

信頼性のレベルを提示可能な体系的な 検討結果のとりまとめ方法の整備

Development of a Systematic Compilation Method
to Exhibit the Level of the Confidence on the Assessment

大井 貴夫 加藤 智子 河内 進 川村 淳

Takao OHI, Tomoko KATO, Susumu KAWACHI and Makoto KAWAMURA

地層処分研究開発部門
システム性能研究グループ

Performance Assessment Research Group
Geological Isolation Research and Development Directorate

March 2008

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

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

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

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

信頼性のレベルを提示可能な体系的な検討結果のとりまとめ方法の整備

日本原子力研究開発機構
地層処分研究開発部門 地層処分基盤研究開発ユニット
大井 貴夫, 加藤 智子, 河内 進※1, 川村 淳※1

(2008年 1月16日 受理)

地層処分の安全評価では、地震や火山などの地球科学的現象や物質の溶解等の溶液化学に関する現象等、様々な現象による処分システムへの影響が取り扱われる。このような地層処分施設の開発に関する基本的な考え方は、地層処分施設の開発を段階的に区分し、それぞれの段階における安全性に関する議論に基づいて次の段階への進展を判断する、という段階的アプローチに基づくものである。安全性に関する議論においては、上述のような多様な現象の考慮に基づく検討が行われ、利害関係者が関心を寄せるプロセス、すなわち、地層処分システムの安全性に対して大きな影響を与えるプロセスが同定され、詳細に評価される。このような地層処分施設の開発の段階的な進展において鍵となることは「信頼性の確保」であり、「地層処分システムの安全性に対する信頼性を確保すること」が現在の地層処分の研究開発における主要な課題となっている。

この課題に対応するため、ISO9000sに基づく品質マネジメントシステムの考え方（重要なプロセスを同定し、それに対して自ら要求事項を分析・理解・設定し、「適合性評価」を適用して、結果を積極的に確実に示す）を準用することが合理的であると考え。これは、このシステムが奨励しているプロセスアプローチが地層処分プロジェクトの安全性の議論におけるアプローチと類似しているという点からも理にかなっていると考え。

地層処分の安全評価は、前述のように、多様な研究の体系的なとりまとめが要求される研究である。現在、このような多様な研究から得られる知識を体系的に効率的に整理し、地層処分施設の開発や信頼性の確保に反映させるための管理手法の開発が精力的に行われている。これらの研究に係わる知識を体系的に効率的に整理し、信頼を得られるように提示するためには、個々の研究レベルにおいても、相互に関連しあう研究の中での当該研究の位置づけや目的、重要性の提示、さらには、成果の理解を容易にするような研究成果の達成度の提示など、信頼を得ることを意識した成果のわかりやすい提示が必要である。

本検討では、個々の研究者のレベルでの信頼性向上や上記のプロジェクト全体における知識の整理に反映できる方法を構築することを目的とし、国際的な品質マネジメントシステム（ISO9000s）を参考とし、「信頼性のレベルを提示可能な体系的な検討結果のとりまとめ方法」を整備した。本手法に基づき研究成果をまとめ、提示することにより、読者に研究の目的や意図、内容、それらの実施方法およびプロセスが明示される。また、それらに関する適合性評価を通じて、研究の透明性、追跡性が確保されるとともに、得られた結果や研究の適切性に関する研究者の主張が展開され、結果として、読み手の理解と信頼性の向上に資するものと考え。

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

※1 業務協力員

Development of a Systematic Compilation Method
to Exhibit the Level of the Confidence on the Assessment

Takao OHI, Tomoko KATO, Susumu KAWACHI※1 and Makoto KAWAMURA※1

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

(Received January 16, 2008)

The geological disposal is affected by various phenomena relating to the earth science including earthquake, volcanic activity and relating to the solution chemistry including solution, sorption and so on. The progress of the geological disposal project would be judged based on the argument with respect to the system safety in each step. In the argument relating to the system safety, the process, which gives a significant impact on the system safety in which stakeholder takes a great interest, would be identified and would be examined in detail. The key issue in step by step approach of this geological disposal project is the improvement of confidence and this is the central matter in the geological disposal project.

In order to address this issue, it is reasonable to apply the quality management system (ISO9000s). This system promotes a process management which includes the identification of the process giving a significant impact on the product with which customer satisfies based on the analysis of customer requirement and the conformity assessment for each process. The approach of process management is regard as the same approach as the argument of the system safety. This is a reason why is reasonable.

The geological disposal project requires the systematic compilation of the results of the various studies. At present, the management system has been developed in some organizations energetically in order to arrange the various knowledge obtained from these diverse studies and in order to reflect them to the geological disposal project efficiently and certainly. But in order to systematize the various knowledge efficiently and certainly, it is necessary to improve the method of the systematical compilation of the information and the method being easy to understand the results, such as the clarification of the meaning and the significance of the study and the understandable presentation of results on each study.

In this study, the method contributing to the improvement of confidence and the systematization of the various knowledge under the responsibility of each researcher has examined. As a result, “a systematic compilation method to exhibit the level of the confidence on the assessments” has been developed based on the approach of the international quality management system. It is possible to manifest the aims, intention, contents, approach and process of the study by compiling and presenting the results of the studies by using this method. In addition, transparency and traceability would be shown and the adequacy of the obtained result would be claimed by researcher through the conformity assessment for the result of the study. These results would contribute to the improvement of understanding and confidence.

Keywords: Geological Disposal, Safety Assessment, Confidence, Quality Management

※1 Cooperative Staff

目 次

1. はじめに	1
2. 方法論	5
2.1 個々のプロセスの設定	5
2.2 PDCA サイクルの内容設定	8
2.3 要求事項の設定	8
3 信頼性のレベルを提示可能な体系的な検討結果のとりまとめ方法の例示	10
4 まとめ	12
参考文献	13

Contents

1. Introduction.....	1
2. Approach	5
2.1 Setting of each process	5
2.2 Setting of contents of PDCA cycle	8
2.3 Setting of requirements	8
3. Demonstration of systematic compilation method to exhibit the level of the confidence on the assessments	10
4 Conclusion and future issue.....	12
References.....	13

表 目 次

表 1	性能評価技術分野を対象としたプロセス体系(WBS)の例	6
表 2	「生物圏での核種移行／被ばく」に関してまとめられたプロセス体系(WBS)の例	7
表 3	一般的な要求事項の設定(例)	9
表 4	論文構成と PDCA の要求事項との対応(例)	10
表 5	適合性評価シート(適用例)	11

1. はじめに

地層処分の安全評価では、地震や火山などの地球科学的現象や物質の溶解／収着等の溶液化学に関する現象等、様々な現象による処分システムへの影響が取り扱われる。このような地層処分施設の開発に関する基本的な考え方は、地層処分施設の開発を段階的に区分し、それぞれの段階における安全性に関する議論に基づいて次の段階への進展を判断する、という段階的アプローチに基づくものである。安全性に関する議論においては、上述のような多様な現象の考慮に基づく検討が行われ、利害関係者が関心を寄せるプロセス、すなわち、地層処分システムの安全性に対して大きな影響を与えるプロセスが同定され、詳細に評価される。このような地層処分施設の開発の段階的な進展において鍵となることは「信頼性の確保」であり、「地層処分システムの安全性に対する信頼性を確保すること」が現在の地層処分の研究開発における主要な課題となっている。この信頼性の確保に関しては、地層処分の安全評価の分野だけでなく、一般産業の分野においても、信頼性を確保するためのアプローチが検討・整備されてきている。ここでは、まず、地層処分の安全評価の分野と一般産業の分野での信頼性の確保に関する検討の推移について紹介する。その後、地層処分の安全評価の分野における信頼性確保に関する課題を整理し、その課題に対する本研究の目的と実施内容について記述する。

1991年、経済協力開発機構原子力機関(OECD/NEA)は、地層処分の安全評価手法のレビューに関する報告書を発行した。この報告書では、安全評価の主要な目的の一つを、“放射性廃棄物の処分について、十分な根拠に基づき意思決定を行うための基礎を提供すること”とし、“このため、科学者、安全評価者、規制者やその他の意思決定プロセスの関係者は、安全評価によって提供された情報、見通し及びその結果に信頼を寄せる必要がある”¹⁾としている。また、この報告書では、“安全評価によって、関連する問題が確実に取り扱われ、意思決定の基礎として使用される結果が提供されるようにするために何をすべきであるか”¹⁾という命題に対して、以下の4つの項目に着目して検討している。

- ・モデルの検証／確証
- ・品質保証
- ・レビュー
- ・国際協力

このように、この報告書では「安全評価によって適切な結果が得られるようにするためにすべきこと」は示された。しかし、信頼を得るために、示された結果をどのように伝えるかについては記述されていない。このことについては以下のような記述が添えられている。

“安全評価の結果をいかに明確に、包括的な方法で意思決定者や公衆に対して提示／説明するかという困難かつ重要な問題は取り扱われなかった。”¹⁾

ここでは、上記のような問題が困難かつ重要な問題であり、それが取り扱われなかった理由を以下のように解釈した。

- ・利害関係者の信頼を得るため、安全評価の結果をわかりやすく提示／説明できるように、“親しみやすい事例などととも、より一般的な表現や指標を用いる”等の評価結果に対する更なる工夫が検討されている(例えば文献2))。しかし、地層処分の安全評価においては、提示／説明すべき安全性に関する証拠・論拠が時間・空間的に変化する多種・多様な分野と関連しているため、安全評価の結果を簡潔明瞭に、包括的な方法で、わかりやすく説明することは必ずしも容易

ではない。安全評価の結果を明確に、包括的な方法で意思決定者や公衆に対して提示／説明し、信頼性を確保するためには、上記のように評価結果を充実させること、あるいは、より詳細な評価を行うこと以外の工夫も必要かもしれない。

1990年代の同じ時期、一般産業の分野においては、製品品質を向上させ、顧客に信頼感を与えることを狙いとした活動が勢力的に行われていた。これは、品質保証の統一規格である ISO9000s を用いた品質システム³⁾（品質管理を実施するために必要となる組織構造、手順、プロセス及び経営資源）構築の活動である。

一般産業の分野においては、製品の品質を直接管理することが可能であったため、ISO9000s の規格に基づいた品質保証活動の推進により、顧客の信頼感を高められる可能があった。しかし、“処分システムの安全性の提示”がいわゆる“製品”となる地層処分の安全評価の分野においては、安全性に関与する様々な要因が時間・空間的に変化し、不確実性が存在するため、システムの安全性を一律に定めることは困難であった。このことから、地層処分の安全評価の分野においては、データの取得や加工、解析結果の提示など、定量的なアウトプットを提示する場合を中心に品質保証の考えが適用され、システムの安全性に対する信頼性を確保するための方法としては適用されなかったと考える。

1994年に改定された ISO9000s の規格は品質保証システムに対する要求事項を中心とするものであった⁴⁾。この規格は、2000年に改定され、製品の品質保証だけでなく、顧客満足及び改善についても言及することによって従来の“品質保証”から“品質マネジメント”へとその適用範囲を拡大した⁴⁾。これは、1994年版の品質システムを構築しても結果として製品品質が向上しない場合がある⁴⁾との指摘を受けたことによるものである。2000年の改定においては、新たに、“組織内において、業務のプロセスを明確にし、その相互関係を把握し、運営管理することと合わせて、一連のプロセスをシステムとして適用する⁴⁾”プロセスアプローチを採用したり、“継続的改善の導入”や“顧客志向の重視（顧客満足、顧客関係プロセス、顧客のニーズの把握、要求事項の理解、顧客とのコミュニケーション、顧客からのフィードバックなどの品質マネジメントにおける顧客の重要性）⁴⁾”を強調している。ISO9000s はその後、追補的な意味合いで2005年に改定⁵⁾され、現在にいたっている。このような ISO9000s の規格に基づく品質マネジメントシステムを構築することによって、顧客満足を高めることができるとする論理的根拠は次の通りである。

- ・品質マネジメントシステムのアプローチでは、組織が顧客要求事項を分析し、顧客に受け入れられる製品を作り出すのに大きく影響するプロセスを明らかにし、これらのプロセスを管理し続けることを奨励する。品質マネジメントシステムは、顧客及びその他の利害関係者の満足を向上させる可能性を高めるための、継続的改善の枠組みを提供することができる。このことが、組織が要求事項を満たす製品を一貫して供給することができるという信頼感を、組織及びその顧客に与える⁵⁾。

ここで、重要なことは要求事項には、明示されているもの、通常暗黙のうちに了解されているもの、若しくは義務として要求されているもの、ニーズまたは期待が含まれる^{4,5)}ということである。従って、この活動は、一定の品質の製品を生産することに加え、顧客の要求に耳を傾け、示された要求だけでなく、自ら要求を分析・理解・設定し、それらの要求に応える活動を確実に継続的に実施し、それを提示することでより一層の信頼感の獲得を目指すということを意味している。一方、一般に、標準・規格・規定といったものが必要とされる場合、その標準・規格・規定を、製品・サービス・プロセスといったものが満たしているかどうかを確認する行為を「適合性評価」と呼ぶ⁶⁾。そのため、

この自ら要求を分析・理解・設定することと「適合性評価」は、顧客の信頼を得ることを目的とした品質マネジメントシステム等の活動の基本となる重要な要素となっている。

2000年ごろになって、地層処分の安全評価の分野において、地層処分の長期間の安全に対する信頼性の確保の重要性がより一層認識されるようになり、信頼性を確保するためのアプローチ等を記述したセーフティケース⁷⁾の概念に注目が集まるようになった。OECD/NEAは2004年にセーフティケースに関する報告書⁸⁾を発行した。この中で、セーフティケースを以下のように定義している。

- ・セーフティケースは地層処分施設の安全性や安全性に関する信頼性のレベルを記述し、定量化、具体化する論証、証拠の統合である。

この報告書では、文書化のための要素、一般的な検討事項、評価の基礎として要素、証拠、解析、論拠を整備する際の要素など、セーフティケースを構築するための要求事項と見なせるものが記述されている。このことは、地層処分の安全評価の分野においても信頼性を確保するために、「適合性評価」の考えが採用されたことを明確に示すものと考ええる。

同様に2006年7月に国際原子力機関 (IAEA) は、放射性廃棄物の地層処分の安全要件文書 (WS-R-4)⁹⁾を発刊した。この安全要件文書は、“地層処分の防護目標と規準を規定すること及び、この処分オプションの安全性を確保するために満たさなければならない要件を放射性廃棄物管理の安全性に対して規定されている既存の原則と整合性をとりつつ規定したもの”であり、“放射性廃棄物の管理、地層処分施設の開発、操業及び閉鎖に関連した意思決定に係わる人々、特に、規制に係わる観点に関連した人々の使用を意図したもの”である。この安全要件文書は、安全性の確保の状態を「適合性評価」の手法を用いて提示するものである。前述のように、ISO9000sに基づく品質マネジメントシステムにおいても「適合性評価」の手法を用いて製品の品質の確からしさを提示することを意図している。しかし、顧客のニーズを積極的に分析・理解・設定し、積極的に継続的にそれらに応えていることを確実に示す品質マネジメントシステムのアプローチが、利害関係者の信頼を得るという観点からは、より合理的であると考ええる。

地層処分の安全評価の分野においても、「適合性評価」を適用し、利害関係者の信頼を得るために、評価結果を充実させることに加え、このような利害関係者の要求に耳を傾け、示された要件だけでなく、自ら要求を分析・理解・設定し、積極的に継続的にそれらに応えていることを確実に示すことが、利害関係者の信頼性を確保する上で重要であると考ええる。セーフティケースの定義については、これまで様々な解釈がなされている。“信頼性のレベルを記述し、定量化、具体化する”というアプローチに上述のような意図が含まれているのであれば、セーフティケースにおける信頼性確保の考え方はISO9000sの考え方と類似した概念であると考えられることができる。

冒頭で記述したように、「地層処分プロジェクトの信頼性の向上を図ること」が現在の地層処分の研究開発における主要な課題となっている。この課題に対応するため、前述のISO9000sに基づく品質マネジメントシステムの考え方 (重要なプロセスを同定し、それに対して自ら要求事項を分析・理解・設定し、「適合性評価」を適用して、結果を積極的に確実に示す) を準用することが合理的であると考ええる。これは、このシステムが奨励しているプロセスアプローチが地層処分プロジェクトの安全性の議論におけるアプローチと類似しているという点からも理にかなっていると考えられる。

実施した研究や評価結果に対する信頼性は、本来、研究者自身が、細心の注意を払いつつ獲得・向上を図るべきことである。そのため従前より、論文の記述方法や OECD/NEA が示したような「適切な結果が得られるようにするためにすべきこと」（モデルの検証／確証や品質保証等）に関するマニュアル等が整備され、信頼を獲得するため、個々の研究成果の分かりやすい提示や品質の向上が図られてきている。しかしながら、地層処分の安全評価は、前述のように、多様な研究の体系的なとりまとめが要求される研究である。そのため、地層処分の安全性に関連する個々の様々な研究の成果や知見を分かりやすく簡潔明瞭に、整合的に統合し、信頼を得られるように提示する必要がある。現在、このような多様な研究から得られる知識を体系的に効率的に整理し、地層処分施設の開発や信頼性の確保に反映させるための要件管理システム¹⁰⁾、¹¹⁾の開発や知識管理システム¹²⁾の開発が精力的に行われている。これらの研究に係わる知識を体系的に効率的に整理し、信頼を得られるように提示するためには、個々の研究レベルにおいても、相互に関連しあう研究の中での当該研究の位置づけや目的、重要性の提示、さらには、成果の理解を容易にするような研究成果の達成度の提示など、信頼を得ることを意識した成果のわかりやすい提示が必要である。

本検討では、個々の研究者のレベルでの信頼性向上や地層処分施設の開発全体における知識の整理に反映できる方法を構築することを目的とし、国際的な品質マネジメントシステム (ISO9000s) の考え方を参考に、「研究者が要求事項を満たす研究成果を一貫して提示することができるという信頼感を、研究者及び利害関係者に与える。」ことを基本的理念に掲げて「信頼性のレベルを提示可能な体系的な検討結果のとりまとめ方法」を整備することとする。この方法は、国際的な品質マネジメントの考え方に基づいて、地層処分の研究の中から、安全評価に係わる個々の重要なプロセスを選定し、必要に応じて特有の要求事項を自ら設定し、それに対する適合性評価を行い、その結果を提示するものである。本検討では、重要なプロセスを既存の計画等に基づいて選定する。また、要求事項については、研究遂行において従来から指摘されている一般的な文書化の観点と信頼確保の観点から、これらのプロセスに対する要求事項を設定することとする。また、本検討では、本研究の成果である「信頼性のレベルを提示可能な体系的な検討結果のとりまとめ方法」の構築に対して、「汎用性」を特定の要求事項としてあげ、適合性評価を実施することとする。この手法は、実際に行う個々の研究に則して、主張すべきことを明示し、読者の理解や信頼をより向上させることに資するものであり、知識化¹²⁾を実務的に支援する有用な情報を提供するものとする。

2. 方法論

本検討では、品質マネジメントシステム規格 ISO9000s を参考として検討を進める。品質マネジメントシステム規格 ISO9000s は、品質マネジメントシステムを構築し実施するために、以下に定義されているようなプロセスアプローチを推奨している。

“組織内で用いられるプロセス（インプットをアウトプットに変換するために資源を使用する一つの活動又は一連の活動）及び特にそのプロセス間の相互作用を体系的に明確にし、運営管理すること。”⁵⁾

地層処分安全評価は、「個々のプロセスである処分システム内で生起する個々の現象やそれら現象の相互作用の理解を必要とし、結果として、個々の現象やそれらの相互作用により処分システムの安全性がどのように影響を受けるか」を評価するものである。そのため、個々のプロセスやその体系を明確にし、一連のプロセスの相互影響の結果として全体を管理評価することが可能なプロセスアプローチは地層処分安全評価の体系に適合可能なアプローチと考える。

本検討では、ISO9000s が採用しているプロセスアプローチに品質の維持・向上及び継続的な業務改善活動を推進するマネジメント手法である P(Plan), D(Do), C(check), A(Act) サイクルを適用し、「信頼性のレベルを提示可能な体系的な検討結果のとりまとめ方法」について検討することとする。

以下、このサイクルを適用するプロセスの設定と PDCA サイクルの具体的内容について検討する。

2.1 個々のプロセスの設定

現状の研究開発段階と現在進行中の実際の研究開発プログラムの項目を考慮に入れ、地層処分安全評価に係わる研究に含まれるプロセスやそれに含まれるサブプロセス、さらには、サブプロセスに含まれる詳細化された個別プロセスを明示することとする。これらの検討により、地層処分安全評価に係わる研究に含まれるプロセスの体系が重要な WBS (Work Breakdown Structure) として詳細に設定される。

同様の階層的な体系化が原子力研究開発機構の「知識管理システム」¹²⁾の開発の中でまとめられている。この開発においては、セーフティケース⁸⁾の一般概念を視軸とした知識の階層化が提案されている¹²⁾。ここで検討する WBS の項目は、このセーフティケースの構築を狙いとして整えられている「知識の構造化」の要素となる「知識項目」と整合的である必要がある。ここでは、最終的にはユーザーの利便性を考慮して構造化される「知識項目」に対して情報を提供できるようにすることを考慮し、現在進行中の実際の研究開発プログラム「研究開発全体マップ詳細版」¹³⁾を参照して、より詳細で、重要な個別プロセスを設定することとした。

「研究開発全体マップ詳細版」¹³⁾を参照し、「地質環境調査技術分野」、「処分場の工学技術分野」、「性能評価技術分野」をプロセスの上位にある「分野」として位置づけ、それらに含まれる主要な研究項目を分類し、その下位に位置する個々の研究をプロセスとして同定することとする。例えば、「性能評価技術分野」には、「評価手法」、「モデル化技術」、「データベース開発」という3つの分類が存在し、「評価手法」という分類の下には、「シナリオ解析技術」、「不確実性評価技術」、「総合的な性能評価技術」というプロセスが、「モデル化技術」の下には、「人工バリア中の核種移行モデル化技術」、「天然バリア中の核種移行モデル化技術」、「生物圏での核種移行/被ばく」というプロセスが存在する。さらに、「データベース開発」という分類の下には、「放射性元素の熱力学データベースの整備」、「収着・拡散データベースの整備」、「処分場システムデータベースの整備」というプロセスが含まれる。

表1 性能評価技術分野を対象としたプロセス体系 (WBS)の例

分類	プロセス	サブプロセス	個別プロセス1	個別プロセス2	
評価手法	シナリオ解析技術	基本シナリオを対象としたFEP情報に基づくシナリオの構築・評価技術の整備	シナリオ分析の体系化(相関関係マトリクス形式での整理と階層構造化) FEP情報と感度解析結果等に基づく定性的、定量的なスクリーニング手法の整備 多様な地質環境や設計オプションに対して柔軟に対応可能な、FEP情報の整備、シナリオの構築および評価までの総合的な評価体系の概念構築		
		天然現象を発端とする変動・接近シナリオの構築・評価技術の整備	高度化されたシナリオ抽出手法の変動シナリオへの適用 変動シナリオの例示		
	不確実性評価技術	不確実性の要因の分類に応じた不確実性の定量化技術の整備	不確実性の分類・整理 パラメータの分布設定と不確実性の要因との関係把握(設定上の留意点や設定手順の整備)		
		不確実性の影響評価技術の高度化	不確実性の影響評価手法の高度化(生起可能性/時間的変遷の考慮、感度分析手法の高度化) 研究の優先度および安全裕度の定量化などに資する情報の整理		
総合的な性能評価技術	総合的な性能評価のための評価体系の例示	多様な地質環境や設計オプションに対して柔軟に対応可能な総合的な評価体系の整備とそれをを用いた評価の試行 信頼性のレベルを提示可能な評価手順の整備 多様、多様な情報の整備・管理や評価結果の品質保証を支援するためのシステムの開発・整備・運用 解析コード等の特性に関する情報の整備。			
モデル化技術	人工バリエーション中の核種移行	地下水化学/間隙水化学	地下水水質形成モデルの適用性検討 間隙水水質形成モデルの適用性検討	地下水水質の推定手法の適用性についての検討 地下水水質形成モデルの構築に関わる一連の技術の体系化と知見の整理 地質環境条件が設定された場合の地下水水質の推定 掘削に伴う地下水水質の変化の推定手法の開発	
		ガラス固化体からの核種溶出	現実的なガラス溶解挙動と核種溶出挙動の理解	間隙水水質形成モデルの適用性あるいは留意点の整理 間隙水水質形成モデルの改良 間隙水水質形成に関する知見の整理 地質環境条件が設定された場合の間隙水水質の推定	
		緩衝材中の核種移行	緩衝材中での核種の取着と拡散に関するモデルの整備・改良	実ガラスを用いたガラスの溶解と核種の溶出に関する試験に基づく表面変質層の影響および第2次とりまとめで設定した長期溶解速度の妥当性確認 ベントナイト中への機械ガラス埋め込み試験に基づくガラスの長期溶解、核種溶出および緩衝材中での核種移行の理解と評価手法の検討 実験方法やガラス溶解速度に影響を与える主要な実験条件などの違いと対応づけたガラス溶解速度のデータベースの更新	
		溶解度制限固相の設定手法の構築	Ca以外の共存元素(Baなど)の影響を考慮可能なRaの固溶体モデルを構築する。 固溶体を含む溶解度制限固相の設定手法の整備 溶解度制限固相の不確実性に関する知見の提示	緩衝材中での取着プロセスを考慮した不確実性を含む分配係数の設定とデータ取得およびモデル整備の体系化 緩衝材中での拡散プロセスおよび移行経路の違い等を考慮した不確実性を含む実効拡散係数の設定とデータ取得およびモデル整備の体系化 取着と拡散の複合的な挙動に関する知見の整備	
		岩盤中での核種の取着と拡散に関するモデルの整備・改良	岩盤中での取着プロセスを考慮した不確実性を含む分配係数の設定とデータ取得およびモデル整備の体系化 岩盤中での拡散プロセスおよび移行経路の違い等を考慮した不確実性を含む実効拡散係数の設定とデータ取得とモデル整備の体系化 取着と拡散の複合的な挙動に関する知見の整備	Ca以外の共存元素(Baなど)の影響を考慮可能なRaの固溶体モデルを構築する。 固溶体を含む溶解度制限固相の設定手法の整備 溶解度制限固相の不確実性に関する知見の提示	
モデル化技術	天然バリエーション中の核種移行	岩盤中の核種移行	岩盤中の水理・物質移行評価手法の整備 岩盤中での核種の取着と拡散に関するモデルの整備・改良	瑞浪・幌延での掘削を伴う調査研究段階等で得られる調査データ等の活用 大きなブロック試料を用いた室内試験に基づく水理・物質移行現象に影響を及ぼす要因(現象、特性)やデータの拡充・整備ならびに評価手法の改良・整備 スケールの違い等に対して柔軟に対応できるような処分場周辺を対象とした水理・物質移行評価に必要な一連の技術の整備・改良および体系化 地上調査と立坑や坑道からの調査で得られる地質環境データを用いた評価結果の比較・検討を通じた水理・物質移行評価の実用性の向上 地質環境データの解釈から地下水の移行経路特性の評価に至る過程等に付随する不確実性の整理・分析	
		コロイド・有機物・微生物	コロイド・有機物の特性評価手法の確立とそれら影響の性能評価での取り扱いの具体化	岩盤中での取着プロセスを考慮した不確実性を含む分配係数の設定とデータ取得およびモデル整備の体系化 コロイド・核種相互作用の標準的評価方法の検討 コロイド・有機物の特性評価手法の確立と技術の体系化 コロイド・核種相互作用の相互作用及びその可逆性に関するデータ取得 有機物-核種相互作用としてのNp(IV)とフミン酸の相互作用及びその可逆性に関するデータ取得 岩石等-有機物-核種が存在する三相系でのより現実的な相互作用データの取得とそのモデル化 コロイド及び有機物の核種との不可逆取着やフィルター効果のモデル化およびコード改良 スイス・グリムゼル試験場でのコロイド・核種移行挙動評価試験結果への適用 核種移行に及ぼすコロイド及び有機物影響の感度解析の実施とこれらの影響特性の把握 コロイド及び有機物の影響の性能評価での取り扱いの具体化	
		生物圏での核種移行/被ばく	GBI設定手法および地表面環境での核種移行/被ばくのモデル化技術の改良・整備	地表面・地質環境の特徴に関する情報を取り込んだGBI設定の試行とGBIを設定するにあたっての課題の抽出と対策の整備 地表面環境での核種移行/被ばくのモデルの適用性に関する留意点の整理とモデル改良および生物圏評価技術の体系的な整備 感度解析によるパラメータの影響特性の把握と重要パラメータの同定および優先度課題の設定に資する知見の整理 国内外の最新の知見の整備と生物圏評価用データベースの更新の継続	
データベース開発	放射性元素の熱力学データベースの整備	熱力学データベースの更新および溶解度設定手法の体系化	アクチノイド元素の加水分解定数の導出とそれに基づく溶解度積の再評価および理論モデルを用いた値の妥当性検討 アクチノイド元素と溶解ケイ酸の相互作用に関する試験研究に基づく熱力学データの検討 Se溶解化学種の酸化還元平衡に関するデータ取得 Fe-Se系固相の熱力学データ取得 国内外のデータ等を参照した既往のJNC-TDBのJAEA-TDBとしての更新、整備・公開 核種移行解析で用いる濃度上限値(溶解度)をその不確実性とあわせて設定するための一連の手順・手法の体系的整備		
		分配係数および拡散係数に関するデータベースの整備	環境条件の変化に対する影響特性を踏まえた整備対象重要元素の再評価およびデータベース整備方針の設定 データ取得や文献調査に基づく国内外の最新情報に基づいたデータベースの継続的な更新 取着データベースの信頼度付与作業の継続 拡散データベースのデータの品質評価方法の検討 データベースのホームページ上の公開等を含めた、利用環境整備 核種移行解析で用いる分配係数と拡散係数をその不確実性とあわせて設定するための一連の手順・手法の体系的整備		
		処分場システムデータ	処分場システムデータベースの整備	性能評価用に集約しておくべきデータの処分場システムデータベースとしての選定と体系的に整理。	

これらのプロセスには、それぞれ、サブプロセス、さらには、詳細化された個別プロセスが含まれる。「性能評価技術分野」を対象としたプロセス体系（WBS）の例を表1に示す。

「実施した研究や評価に対して、より高い信頼が寄せられるようにする」ためには、想定される地質環境や処分環境において生起する重要な現象を漏れなく取り扱うことが必要となる。表1には、計画として既に認知された重要な研究がWBSとして明示されているが、更なる信頼性の向上を図るためには、多様な地質環境や設計オプションを考慮に入れた網羅的なWBSを設定する必要がある。このことは、知識化における知識項目に入れるべき知識の抽出を支援するものとする。

実際の研究である「生物圏での核種移行／被ばく」に関しては、これまで同様の検討がなされ、WBSの案が示されている¹⁴⁾。表2に「生物圏での核種移行／被ばく」に関してまとめられたプロセス体系（WBS）の例を示す。このWBSの構築例は、本検討において、プロセス項目として分類した「生物圏での核種移行／被ばく」に含まれるサブプロセス及び個別プロセス1よりも下位に位置づけられるプロセスを個別プロセス2として具体化したものである。

表2 「生物圏での核種移行／被ばく」に関してまとめられたプロセス体系（WBS）の例

サブプロセス	個別プロセス1	個別プロセス2	
GBI設定手法および地表環境での核種移行／被ばくのモデル化技術の改良・整備	地表・地質環境の特徴に関する情報を取り込んだGBI設定の試行とGBIを設定するにあたっての課題の抽出と対策の整備	表層での水の循環（表層水理による希釈分散効果の推定）に関する検討	
		沿岸海域での水の循環（海域の希釈水量の精緻な推定）に関する検討	
	地表環境での核種移行／被ばくのモデルの適用性に関する留意点の整理とモデル改良および生物圏評価技術の体系的な整備		実際の環境条件を考慮した核種移行／被ばくのモデル化手法の整備
			地表環境の時間的推移による影響を考慮した核種移行／被ばくのモデル化手法の整備
			補完的指標（濃度・フラックス、移行時間、化学毒性等）による評価手法の整備
			人間以外の生物種（環境）に対する評価に必要な手法の整備
			決定集団／被ばく集団の考え方の整理
			データベースからのデータ入力自動化等による解析の合理化に関する検討
			リスク論を用いた結果の提示方法に関する検討
			生物圏評価結果の可視化に関する検討
	感度解析によるパラメータの影響特性の把握と重要パラメータの同定および優先度課題の設定に資する知見の整理		実際の環境条件を反映すべきパラメータのデータ取得の優先度の検討技術の整備
			パラメータ設定手順の標準化に関する検討
	国内外の最新の知見の整備と生物圏評価用データベースの更新の継続		同位体による移行係数への影響把握（例えば、サイト飽和に依存した移行係数（分配係数）等の非線形性の把握）
			海外でのデータ等を含めたデータセットの整備
			わが国の特徴に依存するデータの整備
			地域性に依存するデータの取得技術とデータセットの整備
地表環境の時間的推移を考慮した評価に必要なデータセットの整備			
補完的指標による評価に必要なデータセットの整備			
人間以外の生物種に対する評価に必要なデータセットの整備			

2.2 PDCA サイクルの内容設定

PDCA サイクルを用いて、設定されたプロセス毎に「要求事項の設定とそれに対する適合評価」を行うための手順について検討する。

ISO9000s が採用している PDCA サイクルは個々の項目において以下のような役割¹⁵⁾を担っている。

- Plan : 顧客要求事項及び組織の方針に沿った結果を出すために、必要な目標及びプロセスを設定する。
- Do : それらのプロセスを実行する。
- Check : 方針、目標、製品要求事項に照らしてプロセス及び製品を監視し、測定し、その結果を報告する。
- Act : プロセスの実施状況を継続的に改善するための処置をとる。

ここでは、2.1 で設定された個々のプロセスを対象とし、「信頼性のレベルを提示可能な体系的な検討結果のとりまとめ方法」を構築するための PDCA サイクルとするため、信頼性の確保に深く関連する「セーフティケースの提示における一般的な考慮事項」^{8), 16)}等を参照し、以下のような PDCA の役割を設定した。

- Plan : (イ) 当該研究プロセスが対象とする課題の明確化
 (ロ) 当該研究プロセスの目的の明確化
 (ハ) 当該研究プロセスにおける実施概要の明示
 (ニ) 当該研究プロセスに特有な要求事項の明確化
 (ホ) 当該研究プロセスの反映先と反映事項・貢献事項（次段階への進展の判断ポイント）の明確化
- Do : (ヘ) 当該研究プロセスを実施するための手法の明確化
 (ト) 当該研究プロセスの要求事項に対する適合性の評価方法の明確化
 (チ) 当該研究プロセスの要求事項に対する適合性の判断基準の明確化
- Check : (リ) 当該研究プロセスに特有な要求事項に対する適合性評価結果の提示
 (ヌ) 当該研究プロセスの一般的な要求事項に対する適合性評価結果の提示
- Act : (ル) 結果のまとめ、今後の課題の設定・プロジェクトの進展の判断の提示

このような PDCA の役割は、「PDCA の要求事項」と見なすことができる。実際に研究の遂行においては、これらの PDCA の要求事項を個々の研究プロセスに対する要求事項に組入れ、それらを満足するように研究を進め、まとめていく必要がある。

2.3 要求事項の設定

要求事項は個々の研究に応じてそれぞれ個別に設定され、まとめられるべきものである。しかし、「セーフティケースの提示における一般的な考慮事項」^{8), 16)}や「安全要件文書」⁹⁾、「品質要件」^{5), 17)},¹⁸⁾を参照することで技術的な要求事項以外の一般的な事項についての具体化が可能である。

上記の要件に関する文書や既存の報告書¹⁹⁾において整理された要件を参照し、「信頼性のレベルを提示に必要と考えられる要求事項」を「文書化の観点」、「信頼確保(品質保証等を含む)に係わる観点」

に分けて、一般的な要求事項の設定(例)として表3に例示する。ここで、「文書化の観点」の要求事項は、2.2において設定した「PDCAの要求事項」とした。また、「文書化の観点」に入れた「当該研究プロセスに特有な要求事項の明確化」については、個々のプロセスの特性を反映した特有な要求事項として独自に設定するものとする。

これらの要求事項の適用においては、マネジメントシステムの要件の適用に関する一般的な手引(DS338の付属書I)¹⁷⁾や放射性廃棄物処分の安全のためのマネジメントシステムの安全指針文書(DS337)¹⁸⁾に示されている以下のような事項に留意することとした。

- ・マネジメントシステムの要件が製品や活動にどの程度適用されるべきかについては、製品やサービスの複雑さや、もし、製品に瑕疵があったり、活動が不完全に行われた場合の結果を考慮することと同様に、安全性、健康、環境、セキュリティ、品質要求に対して製品や活動が有している意味の重要度を考慮に入れて決めるべきである。
- ・マネジメントシステムの要求事項の適用範囲を区分することは貴重なリソースと注意をより重要な製品やプロセスに向けさせることを可能にする。

ここでは、当該研究の適合性に関する評価が研究の意義や時宜、背景等に照らして、適切になされるように、抽出した要求事項と、その適用の程度を「判断理由」とともに「対応の必要性の有無」として明示し、要求事項に対する適合性の判断基準等と併せて整理し、それらに基づいて適合性評価を行うこととする。

表3 一般的な要求事項の設定(例)

信頼性のレベルの提示に必要と考えられる要求事項	
①文書化の観点	・当該研究プロセスが対象とする課題の明確化
	・当該研究プロセスの目的の明確化
	・当該研究プロセスにおける実施概要の明示
	・当該研究プロセスに特有な要求事項の明確化
	・当該研究プロセスの反映先と反映事項・貢献事項(次段階への進展の判断ポイント)の明確化
	・当該研究プロセスを実施するための手法の明確化
	・当該研究プロセスの要求事項に対する適合性の評価方法の明確化
	・当該研究プロセスの要求事項に対する適合性の判断基準の明確化
	・当該研究プロセスに特有な要求事項に対する適合性評価結果の提示
	・当該研究プロセスの一般的な要求事項に対する適合性評価結果の提示
	・結果のまとめ、今後の課題の設定・プロジェクトの進展の判断の提示
②信頼確保(品質保証等を含む)に係る観点	・透明性(正当性)／追跡性／明瞭性(わかりやすさ)の確保
	・科学的理解・根拠・正当性の提示(現象理解、影響因子の同定、合理性等)
	・時間・空間的変遷の考慮
	・研究対象範囲(検討課題、評価対象事象、評価対象時間のスケール、解析ケース等)の妥当性の確認
	・使用するモデル、データ、コード、ツール、装置の検証・確認、校正状況の提示または、用いる手法の適切性の提示
	・研究目的の達成(安全評価であれば安全性の確保)を損なうような未解決の問題がないことの確認
	・感度特性、what if解析、保留FEP、様式化アプローチ等による不確実性の取り扱いの実施
	・結果を補強、支持する傍証(例えば、補完的安全指標、ナチュラルアナログ研究の結果等)の利用
	・未解決課題等の抽出
	・品質保証の対象の明示と対策と結果の具体的な提示
	・利害関係者との対話、レビューの実施

3. 信頼性のレベルを提示可能な体系的な検討結果のとりまとめ方法の例示

個々の研究プロセスを研究成果として論文等としてまとめ・提示する場合、一般的には、「はじめに」、
「理論・方法」、「結果」、「まとめ」といった構成が用いられる。これらの構成は、2.2において設定
した「PDCAの要求事項」（文書化の観点からの要求事項）と合理的に対応するものと考えることがで
きる（表4参照）。そこで、上記の論文の構成に基づいて個々の成果をとりまとめる場合に、個々の構
成において、2.2で設定した「PDCAの要求事項」を記述することを提案する。

このような観点で記述・まとめられた成果に対して、文書化の観点からの要求事項や信頼確保（品
質保証等を含む）に係わるに観点からの要求事項に対する適合性評価を行い、その結果を論文構成の
中の「結果」において、あるいは、「まとめ」において記述することにより、膨大な情報に埋もれるこ
となく研究の到達度を含めた研究成果のポイントが簡潔な記述により整理され、研究内容に関する
読者の理解を促進させ、研究成果の信頼性のレベルを提示することが可能になる。また、このような
論点に基づいて研究成果を整理することにより、研究成果をわかりやすく、論理的にとりまとめるこ
とが可能になると考える。

本手法は、汎用性を特定の要求事項とした研究プロセスの成果である。この要求を達成するため、
セーフティケースの提示における一般的な考慮事項を主要な要求事項とした。また、これらの要求事
項を適合性評価シート（テンプレート）としてまとめた。さらに、判断理由等の提示により、それら
への対応の柔軟性を認め、汎用的な利用を可能にしたと考える。

本検討は、表1の評価手法の中のプロセス「総合的な性能評価のための評価体系の例示」に含まれ
る個別プロセス1の「信頼性のレベルを提示可能な評価手順の整備」に係わる検討である。本検討を
例として、上記のとりまとめ方法に沿って適合性結果を整理した適合性評価シートを表5に例示する。
適合性評価シートの個々の要求事項が適合性評価の結果として簡潔にまとめられ、読み手の理解と信
頼性の向上に資する情報として提示されている。また、これらの項目に沿った研究の遂行により得ら
れる証拠や論拠は知識化に資する重要な情報となると考える。

表4 論文構成とPDCAの要求事項との対応（例）

論文構成	PDCA	要求事項
はじめに	Plan	(イ) 当該研究プロセスが対象とする課題の明確化
		(ロ) 当該研究プロセスの目的の明確化
		(ハ) 当該研究プロセスにおける実施概要の明示
		(ニ) 当該研究プロセスに特有な要求事項の明確化
		(ホ) 当該研究プロセスの反映先と反映事項・貢献事項（次段階への進展の判断ポイント）の明確化
理論・方法	Do	(ヘ) 当該研究プロセスを実施するための手法の明確化
		(ト) 当該研究プロセスの要求事項に対する適合性の評価方法の明確化
		(チ) 当該研究プロセスの要求事項に対する適合性の判断基準の明確化
結果	Check	(リ) 当該研究プロセスに特有な要求事項に対する適合性評価結果の提示
		(ヌ) 当該研究プロセスの一般的な要求事項に対する適合性評価結果の提示
まとめ	Act	(ル) 結果のまとめ、今後の課題の設定・プロジェクトの進展の判断の提示

表5 適合性評価シート (適用例)

プロセス名：総合的な性能評価技術

研究項目		総合的な性能評価のための評価体系の例示				
サブプロセス		信頼性のレベルを提示可能な評価手順の整備				
個別プロセス1		信頼性のレベルを提示可能な評価手順の整備				
個別プロセス2						
研究資料名		JAEA-Reserch				
信頼性のレベルの提示に必要と考えられる要求事項		対応の必要性の有無	判断理由	適合性の判断基準等	適合性の判断	適合性評価の判断根拠等
①文書化の観点	当該研究プロセスが対象とする課題の明確化	○		「はじめに」での記述の有無と内容の妥当性	○	「はじめに」において、「地層処分システムの安全性に対する信頼性を確保すること」が現在の地層処分研究開発における主要な課題となっている。」と課題を明記
	当該研究プロセスの目的の明確化	○		「はじめに」での記述の有無と内容の妥当性	○	「はじめに」において、「個々の研究者のレベルでの信頼性向上や地層処分施設の開発全体における情報や知識の整理に反映できる方法を構築することを目的とし」と目的を明記
	当該研究プロセスにおける実施概要の明示	○		「はじめに」での記述の有無と内容の妥当性	○	「はじめに」において、「信頼性のレベルを提示可能な体系的な検討結果のとりまとめ方法」を整備することとする。この方法は、国際的な品質マネジメントの考え方に基づいて、地層処分研究の中から、安全評価に係わる個々の重要なプロセスを選定し、必要に応じて特有の要求事項を自ら設定し、それに対する適合性評価を行い、その結果を提示するものである。」とプロセスの概要を明記
	当該研究プロセスに特有な要求事項の明確化	○		「はじめに」での記述の有無と内容の妥当性	○	「はじめに」において、特定の要求事項として「汎用性」を挙げたことを明記。
	当該研究プロセスの反映先と反映事項・貢献事項（次段階への進展の判断ポイント）の明確化	○		「はじめに」での記述の有無と内容の妥当性	○	「はじめに」において、「この手法は、実際に行動する研究に則して、主張すべきことを明示し、読者の理解や信頼をより向上させることに資するものであり、知識化を実務的に支援する有用な情報を提供するものとする。」と明記。
理論・方法	当該研究プロセスを実施するための手法の明確化	○		「方法論」での記述の有無と内容の妥当性	○	「方法論」において、「ISO9000sが採用しているプロセスアプローチに品質の維持・向上および継続的な業務改善活動を推進するマネジメント手法であるP(Plan)、D(Do)、C(check)、A(Act)サイクルを適用し、「信頼性のレベルを提示可能な体系的なとりまとめ方法」について検討することとする。」とプロセスを実施するための手法を明記
	当該研究プロセスの要求事項に対する適合性の評価方法の明確化	○		「方法論」での記述の有無と内容の妥当性	○	「方法論」において、「当該研究の適合性に関する評価が研究の意義や時宜、背景等に照らして、適切になされるように、抽出した要求事項と、その適用の程度を「判断理由」とともに「対応の必要性の有無」として明示し、要求事項に対する適合性の判断基準等と併せて整理し、それらに基づいて適合性評価を行うこととする。」と評価方法を明記
	当該研究プロセスの要求事項に対する適合性の判断基準の明確化	○		「方法論」での記述の有無と内容の妥当性	○	「方法論」において、「当該研究の適合性に関する評価が研究の意義や時宜、背景等に照らして、適切になされるように、抽出した要求事項と、その適用の程度を「判断理由」とともに「対応の必要性の有無」として明示し、要求事項に対する適合性の判断基準等と併せて整理し、それらに基づいて適合性評価を行うこととする。」と判断基準を整理することを明記。
結果	当該研究プロセスに特有な要求事項に対する適合性評価結果の提示	○		「信頼性のレベルを提示可能な体系的なとりまとめ方法の例示」での記述の有無と内容の妥当性	○	「信頼性のレベルを提示可能な体系的な検討結果のとりまとめ方法の例示」において、「本手法は、汎用性を特定の要求事項とした研究プロセスの成果である。この要求事項を達成するため、セーフティケースの提示における一般的な考慮事項を主要な要求事項とした。また、これらの要求事項を適合性評価シート（テンプレート）としてまとめた。さらに、判断理由等の提示により、それらの対応の柔軟性を認め、汎用的な利用を可能にしたと考える。」との適合性評価結果を明記。
	当該研究プロセスの一般的な要求事項に対する適合性評価結果の提示	○		「信頼性のレベルを提示可能な体系的なとりまとめ方法の例示」での記述の有無と内容の妥当性	○	「信頼性のレベルを提示可能な体系的な検討結果のとりまとめ方法の例示」において、適合性評価シート（表5）を用いた適合性評価結果を提示
まとめ	結果のまとめ、今後の課題の設定・プロジェクトの進展の判断の提示	○		「まとめ」での記述の有無と内容の妥当性	○	「まとめ」において「今後改定される安全要件も取り入れていく」等の今後の課題を提示。
②信頼確保（品質保証等を含む）に係る観点	透明性(正当性)／追跡性／明瞭性(わかりやすさ)の確保	○		透明性(正当性)／追跡性／明瞭性(わかりやすさ)を確保するための研究成果に関する適合性評価結果の内容	○	透明性(正当性)／追跡性／明瞭性(わかりやすさ)に対する対応を含め、研究成果の要点を適合性評価シート（表5）によりまとめて提示
	科学的理解・根拠・正当性の提示（現象理解、影響因子の同定、合理性等）		科学的知見に関する論文ではない			
	時間・空間的変遷の考慮		時間空間的変遷の概念に該当する研究ではない			
	研究対象範囲（検討課題、評価対象事象、評価対象時間のスケール、解析ケース等）の妥当性の確認	○		課題の設定の重要性とそれに対する解決策（本研究の設定の妥当性についての適合性評価結果の内容	○	本検討は、地層処分プロジェクトの信頼性向上に取り組んだ重要な検討であり、取られた解決策もその課題に応える具体的に汎用的な対策であるとする。
	使用するモデル、データ、コード、ツール、装置の検証・確認、校正状況の提示または、用いる手法の妥当性の提示	○		用いる手法の妥当性に関する適合性評価結果の内容	○	ISO9000sやP(Plan)、D(Do)、C(check)、A(Act)サイクルを用いた手法はプロジェクトを効果的に合理的に遂行し、成果に対する利害関係者の信頼性を向上させる手法として高い評価を得ている。
	研究目的の達成（安全評価であれば安全性の確保）を損なうような未解決の問題がないことの確認	○		目的の達成を阻害する主要な要因の明示とそれを解決するための手段の提示	○	「個々の研究者のレベルでの信頼性向上や地層処分施設の開発全体における情報や知識の整理に反映できる方法を構築する」との目的に対する解決策「信頼性のレベルを提示可能な体系的な検討結果のとりまとめ方法」の運用において、目的達成を阻害する主要な事項は、方法の中で提案した適合性評価シートを不適切に記入することである。内容が適切かどうかをチェックできるように要求事項を分かりやすく設定するとともに適切かどうかの判断を容易にするように判断基準などの項目を設定した。また、査読において、等シートをチェックするなどにより、上記のような目的達成の阻害事項は防止できると考える。
	感度特性、what if解析、保留FEP、様式化アプローチ等による不確実性の取り扱の実施		不確実性の取り扱いに該当する研究ではない			
	結果を補強、支持する傍証（例えば、補完的安全指標、ナチュラアナログ研究の結果等）の利用	○		実際のプロジェクトへの適用による傍証の提示の有無とそれに関する適合性評価結果の内容	○	当該プロジェクトにこの手法を適用し当評価シートを作成した。この評価シートを作成することで、成果のとりまとめにおけるポイントを把握しつづ、成果を整理・まとめることができた。また、この評価シートにより、レビュー者が効率的に当該成果の内容を把握し、評価することが可能になり、研究成果の理解や信頼性向上に貢献するものとする。
	未解決課題等の抽出	○		未解決課題等の抽出の有無	○	他のプロジェクトへの展開による手順の有効性の確認が不十分
	品質保証の対象の明示と対策と結果の具体的な提示	○		引用文献等の追跡性の確保の有無	○	参考文献の提示にける引用資料の追跡性の確保
利害関係者との対話、レビューの実施	○		関係者および社内レビューの受講の有無	○	関係者および社内レビューの受講（社内査読予定）	

4. まとめ

既存の研究成果をレビューし、今後の研究に反映させることは、研究開発の基本であり、レビューを通じて研究の課題や目的、実施内容さらには成果や反映先を簡潔に的確にまとめることは、研究を発展させる上で極めて有効である。このような既存の研究成果を簡潔かつ的確にまとめる作業は、既存の研究成果の質に依存し、場合によっては困難なこともある。このことは、研究成果の信頼性を左右する重要な事柄である。

本検討では、個々の研究者のレベルでの信頼性向上や地層処分施設の開発全体における知識の整理に反映できる方法を構築することを目的とし、「信頼性のレベルを提示可能な体系的な検討結果のとりまとめ方法」構築した。この概念は、顧客や利害関係者の信頼を得ることを目的に含む ISO などの国際的な品質マネジメントの考え方に基づくものであり、特に新しい考え方ではない。また、論文の記述方法についても、従来の様式を変えるものではない。本概念は、読者の理解や信頼をより向上させることに着目し、主張すべきことを明示するとともに、その方法を強調したものである。

本検討により示した「信頼性のレベルを提示可能な体系的な検討結果のとりまとめ方法」にのっとり、研究成果をまとめ、提示することにより、読者に研究の目的や意図、内容、それらの実施方法及びプロセスが明示される。さらには、研究の目的や意図、内容、要求事項に即した結果が得られているかに関する適合性評価を通じて、単に検討結果に関する考察だけでなく、研究の透明性、追跡性が確保されるとともに、得られた結果や研究の妥当性に関する研究者の主張が展開され、結果として、読み手の理解と信頼性の向上に資するものとする。

この「信頼性のレベルを提示可能な体系的な検討結果のとりまとめ方法」は、地層処分の安全評価に係わる一つ一つの個別研究プロセスに対して適用可能であるだけでなく、それらの個別研究の成果をとりまとめた、セーフティケースの提示を目指す総合的な安全評価レポートに対しても適用可能な方法であり、別途開発が進められている知識管理システム¹²⁾を実務的に支援する有用な情報を提供しうるものとする。現在、IAEA は浅地中処分に関する安全要件²⁰⁾と地層処分の安全要件文書⁹⁾をまとめた安全要件文書²¹⁾の作成に取り掛かっている。今後は、必要に応じてこれらの改定される安全要件も取り入れていく。

参考文献

- 1) OECD/NEA : Review of Safety Assessment Methods. OECD/NEA Nuclear Energy Agency, Paris, France, p. 62, (1991).
- 2) Fiona. B. Neall and Paul. A. Smith (ed.): H12: Examination of safety assessment aims, procedures and results from a wider perspective, JNC TY1400 2004-001, (2004).
- 3) 日本工業標準調査会 : JIS 品質管理及び品質保証の規格—選択及び使用の指針 JISZ9000:1994, 日本規格協会, p. 27, 平成 6 年 12 月 1 日.
- 4) 日本工業標準調査会 : JIS 品質マネジメントシステム—基本および用語 JISQ9000:2000, 日本規格協会, 解 2, 解 4, 解 5, 解 6, 解 7, 解 15, 平成 12 年 12 月 20 日.
- 5) 日本工業標準調査会 : JIS 品質マネジメントシステム—基本および用語 JISQ9000:2006, 日本規格協会, p. 3, p. 8, 解 3, 解 7, 平成 18 年 5 月 20 日.
- 6) 日本工業標準調査会ホームページ, <http://www.jisc.go.jp/acc/index.html>
- 7) OECD/NEA : Confidence in the Long-term Safety of Deep Geological Repositories. Its Development and Communication, OECD/NEA Nuclear Energy Agency, Paris, France, p. 9, (1999).
- 8) OECD/NEA : Post-closure safety case for geological repositories. Nature and purpose, OECD/NEA Nuclear Energy Agency, Paris, France, p. 13, p. 20, (2004).
- 9) IAEA : IAEA Safety Standards for protecting people and the environment, Geological Disposal of Radioactive Waste, Safety Requirements, No. WS-R-4, Jointly sponsored by IAEA and OECD/NEA, p. 5, (2006).
- 10) KITAYAMA, K., UMEKI, H., UEDA, H., MCKINLEY, I. G. and KAKU, K., : A Structured Approach for Stepwise Tailoring of Repository Concepts to Volunteer Sites, Proc. ICEM' 05: 10th International Conference on Environmental and Radioactive Waste Management, September 4-8, 2005, Glasgow, Scotland(2005), ICEM05-1344.
- 11) 原子力発電環境整備機構 : 平成 19 事業年度事業計画, 原子力発電環境整備機構ホームページ : 資料室/事業計画(2007 年度).
- 12) 梅木博之, 大澤英昭, 内藤守正, 中野勝志, 牧野仁史 : 地層処分技術に関する知識管理システムの基本的概念, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Research 2006-078, pp. 3-5, (2006).
- 13) 資源エネルギー庁, (独) 日本原子力研究開発機構, 資源エネルギー庁調査等事業実施機関 : “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”, pp. II-5-11-II-5-11-18, (2006).
- 14) 加藤智子, 大井貴夫 : “地層処分生物圏評価研究の今後の研究開発項目とそれに対して要求される観点の抽出”, 第 22 回バックエンド夏期セミナー資料集, (社) 日本原子力学会 バックエンド部会, p. ポスター. 13-1, (2006).
- 15) 日本工業標準調査会 : JIS 品質マネジメントシステム—要求事項 JISQ9001:2000, 日本規格協会, p. 2, 平成 12 年 12 月 20 日.
- 16) OECD/NEA : Establishing and Communicating Confidence in the Safety of Deep Geological Disposal. Approaches and Arguments, OECD/NEA Nuclear Energy Agency, Paris, France, p. 28. (2002).
- 17) IAEA : IAEA Safety Standards series for protecting people and the environment, Management System, Draft Safety Requirements, DS338, IAEA, APPENDIX I, p. 26, 1. 42, 1. 43, (2005).

- 18) IAEA : IAEA Safety Standards series for protecting people and the environment, Management System for the Safety of Radioactive Waste Disposal, Draft Safety Guide, DS337, IAEA, 2. 8, (2005).
- 19) 電気事業連合会, 核燃料サイクル開発機構 : 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—, JNC TY1400 2005-13, FEPC TRU-TR2-2005-02, pp. 1-6~1-9, (2005).
- 20) IAEA : IAEA Safety Standards Series, Near Surface Disposal of Radioactive Waste, Requirements, No. WS-R-1, IAEA, (1999).
- 21) IAEA : IAEA Safety Standards for protecting people and the environment, Disposal of Radioactive Waste, Draft Safety Requirements, No. DS354, IAEA, (2006).

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
物質の量	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	立方メートル	m ³
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²
波数	メートル毎メートル	m ⁻¹
密度 (質量密度)	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
質量体積 (比体積)	立法メートル毎キログラム	m ³ /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m ²
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
(物質量の)濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率	(数の)	1

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	エタ	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3. 固有の名称とその独自の記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン ^(a)	rad		m ² ・m ⁻² =1 ^(b)
立体角	ステラジアン ^(a)	sr ^(c)		m ² ・m ⁻² =1
周波数	ヘルツ	Hz		s ⁻¹
力	ニュートン	N		m ² ・kg ² ・s ⁻²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²	m ⁻¹ ・kg ² ・s ⁻²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N・m	m ² ・kg ² ・s ⁻²
工率, 放射束	ワット	W	J/s	m ² ・kg ² ・s ⁻³
電荷, 電気量	クーロン	C		s ² ・A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m ² ・kg ² ・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 ² ・s ⁻³ ・A ⁻²
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V	m ⁻² ・kg ⁻¹ ・s ³ ・A ²
磁束	ウェーバ	Wb	V・s	m ² ・kg ² ・s ⁻² ・A ⁻¹
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²	kg ² ・s ⁻² ・A ⁻¹
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m ² ・kg ² ・s ⁻² ・A ⁻²
セルシウス温度	セルシウス度 ^(d)	°C		K
光束	ルーメン	lm	cd・sr ^(c)	m ² ・m ⁻² ・cd=cd
照射度	ルクス	lx	lm/m ²	m ² ・m ⁻⁴ ・cd=m ⁻² ・cd
(放射性核種の)放射能	ベクレル	Bq		s ⁻¹
吸収線量, 質量エネルギー分与, 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, 組織線量当量	シーベルト	Sv	J/kg	m ² ・s ⁻²

- (a) ラジアン及びステラジアンの使用は、同じ次元であっても異なった性質をもった量を区別するときの組立単位の表し方として利点がある。組立単位を形作る際のいくつかの用例は表4に示されている。
- (b) 実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号“1”は明示されない。
- (c) 測光学では、ステラジアンの名称と記号srを単位の表し方の中にそのまま維持している。
- (d) この単位は、例としてミリセルシウス度m°CのようにSI接頭語を伴って用いても良い。

表4. 単位の中に固有の名称とその独自の記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘度	パスカル秒	Pa・s	m ⁻¹ ・kg ² ・s ⁻¹
力のモーメント	ニュートンメートル	N・m	m ² ・kg ² ・s ⁻²
表面張力	ニュートン毎メートル	N/m	kg ² ・s ⁻²
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	m ² ・m ⁻¹ ・s ⁻¹ =s ⁻¹
角加速度	ラジアン毎平方秒	rad/s ²	m ² ・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 ² ・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 ² ・s ⁻² ・K ⁻¹
質量熱容量 (比熱容量), 質量エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg・K)	m ² ・s ⁻² ・K ⁻¹
質量エネルギー (比エネルギー)	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² ・s ⁻² ・K ⁻¹
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m・K)	m ² ・kg ² ・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 ² ・s ⁻²
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m ² ・kg ² ・s ⁻³ ・A ⁻¹
体積電荷	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ ・s ² ・A
電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² ・s ² ・A
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 ² ・kg ² ・s ⁻² ・A ⁻²
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	m ² ・kg ² ・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 ² ・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 ・s ² ・A
吸収線量	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 ² ・m ⁻² ・kg ² ・s ⁻³ =m ² ・kg ² ・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 ² ・s ⁻³ =kg ² ・s ⁻³

表6. 国際単位系と併用されるが国際単位系に属さない単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86400 s
度	°	1°=(π/180) rad
′	′	1′=(1/60)°=(π/10800) rad
″	″	1″=(1/60)′=(π/648000) rad
リットル	l, L	1 l=1 dm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1 t=10 ³ kg
ネーパ	Np	1 Np=1
ベル	B	1 B=(1/2) ln10 (Np)

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

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

表8. 国際単位系に属さないが国際単位系と併用されるその他の単位

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

表9. 固有の名称を含むCGS組立単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
エルグ	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイン	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=10 ⁻⁴ m ² /s
ガウス	G	1 G ≙ 10 ⁴ T
エルステッド	Oe	1 Oe ≙ (1000/4π) A/m
マクスウェル	Mx	1 Mx ≙ 10 ⁻⁸ Wb
スチルブ	sb	1 sb=1cd/cm ² =10 ⁴ cd/m ²
ホト	ph	1 ph=10 ⁴ lx
ガル	Gal	1 Gal=1cm/s ² =10 ⁻² m/s ²

表10. 国際単位に属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 ⁻⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=1cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
X線単位	X unit	1 X unit=1.002×10 ⁻¹¹ J
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
ジャンスキー	Jy	1 Jy=10 ⁻²⁶ W・m ⁻² ・Hz ⁻¹
フェルミ	fm	1 fermi=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット		1 metric carat = 200 mg = 2×10 ⁻⁴ kg
トル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
カロリ	cal	
マイクロン	μ	1 μ = 1μm=10 ⁻⁶ m

