確保する方策が重要である。
・サイト調査のうち文献調査については，原子力発電環境整備機構（以下，NUMO）はシステムフローに基づいた情報管理システムを独自に開発している。概要調査については，調査の計画立案や作業方法などについてマニュアルの形で整理しており，KMS に役立てるようにしてもらいたい。
・処分場の設計や性能評価については，NUMO では要件管理システム（Requirement Management System;以下、RMS）を開発している。KMS は RMS にデータベースとして登録すべき科学的情報をいただけるものとして期待をしている。RMS は，地層処分の安全確保において満足しなければならない要件（法定要件や指針など）の論拠として必要な科学的知見や技術開発の成果を KMS に求めており，今後に期待している。
・セーフティケースは NUMO でも検討中であり，NUMO で 2010 年に公開する技術レポート（仮称）において，セーフティケースの考え方を示す意向である。その際は当方の論理構造についても KMS に反映していただきたい。

4.2.2 会場との意見交換

パネリストの意見も踏まえ，KMS および CoolRep への期待や要望などについて会場の参加者に意見を求めた。いただいた主な意見は以下の通りである。なお，「→」以下に機構の回答を示す。

・討論モデルについて，論証と反証を繰り返すと発散してしまい収束しないことも考えられる。科学的な微妙な議論に入ると必ずしも答えが出ないことが予測できる。例えば，地層

処分の観点から「これ以上議論してもあまり意味がない」という点で打ち切るなど，処分にとって重要かどうかの判断を下す必要があるのではないか。

→ひとつの歯止めとして，論証スキームについては，ある種の理由（保守的だからとか，デザイン上ロバストだからとかなど）を付けるという一般化されたルールの中で，エキスパートジャッジメントやエンジニアリングジャッジメントで対応できる論理構造となっている。また，科学的・工学的な視点だけでなく，社会的・経済的な観点も論理に取り入れられるようにしている。

・立地を担当する者として，もう少し一般向けの簡単で分かりやすいシステムが欲しい。処分の技術的な安全性を言葉で説明するのは難しいので，一般の理解を促すものとして，関心を持ってもらえるシステムに発展させてほしい。

・技術継承の点で，ノウハウなど文章化できないものをどのようにシステムに入れていくのか。間違った情報が入るとそれが一人歩きする恐れがあるので注意が必要である。また，膨大な情報からさほど多くはない真実をどのように取り出すのかといった情報の管理，フィルタリングは重要であり，注意を払ってほしい。

・CoolRep の思想に逆行するが，印刷して読みたいというユーザーもいると思う。印刷しても見やすい形式にしてほしい。

・KMS については，原子力機構以外の機関も参加したシステムにするためには，使い方や適宜加わった情報などをレクチャーしてくれる場がほしい。

・CoolRep は「セーフティケース構築を念頭におきながら」という説明であったと思うが，CoolRep の作成にあたっては，安全戦略が必要である。CoolRep の構造の中で，工学技術の設計戦略や設計思想，個々の設計方法と個別情報の組み合わせをどのようにまとめようとしているのか。

→安全性と処分場設計の相互について階層的にリンクさせて説明することが大事であると考えている。CoolRep では，処分場設計を考えるべき因子として，NUMO が提示した８つの因子を概要として提示し，その下のカーネルで因子ごとに原子力機構におけるこれまでの成果を掲載するという階層を考えている。また，カーネルに他の研究機関の成果を取り入れられるような形とすることも可能である。

・KMS 内の論拠となるような事項で，情報の信頼性にばらつくことがあると思うが，システムに対して大きな問題とならないか。

→知識について濃淡があることは当然であり，その濃淡を参照できることが品質保証上大事である。信頼性を採点表の形で表示できるようなシステムが必要となるかと思う。それに留意して「研究の強化が必要か」などの判断が入ることになる。

・システムの信頼性，得られる情報の信頼性は重要であるが，組織の信頼性も問われる。そのため，客観的に信頼性の評価ができることが大事であり，処分事業自体の信頼性の維持に努めることが一番大事である。現在は，事業関係者全体の組織の信頼性確保に至っていない社会的な状況にあるので，KMS がそれに対する情報の発信ツールとなることを期待する。

・KMS の内容がどんどん変わっていった時，引用元のレポートがなくなることも考えられる。議論が尽くされたものと，議論中のものがわかるように仕分けしておく必要がある。

・日本では作ることには予算をつけて一生懸命行うが，維持管理に予算がつかず，大変な思

いをしている例が多い。維持・管理の予算と人員をどうするかも検討する必要がある。

・安全はいくら説明しても，伝わりにくい。大事なことは，なぜ安全かを示しているプロセスとそれをバックアップする法制度である。

・機構が KMS を構築していく上で，中立的立場で NUMO と規制機関の両者に役立つ情報を提供すると言っているが，一般の人に中立的立場で整備を進めていることをいかに説明していくかが重要である。

・KMS 構築に当たり，各種のステークホルダーや地域社会に対して分かりやすくするという点で，何か回答があるか。

→討論モデルは，いわば，想定問答集である。地層処分の安全性について全て理解してもらうことは不可能だが，討論モデルを公開すれば，それを一般の人が目にすることになる。地層処分に対して疑問に思っていることとそれに対する論証が討論モデルに記載されていれば，理解が進むと思っている。討論モデルは，技術者の知識の整理のためにあるだけでなく，そのような面もあると思っている。

・KMS に退職した教職員などの知識をもっと入れるなどして，大学の教育の場など，知識を吸収していくためのシステムとして使っていくという考え方もある。

・討論モデルは専門家が使うということを考えていると思うが，一般市民が KMS にユーザー登録しなくても，Q&A の閲覧や情報収集の形で利用し，自分の疑問に答えられるような最低限の情報を得られる仕組みが KMS にあれば，さらに利用者が増えることが期待できる。そのようなシステムを併設することを検討してほしい。

5.おわりに

今回の意見交換会を通じて，パネリストならびに多くの参加者から，KMS および CoolRep の今後の進展に大いに期待するとの激励とともに，多くの貴重なご意見をいただいた。個別の内容についても，例えば，KMS の討論モデルは一般の方に対する QA 集としても活用でき，安心を与えるツールとなり得ることなどが確認できた。一方，今後の取り組みについては，一般の方に対してもより分かりやすい内容とするための工夫が欲しいなどの要望が出され，KMS の中身（知識ベースや討論モデル）の拡充，および運用開始後の維持・管理が最大の課題であるとの認識が共有できた。

以上のように，本意見交換会おいては KMS 開発の現状や CoolRep の全体構想などについてご理解いただくとともに，その内容や進め方について広くご意見をいただくことができ，所期の目的を達成することができた。

謝　辞

本意見交換会では，地圏空間研究所　小島　圭二代表に座長をお引き受けいただきました。原子力安全研究協会　杤山　修所長，首都大学東京大学院　山崎　晴雄教授，東京大学大学院長﨑　晋也教授，科学ジャーナリスト　中村　浩美先生および原子力発電環境整備機構　土宏之技術部長には，パネリストとしてご登壇いただきました。また，会場参加者の皆様から多くの貴重なご意見をいただきました。すべての方々に深く感謝いたします。

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
体積	立法メートル	m^3
速さ，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	毎メートル	m^{-1}
密度，質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m^3
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m^2
比体積	立方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	アンペア毎メートル	A/m
量濃度[a]，濃度	モル毎立方メートル	mol/m^3
質量濃度	キログラム毎立法メートル	kg/m^3
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m^2
屈折率[b]	（数字の） 1	1
比透磁率[b]	（数字の） 1	1

(a) 量濃度（amount concentration）は臨床化学の分野では物質濃度（substance concentration）ともよばれる。
(b) これらは無次元量あるいは次元１をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の１は通常は表記しない。

表３．固有の名称と記号で表される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	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン[b]	rad	1 [b]	m/m
立体角	ステラジアン[b]	sr[c]	1 [b]	m^2/m^2
周波数	ヘルツ[d]	Hz		s^{-1}
力	ニュートン	N		$m\ kg\ s^{-2}$
圧力，応力	パスカル	Pa	N/m^2	$m^{-1}\ kg\ s^{-2}$
エネルギー，仕事，熱量	ジュール	J	N m	$m^2\ kg\ s^{-2}$
仕事率，工率，放射束	ワット	W	J/s	$m^2\ kg\ s^{-3}$
電荷，電気量	クーロン	C		s A
電位差（電圧），起電力	ボルト	V	W/A	$m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-1}$
静電容量	ファラド	F	C/V	$m^{-2}\ kg^{-1}\ s^4\ A^2$
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	$m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-2}$
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V	$m^{-2}\ kg^{-1}\ s^3\ A^2$
磁束	ウエーバ	Wb	Vs	$m^2\ kg\ s^{-2}\ A^{-1}$
磁束密度	テスラ	T	Wb/m^2	$kg\ s^{-2}\ A^{-1}$
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	$m^2\ kg\ s^{-2}\ A^{-2}$
セルシウス温度	セルシウス度[e]	℃		K
光束	ルーメン	lm	cd sr[c]	cd
照度	ルクス	lx	lm/m^2	$m^{-2}\ cd$
放射性核種の放射能[f]	ベクレル[d]	Bq		s^{-1}
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト[g]	Sv	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
酸素活性	カタール	kat		$s^{-1}\ mol$

(a)SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
(b)ラジアンとステラジアンは数字の１に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。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である数字の１は明示されない。
(c)測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
(d)ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
(e)セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
(f)放射性核種の放射能（activity referred to a radionuclide）は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
(g)単位シーベルト（PV,2002,70,205）についてはCIPM勧告2（CI-2002）を参照。

表４．単位の中に固有の名称と記号を含む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	$m^{-1}\ kg\ s^{-1}$
力のモーメント	ニュートンメートル	N m	$m^2\ kg\ s^{-2}$
表面張力	ニュートン毎メートル	N/m	$kg\ s^{-2}$
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	$m\ m^{-1}\ s^{-1}=s^{-1}$
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s^2	$m\ m^{-1}\ s^{-2}=s^{-2}$
熱流密度，放射照度	ワット毎平方メートル	W/m^2	$kg\ s^{-3}$
熱容量，エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	$m^2\ kg\ s^{-2}\ K^{-1}$
比熱容量，比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	$m^2\ s^{-2}\ K^{-1}$
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	$m\ kg\ s^{-3}\ K^{-1}$
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m^3	$m^{-1}\ kg\ s^{-2}$
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	$m\ kg\ s^{-3}\ A^{-1}$
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m^3	$m^{-3}\ sA$
表面電荷	クーロン毎平方メートル	C/m^2	$m^{-2}\ sA$
電束密度，電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m^2	$m^{-2}\ sA$
誘電率	ファラド毎メートル	F/m	$m^{-3}\ kg^{-1}\ s^4\ A^2$
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	$m\ kg\ s^{-2}\ A^{-2}$
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	$m^2\ kg\ s^{-2}\ mol^{-1}$
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	$m^2\ kg\ s^{-2}\ K^{-1}\ mol^{-1}$
照射線量（X線及びγ線）	クーロン毎キログラム	C/kg	$kg^{-1}\ sA$
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	$m^2\ s^{-3}$
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	$m^4\ m^{-2}\ kg\ s^{-3}=m^2\ kg\ s^{-3}$
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	$W/(m^2\ sr)$	$m^2\ m^{-2}\ kg\ s^{-3}=kg\ s^{-3}$
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m^3	$m^{-3}\ s^{-1}\ mol$

表５．SI 接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10^{24}	ヨタ	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	a
10^{2}	ヘクト	h	10^{-21}	ゼプト	z
10^{1}	デカ	da	10^{-24}	ヨクト	y

表６．SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1h =60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	’	1’=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	”	1”=(1/60)’=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	$1ha=1hm^2=10^4m^2$
リットル	L, l	$1L=1l=1dm^3=10^3cm^3=10^{-3}m^3$
トン	t	$1t=10^3$ kg

表７．SIに属さないが、SIと併用される単位で、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 単位で表される数値
電子ボルト	eV	$1eV=1.602\ 176\ 53(14)\times10^{-19}J$
ダルトン	Da	$1Da=1.660\ 538\ 86(28)\times10^{-27}kg$
統一原子質量単位	u	1u=1 Da
天文単位	ua	$1ua=1.495\ 978\ 706\ 91(6)\times10^{11}m$

表８．SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
バール	bar	$1\ bar=0.1MPa=100kPa=10^5Pa$
水銀柱ミリメートル	mmHg	1mmHg=133.322Pa
オングストローム	Å	$1\ Å=0.1nm=100pm=10^{-10}m$
海里	M	1 M=1852m
バーン	b	$1\ b=100fm^2=(10^{-12}cm)2=10^{-28}m^2$
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的な関係は、対数量の定義に依存。
ベル	B	
デジベル	dB	

表９．固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
エルグ	erg	$1\ erg=10^{-7}\ J$
ダイン	dyn	$1\ dyn=10^{-5}N$
ポアズ	P	$1\ P=1\ dyn\ s\ cm^{-2}=0.1Pa\ s$
ストークス	St	$1\ St\ =1cm^2\ s^{-1}=10^{-4}m^2\ s^{-1}$
スチルブ	sb	$1\ sb\ =1cd\ cm^{-2}=10^4cd\ m^{-2}$
フォト	ph	$1\ ph=1cd\ sr\ cm^{-2}\ 10^4lx$
ガル	Gal	$1\ Gal\ =1cm\ s^{-2}=10^{-2}ms^{-2}$
マクスウェル	Mx	$1\ Mx = 1G\ cm^2=10^{-8}Wb$
ガウス	G	$1\ G\ =1Mx\ cm^{-2}\ =10^{-4}T$
エルステッド[c]	Oe	$1\ Oe \triangleq (10^3/4\pi)A\ m^{-1}$

(c) ３元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「 ≙ 」は対応関係を示すものである。

表10．SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位で表される数値
キュリー	Ci	$1\ Ci=3.7\times10^{10}Bq$
レントゲン	R	$1\ R = 2.58\times10^{-4}C/kg$
ラド	rad	$1\ rad=1cGy=10^{-2}Gy$
レム	rem	$1\ rem=1\ cSv=10^{-2}Sv$
ガンマ	γ	1 γ =1 nT=10-9T
フェルミ		1フェルミ=1 fm=10-15m
メートル系カラット		1メートル系カラット = 200 mg = 2×10-4kg
トル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
カロリー	cal	1cal=4.1858J（「15℃」カロリー），4.1868J（「IT」カロリー）4.184J（「熱化学」カロリー）
ミクロン	μ	1 μ =1μm=10^{-6}m

（第8版，2006年改訂）

この印刷物は再生紙を使用しています