

○大澤英昭, 梅木博之, 内藤守正, 中野勝志, 牧野仁史 (日本原子力研究開発機構)

## 1. はじめに

21世紀は知識の時代といわれる[1]。科学技術の様々な分野において、知識量の増大にともない、知識と知識の関係が体系化されず放置されているという問題が指摘されており、これを解決し蓄積される知識をうまく活用して新たな価値を生み出すための様々な取り組みが開始されている。例えば、ナノテクノロジーの分野では、ナノ材料開発を支援することを目的とした知識の構造化プラットフォームの構築が行われている[2]。また、社会問題を解決し社会を円滑に運営していく技術を構築するため、問題を俯瞰し全体像を共有するための知識体系の構築や、社会的合意形成を支援するための技術などの開発が試みられている[3]。

1970年代より国際的に活発な研究開発が進められるようになった高レベル放射性廃棄物の地層処分においても、時間の経過に伴い知識の多様化と量の激増といった他の科学技術分野と共通の問題が存在し、しかも地層処分の有する技術的あるいは計画推進上の特徴から、こうした知識をいかに取り扱うかは研究開発を進めていくうえで本質的な課題となっている。本稿では、日本原子力研究開発機構（以下、原子力機構）で取り組んでいる地層処分技術の知識マネジメントの考え方と、これを具体化するためのシステムの基本概念について紹介する。

## 2. 地層処分計画の特徴と研究開発の新たな視点

高レベル放射性廃棄物とは、原子力発電所から取り出された使用済燃料に含まれる未利用のウランやプルトニウムを「再処理」によって回収した後に残る強い放射能を持った廃液（高レベル放射性廃液）を、ガラス原料と混ぜて高温で加熱しステンレス容器に入れて固化したもの（ガラス固化体）である。その放射能に起因する潜在的な危険性は、時間とともに放射性崩壊によって減衰するものの数万年以上継続するといった特徴を有する。

日本では、高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）を30～50年程度貯蔵して冷却した後、地下300m以深の安定な地層中に処分（地層処分）することを基本としている[4]。地層処分は、長期にわたって安定な地層（天然バリア）と複数の人工バリア（ガラス固化体、オーバーパック、緩衝材）を組み合わせた多重バリアシステムによって、放射性物質を長期間にわたって閉じこめ、人間とその生活環境へ有意な影響が生じないようにする方法である。地層処分によって安全を確保する必要のある期間はこれまでに経験のない極めて長期間にわたることから、従来の工学システムのように実際にシステム全体を動かして安全性を確認したり技術的な経験を積むことができない。このため、長期的な安全性が信頼に足るものであることについて社会的な合意を得ながら、段階を追って計画の推進に関する意思決定を行うことが不可欠であり、一般に事業を完了するまでに数十年から百年といった時間を要すると考えられている。それぞれの意思決定にあたっては、その都度、地層処分の長期的な安全性を判断するための材料としてセーフティケース（地層処分システムが長期間にわたって安全であることを主張する論拠）が用意され、地層処分がその段階で安全なものとして受け入れることができるかどうかはセーフティケースの信頼性に大きく依存する。セーフティケースは、一義的には地層処分事業の実施主体がその時点の科学技術に基づく知識を統合して作成し、安全規制関連機関によってそれが妥当なものかどうかの評価が行われるものであり、このプロセスを繰り返すことによって処分事業を通じ信頼性が高められていく。このため、処分事業が継続する数十年以上といった時間スケールにわたり、セーフティケースを構築するための地層処分技術に関する知識を継続して蓄積していくことが求められる。

こうした要求に応えるため、原子力機構では研究開発の推進にあたり、知識管理の枠組みを導入することとした。その基本となるナレッジ・ビジョンとして、「セーフティケースの作成に関連する知識を対象とした管理範囲の明確化と網羅性の確保」、「ユーザーの視点の重視」を設定し、セーフティケースの一般概念を視軸とした知識の構造化を行っている。ここで、ユーザーとは、地層処分事業の実施主体（原子力発電環境整備機構）や安全規制関連機関（原子力安全委員会や原子力安全・保安院など）など地層処分計画の意思決定に関わる関係者、関心を有する専門家や公衆を対象としている。これにより、地層処分の安全性に対する信頼性の向上に向け、個々の研究開発成果

の有機的な関係をより形式化するとともに、意思決定の材料としての適合性に留意しながら情報の必要十分性を明らかにする。また、ユーザーの役に立つ知識の創出という観点から、知識としての価値を明確にしつつ管理を行う[5]。

### 3. 知識マネジメントにおける実際的な課題

原子力機構では、その前身の一つである動力炉・核燃料サイクル開発事業団によって 1976 年より地層処分の研究開発を開始している。茨城県の東海研究開発センターの地層処分基盤研究施設、地層処分放射化学研究施設、岐阜県の瑞浪超深地層研究所（結晶質岩）、北海道の幌延深地層研究所（堆積岩）といった研究開発インフラを整備しつつ、深地層の科学的研究、工学技術の開発、安全評価手法の開発という三つの分野を設定して研究開発を進め、その成果を段階的に地層処分に関する包括的な技術報告書として取りまとめてきた。これらの研究開発分野には、地質学から原子力工学といった幅広い学問分野が関連している。研究開発の進展に伴う「情報爆発」の現象が顕著に現れたのは、1999 年の第 2 次取りまとめ[6]においてである。第 2 次取りまとめは、サイトや岩種を特定せずわが国で一般的に認められる幅広い地質環境を対象としたジェネリックな研究開発の集大成であり、わが国における地層処分の成立性に関する技術的な信頼性を概括的に示すとともに、処分予定地の選定や安全基準策定の技術的な基盤を提供したものである。これを技術的な拠り所として地層処分事業のための法律が制定され、日本の地層処分計画はジェネリックな研究開発の段階から事業段階に移行した。第 2 次取りまとめは、報告書総ページ数約 2,300 ページに及び、その内容を支える個々の研究テーマに関する詳細な技術資料や参考文献も含めれば扱われた情報は膨大な量に上る。同様にジェネリックな観点から取りまとめられ、1992 年に公表された第 1 次取りまとめ[7]の総ページ数約 400 ページに比較すればその差は歴然としている。第 2 次取りまとめ以降も、例えば最新の地質環境調査技術を適用することにより、生データに加え、ランドサットなど衛星からのマルチスペクトラル画像といった情報や、3 次元水理地質構造モデルの開発やそれを用いた地下水流動計算の過程で用いられるすべての情報やデータなど、関連する知識の量および種類は引き続き増加の一途を辿っている[8]。

地層処分技術に関連する多岐にわたる知識の適切な管理にあたっては、求められる極めて長期間の安全確保や事業の長期性とといった特徴を十分に考慮に入れ、計算機支援による知識ベースを含めた新たな方法に基づく知識マネジメントが不可欠と考えられる。このような課題に対応するために、近年急速に進歩している知識工学的技術（オントロジー、エージェント、テキストマイニング、ニューロネットワークなど）の適用を進めている。

### 4. 知識管理システムの構築

地層処分に関する技術の知識基盤を構築するための知識管理システムは、関連する知識の開発、統合、品質管理、コミュニケーション、維持・記録保存といった全ての側面を運営・管理する体系を指す。このためには、単に情報を保管、普及するといったツールにとどまらず、ピアレビューやアドバイザーが果たしているような、多様な情報の統合、傾向や矛盾の認識、知識生産者へのフィードバックといった機能が要求される[9]。また、激増する知識に対応する能力、ユーザーからの要件・要望への柔軟な対応、ユーザーの利用しやすさなども考慮に入れて構築する必要がある。知識管理システムの開発にあたっては、構築される知識ベースが最終的に地層処分計画に関する社会的な意思決定に用いられることを念頭においておくことが重要である。

このような機能を満たすために必要な知識管理システムの要素と構造を図 1 に示す。知識管理システムの基本機能は、構造化した知識を収納する知識ベース、研究開発セクターやシンクタンクなどの知識創造、ユーザーとのコミュニケーション、知識管理全体をマネジメントするナレッジ・オフィス、インターネット（ウェブ）を介した国外の知識ベースとのインターフェースから構成される。

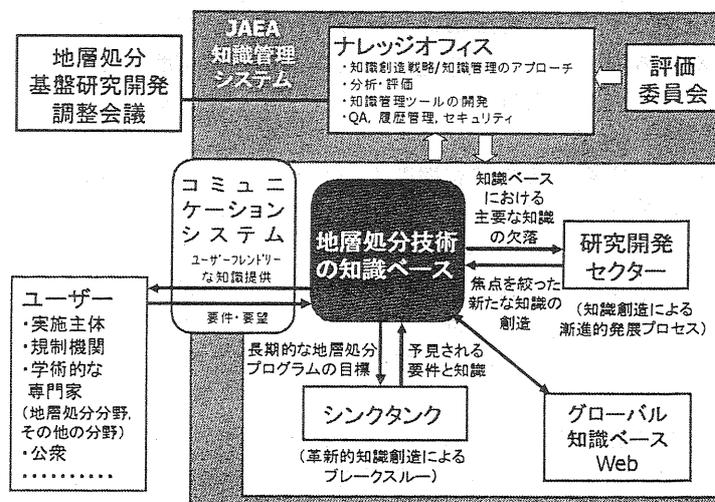


図 1 知識管理システムの主要な要素と構造

また、地層処分基盤研究開発調整会議[10]を通じて得られる他研究開発機関の成果を統合することも機能として考慮している。研究開発によって生産される知識は、知識ベースに蓄積され、コミュニケーション機能を介して、想定される全てのユーザーが利用可能となるようにする。知識ベースを実際に利用することによって示されるユーザーからの要件や要望に沿うよう研究開発が行われ、その成果が新たに知識ベースに蓄積される。このように、知識管理システムは、共通のプラットフォームとしての知識ベースをユーザーが利用し、また、ユーザーの要件・要望を反映することなどにより、セーフティケースの作成とその妥当性に関する技術的評価、地層処分に関する国民的理解および社会的信頼性の向上に貢献し、段階的な社会的意思決定を支援する。

## 5. 知識の構造化と知識ベースの開発

知識の構造化を行うための効果的な方法はユーザーの要件に関係づけることである。地層処分技術に関連するこうした要件には、法律や安全規制、地域の要求といった政治社会的な側面に関するものや人工バリアの設計に関する詳細なレベルの技術的要件など、様々なものが含まれる。要件管理が実施されていれば、明らかにされる要件に即してほぼ自動的に知識ベースを構造化することが可能であるが、事業実施主体や安全規制機関などのユーザーによって要件に関する検討が進められつつある現段階においては、知識の構造化を行う視点としてセーフティケースの一般概念を用いることが合理的であり有効と考えられる。セーフティケースについてはOECD/NEAによって一般的な構成要素(図2)と相互関係が示されている[11]。セーフティケースには、階層的に構造化され、相互に関係するいくつかの要素が含まれており、これらの要素にはそれぞれに関係して行われる作業の集合が含まれている。関連する知識は、セーフティケースの構成要素にしたがってより下位の知識へと階層的に分類される(図3下)。構造化された知識の相互関係はその内容によって様々な形態を有す。また、このような関係性は、セーフティケースがどのように作成されるかに依存して、また知識の時間的変遷に伴って変化する。このため、これら知識の関係性を緩やかな表現によって包括的に示すとともに、動態的変化に柔軟に対応することが可能になるよう、知識工学的手法を活用しながら関連づけを行うことが有効である。

このように構造化された知識(図3下)は、セーフティケースの論証構造(図3上)と関連づけが行われる。論証構造を構成する種々の「主張(あるいは要件)」とこれらを支持するために必要な論拠との関係を検討することにより、現在不足している知識を明らかにし今後の研究開発の方向性を探るうえで有益な指針を与えることが可能である。地層処分計画が進む過程で生ずるセーフティケースの論証構造と必要な知識の時間的な変化を扱ううえでは、構造化した知識が再利用可能となるよう、論証構造自体をテンプレート化しておくことが便利である。

一方、実施主体や規制機関などのユーザーの利用目的や利便性に留意しつつ、構造化された知識を「データ(ベース)」や「ドキュメント(ベース)」を基本として保管するとともに、「ソフトウェア」、「経験・ノウハウ」、「統合化した知識」、「ガイダンス」、「プレゼンテーション素材」といった類型(表1)に変換し、併せて知識ベースに格納する。

知識の類型の一つであるガイダンスには、上述したセーフティケースの論証構造(図3上)などを含めることができる。これは、地層処分事業実施主体や安全

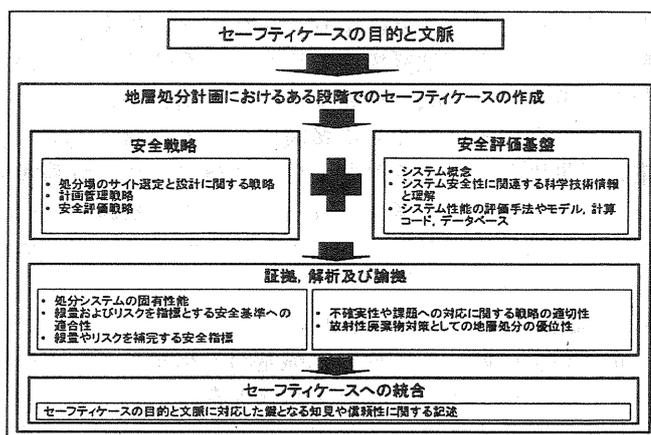


図2 セーフティケースの構成要素[8]

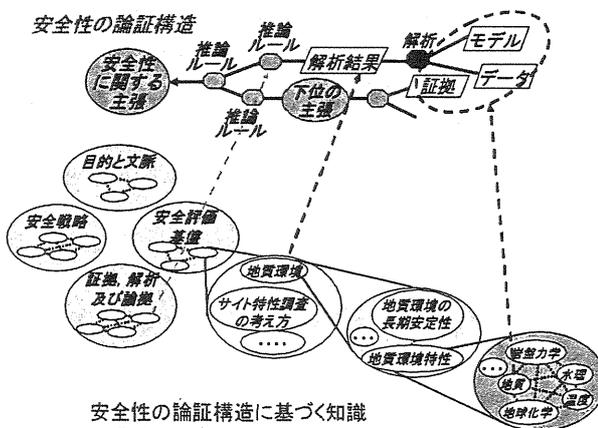


図3 地層処分のセーフティケースに基づく知識の構造化の概念

規制機関などが行うセーフティケースの作成やその妥当性の評価に資するといった観点から重要な知識である。また、ユーザーの要件・要望に留意しながら、これらに対応する具体的な課題を明確にするための作業の支援、性能評価および処分場の設計とリンクしたサイト調査計画策定支援、性能評価や処分場の設計支援など、ユーザーの利用という視点にたった汎用的知識を同様にオントロジーなどの手法で構築し、ガイダンスとして蓄積することが有効であると考えられる。さらに、情報検索機能として自然言語処理技術を用いたテキストマイニングやデータマイニング、ニューラルネットワーク技術などを用いた機械学習などの機能をもたせることによって、ユーザーが活用しやすい、かつ自律的な知識ベースを構築する。

表 1 利用形態の観点から類型化された知識ベースの構成要素

分類	内容	例
データ	・生データ ・処理データ ・外部発掘データ	・熱力学・取替データベース ・人エ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	・地下水流動解析モデル/コード ・地形変化シミュレーションモデル/コード ・物質移行解析モデル/コード ・熱-水-応力-化学連成解析モデル/コード
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	・断層の推定手法 ・ボーリング調査手法 ・分析手法マニュアル
統合化した 知識	・エキスパートシステム	・地質構造の推定手法 ・地下水の化学特性の推定手法
ガイダンス	・技術的、社会政治学的な将来シナリオとそれに 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に 入れたグラフィック表示素材	・地質環境の長期変動の ビジュアル画像

## 6. まとめ

原子力機構では、セーフティケースの一般概念に示された構成要素に基づいて地層処分技術に関連する多様かつ大量な情報を知識として構造化し、ユーザーの要件・要望に応じて提供するとともに、新たな知識の創造や知識継承などの機能を備えた次世代型の知識管理システムの開発を進めている。

今後は、平成 22 年を目途に知識管理システムのプロトタイプを開発しこれを公開する計画である。特に、社会共有の財産となるようにするため、ユーザーとの対話を進めながら要件・要望を的確に把握しつつ、システムの設計、構築、試行を実施する。また、地層処分基盤研究開発調整会議を通じた研究開発の調整や協力の枠組みの下、他の関連研究開発機関の成果も知識ベースに取り込んでいくことによって、地層処分研究開発の中核的機関としての役割を果たすこととしている。

## 参考文献

- [1] 野中郁次郎, 紺野登, “知識経営のすすめ—ナレッジマネジメントとその時代”, ちくま新書, 1999.
- [2] 小宮山宏, “知識の構造化”, オープンナレッジ, 2004.
- [3] 堀井秀之, “安全安心のための社会技術”, 東京大学出版会, 2006.
- [4] 通商産業省, “特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針を定める件”, 平成 12 年 10 月 2 日, 通商産業省告示第 591 号, 2000.
- [5] 核燃料サイクル開発機構, “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 年度取りまとめ—, 地層処分技術の知識化と管理”, JNC TN1400 2005-020, 2005.
- [6] 核燃料サイクル開発機構, “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—, 総論レポート”, 核燃料サイクル開発機構, JNC TN1400 99-020, 1999.
- [7] 動力炉・核燃料開発事業団, “高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書—平成 3 年度—”, 動力炉・核燃料開発事業団, PNC TN1410 92-081, 1992.
- [8] 核燃料サイクル開発機構, “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 年度取りまとめ—”, 分冊 1-3, JNC TN1400 2005-021~023, 2005.
- [9] Kawata, T., Umeki, H., McKinley, I.G., “Knowledge Management: Emperor’s New Clothes?”, International High-Level Radioactive Waste Management Conference (IHLRWM) 2006, Las Vegas, Nevada, USA, April 30-May 4, p.1236-1243, 2006.
- [10] 吉野恭司, “地層処分に係る政策動向と基盤研究開発の展開”, 第 22 回バックエンド夏期セミナー資料集, 平成 18 年 7 月 27-28 日, 北九州市, 日本原子力学会バックエンド部会, 2006.
- [11] OECD/NEA, “Post-closure Safety Case for Geological Repositories, Nature and Purpose”, OECD Nuclear Energy Agency, Paris, France, ISBN 92-64-02075-6, 2004.