

|              |                                                                                                                                             |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Title        | 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研究：安全性の論理構造を用いた共有プラットフォームの構築                                                                                       |
| Author(s)    | 大澤，英昭；梅木，博之；牧野，仁史；日置，一雅；高瀬，博康                                                                                                               |
| Citation     | 年次学術大会講演要旨集，23： 872-875                                                                                                                     |
| Issue Date   | 2008-10-12                                                                                                                                  |
| Type         | Conference Paper                                                                                                                            |
| Text version | publisher                                                                                                                                   |
| URL          | <a href="http://hdl.handle.net/10119/7701">http://hdl.handle.net/10119/7701</a>                                                             |
| 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                                                                                                                                      |

## 2 E 1 1

# 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研究 －安全性の論理構造を用いた共有プラットフォームの構築－

○大澤英昭，梅木博之，牧野仁史，日置一雅

(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

従来から、工学システムの安全性を向上させるために、マニュアル、失敗事例集、事故事例集などの作成・活用、危険予知活動といった様々な取り組みが行われてきている。しかし、失敗学の分野では、失敗事例集などのように断片的に集められたものでは失敗知識を正確に伝達することはできないとされている[1]。そのため、失敗の原因、行動、結果を系統的に分析・整理するとともに、失敗知識の伝達経路（例えば、失敗知識を伝えたい人については具体的な内容から抽象化、失敗知識を知りたい人については抽象概念からその具体的な内容といった方向性）を考慮しつつ、知識を活用する人がそれらを理解できるよう、構造化が試みられてきた[2]。一方、失敗学を発展させた危険学の分野では、危険を事前に予測し安全を確保する（言い換えれば不測の事態を予測し、可能な限り排除する）ためには、安全性確保とその信頼性向上のために必要な文脈の統合、及びそれらの柔軟な活用・更新という観点で、従来の方法論は不十分であるとしている[3]。例えば、マニュアルは、それにより標準的な安全性の確保のやり方はわかるが、どこに危険が潜んでいるのかといった文脈を体系的に理解することは難しい。また、マニュアルは時間の経過により形骸化するという欠点があり、安全性確保とその信頼性向上のために必要な文脈を保持しつつ、その時々々の要求などに応じて柔軟に対応することは難しい。また、失敗事例集や事故事例集には、危険を柔軟に回避する方法に関する知識は含まれていない。さらに、危険学の分野では、技術を用いる組織の変更などの周辺状況の変化により、安全性確保とその信頼性を向上するために必要な考え方や方法などの本質的要素が失われる可能性を指摘している[3]。図-1 に、危険学の分野で指摘されている安全性確保とその信頼性向上のために必要な文脈の統合（文脈の統合、離散）、及びその柔軟な活用・更新（動的対応、静的対応）という2つの軸で、マニュアルなどの従来の方法論の特徴を示す。今後、必要とされる方法論は、図1の第1象限（文脈の統合/動的対応）に適応可能なものであり、畑中(2006)[3]は、マニュアル及び失敗知識の両者の特徴を兼ね備えた“危険地図”を構築し、これに基づく柔軟な活用・更新の重要性を指摘している。

本稿では、こうした安全性確保とその信頼性の向上に必要とされる知識の共有、伝達、利用という観点での統合的・動的な新たな方法論の開発に活用できるであろう、高レベル放射性廃棄物の地層処分を取りあげ、地層処分技術の知識マネジメントシステムの設計研究の中で日本原子力研究開発機構（以下、原子力機構）が進めている、安全性の論理構造を用いた共有プラットフォームの考え方とその概要を紹介する。

## 2. 高レベル放射性廃棄物の地層処分分野における取り組み

### 2.1 高レベル放射性廃棄物地層処分の特徴

高レベル放射性廃棄物とは、日本においては、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）を指す。再処理を行わない国では、使用済燃料自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。

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[4]。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、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というものである。

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[5]。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）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。このためには、図 1 の第 1 象限で求められるような、個々のデータ、情報及び知識を、意思決定に活用できるよう安全性の確保や信頼性向上に必要な論理を明確に示すとともに、その時々科学技術のレベルや社会的要求に応じて柔軟に活用・更新していく方法論が必要となる。

## 2.2 地層処分技術に関する知識マネジメント的課題

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では、時間の経過に伴い知識の多様化と量の激増といった問題が存在する。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、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[6]。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十二分に活用し、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なふうになるかを論ずる必要がある。この安全評価については、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、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。将来的に、サイトが選定されるにしたがい、より現実的な地質環境モデルの構築などの複雑な統合プロセスが必要になると予想される。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、ネバダ州ヤ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。この申請書と関連文書はあわせて約 3,000 万ページをこえるものとなっている[7]。

## 2.3 安全性の論理構造を用いた共有プラットフォームの構築

事業実施主体や安全規制機関などの意思決定を支援という視点で知識の構造化を行う効果的な方法は、事業実施主体や安全規制機関などの要件に関係づけることである[8]。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。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、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[5, 8, 10]。

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うる「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（図・2）。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、安全性を確保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る。これにより、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な知識を創出することが可能となる。討論モデルは、例えば法学分野における討論事例[11]の IT 化において活用されてきた論証スキーム（表-1）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、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ステークホルダー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、が可能となる。

また、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、討論モデルは動的に変化する。安全確保と信頼性向上に必要な考え方の体系を保持しつつ、これらの変化に対応するため、黑板システム[12]といった web 上での共用スペースに、討論モデルと、それらの論拠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・解釈のタスクの流れを示すことにより、新たな要件や科学的知見による討論モデルの更新が可能となる（図-3）。また、討論モデルの更新に対し、どのような知識を生成することが必要になるのか、そのためにはどのような知識を用い、どのようなタスクを行うことが必要になりそうかといった情報を、意思決定を行うユーザーに提供する。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、討論モデルの論証・反証とそれらの関係の構造を、メタ情報などとして各々のドキュメント、データなどに付与することにより、討論モデルの動的な変化に柔軟かつ容易に対応可能とする設計を試行している。

### 3. まとめ

以上のように、安全性の論理構造（討論モデル）を用いた共有プラットフォームを構築することにより、安全性の確保及びその信頼性の向上を行うための道筋や危険な場所を可視化するとともに、個々のデータ、情報及び知識を構造化し、地層処分事業の段階的な意思決定を支援する知識マネジメントシステムを具体化する計画である。ここで示した方法論は、地層処分のような長期的で、また周辺条件の変化に対応して段階的な意思決定を必要とする類似のプロジェクトに対して利用可能と考えられる。

#### 参考文献

- [1] 畑中洋太郎, “失敗学のすすめ, 講談社文庫, 2005.
- [2] 科学技術振興機構, “失敗知識データベース”, <http://shippai.ist.go.jp/fkd/Contents?fn=1&id=GE0704> 2008.07.24, 2008.
- [3] 畑中洋太郎, “危険学のすすめ ドアプロジェクトに学ぶ”, 講談社, 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] 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, Vol.48, No.3, 14-19, 2006.
- [6] 大澤英昭ほか, “高レベル放射性廃棄物地層処分に関する知識基盤の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, 講演要旨集 I, 1F19, pp.376-379, 2006.
- [7] 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](http://www.ymp.gov/info_library/newsroom/documents/lsn-pr-4-07.pdf), 2008.07.29.
- [8] 原子力機構, “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 年取りまとめ—地層処分技術の知識化と管理”, JNC TN1400 2005-020, 2005.
- [9] OECD/NEA, “Post-closure Safety Case for Geological Repositories, Nature and Purpose”, OECD Nuclear Energy Agency, Paris, France, ISBN 92-64-02075-6, 2004.
- [10] 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, Vol.59, No.6, pp.26-33.
- [11] Walton, D., “Argumentation Methods for Artificial Intelligence in Law”, Springer, 2005.
- [12] Kendal, S.L. and Green, M., “An Introduction to Knowledge Engineering”, Springer, 2007.

表-1 論証スキームの例とその内容

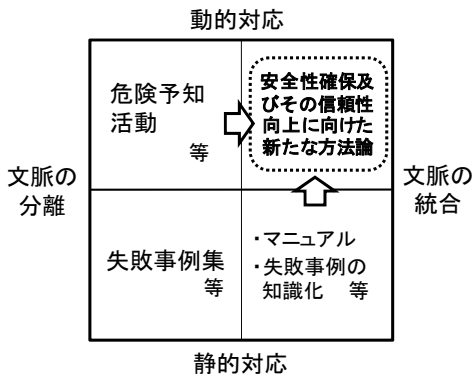


図-1 文脈の統合（文脈の統合、離散）及びその柔軟な活用・更新（動的対応、静的対応）の軸で示した、従来の方法論と今後必要とされる方法論の違い

| 論証スキームの例        |                                          | 論証スキームの内容（「B4:類似性に基づく論証」の例）                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 大分類             | 小分類                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| (A) 原理原則に基づく論証  | A1: 科学における基本法則 (fundamental laws) に基づく論証 | B4: 類似性に基づく論証<br>定義: 類似した他の事例において成立することが既知であるような一般性のあると考えられる原理を検討対象としている事例においても成立するものと推論することに基づく論証<br>前提: 対象とする事例と類似した事例がおりそこでは命題が正であることが知られている主張: 上記の事例との類似性に基づき対象とする事例でも命題が正であると推論される例:<br>軟岩の挙動と粘土の挙動との類似性<br>実験系と地層処分システムとの類似性<br>処分場用地に採れる材料と考古学的試料との類似性<br>地層処分システムと自然(地質学的)系との類似性<br>オクロにおける天然原子炉との類似性(自発的臨界の危険性)<br>批判的質問:<br>CQ1: 参照する事例は論証対象とする事例と類似していると言えるのか?<br>CQ2: 参照する事例において論証が成立していると認められるのか?<br>CQ3: 他の事例の中で検討対象とする事例に類似しておりかつ論証の成立しないような矛盾したものはないか?<br>CQ4: 選択された類似事例には本質的なバイアスが含まれていないか?<br>CQ5: 類似性の判断に含まれる誤差や不確実性は許容できる範囲のものか?<br>批判的質問への対応:<br>検討対象とする系と参照する事例との間の類似性を示す論証 (CQ1)<br>類似事例に関する調査データベースの信頼性を示す論証 (CQ2 & 3)<br>保守性に関する論証 (CQ4)<br>信頼性に関する論証 (CQ5) |
|                 | A2: 広く受け入れられている考え方 (principle) に基づく論証    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                 | A3: 例外基準に従う論証                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| (B) 科学的推論に基づく論証 | B1: 実験データに基づく論証                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                 | B2: 基礎的なモデルに基づく論証                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                 | B3: 経験的なモデルに基づく論証                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| (C) 安全論理に基づく論証  | B4: 類似性に基づく論証                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                 | B5: 内部による論証                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                 | B6: 外部による論証                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| (D) 社会的規範に基づく論証 | B7: 専門家の判断による論証                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                 | C1: 保守性に関する論証                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                 | C2: 完全性に関する論証                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| (E) 経済性に関する論証   | C3: 信頼性に関する論証                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                 | D1: 共通の原理に基づく論証                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                 | D2: 先行事例に基づく論証                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| (F) 倫理性に関する論証   | D3: 倫理に基づく論証                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                 | D4: 経済性に基づく論証                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                 | D5: 社会的受容性に基づく論証                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

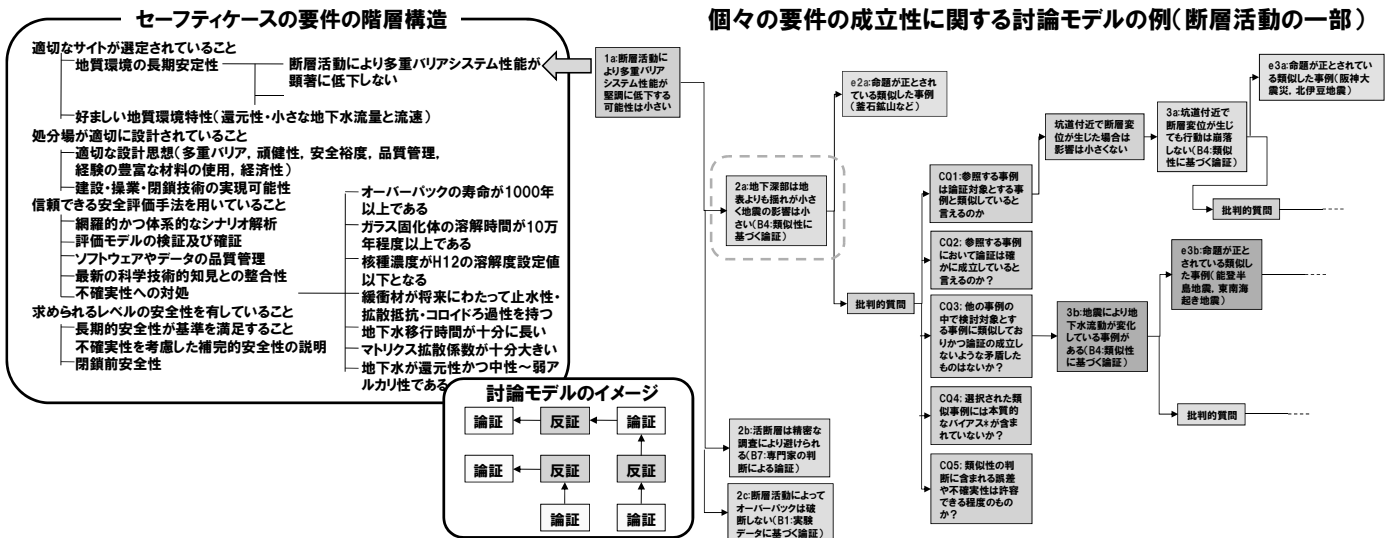


図-2 討論モデルのイメージ

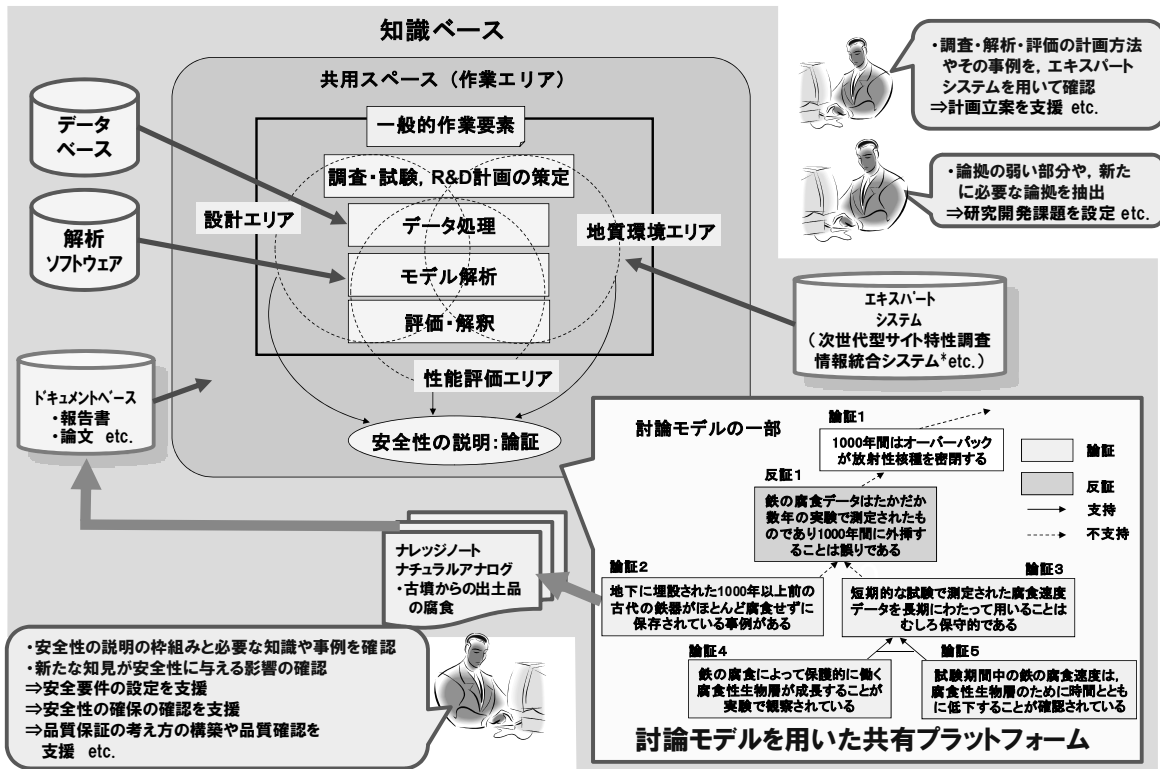


図-3 共有プラットフォームのイメージ