

Title	安全性の論証構造を用いた関係者間コミュニケーションの共有プラットフォーム
Author(s)	大澤, 英昭; 日置, 一雅; 牧野, 仁史; 仙波, 毅; 梅木, 博之; 高瀬, 博康
Citation	年次学術大会講演要旨集, 25: 55-60
Issue Date	2010-10-09
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/9243
Rights	本著作物は研究・技術計画学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Science Policy and Research Management.
Description	一般講演要旨

安全性の論証構造を用いた関係者間コミュニケーションの 共有プラットフォーム

○大澤英昭，日置一雅，牧野仁史，仙波毅，梅木博之
(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 知識化グループ)
高瀬博康 (株式会社クインテッサジャパン)

1. はじめに

20世紀後半から，非常に広い範囲で科学技術と社会との関係が変化しているとされる。例えば，マイケル・ギボンズ[1]は，現代社会における知識生産のモードが，各ディシプリンの内的論理によって進められるモードから，問題設定が単に産業的な応用だけでなく，各ディシプリンを超越したトランスディシプリナリな問題解決の枠組みに，政策決定者，産業界，大学研究者のみならず，市民も含めた幅広い関係者が参加して進めることを求めるようなモードへと変化していることを示している。

一方で，科学技術の様々な分野では，知識量の増大とそれらの内容の多様化にともない，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いる[2]。そして，これらを解決し，蓄積される知識をうまく活用して，社会における新たな価値を生みだ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[3]。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[4]。

1970年代より各国において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，経験を有する専門家の暗黙知の散逸といった他の科学技術分野と共通の問題が存在する。また，地層処分の安全性は将来数万年といった長期間を対象とし，「実証」ではなく，「論証」による社会的合意に基づいて判断されるという特徴を有する。これらの特徴的な問題に対し，地層処分の安全性やそれを確保するために必要な技術に関する知識を，地層処分の幅広い関係者の中で共有・活用，コミュニケーションを促進していくことが，地層処分野でも本質的な課題となっている。

このため，日本原子力研究開発機構（以下，原子力機構）では，地層処分の安全性を説明するうえで必要となる多様かつ大量な情報を関係者の要望に応じて提供し，信頼性を高めるために必要となる新たな知識の創造や関係者のコミュニケーションの促進を支援する共有プラットフォームを構築することを目指し，知識マネジメントシステム(KMS)の開発を進めている[5]。本稿では，地層処分の安全性の説明のための論理構造等に基づく新たなコミュニケーションの共有プラットフォームの基本的コンセプトとそれに基づく KMS の開発状況を紹介する。

2. 高レベル放射性廃棄物地層処分事業の現状とその特徴

日本では，原子力発電で使い終わった使用済燃料は，そのまま処分せず，燃料として再生できるウランやプルトニウムを再処理によって回収し，その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熔融しステンレス容器に入れて固化する（ガラス固化体）。こうしてできたガラス固化体が高レベル放射性廃棄物となる。高レベル放射性廃棄物は原子炉から取り出された直後の放射能レベルが高く，時間とともに放射性崩壊によって減衰するものの，その潜在的危険性は数万年以上も継続するといった特徴を有する[6]。

高レベル放射性廃棄物を，こうした長い期間を対象として人間環境から安全に隔離するための最も有効な技術として国際的に認められているのが地層処分であり，日本では，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）することとされている[7]。地層処分による安全確保の基本的考え方は，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、廃棄物からの放射性物質を長期間にわたって閉じこめ、人間が関わらなくとも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（受動的安全系）というものである。

この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直接確認したり、技術的な経験を積むことができない[8]。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（以下、セーフティケース）[9]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最新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地層処分事業を通じ信頼性が高められていく。このため、地層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、適宜、意思決定に活用していくことが求められる。

3. 地層処分技術に関する知識マネジメント的課題

高レベル放射性廃棄物の地層処分の研究開発は、すでに半世紀近くにわたって各国で進められてきており、時間の経過に伴い知識の量の激増と多様化に伴うマネジメント上の問題が生じている。こうした知識を、安全性の確保及びその信頼向上という観点でいかに取り扱うかは、地層処分技術に関する研究開発を進めていくうえで、大きな課題となっている[10]。地層処分システム全体の安全機能が、超長期の時間スケールにわたって働くこと示すためには、科学技術的な知見を十分に活用し、地下の状態がどうなっているかを理解した上で、それらの知識を統合し、安全評価を行うことによりシステムが将来どのようにふるまうかを論ずる必要がある。この安全評価だけを取り上げてみても、コンピュータ技術の発展に伴い、1980年代には二次元解析が主流であったものが、現在は時間的な変化も考慮した三次元解析が行われるなど、知識の統合プロセスはより複雑なものになってきている。また、将来、特定のサイトが選定されると、より現実的な地質環境モデルの構築などを含む非常に複雑な統合プロセスが必要になると予想される。さらに、システムの長期的ふるまいの理解や、その数学的な解析・評価結果に伴う不確実性を完全に排除することはできないため、これらに基づいて作成されるセーフティケースが信頼に足るものかどうかを、様々な側面から補完的に解説し、幅広いステークホルダーに理解されやすいものとするのが求められている。このような状況は日本だけではなく、海外でも同じである。例えば、米国エネルギー省が2008年6月3日、ネバダ州ユッカマウンテン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米国原子力規制委員会に提出した¹⁾。この申請書と関連文書・情報はあわせて約3,000万ページをこえるものとなっている[11]。このような知識の量の激増と多様化により、地層処分に関する安全性やそれらを支える地層処分技術の知識を関係者で共有・活用することが非常に困難になっている。

4. 安全性の論理構造を用いた関係者コミュニケーションの共有プラットフォームのコンセプト

(1) 安全性の論理構造を用いた知識の構造化

事業実施主体や安全規制関連機関など様々なステークホルダーの意思決定を支援するという視点で知識の構造化を行う効果的な方法は、ステークホルダーのニーズに関係づけることである[12]。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社会的な側面に関するものや人工バリアの設計に関わ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。正規の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を構造化することが可能であるが、

¹⁾ 米国のエネルギー省（DOE）は、オバマ政権のユッカマウンテンプロジェクト中止の方針を受け、2010年3月3日、原子力規制委員会（NRC）の原子力安全・許認可委員会（ASLB）に対してユッカマウンテン処分場の許認可申請を取り下げる申請書を提出している。

事業実施主体や安全規制機関などの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 OECD/NEA によって示されたセーフティケースの一般概念[9]を用いることが合理的であり有効と考えられる。

そのため、「地層処分は長期的に安全である」という主張に必要な要件の階層構造を想定し、そこから個々の要件の成立の主張の根拠となる「論証」と、ある論証に対して考える「反証」との連鎖で表現した安全性の論理構造（以下、討論モデル）により、知識を構造化する手法を構築した（図 1）。これにより、安全性の向上のために本質的にどのような考え方がとられているのかといった安全性の論理構造を示すことを可能とする。また、単なる「論証」の流れではなく、「論証」及び「反証」の連鎖を示すことにより、安全性を向上するための道筋のみならず、安全性を阻害する要因をマップ状に可視化することが可能になり、安全論理をより頑健なものとするができる[13][14]。また、各々の論証についてのエビデンス情報（ナレッジノート）を付与することにより、論証の妥当性を理解することを可能とする。これにより、論拠が十分ではない部分の解決に必要な調査・試験、解析あるいは研究開発を明確にし、安全確保に必要な、新たに創出すべき知識を明らかにすることが可能となる。討論モデルの作成にあたっては、例えば法学分野における討論事例[15]の IT 化において活用されてきた論証スキームをセーフティケースの特徴を考慮しつつ展開することにより（図 2）、①意思決定の各段階において必要となる、意見や価値観あるいは文化的背景の異なる関係者間の討論における共通のルールを提示すること、②各論証の類型に対するクリティカルな質問を予め提示することにより討論の品質管理を体系的に行うこと、③国内外の既存のセーフティケースにおける論証事例を整理・再活用する際の管理単位を提供すること、を可能とする。討論モデルは、長期にわたる地層処分事業の段階的な意思決定による要件の具体化や新たな科学的知見により時間的に変化する。長期にわたり知識を柔軟に再活用できるよう保管すること、知識の維持・管理が容易にするため、例えば、各々のドキュメント、データなどに、討論モデルの論証・反証との関係を、メタ情報などとして付与することにより、討論モデルの時間的な変化に柔軟かつ容易に対応可能とする。すでに述べたように、討論モデルは、安全性の論証のみでなく、それに対する反証との連鎖で表現（図 1）しており、地層処分の安全性に対する討論を行う形で関係者間の双方向でのコミュニケーションを可能とするだけでなく、本モデルをインターフェースとして、これまで蓄積されている情報を知識ベースから取り出し、確認、議論することが可能である（図 3）。

(2) 論拠の作成に必要な調査・解析手法の知識の構造化

討論モデル上のある論証のエビデンスを生成するために必要な計画立案、調査・試験、データ処理、モデル解析及び評価・解釈の経験・ノウハウをウェブ上の共用スペースに示すことにより、討論モデルの更新に必要な新たな要件の明確化や科学的知見の創出を支援する。こうしたエビデンスを生成するために必要な経験・ノウハウは、多くの場合、報告書や論文などで明示されることなく、専門家間で暗黙の了解として継承されることが多いため、これらをエキスパートシステムとして可視化する方法を採用する。例えば、処分候補地の特徴を把握するために実施される地質環境調査に関する知識を、計画立案、実施、評価という一連のタスクの目的やゴール、作業内容、制約条件、先行あるいは後続する他のタスクとの関連性についての知識内容と用いられた判断根拠といったタスク知識と、専門分野の中での一般化されている原理・原則や失敗事例などに関する知識（領域知識）に分類する。その上で、関連するタスクのより詳細な流れ（タスクフロー）を構築し、それに沿って、タスク知識と領域知識を可視化する。タスク知識については“**If 条件 then 帰結**”の形式（決定木）や真理表形式で表現する手法を適用しルールベース化する一連の方法で、知識の構造化を行う（図 4）[16]。例えば、ボーリング孔掘削調査における地下水化学調査を例にすると、地下水化学調査全体の調査の手順とそのルールなどは決定木を用いて表現し、その中での掘削水に含めるトレーサを、それと条件との全ての組み合わせにより選択するルールなどは真理表で表現する。また、領域知識については、それらの内容やこれまでの失敗事例も含めて事例ベースとして整備する手法を用いることができる。専門家自身が気付かないような経験・ノウハウを引き出して可視化できるよう、インタビュー形式で知識を分析・整理する手法を取り入れるとともに、専門家が自らの知識レベルに応じて、エキスパートシステムを作成・更新・活用できるように開発用インターフェースを組み入れる（図 4）。

(3) 知識間の相互関係に関する知識の構造化

地層処分技術においては、安全機能層（例えば、ガラス固化体の核種保持機能）、現象層（例えば、

表面変質層（拡散層の形成)), 評価モデル層（例えば, 残留溶解速度層モデル), データ層（例えば, ガラスマトリクスシリカ溶解度）など様々なレベルの知識が存在する（図 5）。これらの知識間には, 安全機能層, 現象層など同じ階層レベルのみならず, 異なる階層間においても, 例えば, 「<ある現象（例えば, 安定なマトリクス構造の形成）>が<他の現象（例えば, シリカの残留）>の原因となる」といったように, 安全性に対する関係性が存在する。これらの関係は, 通常, その分野の専門家の暗黙的な知識として把握されている。これら専門家が有する知識項目間の因果関係を知識ネットワーク（図 5）として構築しておくことにより, 新たな反証に含まれる知識項目を検索することで関係する現象などを抽出し, 反証を論破するために必要なエビデンスの生成を支援することを可能とする[14]。

5. 知識マネジメントシステム・プロトタイプの開発とその意義

原子力機構は, 上記コンセプトに基づき, KMS プロトタイプを開発し, 編集・コミュニケーションを除いた閲覧機能を 2010 年 3 月にウェブ上で公開した (http://kms1.jaea.go.jp/kmsif/kms_login.html)。また, 一般の専門家に関しては, 地層処分とは何かを文書・ビデオで説明したり, セーフティケースや過去 5 年間の研究開発成果の概要を示し (CoolRep²⁾と呼んでいる), これらの文書からより詳細な内容を示した原子力機構の研究報告書や関係機関のウェブやそのウェブ上に公開された研究報告書などの資料を閲覧することを可能とした (<http://kms1.jaea.go.jp/CoolRep/>)。

KMS プロトタイプでは, ユーザーが実装された種々のマネジメントツールを活用するためのシナリオ案をビデオ画像を用いて示している (<http://kms1.jaea.go.jp/Overview/>)。例えば, ①処分事業実施主体のマネージャーが, 討論モデルにより安全性を向上するための課題を明確にしつつ批判的な反証に対抗できる新たな論証のアイデアを構築する, ②グループウェアを使用し, その分野の専門家にアイデアを伝え調査データの検討を依頼する, ③専門家が知識ネットワークからそのアイデアと因果関係を有する知識項目を抽出し, 事例ベースなどからその知識項目に関する既存の情報を入手して新たな論証を成立させるエビデンスを作成して, マネージャーに回答する, といったシナリオである。KMS プロトタイプは, このようなシナリオを参照しながら, 実際のテーマに応じて, その分野の専門家である地層処分の関係者コミュニティを構築し, 様々な試行における議論を通じて, マネジメント手法やツールの評価・改良, 及びコンテンツの拡充を行うとともに, 地層処分関係者における知識の共有・創出のための共通のプラットフォームを提供するという点で意義のあるものとする（図 6）。

今回公開した KMS プロトタイプの内容は基本的に技術者向きであり, 非専門家の一般ユーザーへの情報提供という観点で課題があるのも事実である。本課題については, 「よくある Q&A」などから, 徐々に情報を深化させながら, 技術文書や討論モデルなどに深化させていくという構造を一般ユーザー用のポータルサイトとして採用したり, 専門家がビデオでその内容を説明する, あるいは 3D 映像で処分場を可視化して示すといった方法などにより, 例えば, 処分候補地域の方々への地層処分に関する情報提供を行うといった機能を導入することを検討している。

参考文献

- [1]マイケル・ギボンズ編, 小林信一監訳, 現代社会と知の創造 モード論とは何か, 丸善ライブラリー, (1997).
- [2]小宮山宏, 知識の構造化, オープンナレッジ, (2004).
- [3]ナノマテリアルセンター, ナノ材料開発のための発想支援システム ナノテクノロジー知識の構造化プラットフォーム, <http://mandala.t.u-tokyo.ac.jp/>, 2010.08.13, 閲覧.
- [4]堀井秀之, 安全安心のための社会技術, 東京大学出版会, (2006).
- [5]河田東海夫, 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, 40(6), 15-20, (2007),
- [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 一地層処分研究開発第 2 次取りまとめ一, JNC TN1400 99-020～024, (1999).
- [7]経済産業省, 「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」, 平成 12 年法律第 117 号.
- [8]梅木博之, 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, 48(3), 14-19,

²⁾ 紙資源を節約する環境に優しい方法という意味で, 原子力機構が CoolRep と命名した。

- (2006).
- [9]OECD/NEA, Safety Case for Deep Geological Disposal of Radioactive Waste: Where Do We Stand ?, Symposium Proceedings, 23-25 January 2007, NEA No.6319, ISBN 978-92-64-99050-0, (2007).
- [10]大澤英昭ほか, 高レベル放射性廃棄物地層処分にに関する知識基盤の構築に向けた取り組みー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ー, 研究技術計画学会第 21 回年次学術大会講演要旨集 I, 1F19, 376-379, (2006).
- [11]US DOE, Additional Yucca Mountain Documents Made Available on NRC's Licensing Support Network to Facilitate Yucca Mountain Licensing Proceeding, http://www.ymp.gov/info_library/newsroom/documents/lsn-pr-4-07.pdf, 2007.07.01 閲覧.
- [12]日本原子力研究開発機構, 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ー平成 17 年取りまとめー地層処分技術の知識化と管理, JNC TN1400 2005-020, (2005).
- [13]大澤英昭ほか, 地層処分技術に関する知識マネジメントシステムの設計概念, 火力原子力発電, 59(6), 26-33, (2008).
- [14]H. Osawa, et al., Use of the safety case to focus KMS applications, Proceedings of the 12th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Management ICEM'09, October 11-15, 2009, Liverpool, UK, ICEM2009-16348, (2009).
- [15]D. Walton, Argumentation Methods for Artificial Intelligence in Law, Springer, (2005).
- [16]H. Osawa, et al., Development of Next-generation Technology of Integrated Site Characterization for Deep Geological Repositories, Proceedings of WM2009 Conference, March 1-5, Phoenix, AZ, 9132, (2009).

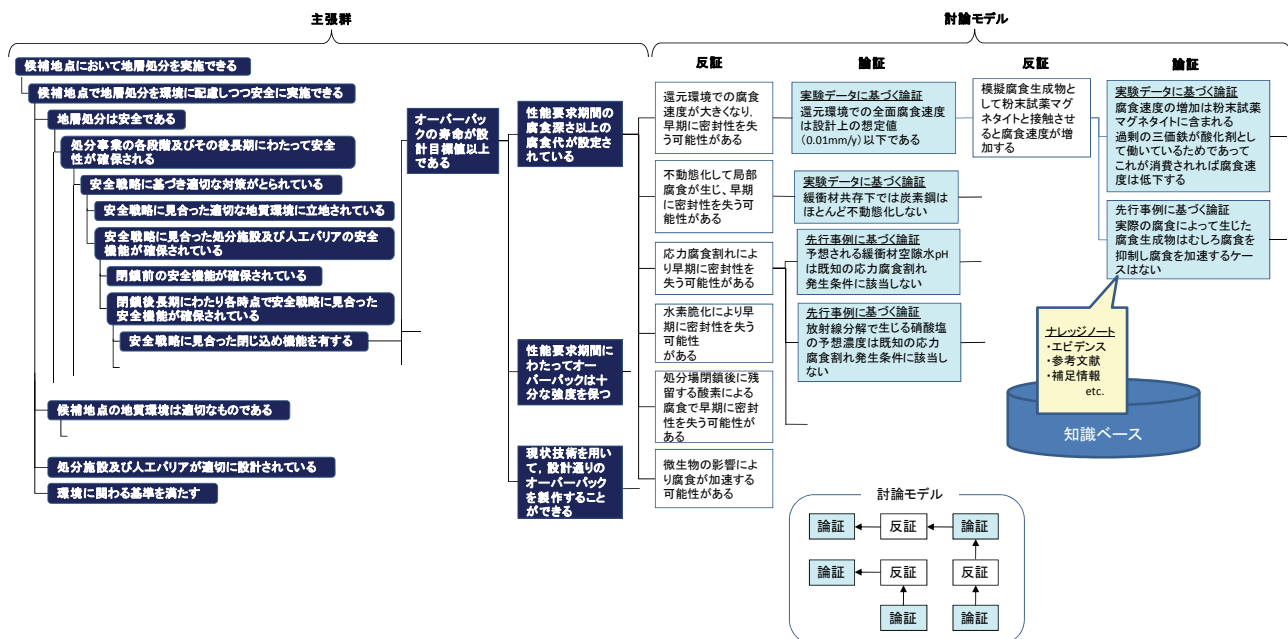


図 1 討論モデルの例

討論モデルに用いられる論証スキームの例

大分類	小分類
原理原則に基づく論証	科学における基本法則(fundamental laws)に基づく論証 広く受け入れられている考え方(principle)に基づく論証 例外基準に基づく論証
科学的推論に基づく論証	実験データに基づく論証 経験的モデルに基づく論証 理論的モデルに基づく論証 内挿による論証 外挿による論証 専門家の判断による論証 独立した情報との比較に基づく論証
安全論理に基づく論証	保守性に基づく論証 完全性に関する論証 確率性に関する論証 不確実性管理に基づく論証
工学的対策等に基づく論証	代替案との比較に基づく論証 品質管理に基づく論証 直接検証した事実に基づく論証 共通の理解に基づく論証
社会的規範に基づく論証	法令事実に基づく論証 経済性に基づく論証 社会的受容性に基づく論証 法律等に基づく論証

論証スキームの内容(「実験データに基づく論証」の例)

類似性に基づく論証
 定義: 実験室あるいはその他の実験系において得られたデータ(事実)を証拠として用いた論証
 前提: 実験系あるいはその他の実験系において関連するデータが得られている
 主張: 上記のデータに基づき命題が正であると推論される
 例:
 ・実験室で得られたデータベースが還元環境での鉄の腐食速度が十分に小さいことを示す
 ・地下施設での実験により坑道止水プラグ及びシール施工の技術的実現可能性を示す
 ・高アルカリ/溶液による粘土の劣化・変質の可能性が実験により示されている
 ・実験室における吸着試験により岩盤中での核種移行の遅延の程度が定量化可能である
批判的質問:
 Q01: 実験系は論証対象とする系を代表することのできる妥当なものか?
 Q02: 実験データは適切に品質保証された最良のものか?
 Q03: 矛盾するような他のデータはないか?
 Q04: そのデータを証拠として用いる際の前提条件が十分明確に定義されているか?
 Q05: そのデータを適用する際に疑念を生じようとする単純化や仮定が介入しないか?
 Q06: そのデータに含まれる誤差は不確実性は許容できる程度のものか?

図 2 論証スキームの例

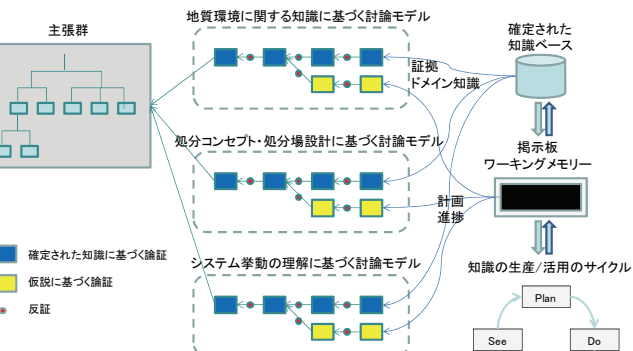
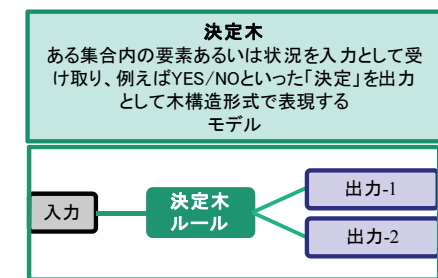


図 3 討論モデルをインターフェースとした活用



真理表
ある集合内の要素の考えられる全ての組み合わせを表現するのに適したモデル

	濃度に対する依存性	pHに対する依存性
Uranine	○	○
Rhodamine 6G	○	×
Erythrosine	×	○
Pyranine	○	×

ルール作成インターフェース

既存ルールの閲覧・編集

ルール番号	ボテキスト文	分岐	Then	Go to (ルール番号)	追加・編集
1 はじめに	(P) 地球化学モデルの構築に関する解析は、下図に示されるように調査の各段階、新しい情報が増えられた各段階において実施します。構築された地球化学モデルが、施設設計や安全評価に必要とされている命題(対象解析において地下水の水質やpH、酸化還元電位などの地球化学特性分布が把握されていること)を満たすまで、調査解析を繰り返す。	YES	(P) データセットがある場合は、以下の順で解析を進めていきます。(P) ①地下水水質の空間分布の解析 (P)	2 空間分布の解析	ルール追加 ルール削除 エディター起動1 分岐追加1 分岐削除1
2 空間分布の解析	(P) 現在の地球化学特性の空間分布に関する解析を開始します。この解析には、対象解析において地球化学特性の均一性、得られているデータの代表性を示すため、以下のデータが必要です。(P) ・地下水の化学組成(濃度、同位体組成)(P) ・岩盤の組成・地質、同位体組成(P) ・試料採取地点の三次元(P) ①空間分布を構築したら、その形成プロセスに	NO	(P) 解析に必要なデータセットを生成してください。(P) データセットには地表調査、ボーリング調査など	3 水質形成プロセス	エディター起動2 分岐追加2 分岐削除2
	(P) ②濃度の高い地下水	数mg/L以上	(P) ③濃度の高い地下水		

図 4 ルールベース化の方法とその例

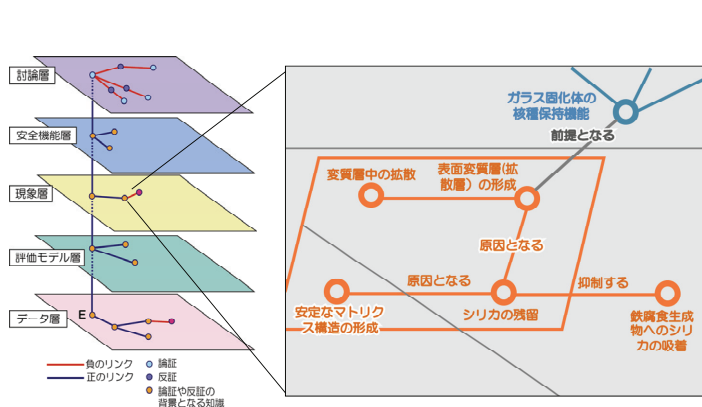


図 5 知識ネットワークモデル

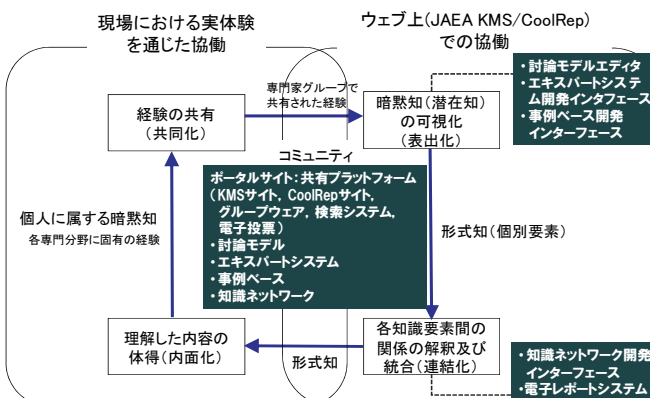


図 6 双方向コミュニケーションの概念