

「NUMO 包括的技術報告書」

レビュー報告書

2019 年 12 月

一般社団法人 日本原子力学会
「NUMO 包括的技術報告書レビュー」
特別専門委員会

©原子力発電環境整備機構: Nuclear Waste Management Organization of Japan, 2019

本資料の全成果は著作権により保護されています。全部または一部を無断で複製・複製・転載することを禁じます。複製・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒108-0014 東京都港区芝4丁目1番地23号 三田NNビル12階
原子力発電環境整備機構 技術部

All parts of this work are protected by copyright. No parts of this publication may be reproduced, stored in the retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, without the prior permission of NUMO. Inquiries about copying and reproduction should be addressed to:

Science and Technology Department

Nuclear Waste Management Organization of Japan

Mita NN Bldg.1-23, Shiba 4-chome, Minato-ku, Tokyo 108-0014 Japan

要約

原子力発電環境整備機構（以下、NUMO という）は、最新の科学的知見や技術開発成果を反映し、高レベル放射性廃棄物および TRU 等廃棄物の安全な地層処分をどのように実現するのかを説明するための包括的技術報告書「わが国における安全な地層処分の実現 ―適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築―」（以下、包括的技術報告書という）を取りまとめた。

NUMO は包括的技術報告書が国内外の最新の科学的・技術的知見に照らして、サイトが特定されていない段階のセーフティケースとしての成立性について、客観性、科学的・技術的妥当性、技術的信頼性等の観点から確認するため、日本原子力学会にレビューを依頼した。

包括的技術報告書は専門性の高い技術報告書であり、地層処分についてある程度の技術的な知識を持った専門家を対象読者として想定している。さまざまな分野の専門家が必要とする情報やその詳細度を自ら選択できるよう、上位レベルから下位レベルに向かって詳細化し、かつ追跡性のある階層構造を持った体系的な文書群として整備されており、概要編、本編および付属書で構成されている。記述内容は、国際機関が提示するセーフティケースの役割や基本的な構造などを参照しつつ、地層処分を行う場所が絞り込まれ、最終的に地層処分場の許認可に至る各段階に作成するセーフティケースの基本形として、今後更新していくセーフティケースの枠組みと情報の基盤を提示するものとされている。

日本原子力学会はバックエンド部会の協力を得て、14名の専門家で構成される NUMO 包括的技術報告書レビュー特別専門委員会（以下、レビュー委員会という）を設置した。レビュー委員会は、2018年12月から2019年12月にかけて、サイトが特定されていない段階のジェネリックなセーフティケースとしての科学的・技術的信頼性、および、NUMO が今後適切にサイト選定を進めていくための、サイト特性調査、工学設計および安全評価に関する技術的能力と方法論について、包括的な議論を進めた。

レビュー委員会の包括的技術報告書に対する総合的な所見は以下の通りである。

セーフティケースの構成で包括的技術報告書を取りまとめることの意義

- 包括的技術報告書は、今後、処分事業の各段階で更新していくセーフティケースの起点として、サイトが特定された後のセーフティケースの基本形となるように、セーフティケースの枠組みに従って情報の基盤を提示するものであるとしている。
- 包括的技術報告書を OECD/NEA や IAEA が示す国際的に推奨されているセーフティケースの構成で取りまとめることの意義に同意する。一方、地層処分の専門家以外の読者にとっては、セーフティケースという概念の理解が必ずしも十分でないと思われるので、なぜセーフティケースの形で取りまとめるのが好ましいかについて、分かりやすく説明することが望ましい。
- 包括的技術報告書の位置づけ、目的および想定読者は的確である。

安全確保の基本的考え方

- 安全確保の基本的考え方として、地質環境の選定とモデル化に関するアプローチ、処分場設計と工学技術に関するアプローチ、安全評価のアプローチ、およびマネジメントの基本的考え方がセーフティケース構築の高位のアプローチとして位置づけられ、これにより包括的技術報告書の文脈に一貫性を与えることに役立っている。
- また、地層処分のような学際領域からなるプロジェクトにおいては、全体を的確に管理するための連携は極めて重要であることから、地質環境の調査・評価、処分場の設計および安全評価の各分野の密接な連携のためのマネジメントの基本的考え方を定めていることに同意する。
- このような包括的な安全確保の基本的考え方は、国際的なセーフティケース構築の手法と整合しているとともに、日本の状況に応じて適切に立案されており、妥当なものであると評価する。特に変動帯に位置する日本列島の地質環境の特徴を地層処分の基本概念と安全機能の視点で論じ、これに基づき全体的な安全確保の基本的考え方を整理したことは、地層処分の事業をさらに一步前進させる動機を与えており、国による「科学的特性マップ」の提示に時宜を得て的確なものであると評価する。

セーフティケースの依拠している科学的・技術的基盤

① 地層処分に適した地質環境の選定とモデル化

- 幅広い地質環境データの収集・整理の結果に基づき、地層処分の観点から、わが国の多様な地質環境が具体的に類型化されるとともに、3種類の検討対象母岩の代表的な地質環境モデルとして例示されたことに加えて、地質環境モデルの構築技術が具体的に示されたことは、サイトが特定されていない段階における第2次取りまとめ以降の着実な進展として高く評価できる。
- 包括的技術報告書によって、わが国の地質環境に係る最新の科学的知見や技術開発成果に基づき、サイト選定における判断のための基本的な考え方や調査・評価技術が体系的に整備されたこと、および今後段階的に取得する地質環境情報を処分場の設計および安全評価の基盤となる検討対象母岩の地質環境モデルとして解釈・統合できる技術が十分な水準であることが示されたことは、今後サイト選定を進めるための技術基盤として高く評価できる。
- 今後の取り組みにおいて、炭酸塩や有機物を含む堆積岩、特に既存の情報量が少ない先新第三紀堆積岩類（付加体堆積岩類）に関するデータ整備の必要性に言及していることについて同意する。

② 処分場の設計と工学技術

- 地質環境モデルに応じて、設計因子を満足する処分場（人工バリア、地上施設および地下施設）を設計、建設、操業、閉鎖するための手法と手順が具体的かつ詳細に記述されている。
- 工学的設計においては、不確実性が残ることは避けられないが、地質環境モデルにより描写される地質環境特性や人工バリアに用いる材料特性に関する情報・データに関わる不確実性を考慮することに加え、設計の前提条件や仕様成立範囲の決定方法等が内包する不確実性にも配慮することを推奨する。
- 処分場の操業時には原子力施設としての安全性に対する関心が高いことに鑑み、敢えて包括的技術報告書における独立した章（第5章）として処分場閉鎖前の安全性に言及していることを評価する。一方、サイト依存性が大きいため、外部起因事象については考慮せず内部起因事象についてのみ重要なシナリオを設定しているが、安全評価シナリオの網羅性を担保するには、外部起因事象についても取り扱うことが望ましい。

③ 閉鎖後長期の安全性の評価

- 閉鎖後長期の安全評価の体系は、国際的なガイドラインや諸外国の方法論と整合的であり、地層処分の安全性を定量的に示すアプローチとして妥当である。特に、具体的なサイトが特定されていない状況において、地層処分の技術的成立性を示すジェネリックな評価からサイト固有の詳細な情報を用いる評価を指向し、我が国の地質環境や処分システムの特性をより現実的に考慮するための安全評価技術の準備を進めたことを高く評価する。
- 安全評価の信頼性向上の観点から、以下の点については、改善の余地が残されていることを指摘する。
 - シナリオの構築に用いられている一連のツールや分析法（ストーリーボード、FEP、要因分析など）の位置付け、役割、関連性の明確化
 - 核種移行プロセスに関する数理モデルやコード、データ、解析等の品質保証に関する情報の拡充
 - 安全評価で対象とすべき不確実性が十分包括的に考慮されていることの提示
 - 閉鎖前で想定される地下環境の擾乱、回収可能性、建設・操業時の異常状態に対する評価との関連性の整理
 - 既往の安全評価結果との比較・相違点の考察

第2次取りまとめや第2次 TRU レポートからの進展

- 日本列島が変動帯にあって、断層・割れ目の発達など多様な地質環境が想定される条件を踏まえ、幅広い地質環境データの収集・整理の結果に基づき、地質環境が具体的に類型化され、処分場の設計および安全評価の基盤となる代表的な地質環境モデルの構築技術が提示されたことは、サイトが特定されていない段階における第2次取りまとめ以降の着実な進展である。
- ガラス固化体に対する縦置き・ブロック方式に対する横置き・PEM方式の導入、TRU等廃棄体に対するB型パッケージの導入、オーバーパック厚さの合理化等の代替案を、将来の選択の余地を残しながら並列に検討しているアプローチに同意する。
- 閉鎖後長期の安全評価においては、以下の取り組みについて大きな進展が認められる。
 - シナリオの発生の可能性を考慮した線量/確率分解アプローチによるリスク論的安全評価手法の採用とシナリオの作成におけるFEPによるボトムアップアプローチと安全機能によるトップダウンアプローチを融合させた統合化手法の開発
 - ガラス固化体とTRU等廃棄物の併置処分を考慮した安全評価体系の構築
 - 地質環境モデルにおいて設定された複数の断層・割れ目の影響や処分施設の形状をより現実に即して考慮することが可能な核種移行解析モデルの構築
 - 最新の線量換算係数や移行パラメータを用いた生活圏の評価

セーフティケースとしての信頼性

- サイト選定の段階的な進展に応じて更新されるセーフティケースの基本形としての要求品質が以下の点から確認されている。
 - 文脈の一貫性を持ってセーフティケースの包括的な結論を適切に導く構成となっている。
 - わが国の地質学的な特徴や社会的な状況を考慮し、現時点で作成するセーフティケースとして求められる事項に対して重要な項目に抜け落ちはない。
 - わが国の最終処分に関する基本方針と整合しており、国際的な基準や外国の類似した先行事例を参考にしている。
 - 専門用語は国際的な定義と矛盾なく地層処分の専門家に理解できる日本語表記となっている。
 - 主要な結論は、明瞭に示され、それを導いた多面的な論拠についても、付属書を活用しながら追跡性・客観性が概ね確保されている。

- ▶ サイトに依存しない普遍的な項目とサイトスペシフィックな項目の区別を明確にしているとともに、今後実施すべき研究開発が概ね整理されている。
- 上記の確認を経て、包括的技術報告書が多様なサイト環境条件を考慮して、現段階でのセーフティケースとしての信頼性を確保しており、サイト特定後のセーフティケースの基本形としての妥当性を有していることに同意する。また、サイトが絞り込まれる段階のセーフティケースとしての信頼性の一層の向上に鑑み、次の段階までの課題とさらに長期的な観点からの研究開発が概ね整理されていることを認める。

レビュー委員会は、今回のレビューの結果が、包括的技術報告書の科学的・技術的信頼性の一層の向上に寄与することを願うとともに、包括的技術報告書の提示を契機に、国民各層の NUMO に対する信頼が醸成され、地層処分に関する議論が喚起されることを期待する。

目 次

1. はじめに	1
1.1 レビューの背景	1
1.2 包括的技術報告書について	1
1.3 レビューの範囲, 目的および進め方	3
1.4 レビュー報告書について	6
2. 包括的技術報告書におけるセーフティケース構築の考え方と進め方	7
2.1 包括的技術報告書の位置づけ, 目的および想定読者	7
2.2 セーフティケースの構成で包括的技術報告書を取りまとめることの意義	7
2.3 安全確保の基本的考え方	8
3. セーフティケースの依拠している科学的・技術的基盤	13
3.1 地層処分に適した地質環境の選定とモデル化	13
3.1.1 レビューの概要	13
3.1.2 サイト選定における判断の基本的考え方と調査・評価技術の整備状況	14
3.1.3 地質環境情報の統合化による地質環境モデルの整備状況	15
3.2 処分場の設計と工学技術	20
3.2.1 レビューの概要	20
3.2.2 設計の流れ	21
3.2.3 設計因子と要求事項	21
3.2.4 地上施設の設計における安全確保の考え方	22
3.2.5 設計に用いる材料特性の設定	22
3.2.6 TRU 等廃棄物の特性と処分概念	22
3.2.7 地下施設レイアウトの設計	23
3.2.8 回収可能性	23
3.3 閉鎖前の安全性の評価	24
3.3.1 レビューの概要	24
3.4 閉鎖後長期の安全性の評価	25
3.4.1 レビューの概要	25
3.4.2 安全評価の考え方	26
3.4.3 シナリオ	27
3.4.4 モデル	30
3.4.5 データ	31
3.4.6 核種移行解析に基づく評価	32

4. セーフティケースとしての信頼性	34
4.1 レビューの概要	34
4.2 現段階でのセーフティケースとしての信頼性	35
4.3 サイト特定後のセーフティケースの基本形としての妥当性	37
4.4 次の段階までの課題と今後の研究開発	37

5. 総評	40
-------	----

参考文献	42
------	----

付録

1. 委員会名簿	43
2. 活動経緯	45
3. 参考文献の追跡性確認	47
4. 誤字脱字確認	49

参考資料 委員コメント

1. はじめに

1.1 レビューの背景

原子力発電環境整備機構（以下、NUMO という）は、最新の科学的知見や技術開発成果を反映し、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をどのように実現するのかを説明するための包括的技術報告書「わが国における安全な地層処分の実現 ―適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築―」（以下、包括的技術報告書という）を取りまとめ、2018 年 11 月 21 日に公表した。

包括的技術報告書は、NUMO が進める地層処分事業の円滑な推進のために、文献調査が開始された後、どのようにそのサイトの調査を進め、安全な処分場を設計・建設・操業し、閉鎖後も長期間にわたって安全性を確保しようとしているのかを総合的に示し、文献調査に即応できる技術的な準備を整えていることを示すことを目標としている。

この目標を達成するためには、独立性の高い学術的な第三者機関により、その内容の妥当性について評価を受けることが重要であることから、NUMO は包括的技術報告書が国内外の最新の科学的・技術的知見に照らして、サイトが特定されていない段階のセーフティケースとして、十分な技術的信頼性を有していることを、客観性、科学的・技術的妥当性、技術的信頼性等の観点から確認するため、日本原子力学会にレビューを依頼した。

日本原子力学会はバックエンド部会の協力を得て、14 名の専門家で構成される NUMO 包括的技術報告書レビュー特別専門委員会（以下、レビュー委員会という）を設置した（メンバーの氏名と所属は付録に添付）。内訳は、地質環境の専門家 5 名、工学技術の専門家 4 名、安全評価の専門家 4 名であり、主査は地層処分の研究開発全般に精通している専門家が担当した。事務局は、原子力学会からの委託により原子力安全研究協会が担当し、レビュー委員会の運営管理とレビュー報告書の取りまとめに当たった。

1.2 包括的技術報告書について

わが国では、1998 年に原子力委員会の高レベル放射性廃棄物処分懇談会が取りまとめた「高レベル放射性廃棄物処分に向けての基本的考え方」によって示された処分の実施に向けた制度の在り方に関する提言、および核燃料サイクル開発機構が 1999 年に取りまとめた「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―」（以下、第 2 次取りまとめという）を受けて、「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」（以下、最終処分法という）が 2000 年に制定された。

最終処分法に基づき、地層処分事業の実施主体として NUMO が 2000 年に設立され、事業が開始された。同法では、最終処分施設建設地の選定を「文献調査」、「概要調査」および「精密調査」による三段階の調査を通じて行うことを規定しており、NUMO は 2002 年より全国の市町村を対象として、地層処分施設の設置可能性を調査する区域の公募を開始したが、現在まで応募自治体はなく、サイト選定の最初のステップである文献調査を開始するには至っていない。

このため、2013年には地層処分事業を進めるに当たって取り組むべき方向を見直すため、地層処分政策の再構築に向けた審議が行われ、2015年5月には、「特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針」が閣議決定された。改定された基本方針においては、将来世代に負担を先送りしないこと、事業の可逆性と廃棄物の回収可能性を確保すること、国、NUMO および関係研究機関は連携および協力を行いつつ、最終処分の技術的信頼性等に対して定期的な評価を行うこと、そして国が科学的に適性が高いと考えられる地域（科学的有望地）を示し、調査への協力を自治体に申し入れる事などの方針が明記された。

この改定を受け、2017年には地層処分についての国民の関心や理解を深めていくため、全国的なデータに基づき、地層処分を行う場所を選ぶ際にどのような科学的特性を考慮する必要があるのか、それらは日本全国にどのように分布しているかといったことを大まかに俯瞰できるように、「科学的特性マップ」を国が提示した。

科学的特性マップを念頭において、地層処分を行う場所の選定活動を推進していくにあたっては、NUMO 自らがどのようにして安全な地層処分を実現していくのかを社会に示し、地層処分事業に対する国民からの信任を得ていくことが重要であり、これまでに蓄積されてきた科学的・技術的知見に加えて、常に最新の知見に基づき、わが国における安全な地層処分の実現性を恒常的に確認することが必要である。このため NUMO は、最新の科学的知見や技術的開発成果に基づき、地層処分の実施主体として、わが国の地質環境に対して安全な地層処分を実現するための方法を説明し、技術的な取り組みの最新状況を示すことを目的とした包括的技術報告書を取りまとめた。

包括的技術報告書は、国際機関が提示するセーフティケースの役割や基本的な構造などを参照しつつ、地層処分を行う場所が絞り込まれ、最終的に地層処分場の許認可に至る各段階に作成するセーフティケースの基本形として、今後更新していくセーフティケースの枠組みと情報の基盤を提示するものとされている。サイトが特定されていないわが国において、現時点の知見に基づき、以下のような状況に至っていることについて、ジェネリックなセーフティケースを提示することが目的とされている。

- ① 地層処分にとって適切な地質環境を選定するための調査・評価に関する技術基盤が整っている。またわが国における地下深部の地質環境の特徴を反映した地質環境モデルを提示する。
- ② 所要の要求事項（安全性、工学的成立性、回収可能性、環境保全、経済合理性など）を満たす処分場を設計するための技術基盤が整っている。また、設計した処分場を建設・操業・閉鎖するための工学技術の実現性がある。
- ③ 処分場の閉鎖前（操業時）および閉鎖後長期の安全性を評価する技術基盤が整っている。また、設計した処分場に対する安全評価によって、人間に有意な放射線影響を与えない見通しが得られている。
- ④ 地質環境の調査・評価、処分場の設計、安全評価に係る最新の技術を適用した一連の作業を通じて、さらなる信頼性向上に向けた技術課題の抽出とこれらに対する今後の取り組みを示す。

包括的技術報告書は専門性の高い技術報告書であり、地層処分についてある程度の技術的な知識を持った専門家を対象読者として想定している。さまざまな分野の専門家が必要とする情報やその詳細度を自ら選択できるよう、上位レベルから下位レベルに向かって詳細化し、かつ追跡性のある階層構造を持った体系的な文書群として整備されており、概要編、本編および付属書で構成されている。概要版は本編の要点をまとめたものであり、本編は包括的技術報告書の中心となる文書で安全な地層処分を実現するための方法に関する全体像を示すものである。さらに、付属書は本編に述べられた内容を支える詳細な論拠や、解析方法、結果などをまとめたもので、適宜本編から参照される。

なお、国内外の第三者機関による技術的な信頼性に関するレビューを受けることを想定して、公表された包括的技術報告書のタイトルには「レビュー版」と付記されている。本レビューの終了後、レビューコメントに対し、必要に応じて NUMO が包括的技術報告書の修正を行うことになっている。

1.3 レビューの範囲、目的および進め方

本レビューの範囲は包括的技術報告書の「本編」のみとした。ただし、レビューにあたっては付属書を参照しなければならない部分もあり、適宜付属書も参考にした。なお、レビュー開始時点で公開されている付属書だけではなく、後日公開とされている付属書についても、適宜 NUMO に開示を依頼した。

本レビューの目的は、サイトが特定されていない段階のセーフティケースの技術的信頼性について、包括的技術報告書が OECD/NEA および IAEA により示されているセーフティケースの概念に焦点をあてて、国内外の最新の技術的知見を反映して適切に取りまとめられていることを確認し、以ってわが国における地層処分のサイト選定の基盤をより確かなものとするこである。

レビューの進め方として、まず、わが国の特徴やこれまでの経緯および状況を考慮するとともに、諸外国のセーフティケースに関するレビューの TOR (Terms Of Reference: 委任事項) [1,2,3]や国際ピアレビューの指針[4]も参考にして仮に設定した以下のような視点から包括的技術報告書を通読した各委員の見解を集め、その上でレビュー委員会の集約意見とするための論点を整理してレビューを行うこととした。

セーフティケース全体としての妥当性

- ・ 包括的技術報告書における安全な処分を実現するために適用される「安全確保の基本的考え方（第2章）」を高位のアプローチとして設定し、これに基づき、各章（第3～第6章）においてセーフティケースの依拠する科学的・技術的基盤について詳細な議論を展開し、それらが第7章において、包括的な結論と今後の課題として整理され、それを拠り所として NUMO が現時点で構築したセーフティケースの信頼性の程度を示す、という構成は妥当であるか。
- ・ 現時点で作成するセーフティケースとして求められる事項に対して抜け落ちはないか。
- ・ 包括的技術報告書作成の意図は、国の最終処分に関する基本方針と整合がとれているか。

- ・ 包括的技術報告書の主要な結論を導いた多面的な根拠が本編に適切に示されているか。また、それらの追跡性・透明性・客観性があるか。
- ・ 残された主要な不確実性が明らかにされ、それらは今後の研究開発でどのように取扱われるか。
- ・ 国際的な基準，外国の先行した良好事例との整合がとれているか。
- ・ 専門用語は国際的な定義と整合がとれており，その意味合いが正しく理解できる日本語表示となっているか。
- ・ サイトが特定されていない段階における第2次取りまとめ，第2次 TRU レポートからの進展および相違点が評価され，明示されているか。

セーフティケースの依拠している科学的・技術的基盤の妥当性

(適切な地質環境の選定)

- ・ 安全確保の基本的考え方に定められたアプローチにしたがって地質環境の選定とモデル化がなされているか。
- ・ サイト選定の手順・方針，地質環境調査・評価技術は適用性が確認され，技術的に実現可能なものとなっているか。
- ・ 地質環境の選定とモデル化がわが国の多様な地質環境に対応できるものとなっているか。
- ・ 構築した地質環境モデルは処分場の設計・安全評価の取り組みに対して必要な情報を提供するものとなっているか。

(処分場の設計と工学技術)

- ・ 安全確保の基本的考え方に定められたアプローチにしたがって処分場の設計と工学技術の検討がなされているか。
- ・ 設計された処分システムは地質環境モデルと廃棄体の特性に応じた技術的に実現可能なものとなっているか。
- ・ 処分場の設計・建設・操業・閉鎖は技術的に実証された，もしくは実証された技術の延長で合理的に実現可能か。
- ・ 廃棄物の回収技術の検討が適切に実施され，その実現性が示されているか。また，実現性向上に向けた研究開発課題が適切に示されているか。

(安全評価)

- ・ 安全確保の基本的考え方に定められたアプローチにしたがって安全評価がなされているか。
- ・ 閉鎖後安全評価の枠組み（シナリオ区分，評価期間，人の行動様式等）の設定根拠は国際的な基準と整合しているか。
- ・ 閉鎖後の安全評価モデルは地質環境モデルに対応して適切に構築されているか。
- ・ 処分システムにおける個々のバリアの安全機能が時間スケールを考慮して適切に記述され，各バリアに期待する優先順位が考慮されているか。
- ・ 安全評価において想定するシナリオと解析ケースは，十分に包括的なものとなっているか。

- ・ 安全評価の方法論，モデルおよびコードは適切で，それらをサポートする科学的基礎が示されているか。
- ・ 処分システムの変遷に影響を及ぼす特性，事象およびプロセスが明確に文書化され，国際的な FEP データベースと比較して十分に包括的であるか。
- ・ 操業期間中の安全評価は他の原子力施設，類似の地下施設（鉱山・トンネル等）に適用されている安全規制の基準を考慮しているか。
- ・ 回収可能性の維持による操業中および閉鎖後の安全性への影響は評価されているか。

レビューは以下のように進めた。

- ① 2018年12月27日に第1回レビュー委員会を開催し，レビューの進め方を確認した。NUMOから包括的技術報告書の概要について説明を受けたうえで，レビューの重点課題と視点を議論し，各委員にレビュー範囲を割り当てた。
- ② 各委員はレビュー範囲について，包括的技術報告書の各章毎に書面によるコメントおよび質問票を作成した。コメントは全部で約700件におよび，事務局はこれらのコメントおよび質問を包括的技術報告書の各章毎に一覧表として取りまとめ，コメント内容の分類を行った。
- ③ 委員から提示された質問に対しては NUMO からの回答を得て委員にフィードバックし，必要に応じてレビュー委員会において NUMO から補足説明を求めた。レビューにあたっては適宜関連する付属書および参考文献を参照した。なお，包括的技術報告書はあくまでも技術報告書であるため，これが社会的に受け容れられるかどうか，この内容を社会一般にどのように伝えていけばいいのか，といった社会的受容性の検討は本レビューの対象外とした。
- ④ レビュー委員会の集約意見を取りまとめるにあたり，各委員から提示されたコメント，NUMO からの補足説明およびレビュー委員会における議論の中から論点を抽出し，各論点毎に集約意見の骨子案を作成した。これらの集約アプローチおよび骨子案についても，適宜レビュー委員会に諮り，確認を取りつつ進めた。この際，NUMO に対しては，レビュー委員会が誤解している点の修正に限り，レビューの中立性を損なわない形で議論への参加を求めた。
- ⑤ 包括的技術報告書第3章～7章については専門的な内容が多いことから，レビュー委員会とは別に技術分野毎にワーキンググループを設置して専門的な内容を詳細に検討した。また各技術分野は相互に関係している部分もあるため，各ワーキンググループの幹事による作業会も適宜開催して意見交換を行った。
- ⑥ レビュー委員会で承認された集約意見の骨子に基づき，レビュー結果の成文化を行った。その内容については，レビュー委員会の場においてもしくはメールにより委員全員の確認を取った。
- ⑦ 日本原子力学会「2019年秋の大会」の総合講演（2019年9月12日）において，レビューの途中経過を「NUMO 包括的技術報告書レビュー特別専門委員会 活動状況」として報告した。
- ⑧ レビュー結果を「NUMO 包括的技術報告書レビュー特別専門委員会報告書」（以下，レビュー報告書という）として取りまとめるとともに，英語版も作成した。

⑨包括的技術報告書における引用文献の追跡性および誤字脱字については主に事務局が確認を行った。

1.4 レビュー報告書について

本レビュー報告書の第2章において、包括的技術報告書の第1章と第2章における記載内容に対するレビュー委員会の集約意見を示し、第3章において包括的技術報告書の第3章から第6章に含まれる専門分野毎に、セーフティケースの依拠している科学的・技術的基盤に関するより詳細な評価結果をまとめている。第4章では、包括的技術報告書の第7章「セーフティケースの信頼性」に関する評価結果を示し、最後に第5章として総評を示している。

また、付録として、レビュー委員会名簿、活動経緯、包括的技術報告書の引用文献に関する追跡性および誤字脱字等の編集上の確認結果を、参考資料として、レビュー委員会としての集約意見に取り入れられたコメントを含めたすべての委員コメントを添付している。

本レビュー報告書は、レビュー委員会におけるレビュー結果をまとめたものであり、このレビューによって NUMO が国から与えられた責務を全うするために、自らの達成した成果を評価し、包括的技術報告書の修正を行うことを支援するものである。本レビュー報告書はレビュー委員会メンバー全員が最終的に合意した内容を示すものであり、その内容について事実誤認があるとすればそれはすべてレビュー委員会の責任である。

2 包括的技術報告書におけるセーフティケース構築の考え方と進め方

2.1 包括的技術報告書の位置づけ、目的および想定読者

NUMO は、包括的技術報告書の取りまとめの目的・意義を、わが国における地層処分計画の経緯と背景に基づき、事業を推進していくにあたって、NUMO が社会から信頼される組織であること、地域との対話を重視することが重要であると認識して、NUMO 自らがどのようにして安全な地層処分を実現していこうとしているのかを示すことであるとしている。

包括的技術報告書の対象読者として、地層処分についてある程度の科学的・技術的な知識を持った専門家を想定している。その上で、様々な分野の専門家が必要とする情報やその詳細度を自ら選択できるよう、上位レベルから下位レベルに向かって詳細化し、かつ階層構造をもった体系的な文書群として、概要編、本編、付属書の構造として整備している。また、より一般的な読者に対しては、難解な専門用語を極力使用しない平易な表現で分かりやすく説明する文書の作成を別途行うとしている。

レビュー委員会は、NUMO が国における地層処分計画の背景に基づき、実施主体として社会から信頼される組織であること、および地域との対話を重視する重要性を包括的技術報告書取りまとめの動機としており、この認識から包括的技術報告書の目的と意義を定めていることを妥当と評価する。なお、包括的技術報告書取りまとめの動機のうち、包括的技術報告書をセーフティケースとしてステークホルダーとの対話の材料とすることについては、これまでの技術的報告書から一步踏み込んだ位置付けとしているので、この点とさらに事業を次の段階に進めるための信任を得ることを包括的技術報告書のねらいとすることについても、目的として明記することを推奨する。

レビュー委員会は、全体としての目次、個々の詳細な情報を記載した付属書を含む包括的技術報告書としての構成は的確であると評価する。また、想定読者に応じて階層的な文書体系に区分して構成することに同意する。なお、包括的技術報告書は、第2次取りまとめの内容が想定読者に十分に共有されている前提で記述されているが、地層処分の技術的成立性に関する基本的な考え方と第2次取りまとめで提案された地層処分のシステム概念については、改めて包括的技術報告書の冒頭に簡潔に説明することが望ましい。

2.2 セーフティケースの構成で包括的技術報告書を取りまとめることの意義

包括的技術報告書は、今後、処分事業の進展の各段階で更新していくセーフティケースの起点として、サイトが特定された後のセーフティケースの基本形となるように、セーフティケースの枠組みに従って情報の基盤を提示するものであるとしている。レビュー委員会は、包括的技術報告書を OECD/NEA や IAEA が示す国際的に推奨されている形のセーフティケースとして取りまとめることについて同意する。なお、地層処分の専門家以外の読者にとっては、セーフティケースという概念の理解が必ずしも十分でないと思われるので、なぜセーフティケースの形で取りまとめるのが好ましいかについて、その意味合いをより詳細に説明することが望ましい。

2.3 安全確保の基本的考え方

NUMO は、わが国の地層処分において考慮すべき要件として、対象となる廃棄物、処分場が有すべき安全機能および国の地層処分計画に規定されている処分事業の進め方における重要な要素（段階的立地選定、可逆性と回収可能性の確保、安全規制の見通し）を整理した後、地層処分による安全性を確かなものにするための考え方について、サイト選定、処分場設計、安全評価、およびマネジメントのそれぞれに対する安全確保のための高位のアプローチを「基本的考え方」として定めている。

OECD/NEA 等のセーフティケースに関する手引書では、安全確保のための高位のアプローチを *safety strategy* と定義しており、これを直訳すれば「安全戦略」となるが、NUMO は、包括的技術報告書では、分かりやすく馴染みやすい表現として「安全確保の基本的考え方」と訳すと説明している。「戦略」という言葉を用いた場合に日本人が受ける感覚に配慮して「安全確保の基本的考え方」とすることについて、レビュー委員会は同意する。

NUMO は、サイト選定、処分場設計および安全評価のそれぞれに関する基本的な考え方、および各分野間の密接な連携のためのマネジメントの基本的考え方についても言及するとともに、段階ごとに更新されるセーフティケースとして統合して管理する具体的な方策を示している。

分野毎の基本的考え方に加えて、NUMO が地層処分事業を進めていく上で考慮すべき要件について、閉鎖後長期の安全機能に限らず、過渡的な期間の状態設定の不確実性、可逆性と回収可能性に対する NUMO としての基本的な考え方、環境影響評価と周辺環境保全への取り組み、地層処分固有のモニタリングの必要性和計画の明確化、閉鎖前の安全確保とサイト選定との関係、安定な地下領域を有効に活用する方策と設計上のオプション等にも言及しており、包括的な安全確保の基本的考え方を提示している。

レビュー委員会は、このような包括的な安全確保の基本的考え方は、国際的なセーフティケース構築の手法と整合しているとともに日本の状況に応じて適切に立案されており、妥当なものであると評価する。特に変動帯に位置する日本列島の地質環境の特徴を地層処分の基本概念と安全機能の視点で論じ、これに基づき全体的な安全確保の基本的考え方を整理したことは、地層処分の事業をさらに一歩前進させる動機を与えており、国による「科学的特性マップ」の提示に時宜を得て的確なものであると評価する。

NUMO は、処分場に求められる閉鎖後長期の安全機能を考慮する空間スケールと時間スケールを、その予測の不確実性を含めて考慮して整理し、段階的に進められるサイト選定の進展に応じて、地質環境モデル、処分場設計および安全評価を更新してセーフティケースを改訂し、これを前提としてサイトの適性を評価することを通じてサイト選定を進めるという方針を示している。このことは、セーフティケースの構築において極めて重要であるとレビュー委員会は認める。

日本での地層処分の技術的信頼性を一般的に論ずる第2次取りまとめから、日本において選定されると想定されるサイト条件を概括的に描写する地質環境モデルを岩種の分類に基づいて構築したうえで処分場設計と安全評価を実施する進め方は、第2次取りまとめから大きく進展している点であるとレビュー委員会は高く評価する。このことは包括的技術報告書において強調すべき点である。

このような分類化された地質環境モデルを作成したことの利点は、候補サイトが明らかになったときに、その場所の母岩の特性に即したモデルをモデル分類のなかから選択し、それを出発点としてより効率的にサイトスペシフィックなモデルを構築し、処分場設計と安全評価を進めることができることである。

東京電力福島第一原子力発電所の事故後、安全規制において新しい基準が策定され、ガラス固化体の廃棄物管理施設についても施行されている。NUMO は、処分場閉鎖前の操業中の安全性について、ガラス固化体を取り扱う施設としての類似性を考慮して、輸送・操業における周辺公衆および作業従事者に対する放射線安全について、安全性を評価する考え方と方法を提示するという考え方を示している。さらに、放射線防護だけでなく、自然災害と処分施設に起因した災害を対象とした一般労働災害についても明示するとしている。

レビュー委員会は、これまでに公開されている諸外国におけるセーフティケースは処分場閉鎖後の長期安全性を論ずるものが主であるが、処分場の操業時には原子力施設としての安全性に対する関心が高いことに鑑み、敢えてセーフティケースにおける独立した章として閉鎖前の安全性に言及している方針に同意する。

処分場閉鎖後の安全性にかかわる不確実性への対処

- ・ 段階的なデータの拡充により不確実性の低減が図れるという基本的考え方について言及されていることは評価されるが、本課題の重要性に鑑み、そのような記述は包括的技術報告書の「マネジメントの基本的考え方」の節ではなく、同報告書の第2章に新たに「安全性にかかわる不確実性への対処」として独立した項で論ずるように構成を再検討することをレビュー委員会は推奨する。
- ・ 処分場閉鎖前に詳細なデータが得られ、反復的な処分場の安全評価が行われることにより不確実性が低減できること、およびサイト選定の段階的進展における地質環境モデル構築の不確実性の低減の可能性をより明確に示すことを推奨する。
- ・ モデルやパラメータに関連する不確実性とシナリオの設定における不確実性については、それぞれの意味合いが異なるため、その違いを説明するとともに、稀頻度事象や人間侵入に関するシナリオの選別と設定の考え方を明記することを推奨する。
- ・ サイト調査、処分場設計、安全評価のそれぞれの分野の不確実性が他の分野にも伝播することに鑑み、その相互影響についてどのように対応するかという点が不確実性に対する分野間の連携のアプローチとして重要であるので、この点に関する追加説明を推奨する。

安全評価における様式化の意味合い

- ・ 閉鎖後長期の安全性の評価に関する考え方においては、生活圏評価に必要な情報である将来の人間の生活形態は、科学的根拠をもって設定することはできないため、現代と同じ様式で生活していると仮定して被ばく線量を計算し、これを指標として処分場の安全性能を評価することの意味合いについて、考え方を整理して追記することを推奨する。

安全機能と時間スケール

- ・ 処分場閉鎖後の過渡的な期間を過ぎた時間スケールにわたる安全機能について、「人工バリアの物理・化学的な変質によって閉じ込め機能は次第に低下すると考えられるが、好ましい地質環境特性が維持される限り、処分場における状態変化は極めて緩慢であるため人工バリアの移行抑制機能が大きく失われることはない」と想定される。」との記載があるが、ここは注意深く記述することが必要と考える。一見、性能が低下するのに機能が失われない、と矛盾した記載のように読めるため、まず、閉じ込め機能の低下が予想されるもののそれは局所的であること、また仮に一部の安全機能が低下しても他の安全機能が補完的に働くことにより全体としての閉じ込め性能は担保されること（多重の安全機能）、などの説明が必要と思われる。
- ・ NUMO は、適切に選定されたサイトにおいては、現在認められている自然現象の一樣継続性から、火山活動や断層活動などの自然現象の傾向が将来 10 万年程度は継続する可能性が高いという前提で地質環境による隔離・閉じ込め機能を期待している。地殻変動の一樣継続性の期間については、一樣継続性の意味を明確にし、十万年のオーダーで継続していることについて、主要な論文をさらに詳細にレビューし、その根拠をより確かなものとすることを奨める。

地層処分における地質環境の安定性の議論

- ・ 日本列島が変動帯に位置することについての関心が高いことに鑑み、地質環境の安定性については、地殻変動に関する一般的な傾向の議論と地層処分の成立性と長期安全性にとって重要な地質環境特性の議論が混同されることがないように、正確な記述に留意する必要がある。このため、地層処分の議論において重要な地質環境の意味合いについては、用語集に「地層処分の観点から見た地下の環境であり、岩盤とそこに含まれる地下水などから構成される。地質環境特性は、地質・地質構造、岩盤の熱的・力学的な性質、地下水の地球化学的な性質、地下水の流動や物質の移行などの性質の総称である。」と示されているが、改めて本文においても項目を立てて、地層処分にとって重要な地質環境特性について、国際的な共通認識も含めて解説することを推奨する。

地質環境の選定とモデル化に関するアプローチ

- ・ 文献調査から精密調査までの段階的なサイト調査に応じて、広域スケール、処分場スケール、パネルスケールと地質環境モデルを詳細化し、地質環境特性について詳細化される情報に応じた処分場設計と安全評価を繰り返し、これにより所要の安全機能を有する処分場が設計建設可能なサイトを選定するという NUMO のサイト選定の基本的考え方は、的確なアプローチであり、わが国のサイト選定にとって有効とレビュー委員会は高く評価する。特に、段階的に詳細化されるサイト調査によって、次第に地質環境モデルに付随する不確実性が減少して設計や安全評価の信頼性が向上し、ひいては NUMO の信任獲得にも貢献することについては、付記すべき重要な視点と考えられる。

- ・ 国の地層処分技術ワーキンググループが 2017 年にとりまとめた「地層処分に関する地域の科学的な特性の提示に係る要件・基準の検討結果」に示されている 8 つの好ましくない範囲の要件・基準を包括的技術報告書における地質環境モデルの構築にあたっての前提条件として、どのように取り扱っているのかがわかりにくい。好ましくない範囲の要件・基準に挙げられた地質環境のうちから、モデル化の対象とする事象とその分布範囲を設定する条件とモデル化に利用する地質環境情報を取捨選択する条件をどのように整理して前提条件としたかについて、丁寧に説明することを推奨する。

処分場設計と工学技術に関するアプローチ

- ・ 処分場設計の基本的考え方については、設計対象となる処分場に求められる要求事項を設計因子や安全機能として示したうえで、それらを満足する複数の設計例（包括的技術報告書では仕様）を求めるためのプロセスが示されている。ここでは、設計対象に要求される項目を要求性能として整理し、その要求性能を満足するように工学的設計プロセスを示すとともに、設計の結果が要求性能を満たしているかどうかの確認が行われることになる。これは、世界貿易機関（WTO）の「貿易の技術的障害に関する協定」（TBT 協定）[5]において定義されているような性能設計型のアプローチと整合するものであり、国際水準に合致する設計の枠組みが提示されているものと評価できる。
- ・ 処分場の設計は仕様を提示するために行うとし、第 4 章においては「設計要件に基づいて設計を実施し、基本となる仕様（材料、形状、寸法など）を設定する」とより具体的に説明をしているが、包括的技術報告書における「仕様」や「仕様成立範囲」は一般的な構造物の設計における用例とは異なる場合がある。それぞれの用語の定義を明確にし、処分場の設計が仕様規定型ではなく性能設計型となっていることや設計因子を満足する設計の一例を示していることをより明確にすることを推奨する。
- ・ 回収可能性維持期間中のモニタリングの方法についても概観し、不確実性低減の可能性について示すことを推奨する。

安全評価のアプローチ

- ・ 閉鎖後長期の安全性の評価に関するアプローチとしてリスク論的アプローチに言及し、「リスク（＝発生可能性×影響の大きさ）の大きさによって処分場の安全性を評価する考え方が合理的と考えられる。」としているが、このままでは、リスク評価を実施したように読める。発生の可能性（確率）を考慮しているのはシナリオ区分のみで、包括的技術報告書では区分された特定のシナリオが発生確率 1 で発生するとした時の影響を評価する線量/確率分解アプローチを適用しているため、リスク論的アプローチには統合アプローチと線量/確率分解アプローチがあることについて言及し、ここでは後者を用いたことを説明することを推奨する。

マネジメントの基本的考え方

- ・ レビュー委員会は、NUMO が安全性にかかわる不確実性への対処に加えて、政策や社会環境の変化等にかかわる不確実性に対する経営上のリスク低減のためのマネジメントの考え方にも言及していることを評価する。
- ・ NUMO は、地質環境の調査・評価、処分場の設計および安全評価の各分野の密接な連携のためのマネジメントの基本的考え方について言及している。レビュー委員会は、地層処分のような学際領域からなるプロジェクトにおいては、全体を的確に管理するための連携は極めて重要であることから、マネジメントの基本的考え方を定めていることを高く評価する。なお、分野間の連携の具体的な行動を促進しその有効性を確保するために、包括的技術報告書に図示されている各分野の相互関係については、文章による説明を加えることを推奨する。
- ・ 地質環境の調査・評価および処分場設計から得られる情報を安全評価に統合してセーフティケースを構築するプロセスの妥当性は、セーフティケースの信頼性を示すために極めて重要な視点と考えられるので、レビュー委員会は、情報統合の方法論を追記することを推奨する。
- ・ マネジメントの基本的考え方に基づき、各分野間の連携と統合の具体的な管理ツールとして NUMO において運用されている各種のマネジメントシステムを「マネジメント基盤」と位置付けると連携のマネジメントの有効性が理解しやすくなると考えられるので、レビュー委員会は、各分野の連携を示す図とまとめの節に引用されているセーフティケースと各章の関係を示す図を関連付けた文章による説明を、マネジメントの節において行うことを推奨する。

3. セーフティケースの依拠している科学的・技術的基盤

3.1 地層処分に適した地質環境の選定とモデル化

3.1.1 レビューの概要

包括的技術報告書の第3章では、同報告書の第2章で述べられている「地層処分における安全確保の基本的考え方」に基づき、以下に示す二つの個別目標が掲げられており、設計や安全評価を行う上で基盤と位置付けられる地質環境特性の調査・評価技術とそれらを適用することによって地質環境モデルを作成する方法ならびに現状の技術到達度が記述されている。

- ▶ わが国の地質環境に係る最新の科学的知見や技術開発成果に基づき、サイト選定における判断の基本的な考え方や調査・評価技術を体系的に整備していることを示す。
- ▶ 段階的に取得する地質環境情報を、処分場の設計および安全評価の基盤となる検討対象母岩の地質環境モデルとして解釈・統合できる技術を保有していることを示す。

レビュー委員会では、二つの個別目標に沿って取りまとめられている技術的な内容について、本報告書の第1章で示した「セーフティケースの依拠している科学的・技術的基盤の妥当性」に係るレビューの視点を具体化して、以下の視点から詳細な技術レビューを実施した。

- ・ 包括的技術報告書の第2章で示された安全確保の基本的考え方と現段階での前提条件に基づき、地層処分に適した地質環境に求められる要件や条件が十分かつ適切に設定されているか。
- ・ 地質環境に求められる要件や条件に対応して、データの取得から、解析・評価、地質環境モデル作成に至る全ての過程が追跡できる形で明示されているか。
- ・ 構築された地質環境モデルは包括的技術報告書の目的に照らして、処分場の設計や安全評価の基盤として十分に機能するものとなっているか。
- ・ 国内外の技術動向と照らし合わせて、開発・整備された技術が包括的技術報告書の目標に対し、現時点の最新の科学的・技術的知見に基づいて必要十分な技術レベルに達しているか。また、海外の先行事例等を参考に、今後必要と考えられる継続的な技術の改良や導入について示されているか。
- ・ 変動帯に位置するわが国の地質環境特性に関する知見が第2次取りまとめ以降の最新の研究成果等に基づき適切に更新され、活用されているか。
- ・ 幅広い視点から情報が収集・分析され、公正な議論の展開と結果の導出がなされているか。

ワーキンググループにおいては、各委員から提出された意見を整理した上で、それぞれの意見について議論を行い、レビューにおいて特に重要となると考えられる論点を抽出した。その後、レビュー委員会の意見としての集約化と合意を図り、レビュー結果として取りまとめた。レビュー結果の総合的な所見は以下のとおりである。

- 幅広い地質環境データの収集・整理の結果に基づき、地層処分の観点から、わが国の多様な地質環境が具体的に類型化されるとともに、3種類の検討対象母岩の代表的な地質環境

モデルとして例示されたことに加えて、地質環境モデルの構築技術が具体的に示されたことは、サイトが特定されていない段階における第2次取りまとめ以降の着実な進展として高く評価できる。

- 包括的技術報告書第3章の上記二つの個別目標である「わが国の地質環境に係る最新の科学的知見や技術開発成果に基づき、サイト選定における判断のための基本的な考え方や調査・評価技術を体系的に整備していることを示す」および「段階的に取得する地質環境情報を、処分場の設計および安全評価の基盤となる検討対象母岩の地質環境モデルとして解釈・統合できる技術を保有していることを示す」は、上記のレビューの視点に照らして十分な水準に達しており、今後サイト選定を進めるための技術基盤として高く評価できる。
- 他方、わが国の自然現象および地質環境特性や地質環境調査・評価技術等に係る広範な情報を網羅しているが故に、記述内容の論理性、客観性、可読性の観点で改善が望まれる点が存在する。

上記の総合的な所見に関し、包括的技術報告書第3章の二つの目標を踏まえて設定したレビューの視点に沿って以下の観点から次項以降に詳述する。

- サイト選定における判断の基本的考え方と調査・評価技術の整備状況
 - 地質環境モデル構築に向けた地質環境情報の統合化
 - 自然現象の発生とそれに伴う地質環境の状態変化に対する確率論的評価手法
- 地質環境情報の統合化による地質環境モデルの整備状況
 - 地質環境特性の長期変遷や時間スケール
 - 地質環境特性に関する不確実性への対応
 - 地質環境特性に期待される放射性物質の溶出・移行抑制機能
 - 断層の水理地質構造モデル・地下水流動解析におけるダルシー流速の扱い方
 - 高炭酸濃度地下水の影響

3.1.2 サイト選定における判断の基本的考え方と調査・評価技術の整備状況

NUMOは、地質環境調査・評価の結果を法定要件やNUMOが定める考慮事項などに照らし、その適格性を確認することによって処分場の設置に適切なサイトを選定することとしており、それに基づいた文献調査・概要調査の作業の流れ（フローチャート）や各段階で用いる調査・評価技術のリスト等が整備されている。

レビュー委員会は、これらの技術体系について、追跡性が確保された文献等に基づき構築されたものであり、わが国で想定される多様な地質環境条件を網羅していることから、文献調査および概要調査を進める上で、十分な判断根拠をもって実用性のある技術体系としてまとめられていると評価する。調査・評価に適用する技術については、現状利用可能な技術に基づいて適切に整理されていると認めるが、一方で、示された課題についてサイト選定のどの段階までに対応すべき課題かを

明らかにするとともに、最新の研究成果のレビューによりその適用範囲を明確化することを推奨する。

地質環境モデル構築に向けた地質環境情報の統合化

NUMO は、地質環境調査で取得する情報を処分場の設計および安全評価に利用可能な形式にするため、地質環境特性の空間分布等を表現する地質環境モデルに情報を統合し、地質環境調査・評価および処分場の設計や安全評価のループを繰り返しながら、対象となるサイトが十分な安全機能を有しているかどうかの確認を行うこととしている。

レビュー委員会は、地質環境情報を地質環境モデルに統合するプロセスをセーフティケースの信頼性、特に情報の追跡性を確保する上で、非常に重要な取り組みとして評価する。一方、処分場の設計や安全評価から、地質環境情報や地質環境モデルに対して、どのようなフィードバックが得られたのかについては、具体的な内容が示されておらず、説明の追加が必要と考える。

自然現象の発生とそれに伴う地質環境の状態変化に対する確率論的評価手法

NUMO は、将来 10 万年程度を超えるような長期の安全性の評価のために ITM (International Tectonics Meeting) – TOPAZ (Tectonics of Potential Assessment Zone) と呼ばれる手法を整備し、火山・火成活動や地震・断層活動など、処分場の安全機能に著しい影響を及ぼしうる自然現象が発生する可能性を確率論的に評価する取り組みを進めている。

レビュー委員会は、ITM–TOPAZ 手法に関して、変動帯に位置するわが国の地質環境を考慮する上で重要な自然現象の長期の不確実性を客観的に明らかにする新たな試みとして高く評価する。本手法は、国外専門家の協力により得られた最新の地球科学的知見と数理科学的な手法を駆使した先進的な取り組みであり、時間と空間を考慮しながら、自然現象に関する情報や専門家の意見を一元的に集約するプラットフォームとしての役割も期待できる。レビュー委員会は、今後の取り組みにおいて、日本の地質環境に詳しい国内専門家の参加のほか、地質環境特性の長期変遷に関するモデル化技術や包括的技術報告書第 6 章の地層処分システムの安全評価との連携の考え方やその方法について具体的に言及することを提言する。また、これまで成果が挙げられている火山・火成活動のほか、地震・断層活動や隆起・侵食に対しても、本手法の適用事例をさらに蓄積していくことを期待する。

なお、包括的技術報告書の記載では、表題が「自然現象の発生に伴う地質環境の状態変化に対する確率論的評価手法」とされており、本手法が自然現象の発生による地質環境の状態変化にも適用できるように取られる可能性があるため、表題の適正化が必要であると考えられる。

3.1.3 地質環境情報の統合化による地質環境モデルの整備状況

包括的技術報告書では、NUMO は、変動帯にあって、断層・割れ目の発達など多様な地質環境が想定される日本列島において、放射性廃棄物を長期にわたって隔離し閉じ込めるために必要な地

質環境条件を備えたサイトを調査・評価・選定するために、地質環境モデルを基盤として処分場設計、安全評価を行い、サイトの適性を総合的に評価する方法論を整備している。

この方法では、文献調査、概要調査、精密調査において必要な地質環境調査を行い、取得した地質環境情報を、地質環境特性を規定する地質・地質構造、および熱的、水理的、力学的、化学的条件が相互に整合的となるように解釈・統合したうえで地質環境を記述するモデルとして、地質構造モデル、水理地質構造モデル、地下水モデルおよび岩盤力学モデルを構築する。これらにより与えられるサイト環境情報を利用して工学的実現性を評価しつつ処分場の設計を行い、次にサイトの地質環境情報と暫定的に与えられる設計のもとに安全評価を行うという一連の検討を繰り返しながら、調査・評価の詳細度を高め不確実性を低減することにより信頼性を向上させる。

NUMO は、日本列島の多様な地質環境に対して、この地質環境モデルが具体的に構築できることを示すために、日本列島に分布する地質のうち処分場に適したサイトの選定において考慮すべき地質を包含して代表するものとして、深成岩類、第三紀堆積岩類および先新第三紀堆積岩類を対象母岩として設定し、日本全体に分布するそれぞれの母岩について観測されている、岩体や地層の規模、岩盤中の断層・割れ目の卓越方位、長さ、分布密度を地質環境情報として整理し、さらに岩盤中の基質および断層・割れ目の透水係数などの情報を含めてパラメータとして、階層的な空間スケール（広域スケール、処分場スケール、パネルスケール）に対して詳細度を変えて地質構造モデルおよび水理地質構造モデルを構築している。

レビュー委員会は、第2次取りまとめにおいて概括的にわが国の地質環境がまとめられたことを踏まえ、包括的技術報告書でわが国の地質学的特徴に適切に焦点を当て3種類の対象母岩を代表的なものとして選定し、処分場の設計や安全評価の基盤となる地質環境モデルとして統合する一連のプロセスを具体的なパラメータとその設定根拠とともに提示し、サイト選定後に用いられる各段階の調査・評価技術を可能な限り普遍的な技術として体系的に取りまとめた点を評価する。

サイトが特定されていない現時点の条件下で、関連する科学的知見を幅広く収集・分析し、かつ品質確認のための基準を自ら整備した上で、対象岩種を深成岩類、新第三紀堆積岩類、先新第三紀堆積岩類に類型化した点は、第2次取りまとめと比較して、日本の地質環境条件に即したより現実的なアプローチに進展したと認められる。特に、既存情報が少ない中、わが国の地質分布の半分近くを占めると推定される先新第三紀堆積岩類の地質環境モデルが構築された事は、付加体中のスラストや褶曲構造等に起因する複雑な地質構造に対応する技術の実用性を検討する上で重要な成果と考えられる。一方、採用された断層と割れ目分布の規則性に基づくモデル化手法に関しては、実際のフィールド調査における実績等が述べられておらず、スウェーデンやフィンランド等、同様なアプローチを取っている他の事例等を補足し、手法の妥当性をより明確に説明することを奨める。

レビュー委員会は、包括的技術報告書で提示された技術体系が、わが国で想定されるような岩盤物性が不均質で空間的な地質環境データ数が限られるような条件下においても、地層処分に適した場所を効果的に選定する際に有効なアプローチであると評価する。また、モデル化に適用された技術の多くは、フィンランドやスウェーデンなど国外の先行事例に用いられているものと整合的であり、最先端の技術水準にあると評価する。

地質環境特性の長期変遷や時間スケール

NUMO は、現在サイトが明らかになっていないことから、安全機能が長期にわたって維持される、すなわち地質環境特性の長期的な変遷が処分場の安全機能の維持を損なわないと評価しうる地層・岩体を「検討対象母岩」として設定し、地質環境モデルの構築を試みている。

レビュー委員会は、地質環境特性の長期変遷に関して、現状の知見が整理されるとともに今後の取り組みの方向性が示されており、日本の地質環境の特徴をより現実的に評価するために、次の段階に向け、適切な課題設定がなされていると評価する。ただし、包括的技術報告書の第2章でアプローチが示されている「隆起・沈降を含む地形や地質構造の長期的な変化、気候・海水準変動を設定しない」という前提条件が同報告書の第3章では自明なものとして取り扱われており、本章のみを参照する読者に誤解を与える可能性があるため、根拠を含めて、改めて明示が必要と考える。

また、NUMO は、地質環境特性の時間的特徴や長期変遷の性状に関する記述において、「地質学的な時間スケール」や「時間スケール」、「時間変化」といった言葉を用いて説明している。しかし、それらの時間が具体的にどのような期間を示しているのか明示されておらず、読み手のより一層の理解を得る上で、改善の余地がある。レビュー委員会は、第2次取りまとめで用いられた時間スケールとの関連性も踏まえて、可能な限り、具体的に時間範囲を記述することを推奨する。

地質環境特性に関する不確実性への対応

NUMO は、繰り返しアプローチによる不確実性の低減について、日本原子力研究開発機構（JAEA）が瑞浪・幌延で進めている深地層の研究施設計画において、地質環境調査から地質環境モデルの構築に至る取り組みを通じてその有効性が確認されており、さらに、地質環境特性とその長期変遷に係る今後の取り組みにおいて、時間・空間スケールや特徴などに応じた調査技術、モデル化技術や解析技術の最適化の体系化等の方法論の整備を図るとしている。

レビュー委員会は、包括的技術報告書で示された各空間スケールの情報量の制約に起因する不確実性の考え方や取り扱い方に関して、瑞浪・幌延における事例に基づいた説明や今後の取り組みにおける調査技術の体系化の一環としてそれらの必要性に言及している点に同意する。一方、繰り返しアプローチによる各段階における不確実性の評価における重要な課題や実際の処分（候補）地での調査が進んでいる国外での事例は示されておらず、内外の実状を踏まえた補足的な説明が必要と考える。

地質環境特性に期待される放射性物質の溶出・移行抑制機能

NUMO は、閉鎖後長期の安全確保にかかわる要件について、地下深部の地質環境特性は長期にわたって緩慢に変化するものの、突発的あるいは急激に変化する可能性は小さいと考えられるとしている。この変化の幅を考慮に入れても、地層処分の観点から好ましい地質環境特性が維持される場合は、地質環境は「長期にわたり安定である」ということができ、放射性核種の

壊変による廃棄体の危険性の低減を期待する将来 10 万年程度を超えるような長期間において、地質環境に期待される放射性物質の溶出・移行抑制機能が低減あるいは喪失する可能性は極めて小さいと記している。

レビュー委員会は、このような NUMO の見解は、地層処分システムの安全性を説明する上で非常に重要な情報であることに同意する。一方、この主張をより明確に説明するために現在引用されている OECD/NEA 報告書[6]以外の知見についても補足することを奨めるとともに、包括的技術報告書の第 2 章に記載されている「将来 10 万年程度を超える長期については、(中略)地質環境の変遷や自然現象の発生にかかわる将来予測の不確実性が增大する」とする記述が地殻内のごく限られた領域にある地質環境の特性の変化と、火山や断層の発生位置の変化や隆起・侵食の進行等に関連する地殻やプレートの変動とが混同されないように、全体を通じてより一貫性・整合性が確保された表現になるように当該箇所の記述を工夫・改善することを奨める。

断層の水理地質構造モデル・地下水流動解析におけるダルシー流速の扱い方

NUMO は、数 km 以上の規模を有する断層（帯）に関して、国内外の断層調査で報告されている断層の形態や構造、水理学的特性などの知見に基づき、コアゾーンとその外側にあるダメージゾーンとして水理地質構造モデルを構築している。

レビュー委員会は、この水理地質構造モデルが、一般に認められる断層の水理構造を適切に反映し、模式化されたものであり、規模の大きな断層の内部構造を記述する代表的な概念モデルとして扱うことに同意する。一方、六甲山の蓬莱峡やサンアンドレアス断層においては、割れ目を著しく多く含む非対称に発達する断層帯も見出されており、本モデルの活用性を広げる観点から、それらの研究事例についても引用する等、幅広く言及することを奨める。

また、NUMO は、水理地質構造モデルを用いた地下水流動解析から得られる結果の一つとして、ダルシー流速を算出し、その結果に基づき、議論を展開している。

レビュー委員会は、処分場地下施設の位置やレイアウトを検討する上で解析対象スケールにおける地下水の移動の尺度として、ダルシー流速を用いることに同意するが、その技術的意味に関する記述がなく、より詳細に説明する必要があると考える。さらに、安全評価において用いられる実流速とダルシー流速との関係性についても、包括的技術報告書の第 3 章あるいは第 6 章中に明示することを推奨する。

高炭酸濃度地下水の影響

地下水水質における炭酸濃度と pH は、一部の金属イオンに対する錯生成や炭素鋼の腐食などに大きく影響し、データの品質（信頼性）確保は安全評価に対して非常に重要な技術的要素となりうるが、ボーリング孔から採水された地下水は、脱ガス等により原位置の値と異なる可能性に留意する必要がある。NUMO は、このような課題を解決するために、水質データのスクリーニ

ングおよび電荷バランスに基づく炭酸化学種濃度の推定を行っており、レビュー委員会は、本アプローチの採用に同意する。一方、ナトリウムイオンと塩化物イオン濃度の高い地下水においては、それらの濃度差から炭酸化学種濃度を推定する際には、測定値の誤差の影響が大きくなることに留意する必要がある。また、レビュー委員会は、今後の取り組みにおいて、炭酸塩や有機物を含む堆積岩、特に既存の情報量が少ない先新第三紀堆積岩類（付加体堆積岩類）に関するデータ整備の必要性に言及していることについて同意する。

3.2 処分場の設計と工学技術

3.2.1 レビューの概要

包括的技術報告書の第4章では、処分場の設計と工学技術として、包括的技術報告書の第2章で述べられている地層処分における安全確保の基本的考え方にに基づき、第3章で検討した地質環境モデルを用い、地層処分システムを構成する処分場（人工バリア、地上施設、地下施設）の設計の考え方と具体的な実施例が示されている。これに対しレビュー委員会では、本報告書の第1章で示した「セーフティケースの依拠している科学的・技術的基盤の妥当性」に係るレビューの視点を具体化して、以下の視点から詳細な技術レビューを実施した。

- ・ 包括的技術報告書の安全確保の基本的考え方（第2章）に定められたアプローチにしたがって処分場の設計がなされているか。
- ・ 設計の基本的な枠組みとして、処分場に要求される性能が適切に設定され、その設定された要求性能を満足するための設計プロセスが明確に示されているか。
- ・ 設計に用いる材料特性などの数値やその根拠が明確に示されているか、また、サイトが選定されていない段階での設定値として妥当であるか。
- ・ 将来の技術の発展を勘案し、複数の案を並列的に検討するなど、将来における選択の余地を残した検討となっているか。
- ・ 平常状態に加えて、東日本大震災で経験したような異常状態における安全対策が組み込まれているか。
- ・ 回収可能性について、合理的な検討が行われているか。

上記レビューの視点に基づき、各委員から提出された意見を集約、整理し、レビュー結果として取りまとめた。レビューの総合的な所見は以下の通りである。

- 包括的技術報告書の第4章では、同報告書の第3章で設定した三つの検討対象母岩（深成岩類、新第三紀堆積岩、先新第三紀堆積岩）に対する地質環境モデルに応じて、5項目の設計因子（閉鎖前の安全性、閉鎖後長期の安全性、回収可能性、工学的成立性、経済的合理性）を満足する処分場（人工バリア、地上施設および地下施設）を設計、建設、操業、閉鎖するための手法と手順が具体的かつ詳細に記述されている。現時点では不確定要素が多い中、処分場の工学的な設計に必要な関連情報を適切に取りまとめた上で、可能な限り現実に即した内容が示されており、処分場の実現の見通しが確かなものとして提示されている。
- 将来の種々の不確実性への柔軟な対応を可能とするために、ガラス固化体に対する縦置き・ブロック方式に対する横置き・PEM方式の導入、TRU等廃棄体に対するB型パッケージの導入、オーバーパック厚さの合理化等の代替案を、将来の選択の余地を残しながら並列に検討しているアプローチは高く評価できる。
- 工学的設計においては不確実性が残ることは避けられないが、不確実性の幅を極力狭める努力が肝要である。地質環境モデルにおいて提示される地質環境特性や人工バリアに用いる材料特性に関する情報・データに関わる不確実性を考慮することに加え、設計の前提条

件や仕様成立範囲の決定方法等が内包する不確実性にも配慮することを推奨する。特に、超長期にわたる処分場の安全性の確保は極めて挑戦的な課題であることから、実施機関並びに規制機関は処分場閉鎖後において可能な限りのシナリオを想定し、安全性を担保する必要がある。今後検討すべき課題についてもよく整理されていると評価するが、設計、建設、操業および閉鎖の技術は日進月歩の進展が見込まれるため、実際の設計時には、最新の信頼できる知見によって更新されねばならないものであることを明記することを推奨する。

3.2.2 設計の流れ

包括的技術報告書の第4章では処分場に持たせようとする性質と能力を「設計因子」とし、各設計因子に対する要求事項を規定している。さらに、定められた要求事項で示された性能が確保されるように設計要件が設定され、この要件に基づいて設計を実施し、基本となる仕様（材料、形状、寸法など）が決められる。作業途中のフィードバックを含む一連の設計の流れと、人工バリア、地上施設、および地下施設の設計の位置づけを含む具体的な「処分場の設計フロー」が図として示されている。

しかしながら、「設計因子、要求事項および設計要件に基づく設計の流れ」および「処分場の設計フロー」として示された図については、設定した仕様の妥当性を判断するために実施する影響評価やその後のフィードバックの対象が、工学的な設計を実施した処分場（人工バリア、地上施設および地下施設）のみであるのか、天然バリアを含む地層処分システムの全体となるのか、また、要求事項や設計要件の見直しを含むものであるのかが明らかではない。また、包括的技術報告書の第4章における「影響評価」と同報告書の第5章や第6章における「安全性の評価」の関係もわかりにくい。設計の妥当性の検証とフィードバックには、処分場の工学的設計の設計要件に対する照査と地層処分システム全体の安全評価の2つのプロセスがあるように書かれているが、その当該の図の説明を文章で記述すべきである。その際、処分場の設計検討では、工学技術の中で進められる小さなフィードバックループもあれば、安全評価も含めた大きなフィードバックループもあり、それぞれ目的に応じて適切に使い分ける必要がある。

また、超長期の安全性の確保が求められる処分場の設計を行うことから、操業時の対策と超長期の安全性など、時間軸上でトレードオフの関係が生じる可能性がある（例えば、力学プラグに接して設置される透水層の排水機能と長期的な地下水の作用下での力学プラグの安定性）。処分場の状態変遷を考慮した評価結果を設計にフィードバックすることで、処分場の構成要素やその仕様の見直しができるようにしておくことが重要である。

以上のことを踏まえて、フィードバックの考え方や前提条件を整理し、設計の枠組みがより明確に理解できる記述とすることを推奨する。

3.2.3 設計因子と要求事項

地層処分システム全体として処分場に求められる性質と能力が、想定する地質環境条件のもとで、設計因子として設定されているが、その設定根拠が不明瞭である。これらの設定そのものも重要な設計プロセスであるので、より詳しい説明を追加することを推奨する。

設計因子を説明するにあたっては、処分場の構成要素ごとに要求事項の内容を説明する現状の記述では分かりにくい。設計の流れを示した図とともに包括的技術報告書の第4章の冒頭で、要求事項の内容に関する文章による説明が追加されることが望ましい。

3.2.4 地上施設の設計における安全確保の考え方

平常状態に加えて異常状態における安全対策が組み込まれており、東日本大震災を経験した日本における原子力施設設計の具現化として評価できる。その一方、地震力や津波などに対する具体的な検討がサイトの地質環境の条件が特定されていないことを理由に行われていないが、例えば東日本大震災における地震や津波を想定したシナリオを検討し、評価結果の考察を追記することが望ましい。また、包括的技術報告書の第5章「閉鎖前の安全性の評価」の内容との整理が必要と考える。

3.2.5 設計に用いる材料特性の設定

地質環境特性の設定

今回の検討では、想定する地質環境における熱的特性、力学的特性、水理学的特性および地下水の化学的特性などの設計で必要となる情報は、包括的技術報告書の第3章で設定した深成岩類、新第三紀堆積岩類および先新第三紀堆積岩類の地質環境モデルから与えられている。一方、実設計における地質環境特性は、サイトの選定後に原位置およびサンプリングによる室内土質調査・試験、物理試験などによって設定されるべきものである。現時点では、三つの検討対象母岩を取り上げ、ばらつきの中から設計のための地質環境特性を暫定的に選定していることとともに、実設計で用いる地質環境特性は、将来の現場調査・試験によって十分に信頼できる精度で決定しなければならないことを明記することを推奨する。

人工バリアに関する材料特性の設定

人工バリアを構成するオーバーパックや廃棄体パッケージ、緩衝材の設計に用いる材料特性の値は、包括的技術報告書の第3章の地質環境モデルのほか、文献や試験から値が設定され、その根拠も示されている。たとえば、オーバーパックと接する緩衝材中の間隙水の pH および化学組成は同報告書の第3章のモデル水質に基づいて算出されており、示された値は現時点における具体的な設計検討に用いる代表値として意味があるが、実際の設計時には、最新の信頼できる知見によって更新されねばならないものである。また、得られる数値には前提となる条件があることから、その前提条件が長期的に保持されるかどうかについても慎重に検討することが必要であることも付記することを推奨する。

3.2.6 TRU 等廃棄物の特性と処分概念

設計条件としての廃棄体特性を論じる上で、特に TRU 等廃棄物においてはいくつかの課題が残る。TRU 等廃棄物中の各廃棄体に含まれる個々の放射性核種のインベントリについて、今後、再処理工程等を通じてそれぞれの廃棄体にそれぞれの核種が何パーセント分布するとしているか、その設定値と設定の根拠と妥当性が付属書に示されているが、安全評価上の重要な前提条件となるので、本編にも記述することを推奨する。また、廃棄体特性のうちには、化学組成、浸出特性、耐熱

性等も含まれる。TRU 等廃棄物については、これらの特性は多様になると考えられるので、設計条件としての廃棄体特性の把握と整理が望まれる。

ガラス固化体と TRU 等廃棄物の併置処分のうち、ガラス固化体の処分についての検討の出発点は第2次取りまとめであり、処分概念カタログや設計オプションなどがすでによく検討されている。その一方で、TRU 等廃棄物処分についても同様な設計オプションの検討を進めていくことが今後の課題となる。

また、TRU 等廃棄物処分場の人工バリアの設計において、廃棄体パッケージ A は第2次 TRU レポートを前提として仕様の説明が省略されているが、A と B の仕様の違いについての説明が追加されることが望ましい。また、放射線分解による充填モルタルからの水素ガス発生を抑制するための間隙水の除去においては、モルタルの乾燥収縮による影響について、廃棄体パッケージ A と B で充填材に求める機能の違いとともに整理して記述されることが望ましい。

3.2.7 地下施設レイアウトの設計

処分場スケールの地質環境モデルから与えられる地下施設のレイアウトを決定する特性をレイアウト決定特性（LDF）とし、パネルスケールの地質環境モデルから与えられるガラス固化体の定置位置を決定する特性（長さ 1km 未満の断層・割れ目の水理学的特性）を定置位置決定特性（EDF）として設計を考えるアプローチは、よく整理されていると評価する。ただし、LDF と EDF の説明については脚注における略語の説明に留まっており、設計上の重要な事項として、考え方を本文中にきちんと説明することを推奨する。

3.2.8 回収可能性

包括的技術報告書では、回収可能性を維持するための放射性廃棄物の回収技術の工学的成立性を検討するために、処分施設を閉鎖せずに回収可能性を維持した場合の影響について検討している。回収の難易度に応じて3つの状態を設定し、回収可能性を維持した場合にニアフィールドの地質環境に対する影響、人工バリアに対する影響、坑道の維持管理に対する影響を考慮し、この中で影響が中間的である状態に対してのみ回収技術の適用性を検討している。

2011年に OECD/NEA が公表した「高レベル放射性廃棄物および使用済燃料の深地層処分のための可逆性と回収可能性（R&R）」の報告書[7]では、回収可能性は処分場の基本的な長期安全性の概念の一部ではない、としながらも安全性への信頼性を助長するとともに、回収することが安全面以外の理由から望ましいことになる可能性があるとして、回収可能性を廃棄物のライフサイクルの各段階に応じて、回収の容易さ、受動的安全性および能動的管理の要素で検討することを提案している。包括的技術報告書においても、OECD/NEA が提案している「国際的に合意された回収可能性に関する段階的区分（R スケール）」のように、影響が中間的な状態のみではなく、それぞれの状態すべてに対して何らかの言及があることが望ましいと考える。

3.3 閉鎖前の安全性の評価

3.3.1 レビューの概要

包括的技術報告書の第5章では、閉鎖前の安全評価技術として、同報告書の第2章で述べられている地層処分における安全確保の基本的考え方に基づき、地質環境モデルとそれに応じた処分場の設計についてシナリオの構築、異常時シナリオに基づく影響評価、事故後の対応事例などが示されている。これに対しレビュー委員会では、本レビュー報告書の第1章で示した「セーフティケースの依拠している科学的・技術的基盤の妥当性」に係るレビューの視点を具体化して、以下の視点から詳細な技術レビューを実施した。

- ・ 包括的技術報告書の安全確保の基本的考え方（第2章）に定められたアプローチにしたがって安全評価がなされているか。
- ・ 閉鎖前の安全評価におけるシナリオの設定根拠は、国際的な基準と整合し、妥当なものであるか。
- ・ 安全評価において想定するシナリオと解析ケースは、十分に包括的なものとなっているか。
- ・ 安全評価の方法論、モデルおよびコードをサポートする科学的論拠が示されているか。

上記レビューの視点に基づき、各委員から提出された意見を集約、整理し、レビュー結果として取りまとめた。レビューの総合的な所見は以下の通りである。

- 包括的技術報告書の第5章では、閉鎖前の安全性評価について、放射線防護と一般労働安全の観点から議論されている。IAEAが発行するセーフティケースと安全評価のガイドに従い、平常状態シナリオと異常状態シナリオを作成して検討が行われている。異常状態シナリオとしては、放射性廃棄物の落下、施設内の火災、外部電源喪失やその他の機器の故障を想定し、放射性物質の漏えいを引き起こすようなガラス固化体を封入したオーバーパック、および廃棄体パッケージの力学的または熱的損傷の可能性について評価している。異常状態シナリオを含む全体の評価の枠組みや基本的な考え方は妥当であると評価できる。
- 一方、異常状態シナリオにおける対象事象は必ずしも十分とは言えない。サイト依存性が大きいため、外部起因事象については考慮せずに内部起因事象についてのみ重要なシナリオを設定しているが、ジェネリックな段階においても想定しうる外部起因事象については評価シナリオを設定し、評価することが望ましい。

3.4 閉鎖後長期の安全性の評価

3.4.1 レビューの概要

包括的技術報告書の第6章では、閉鎖後長期の安全評価技術として、同報告書の第2章で述べられている地層処分における安全確保の基本的考え方に基づき、地質環境モデルとそれに応じた処分場の設計について、シナリオの構築、核種移行解析モデルとデータセットの設定、線量評価までの一連の方法論、ならびに解析技術が示されている。これに対しレビュー委員会では、本報告書の第1章で示した「セーフティケースの依拠している科学的・技術的基盤の妥当性」に係るレビューの視点を具体化して、以下の視点から詳細な技術レビューを実施した。

- ・ 包括的技術報告書の安全確保の基本的考え方（第2章）に定められたアプローチにしたがって安全評価がなされているか。
- ・ 閉鎖後安全評価の枠組み（シナリオ区分、評価期間、様式化の適用等）の設定根拠は国際的な基準と整合しているか。
- ・ 建設・操業や回収可能性の維持で想定される擾乱が安全評価において適切に考慮されているか。
- ・ 閉鎖後の安全評価モデルは地質環境モデルと処分場の設計に対応し適切に構築されているか。
- ・ 地層処分システムにおける個々のバリアの安全機能が時間スケールを考慮して適切に記述され、長期にわたって多重の安全機能により安全性が確保される仕組みが示されているか。
- ・ 安全評価において想定するシナリオと解析ケースは、追跡可能で十分に包括的なものとなっているか。
- ・ 安全評価の方法論、モデルおよびコードをサポートする科学的論拠が示されているか。
- ・ 処分システムの変遷に影響を及ぼす特性、事象およびプロセスが明確に文書化され、国際的な FEP データベースと比較して十分に包括的であるか。

上記レビューの視点に基づき、各委員から提出された意見を集約、整理し、レビュー結果として取りまとめた。レビューの総合的な所見は以下の通りである。

- 包括的技術報告書の第6章で示された閉鎖後長期の安全評価の体系は、国際的なガイドラインや諸外国の方法論と整合的であり、地層処分の安全性を定量的に示すアプローチとして妥当である。特に、具体的なサイトが特定されていない状況において、地層処分の技術的成立性を示すジェネリックな評価からサイト固有の詳細な情報を用いるサイトスペシフィックな評価を指向し、我が国の地質環境や処分システムの特性をより現実的に考慮するための安全評価技術の準備を進めたことを高く評価する。
- 第2次取りまとめや第2次 TRU レポート以降の成果を踏まえ、以下の取り組みについて大きな進展を認める。
 - ▶ シナリオの発生の可能性を考慮したリスク論的アプローチと線量/確率分解アプローチの採用

- ▶ シナリオの作成における FEP によるボトムアップアプローチと安全機能によるトップダウンアプローチを融合させた統合化手法とストーリーボードの利用
 - ▶ 包括的技術報告書の第 3 章で構築した具体的な地質環境モデルや同報告書の第 4 章で開発・設計した地層処分システム（建設・操業時に導入される人工物等の残置物を含む）の特徴を可能な限り現実的に扱った、より実践的な方法の導入
 - ▶ 核種移行に関わるデータ設定における最新のデータベースの利用
 - ▶ ガラス固化体、TRU 等廃棄物の併置処分を考慮した安全評価体系の構築
 - ▶ 最新の知見を取り入れた生活圈評価
- 閉鎖後長期の安全評価の信頼性向上の観点から、以下の点について改善の余地が残されていると考える。
 - ▶ シナリオの構築に用いられている一連のツールや分析法（ストーリーボード、FEP、要因分析など）の位置付け、役割、関連性の明確化
 - ▶ 核種移行プロセスに関する数理モデルやコード、データ、解析等の品質保証に関する情報の拡充
 - ▶ 安全評価で対象とすべき不確実性が十分包括的に考慮されていることの提示
 - ▶ 閉鎖前で想定される地下環境の擾乱、回収可能性、建設・操業時の異常状態に対する評価との関連性の整理
 - ▶ 既往の安全評価結果との比較・相違点の考察

以下では、レビュー委員会で集約されたコメントに基づき論点を整理し、安全評価の考え方、シナリオ、モデル、データ、核種移行解析に基づく評価に区分してレビューの結果を取りまとめた。

3.4.2 安全評価の考え方

評価期間

閉鎖後の処分システムの状態を 4 つの時間枠（T1～T4）に区分し、各時間断面で安全機能と関連する FEP を整理した方法は優れたアプローチである。一方、サイトが特定されていない現段階において、長期の時間スケールを対象とした地質環境の変動を発生の可能性も含めて定義することは困難であると考えられ、その意味で T4 の取り扱いについては注意を要する。例えば T3 の定義として「放射性核種の移行が生じてから現在の地質環境の特性が大きく変化しないと考えられるまでの期間」とあるが、これに基づけば T4 は地質環境の変化を考慮する必要があると考えられる。一方、基本シナリオの評価においては、最大の線量が現れるまでの評価期間で地質環境の特性が大きく変化しないことが前提として使われている。基本シナリオにおける T4 の考え方と地質環境の変化の取り扱いをより明確にしたうえで、一貫性の観点から包括的技術報告書の第 3 章における地質環境の長期変遷と整合を図りつつ、評価期間の時間枠とシナリオ区分との関係について読み手が理解しやすい記述にすることを推奨する。

不確実性への対応

包括的技術報告書の第2章で記述されている、シナリオ、モデル、データの不確実性は、国内外の安全評価における不確実性の区分・定義と整合的であり妥当である。一方、これを受け閉鎖後長期の安全評価では各種の不確実性について適切に評価することが必要であることから、不確実性に対する取り組み方針、具体的なアプローチ方法などについて丁寧な説明が必要である。特に、基本シナリオを基軸とする各シナリオ区分で取り扱う不確実性と、シナリオ／モデル／データの不確実性との対応が分かりにくいいため、安全評価で考慮すべき不確実性が十分包括的に評価されていることが理解しにくい構造になっている。例えば、基本シナリオのデータ不確実性は、変動シナリオとしてシナリオ不確実性の形で取り扱われている点などが挙げられる。このようなシナリオ・モデル・データの不確実性とシナリオ区分の関係について、不確実性の影響が包括的かつ合理的に評価されていることを読み手に分かりやすく示す記述にすることが望まれる。

3.4.3 シナリオ

ストーリーボード

閉鎖後の処分システムの状態を、いくつかの時間枠と空間枠に着目し、ストーリーボードを用いてその時間枠・空間枠における安全機能の変遷や処分システムの状態設定を描出する手法は最新のシナリオ作成の方法論と整合的であり妥当である。一方、安全評価の基本的手順が図示されているが、そこではストーリーボードがシナリオ作成の上位に位置付けられるようにみえるため、シナリオが先験的に決められているような誤解を与える可能性がある。ストーリーボードに描かれるシステムの状態変遷は、本来要因分析や影響分析等を通じて明らかにされるものであり、これらの検討に応じてストーリーボードの内容も更新されるはずである。このような誤解が生じる懸念は、ストーリーボードの作成方法が明確に示されていないこととも関係している。また、本文中においてもストーリーボードを構築し、これに基づきシナリオを導出する記述が散見されることから、上記の誤解が生じないように配慮した説明にすることが望まれる。

以上のことを踏まえ、安全評価におけるストーリーボード導入の目的、作成方法、利用方法、およびストーリーボードの位置づけをより明確にするとともに、安全評価の基本的手順の流れ（特に、ストーリーボードと要因分析・影響分析との関係）を示す図の妥当性について再検討することを推奨する。

シナリオの作成

第2次取りまとめで用いられたシナリオ作成の手法をベースに、その後の国内外で開発された最新のシナリオ作成技術に沿った手法が用いられているとともに、シナリオ作成に必要なFEPリストを整備し、シナリオの網羅性を向上させたことは高く評価できる。一方、後述するように図示された安全評価の基本的手順の説明において、要因分析、影響分析、さらにはストーリーボードに基づきどのようにシナリオを選定するのかが分かりにくいいため、説明を追記しシナリオ選定に関するプロセスの透明性の向上を図ることを推奨する。

また、シナリオ作成において従来型のFEPリスト（NUMOFEPリスト）を縮約した統合FEPリストを新たに導入したことは、これまでの多数のFEPリストを用いた相関関係の整理における煩雑さの改善を図る一つの試みとしての確かなものであると評価する。例えば要因分析図において、

NUMO FEP リストを用いるより統合 FEP リストを用いる方がよりシンプルに表現できるなどのメリットがある。一方レビュー委員会は、その後のシナリオ作成において統合 FEP リストを用いる場合、網羅性の観点から不安が残ることを指摘する。本来、NUMO FEP リストと統合 FEP リストは、網羅性と実用性の観点から相互に補完する関係にあるべきであり、この点について、今回新たに導入された FEP リストがどの程度有効かつ妥当なものなのかについて、適用事例なども含めて補足することが望まれる。

要因分析・影響分析

シナリオ作成において鍵となる安全機能への影響を分析するための手法として、要因分析と影響分析を導入し、安全機能を阻害する可能性のある因子を状態変数を介して包括的に評価したことは的確である。一方、要因分析や影響分析に基づき、どのようにシナリオが導出されるのかが分かりにくいため、説明を追記することを推奨する。また、要因分析において緩衝材を例に安全機能と状態変数が説明されているが、要因分析はシナリオを導出する重要な検討項目であることから、例示ではなく一覧として示すこと、さらに影響分析で対象とした現象の選定根拠や、現象解析を通じたシナリオ導出までのプロセスを明確にすることを推奨する。また、建設・操業による地質環境の擾乱、回収可能性維持の影響、第5章で検討されている建設・操業時における異常状態が長期安全性に与える影響については、長期安全評価の初期条件に影響する可能性があるものの、元の状態に回復するシナリオのみ設定されていることから、これらの根拠についてより丁寧な説明を追記するとともに、第5章との関係についても言及することを推奨する。なお、今回のレビューでは直接対象とはなっていないが、レビュー委員会は、要因分析や影響分析の包括性、十分性を向上させるため各種 FEP リストに関する情報を拡充させるとともに、特に安全機能への影響が高いと考えられる FEP については各種調査、試験、現象解析等の取り組みを継続して進めることが極めて重要であると考ええる。

シナリオ区分

シナリオ区分をリスク論的考え方にに基づき発生の可能性に応じて分類する方法は適切であり、このシナリオ区分はシナリオ不確実性への対応のアプローチの一つであると理解する。一般的に、モデル、データの設定はシナリオに基づき行われることから、基本シナリオにおけるモデル、データの不確実性は基本シナリオの範疇で評価されると考えられるが、包括的技術報告書では、「変動シナリオは、基本シナリオで設定した処分場の状態変遷および評価モデルやデータセットに対し、科学的合理性に基づいて考慮すべき不確実性を反映して変動を与えたもの」として、これらの不確実性が異なるシナリオ区分（変動シナリオ）で取り扱われている。レビュー委員会は包括的技術報告書の考え方に同意するが、この結果、どの不確実性がどのシナリオ区分で取り扱われているかが分かりにくくなっている。このため、包括的技術報告書で構築されたシナリオ群が考慮すべき不確実性を十分網羅しているかどうかを確認することが困難な構造になっている。一貫性の観点からシナリオ区分と各種不確実性の取扱いの関係について再整理し、必要に応じて本文に説明を追加することを推奨する。

基本シナリオ

基本シナリオは、蓋然性の高いシナリオとして処分システムにおける諸現象をより忠実に表すことを念頭に、いくつかの保守的な仮定と組み合わせつつも、第2次取りまとめや第2次 TRU レポートからの技術的進展を考慮したシナリオ設定となっており評価できる。一方、基本シナリオの設定に関わる以下の点について、補足の説明や合理的な根拠を追記することを推奨する。

- ▶ 建設・操業や回収可能性の維持により想定される擾乱が長期安全評価の初期状態に有意な影響を与えないと仮定している点
- ▶ 力学プラグはセメントの溶脱が進み、いずれセメント成分が消失する可能性が高いと想定しているにも係らず、透水層も含めてその影響を無視できると仮定している点
- ▶ オーバーパックや PEM の腐食に伴い発生する水素ガスが安全機能に有意な影響を与えないと仮定している点
- ▶ EDZ の状態変遷は、支保によるセメントと緩衝材の相互作用、PEM による鉄と緩衝材の相互作用、オーバーパックの腐食に伴う緩衝材との応力相互作用など様々なプロセスが関係すると考えられるが長期にわたり初期の状態を仮定している点
- ▶ 基本シナリオにおける隆起・侵食の取り扱い（特に T4 において隆起・侵食の影響を考慮しなかった点）

変動シナリオ

変動シナリオの導出において、処分システムの構成要素ごとに不確実性因子が整理されているが、これが安全機能に与える影響が分かりにくい構造になっているため、説明を追記することを推奨する。また、変動ケースを組み合わせたケースは、発生の可能性が極めて小さいことから想定しないとあるが、プロセスによっては関連性を完全に否定できないものも存在する（例えば、オーバーパックの腐食生成物によるガラス溶解速度と緩衝材収着性能への影響）。基本シナリオでは考慮されないものの変動シナリオとして考慮すべきシナリオが、包括的技術報告書に示されているシナリオで十分に包括的なものとなっていることについて再度確認し、説明の拡充を図ることを推奨する。また、変動シナリオに対応する解析ケースの取り扱いを一覧表に示しているが、その表において、「考慮しない」、「基本ケースに含める」などとした不確実性については、追跡性・透明性の観点からその根拠となる付属書等を引用することを推奨する。

稀頻度事象シナリオ

稀頻度事象シナリオは、システムの頑健性を評価するための発生可能性が極めて低い事象を考慮したシナリオ、との説明があるが、稀頻度事象シナリオで対象とする事象に関する取捨選択の基準が曖昧であることから、これを明確にすることを推奨する。また、中深度処分における最新の規制基準の議論では、稀頻度事象シナリオのカテゴリーが設定されておらず基本シナリオ以外はずべて変動シナリオとして取り扱われていることから、地層処分にも何らかの影響を及ぼすことが考えられる。地層処分ではより長期の評価時間が対象になることを踏まえると、稀頻度の外部事象について何らかの評価が必要であることは明白であることから、変動シナリオとの差別化を明確にし、誤解のないように説明することが望まれる。

3.4.4 モデル

核種移行解析モデル

包括的技術報告書における核種移行解析モデルは、地質環境モデルにおいて設定された複数の断層・割れ目の影響や処分施設の形状をより現実に即して考慮することが可能であり、これまでのジェネリックな安全評価モデルから大きな進展が見られる。しかしながら、第2次取りまとめや第2次 TRU レポートのモデル体系と異なる点については、より丁寧な説明が必要である。特に、場の不均質性の取り扱い、基本解の利用、一次元モデルへの簡略化、異なるスケールの接続などに関して、設定の考え方や具体的なプロセスなどを明確に記述するとともに、安全評価の解析に関する全体フローを追加することを推奨する。

人工バリア中の核種移行とニアフィールド中（人工バリア周辺の母岩中）の核種移行が同一のニアフィールドスケールでモデル化されているため、人工バリア（廃棄体、容器、緩衝材）領域に閉じこめられている核種の量とニアフィールド地質環境あるいはパネルスケール中を移行している核種の量が区別できない。比較的短寿命の放射性核種の大部分が人工バリア内で減衰することを示すためにも、空間スケールの最小単位は人工バリア領域として、人工バリア領域からニアフィールドスケールへの移行を「放出項」として明示することを推奨する。

粒子追跡解析やマルチチャンネルモデルを用いた核種移行解析モデルに関して、信頼性向上の観点から以下の点について説明等を追記することが望まれる。

- ▶ 粒子追跡解析結果に基づき核種移行解析を行うまでのプロセス（透水量係数の最適化プロセスを含む）
- ▶ 新第三紀堆積岩に対して設定されている物質移行の現象モデル（割れ目と基質での核種移行、相互の媒体間の拡散）の検証事例
- ▶ マルチチャンネルモデルによる核種移行モデルの簡略化の目的（計算負荷低減、保守性の担保など）
- ▶ ネットワークモデルに等価多孔質モデルを適用して得られた圧力水頭の情報を割れ目ネットワークへ引き渡す際、求められる流速（透水量係数）が割れ目ネットワークのみによって求めた場合よりも小さくなることについての説明

核種移行解析モデルに関わる以下の点について説明等を追記することが望まれる。

- ▶ ガラスの溶解における「移行率」の定義
- ▶ EDZ 内の核種の移行プロセス
- ▶ 全ての岩種に平行平板モデルを仮定したことと、第3章に示されている深成岩類、新第三紀堆積岩類、先新第三紀堆積岩類のそれぞれの検討対象母岩を対象に構築された微細透水構造概念モデルとの関係

広域スケールモデルにおいて、断層の移行抵抗を無視することが隆起・侵食による地下施設の深度や断層・割れ目の長さの変化の長期間にわたる不確実性に対して安全評価を頑健なものとするところがあるが、隆起・侵食により処分場が地表接近することを想定すると、処分場周辺の化学環境

の変化，地下水流量の増加に伴う人工バリア中の核種移行促進，さらには汚染土壌の削剥による被ばくなどが生じ，上記設定よりも明らかに線量が高くなることから，再検討が必要である。

生活圏評価モデル

生活圏の評価では，IAEAの国際共同プロジェクトBIOMASSなど世界標準に沿った考え方に基づき評価が行われており，妥当である。また，線量への換算係数の設定においては，最新の線量換算係数や移行パラメータが用いられており，第2次取りまとめや第2次TRUレポート以降の進展が適切に考慮されているとして評価できる。しかしながら，付属書で説明されている生活圏評価の基本条件（評価目的，評価指標，評価の考え方，処分システム，サイト条件，ソースタームおよびGBI，評価期間，社会など），コンパートメントの設定に関する考え方や線量への換算係数の導出プロセスについては，生活圏評価を構成する中核的な情報として位置付けられるため，本文で記述することを推奨する。

3.4.5 データ

評価対象核種と放射能インベントリ

評価対象核種を選定する際，諸外国の選定事例を根拠としているが，本来，我が国の廃棄物の発生源とストリームを踏まえた合理的な説明が必要であり，またインベントリ算出のための計算条件を追跡可能な形で記述することが必要である。インベントリは核種生成・崩壊計算コードで求められるが，これらが再処理工程等でどのような割合でどのストリームに分布するかを根拠とともに示すことが必要である。これらは付属書で説明されているが，特にI-129やCl-36など，その分布について大きな保守的仮定がなされているものについては，これらの設定が評価結果に他と比較して大きな寄与をしているため，本文で記述することを推奨する。

核種移行データ

包括的技術報告書で設定された核種移行データについては，第2次取りまとめ以降の最新の科学的知見やデータベースを活用した設定が適切に行われている。なお，基本シナリオの緩衝材の透水性や（一部元素の）拡散係数の設定において，いずれも保守的であることを理由に大きな値が設定されているが，パラメータの保守性の程度はシナリオに依存するので，基本シナリオですでに保守的な値を設定しているパラメータについては，変動シナリオでの取り扱いについて丁寧な説明が必要である。

マルチチャンネルモデルのデータ

核種移行解析では，三次元のパーティクルトラッキングから求められる物質移行解析の結果に基づき，一次元のマルチチャンネルモデルで近似する手法が用いられているが，各チャンネルに与える透水量係数の算出方法の説明と透水量係数データが本文にも付属書にもない。核種移行解析の追跡可能性の観点からこれらの情報を追加することを推奨する。

3.4.6 核種移行解析に基づく評価

解析結果

3.4.4項で述べたように、人工バリアの性能を定量的に示すために、線量評価結果において人工バリア（緩衝材）外側への移行率（Bq/y）（またはこれを生活圏における線量への換算係数を用いて換算した値）を併記することを推奨する。

本解析ではリスク論的考え方に基づき、蓋然性の高いプロセスやデータが設定されているものの、不確実性を考慮してさらに保守的な設定となっており、本来地層処分システムが有する性能に比して総線量のピークが早く生じている可能性がある。レビュー委員会は、サイトが特定されていない現段階において、このような不確実性への対応方法を採用することに同意するものの、あるシナリオの保守的な設定は必ずしも別のシナリオでの保守側を意味するとは限らないことも指摘する。これは包括的技術報告書で対象とされなかった隆起・侵食を考慮する場合により重要な意味を持つ。

Np-237の子孫核種であるU-233が堆積岩間隙水中の高い炭酸濃度による錯生成のため比較的高い線量を与える結果となっているが、これは移行経路のすべてにおいて高い炭酸濃度が維持されると仮定した結果であり、この程度の炭酸濃度の地質環境であっても計算上10 μ Sv/y以下の無視しうる程度の線量しかもたらされないことを説明しておくことを推奨する。

変動ケースに対する線量評価結果は、包括的技術報告書で設定した線量めやす値と比較しても十分低いことを定量的に示しているが、その解釈については誤解を与えないようにする必要がある。例えば、変動ケースにおける緩衝材の実効拡散係数の変動が線量評価結果へ及ぼす影響は小さく、これによって地層処分システムの頑健性を示すことになるが、これは緩衝材の低拡散性が不必要ということではない。

稀頻度事象シナリオについての解析結果が1～20mSv以下になったことから、“安全確保について頑健性がある”と説明されているが、これは誤解を招く可能性がある。例えば、火山が処分場に直撃しても安全性が確保されると曲解され、解析全体の信頼性について疑念を抱かせる可能性すらある。頑健性の意味をより明確にするとともに、ここで対象としている事象はサイト選定で回避することが大前提であり、発生可能性は極めて低いものの、あえてそれを想定した解析であること、比較基準とした線量めやす値は影響の大きさに発生可能性の重みづけを含めた事業者としての目標値であること、長期にわたって稀頻度事象の影響を最小化すべく今後も頑健なシステム構築に向けて努めること、などの点について、丁寧な説明が必要である。これは人間侵入の結果のまとめのところでも同じことが言える。

既往の安全評価との比較

レビュー委員会は、包括的技術報告書における閉鎖後長期の安全評価が、第2次取りまとめや第2次TRUレポートを技術基盤として、最新の研究開発成果や科学技術の進展を反映しつつ、核種移行解析とこれに基づく線量評価を更新したことを高く評価する。一方、包括的技術報告書で示された線量評価結果は、これら基盤となった既往の結果に比べて明らかな相違が見られる。特に、ガラス固化体を対象とした基本シナリオに対する線量評価では、第2次取りまとめにおける支配核種がCs-135であるのに対し、包括的技術報告書では、Se-79（深成岩）、I-129（新第三紀堆積岩 低Cl⁻濃度地下水）、U-233（新第三紀堆積岩 高Cl⁻濃度地下水）といった核種が支配的とな

っていることは特筆すべき相違である。また、いずれの場合の基本シナリオについても線量の最大値の現れる時期についても違いがみられる。レビュー委員会は、既往の安全評価との相違点について、これらの相違が何に起因しているのかを分析し、既往の評価からの変更点や関連する不確実性について整理することを推奨する。

段階的なサイト選定に向けた安全評価

包括的技術報告書はセーフティケースの基本形として位置付けられており、サイトが特定されていない現状に基づいて、地質環境の調査・評価、処分場の設計、安全評価の見通しが議論されている。今後サイトが特定されれば、包括的技術報告書に示された基盤情報や評価技術を用いて安全評価を進めることになるが、段階的な調査によって詳細化される情報に応じてどのように安全評価を進めるのか、各調査段階で得られる情報の質、量、不確実性の大きさなどを踏まえどの程度の安全評価が達成可能なのか、地質環境調査や工学設計と連携しどのように安全性の最適化を図っていくのか、などについては今後更なる検討が必要である。

また、包括的技術報告書に示された線量評価結果は、現時点で利用可能な情報に基づき、いずれのシナリオも線量めやす値を下回る結果となっている。このことから、現時点で地層処分の安全性を覆すプロセスや自然現象が存在する可能性は極めて低いと考えられるが、この評価結果を拠り所として地層処分の安全性の論証が成立した訳ではなく、むしろ今後のセーフティケースの信頼性向上に向け、さらに強化すべき安全機能に関する理解を深め、安全性に寄与するプロセスやパラメータを特定し、不確実性の低減・最小化に向けた課題を明らかにする必要がある。

以上の点を整理し、今後のサイト選定における安全評価の役割を踏まえ、安全評価のコアメッセージをより明確に記述することを推奨する。

4. セーフティケースとしての信頼性

4.1 レビューの概要

レビュー委員会では、包括的技術報告書第7章に記載された「セーフティケースとしての信頼性」について、本報告書の第1章で示した「セーフティケース全体としての妥当性」に係るレビューの視点を具体化して、以下の視点から詳細な技術レビューを実施した。

- ・ 文脈の一貫性：セーフティケースに対して設定されている安全確保の基本的考え方（第2章）に基づき、各章が一貫して展開されており、各章の結論を受けて第7章においてセーフティケースとしての包括的な結論が適切に導かれる構成になっているか。
- ・ 内容の妥当性：第2次取りまとめ、第2次 TRU レポートからの進展および相違点が評価され、その技術的根拠が明示されているか。また、わが国の特徴や状況を考慮し、現時点で作成するセーフティケースとして求められる事項に対して重要な項目の抜け落ちはないか。さらに、サイト特定後におけるセーフティケースの基本形としての適用性が明示されているか。
- ・ 課題の認識：サイトに依存しない普遍的な項目とサイトスペシフィックな項目の区別が明確で、今後実施すべき研究開発が整理されているか。
- ・ 国内外における整合性：包括的技術報告書作成の意図が、国の最終処分に関する基本方針と整合がとれているか。また、国際的な基準、外国の類似した先行事例との整合がとれているか。さらに、専門用語は国際的な定義と整合がとれており、その意味合いが正しく理解できる日本語表示となっているか。
- ・ 報告書としての完結性：包括的技術報告書の主要な結論は、明瞭で分かりやすく本編に示されているか。また、それらを導いた多面的な根拠の追跡性・客観性があるか。

レビュー委員会では、これらの観点からセーフティケースとしての信頼性について各委員から提出された意見をもとに論点を整理し、「現段階でのセーフティケースとしての信頼性」および「サイト特定後¹のセーフティケースの基本形としての妥当性」、さらに、サイトが特定されるまでの間の課題やサイトが特定された段階も見通した長期的な観点での研究開発について「次の段階までの課題と研究開発」としてレビューの結果を取りまとめた。

レビューの総合的な所見は以下の通りである。

- レビュー委員会は、包括的技術報告書が文脈の一貫性を持ってセーフティケースの包括的な結論を適切に導びく構成となっていること、また、わが国の地質学的な特徴や社会的な状況を考慮し、現時点で作成するセーフティケースとして求められる事項に対して重要な項目の抜け落ちはないことを確認した。さらに、包括的技術報告書が、わが国の最終処分に関する基本方針と整合しており、国際的な基準や外国の類似した先行事例を参考にしていること、

¹ 文献調査地区を含め、具体的なサイトが特定された段階以降を指す。

また、専門用語は国際的な定義と矛盾なく地層処分の専門家に理解できる日本語表示となっていること、加えて、包括的技術報告書の主要な結論は、明瞭に示され、それを導いた多面的な論拠についても、付属書を活用しながら追跡性・客観性を概ね確保していること、サイトに依存しない普遍的な項目とサイトスペシフィックな項目の区別を明確にしているとともに、今後実施すべき研究開発が概ね整理されていることを確認した。

- レビュー委員会は、上述の確認を経て、包括的技術報告書が、多様なサイト環境条件を考慮して、「現段階でのセーフティケースとしての信頼性」を確保しており、「サイト特定後のセーフティケースの基本形としての妥当性」を有していることに同意する。さらに、今後のセーフティケースとしての信頼性の段階的な向上に鑑み、長期的な観点での研究開発について、「次の段階までの課題と研究開発」が概ね整理されていることを認める。

4.2 現段階でのセーフティケースとしての信頼性

- ・ 包括的技術報告書は、現時点でのセーフティケースとして技術的信頼性を確保していることを5つの観点から、すなわち、1) 所要の安全機能を満たす処分場を構築する技術が備わっていること、2) わが国の地質環境に対する地層処分の安全性が確保できること、3) セーフティケースとしての信頼性が確保されていること、4) 信頼性向上に向けた今後の取り組みが明確になっていること、そして、5) サイト特定後に更新するセーフティケースについて包括的技術報告書がその基本形として活用できる可能性を有することをそれぞれ述べている。
- ・ それらの記述は、包括的技術報告書において、第2章において設定されている安全確保の基本的考え方に基づき、セーフティケースの評価基盤として、第3章から第6章までにおいて述べられた、地質環境モデル、処分場の設計・建設・操業技術および閉鎖前、閉鎖後の安全評価を要約している。そこでは、第2次取りまとめや第2次 TRU レポートからの進展、回収可能性の維持、および、今後の信頼性向上に向けた取り組みを含め改めて記述している。
- ・ また、包括的技術報告書では、わが国におけるサイト選定上の基本的な考え方が3段階のサイト調査と対応して示され、地質環境に求められる各要件がどの調査段階に対応するかが整理されている。さらに、サイト選定の要件・基準と安全機能に対する影響要因への基本的な対応方針として、最終処分法に定められた3つの調査段階に応じた選定要件（法定要件）および、科学的特性マップに示された好ましくない範囲と好ましい範囲を明らかにするための要件・基準に対し、NUMOとしての基本的な考え方が示されている。
- ・ 加えて、包括的技術報告書は、セーフティケースとしての信頼性の確保のための現状の取り組みについて、NUMOの品質マネジメントの適用による品質確保と不確実性への対処を述べている。さらに、処分システムの安全評価において、線量を指標とする評価に加え、その重要性が国際的にも指摘されている、ナチュラルアナログによる評価や、濃度、時間およびフラックスなどの補完的な指標による評価などを通じた多面的な検討も示している。セーフティケースの構築において、これらの多様な指標による評価は、長期にわたる地層処分事業において各マイルストーンで

次の段階に進むための意思決定の際に客観的かつ直観的な情報として利用できる可能性があり、地層処分の安全性をより確かなものとする意味でも好ましいアプローチである。

- ・レビュー委員会は、包括的技術報告書が文脈の一貫性を持ってセーフティケースの包括的な結論を適切に導びく構成となっていること、また、わが国の地質学的な特徴や社会的な状況を考慮し、現時点で作成するセーフティケースとして求められる事項に対して重要な項目の抜け落ちはないことを認める。
- ・さらに、レビュー委員会は、包括的技術報告書がわが国の最終処分に関する基本方針と整合しており、国際的な基準や外国の類似した先行事例を参考にしていること、また、専門用語は国際的な定義と矛盾なく地層処分の専門家に理解できる日本語表示となっていることを確認した。加えて、包括的技術報告書の主要な結論が明瞭に示され、それを導いた多面的な論拠についても、付属書を活用しながら、追跡性・客観性を概ね確保して示されていると認める。
- ・他方、地層処分に関連した専門家間でも異なる解釈をする論点に「長期」という言葉がある。「将来 10 万年程度を超えるような長期」という時間スケールがイメージしやすい記述がある一方で、「閉鎖後長期」、「長期間にわたり」、「地質環境の長期的な変化」など、時間スケールが漠然としている記述も多い。包括的技術報告書の一貫性の観点から、他の章と整合性を図りつつ、「長期」とはどの程度の期間スケールであるのかを読み手が理解しやすい記述とすることが望まれる。
- ・包括的技術報告書は地質環境モデルへの情報統合化技術の整備についても言及している。そこでは、地質環境調査において調査・評価のプロセスを繰り返すことで、断層や割れ目の存在など空間的に不均質な特性の分布の理解に関わる不確実性が段階的に減少することが確認されているとの記述がある。このような段階的に減少できる不確実性は、セーフティケースの信頼性向上においても重要なものであり、より高次の視点からの丁寧な記述を推奨する。
- ・地質環境モデルに付随する不確実性の対処については、地質環境モデルの設定に用いるデータについて、公開のデータベースを参照しつつ、設計や安全評価用の設定値の品質確保のための対処が示されている。レビュー委員会は、データの品質への取り扱いに加え、本データセットの作成に用いた参照する元データ、データセット作成のための処理過程に関する具体的な条件等の情報、処理後のデータについて、追跡性が確実に管理されることが重要と考える。
- ・セーフティケースの信頼性を示すうえで、NUMO は、サイトの適格性を判断するための基準として、法定要件および科学的特性の提示に係る要件・基準などを参照し、概要調査地区の選定に際して「適格性を判断するための基準となる考慮事項」を提示している。この考え方は重要な部分と考えられ、参照先のどこに該当するのかをより明瞭に記述することを推奨する。

- ・また、NUMO はセーフティケースの信頼性の観点から回収可能性についての考え方を明確に述べることを望まれる。
- ・線量評価を補完する濃度、時間、フラックスなどの補完的指標を用いる場合には、その意味や有効性を確認するとともに、濃度やフラックスを用いる場合には生活圏での関連パラメータとの関係についても丁寧に言及することが望まれる。

4.3 サイト特定後のセーフティケースの基本形としての妥当性

- ・包括的技術報告書では、サイト選定上の基本的な考え方が3段階のサイト調査と対応して示され、地質環境に求められる各要件がどの調査段階に対応するかが整理されることによって、段階毎のセーフティケースにおいてに含まれるべき内容案が示されている。これにより、レビュー委員会は、包括的技術報告書が多様なサイト環境条件を考慮して、サイト特定後のセーフティケースの基本形として活用することが可能といえるという結論に同意する。
- ・包括的技術報告書は、変動帯に位置するわが国の地質環境特性が時間的な変化を伴うことから、そのモデル化技術の整備が課題となっており、今後、地質環境特性の長期変遷のモデル化技術の信頼性向上を図るとしている。さらに、先新第三紀堆積岩類についての情報量が多いとは言えないことも指摘している。したがって、基本的な技術が整備されているとするまとめにおいては、これら課題を踏まえた記述を推奨する。
- ・NUMO は包括的技術報告書において今後の信頼性向上に取り組むべき課題を案として整理している。それぞれの課題がどのサイト調査段階までにクリアされているべきか、あるいはそうでないかを示した方がより目的や目標が明確になると考える。このことは、セーフティケースの更新をどのタイミングで行っていく必要があるかとも繋がっている。レビュー委員会は、まとめにおいて「セーフティケースに含めるべき項目が明確になっている」との記述には現状において飛躍があることも指摘する。
- ・セーフティケースの基本形と各段階でのセーフティケースの構築との関係をより丁寧に記述することを推奨する。たとえば、文献調査段階の「概略的な安全評価」はセーフティケースの基本形をどのように発展させるかなど、セーフティケースを構築する時点で得られている情報の質と量に応じて基本形をどのようにカスタマイズするのかについて考え方を示すことが重要となる。このような観点は、包括的技術報告書で示されているセーフティケースの基本形と各段階のセーフティケースの関係をより明確にすることに寄与するものと考えられる。

4.4 次の段階までの課題と今後の研究開発

- ・レビュー委員会は、包括的技術報告書において、サイトに依存しない普遍的な項目とサイトスペシフィックな項目の区別を明確にし、今後実施すべき研究開発が概ね整理されていることを認める。

- ・セーフティケースの信頼性向上は継続的に今後も行うべきことであり、NUMO は今後実施すべき研究開発を牽引する立場にある。そのためには、ジェネリックな観点からの項目とサイトスペシフィックな項目の区別を明確にするとともに、今後実施すべき研究課題を整理し、その研究開発計画を着実に推進する基盤を備えていることを明示する必要がある。また、サイトが特定された後に、そのサイトの適切な調査および評価による科学的特性に基づきセーフティケースが継続的に更新される必要がある。包括的技術報告書は、こうした方向性を考慮しつつ NUMO が現在までに取り組んだ技術基盤の整備の現状と今後の取り組みを意識した記述となっている。
- ・今後の課題として、サイトが絞り込まれる段階でのセーフティケースにおいて、現状では具体的に何が不足しているかを整理しておくことも重要である。そのような観点から、包括的技術報告書は、たとえば、瑞浪超深地層研究所および幌延深地層研究センターにおいて、深成岩および新第三紀堆積岩を対象に地質環境情報が体系的に取得されたのに対し、「科学的特性マップ」で好ましい特性が確認される可能性があり、かつ輸送面でも好ましいとされる、沿岸地域に分布する可能性のある付加体を構成する先新第三紀堆積岩類については地質環境情報が限定的で、モデル構築のために必要なデータを取得していく必要があることを認めている。レビュー委員会は、この認識が今後のセーフティケースの信頼性向上についての喫緊の課題であることに同意する。なお、施設を「沿岸海底下」とすることで生じる特有の問題があると考られることから、処分場の設計と工学技術の観点からも「沿岸海底下における処分施設の工学設計」を追加することを推奨する。
- ・包括的技術報告書は、基本スタンスとしてサイトに依存することは考慮しないとしているが、処分場閉鎖前までの安全性はサイトに独立なものとサイトに依存したものがある。たとえば、施設から敷地境界までの距離の確保はサイト依存だが、装置故障や火災などの異常シナリオの項目はサイトに独立した事象を含む。このような視点は、サイトが特定されていない現段階においても不確実性の整理に寄与する。NUMO がトンネルや鉱山などの開発の経験やそれらの事業よりも地層処分事業の操業期間が長期化することを考慮し、上述のような視点からサイトに独立なものとサイトに依存したものととの整理をすることは、セーフティケースの信頼性の向上において、今後より重要になると考える。
- ・一般に、地質環境モデル構築における不確実性への対処において、地質環境の調査・評価における不確実性は、サイトの地質環境条件やこれに応じて適用する測定手法などに依存する。現段階では、それらの相互の不確実性の度合いを一様に取り扱うことは困難であるとし、各検討対象母岩について保守性を考慮して代表的な特性値を設定している。セーフティケースの信頼性向上には、地質環境の調査・評価手法における不確実性への対処について検討していくことを推奨する。また、モデルや評価の信頼性の向上には、不確実性の属性を考慮し、不確実性自体の定量化に関する研究開発も引き続き必要となる。

- ・断層・割れ目を確率論的に発生させて構築した地質環境モデルは、地層処分への成立性を見通しを得るため、あるいは選定調査を次の段階に進めるための評価には適用可能であっても、最終的な安全評価のためには、その時点までの調査により、大きな断層・割れ目の位置と大きさ等は決定されていなければならない。また、最終的な安全評価に確率論的に発生させた断層・割れ目に基づくモデルを利用する場合でも、そのモデルを構築するためのデータの十分性およびモデルの安全評価に対する有効性を確認する必要がある。このような断層・割れ目の取り扱いは、今後、サイトにおいて構築した地質環境モデルを用いた安全評価の結果を踏まえたサイト選定を進めていく際に重要な視点となる。レビュー委員会は、包括的技術報告書がこれらを包含した内容になっていることに同意するものの、今後どのような調査により、断層・割れ目の分布に関する不確実性が段階的に低減されるかの見通しを示す記述の追加が望ましいと考える。

5. 総評

レビュー委員会は、NUMO が取りまとめた包括的技術報告書の記述内容の、サイトが特定されていない段階のセーフティケースとしての技術的信頼性についてレビューを行い、その結果を本レビュー報告書にまとめた。

包括的技術報告書では、第2次取りまとめおよび第2次 TRU レポート以降の地下研究所等における研究開発から得られた情報を基礎とした包括的な技術的成果をセーフティケースの形で取りまとめている。

包括的技術報告書において、NUMO は、適切なサイト選定に必要とされる地質環境情報を取得する技術基盤が整えられたこと、わが国における地下深部の特徴を反映した地質環境モデルが提示されたこと、所要の要求事項を満たす処分場を設計する技術基盤が整備されたこと、および処分場の閉鎖前と閉鎖後の安全評価を行うための技術基盤が整備されたことを今次の成果として述べている。

全体的にみて、包括的技術報告書は、サイト選定の前段階におけるセーフティケースとして科学的・技術的に十分なレベルの信頼性をもって示され、国際的な枠組みとも整合しており、NUMO は今後サイト選定を進めていく上で、各段階で行われるサイト特性調査と工学設計および安全評価に向けて、適切かつ十分な技術的能力と方法論を有しており技術的に信頼するに値するとレビュー委員会は認めるに至った。

特に、放射性廃棄物を長期にわたって隔離し、閉じ込めるために必要な地質環境条件を備えたサイトを選定するために、複数のプレートの収束境界に位置している日本列島の地質構造の特徴を反映した、わが国に固有の地質環境モデルを構築したことは、今後調査を進めて得られる地質環境情報を統合化して、これをもとに設計・建設と安全確保の見通しを得つつサイトを選定していこうとしている現段階において特筆に値する重要な成果である。

今回のレビューの結果が、包括的技術報告書の科学的・技術的信頼性の一層の向上に寄与することを願うとともに、包括的技術報告書の提示を契機に、国民各層の NUMO に対する信頼が醸成され、地層処分に関する議論が喚起されることを期待する。

なお、今後の展開については、このように技術的信頼に値する包括的技術報告書の内容の社会への周知の問題が気になるところである。この内容の社会への周知においては、包括的技術報告書の内容は、まず NUMO から地層処分の専門家に伝えられ、次に一般の科学技術者に伝えられ、次にメディア等を通じて一般公衆へと伝えられることになると思われる。

このような情報伝達について考える際には、まず、包括的技術報告書は、地層処分にある程度の知識のある専門家に対して書かれていることを認識しておく必要がある。その点、こうした報告書に求められる、追跡可能性と透明性の面からみると、追跡可能性については、全体が概要編、本編、付属書として構造化され、すべての参考文献が、下位情報へのリンクとして容易に検索できるようにされており、情報が膨大にならざるを得ないセーフティケースの文書化にとって、非常に効果的な対策が取り入れられている。また透明性についても、内容はセーフティケースの形で構造化されて論理的に明快な形とされている。したがって、地層処分の専門家にとっては、包括的技術報告書は十分な透明性と追跡可能性を備えている。

しかし、専門的な技術報告書の宿命として、地層処分の専門家にとって透明性のある文書だからと言って、地層処分の専門家以外の一般の科学技術者にも自動的に透明なものになるとは必ずしも限らないことも忘れてはならない。

セーフティケースにおける透明性とは、目的とする読者に、単に観察可能であるにとどまらず、明瞭で理解可能なように書かれている属性を言うが、この透明性の観点から言うと、包括的技術報告書は、地層処分コミュニティには十分通じるものとなっているが、一般的な科学技術コミュニティに通じるとは限らない。地層処分に近いと考えられる専門家の集まったレビュー委員会においてさえも、しばしば意見の一致を見ない議論があった。

これは、地層処分が非常に多岐にわたる、基盤とする方法論と専門用語を異にする技術分野の統合を必要とする技術システムであることに加えて、地層処分に特有の考え方があるからである。

例えば、廃棄物が「処分」により管理の手を離れたのち、受動的な状態、すなわち自然のなすがままの状態となり、長期に隔離され閉じこめられるようになるという考え方は、処分の専門家以外の多くには馴染みがないと思われる。

処分場閉鎖後の安全評価の考え方も一般には馴染みのない考え方である。地層処分システムの将来の状態や放射性核種の移行挙動は予測に基づく方法が唯一の手段なので、どうしても不確実性を伴うものとなり、完全な記述は本質的に不可能である。それにも関わらずこの不確実性を踏まえたうえで、システムの将来の状態を想定するシナリオを描き、それに沿って解析モデルを適用して被ばく線量を評価することは、安全評価の目的に対しては十分有効な方法であるとして、安全性を合理的に裏付けようとする。このような考え方は、地層処分の安全評価に特有のものである。

地質環境特性調査の段階的進展に応じて、モデルの詳細度と信頼度が向上することになるが、その程度は地質環境モデルを適用する処分場の設計と安全評価の有効性によって反復的に判断されることになる。また、地質環境特性調査の進展に応じて更新される地質環境モデルにより想定される地質環境の下で処分システム全体の成立性を見ながら処分場に求められる性能が見積られ、設計と建設の実現可能性が評価される。さらに、安全評価においては、各段階において想定される地質環境と処分場設計に対する安全確保の見通しの不確実性が低減される。このような地質環境調査、処分場設計、および安全評価の各領域間の相互補完的連携による段階的アプローチは、地層処分に特有のものである。

今後、この包括的技術報告書を用いて、地層処分の専門家以外の科学技術コミュニティやさらにはその他の人々とのコミュニケーションを進めていく場合には、上記のような地層処分に特徴的な考え方の説明が、特に地層処分には馴染みのない科学技術者に地層処分の理解を求める上で有効となるのではないかと思われる。

参考文献

- [1] OECD/NEA (2003), SAFIR 2: Belgian R&D Programme on the Deep Disposal of High-level and Long-lived Radioactive Waste, An International Peer Review, ISBN 92-64-18499-6.
- [2] OECD/NEA (2004), Safety of Disposal of Spent Fuel, HLW and Long-lived ILW in Switzerland, An International Peer Review of the Post-closure Radioactive Safety Assessment for Disposal in the Opalinus Clay of the Zürcher Weinland, ISBN 92-64-02063-2.
- [3] OECD/NEA (2006), Safety of Geological Disposal of High-level and Long-lived Radioactive Waste in France, An International Peer Review of the “Dossier 2005 Argile” Concerning Disposal in the Callovo-Oxfordian Formation, ISBN 92-64-02299-6.
- [4] OECD/NEA (2005), International Peer Reviews for Radioactive Waste Management, General Information and Guidelines, ISBN 92-64-01077-7.
- [5] WTO (世界貿易機構 : World Trade Organization) (1995), Agreement on Technical Barriers to Trade: TBT 協定.
- [6] OECD/NEA (2009), Considering Timescales in the Post-closure Safety of Geological Disposal of Radioactive Waste, OECD/NEA.
- [7] OECD/NEA (2012), Reversibility of Decision and Retrieval of Radioactive Waste –Considerations for National Geological Disposal Programmes-, ISBN 978-92-64-99169-9.

付 録

(一社) 日本原子力学会

NUMO 包括的技術報告書レビュー特別専門委員会名簿

(敬称略・五十音順)

委 員

幹事	天野 健治	日本原子力研究開発機構 核燃料・バックエンド研究開発部門 地層処分研究開発推進部 地質環境研究統合課 技術副主幹
	飯塚 敦	神戸大学 都市安全研究センター 教授
	井岡 聖一郎	弘前大学 地域戦略研究所 教授
幹事	市川 康明	岡山大学 中性子医療研究センター 特任教授
	小林 大志	京都大学 大学院工学研究科 原子核工学専攻 准教授
	下茂 道人	(公財) 深田地質研究所 常務理事・主席研究員
	武田 聖司	日本原子力研究開発機構 安全研究センター 環境安全研究ディビジョン 環境影響評価研究グループリーダー
主査	栢山 修	(公財) 原子力安全研究協会 技術顧問
幹事	半井 健一郎	広島大学 大学院工学研究科 社会基盤環境工学専攻 教授
幹事	新堀 雄一	東北大学 大学院工学研究科 量子エネルギー工学専攻 教授
	春名 匠	関西大学 化学生命工学部 教授
	廣野 哲朗	大阪大学 大学院理学研究科 准教授
	安江 健一	富山大学 学術研究部 都市デザイン学系 准教授
幹事	若杉 圭一郎	東海大学 工学部原子力工学科 教授

事 務 局

石川 博久	(公財) 原子力安全研究協会
立川 博一	(公財) 原子力安全研究協会
原田 亜紀	(公財) 原子力安全研究協会
増田 純男	(公財) 原子力安全研究協会

NUMO 包括的技術報告書レビュー特別専門委員会
活 動 経 緯

●第1回委員会

日 時：2018年12月27日（木） 13:30 ～ 17:30

議 題：（1）レビュー委員会の主旨説明
（2）NUMOによる包括的技術報告書の概略説明
（3）今後の審議の進め方

●第2回委員会

日 時：2019年1月29日（火） 13:30 ～ 17:30

議 題：（1）レビューコメントの検討（包括的技術報告書 第1章, 第2章）
（2）今後の審議の進め方

●第3回委員会

日 時：2019年2月28日（木） 13:30 ～ 17:30

議 題：（1）レビューコメントの検討（包括的技術報告書 第1章～第5章）
（2）今後のスケジュールについて

●第4回委員会

日 時：2019年3月15日（金） 13:30 ～ 17:30

議 題：（1）レビューコメントの検討（包括的技術報告書 第2章～第6章）
（2）今後のスケジュールについて

●第5回委員会

日 時：2019年4月23日（火） 13:30 ～ 17:30

議 題：（1）レビュー報告書の内容について（レビュー報告書 第1章, 2章）
（2）レビューコメントの検討（包括的技術報告書 第7章）

●第6回委員会

日 時：2019年5月21日（火） 13:30 ～ 17:30

議 題：（1）レビュー報告書の内容について
（2）原子力学会「秋の大会」企画セッションの提案書について

●第7回委員会

日 時：2019年7月23日（火） 13:30 ～ 17:30

議 題：（1）レビュー報告書の内容について
（2）原子力学会「秋の大会」企画セッションの予稿集について

●第8回委員会

日 時：2019年11月7日（木） 10:00 ～ 12:30

議 題：（1）レビュー報告書内容の最終確認
（2）原子力学会「秋の大会」総合講演における発表 報告

ワーキンググループ

- 第6章ワーキンググループ
日 時：2019年3月19日（火）13:30 ～ 16:40
- 第3章ワーキンググループ
日 時：2019年4月12日（金）14:00 ～ 17:00
- 第4・5章ワーキンググループ
日 時：2019年4月16日（火）14:00 ～ 16:00
- 第4・5章ワーキンググループ
日 時：2019年5月 7日（火）13:30 ～ 16:00
- 第6章ワーキンググループ
日 時：2019年5月15日（水）10:00 ～ 12:00
- 第3章ワーキンググループ
日 時：2019年8月 5日（月）13:30 ～ 16:00

幹事会

- 第1回幹事会
日 時：2019年6月25日（火）10:00 ～ 12:00

作業会

- 第4・5章作業会
日 時：2019年7月31日（水）9:30 ～ 12:30
- 第7章作業会
日 時：2019年8月 1日（木）13:30 ～ 16:00
- 第3・6章作業会
日 時：2019年8月 9日（金）13:00 ～ 16:30
- 第3・6章作業会
日 時：2019年9月 3日（火）13:00 ～ 16:30
- 第3章作業会
日 時：2019年10月 7日（月）13:00 ～ 14:30

日本原子力学会「2019年秋の大会」総合講演において活動状況の報告

日 時：2019年9月12日（木）

講演タイトル：「NUMO 包括的技術報告書レビュー特別専門委員会 活動状況」

NUMO 包括的技術報告書 (2018 年 11 月版)
参考文献の追跡性確認

(第2章)

該当箇所	文献番号	コメント
p.2-9, L7	10	NUMO TR-10-03 の文献に専有面積に関する記載がない。
p.2-12, L4	29	議論の状況として文献 29 が挙げられているが、これは NUMO の基本的考え方をまとめた資料でありここで引用する資料として適切かどうか。
p.2-13, L29	32	引用されている 32 番の文献には、地層処理事業が含まれないことがはっきり書かれていない。むしろ、環境省総合環境政策局環境影響評価課、「環境影響評価技術ガイド(放射性物質)」, 2015 年の文献(17 ページ)には、『環境影響評価法の対象となる廃棄物最終処分場は、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」に基づく処分場であり、放射性物質汚染対処特措法の基本方針に基づく指定廃棄物の処分場及び「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」に基づく最終処分施設は含まない。』と記載されている。

(第3章)

該当箇所	文献番号	コメント
p.3-3, L15	11	当該文献もタイムスケールに関するものではあるが、引用対象の記載はない。OECD/NEA(2009) “Considering Timescales in the Post-closure Safety of Geological Disposal of Radioactive Waste, NEA No. 6424.” が正しい。
p.3-23, L13	99	2017ではなく2018, 参考文献一覧は2018となっており正。
p.3-76, L20	212	当該文献に JAEA β-TDB (v1.07)があることを確認したが、その文献には、外部から直接アクセスできないのではないか。

(第4章)

該当箇所	文献番号	コメント
p.4-28, L8	22	オーバーパックの候補材料については下記の文献を推奨 PNC/TN8410 92-139 「オーバーパック候補材料選定と炭素鋼オーバーパックの寿命評価」
p.4-36, L11	52	当該文献が不明。文献著者、実施機関等の情報必要。
p.4-49, L18	75	文献の実施機関の情報の追加。電力中央研究所報告。
p.4-103, L3	—	道路構造令は参考文献を記述することを推奨。
p.4-141, L26	146	当該文献が公開資料として追跡できない。
p.4-144, L21	—	回収時の地下施設の分類を三つに分類しているが、参考文献を記述することを推奨。 たとえば原環センター(2018):高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業—可逆性・回収可能性・技術高度化開発
p.4-170, L24	149	誤字修正 変換→返還

(第5章)

該当箇所	文献番号	コメント
p.5-14, L25	109	「事例が報告されている。」との記載があるので、参考文献を付すことを推奨。
p.5-17, 脚注	15	脚注で引用されている河村ほかの文献は [16] である。
p.5-19, L24	17	参考文献 [5] では、TRU 等廃棄物のグループ 3 に関する発火温度が 202℃とされており、こちらの文献からの引用では 180℃との記載があり、整合性がない。

(第6章)

該当箇所	文献番号	コメント
p.6-10, L18	13	「日本原燃などから提供された放射能インベントリ [13] に対して」と記述するならば、参考文献 [13] は日本原燃のレポートが参照されるべきではないか？
p.6-13, L3-7	15	地層処分技術WGの報告書に、生活圏での移行に関する記述はない。別途参考文献が必要。
p.6-29, L30	—	最近の腐食に関する知見と記述するならば、その参考文献を記載することを推奨。
p.6-91, L23-25	66	水理公式集にあるのが砂の透水係数であればその旨注釈が必要。ひび割れのセメント系材料の透水係数は水理公式集に記述ない。
p.6-93, L16-17	70	使用された熱力学データベースは文献にあるが、JAEA公開データベースは最新版のみが掲載されているため、その点の注釈必要。
p.6-100, L12	84, 85	文献は、第2次取りまとめなど」のなどで読むとすれば第2次取りまとめも文献番号に加えることを推奨。
p.6-114, L23	90	地形分類は文献の表にあるが、元文献にさかのぼる必要がある。
p.6-158, L6	—	廃棄体1本あたりが有する潜在的放射性毒性について参考文献か注釈が必要。注釈は潜在的毒性の定義を注釈で述べているのみ。

(第7章)

該当箇所	文献番号	コメント
p.7-24, 脚注	22	脚注で引用している文献は温泉データベースのため、ここで引用すべきは [23] である。
p.7-27	24	ウランのRTIの値として、2.5Sv/Kgを示してはいない。
p.7-27	24	ウランの品位を示しているのみで、RTIの値として、 2.4×10^2 Sv/Kgを示してはいない。
p.7-28	19	引用文献は、以下の日本語版がよいのでは、 国立保健医療科学院 (2012) : 飲料水水質ガイドライン 第4版 (日本語版), ISBN 978-4-903997-06-3

NUMO 包括的技術報告書 (2018 年 11 月版)

誤字脱字確認

(第1章)

該当箇所	コメント
p.1-3, L16-17	「・・・べきこと」→「・・・べきであること」
p.1-9, 図 1.3-1	「assessmentincluding」→「assessment including」

(第2章)

該当箇所	コメント
p.2-2, L23	「これを以下に示す。」→「これらを以下に示す。」
p.2-5, L26	「約5%割り増し合計 19,018m ³ 」→「約5%割り増し, 合計 19,018m ³ 」
p.2-23, L24	「調整図り」→「調整を図り」

(第3章)

該当箇所	コメント
p.3-9, L26	「元素の不均質性な分布」→「元素の不均質な分布」
p.3-14, L12	地層処分に関する地域の科学的な特性の提示は→・・・提示で (提示は・・・ことが示され, では文章が繋がらない)
p.3-14, L21	三段階におけるサイト調査の→三段階の各段階におけるサイト調査
p.3-16, L7-8	安全評価を通じて特定された, 結果に対する影響度の大きな不確実性を低減させるために優先的に取得すべき → 安全評価を通じて, 結果に対する影響度が大きいと特定された不確実性を低減させるために, 優先的に取得すべき
p.3-16, L37	概要調査段階の段階において→概要調査段階において
p.3-74, L20	① ボールング→ ボーリング

(第4章)

該当箇所	コメント
p.4-7, L25	「示している」→「示されている」
p.4-7, L29	「ガラス固化体」→「総放射エネルギー」
p.4-9, L2	「発熱量, 放射エネルギー, 重量の」→「発熱量, 放射エネルギー, 重量などの」
p.4-14, L9	ガラス化固体 → ガラス固化体
p.4-19, L14-15	「廃棄体パッケージ」を説明する文に, まだ説明の終わっていない「廃棄体パッケージ」の語が含まれており, まぎらわしいため文章整理が必要。 →「廃棄物パッケージは, 金属製の容器に複数の廃棄体を内部充填材とともに, ...」
p.4-24, L21	「処分場を構成する要素」→「処分場の構成要素」 表 4.3-1 の表現との整合
p.4-42, L14	「解析ケースにおいてほかの・・・」→「解析ケースにおいて, ほかの・・・」
p.4-111, L27, 28	「入気」は場所を示していないので, 「入気坑」と記載すべきでは。
p.4-125, L33	「表 4.5-36」→「表 4.5-37」
p.4-142, L3	「放射性物質の放出を」→「放射性物質の漏えいを」
p.4-142, L32	「発熱性の廃棄体を仕切られた」→「発熱性の廃棄体とは仕切られた」
p.4-143, L9	「TRU等廃棄物の廃棄体の」→「 <u>廃棄体の</u> 」をトル, 「TRU等廃棄物の」
p.4-144, L3-2	「再度取り出す行為が」→「再取り出しする行為が」
p.4-151, L28	「地下施設の作業中の・・・」→「地下施設における作業中の・・・」
p.4-154, L14	「ペントナイトについては, 」→「ペントナイトについては, 」

(第5章)

該当箇所	コメント
p.5-6, L12	「ガラス固化体取り扱う数量」→「ガラス固化体を取り扱う」
p.5-8, L6	「ワイヤの破損した場合に」→「ワイヤが破損した場合に」
p.5-8, L13	L12とL13の間に1行挿入
p.5-9, L10	「フォークリフトで搬送車両する」→「フォークリフトで搬送する」
p.5-9, L22	「処分坑道まで搬送車両まで」→「搬送車両で処分坑道まで」
p.5-11, L21	(4)外部電源喪失 → (4)外部電源喪失に関するシナリオ
p.5-11, L32	「放射性物質が漏えいが検知」→「放射性物質の漏えいが検知」
p.5-12, L6-7	行を詰める。
p.5-15, L23	「飛散はなかったとされている。」→「飛散はなかった。」 実験結果を報告しているのであれば伝聞の文体はおかしい。
p.5-19, L6	「解析期間ガラス固化体」→「解析期間を通して」or「解析期間中」
p.5-21, L17	「外部電源喪失に伴い放射性廃棄物の」→「外部電源喪失に伴う放射性廃棄物の」
p.5-23, L8	「火災の延焼などに伴う」→「火災の延焼などに伴い」
p.5-23, L9	「熱的に損傷する条件よりも」→「熱的に損傷する条件の温度よりも」
p.5-24, L20	「泡消火剤を投入する出火後」→「泡消火剤を投入するも」or「泡消火剤を投入したが」
p.5-24, L28	「漏えいの検知したため」→「漏えいを検知したため」
p.5-24, L38	「高密度フォームを充填して」→「高密度フォームで充填して」
p.5-25, L12	「手順を改善する。」→「手順を改善した。」 他の書き方とあわせるならば。
p.5-25, L24	「~伴って放射性物質が施設周辺に」→「~伴う放射性物質の周辺施設に」
p.5-25, L25	「緩和策に反映した。」→「緩和策として反映した。」
p.5-25, L26	Recovery plan → Recovery Plan
p.5-27, L15	「放射線物質」→「放射性物質」
p.5-30, L29	JAEA（日本原子力研究開発機構）← 日本原子力研究開発機構 文献 [5] とあわせるならば。

(第6章)

該当箇所	コメント
p.6-8, L24	「貯蔵管理の期間後、最終処分とするため」→「貯蔵期間の期間後に最終処分とするため」
p.6-10, L9	「安全評価における着目している核種」→「安全評価において着目している核種」
p.6-13, L8	「生物圏におけるおける核種移行」→「生物圏における核種移行」
p.6-13, L10	「一か月」→「一ヶ月」
p.6-16, L1	「柔軟に対応し安全評価のための」→「柔軟に対応し、安全評価のための」
p.6-16, L2,3	L2とL3の間に1行挿入
p.6-19, L28	「SKBが2012年に行った・・・」との記載があるが、引用されている参考文献の出版年度は2011年になっている。
p.6-26, 図 6.3-1	・T4の期間における記述「温度場、水理場、応力場、化学場の変化を生ずる可能性」 →「変化が生ずる可能性」 ・T3の一番下のカラムの最後の一文「。」がない。 ・T2の一番下のカラムの箇条書きの最後「1ます下げ」
p.6-29, L31	「最近の腐食に関する知見に基づいて埋設後・・・」→「知見に基づくと埋設後・・・」
p.6-31, L3	「緩衝材中を鉱物への取着など」→「緩衝材中の鉱物への取着など」
p.6-39, 表 6.3-1	地震応答解析の概要部分「安定性を評価する」のあとに「。」がない。
p.6-40, 表 6.3-2	「確からしい状態」のカラムの一部、句読点「。」の位置が()の前についているのが2箇所ある。
p.6-42, L33	この「(」に対応するカッコがない

p.6-42, L37	「・・・が生ずるがこれら」→「・・・が生ずるが、これら」
p.6-43, L6	「変質が生じるが」→「変質を生じるが」
p.6-43, L22-23	「母岩が有する元の地下水への回復力」→「元の地下水水質への回復力」
p.6-43, L32	「TRU 廃棄物処分場」等 が抜けている。
p.6-44, 表 6.3-3	「・・・回復することに寄与。」→「・・・回復することに寄与する。」
p.6-46, L20	「アクセス坑道にあるいは」→「アクセス坑道あるいはそれらの・・・」
p.6-48, L21	「母岩中へへ散逸・・・」→「母岩中へ散逸・・・」
p.6-49, L7 (p.6-52, L11 も 同様)	「セメント成分によって高 pH の地下水が広がることによって・・・」 よってが2回続いたため、「セメント成分によって高 pH の地下水が広がることにより母 岩の一部が変質・・・」と修正することを推奨。
p.6-49, L16	「アクセス坑道に短絡にするような流れを生じ・・・」→「アクセス坑道を短絡にするよ うな」としても、文章の意味が不明。止水プラグが安全機能を維持しているのに、アク セス坑道を短絡にする流れが生じるのか？
p.6-49, L32 p.6-51, L34 p.6-52, L19-20 p.6-52, L34-35	「止水プラグは安全機能を維持しており、坑道や EDZ[が地下水の移行経路となり、これ を介した放射性核種の移行が抑制される。」 と修正したほうがわかりやすいのではないかと。
p.6-55, 表 6.3-4	グラウト材の不確実性を考慮した状態のカラム「, 」と「。」の位置が不適切。
p.6-57, L4	「隔離機能あるは閉じ込め」→「隔離機能あるいは閉じ込め」
p.6-58, L14	「T ₃ : 放射性・・・」→「T ₃ : 放射性・・・」
p.6-61, 表 6.3-6	・「最も発生可能性が高いと想定される状態」のカラムの、・の位置のずれ ・「核種移行解析上の取り扱いの考え方」の下から3つ目と2つ目のカラムのフォント サイズが違う
p.6-64, 表 6.3-8	表題にある T3 → T ₃
p.6-77, L30	「粒子追跡解」→「粒子追跡解析」
p.6-68, 表 6.3-10	「不確実性を考慮した状態」と「廃棄体パッケージ」のカラムで、箇条書きの体裁が途 中から異なっている。
p.6-84, L28	「多大の計算時間」→「多大な計算時間」
p.6-85, L14	「物質移動解析」→「物質移行解析」
p.6-93, L21	「さまざまな成分から成る間隙水」→「さまざまな成分を含む間隙水」 「活量補正を行うために必要な」→「活量補正を行うための必要な」
p.6-94, L2	「放射性物質」→「放射性核種」
p.6-100, L2	「基質へ物質移動や・・・」→「基質への物質移動や・・・」
p.6-129, L16	「最大値を抽出しこの値を」→「最大値を抽出し、この値を」
p.6-159, L26	「挙げられよる。」→「挙げられる。」
p.6-162, L29	「忠実に反映した、現実的な・・・」「忠実に反映し現実的な・・・」
p.6-166, L1	「力学的化学的」→「力学的, 化学的」
p.6-169, L18	「濃度の範囲において、線量計算を・・・」→「濃度の範囲において線量計算を・・・」
p.6-185, ※2	p.6-34 の脚注に、放射線学的プロセスは化学的なプロセス、ガスに関するプロセスは水 理学 or 力学的プロセスに含まるとの記述があり、整合がとれていない。
p.6-167, L5-6	「TRU 廃棄物を TRU, TRU 廃棄物グループを・・・」→「TRU 等廃棄物グループを Gr.・・・」
p.6-169, L32	「アクチニド」→「アクチノイド」(一貫性)

(第7章)

該当箇所	コメント
随所	「放射線影響」→「放射線学的影響」
p.7-3, L36	「進め方」→「進め方や」
p.7-11, L7	(2)のまとめにあたる内容なので、L7 と L8 の間に1行挿入
p.7-14, L31	「拡散係数といった核種移行」→「拡散係数といった核種移行」
p.7-21, L23,L39	参照先は 3.3.4 ではなく、3.3.3

p.7-25, L27	「閉じ込め機能を確保するといえる。」→「閉じ込め機能を維持するといえる。」
p.7-26, 図 7.3-1	存在割合を示した図中の低 Cl-の-が上付きになっていない。
p.7-27, L11	「核種移行解析から求まる」→「核種移行解析から求められる」
p.7-31, L36	(3) → (4)
p.7-34, L17	「形状などを反映が可能な」→「形状などの反映が可能な」
p.7-37, L31,L32	「データの拡充を実施する。」→「データを拡充する。」 or 「データの拡充を図る。」
p.7-38, L7	「深部流体などの存在などに係る」→ どちらかの「など」を削除
p.7-39, L10	「情報の追跡性, 取り出し容易性」→「情報の追跡性と取り出し容易性」
p.7-43, L7	「放射性毒性の比較付属書」→ 最後の「付属書」を削除

参考資料：委員コメント

NUMO 包括的技術報告書「わが国における安全な地層処分の実現
 ー適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築ー」レビューへのコメント

天野 健治（日本原子力研究開発機構）

No.	該当箇所	コメント・質問
1	p.1-1, L26	JAEA の課題であり、「国および JAEA をはじめとした関係研究機関」の課題ではないのではないのでしょうか(JAEA の課題として記載する場合、「地層処分技術の信頼性向上」は正しくは、「工学技術の信頼性向上」であり、修正されたい)。
2	p.1-3, 5 放射性廃棄物 WGr	本ワーキンググループに関連する「沿岸海底下等における地層処分の技術的課題に関する研究会」の経緯・結果を含まなくても良いのでしょうか。
3	p.1-8, 12 本報告書のねらい	このような表現を用いるのであれば、本報告書のねらいが更に前段において記載されている必要があるのではないのでしょうか。
4	p.1-8, L13 サイトの特性調査段階以降	時間的に先に直面するはずである「サイト選定」より、「サイト調査段階後」が先行的に取り上げられた理由は何でしょうか。本取りまとめ後のアクティビティも含め、より丁寧に説明すべきではないのでしょうか。概要調査や精密調査で用いられる技術確認・課題抽出の方が、本取りまとめより重要かつ難しいのではないのでしょうか。
5	p.1-10, L13 文書の作成	具体的に提示すべきではないのでしょうか。
6	p.2-2, L23	「これら」ではないのでしょうか。
7	p.2-3, L17 極めて	何に対して？
8	p.2-4, 1,5,8 比較的	何に対して？
9	p.2-25, L25	なぜ約5%なのでしょう。不確実性の幅として、十分の値でしょうか？
10	p.2-25, L30	「併置処分は単独処分の場合を包含できると考えられるため」は、わかりにくい表現とされます。
11	p.2-6, L1	「事実」には、第2次とりまとめなどの引用が必要ではないのでしょうか。
12	p.2-6, L10	「各国で取り入れられており」、「最終処分基本方針」の箇所には引用が必要ではないのでしょうか。
13	p.2-9, L33	「数十年から数百年程度と想定」とあるが、フィンランドにおける緩衝材飽和期間に関する最新の動向について調査されたい(～10,000年の超長期の可能性について議論されていたのでは)。
14	p.2-10, L12	AIST 高橋氏の最近の研究では、東北日本で300万年前から東西圧縮に変わったメカニズムがフィリピン海プレートと太平洋プレートとの関係から論じられています。大局的には、間違っていないかも知れませんが、一概に断定することも難しいため、表現に注意が必要と考えられます。
15	p.2-17, L27	「以下のような空間スケールの地質環境モデルが必要となる」と記載があるが、人工バリアと天然バリアの所掌範囲が、理解しにくいように思います。図解などにより、わかりやすく説明したほうが良いと考えます。
16	p.2-24, L27	「重要な」部分は、「重要かつ蓋然性の高い」では？
17	p.2-30, L30	「RMS を開発している」の記載があるが、セーフティケースの全体的なネットワーク構造を俯瞰的に理解するためにも、現状版を確認できる状況にして頂きたいと思います。
18	第3章 全体	膨大な国内の地質環境情報を精査し、より現実的な地質環境モデルの構築例を提示した事は、第2次取りまとめ以降に培われてきた本分野での技術レベルの着実な向上・

No.	該当箇所	コメント・質問
		進展を意味しており、大きく評価したいと思います。一方、本章に示される地質環境モデルから導かれる結果が、如何に安全機能やセーフティケースに関連しているのか、工夫を尽くす余地が残されている感があります。後段の安全評価の章に委ねる形になっていますが、セーフティケースを構成する主張群(claims)の全体像を提示した上で、どのデータやモデルがどの主張に寄与するのか、一覧的に可視化することにより、アウトプットの信頼性が格段に高まるのではないのでしょうか。特に、施設設計や安全評価の基盤になる地質環境特性は、膨大な量のデータに加えて、品質確保と不確実性評価も一体的に扱わなければならない、情報爆発に耐えうる共通インフラの整備が不可欠と考えられます。開発中の RMS(要件管理システム)が、それに応えるような技術のコアになるのではと推察しますが、本報告書では概要の紹介(2.5.3)に留まっており、今後の本格的な取り組みに期待します。
19	p.3-1, 3.1.1全体	閉鎖前ならびに閉鎖後長期の安全確保にかかわる要件・条件はともに、総合資源エネルギー調査会に定められたものを引用する形で設定されているが、海外で現在進められている地層処分事業(計画)と比較して、これらが同様なのか、日本独自に違う点があるのでしょうか。
20	p.3-3, L10-11	「地下深部の地質環境特性は長期にわたって緩慢に変化するものの、突発的あるいは急激に変化する可能性は小さいと考えられる。」とする主張に対する技術的根拠が必要ではないか。
21	p.3-3, L13-15	「放射性核種の壊変による廃棄体の危険性の低減を期待する将万年程度を超えるような長期間において、地質環境に期待される放射性物質の溶出・移行抑制機能が低減あるいは喪失する可能性は極めて小さい。」とする引用文献11(NEA No.4435)中の該当箇所を教えて欲しい。
22	p.3-5, L9-11	「日本列島の原形は日本海、千島海盆、四国海盆などの縁海とともに3,000~1500万年前頃に形成され、それ以降のプレートの沈み込みはほぼ定位置で継続し、200万年前頃には各プレートの運動方向がほぼ現在と同様になったと考えられている。」とする主張には、技術的根拠(引用)が必要ではないか。
23	p.3-10, L4	「基本的な考え方」の主体は誰になるのでしょうか。NUMO か、それとも他者の考え方なのでしょうか。
24	p.3-10, L20	実際に「変化の幅を定量化」した事例はあるのでしょうか。あるのであれば、引用文献として示す必要があると思います。
25	p.3-10, L31	確率論に限定する必要があるのでしょうか。発生頻度に関する情報量が十分に得られない場合は、どのように評価することになるのでしょうか。
26	p.3-14, L7	「実証」という用語は、引用文献に記載されているのでしょうか。
27	p.3-17, L1-13	地質データで除外する印象を受けます。地震データの活用についても、触れても良いのではないのでしょうか。
28	p.3-20, L11-12	リモートセンシングや GPS 調査は含めなくて良いのではないのでしょうか。
29	p.3-20, (c)全体	地質以外の専門家には理解が難しい専門用語(撓曲、断層ジョグ、インバージョンテクトニクス)が多く、必要に応じて用語集などで説明した方が良いのではないのでしょうか。
30	p.3-20, L33-34	調査項目として、リモートセンシングや GPS 調査などの技術も入れた方が良いのではないのでしょうか。
31	p.3-22, L7-11	地質情報の不確実性に柔軟に対応する姿勢が見え、好感が持てます。当該部分の文章と同じように、前段階(概要調査)モデルの妥当性が確認できない場合の対応についても記述されると NUMO の広範な技術力を示すことにつながると思います。

No.	該当箇所	コメント・質問
32	p.3-24, L35	「産総研や電中研が主体となった」は正確な表現でしょうか。
33	p.3-28, 表 3.2-3 (水理場)	「透水量係数 $<10^{-8}$ m ² /s の水みちを対象とした技術の高度化が課題」としているが、先行するフィンランドやスウェーデンでも同様な認識でしょうか。また、本技術が整備されたとして、どの程度、モデルの信頼性が向上するのでしょうか。
34	p.3-31, L3-12	「検討対象母岩」が実在するものでないことを端的に読者に理解してもらうために、“仮想”というキーワードを該当段落の中に入れてはどうでしょうか。
35	p.3-32, L34	「平均値および中央値の幅」は、非対称な分布の代表値を示す際にコンセンサスを得た方法なのでしょうか。
36	p.3-34, L1	「以上の類型化の結果を踏まえ」は、具体的には深部の分布面積の多い3タイプを選んだことを意図するのでしょうか。
37	p.3-34~37, 3.3.3 地下 深部の特徴 を考慮した 地質環境モ デルの構築 全体	・海岸線の考え方、取り扱い方が明確に記述されていません。地理的には、海岸線から離れた所(いわゆる内陸地域)、海岸線から近い所(いわゆる沿岸地域)に二分されると考えられますが、本報告書は、その内の沿岸を主な対象としているということでしょうか。 ・図3.3-2~図3.3-4は規模間がわからないため、スケール(概略でも良い)を入れた方が良いと考えます。
38	p.3-35, L4	「一般に」は、どの程度の割合・程度を指すのでしょうか。後述の新第三紀堆積岩類と同じように、何箇所の地域を調査調べ、導かれたのか、具体的に記述した方が良いと思います。
39	p.3-35, L11	「~共通するものである」とする主張には、引用文献があった方が良いと思います。
40	p.3-35,	一般的な水理特性が述べられているが、教科書等を引用文献として参照した方が良いと思います。
41	p.3-35, L27	「一般に」は、どの程度の割合・程度を指すのでしょうか。褶曲構造が無い新第三紀堆積岩類も相当数あるように思います。もし、根拠が無いのであれば、「一例として」の方が適当ではないでしょうか。
42	p.3-41, L2-4	「先新第三紀堆積岩類については、処分場スケールにおける水理地質構造モデルに設定した透水係数および水みちの一次元密度を考慮し、地下深部における透水量係数分布を設定した」には、附属書もしくは引用文献の参照があった方が良いと思います。
43	p.3-43, 図3.3-9	図中の長さ1~10km の断層は、長さ10km以上の断層を切断しているのでしょうか。花崗岩中の亀裂は、基本的に小さいものが大きいものを切断することがないため、もし切断しているようにモデル化されているのであれば、何らかの説明や解釈が必要と考えられます。
44	p.3-71, L18-26	現状で利用可能なデータが無いため、釜石のデータが用いられていると推察されますが、安全評価上重要なパラメータとなる Flow wetted surface に関しては、スウェーデンやフィンランドでの調査において用いられているような解析的な方法により、推定されても良かったと思います。
45	p.3-74, L1-4	本報告書の目的の一つである「~サイトを調査・評価するための技術を示す(p.1-7)」観点に立てば、コロイド、有機物、微生物のデータを単に難しいからといった理由で排除するのではなく、これらのデータが有る場合、無い場合で安全評価の結果等がどの程度異なってくるのか(どの程度のインパクトがあるのか)を知る方法として、むしろ積極的に活用して頂きたかったと思います。
46	p.3-76, (iii)	モデル水質はどの深度でどのように表現されるのでしょうか。概念的でも良いので図示

No.	該当箇所	コメント・質問
		して頂きたいと思います。
47	p.3-77, (6)	各代表値(平均値, 中央値)の算出の際に, 深度は考慮されているのでしょうか。集約された実データを深度方向で図示するとともに, 代表値がどこになるかをわかりやすく提示していただければ, 技術的により良い報告書になると思います
48	p.3-78, 表3-3-17	技術的信頼性の観点から, 統計値の算出に用いたトータルデータのデータ数を示した方が良いと思います。
49	p.7-2, L3 ~ p.7-3, L1	文中の「回避」は, 断定的過ぎる表現ではないでしょうか。現状の科学技術レベルでは, 「過去から現在までにそれらの事象の発生が無いことが確認されるとともに, 将来にわたっても発生する可能性が低いと判断される」等の表現になるのではないのでしょうか。「安定である」についても, 「安定的に存在する可能性が高い」とすべきではないでしょうか。
50	p.7-5, L25	上記コメントと同じ理由により, 「回避」よりも「可能な限り回避」の方が好ましい表現と考えられます。
51	p.7-6, L10~11	「～地質環境モデルとして解釈・統合するための技術基盤を整えていることを示している。」とあるが, 2.2.5で説明されているように, 今回の地質環境モデルに, 隆起・侵食を含む地形や地質構造の長期的変化, 気候・海水準変動などの情報は設定されていない旨を前提条件として明示しておくべきではないでしょうか。

NUMO 包括的技術報告書「わが国における安全な地層処分の実現
 ー適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築ー」レビュー版へのコメント
 飯塚 敦(神戸大学)

No.	該当箇所	コメント・質問
1	p.4-2, 表4.1-1	「閉鎖前の安全性」に欄に「災害の発生・拡大の防止」とある。この災害には地震などの自然災害が含まれていないと思われる。 1. 一般に「災害」と書くと、地震などの自然災害も含むものとなる。誤解をまねかないように、記載を注意しなければならない。 2. 「閉鎖前の安全性」と「閉鎖後長期の安全性」において、「自然災害からの防護」もしくは「自然災害からの減災」を加えておくべきと考える。「閉鎖後長期の安全性」において「自然現象の著しい影響からの防護」に自然災害も含まれているとするのかもしれないが、自然災害と自然環境変化とは区別しておく方が良いと考えられるからである。
2	p.4-2, L18 から p.4-3, L6	性能設計の考え方に基づいた手順が述べられていると考えられるが、より明確に性能設計とわかるように書き改めねばならない。WTO-TBT 協定の締結(1995)によって、technical regulations は、すべからず性能設計でなければならないのであって、セーフティケースに technical regulations が含まれるのであれば、それは性能設計(product requirements in terms of performance)でなければならない(Article2.8)。
3	p.4-21, L11 および 表 4.2-6	「各種力学的特性を設定した」とあるが、現場の力学的特性は、その現場における原位置およびサンプリングによる室内土質調査・試験、物理試験などによって設定されねばならないものであり、予め与えられるものではない。ここでは、3つの岩種が取り上げられ、過去の調査・試験データから決定論的に数値が与えられているが、元の調査・実験データは、このように決定論的に数値を確定できるほどの唯一性は見られず、幅広くばらついている。現場調査を十分に行わず、表4.2-6が「既知」として、独り歩きすることを強く懸念する。岩種の分類にとどまらず、現場の力学的特性を調査・試験から十分に信頼できる精度で決定しなければならない。このことを明記すべきである。なお、p.4-22・22および表4.2-7にある「透水係数の設定」についても同様である。
4	p.4-22, L22 および 表4.2-7	「透水係数」の設定も、上記3での指摘と同様である。
5	p.4-29, L9 および 表4.4-3	表4.4-3に示されている値は、代表値として意味があるが、実際の設計時には、最新の信頼できる知見によって更新されねばならない。このことを明記しておくべきである。
6	p.4-38, L17	「圧縮されたベントナイト」よりも「締固められたベントナイト」の方が適切な表現と思われる。以下の本文中で、同じ表現においても、同様である。
7	p.4-38, L20	「クニゲル V1を緩衝材の材料に選定し仕様を設定する」は「クニゲル V1を緩衝材の材料に選定し、設計要件を満たすように設定例を示す」とすべきである。 理由:(1)性能設計法に準拠していることを明確にし、将来、より良い材料を得たときに、その選定の検討を可能としておくため。(2)以下の本文で、詳細な仕様が述べられているが、ここでの仕様はあくまでも設計要件を満足する一例であるから、設定例とすべきである。
8	p.4-38, L33	「Ca 型化についてまとめると」は「Ca 型化についてまとめた一例を示すと」とすべきである。
9	p.4-38, L34	「図4.4-10のようにあわせる」の後に、「実際の設計においては、以下に示す具体的手順例のように、信頼できるデータに基づき、仕様の確定作業を行わねばならない」

No.	該当箇所	コメント・質問
		を加えるべきである。この報告書に示されている数値が独り歩きすることを防ぐのと同時に、将来に、より良く信頼できる材料などが現れたときに、その選定を検討できるようにしておかねばならない。
10	p.4-41, L15	「評価を行う」ではなく、「評価を行わねばならない」とすべきである。
11	p.4-43, L3	「地震応答解析を実施して検討した」ではなく、「地震応答解析を実施して検討する」と現在形で記述し、検討すべき項目であることを明確にすべきである。
12	p.4-46, L3	「人工バリアの仕様を図4.4-18に示す」ではなく、「人工バリアの仕様は図4.4-18となる」とした方が、「設計要件から仕様が決められた」というプロセスを明確にできる。
13	p.4-46, L25	「図4.4-19に示す」ではなく、「図4.4-19に例示する」とした方が良い。
14	p.4-56, L4	「圧縮されたベントナイト」よりも「締固められたベントナイト」の方が適切な表現と思われる。以下の本文中で、同じ表現においても、同様である。
15	p.4-56, L20	「成立範囲を示した」ではなく、「成立範囲を例示する」とすべきである。設計要件から仕様が決められるプロセスを明確化すべきであるから。なお、将来に、設計要件を満たすより良い仕様が見出されたとき、その選定を検討できるようにしておくべきである。
16	p.4-57, L14	「評価を行った。これらの評価の詳細を付議書4-28に示す」ではなく、「評価を行わねばならない。これらの評価の事例を付議書4-28に示す」とすべきである。付議書4-28が何ら疑問を持たずに採用されねばならない内容であると固定化されることを防ぐためである。内容の固定化は将来のイノベーションを阻害する。
17	p.4-59, L4	「図4.4-25に示す」ではなく、「図4.4-25に例示する」とすべきである。設計因子もしくは設計要件を満足する一例にすぎず、将来、より良い技術の出現によって、より良い仕様が規定できることを阻害しないため。
18	p.4-65, L5	「図4.5-1に示したように」は、「ここでは、図4.5-1に示したように」とすべきであると考えられる。図4.5-1に示される設計フローは、現時点で推奨される一例であると考えられるから。
19	p.4-65, L8	「設計することとなる」ではなく、「設計しなければならない」とすべきと考える。
20	p.4-65, L13	「深成岩類に対しては、応力異方性はないものとして取り扱う」とあるが、その根拠が不明である。また、応力異方性に関しては、初期応力異方性と応力変化の異方性など、この言葉が持つ意味は小さくない。まず、どのような「応力異方性」を意味しているのか明確にしなければならない。一般に、初期応力異方性がある材料は、強度や剛性に異方性を持つ。
21	p.4-66, L5-6	「このため設計対応の必要はない」は不要である。設計対応が必要かどうかは、ここでの例示では必要がないのであって、すべてに言えるとは限らないためである。
22	p.4-81, L8	「低透水性を確保する」は「低透水性を確保しなければならない」とすべきである。低透水性は満足しなければならない設計要件と考えられるからである。
23	p.4-85, L5	「設計要件を充足する材料仕様の成立範囲を検討する」は「設計要件を充足する材料仕様の成立範囲を検討しなければならない」とすべきである。
24	p.4-85, L15	「粘土プラグとし、透水係数」は「粘土プラグとし、一例として、透水係数」とすべきである。ここに示される透水係数は仕様であって、設計要件ではないからである。
25	p.4-86, L6	「地質環境モデルを対象として実施する」は「地質環境モデルを対象として実施しなければならない」とすべきである。
26	p.4-87, L20	「地下施設設置可能領域の設計」は「ここでの地下施設設置可能領域の設計」とすべきである。設計事例であることを明確化するためである。
27	p.4-93, L20	「処分区画の形状を図4.5-18に示す」は「処分区画の形状の一例を図4.5-18に示す」

No.	該当箇所	コメント・質問
		とすべきである。
28	p.4-96, L9	「自然流下させることが効果的である」は「自然流下させることが効果的であると考えた」とすべきである。
29	p.4-117, L22	「1台必要である」は「1台必要との試算結果を得た」とすべきである。試算であること明確にすべきである。
30	p.4-117, L26	「縦置き・ブロック方式の処分場のほうが多く必要となる」は「縦置き・ブロック方式の処分場のほうが多く必要となった」と過去形で結ぶ方が、試算の結果であることを明確にできる。
31	p.4-118, L10-11	「冷房設備が不要となった」は「冷房設備が不要との試算結果となった」とした方が、試算の結果であることを明確にできる。
32	p.44-119, L14	「排水に必要な設備を設計する」は「排水に必要な設備を設計しなければならない」とすべきである。
33	p.4-125, L33	「表4.5-36」ではなく、「表4.5-37」が正しいのではないかと？
34	p.4-131, L9	「受入・検査・封入施設を対象として設計する」ではなく、「受入・検査・封入施設を対象として設計例を示す」とすべきと考える。

NUMO 包括的技術報告書「わが国における安全な地層処分の実現
 ー適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築ー」レビュー版へのコメント
 井岡 聖一郎（弘前大学）

No.	該当箇所	コメント・質問
1	p.1-1, L16	ここで使用されている「安定な」の意味は？ 1-2 L14 では、変動帯の対になる「安定した地質環境」と使用されていると考えますが、1-1 L16 における「安定な」の意味がよくわかりません
2	p.1-7, 14 図1.3-2	「安全な地層処分を実現するための方法」とありますが、まだ地層処分の安全性は、実証されておらず、その結果、方法論は確立されていないと考えます。そのため、「安全な地層処分を実現するために必要と考えられる方法」の文言になるのではないのでしょうか。
3	p.1-8, L13	「ねらいと整合」とありますが、この「ねらい」は本報告書の目的でしょうか？
4	p.1-8, L21	「安全戦略」とありますが、第2章では「安全確保の基本的考え方」とあります。「安全確保の基本的考え方」で統一した方が良いでしょうと思います。
5	p.1-11, L24	第1章だけでなく、他の章においても「母岩」、「天然の岩盤」、「岩盤」との用語が使用されています。英語は同じでしょうか？どのように使い分けされているのでしょうか？
6	p.2-1, L31	「50年間程貯蔵」とありますが、「50年間程地上で貯蔵」の文言の方が良いと思います。
7	p.2-2, L30	「日本原燃の再処理工場…検討を実施する」とありますが、現在日本原燃の再処理行程は大幅に遅れております。その日本原燃の現状も記載し、さらにそのような現状でも、日本原燃の仕様を設定することを記載しておいた方が良いでしょうと思います。
8	p.2-5, L22	「…などに依存する」とありますが、現状、どれくらいの発電量で何本発生するかの値くらいは提示しておいた方が良いでしょうと思います。
9	p.2-16, L5	「物理探査やボーリング調査」とありますが、ボーリング深度や調査密度はどれほどでしょうか？「具体的には」と文言があるのでもう少し具体的であるべきだと考えます。
10	p.2-19, L12	「著しい隆起…除外せずに活用することとする」の文章の意味が理解できない。なぜ、除外しないのでしょうか？これは、広域スケールでしょうか？
11	p.2-19, L23	「約15°C/100m」の地温勾配は、どの深度での地温勾配を指しているのでしょうか？それとも、地温勾配は全深度一定と仮定されているのでしょうか？
12	p.2-21, L15	「精密調査段階後半で…実証試験」とありますが、図2.2-1にそのような記載はありません。その部分に上記の内容が包含されているのでしょうか？
13	p.2-23, L35	「具体化する段階にない」とありますが、そのロジックが理解できません。
14	p.2-23, L36	「サイト選定の進展にあわせて」とありますが、具体的に記載できないものでしょうか？
15	p.2-24, L32	「適用性」は、どのように確認されるのでしょうか？
16	第3章 全体	第2次取りまとめ以降の国内事象における膨大なデータを集め、地層処分実施に向け可能な限り普遍的な評価技術をまとめた点は評価されると考える一方、段階調査において出現する不確実性について、どのような不確実性に対してどのような評価技術開発を行うのかについて“より具体的”な記載が望まれる。また、本報告書で使用される用語は、同義で使用する場合、統一した方が読者には理解しやすいと考える。
17	表3.1-1	「温泉」の用語が使用されています。これは、温泉法の温泉と同義ですか？また、人工

No.	該当箇所	コメント・質問
		的に掘削された温泉も含んでいますか？
18	p.3-6, L15	「10°C/100m」の地温勾配は、どの深度での地温勾配を指しているのでしょうか？それとも、地温勾配は全深度一定と仮定されているのでしょうか？
19	p.3-9, L11	「拡散域」と「滞留域」の違いは何でしょうか？
20	p.3-15, 図 3.2-2	温泉はどこで考慮されていますか？
21	p.3-18, L20	「深度数百 m 程度のボーリング」とありますが、掘削密度はどれくらいでしょうか？記載がある方が良いと思います。
22	p.3-18, L31	「深度1000m 程度・・・大深度のボーリング調査」とありますが、掘削密度はどれくらいでしょうか？記載がある方が良いと思います。
23	p.3-21, L37	「地下調査施設」についてその規模はどれくらいになるのか記載があった方が良いでしょう。なぜなら、p.2-9, L8 では「約 3km×2km」と規模が記載されているので、調査施設がその規模に対してどれくらいの大きさかを明示すべきでは？
24	p.3-28, 表3.2-3	「拡散支配域」と「地下水不動領域」は同義でしょうか？どのように使い分けされているのでしょうか？
25	p.3-39, L15	「割れ目が卓越しない・・・モデル化しないこととした」とあります。主要な要因にはならないとありますが、どれくらいの要因になるのでしょうか？
26	p.3-44, L4	調査事例に基づき・・・設定した」とありますが、これ以外のパターンも検証しておく必要は無いのでしょうか？ これだけの調査事例で判断して問題ないのでしょうか？
27	p.3-73, L27	「化学平衡反応によって・・・考えられる」とあります。ここには、考えられることを示唆する参考文献が必要だと考えます。「調査事例に基づき・・・設定した」とありますが、これ以外のパターンも検証しておく必要は無いのでしょうか？ これだけの調査事例で判断して問題ないのでしょうか？
28	p.3-74, L1	「コロイド、有機物、・・・設定しないこととする」とあります。深成岩類と堆積岩類では、有機物の濃度の差異が大きいと考えますが、なぜサイトが特定されるまで設定されないのでしょうか？
29	図3.3-53	Al ³⁺ , Si ⁴⁺ になる意味がわかりません。分析結果は、イオンではなく元素ではないのでしょうか？ JAEA-TDB の信頼性を示す文献は必要だと考えます。
30	図3.3-53	Na ⁺ で電荷の補正をしていますが、なぜ Na ⁺ を利用されたのでしょうか？ Cl ⁻ では駄目なのでしょうか？
31	p.3-75, L10	「有していることを確認した」とありますが、どのように確認されたのか不明です。説明が必要だと考えます。
32	p.3-76, L7	total S, total P, total N, total C の説明が付属書3-31ではなく、本文中に必要だと思います。なお、付属書3-31の p.14の Total S の説明が誤っています。S ²⁻ が繰り返し記載されています。
33	p.3-76, L20	JAEA β-TDB は、現状 JAEA のホームページからダウンロードできないようですが、今後できるようになりますか？
34	p.3-76, L24	C(溶存無機炭素)とありますが、total C とは別もののでしょうか？なお、付属書 3-31 の

No.	該当箇所	コメント・質問
		p.14 の Total C は TIC になっています。
35	3.5.2	「今後の取り組み」について、地下水水質(特に、コロイド、有機物、微生物)について記載がありませんが、十分に知見が得られたということによろしいでしょうか?
36	第7章 全体	第3章から第6章にかけての報告がよくまとめられている。ただ、少し文言として気になる点がありました。
37	表7.1-1	「温泉」の用語が使用されています。これは、温泉法の温泉と同義ですか?
38	p.7-6, L8	「多様な地質環境を対象に取得した」とありますが、モデル水質は、他のデータセットと比較してデータの数少なく、少し言い過ぎの感があります。
39	p.7-22, L8	「追跡性」と「透明性」の差異はあるのでしょうか?
40	p.7-32, L29-34	「ただし、先新第三紀・・・確認していく。」とありますが、これは今後取り組むべき課題で記載すべき事項だと思います。
41	p.7-34, L28-31	「現状では・・・拡充を進める」とありますが、これは今後取り組むべき課題で記載すべき事項だと思います。
42	p.7-37, L26	「気候・海水準変動による時間変化を考慮した」とありますが、「時間変化」まで現時点の技術で考慮できるのでしょうか?

NUMO 包括的技術報告書「わが国における安全な地層処分の実現
 —適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築—」レビュー版へのコメント
 市川 康明（岡山大学）

No.	該当箇所	コメント・質問
1	p.1-3, L8	「地層処分が現時点で最も有望な最終処分方法であることは国際的共通認識であり」とあるが、丁寧な説明を要する。このような紋切り型の説明は不可。
2	p.1-7, L7	「重要と考えられる」は「重要と考える」。本報告書の「主語」は、NUMO であるので、各々のライターにこのことを銘記させることが重要である。その他の文章に対しても同様。
3	p.1-7, L25	対象とした「閉鎖後の長期間」の時間スケールをここで示しておくべきである。「後章(p.2-9)参照」でもよい。
4	p.1-7, L30-31	「サイト調査の進展に応じて段階的に具体化・詳細化される」とあるが、これまでの記述では判らない。「後章(p.2-10)参照」とするべきである。
5	p.1-8, L8-10	「事業者が...判断する」は、主語述語が合っていない。
6	p.1-8, L13	「また」は不要
7	p.1-8, L16	「以上より」は意味不明
8	p.1-8 (1)	「(1)セーフティケースとしての取りまとめ」の項は、文章の再構成を要する。特に、図 1.3-1を示しているのであるからには、その内容について詳述するべきである。
9	第2章 全体	全体の構成は良く練られていると思う。個々の文章については、再検討の要がある個所も多い。簡潔かつ明瞭な文章を心掛けられたい。なお、漢字・かなの用法で不統一が見受けられる(「次の」と「つぎの」等)。
10	p.2-1, L3-5	「セーフティケースにおいては...基本的考え方(Safety strategy)を明確にする」は、主語述語が合っていない。
11	p.2-1, L6	「現段階において」は不要
12	p.2-1, L12	「うえでは」は「場合」とすべき。
13	p.2-2, L36-38	実際に処分場に受け入れるガラス固化体は、最終処分基本方針に従えば、製造後の貯蔵期間が30年から50年程度のあいだで幅を有するものと考えられるが、現時点では貯蔵期間の分布を確定的に設定することは難しいは「実際に処分場に受け入れるガラス固化体の製造後の貯蔵期間は、最終処分基本方針に従えば、30年から50年程度のあいだで幅を有するものと考えられるが、現時点ではその分布を確定的に設定することは難しい」とすべき。
14	p.2-3, L10	「TRU 等廃棄物は」は「TRU 等廃棄物には」とすべき。
15	p.2-4, L8	「および」は「と、」とすべき。
16	p.2-5, L1	「ガラス固化体」はここでは不要。
17	p.2-6, L3	「本来的に」は不要。
18	p.2-6, L7-9	「これにより...リスクは受け入れ可能なほど低くなる」: 誰がこのリスクを受け入れるのか? 書き手の傲慢さが見える。
19	p.2-6, L26	「閉鎖する前までの期間における建設・操業, 閉鎖時」は論理矛盾。
20	p.2-6, L28	「以下に述べる」は不要。

No.	該当箇所	コメント・質問
21	p.2-9, L1	「細分化する」は「細分化される」とすべき。
22	p.2-10, L7-9	「自然現象の傾向が少なくとも将来10万年程度までの期間は継続する可能性が高いと考えられる。これにより、地質環境による隔離・閉じ込め機能が確保されると考えられる。」は不要あるが、継続すると何故隔離・閉じ込め機能が確保されるのか？
23	p.2-10, L18	「将来の」は不要。
24	p.2-10, L23	「線量評価などによって」は不要。
25	p.2-14, L1-6	「サイト選定の目的は...適切に選定することである」は主語と述語が同語反復している。
26	p.2-14, L6-9	「地質環境の長期にわたる安定性は...評価する」は文章の再検討を要する。
27	p.2-14, L6-11	「地質環境の長期にわたる安定性は...評価する」, 「地質環境調査・評価の結果を...選定する」は文章の再検討を要する。この節の前文は全て、文章を簡潔にするべく修正されたい。
28	p.2-14, L15-16	「地下施設における切羽崩壊」は自然災害ではない。
29	p.2-14, L27-28	「人間の生活環境に影響をもたらすような廃棄物と人間の生活環境との物理的な距離が接近しないこと」は文章の再検討を要する。
30	p.2-14, L31	「地域によって一様ではない」は「地域に依存しており、一様ではない」とすべし。
31	p.2-14, L35-38	「この広域な領域の中から...処分場の設置場所を選定する」は文章の再検討を要する。
32	p.2-15, L5-11	「隔離機能が確保された地質環境については...選定することが重要となる」は文章の再検討を要する。文章を簡潔にするべく修正されたい。
33	p.2-15, L17	「緩慢かつ」は不要(技術者として言いたい気持ちは判るが)。
34	p.2-17, L2-4	「各段階において取得した...報告書として取りまとめる」は文章の再検討を要する。
35	p.2-17, L11-12	「情報は...統合する」は「情報は...統合される」とすべき。
36	p.2-17, L12-15	「地質環境調査により取得できる情報は...合理的ではない」は文章の再検討を要する。
37	p.2-17, L18 2.2.4節	各スケールモデル間の関連はどう付けるか、議論を要する。
38	p.2-23, L2-6	「安全性の評価の目的は...処分場の安全性を判断することである」は簡潔明瞭に記述すること。
39	p.2-23, L17	「実施する」は「実施される」とすべき。
40	p.2-24, L14-15	「このようなサイトの地質環境や...安全評価と呼んでいる」は文章を推敲すること。
41	p.2-25, L6-7	「シナリオの発生可能性を勘案して」:意味不明。この一文は再検討すること。
42	p.2-27, L17	「地層処分システムの理解や」とあるが、後述の文章と不整合。この一文は再検討すること。
43	p.2-27, L20	「事業の各段階における重要な意思決定を含む定期的なセーフティケースの再評価および更新」とあるが、文章を推敲すること。

No.	該当箇所	コメント・質問
44	p.2-28, L10-12	「処分場の安全性にかかわる不確実性は... 基本とする」とあるが、主語述語の統一を初め、文章を推敲すること。
45	p.2-28, L27	「合理的に考慮する」とあるが、具体的にはどうするのか不明。
46	p.2-28, L40	「NUMO の経営上のリスクとして対応策を検討していく」とあるが、具体的にはどうするのか不明。今後の検討課題？
47	p.2-30, L14-15	「処分場の品質を確保するうえで」は不要。
48	p.2-31, L23	「情報: データを可視化したもの」とあるが、限定し過ぎていないか？
49	p.2-32, L19-21	「地層処分事業を進めていくうえでは... 示されている」は文章の再検討を要する。

NUMO 包括的技術報告書「わが国における安全な地層処分の実現
 ー適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築ー」レビュー版へのコメント
 小林 大志（京都大学）

No.	該当箇所	コメント・質問
1	p.1-8, L5	本報告書で示されているセーフティケースの構築は、第2次取りまとめなどにおける従来の安全評価とは異なる新しい手法であり、その試みは高く評価できる。ただし、セーフティケースの概念を理解することは、専門家にとっても簡単ではなく、従来(第2次取りまとめ)の安全評価の違いなどを意識して丁寧な説明を行うことが望まれる。
2	p.2-2, 図2.1-1	図2.1-1に示されるガラス固化体が有する放射能の経時変化を表す図は、ウラン鉱石からガラス固化体まで、放射能がどのように変化するのかを分かりやすく示している。TRU 廃棄物についても同様に、廃棄体が有する放射能の経時変化を示すような図があれば、読者の参考になると思われる。
3	p.2-14, L1	セーフティケースがサイト選定の考え方のベースになっており、本報告書で示される段階的なサイト選定アプローチは有効であると考えられる。一方、図2.2-1では、サイト選定手順の進行が一方方向のみになっているが、各プロセスが自動的に先に進むわけではなく、選定アプローチに対する誤解がないような図が望まれる。
4	p.2-14, L13	処分場の操業期間は長期に亘ることが予想されるが、閉鎖前までは放射性核種の閉じ込め機能が十分発揮されることを改めて述べておくことが重要と思われる。
5	p.2-27, 図2.5-1	図2.5-1では、安全評価、処分場の設計、地質環境調査・評価の3者の関係が必ずしも明確ではなく、図の整理が望まれる。
6	p.2-29, L9	安全評価、処分場の設計、地質環境調査・評価に対する品質マネジメントについて記載されているが、廃棄体(ガラス固化体, TRU 廃棄体)の品質保証についても触れておくことが望ましいと考えられる。
7	第5章 全体	閉鎖前操業時における安全性について、平常状態および異常状態における廃棄体の健全性評価を行い、いずれの場合も放射性物質を漏洩するような損傷が生じることがないことを確認している。特に、シナリオを想定した評価を行い、想定しうる熱および衝撃が顕著な損傷を及ぼさないことを明らかにしている点は重要と考えられる。
8	第5章 全体	平常状態、異常状態ともに施設から敷地までの境界によって実効線量がどの程度変わるかなど、安全評価で用いる実効線量をどのように計算(評価)するのかを丁寧に示す必要があると思われる。
9	p.5-7, L 6	異常状態シナリオの中に廃棄体の初期欠陥についても述べることを望まれる。
10	p.5-11, L17	施設内での爆発を想定しないのであれば、p.5-2, 38で述べられている5つのシナリオ群から外すべきではないか？
11	第6章 全体	核種移行の解析体系や解析ケースの設定について詳細な記述がなされ、どのような考え方に基づいて線量評価を行っているかが理解できるように書かれている。一方、実際の核種移行解析で用いられている計算式の記述が報告書本体に書かれておらず、設定されているパラメータ(透水係数, 拡散係数, 溶解度, 分配係数など)が、線量評価の結果にどのように影響しているが分からず、線量評価の結果が正しいかどうかを追跡するのが困難に見受けられる。一例でも良いので、核種の移行(移流拡散)を記述した式を示すことが線量評価の透明性、追跡性の向上のために望まれる。
12	p.6-9, 図6.1-4	図6.1-14における崩壊系列の取り扱いについて、途中の核種も書いた方が、誤解が少ないと思われる。
13	p.6-13	生活圏評価は、本報告書で試みられている新しい手法であり、核種移行解析との関係や評価対象核種の設定の仕方などについてより丁寧な説明が必要と思われる。
14	p.6-27,	地質環境の不確実性が増加する期間 T4について、誤解がないような丁寧な説明が必

No.	該当箇所	コメント・質問
	図 6.3-2	要に思われる。
15	p.6-31, L3	「緩衝材中を鉱物への収着など」 → 「緩衝材中の鉱物への収着など」
16	p.6-35, L13	「…、関連する最新の科学的知見の適用」は状態変数の抽出の考え方ではなく、状態変数に対する考え方のように思われる。
17	p.6-37 および p.6-38	図6.3-5 状態変数について例示はされているが、抽出の仕方が分かりにくいように思う。また、安全機能も例示ではなく、一覧として示した方が良いと思われる。
18	p.6-44, L5	「設計上付与した人工バリアなどの安全機能を損なうことはないと考えられる」について、安全機能を付与していない構成要素が、人工バリアなどの安全機能を損なうことはないと読めるが、より丁寧な説明が望まれる。
19	p.6-47, L34	放射性核種は移行しないが、間隙水や地下水に溶けた水素のみ速やかに移動することが述べられており、補足的な説明が望ましい。
20	p.6-59, 表6.3-5	タイトルに変動シナリオは含まれないように思われる。表6.3-7のタイトルと合わせて、確認が必要と思われる。
21	p.6-65, L3	構成要素の取扱いでしょうか。表6.3-9,10のタイトルも同様です。
22	p.6-81	粒子追跡モデルによる亀裂構造の評価は本報告書で試みられた新しい手法であり、より現実的な評価に向けた進展として評価できる。ただし、その考え方や適用可能性については、十分に丁寧な説明が必要と思われる。
23	p.6-116 , L22	どのように換算係数を算出したかの説明が必要と思われる。p.6-118 Line 12も同様。
24	p.6-190, 付表6-7	TRU 廃棄体パッケージ内およびパッケージ間充填材の間隙水水質では、TIC が 10^{-5} mol/kg と HLW の緩衝材間隙水水質(付表6-5)に比べて2桁程度低く、TIC 設定の根拠に対する補足説明が望まれる。
25	p.6-195, 付表6-9	いくつかの核種(例えば Sn)については、TRU 廃棄物処分環境で非常に高い溶解度(10^{-2} M)に設定されている。表中の値だけ見ると、間隙水の水質に影響を及ぼしかねない値であり、誤解がないように説明を加える必要があると思われる。
26	p.6-195, 付表6-9他	現在の付表では溶解度制限固相のみ示されているが、支配的溶存種の仮定(設定)は、人工バリアや母岩に対する分配係数の設定にも大きく関わるため、どのような支配的溶存種を仮定しているのかを示す、あるいは例示することが望まれる。
27	第7章 全体	第7章では、第3章から第6章まで述べられた地質環境モデル、処分場の設計・建設・創業技術および閉鎖前、閉鎖後の安全評価の総括が行われ、特に報告書のセーフティケースとしての信頼性を示すため、5つの視点から地層処分の技術的信頼性が確保されているかの評価がなされている。7.1では所要の安全機能を満たす処分場を構築する技術が備わっていること、7.2ではその安全性が確保されていること、7.3～7.5はセーフティケースとしての信頼性について述べられている。
28	p.7-3, L38	サイト適格性を判断するための基準となる考慮事項が掲示されているとあるが、表7.1-1ではサイト選定上の基本的な考え方のみが示されているように見える。表中への記載あるいは本文中に記載箇所があれば引用するなどその箇所を示す必要があると思われる。
29	p.7-4, 表 7.1-1	サイト選定上の基本的な考え方が3段階のサイト調査と対応して示され、地質環境に求められる各要件がどの調査段階に対応するかが整理されている。一方、2段階以上の調査段階にわたって対応するような項目(例えば、母岩が第4紀の未固結堆積物ではないこと)で、各段階における違いについて言及することが望ましいと思われる。
30	p.7-5, L35	地質環境調査において調査・評価のプロセスを繰り返すことで、空間的に不均質な特

No.	該当箇所	コメント・質問
		性の分布の理解に関わる不確実性が段階的に減少することが確認されているとあるが、根拠を示す必要があると思われる。
31	p.7-7, L10	現段階で整備されている技術基盤に加えて、今後の地質環境調査・評価技術の信頼性向上があつて、処分場の設置に適した地質環境を選定することが出来るというように読み、現時点で可能ということが出来るという結論に少し違和感がある。今後の取り組みと現時点で可能なことは明確に分けたほうが良いように思われる。p.7-17 Line 4の処分場閉鎖前における安全性の確保についても同様。
32	p.7-25, L1	処分場の閉じ込め性能を示すため、パネルスケール、処分場スケール内に全放射能のどの程度の割合が閉じ込められているかが示されており、処分システムの頑健性が示されている。図7.3-1では、縦軸を割合にとっているため、全量100%は変化しないが、実際は全放射能が時間とともに減衰するため、10万年、100万年後にパネルスケール、処分スケールの外に出ていく放射能はさらに低い。
33	p.7-27, L1	線量以外指標として、潜在的放射性毒性が用いられているが、評価単位は Sv/kg であり、線量評価との違いが分かりにくい。線量評価は外部被ばく、潜在的放射性毒性は内部被ばくの評価という位置づけでしょうか？指標として用いる際の位置づけのより詳しい記述があつた方が良いと思われる。
34	p.7-28, L10	計算される河川水1m ³ あたりの放射能濃度は、河川の年間流量によって大きく左右されるため、年間流量の対数平均値で除す求め方について、説明を追加することが望まれる。
35	p.7-35, L3	7.1および7.2に引き続き、ここでは7.3セーフティケースとしての信頼性に関するまとめが述べられている。品質確保や不確実性への対処、第2次取りまとめ以降の進展がまとめられており、セーフティケースとしての信頼性確保が図られていることが読み取れる。一方、3段階のサイト調査とのリンクがなく、サイト調査に向けてどの程度の信頼性が現在までで確保されているかが分かりにくいように見える。7.4からは信頼性向上に向けた取り組みが示されており、その目標を示すためにも何らかの記述が望ましいように思われる。
36	p.7-36, L1	信頼性向上に向けて取り組むべき課題が項目化されているが、それぞれの課題がどのサイト調査段階までにクリアされているべき課題か、あるいはそうでない課題かを示した方がより目的、目標が明確になるように思われる。

NUMO 包括的技術報告書「わが国における安全な地層処分の実現
—適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築—」レビュー版へのコメント

下茂 道人 ((公財)深田地質研究所)

No.	該当箇所	コメント・質問
1	第3章の位置づけ	本章は、セーフティケースにおける「Assessment basis(評価基盤)」に対応しており、地層処分に適した地質環境の選定、モデル化ならびに安全評価の検討対象となる母岩の地質環境モデルを構築する際に採用した基本概念やパラメータの設定根拠が提示されています。具体的なサイトが決定していないという制約条件のもと、我が国の多様な地質環境に係る最新の科学的知見や第2次取りまとめ以降の技術成果に基づいて、検討対象となる母岩を絞り込み、広域、処分場、パネルの異なるスケールに分けて地質構造モデルおよび水理地質構造モデルを構築し、関連する各種パラメータの設定根拠を提示する、という一連の流れにより、サイト選定の各段階で取得される地質環境情報を安全評価の基盤となる地質環境モデルに統合化するプロセスを具体的に提示されたことを高く評価したいと思います。一方で、表現の正確さ、分かりやすさや、透明性の観点から、さらに改善が期待される箇所も散見されましたので、別途、指摘させていただきます。
2	p.3-1, L18	「地質環境モデルを構築し、その技術を実証する。」→「技術を実証」は「モデルを構築する技術があることを実証する」と「構築したモデルが安全評価の検討対象として妥当であることを実証する」のいずれでしょうか(読み進むと、前者であると理解しましたが、わかりやすい表現にすべきかと思います。後述)。ちなみに、第一回委員会で配布された、OECD/NEA のレビューでは、確証(validation)という用語について(今回の包括技術報告書では実証という表現が使われていますが)、「IRG は、個々のバリアや処分場の性能を評価するための長期のモデル化の結果についてくり返し「確証」という言葉を用いることには賛成しない。この言葉の使用は誤解を招く可能性がある。」と述べられており、それに続いて、「性能評価/安全評価により達成されるのは、地層処分システムの安全性を(「確証」することでは無く)「合理的に裏付ける」ことである」との指摘があります。この指摘は、今でも傾聴に値するのではないかと思います。具体的なサイトが決まっていない段階で、様々な仮定に基づいて設定したパラメータを用いて評価を行う以上、「実証」という強い表現の使用にあたっては慎重にあるべきではないかと思います。
3	p.3-2, L4	基本的な質問です。2章の「2.4 安全性の評価の基本的考え方」においても、処分場の安全性は、「閉鎖前」と「閉鎖後長期」に分けて評価することになっていますが、「閉鎖後短期」についての評価はどのように取り扱われるのでしょうか？地下水の復水による処分場周辺の水圧上昇や塩化物イオン濃度や酸化還元状態などの地化学環境および熱環境の変化が短期間に発生する可能性のある時期ですが、これらの現象に関連する安全性への影響評価は「閉鎖前」か「閉鎖後長期」のいずれかに含まれるのでしょうか？
4	p.3-2, L16	閉じ込め→水理場の「移行率」とは？単位は？
5	p.3-9, L28	活断層地域の水理場・化学場の例が、「好ましい特性を有する地質環境が確認されている地域」の例として示されているように受け取られる可能性があるのでは？何らかの追加説明・補足が必要と思われます。
6	p.3-30, L16 p.3-78, L19 p.3-82, L16	各節の最後に、簡単なまとめ・結論があったほうが良いのではないのでしょうか。3.1節の最後には、「以上述べたように・・・」簡単な取りまとめがありますが、3.2~3.4では、節の最後が手法、データや現象の説明で終わっています。第3章のはじめに、各節の内容が記述されていますので、それに対応する結論が節ごとにあったほうが、読者が理解し

No.	該当箇所	コメント・質問
		やすいと思います。
7	3.3節全体	第3章のはじめに「3.2節では、・・・地質環境モデルを構築し、その技術を実証する」とありますが、3.2節の文章に「実証」という用語は全く現れず（「実施」という用語は用いられています）、対応が十分に取れていないように思います。No6のコメントにも関連しますが、第3章3.3節のまとめが必要かと思えます。
8	3.3節3-31, L1	「地質環境モデル」は、本報告書における重要なキーワードであると思われると思われるため、（本報告書で用いる）「地質環境モデル」という用語について早い段階で説明があったほうが良いのではないのでしょうか。「地質環境モデル」という言葉は、本報告書においては、「2.2.4 地質環境モデルの構築」で、はじめて出てきます（ちなみに、図2.2-2のキャプションに地質環境モデルとありますが、それ以前で用語の説明はなされていません）。しかし、2.2.4では、「地質環境モデルとして統合する」、「処分場スケールの地質環境モデル」、「地質環境モデルを構築する」などの表現が、「地質環境モデル」のそもそもの定義がないまま用いられています。第3章に入って、「3.2 地層処分に適した地質環境の選定プロセス」の3-12ページ23行目で、「地質環境モデル（地質環境特性の空間分布などを可視化したモデルとそれに付随するデータセット）として、はじめて「地質環境モデル」についての説明がみられます。その後、「3.3 検討対象母岩のモデル化」で、「地質環境モデル」が、①地質環境特性の空間分布を把握するための基盤となる地質環境の概念、②地質構造モデル、③水理地質構造モデル、④より詳細な検討を行う領域の空間スケールを設定するための地下水流動解析（広域～処分場）、⑤微細透水構造の概念モデル化、⑥地下水水質／熱的・力学的特性のモデル、などからなることが示されています。これら6つの項目が選定された理由もあわせて、「環境モデル」という用語についてのわかりやすい説明が章の前半にあるのが望ましいと思います。
9	p.3-44, L24	「ダルシー流速分布に基づき算出した地下水移行時間」は、相対的な比較のために便宜的に用いられたものと理解しますが、実際の地下水移行時間は「ダルシー流速」ではなく、ダルシー流速を有効空隙率で除した「実流速」を用いて計算されます。したがって、実流速から計算される地下水移行時間は、ダルシー流速に基づいて算出した地下水移行時間より数分の1から場合によっては1/10以上短くなります。割れ目を含む岩盤や断層の空隙率の評価法が十分に確立されていないことも、ダルシー流速を用いて評価した理由の一つかと思えます。本章の解析に携われた方々にとっては釈迦に説法のこととは思いますが、実流速の評価は安全評価において重要であると考えられるので、ダルシー流速に基づいて算出した地下水移行時間を解析結果の評価に用いた理由や今後の取り組むべき課題として記述しておいたほうが良いのではないかと思います。
10	p.3-46, L3-7	①「また、ダルシー流速は断層が位置する地点では大きく、それ以外の領域では概ね同様であり、地下水移行時間は長さが概ね 10 km 以上の断層が位置する地点で短く、それ以外の領域では上流から下流にかけて徐々に短くなっている。このような傾向は、地下水流動方向（X+方向および Y+方向）によらず概ね同様であり、断層・割れ目の密度が高い深成岩類が有する水理学的な不均質性は、規模の大きな断層の近傍を除き小さいといえることができる。」→断層以外の領域に比重をおいて、「水理学的な不均質性は、規模の大きな断層の近傍を除き小さい」と結論付けられていますが、安全評価の観点からは、断層に沿った移行時間が短い領域が存在することも重要であると考えられるため、必ずしもバランスの取れた結論ではないと思われます。例えば、下図で破線の○で囲った部分のように、上流境界近傍であるにもかかわらず、「ダルシー流速に基づく移行時間」が、下流境界近傍

No.	該当箇所	コメント・質問
		<p>と同等の短い値を示している領域があることに着目する読者もいると思います。</p> <p>② 「水理学的な不均質性は」は、より正確には「不均質性が地下水移行時間に与える影響は」でしょうか？または、「水理特性の不均質性は」という意味でしょうか？より明解な文章が望ましいと思います。</p> <p>③ 確率論的に発生した一種の DFN モデルに基づく解析結果のみから、「断層・割れ目の密度が高い深成岩類が・・・小さいといえることができる。」と結論であると付けるのは適当でないのではないかと考えます。</p> <p>④ 上記のような解析結果の考察が、本章のどこに反映されるのかについての説明が十分になされていないのではないかと考えます。</p> <div data-bbox="443 651 1348 987" data-label="Figure"> </div> <p>図 3.3-13 深成岩類の広域スケールにおける地下水移行時間分布 下流側境界までのダルシー流速分布に基づく地下水移行時間 左図：ケース1、右図：ケース2</p>
11	p.3-54, L9	<p>「断面図上で左→右）およびケース 2（Y-方向：水平断面図上で上→下）の2方向の地下水流動を設定して実施した」→比較的高角の透水構造が発達する「深成岩類」や「新第三紀堆積岩類」の広域スケール地下水流動においては、水平2次元での解析はある程度妥当かと思われそうですが、褶曲構造を有する「先新第三紀堆積岩類」については、水平断面での地下水流動解析結果は実態と少々異なるのではないかと考えます。すなわち、2次元モデルでは、地層間を跨いだ地下水流動となりますが、実際は、同一の地層内の流動が支配的ではないかと考えられます。処分場スケールやパネルスケールでは、3次元の評価となっており、そのような問題は生じないと思います。何らかの追加説明が必要ではないかと思えます。</p>
12	p.3-56, L22	<p>「地質構造モデル（図 3.3-9参照）に表現された長さ10km 以上の断層（図中、赤線で表示）」→図 3.3-9に赤線はないので、後述の図 3.3-27中の赤線を指すのでしょうか？</p>
13	p.3-65	<p>「その際、整然相は混在相と比べて水理学的特性の不均質性が明らかに大きいことから、処分場の工学的実現性および閉鎖後長期の安全性に係る検討を行ううえで難度がより高いと考えられる、水理学的特性の不均質性がより大きく認められる整然相を対象にモデル化を実施した。したがって、整然相を対象とした水理地質構造モデルの構築および地下水流動解析に係る技術を用いることにより、混在相を対象としたモデル化にも技術的に十分に対応できると考えられる。」とあります。しかし、その根拠である「整然相が混在相と比較して不均質性が高い」のは、3-53ページ12行目以降に「混在相については、岩塊の含有率の違いを水理パラメータに反映できるようなデータは得られていないことから、広域スケールにおける混在相はスラストを除き巨視的には均質な特性を有すると仮定して水理パラメータを設定した。」とあるように、本検討で設定した仮定であることから、一般的な結論であると読者に受け取られないような表現とすべきではないかと思えます。</p>
14	p.3-85, L7	<p>第3章の冒頭に「3.3 節では、わが国の地質環境に係る最新の科学的知見に基づき、</p>

No.	該当箇所	コメント・質問
		<p>サイト選定において対象となる可能性があり、安全機能が長期にわたって維持されると考えられる検討対象母岩を対象に、第2章で述べた処分場の設計および安全評価に係る検討に必要な空間スケールに応じて地質環境モデルを構築し、その技術を実証する。」とありますが、まとめでは、「以上の取り組みを通じて、わが国の地質環境に係る最新の科学的知見を統合する技術の有効性を実証する」と若干異なった表現となっています。そこで、第3章冒頭の記述を、例えば次のようにして頂くとより分かりやすくなるのではないかと思います。「3.3 節では、サイト選定の対象となる可能性があり、安全機能が長期にわたって維持されると考えられる検討対象母岩を対象に、第2章で述べた処分場の設計および安全評価に係る検討に必要な空間スケールに応じた地質環境モデルを構築し、わが国の地質環境に係る最新の科学的知見を統合する技術の有効性を実証する。」。ちなみに、「実証」は、「事実によって証明すること(広辞苑)」ですが、本節では、地質環境モデルを構築した「事実」によって、「わが国の地質環境に係る最新の科学的知見を統合する技術の有効性」を「証明」した、と解釈しましたが、このような理解で良いでしょうか。</p>

NUMO 包括的技術報告書「わが国における安全な地層処分の実現
 —適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築—」レビュー版へのコメント
 武田 聖司（日本原子力研究開発機構）

No.	該当箇所	コメント・質問
1	第1章全体	全体としての目次、個々の詳細な情報を記載した付属書を含む包括的技術報告書として構成は良いと考えられる。ただし、直接参考とする文献と付属書としての引用が全体としてなされ、トレースできる状態であるかは確認頂きたい。特に付属書は今後順次公開と言うことで、その中での引用もあり、精査をして頂きたい。
2	第1章全体	現在までに整備あるいは適用を考えているサイトの調査・評価手法、解析コード、データベースなどに関して、それらを整理した内容が各章の付属書に示す体系となっており、このような技術情報の整理はセーフティケースとしての評価基盤の現状と今後の必要な研究・技術開発を理解する上で重要である。
3	第1章全体	<p>・わが国における地層処分に関わる技術開発、制度化の経緯について述べられ、特に東北地方太平洋沖地震後の処分政策の再構築、最終処分基本方針の改定、さらにこの改定を受けて取りまとめられた科学的特性マップの公表といった近年の地層処分における重要な国の動向が的確に記載されている。さらに、こうした経緯を踏まえ、実施主体として本技術報告書を取りまとめることの目的・意義、が示されている。</p> <p>・本技術報告書の主題が、わが国の地層処分に対する「セーフティケース」の構築であり、その活用の意義が、1.3.2(1)において、「…さまざまな側面から議論を積み上げて総合的な情報として提供することでさまざまなステークホルダー（規制機関、国、地域住民、国民など）との対話の材料とする…」として述べられている。本報告書が単に技術報告書としてのまとめではないということが書かれており、このセーフティケースの活用の意義の記述は、極めて大事な記載である。しかしながら、こうした1.3.2(1)での主旨（議論を積み上げて総合的な情報をステークホルダーに提供し、対話の材料とすること）が「1.3.1 報告書の目的」に記載されておらず、その主旨を追記した方が良い。</p>
4	第2章全体	<p>・地層処分で考慮すべき要件においては、処分場が有すべき安全機能を閉鎖前と閉鎖後において明示するとともに、閉鎖前では放射線防護だけでなく、自然災害と処分施設に起因した災害を対象とした一般労働災害についても明示しており、これらは処分事業全体を見通した安全確保の観点において重要である。特に、設定した処分場閉鎖後の安全機能が、将来の不確実性を含め、想定する空間スケールおよび時間スケールに対し確保できるかについて将来的に評価する方針を示したことは、わが国におけるセーフティケースの構築において大切なことであり、極めて重要な記載であると考えられる。</p> <p>・「サイト選定」において、「隔離機能」、「閉じ込め機能」の確保に関する考え方に従い必要な空間スケールの異なる4種類の地質環境モデルに言及している。これらは評価目的や解析精度等に応じて適宜使い分ける方針を示しており、具体的なサイトに対する評価として有効なアプローチの1つであると推察される。</p> <p>・ただし、特に文献調査や概要調査の段階の対象となる処分候補地において、空間的な地質環境情報が限定的で、データ数の少ない状況が想定される。文献調査や概要調査の段階での処分場スケールやパネルスケールの地質環境モデルの構築において、こうした状況による不確実性に対し、どう対処するのか。その対応方針の記載が見られず、その方針を示す必要がある。</p>
5	p.2-10,	3つの調査段階における地質環境モデルのどのような不確実性を設計に反映させ、また

No.	該当箇所	コメント・質問
	2.1.3	各設計因子との関連性をどのように評価、判断しながら最適化を図るのか、その具体的な評価方法の開発は極めて重要な研究課題である。調査段階の進展に応じて、地質環境の不確実性を考慮に入れた設計の最適化をどう具体化していくのか、今後のセーフティケースの信頼性向上のための課題と考えられる。
6	p.2-14, 2.2.1	地上・地下施設に影響を与える自然災害の発生の可能性、影響の程度や範囲を評価し、原子力関連施設や土木構造物での既往の対策事例を踏まえた工学的対策を検討するとある。この工学的対策とは、一般的労働災害の範疇だけでなく、地上・地下施設における「放射性物質の閉じ込め」の維持、地下施設へのアクセス不能な状態の回避、回収可能性を維持する状態の確保など、どのような状況を回避、確保するためのものか、第4章にある方針をこの部分にも示した方がよいと考えられる。
7	p.2-20, 処分場の 設計	「設計因子」として、閉鎖後長期安全性、閉鎖前安全性、工学的成立性、モニタリング、回収可能性、環境影響、社会経済的側面などを導入するとともに、設計オプションの整備を進めており、地質環境モデルの不確実性に配慮して設計を最適化させていく方針は、今後の処分事業の信頼性を向上させる上で重要な方針であると考えられる。
8	p.2-23, 2.4	新たに取り組んでいる処分場閉鎖前の安全評価に加え、NUMOがこれまでに整備した設計やモデル、データを活用し、地質環境条件の違いや処分場の仕様の違いを反映した処分場閉鎖後の安全評価を行い、その評価事例の結果を示すことは、NUMOによるセーフティケースの構築の現状をステークホルダーに理解してもらう上で重要と考えられる。
9	p.6-3, 6.1.2	安全評価の前提となる諸条件において、安全評価で考慮する処分場の構成要素を人工バリアの構成材だけでなく、建設・操業時に導入される構成材も考慮されており、これまでの安全評価よりも、より実際の処分場に近い条件を考慮した評価になっているものと考えられる。
10	p.6-16, 6.1.4	「6.1.4 評価期間の取り扱い」では、最大線量が現れるまでの時期が確認できるように解析を行うことが示されているが、この後の評価シナリオの設定や期待される安全機能との関係で導入している期間 T1～T4について、「6.1.4 評価期間の取り扱い」において言及したほうが良いのではないかと。
11	p.6-17, 6.1.5	シナリオ区分と安全評価で用いるめやすの設定において、国際的な動向を踏まえつつ、科学的な知見に基づき判断される発生可能性から基本、変動、稀頻度シナリオを定義し、分類する方法は、適切であると考えられる。
12	p.6-21, 6.2.1	図6.2-1に安全評価の基本的手順が示されているが、その中で「シナリオの選定」の内容の記述をしたほうが、この後のシナリオ作成および解析ケースの設定方法を理解するうえで良いと考えられる。
13	p.6-22	システムとしてのふるまいを記述する「ストリートボード」と、最終的な目標であるシナリオの設定との関係が良く理解できない。ストリートボード自身が、そもそもの基本シナリオの原形のようなものに見える。また、ストリートボードが、サイト選定、処分場の設計、安全機能の時間的な変遷の情報が考慮され作られているとあり、「安全機能要因分析」と「安全機能影響分析」の結果を基に3種類のシナリオ分類・選定がされることと、その違いが良くわからない。ストリートボードとの組み合わせで最も可能性が高い処分システムのふるまいを基本シナリオとして選定しているので、ストリートボード作成と、「安全機能要因分析」と「安全機能影響分析」の結果を踏まえたシナリオ分類・設定の方法の違い、および関係性をもっと分かりやすく記載すべきである。
14	p.6-23	下から2行目：「このような不確実性に対処するために、まず、シナリオを適切に抽出し、地層処分システムの長期的な変遷の可能性について想定すべきは範囲を明らかにすることが重要である」に関して。6.2において、この「シナリオを適切に抽出」に当たる作業がどこに該当するのかが不明瞭である。

No.	該当箇所	コメント・質問
15	p.6-25, 6.3	<p>・シナリオの作成の目的から、T1～T4という4つの時間枠により整理するという考え方を、処分サイトが決められていない現時点の安全評価において考慮することは理解できる。</p> <p>・しかしながら、この時間枠のうち、T3:「放射性核種の移行が生じてから現在の地質環境の特性が大きく変化しないと考えられるまでの期間」という定義の意味として、現状の安全評価で「天然バリアの核種移行に関する特性が時間的に変化しない」という設定になっている。これは、地質環境の時間的な特性変化の程度が限定的であり、核種移行に関する特性の時間変化が生じないサイト選定やレイアウト設計を行う戦略であることから、安全評価の前提として使われているように推察される。T3の期間において安全機能は維持されるという記述はあるものの、こうした方針がとられているかどうか不明であるが、基本シナリオまたは変動シナリオを考えるうえで重要な部分であり、T3の定義が核種移行の観点でどう考えているのか、明瞭にしたほうが良い。</p>
16	p.6-31	<p>中ごろの「…、それぞれの廃棄体の有する溶解メカニズムにしたがって、…」の記述において、TRU等廃棄物の主な溶解メカニズムの内容を記載、あるいは付属書の参照などの対応をしたほうが良い。</p>
17	p.6-33	<p>上から3行目の「…表層水中を移行する過程で土壌などへの収着によって遅延される。」とあるが、ここは生活圏における記載であることから「遅延される」という現象を書くことが適当ではなく、被ばく評価に必要な生活圏で土壌中および表層水中の核種濃度がどういった現象を考慮に入れて決められるのかの観点で書くべきでないか。</p>
18	p.6-81, 6.4	<p>・決定論的に表現できる高透水性の断層と確率論的に多数の割れ目を発生させた割れ目を組み合わせた水理地質構造モデルによる3次元の地下水流場を評価するアプローチは H12レポートや TRU2次レポートとは異なるサイト条件を念頭に置いた新しい評価のアプローチである。そのアプローチの妥当性を示すための検証事例を示すことは、セーフティケースの構築において重要である。また、安全評価で検討された深成岩類、新第三紀堆積岩類、先進第三紀堆積岩類の3種類に対するモデル適用実績を示すことも重要である。</p> <p>・このような確率論的な割れ目の発生モデル化は、文献調査や概要調査の段階で地下における情報が限定的であり、データ数の少ない状況では想定される処分場の近い領域に対する評価は難しい。今回の一連の安全評価の試解析は、精密調査を踏まえた評価という位置づけに近い印象であり、その位置づけに対し曖昧さがある。例えば第6の前書きなどに、本安全評価の位置づけについて、説明を加えた方が良い。</p>
19	p.6-82	<p>「簡略化した核種移行モデルの作成」において、</p> <p>・新第三紀堆積岩における割れ目と基質でのそれぞれの地下水流による核種の移行、相互の媒体間の拡散のモデル化がされているが、こうした物質移行の現象に関する検証事例を示すことはセーフティケース構築において重要である。新第三紀堆積岩の安全評価における核種移行モデルの妥当性を示すうえで、堆積岩に対する本モデルの実際の場に対する適用事例(実績)などの説明が本文にあった方が良い。</p> <p>・1次元のマルチチャンネルモデルにより、簡略化した核種移行をモデル化しているとある。簡略化の近似とは、解析上の計算負荷の軽減のために行われたものか、核種移行の観点からある保守性を見込んで実施されたものか、など、簡略化の近似を行うことの意義の説明を加えた方が良い。</p>

No.	該当箇所	コメント・質問
20	p.6-120	被ばく線量解析結果を理解するうえで、人工バリアおよび各スケール(ニアフィールド、パネルスケール、処分場スケール)からの核種フラックスの経時変化のグラフは、主なもののいくつかは本文の説明にも必要である。付属書には、変動シナリオを含めて結果の全体が理解できる範囲のグラフは必要である。
21	第7章, p.7-3	p.7-3の「(1)サイト選定の要件・基準と安全機能に対する影響要因への基本的な対応方針」として、わが国の最終処分法における三つの調査段階に応じた選定要件(法廷要件)および、科学特性マップの好ましくない範囲と好ましい範囲を明らかにするための要件・基準に対し、NUMO としての基本的な考え方が表7.1-1として示されており、第7章における重要な表の1つであると考えられる。 ただし、p.7-3の「サイトの適格性を判断するための基準として、法定要件および科学的特性の提示に係る要件・基準[4]などを参照し、概要調査地区の選定に際してその適格性を判断するための基準となる考慮事項を提示している。」の記載にある NUMO の考える「適合性を判断するための基準となる考慮事項」は重要な部分と考えられるが、その具体的な記述がどれに該当するのか不明瞭である。より明瞭に第7章(表7.1-1を含む)に記述したほうが良い。
22	p.7-16～ p.7-20	第5章および第6章において実施したサイトが決められていない現状の条件下における安全評価の結果について概要がまとめられ、その結果から NUMO の考える今後の課題とともに処分方策の安全性の確保の見通しが示されており、第7章として適切な記述である。
23	p.7-21	7.3において、岩盤の熱的・力学的特性に関する地質環境モデルとしてのデータセットを設定した記載、モデル水質の設定の記載に対する参照部分に3.3.4とあるが、その参照先が間違っていると考えられる。
24	p.7-21	「(i)地質環境モデルの設定に用いるデータの品質確保」において、公開のデータベースを参照しつつ設計や安全評価用の設定値のためのデータの品質確保のための対処が示されており、本データセットの品質確保において重要な記載である。トレーサビリティの確保から、本データセットの作成に用いた参照する元データ、処理過程に関する具体的な条件等の情報、処理後のデータの情報とともに、データが管理される必要がある。
25	p.7-22	核種移行特性に影響が大きい岩盤の断層・割れ目について、その空間分布の把握に関する不確実性を考慮したとあるが、これは不確実性ではなく単に空間的に統計的なばらつきがあるという意味ではないか。
26	p.7-22	「(i)地質環境モデル構築における不確実性への対処」において、地質環境の調査・評価における不確実性は、サイトの地質環境条件やこれに応じて適用する測定手法などに依存するため、現段階でその不確実性を直接的に取り扱うことは困難であるとし、各検討対象母岩について代表的な特性値を設定することとし、その不確実性を直接的に取り扱うことは行わない方針が示されている。 この方針は、現状の段階において、地質環境の調査・評価の不確実性に対して適切な考え方・対処であるものの、調査段階の進展に応じた地質環境の調査・評価における不確実性への対処は今後の NUMO の取り組みにおける重要な課題と考えられる。この課題に関して、「7.4.1今後取り組むべき技術課題」に、挙げるべきである。
27	p.7-23	「(ii)処分場の設計における不確実性への対処」において、「処分場の設計においては、地質環境特性に含まれる不確実性や、設計に用いる解析モデルやパラメータに含まれる不確実性を考慮し、処分場に期待する安全機能を備えることができるように人工バリアや地下施設の仕様を余裕をもって設定する。」とある。その例として説明が、不確実性を考慮した安全評価における保守性という説明の印象を受ける。この説明は、次の「(iii)安全性の評価における不確実性への対処」にて書く内容と考えられる。

No.	該当箇所	コメント・質問
		<p>「(ii) 処分場設計における不確実性への対処」では、採用した設計と性能の関係を示す必要があり、NUMO が整理した様々な不確実性に対し設計した仕様が、期待する安全機能に対し、どのように有効に作用するのかのまとめとして説明にしたほうが良い。現時点の人工バリア材および地下施設の設計が、想定する不確実性の条件を含め、NUMO による安全機能の評価結果(実力値)を示すものなのかのまとめを示すことのほうが大切である。</p>

NUMO 包括的技術報告書「わが国における安全な地層処分の実現
 —適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築—」レビュー版へのコメント
 朽山 修 ((公財) 原子力安全研究協会)

No.	該当箇所	コメント・質問
1	第1章 全体	本報告書を、今後更新していくセーフティケースの枠組みと情報の基盤を提示するものとして取りまとめることとしたことは、地層処分を実現していく長期にわたる取り組みの中での技術報告書の提示のアプローチとして大いに有効であると同意する。
2	第1章 全体	これまでの技術および研究開発の進展および現在処分事業が直面している問題が簡潔に示されており、この報告書は今後地層処分を進めていくにあたって、その準備ができていることを示すものであることが書かれている。この状況認識と、これに基づいて行われている検討の目標設定は妥当である。
3	p.1-1, 2	第1章では、まず放射性廃棄物の発生と、地層処分の選択について述べる必要があり、第2章で述べられるからと暗黙の了解とせず説明する必要があると考えられる。読者は前から順に読むので、地層処分の最も基本的な概念については冒頭で説明する必要がある。 このため、「1.1 地層処分事業の推移」に先立って、地層処分の基本概念について、現在、第2章の2.1.2に記載されている地層処分の基本概念(p.2-5の L35から p.2-6の L13まで)と p.1-1の脚注2の内容を冒頭に移動してまとめて示すと良い。
4	p.1-8, 1.3.2項	この方針に賛成するが、図1.3-1の意味となぜセーフティケースの形にまとめるのが好ましいのかの説明をもう少ししたほうが良いのではと思われる。 すなわち、地層処分の閉鎖後の安全性の評価は不確実性を伴い、地層処分は段階的に進められるのでセーフティケースはその段階ごとに提示されるものであるため、地層処分の安全を議論する文書においては図1.3-1に示す内容が整理されて提示されることが好ましいという NEA の提案に従って、この形に文書を取りまとめることにしたことをより明確に整理して説明してほしい。
5	第2章 全体	第2章の安全確保の基本的考え方において、それぞれにおいて採用されている戦略(「基本的考え方」と「考え方」と「アプローチ、方針」)は、国際的標準に沿った原則に従い、合わせて日本の状況に応じて立案されており妥当なものとなっている。 特に日本においては、変動帯に位置する日本列島でどのように処分に適したサイトを選定するか、文献調査にも入れていない日本の状況に応じて、処分事業をどのように進めていくかが問題となるが、全体の安全戦略は、これに配慮して具体的な日本の地質環境を想定した妥当なものとなっている。
6	p.2-1, 脚注	safety strategy を「安全確保の基本的考え方」と訳すのであれば、その他の個所で用いている基本的考え方、考え方、アプローチ、方針との意味の違いを明確にして、使い方に注意を払うべきである。意味が不明確になる場面では、「NUMO の」考え方、「NUMO の現状における」アプローチなどの形容詞を付け加えることも有効と思われる。
7	p.2-1, 2.1.1項	ここでは、安全確保の基本的考え方を考える上で必要になる基本情報に限定して記述することを推奨する。安全評価の出発条件となるインベントリ等などの情報(p.2-5の L22-L31)に関しては第6章に記述するべきであり、ここで詳細を述べると混乱を招く。対象とする廃棄物は L20-L21で充分であると考えられる。
8	p.2-2, 図2.1-1	詳細な数値等はここでは本筋には関係のないものであるが、図2.1-1はあくまでも使用済燃料1 ton 中の放射能の生成と減衰を示すもので、ガラス固化体1本あたりのものではないので、図のタイトルも元のまま(放射能の推移から眺めた高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)の特徴 (濃縮度 4.5%の核燃料 1MTU 相当))のほうがよ

No.	該当箇所	コメント・質問
		い。また、1トンの使用済み燃料中にはその燃焼度に比例して約45kgのFPとTRUが含まれるが、再処理の際使用済燃料は溶かされ、約40kgのFPとTRUの重量が1本に含まれるようにガラス固化体がつくられるので、表2.1-1には、文献[6]の付属書の表1-1から、ガラス固化体のキャニスター重量、含まれるFPとTRU重量を付け加えておくとよい。
9	p.2-8, (3)	閉鎖後長期の処分場に求められる安全機能について、閉じ込め機能のうち、放射性物質の移行抑制の意味が、廃棄体から緩衝材外側への移行抑制とニアフィールド岩盤中の移行抑制では意味は異なるので、「移行」の意味や単位とともにさらに説明が必要ではないか。
10	p.2-9, L30以降	廃棄物に関して、①容器の内容物であるガラス固化体やセメント固化体あるいは固体と充填材のセットなどの廃棄物形態(waste form)、②廃棄物形態を容器(container, canister等)に封入し、または容器に固化した廃棄体(waste package)、③これを取り囲む緩衝材などを収める「パッケージ」(本報告書で使っている用語)を明確に区別して定義し、区別して用いることが必要である。
11	p.2-10, L20-27	安全評価で計算される「線量」は放射線学的影響を予測するための値ではなく、そのような物差しで評価される核種フラックスに過ぎず、評価されているのは処分システムの隔離・閉じ込めの性能である。このような考え方は「IAEAのSSR-5の付録」や「原子力安全委員会(H22.4.1)の余裕深度処分の管理期間終了以後における安全評価に関する考え方 3.将来における人間の生活圏の状態設定」に述べられているので、これらを参考にこの部分での「安全評価」や「様式化」の考え方を追加してほしい。
12	p.2-21, 2.3.3項	活動に対する安全の確保(人による管理)と閉鎖後の安全(自然の過程に任せた受動的なシステム)の確保が混同されないように配慮が必要である。安全確保のために必要とされる時間の範囲と、人間が能動的に関わることのできる時間の範囲を考えれば、人による能動的管理により安全を確保できる時間の範囲は限られており、そのために地層処分という大袈裟な最終処分の方法が考えられており、モニタリングが必要かどうかは、廃棄物が放射能を含むかどうかではなく、それ(固体として固定化された放射性核種)がどういう物理的、化学的状态に置かれ、安全上(人の被ばくにつながる)ことが想定される)何が起こりえるか、それをモニタリングにより検知できるかどうかによることをもう少し説明して、活動中のモニタリングと閉鎖後のモニタリングの意味の違いをはっきりさせてほしい(付属書2-7では、このことが論じられているので、同書の表1, 図1などをここに示して説明するとよいのではないか)。
13	p.2-24 2.4.3項	評価で計算される“線量”は、①人工バリアからの溶解度と拡散に支配される放出率、②天然バリアにおける移行抑制による崩壊による減衰率、③GBIにおける希釈率、④生活圏における再分布率、⑤人の摂取等による被ばくへの換算係数の積として求められるので、それぞれの項の不確実性の幅は積として掛け合わされて、最終的な値(積)の不確実性となる。④と⑤に関連する人のふるまいに関する様式化は大きな不確実性を伴うものであるが、これを保守的仮定により固定して、①②③により生活圏にもたらされる核種のフラックスを抑制しようとするのが地層処分の概念であることの説明を付け加えてほしい。
14	p.2-27 2.5.1項	ここで論じられている、処分場の安全性にかかわる不確実性は、本来2.4.4に議論される内容で、2.5.1では段階的に進められる事業の各段階において、「その段階で残る不確実性」をどのように(例えばNEA, Methods for Safety Assessment of Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste (2012)の Fig.4.1のように)管理していくかの説明がなされなければならない。

No.	該当箇所	コメント・質問
		<p>ここで説明されている内容については、シナリオ、モデル、パラメータの不確実性のうち、モデルやパラメータの不確実性(aleatory uncertainty)は、それらが中心の周りに確率的に分布するとして、基本シナリオと変動シナリオのセットとして対処することができるが、シナリオの不確実性(epistemic uncertainty)は状態設定における知識の不足から保守的に(起こればどうなるかとして)対処するしかない。特に、稀頻度事象や人間侵入については知識の不足は著しい。このような不確実性のもたらす意味の違いを明確にしていきたい。</p>
15	第3章 全体	<p>ここでの記述は、現在わが国の地層処分事業が置かれた状況、すなわち、変動帯にあって比較的若く不均質な地質構造からなる日本列島において処分地を選定しなければならないという状況下で、段階的調査を進めて地層処分に適した地質環境を選択する方法論を具体的に提示している記述である。</p> <p>特に、第二次とりまとめでは、日本で地層処分が成立するために、地質環境については、抽象的に、亀裂性媒体が多孔質媒体としていたが、ここでは、サイト選定において対象となる可能性がある地質環境を、より具体的に、地下研究施設を利用した研究等から得られる地下深部の情報と調査の進め方に関する知見を含む、わが国の地質環境に係る最新の科学的知見に基づき、地層処分の観点から類型化し、検討対象母岩として深成岩類、新第三紀堆積岩類、先新第三紀堆積岩類を設定している。そして、そのそれぞれについて地下深部の地質環境の特徴を考慮し、処分場の設計および安全評価に係る取り組みの基盤となる地質環境モデルを、広域スケール、処分場スケール、パネルスケールに対して構築している。この地質環境モデルを、調査の進展にしたがって得られる情報とともに、具体化、詳細化を通じて更新しその信頼性を高めていくという繰り返しアプローチは、対象となる処分候補地について、空間的な地質環境情報が限定的で、データ数が少ないという制約の下で、地層処分に適した場所を選定するために有効なアプローチとなるであろうことが、根拠とともに示されており、高い評価に値する。</p>
16	p.3-2, 表3.1-2	<p>隔離/人間接近の抑制について「十分な離隔(深度)が保たれること」を追加すべき。自然現象の著しい影響からの防護の欄に書かれているとしても、人間侵入の抑制機能の「要件」として挙げられていないのはおかしい。</p>
17	p.3-5, 表 3.1-4	<p>安全確保に影響を及ぼす要因に対するサイト選定上の対応をいつ検討するかが整理されていてよい表であると考え。ただし、第2欄の題目は、「サイト選定上の対応の基本的な考え方方針」の方が良いのではないか。</p>
18	p.3-5, (1)	<p>3.1.3の(1)の表題は「地層処分の観点から見たわが国の地質環境の特徴」としてはどうか。</p>
19	p.3-6	<p>地質環境についてのわが国の特徴を述べるところなので、現在の状況と長期安定性(時間的変化)の双方について説明するべきで、3.4の p.3-79~p.3-82の記述をここに合わせて説明し、3.4ではここでの記述を受けての議論としてはどうか。</p>
20	p.3-8, L7	<p>最新の科学的知見[8]の文献[8]が追跡できない。この文献は日本の地下深部の地質環境特性データや文献[1]の議論に用いられた全国規模の火山、活断層、隆起侵食等の地図などをまとめている文献だと思われるが、重要な文献となるので、「最新の科学的知見」の意味が十分伝わりかつ追跡できる引用文献としていただきたい。</p>
21	p.3-10, L33-L39	<p>本報告では、「地質環境モデル」が重要なキーワードとなる。一方、「地質環境」と「地質環境モデル」は一般には馴染みのない地層処分特有の用語である。用語集における地質環境、地質環境モデルおよび「モデル」や「可視化」の意味、p.3-13・13-p.3-14・4の記述と合わせ、これが表3.2-1の「地質環境特性」の三次元な記述(Site Descriptive Model)を意味していることを、ここでもう少し明示的に説明してほしい。</p>

No.	該当箇所	コメント・質問
22	p.3-11, 表 3.2-1	第3章を通じて 「微細透水構造が有する放射性核種の移行・遅延特性」や 「岩盤の水理学的特性および核種移行・遅延特性」 という表現がされているが、これは放射性核種の移行・遅延の場となる微細透水構造 が有する(核種の移行・遅延に対する)特性を意味しているため、地質環境の化学場 が考慮の対象となっている個所では 核種移行・遅延特性 →核種移行・遅延に対する特性 と変更してはどうか。
23	p.3-33, 表 3.3-1	表中の分布面積比率が、第四紀の火山岩、堆積岩を除いた百分率となっているが、 これらを含む比率とすべきではないか。
24	p.3-41, L17-L20	透水係数、透水量係数、区間透水量係数が測定も含めどのような関係にあるのか用語 集の説明だけではよくわからない。パネルスケールの水理地質構造のみ透水係数で はなく透水量係数をモデルのパラメータにしているのはなぜかの理由も含め、これら について明示的に説明を付け加えるべきである。
25	p.3-45, 図 3.3-12	これ等の図の説明では3次元でなされた計算結果が2次元断面上に示されており、そ の説明がないため大変わかりにくい。実際には、地下水は紙面内を流れるほか、紙 面に垂直な上昇流、下降流としても移流する、したがってここでのダルシー流速は、 ベクトル量であり、その大きさを表したのではないかとと思われる。3次元の解析結果 を2次元平面でどのようにあらわしているかの説明を加えるべきと考えらる。
26	p.3-45, 図 3.3-13	計算の離散化要素の大きさ、初期条件、境界条件を示すべき。 「下流側境界」とはどこか。広域スケールの上端、下流端、断層が下流側境界に設定 されているのではないかとと思われるが説明がない。p.3-63の処分場スケールについ ての図3.3-38では下流側境界ではなく移行距離500m までの地下水移行時間とされ ている。この違いの意味についても説明すべきである。
27	p.3-52, L1-L11	先進第三紀堆積岩においては、断層・割れ目が地下水流動方向と直交していること が、動水勾配の方向に対して断層・割れ目が大きく寄与しないとの評価につながっ ていると思われるので、断層・割れ目(特に長さ10 km 以下のもの)の傾斜方位および傾 斜を決定論的に設定できる根拠についてより詳しく記述していただきたい。
28	p.3-76, L24-L30	地下水水質で炭酸濃度と pH が、一部の金属イオンに対する錯生成や炭素鋼の腐食 等に対して重要となると考えられる。深部地下水の採取では、圧力が地表で下がる 影響で炭酸ガスが抜けて、pH が上昇する。このため、本報告書では、電荷バランス からもとの炭酸化学種濃度を推定している。この方法には同意するが、ナトリウムイ オン、塩化物イオンの高い地下水では、これらの濃度の差から炭酸化学種濃度を求 める際には、測定値の誤差(大きな値どうしの小さな差)が大きな問題となること にも留意が必要である。堆積岩や先新第三紀堆積岩は起源に石灰岩や有機物を含んで おり、地下の高い静水圧又は間隙水圧のもとでこれらは気体として脱気しないで残留 し、炭酸濃度が高くなっており、処分の成立性に影響を及ぼす可能性もある。また、 処分後のセメント影響によるアルカリ化は石灰岩を溶出させ、地下水水質を変化させ ることも考えられる。特に、付加体(先新第三紀堆積岩)については、こうした情報が 欠けているので、できる限り早急に実測によりこの推定や地下水水質形成の考え方 の妥当性を確認することが重要である。地下深部での pH、間隙水圧を求め、地表で の値と比較して全体の整合性を確認することや、炭酸を逃さない試料水の採取方法 を用いることなどにより、信頼のおけるデータを得ることが重要と考える。 この意味で、p.3-89の35-36の記述に賛同する。できれば表3.5-11にも明示的に示して

No.	該当箇所	コメント・質問
		ほしい。
29	第4章 全体	第3章で設定した三つの検討対象母岩(深成岩類, 新第三紀堆積岩, 先進第三紀堆積岩)に応じて, 地上施設と地下施設の閉鎖前の安全性, 閉鎖後長期の安全性, 回収可能性, 工学的成立性等の設計因子を満足する処分場の設計, 建設, 操業, 閉鎖をする手法と手順を具体化・詳細化しており, 現実に即した具体的な内容となっており, 設計・建設の実現の見通しが確かなものとして示されている。中でも, 高レベル廃棄体に対する縦置き・ブロック方式に対する横置きPEM方式の導入, TRU等廃棄体に対するB型パッケージの導入, オーバーパック厚さの合理化等の代替案を, 将来の選択の余地を残しながら並列に検討しているアプローチも評価できる。また, 小規模な断層や割れ目の影響としての湧水による緩衝材の膨出に対する対応策や, 止水プラグ, 力学プラグ, 坑口プラグの検討や埋め戻し材の検討も, 母岩ごとに異なる湧水の影響に対する対応策として具体的で妥当と評価する。実際の数値や条件等はサイトの地質環境に応じて変化すると考えられるが, 確かにこのような形で設計・建設が可能であるということを示しており, 今後検討すべき課題についてもよく整理されている。
30	p.4-4, L17-32	本報告書では, 検討の出発点として第2次とりまとめ, 第2次 TRU レポートの設定を用いている。処分場概念については, 第1章に述べるべきである。 ここでは, ガラス固化体と TRU 等廃棄物の併置処分を考えており, そのうちガラス固化体の処分についての出発点は第2次とりまとめとなり, これに対して処分概念カタログ, 設計オプションなどが検討されてきて, 他方第2次 TRU レポートをもととして同様の検討がなされてきた(?)ことがわかるように記述に配慮してほしい。
31	p.4-7 4.2-2 設計条件としての廃棄体特性の設定	ここでは設計条件としての廃棄体特性が議論されているが, 各廃棄体に含まれる放射性核種インベントリ等は, 安全評価の出発値としても用いられることになる。 (1) 設計条件としては, ガラス固化体, グループ2(ハル・エンドピース), グループ4の発熱性 H について, その発熱の経時変化が(付属書に?)示されていなければならない。 (2) 安全評価の出発値としては, 発電用原子炉の運転中に, 核燃料中に核分裂生成物と TRU 核種, および原子炉材料中に中性子放射化物が生成する量が ORIGEN2により計算されるが, それぞれの核種が, 使用済燃料を再処理して MOX 利用される際に, ガラス固化体および各グループの TRU 等廃棄物中に分布する。それぞれの核種がそれぞれの廃棄物に何パーセント分布するとしているか, その設定の根拠(品質保証)はどうなっているかが(付属書に?)示されていなければならない。 (3) 廃棄体特性のうちには, ガラス固化体の化学組成, 浸出特性, 耐熱性等も含まれる。付属資料2-2, 2-4にはこうした特性についての記述も含まれること。 これらは廃棄物発生者から与えられる情報であるが, NUMO はこのような廃棄物を受け入れるということを記述することを推奨する。
32	p.4-9, L12-L13	「後に述べる廃棄体の熱影響に関する検討4.5.2 (3) (ii) に示すように, 」を「発熱量が大きなガラス固化体・」の前に付け加えることを推奨する。
33	p.4-13, (i)操業工程	ここでは処分場の操業の手順を示す前に, 坑道(アクセス, 連絡, 処分)をいつ掘削し, いつ埋め戻すのか, 換気, 排水等の設備の工事はいつ行い, 放射線管理区域の設定と解除をどのようにするかという全体の工程の説明が必要。建設の工程特に掘削工程が示されていない。

No.	該当箇所	コメント・質問
34	p.4-14, L9	ガラス化固体→ガラス固化体
35	p.4-16, 表 4.2-2	同様の表が TRU 等廃棄物についても必要。
36	p.4-16, L10	・・事象として、異常出水やガス突出、切羽崩落など→火災もつけくわえるべきではないか。その他の材料の可燃性、腐食性等の考慮は必要ないのか。
37	p.4-17, (2)	この記述全体の中で、問題となる、緩衝材の膨出、セメントのアルカリ影響、水みちの形成(掘削影響領域の形成)に対する方針はどうなっているのか読み取れない。
38	p.4-24, L28~ p.4-25, L12	空洞安定性では、TRU等廃棄物のための大空洞安定性が問題となるのではないかとと思われる。付属書4-3にその検討がなされていることが必要で、ここにはそのことに対する言及が必要。深度の設定ではガラス固化体と TRU 等廃棄物についてどの要素が深度を決定する支配因子となるか、それぞれの検討がなされていて、その結果 HLWの設定にしてTRU等廃棄物はこれに合わせたという説明が必要(付属書4-3でこのことが確認できなかった)。
39	p.4-31, L31	それぞれ78~104 mm, 25~44 mmになった。→それぞれ25~44 mm, 78~104 mmになった。(前のカッコ内の順に合わせる)。
40	p.4-32, (d)	第2次取りまとめで必要厚さを190 mmとした議論と比べて何が異なっているのかを議論して、溶接深さに関する考察も含めて、将来的には最適化のためオーバーパック厚さを合理化することができる可能性があることを述べてはどうか。
41	p.4-40, L12 - p.4-41, L6, p.4-56, L28- 30 緩衝材の設計	緩衝材厚さの拡散バリアとしての適切性については、TRU 等廃棄物等に対する緩衝材については、核種放出率との関係で整理した結果を参考として、性能に余裕を持たせた仕様(1.0 m 以上)としているのに対して、HLWについては核種放出率との関係は議論されていない。これは、HLWについては緩衝材中を拡散しやすいI-129などの核種が多量に含まれていないためと考えられるが、このことを説明しておくべきである。
42	p.4-65, L21-L22	断層および割れ目は、長いほど分布が少なく、短いほど大きく分布するという傾向がある。 →「長いほど分布が少なく、短いほど大きく分布」の表現がわかりにくい。数として言っているのか、累積三次元密度[m ² /m ³]として言っているのか？分布(発現頻度)とこの図の横軸と縦軸の意味がわかりにくいので説明を加えてほしい。
43	p.4-68, L20	トンネル掘削方法および技術については付属書4-67で記述していることを述べておく。
44	p.4-75, L33	破壊接近度と局所安全率の定義を示すべきである。
45	p.4-75, L34~	廃棄体による熱影響の検討は、深成岩類(地下施設設置深度 1,000 m)および新第三紀堆積岩類(地下施設設置深度500 m)について実施した。 →熱伝導率と比熱の異なる先新第三紀堆積岩についても深成岩と同じとしてよい理由は？ 結果は100℃に対して約3℃の余裕であるが、これは地表面温度を15℃、地温勾配を3℃/100 mとしたときの計算結果である。実際の地温や熱伝導率が異なっても十分な(ほぼ同様となる)離間距離なのか、原位置の条件に応じて、また経時的(地表面温度)にもかなりの幅で変化する設計パラメータとなるのかについても言及してほしい。

No.	該当箇所	コメント・質問
46	p.4-87, L7-L8	地下施設のレイアウトを決定する特性は、断層や岩盤の透水性に限らず、岩種（一軸圧縮強さや熱伝導率等）等他にも様々もあると考えられる。ここでは、岩盤強度や廃棄体の発熱の問題はクリアしているという前提の下で、レイアウトの決定に影響を与える特性の一つである断層をいかに避けたレイアウトとするかを考察したのではないか。そうであればそのことを明示すべきである。
47	p.4-100, L3	p.4-11の図4.2-4とも関連してアクセス坑道（立坑および斜坑）の必要本数と地上施設の必要面積との関係について説明してほしい（p.4-153, L22～L27で述べているように）。
48	p.4-120, L5 4.5-6	4.5-6 地下施設における建設・作業時の安全性では地下研の経験や海外の先行事例（WIPP, 瑞浪・・・）, 鉱山や地下施設, トンネル等の失敗事例を収集して（付属資料としてまとめて）おくべきではないか。
49	p.4-123, (2)火災	電線, 信号線, 計装機器（バッテリー等）による小規模火災についても考えておく必要はないか？
50	p.4-136, L4	廃棄体の受け入れ, 検査, オーバーパックへの封入など地下への搬送までは地上施設で取り扱われるため, 管理区域境界における線量を確認しておき, モニタリングを実施する必要がある。
51	p.4-136, L4-L20	ここで示されている考え方は地下施設に対するもので, 廃棄体の受入・検査・封入施設（地上施設）に対するものではないように思われる。どの項目も廃棄体の受入・検査・封入施設（地上施設）に対するものとしては理解できない。以下の検討と整合するように書き換えが必要。廃棄体の受入・検査・封入施設が地下施設にあるなどの間違いもある。
52	p.4-142, L32	発熱性の廃棄体をは仕切られた→発熱性の廃棄体とは仕切られた
53	第5章 全体	<p>地下施設・地上施設の閉鎖前（建設・作業）時の安全性の確保に関する検討については、「地層処分に関する地域の科学的な特性の提示に係る要件・基準の検討結果（平成29年4月）」（地層処分技術WG）において、安全性に関する懸念事項（外部起因事象）に関する検討結果が示されており（例えば地上施設については地震、津波、外部からの衝撃など、地下施設については、膨張性地山、山はね、湧水、有害ガス等々）、多くの項目はサイトの条件に応じて設計により対応するとされており、本報告書でも第4章で議論されている。安全評価においてはこれらに対してどのような設計がなされることになるか（4.5および4.6）を確認したのち、そのような条件の下でも起こりうる事故事象シナリオを設定することが必要である（例えば地上施設については、表4.6-1,表4.6-2の事象は全て工学的に対処できていて考慮の必要はないのか）。これらについてはサイト依存性が大きい為、本報告では内部起因事象についてのみ重要なシナリオを設定していることを述べておく必要がある。</p> <p>原子力施設の安全性の評価としては将来外部起因事象についても扱う必要がある。評価を行わない場合には、評価の前提に対する厳しい要件となることに留意する。例えば p.5-11の5.4-1(3)のように「メタンガスの発生が想定されていないため、爆発の評価の対象としない」とすれば、メタンガスの発生を一切許さないという厳しい要件を導くこととなるので、どの程度のメタンガスの発生なら許されるかの評価を行っておく。</p>
54	第6章 全体	本章では、第3章および第4章で示されたシステムの記述に従い、3種の検討対象母岩（深成岩類、新第三紀堆積岩類、先新第三紀堆積岩類）、2種のモデル水質（低Cl ⁻ 濃度地下水、高Cl ⁻ 濃度地下水）、対象廃棄物（高レベル廃棄物、TRU等廃棄物（Gr.1, Gr.2, Gr.3, Gr.4H, Gr.4L））、高レベル廃棄物に対する縦置き・ブロック方式と横置き・PEM方式、TRU等廃棄物に対する2種の廃棄体パッケージのそれぞれの組み

No.	該当箇所	コメント・質問
		<p>合わせについて、安全評価を実施し、いずれについても設定した安全評価のシナリオ区分に対するめやすを満足し、安全な地層処分の実現の見通しがあるとの結論を得ている。これは第二次とりまとめでは地質環境を堆積岩と結晶質岩ととらえて一般的に成立性を論じたのに比べ、より日本の地質環境を具体化し、複数のオプションの下で安全を評価するというアプローチで、今後のサイト選定の調査段階に向けて地層処分の成立性を示す好ましいアプローチであると評価する。</p> <p>安全評価の基本的枠組みにおいては、安全評価の基本的考え方として、安全評価シナリオの発生の可能性を考慮したリスク論的アプローチと線量/確率分解アプローチを採用しており、これは国際的標準に沿ったもので妥当である。</p> <p>シナリオ開発においては閉鎖後の処分システムの状態を、いくつかの時間枠と空間枠について、その時間枠空間枠における各安全機能(バリア)に着目して(図6.3-1と図6.3-2に応じて)、ストーリーボードを描き、これを利用することで、各期間に処分システムにどのようなことが起こるかをボトムアップのFEPの観点とトップダウンの安全機能の観点の両面から把握してシナリオの作成を行うことを可能とした。これは、各スケールの全体の安全機能と各時間断面のFEPがどのように関連しているか、FEPに関する不確実性が機能の評価にどのように反映するかの把握を可能としたもので、優れたアプローチである。</p> <p>モデル化においては、第3章で開発した地質環境モデルを用いて人工バリアから外部へ放出された放射性核種の断層や割れ目を通じたニアフィールド地質環境、パネルスケール地質環境、処分場地質環境における移行を評価している。これは処分施設の構造に応じて処分場スケールから外部への移行量(速度)を評価可能としており、より現実に即して詳細化されたモデルである。</p> <p>生活圏の評価では、その様式化の正当化に資するために、GBIをいくつか設定しており、世界標準に沿った考え方である。</p> <p>稀頻度事象、人間侵入については、線量/確率分解アプローチに従って、そのもたらす影響を様式化により評価して、シナリオの発生可能性を別途見積もり、両者の積をリスクとして評価している。この考え方に同意する。</p>
55	p.6-1, 6.1.1	<p>「6.1.1 安全評価の進め方」においては、これらの説明をする前に、安全評価、シナリオ、リスク、リスク論的アプローチにおける線量・確率分解アプローチについて説明する必要がある(後述する場合はそのことを記述する)。</p> <p>参考までに原子力安全委員会の「余裕深度処分の管理期間終了以後における安全評価に関する考え方(平成22年4月1日)」および「放射性廃棄物処分の安全規制における共通の重要な事項について(平成16年6月)」などにおいてはこれらを次のように説明している。</p> <p>○ 安全評価シナリオ 放射性廃棄物の埋設処分に関する安全評価シナリオとは、埋設された廃棄物が人間およびその生活環境に及ぼす潜在的影響の程度を、主として放射線障害防止の観点からあらかじめ評価するために想定する様々な状況であり、設定される評価経路と対応する評価モデルおよび評価パラメータによって構成される。(共通の重要な事項)</p> <p>○ シナリオ: 放射性廃棄物が人間環境に及ぼす影響を評価する観点から、処分システムの処分直後の状態を基に、長期間のうちにその状態を変化させる可能性のある一連の現象を想定し、これらを組み合わせることで処分システムの長期挙動を描いたものをいう。(余</p>

No.	該当箇所	コメント・質問
		<p>裕深度処分)</p> <p>○ シナリオ</p> <p>仮定あるいは想定された条件および／又は事象の一式。</p> <p>原子力施設における可能性のある事故又は処分場やその周辺環境の可能性のある将来の進展変化のような、可能性のある将来の条件および／又は事象をモデル化することを表すために解析あるいは評価において最も一般的に使われる。シナリオは、ある一点の時間における条件又は、単一の事象あるいは、条件および／又は事象（プロセスを含む）の時間履歴を表すかもしれない。（IAEA、用語集）</p> <p>シナリオは、設定される評価経路と対応する評価モデルおよび評価パラメータによって構成されるもので、モデルやパラメータが違う場合は異なるシナリオと考えるか、評価経路が同じものは同一のシナリオで、モデルやパラメータの違いはシナリオの変動と考えるかで違いが生じる。シナリオの区分を考える際には前者の考え方をし、シナリオの開発では後者の考え方をしていることに注意が必要である。</p> <p>○ 移行経路・被ばく経路</p> <p>埋設した廃棄物から放射性物質が溶出し生活圏に運ばれるまでの経路を移行経路とよび、生活圏に到達してから放射性物質が人間に直接的・間接的に影響を与えるまでの経路を被ばく経路と呼ぶ。被ばく経路は様式化する。</p> <p>○ リスク論的考え方における線量・確率分解アプローチ</p> <p>ここでは最小限にとどめ、これについては6.1.5(1)で説明することを述べる。</p> <p>上記のように、シナリオから計算される値は、生活圏における被ばく経路が様式化されることから、線量やリスクそのものの推定ではない。生活圏の様式化がなされる根拠は、推定の不確かさに対する余裕の確保による保守性ととも、現世代と将来世代の世代間の公平性の確保という倫理的正当性であるため、その推定の不確かさは、溶出や移行経路等における自然過程に関する推定の不確かさとは異なる形で取り扱われなければならない。p.6-1の脚注の書き方では「様式化」の意味は伝わらない。この脚注では「人間の生活様式に基づく被ばく形態をモデル化」、また p.6-14のL11では「放射性核種が流出する地点や地域の特徴を考慮した生活圏のモデル化」という表現がなされているが、「モデル化」と遠い将来の人の生活様式を現在の人のものと同様と仮定する「様式化」とは意味が異なる。</p> <p>「安全評価の目的」について言えば、地層処分システムの安全評価において着目するのは、処分施設の位置の選択と設計の努力によって達成されるのは、廃棄物からの溶出量の抑制、処分場からの放出と生活圏への移行量の抑制に関する「性能」であって、生活圏での被ばく経路に関しては何らかの努力ができるわけではないことを説明すべきである。</p>
56	p.6-1, L10	<p>…シナリオの区分とそれに対応するめやすとなる線量とリスク</p> <p>→ ここで「それに対応する線量とリスク」としているが、この文脈でのリスクはシナリオの発生確率とその影響の積としてのリスクではなく、その線量に線量換算係数を乗じた致死的がんまたは重大な遺伝的影響の確率として理解される。「リスク」という言葉が「リスク論的」という場合と違うように使われているので注意が必要である（IAEA, SSR-5 2.15の脚注参照）。</p>

No.	該当箇所	コメント・質問
57	p.6-1, L28-L30	<p>…地層処分システムとして将来どのように推移していくのかについて…</p> <p>→…地層処分システムとして、当初どのような状態にあり、それが将来どのように推移していくのかについて…</p> <p>※ 処分システムは初期状態から大きく変化しないことが、重要な仮定となっていて、安全評価ではもっぱら「初期状態の記述」に努力がはらわれているので、「初期状態の記述」をより明示的に書くべきではないか。</p>
58	p.6-2, 6.1.2	(1) 評価対象とする処分場, (2) 評価対象核種と放射能インベントリについては、放射性核種が生成して廃棄物となり廃棄体とされて処分場に定置されるのであるから、(1)より前に(2)が置かれるべきである。
59	p.6-8, (2)	ここではインベントリをどのような根拠の下に計算して求めたのかが付属書で追跡可能な形で記述されていることを述べておくべきである。特に、生成核種量は核計算で求められるが、これらが再処理工程その他の工程でどのような割合でどのストリームに分布するかを根拠とともに示すことが必要である(例えば再処理における I-129の挙動とガラス固化体中に含まれるI-129のインベントリの関係、ハル・エンドピースに付着したり焼却灰、不燃物、セメント固化体に分布したりする FP と TRU 核種の割合に関する仮定とその品質を保証するデータ等)ので、ある程度本編でも述べておくべきと考える。
60	p.6-8, (2)	評価対象核種の選定根拠が諸外国における選定方法であると述べられている。この根拠は「科学的」とはいえない。p.6-10, L7-L9の記述も何が多種多様であるのか、ガラス固化体の選定のどこが統一であるのか意味がよくわからない。諸外国の選定根拠に同意するのであればその根拠を述べるべきである。基本的には、核種のインベントリ、半減期、毒性、環境中の移動のしやすさ等が考慮されるはずである(例えば、日本原子力学会標準「浅地中ピット処分の安全評価手法、付属書B(2012)」など)。
61	p.6-9, 表 6.1-3, p.6-11,12, 表 6.1-4	<p>表 6.1-3 ではガラス固化体 1 本あたりのインベントリが示され、表 6.1-4 では処分場に処分される TRU 等廃棄物の総インベントリが示されている。この違いを本文中に断っておく。</p> <p>また、ガラス固化体中の I-129, Cl-36 および TRU 廃棄物中の Sr-90 のインベントリの設定根拠を述べておく。I-129, Cl-36 は長半減期で収着されないため安全評価結果で閉鎖後長期における線量を支配する核種となり、Sr-90 は放射能インベントリが高く、収着されにくいいため閉鎖後の比較的短期において安全評価結果で線量を支配する核種となり、その線量の高さはインベントリにより決まる。</p>
62	p.6-13, (iii)	生活圏モデルとデータセットについては p.6-113の6.4-1(6)まで説明がされないので生活圏の評価対象核種の説明がわかりにくい。後述することをここで断っておくべきと考える。
63	p.6-15, (1)	人工バリアおよび処分坑道とその周辺100m 程度の母岩を含む領域をニアフィールドスケールとしているが、ここではニアフィールド地質環境の移流場の評価が考えられており、人工バリアからの放出項としての廃棄物形態(waste form)からの溶出と拡散場である緩衝材からの流出のことも記述すべきである。
64	p.6-16, L30~ p.6-17, L2	<p>線量/確率分解アプローチについては、引用元の ICRP Publ.81では、次のように説明している。</p> <p>線量/確率分解アプローチでは、起こりそうかあるいは代表的な放出シナリオが同定され、これらのシナリオから計算された線量が線量拘束値と比較される。その他のあまり起こりそうにないシナリオの放射線学的重要性は、結果として生じる線量とそれら</p>

No.	該当箇所	コメント・質問
		<p>の発生確率を別々に考察して評価することができる。このアプローチは、そのようなシナリオが起こる確率の正確な定量化を要求せず、むしろそれらの確率の推定された大きさに見合った、それらの放射線学的影響の評価を要求することに注意すべきである。また、計算された線量またはリスクの継続時間と程度のような他の考察は、そのようなシナリオの重要性を評価する際に考慮されることもある。</p> <p>このように、発生確率の高いシナリオについては(発生確率を1とみなして)年あたり0.3 mSv の線量拘束値と比較し、発生確率の低いものについては、結果として生じる線量とそれらの発生確率を別々に考察して評価することができるとしている。すなわち、稀頻度事象については発生確率と線量を別々に求め、その積として求められるリスクをリスク拘束値と比較することができるとしている。</p> <p>p.6-16, L36~p.6-16, L2は、p.6-19, L12~L14のことを述べていると思われるが、稀頻度事象について発生確率を(オーダーとして)可能な限り定量的に求めて、リスク拘束値と比較して考えるのは、リスク論的アプローチをとることと同義であり、統合アプローチと線量/確率分解アプローチの違いとは別の話である。</p>
65	p.6-17, L8	<p>人間侵入について本文か脚注に説明を加える。</p> <p>* 参考 IAEA 用語集: intrusion (human)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ ▪ The term <i>human intrusion</i> is used for human activities that could affect the integrity of a <i>disposal facility</i> and which could potentially give rise to radiological consequences. ▪ ▪ Only those human activities (such as construction work, mining or drilling) that could result in direct disturbance of the <i>disposal facility</i> (i.e. disturbance of the <i>waste</i> itself, of the contaminated near field or of materials of the engineered <i>barrier</i>) are included.
66	p.6-17, L10	<p>「一般公衆」は「代表的個人」として、この意味を脚注に加える。</p> <p>* 参考 IAEA 用語集</p> <p>An individual receiving a <i>dose</i> that is representative of the <i>doses</i> to the more highly exposed individuals in a population.</p>
67	p.6-20, L3~L9	<p>シナリオの区分を考える際には、シナリオは、設定される評価経路と対応する評価モデルおよび評価パラメータによって構成されるもので、モデルやパラメータが違う場合は異なるシナリオと考える、という説明が必要(コメント No.2参照)。一方、シナリオ、モデル、データの不確実性という時のシナリオは仮定される経路(移行経路・被ばく経路)または事象の連鎖のみを意味しており、モデルやデータの違いは不確実性を与えるものとしている。</p>
68	p.6-25, L14~L15	<p>人工バリアの構成とその機能がどのように変遷(劣化)していくかが問題となり、その観点で高レベル横置きPEM方式の場合のストーリーボードが図6. 3-1に描かれている。本報告書ではストーリーボードの導入によってトップダウン方式とボトムアップ方式を併用したシナリオ開発が特に状態(核種移行の場合)の設定に注目して有効に進められている点は高く評価できる。ただし、本来ならTRU等廃棄物についても同様のストーリーボードが必要になるが、TRU等廃棄物のグループごとに人工バリア構成が同じであったり異なっていたりするため、ストーリーボードの内容が異なってきた(T₁~T₄の時期)煩雑となる。表4.2-4と表4.2-5に言及されているが、HLW, TRU で人工バリア構成がどうなっているか、その機能は何かを示す最もわかりやすい図は図6.4-10</p>

No.	該当箇所	コメント・質問
		と図6.4-11である。図6.3-1と図6.3-2に加えて図6.4-10と図6.4-11を人工バリア構成としてここに示すことによりストーリーボードの図を省略すると説明してはどうか。
69	p.6-33, L3-L5	<p>生活圏における核種移行においては、移行は水に溶解している核種だけでなく、固体(生物の体)に保持されているままでも起こり、この分配を移行係数として評価している(生体濃縮)。すなわち移行過程では必ずしも希釈だけが起こるわけではないので、このことがわかるように以下のように修文することを推奨する。</p> <p>表層水中を移行する過程で土壌などへの収着によって遅延される。表層水循環系には、飲料や灌漑による水の利用など人間の活動がかかわり、これによって処分場から生活圏に移行した放射性核種による被ばくの可能性が生ずる。</p> <p>→</p> <p>表層水中や大気中を移行・循環する過程で土壌などへ収着されるほか、水生および陸生の動植物により摂取・吸入される。これに対して飲料や灌漑による水の利用や農作物、海産物、畜産物の摂取など人間の活動がかかわり、これによって処分場から生活圏に移行した放射性核種による被ばくの可能性が生ずる。</p>
70	p.6-33, L26-L29	<p>トップダウンアプローチとボトムアップアプローチがどういうものかの説明が必要。ボトムアップアプローチ: 処分システムの変化を引き起こすかまたはその性能に影響を及ぼす可能性がある一連の外部の事象または条件(例えば、気候変動、人の侵入、初期の容器欠陥)を評価することから始めてシナリオを導き出すアプローチ。トップダウンアプローチ: 最初に重要な安全機能を識別し、次にプロセスおよび条件のどの組み合わせが1つまたは複数の安全機能を危険にさらす可能性があるかに焦点を合わせてシナリオを導き出すアプローチ。</p>
71	p.6-34, L15(脚注)	<p>脚注 「パッケージ化された廃棄物」は[59]で『取扱い、輸送、貯蔵、処分のための要件に従って調製された、廃棄物形態(waste form)ならびにあらゆる容器および内部バリア(たとえば、吸収材およびライナー)を構成要素に含む、コンディショニングの製品。』のように定義されており、廃棄物形態であるガラス固化体やオーバーパック等そのものはパッケージ化された廃棄物(日本語ではこれを廃棄体と呼んでいる)とは区別している。</p> <p>ただしNUMOのFEPリストでは、パッケージ化された廃棄物の全ての構成要素との相互作用が問題となるので、この場合には、「パッケージ化された廃棄物」は「パッケージ化された廃棄物の構成要素であるガラス固化体、オーバーパック、PEM容器、TRU等廃棄体、廃棄体パッケージ容器、廃棄体パッケージ内充填材」を意味している。本報告書を通して廃棄物形態やオーバーパック等をパッケージ化された廃棄物と呼んでいるわけではないということを説明すべき。</p>
72	p.6-40, 表6.3-2	セメントの溶脱による間隙水水質による影響は、高レベル放射性廃棄物の処分場においては大きくないとしており、TRU等廃棄物処分場における廃棄体パッケージ内およびパッケージ間では、間隙水水質は高 pH となるとしている(付表6-5~6-8)ようであるが、TRU等処分場における緩衝材間隙水質はどのように設定しているのかを本文(p.6-42, L39~p.6-43, L5あたり)に記述すべき。
73	p.6-43, L32	TRU廃棄物処分場 → TRU等廃棄物処分場
74	p.6-57, L35	人間侵入シナリオに対する記述がない
75	p.6-59, 表6.3-5	第1行のガラスの溶解における「移行率」の定義(どこからどこへの「移行」か、その単位は)を示す。第2行以下の「移行」との意味の異同の説明が必要。

No.	該当箇所	コメント・質問
76	p.6-73, 6.4-1(1) および 図6.4-1	<p>第2次取りまとめと本報告書の取り扱いの違いは、第二次とりまとめでは人工バリアから放出される放射性物質の移流による移行を、断層破碎帯に到達するまでの100mの地質環境における1次元の移行として簡略化していたものを、本報告では空間スケールに対応した地質環境モデルに従って詳細化、具体化していることであると理解する。</p> <p>図6.4-1の核種移行解析においては、結局、核種の移行率を一次元マルチチャンネルモデルで近似的に表現(図6.4-6)することにより、人工バリアから外側へ溶出した後、各スケールの外側へ移行する放射性核種は、移行過程で放射性崩壊で失われな限り、その外側にすべて流入し、最終的に広域スケールにおいて主要な核種移行経路となりうる大規模な断層にすべて流入し生活圏に至るという保存的モデルが適用されていることを説明しておくことが重要である。</p> <p>また図6.4-1の空間スケールの選択では、ニアフィールド領域が核種の閉じ込められている最小の領域とされているため、人工バリア(廃棄物形態、容器、緩衝材)領域に閉じこめられている核種の量とニアフィールド地質環境あるいはパネルスケール中を移行している核種の量が区別できない。比較的短寿命の放射性核種の大部分が原位置で減衰することを示すためにも、空間スケールの最小単位は人工バリア領域として、人工バリア領域からニアフィールドスケールへの移行を「放出項」として明示してはどうか。</p>
77	p.6-75, 図6.4-1	<p>この図における各スケール地質環境および生活圏は、放射性核種の移行において一定時間放射性核種を保持してためておくことのできる「ある特定の大きさ(広さ、体積)のリザーバー(storage space, 貯留槽)」である。その意味で図の右端の矢印が移行していく放射性核種の量を表しているのであれば、生活圏に至った放射性核種は生活圏を定常的に通過してその後海などのシンクへと至るので、矢印は生活圏の上にまで伸びるべきである。</p>
78	p.6-85, L28	<p>この計算は全てのトレーサーが下流端に到達するような境界条件(保存的移行)で行われているので、分散効果は縦方向分散効果であることを断っておく必要がある。また、この計算では、三次元的に分布する割れ目を選択的に移行する移動においても、均質媒体で考えられるのとある程度類似した分散効果が確認されたという意味を説明すべきではないかと考える。また図6.4-9はパルスとして与えられたトレーサーに対する応答であり、実際にはトレーサーは溶解度や溶出挙動に従って、ある一定濃度である期間定常的に与えられ、出力は積み込み積分されたものとなることも断っておく必要がある。</p>
79	p.6-113, 6.4.1(6)	<p>生活圏評価においては、生活圏をどう設定するか、GBIをどう設定するか(流入する核種はどのように流入し、どのような大きさ又は広さの生活圏にどのくらい滞留しその後通過することになるか)がより重要となり、被ばく経路の設定の考え方に対する世代間公平性に関する正当化の議論も必要となる。評価においては対象核種や計算の仕方のみならず、生活圏をどう設定するか、GBIをどう設定するか(流入する核種はどのように流入し、どのような大きさ又は広さの生活圏にどのくらい滞留しその後通過することになるか)がより重要となり、被ばく経路の設定の考え方に対する世代間公平性に関する正当化の議論も必要となる。評価においては対象核種や計算の仕方のみならず、生活圏をどう設定するか、GBIをどう設定するか(流入する核種はどのように流入し、どのような大きさ又は広さの生活圏にどのくらい滞留しその後通過することになるか)がより重要となり、被ばく経路の設定の考え方に対する議論も必要となる。ここでは付属書1で説明されている評価目的、評価指標、評価の考え方(例えば、適用される保守性レベル)、処分システム、サイト条件、ソースタームおよび GBI,</p>

No.	該当箇所	コメント・質問
		評価期間、社会についての基本的仮定など(付属書1の表1の内容)について記述するべきであると考え。付属書1では、諸外国を含めて最近までに行われた議論(IAEA BIOMASS-6(2003)やより最近のレビュー1(BIOPROTA)等)に関する考慮のもとに、処分場位置の多様性に対応するため、GBI は河川の他に、井戸、沿岸海域堆積層 GBI も設定したこと、生活圏として山地と海域に挟まれた沿岸の平野部を基本として、沿岸部・内陸部および平野部・丘陵部・山地部も設定したこと、線量への換算係数への感度が比較的高く、生活圏の評価にコンパートメントモデルを使用する際の特有のパラメータとなるコンパートメントのサイズ(深さ、面積、体積)、間隙率、密度についても、その不確実性を考慮しながら設定した値を表として示しており、最新の知見を反映した生活圏の評価が行われている。これは本報告書において高く評価できる内容であり、将来的に規制が生活圏の様式化を指定する際の参考となると考えられるので、本文で紹介することが大事であると考え。
80	p.6-119 , (7)	線量評価結果として、人工バリア(緩衝材)外側への移行率(Bq/y)(またはこれを生活圏における線量への換算係数を用いて換算した値)の図を併記して示すべきと考える。
81	p.6-128, L35-39	Np-237の子孫核種としてのUが堆積岩間隙水中の高い炭酸濃度による錯生成のため比較的高い線量を与える結果となっているが、これはニアフィールドスケール、パネルスケール、処分場スケール、広域スケールの地質環境のすべてにおいて高い炭酸濃度が維持されると仮定した結果であること、このような場合でも計算上10 μ Sv/y以下の無視しうる程度の線量しかもたらされないことを述べ、この程度の炭酸濃度の地質環境であっても回避の対象とはならないことを説明しておくことを推奨する。
82	p.6-141, L25-29	I-129が支配核種になっている場合には、収着分配係数や実効拡散係数などは保守的設定をしているので、水理条件のみが不確実性として影響を与える(ただし、他の条件が支配核種を変えることもあり得るので、変動ケースとしてこれら进行评估することには異存はない)。 これに対して、U-233が支配核種になっている場合については、収着分配係数や実効拡散係数などは保守的設定をしているのでそれ以上確かめる必要はない(あるいはより現実的な値で安全側に変化することを確かめる)が、炭酸濃度不確実性としてより高い値を設定してはどうか。
83	p.6-145, L19-20	I-129については、可溶性・非収着性であるので、人工バリアからの移行率を支配するのは緩衝材中の拡散律速である。その意味で、変動ケースとして有効緩衝材厚さの変動(減少)について検討してはどうか。
84	p.6-154, 脚注	最終処分法第6条第2項第3号に定める経済産業省令(平成12年通商産業省令第151号特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律施行規則)では、「当該概要調査地区として選定しようとする地区内の最終処分を行おうとする地層において、その掘採が経済的に価値の高い鉱物資源の存在に関する記録がないこと。」を定めている。これも追記してはどうか。
85	p.6-155, L4	想定するシナリオは、人間侵入の行為としてもっともらしい・・・ → 想定するシナリオは、母岩となる地層によりもたらされる深度に隔離されている処分施設に対して人間侵入の行為としてもっともらしい・・・ (理由)処分深度が人間侵入のシナリオを限定すると考えられ、p.6-155, L8～L12の理由としてつながるように。
86	p.6-155, L8-16	人間侵入をボーリングによる掘削活動に限定して、地下水利用を除外した理由として、日本における地下水位は高く、用水として利用される地下水は地表の生活圏に属し、処分施設のある深度の母岩間隙水とは地層により隔離されているとみなされて

No.	該当箇所	コメント・質問
		いることを、日本における地下水利用のデータ等に基づいて説明できないか。
87	p.6-157, L5-6	SSG-23[2]では、主として浅地中処分施設の人間侵入について、侵入者個人と一般公衆の被ばくの扱いについて議論している。これも引用文献とすればどうか。
88	p.6-188- 218, 付表	本報告書では化学種の溶液中濃度を容量濃度(単位体積の溶液当たりの溶質のモル数, molarity, mol/dm ³ = mol/L)で表したり, 重量モル濃度(単位重量の溶媒当たりの溶質のモル数, molality, mol/kg)で表したりしている。例えば, 表3.3-16の母岩水質は mol/L, 表6-5~表6-8の間隙水質や表6-9~表6-11の溶解度は mol/kg, 表6-21~表6-23の収着分配係数は m ³ /kg (溶液は体積)となっており, p.6-123, L4や p.6-126, L14ではMが用いられている。元のデータの取得は大抵容量モル濃度を用いて25°Cにおいてなされているが, 温度が変わったときに定数が変わることは好ましくないの で, 熱力学データベースでは厳密性に配慮してその温度の溶液の密度を用いて重量モル濃度単位に換算がなされて示される。溶質の全濃度が十分低いときは溶液の体積1 Lと溶媒の重量1 kg はほぼ等しいので両者は互換的に用いることができるが, 濃度が高くなると換算が必要となる。表6-5~表6-8の間隙水質や表6-9~表6-11の溶解度はもともと mol/dm ³ で求められたものを mol/kg に換算して示されているものと思われるが, 混乱を招くので mol/dm ³ を単位として示すほうが好ましい。なお, 多くの個所で mol/dm ³ , mol/L, M の表記が統一なく用いられているが元の報告書の表記が統一されていないことを考えると, 意味が同じなので混在も仕方がないと考える。
89	第7章 全体	第7章では、まず7.1と7.2で本報告書の内容が簡潔になされ、7.3で、それに基づき、本報告書の内容すなわち予備的または暫定的になされた検討や評価の信頼性が議論されており、7.4で今後何をなすべきかが議論されているが、ここではサイトが確定して最終的に提出されるセーフティケースに対して何が不足しているかを明示的に議論するほうがわかりやすいかもしれない。 いずれにしても、ここでは特に、瑞浪超深地層研究所および幌延深地層研究センターにおいて、深成岩および新第三紀堆積岩を対象に地質環境情報が体系的に取得されたのに対し、「科学的特性マップ」で好ましい特性が確認できる可能性が相対的に高く、かつ輸送面でも好ましいとされる沿岸地域に分布する付加体を構成する先新第三紀堆積岩類については地質環境情報が限定的で、モデル構築のために必要なデータを取得していく必要があることが指摘されており、重要な指摘である。 断層・割れ目を確率論的に発生させて構築した地質環境モデルは、地層処分の成立性の見通しを得るため、あるいは選定調査を次の段階に進めるための評価には十分でも、最終的な安全評価のためには十分とは限らず、その時点までに調査により、大きな断層・割れ目の位置と大きさ等は決定されていなければならない。また、確率論的に発生させた断層・割れ目に基づくモデルのまま残る場合も、そのモデルを構築するためのデータの十分性およびモデルの安全評価に対する有効性を確認する必要がある。これは今後地質環境モデルを用いた安全評価を用いてサイトの選定を進めていく上で、非常に重要な点であるので、モデルや評価の信頼性と不確実性については、調査の進展とともに低減される見通しのある不確実性と最後まで残る不確実性を区別して、今後どのような調査により段階的にどのような不確実性が低減されるかの見通しを示す記述の追加が望ましい。
90	p.7-18, L3 および 図7.2-1	番号6.4.2項の表6.4-6に示す・・・ → 番号6.4.2項の表6.4-7に示す・・・ この図とともに表6.4-7を再掲することを推奨する。

No.	該当箇所	コメント・質問
91	p.7-19, L10-11 および L18-20	線量/確率分解アプローチを用いるリスク論的アプローチにおいては、基本/変動シナリオについては線量拘束値を超えないことを確認し、稀頻度、人為シナリオについては、様式化シナリオを用いて影響としての線量を求め、別途そのシナリオの発生確率を推定し、両者を示しながら、積としてのリスクを見積もって評価する。このため以下のように記述を修正することを推奨する。 → ..設定した線量を下回るとともに、 <u>別途シナリオの発生確率を見積もった結果、線量と発生確率の積は...</u> リスクレベルを大きく下回る結果が..
92	p.7-24, L34 および脚注	放射性廃棄物に含まれる全放射性核種を公衆が経口摂取した場合の被ばく線量を潜在的放射性毒性という[22]。... →放射性廃棄物に含まれる全放射性核種の量にその核種の経口摂取による線量換算係数(預託実効線量係数)を乗じて計算した仮想的な被ばく線量に相当する値を放射能毒性という[23]。... 放射性毒性か放射能毒性(付属書)はどちらかに統一。
93	p.7-26, 図 7.3-1	この図のままでは100%に相当する値が時間とともに変化していることがわからない。100万年、1千万年では、初期の放射能の数万分の一、数十万分の一の何%かを見ていることになる。NUMO-TR-04-03 の Figure 2-4のように両対数軸で存在量(HLWとTRUの総和)で示すことを推奨する。NUMO-TR-04-03 の Figure 2-4では、どれだけ人工バリア内にとどまり減衰してなくなるか、どれだけ岩盤にあるか等が読み取れる。NUMO-TR-04-03 の Figure 2-4のようにあらわすと、初期の放射能のどれだけ隔離され閉じこめられたかがわかり、生活圏に移行する放射能はごく限られるという重要なメッセージが明瞭に伝わる。 なお NUMO-TR-04-03 の Figure 2-4では領域をガラス固化体、人工バリア、岩盤、生活圏に分けている。この図ではパネルスケールを「閉じ込めの最小領域」としているがパネルスケールは広いので、初期の放射能の大部分は人工バリア(固化体)内に閉じ込められたまま減衰してなくなることを示すため、最小領域は人工バリア(固化体と緩衝材)内領域とすべきと考える。
94	p.7-27 (ii) の議論	潜在的放射能毒性(量としての概念)と放射能毒性濃度(濃度としての概念)が混乱している。ここでは10万年後に大部分固化体内に残る放射能の量をより大きな体積である処分区画の体積で除して“濃度”らしきものを計算して岩盤 1kg あたりの放射能毒性として、品位の異なるシガーレイク、人形峠のウラン鉱石の1 kg あたりの放射能毒性と比べている。濃度の比較は両者が均質であるときのみ有効であり、固化体中の放射性核種が岩盤中に均質に分散することはないのでこの議論は無効である。 なお、p.7-28, L1-L3の記述は、(i)と(ii)を合わせた結果であるので、誤解のないように ⇒以上(i)および(ii)より、処分場閉鎖後...のように修正すべきである。
95	p.7-28(iii) の議論	ここでの議論は、比較の対象となる U-238のガイドラインレベル(濃度)が、その摂取毒性(年間飲用水量、線量換算係数を用いて)を計算して決められているので、河川水の放射能毒性濃度を計算するという事は、生活圏における被ばく評価におけるG BIを地下水のかわりに河川水とし(希釈水量を $2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{y}$ から $10^9 \text{ m}^3/\text{y}$ に変えて)、河川水飲用シナリオを考えたことに相当する。これを補完的指標とするのであれば、その意味と、U-238 のガイドラインレベルがどのように(どのような線量と飲用水量から)決められているかを説明すべきである。
96	p.7-36, (2)	項目として「沿岸海底下における処分施設の工学設計」を追加することを推奨する。これはここに挙げられた項目と重複する面もあるが、施設を「沿岸海底下」とすることで生じる特有の問題があると考えられる。

NUMO 包括的技術報告書「わが国における安全な地層処分の実現
 ー適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築ー」レビュー版へのコメント
 半井 健一郎（広島大学）

No.	該当箇所	コメント・質問
1	第4章 全体	不確定要素が多い中、処分場の工学的な設計に関して、関連情報を分かりやすくとりまとめたうえで、可能な限り具体的な内容を議論したことは高く評価できる。一方、設計や仕様、影響評価の位置づけが不明瞭であること、議論に統一感の欠ける点があることなどについては、修正が必要と考える。
2	第4章における「設計」や「仕様」の位置づけ	<p>「設計要件に基づいて設計を実施し、基本となる仕様(材料、形状、寸法など)を設定する(p.4-3 ln.15-16)」などとあるが、本報告書における「仕様」や「仕様成立範囲」という用語の定義を明確にするとともに、設計が仕様規定型ではなく性能設計型となっていることを明示する必要がある。</p> <p>まず、「仕様」とは、一般には要求事項をまとめたもので、本報告書においては設計や施工において守るべき事項(要件)が示されることとなる(米国試験材料協会 ASTMでの仕様 specification の定義は an explicit set of requirements to be satisfied by a material, product, system, or service.である)。仕様は、範囲を含んだものとして用いられることが多いため、本報告書における「仕様」や「仕様成立範囲」の使い方は誤解を生む可能性がある。</p> <p>また、本報告書で示された処分場設計の考え方は、安全性を確保するために処分場に要求される性能を満たすための性能設計型のアプローチをもとにしていると考えられるが、仕様が強調されているため、仕様規定型の設定アプローチのように読み取れるところがある。設計の枠組みを明示し、誤解のない記述とすることを望む。</p>
3	第4章の「影響評価」と第5章、第6章の「安全評価」との関係	<p>図 4.1-1 には仕様の設定後に影響評価と工学的対策の検討を行うことが示され、本文中では「仕様の妥当性を判断するために影響評価を実施する」と説明されている。そして、第5章や第6章では、第4の脚注にも示されているように、「安全性の評価」を行っている。これらの関係が明らかではないため、整理が必要である。これは第4章のみの課題ではないため、第2章において、より明示的に、第4章～第6章の関係性を明示する必要がある。</p> <p>具体的には、処分場の設計の目的は、天然バリアを含めた処分システム全体として放射性物質の隔離と閉じ込めを確実に行うことにあるが、第4章ではシステムの中の処分施設(人工バリア、地下施設および地上施設からなる人工構築物)の設計を行い、第5章では閉鎖前の安全性、第6章では閉鎖後の安全性を線量の観点から評価するものと理解できる。第4章においては、システム全体としての要求性能を満足するための処分施設としての安全機能と設計手法と照査の枠組み、設計例を示していることを明示すべきである。</p>
4	緩衝材の長期健全性の評価	<p>p.4-41 ln.32-33では「自重沈下が継続したとしても、緩衝材は長期にわたり仕様が成立する必要最小厚さを十分な余裕を持って確保できる」としているが、必要最小厚さは有効密度との関係から決定し、両者の関係においては様々な条件を考慮しているため、自重沈下によってこれらの前提条件が変化しないことを述べる必要がある。</p> <p>「限界状態(p.4-42 ln.9)」という用語が使われているが、設計時に限界状態を定める限界状態設計法を想起させる記述でもあるので、本報告書での定義を示す必要がある。</p>
5	関連記述の	p.4-44 ln.14 に「試験で目標とした乾燥密度 1.9 Mg/m ³ 以上を達成」との記述がある

No.	該当箇所	コメント・質問
	整合性の確認	<p>が、緩衝材の密度の仕様は「乾燥密度=1.6Mg/m³」であり、1.9 Mg/m³ 以上の乾燥密度を達成することの意味が明らかではない。また、試験の目標値としても、p.4-45 ln.6 では 1.6Mg/m³ としており、整合しないように見えるので、追加の説明があるとよい。</p> <p>また、コンクリートやモルタルの強度について、単に「強度」としているところと「設計基準強度」としているところがある。設計基準強度は、平均値ではなく、ばらつきを考慮したとしても原則として満たされる強度（一般に不良確率は 5%）である。使い分けをしているのであれば定義を明確にすべきであるし、使い分けをしていなければ、いずれかで統一すべきと考える。</p>
6	廃棄体パッケージ容器	<p>廃棄体パッケージ A と B の容器は、鋼製容器に廃棄体を収納し、モルタルを充填することについては共通しており、A は容器の下にフォークを差し込んでフォークリフトで定置するのに対して、B は容器をクレーンで吊り上げて定置することが本質的な違いであると理解できる。しかしながら、耐食性や構造健全性の評価においては、A と B では検討内容が大きく異なる。この理由が明らかではない。</p> <p>なお、p.4-50 ln.1 には、モルタルから水素発生を抑制するために「間隙水を除去する」との記載がある。充填モルタルに要求する機能によるが、一般には、乾燥などで間隙水を除去することによって大きな乾燥収縮が生じ、モルタルに収縮ひび割れが発生することになる。この点を問題としないのかについて、説明があるとよい。</p>
7	p.4-83, 表4.5-11	表4.5-11に示された力学プラグの「製作施工性」には、スランプやその保持性など、ワーカビリティを加える必要がある。
8	回収可能性	<p>「影響が中間的である B の状態に対して回収技術の適用性を検討(p.4-147 ln.14-15)」において「中間的な状態である B」を検討対象とした理由を明示する必要がある。</p> <p>2.1.3 項(2)の「可逆性と回収可能性」の解釈と関連するが、本来は、安全かつ合理的に回収が可能な範囲(建設段階)での回収可能性を確保すべきものとする。よって、単に「影響が中間的である B の状態」についての検討は適当ではなく、回収が安全かつ合理的に行うことができる建設段階の範囲を検討する必要がある。もしも閉鎖後を含めてすべての段階での回収可能性を担保するとすれば、「人間接近の抑制」との両立が難しい。それでも検討が必要であるとすれば、C の状態や閉鎖後を含めた実現可能性の議論が不可欠となる。</p>
9	第5章 全体	閉鎖前の安全性評価のためのシナリオとしては、基本的な考え方や具体的な検討結果が適切に取りまとめられていると評価できる。ただし、第4章でもコメントをしたように、第4章における処分場の設計値の妥当性の検証のための安全評価として第5章の位置付け、第4章との関係は不明瞭である。
10	第6章 6.1	<p>第4章における設計の考え方と設計例の関係とも同じ議論になるが、サイトが選定されていない現段階においては、サイトや処分施設によらずに適用できる基本的枠組みを示したうえで、具体的な検討事例を示す必要があると考えられる。両者がより明確に整理されることが望ましい。</p> <p>安全評価を設計の検証(性能照査)と位置付けた場合、「6.1.1安全評価の進め方」は、「期待する安全機能を発揮するよう、…構築される処分場(ln.27-28)」が、本当に期待する安全機能を閉鎖後の長期にわたって発揮できるのかどうかをチェックすることが求められる。よって、得られた結果は、単に「安全性について論ずる(ln.35)」に用いられるだけでは不十分で、設計した安全機能が発揮されるかどうかを判定するこ</p>

No.	該当箇所	コメント・質問
		<p>とを明記すべきである。</p> <p>p.6-8においては、評価対象核種の選定の方法は、「国内外における安全評価の事例を参考に(ln.10)」や「諸外国における選定方法を参考に(ln.14)」としか説明されておらず、NUMO としての主体的な判断がない。諸外国の考え方の整合性を確保することは重要と考えるが、この記述だけでは、諸外国の選定方法が変更になれば我が国における選定方法も自動的に変更になるように読み取れるため、どのような考えに基づいて参考とするのかについて追記することが望ましい。</p>
11	p.6-65, 変動ケース	<p>p.65において、変動ケースの組み合わせについて、「変動ケースを組み合わせたケースを想定することは、…発生の可能性の極めて小さいものと考えられるため、本報告書では想定しない(ln.13-14)」と「今後、…変動ケースの組み合わせについても検討を行っていく(ln.14-17)」は矛盾しているように見えてしまう。表現を修正いただきたい。</p>
12	第6章 透水係数や 拡散係数の 設定	<p>6.4.1の基本シナリオの各種移動解析では、核種移行に関するデータセットとして、緩衝材の透水性(p.6-90)、セメント系材料の透水性(p.6-91)、緩衝材の実効拡散係数(p.6-95)などが設定されているが、以下の点についての検討が必要である。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・数値の設定においては、いずれも保守的であることを理由に大きな値を設定していると説明しているが、大きな値を設定すれば必ず保守的になる根拠をあらかじめ示すべきである。また、基本シナリオでは、「緩衝材の…実効拡散係数の平均的な値を適用する(表6.3-11)」としていることから、p.6-69の「実効拡散係数のなかで最大となる値を用いた(ln.10-11)や「実効拡散係数の値のうち、より大きいものを適用することとした(ln.23)」は矛盾しているように読み取れるので、修正が必要である。 ・表6.3-11に示されているように、基本シナリオで平均値を用いるのであれば、変動シナリオで大きな値を検討することの意味が理解できるが、基本シナリオですでに大きな値を設定しているとすれば、変動シナリオですらに大きな値を設定する意味が不明確である。 ・6.4.2の変動シナリオに対する線量評価結果からは、緩衝材の実効拡散係数が線量評価結果へ及ぼす影響はないと読み取れる。設計における性能照査を目的とした安全評価であれば、合否判定のみが必要なものでこれでよいが、技術的検討の余地の大きい現段階においては、緩衝材の実効拡散係数の影響が無視できる範囲の同定やその考察を深める道筋を示すべきと考える(他の変動シナリオも同様であるが、特に No.8は本文中での言及がみつからない)。極端に書けば、今回の変動シナリオの検討結果からは、たとえば緩衝材の低拡散性は必要がない(効果がない)ように読み取れてしまう。
13	p.6-71 , 表 6.3-11(2/2)	<p>最後の溶解度制限固相の熱力学データの不確実性ケースだけ、基本と変動の欄が分割されている意味がないので、他と合わせるべき。</p>
14	p.6-163	<p>二つの段落が、いずれも「以上に述べた安全評価の」ではじまり冗長にみえるので、修正を頂きたい。</p>

NUMO 包括的技術報告書「わが国における安全な地層処分の実現
 —適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築—」レビュー版へのコメント
 新堀 雄一（東北大学）

No.	該当箇所	コメント・質問
1	第1章 全体	<p>報告書は、サイトが特定されていない段階における地層処分事業のセーフティケースの構築の基本形を示している。</p> <p>そこでは、最新の科学的・技術的な知見・成果を可能な範囲で取り込み、地質調査・評価、処分場の設計、安全評価に係わる技術の取り込み状況をまとめており、事業の可逆性や回収可能性、モニタリングの位置づけ、閉鎖前の安全評価の取り組みにも言及し、事業の安全確保について多岐にわたるそれらマネジメントの基本的な考え方についても多面的な対応が記述されている。</p> <p>以上は、NUMO が、関係機関と連携し、主体的に本事業を段階的に進める準備が整っていることを示しており、事業の各段階において、詳細は見直しがなされていくものの、本報告書が事業のセーフティケースの基盤になることが期待される。</p> <p>なお、処分場の閉鎖直後(数十年から数百年程度)、すなわち、人工バリアが地下水によって飽和する状態および還元雰囲気に移る過渡的な期間において、バリアの多重性能に関する不確実性について、</p> <ul style="list-style-type: none"> ・閉鎖前では、処分場の地質特性を確認し、人工バリアやその周囲環境に関するモニタリングもなされるなど、より詳細なデータが得られること、 ・処分坑道への廃棄体の埋設が段階的になされ、閉鎖前において、排水や止水が処分場において変化していくことや定期的に繰り返し処分場の性能評価がなされることを踏まえ、過渡的な期間での不確実性の低減に向けた対応がなされることもより明確に示していくことが望まれる。
2	第1章 全体	<p>本章では、これまでの地層処分事業の推移および平成23年東北地方太平洋沖地震以降の政策の再構築を適切にまとめ、科学的特性マップの提示に至る経緯を述べるとともに、本報告書の目的、作成の進め方、および構成を、対象読者を明確にした上で、端的に記述している。その中で、次の内容がこれまでの報告書と比較して明確に述べられていることは高く評価できる。</p> <p>1) NUMO が、地層処分を安全に実施していく方策を社会に提示するにあたり、社会から信頼される組織であること、地域との対話の重視することを宣言している。その中で、地域との対話においては、地層処分の実現にあたり地域への敬意や感謝の念が広く社会に共有されることの重要性を記述している。</p> <p>2) 本報告書が、国際的な動向を踏まえ、わが国における地層処分事業に係るセーフティケースの基本形となることを目指し、処分場閉鎖後のみならず、閉鎖前の期間も併せて、全体として整合性のとれた安全確保の在り方を記述することに言及している。</p> <p>但し、上述2)に関連して、処分場閉鎖前と閉鎖後の安全評価について、前者が操業での作業安全に注力する必要がある点で、後者とは観点が異なることは理解できるものの、段階的に廃棄体が埋設され、処分坑道の排水、止水が変化していくことを踏まえ、それらに関連性の有無について意識した記述が望まれる(p.1-11の本書の構成)。</p> <p>なお、本報告書において多用されるステークホルダーという言葉については、利害関係者と邦訳されることが多いことを承知しているものの、本質的には、NUMO が事業を進めるにあたり支援を必要とするグループを意味し、その定義について NUMO 内において議論を深め、本章において丁寧に記述する必要があると思われる。たとえば、p.1-8</p>

No.	該当箇所	コメント・質問
		の「さまざまステークホルダー(規制機関, 国, 地域住民, 国民など)」について, 当該グループとして括弧内の順序も問われると考える。このことは上述1)にも関連している。
3	p.1-1, L5	「現世代の責任として, これらの放射性は廃棄物の安全な処分の具体化に向けた検討を行い, 着実に実施に移していく必要がある」→「現世代の責任として, これらの放射性について廃棄物の安全な処分の具体化に向けた検討を行い, そこから抽出した課題の解決を着実に実施に移していく必要がある」ではいかがでしょうか? 何を着実に実施に移すのかを明確にする必要があると存じます。
4	p.1-3, L16-17	「…べきこと」→「べきであること」
5	p.1-6, 図1.2-2	文字が見えないので, 鮮明な図を貼る。
6	p.1-10, L10	「…を対象読者として想定している。そこで, 数万年以上もの長期にわたる安全考え方, <略>, これまで国民の皆様から疑問や関心が寄せられることが多かった事項を中心に, これまで国民の皆様から疑問や関心が寄せられることが多かった事項を中心に, 難解な専門用語を極力使用しない平易な表現でわかりやすく説明する文書を別途行っている」→「…を対象読者として想定している。そこで, 別途, 難解な専門用語を極力使用しない平易な表現で, わかりやすく説明する文書の策定している。そこでは, 数万年以上もの長期にわたる安全考え方, <略>, これまで国民の皆様から疑問や関心が寄せられることが多かった事項を中心とした記述とする。」ではいかがでしょうか? 二つの文章を結ぶ「そこで, 」という接続詞が, より明確になるように思います。
7	第2章 全体	<p>本章では, NUMO が地層処分事業を進めていく上で, 重要な要素を整理し, サイト選定, 処分場の設計および安全評価に関する基本的な考え方を示すとともに, これらを統合して管理する具体的な方策についても記述している。そこでは地層処分相当の一部の TRU 等廃棄物の処分について, 本報告書での検討の在り方も明確にしている。その中で, 次の点について言及している点は, 高く評価できる。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 処分場の閉鎖直後(数十年から数百年程度)は, 人工バリアが地下水によって飽和する状態および還元雰囲気に移す過渡的な期間となり, バリアの多重性能が十分に発揮されず, 廃棄体から放射性物質が放出された場合, その核種移行評価に必要な状態設定に大きな不確実性を伴うこと。 2) 事業の可逆性と廃棄体の回収可能性の確保について, その重要性および国際的な議論を念頭に NUMO としての基本的な考え方を明確に述べていること。 3) 地層処分事業については, 現在, 環境影響評価法の対象ではないものの, NUMO は事業者として, 環境影響の評価および必要な周辺環境保全に取り組むとしていること。 4) モニタリングについて, 原子力関連施設の通常のモニタリングに加え, 地層処分特有のモニタリングの必要性とその計画の明確化について述べていること。 5) 処分場は一般的な構造物に比較してより長期にわたって施設の健全性を求められることを念頭に, 閉鎖前の安全確保とサイト選定との関係について言及していること。 6) 隔離機能の確保について, 地下構造のオプションとして, 廃棄体の多層の配置を考慮して, 地上に投影した処分場の面積を縮小化する方法など, サイト選定にあたり安定な地下領域を有効に活用する方策の柔軟性を記述していること。加えて, 前述を含み, 処分場のレイアウト, 区画, 廃棄体の定置形態および人工バリアの構成素材等の設計上のオプションについて, その合理的な適用は BAT による地層処分の信

No.	該当箇所	コメント・質問
		<p>頼性の向上の考え方と整合することに関及していること。</p> <p>7) 地層処分事業の要となるサイト選定、処分場の設計および安全評価についての一貫した管理を念頭に、その具体的な方策を示すとともに、その意義と活用方法について、技術的な伝承、人材育成等にも言及し、重要性を示していること。</p> <p>8) 処分場閉鎖前の安全評価についても、処分事業のセーフティケースの構築の基本形として重要な位置づけとすることを明記していること。</p> <p>但し、マネジメントの基本的考え方に記述される「地層処分システムの理解や科学技術的な進歩の適切な事業への取り込み」について、NUMO 自身が、主体的にそれを定期的に見直す方策および体制についてもより具体的に言及する必要がある。</p>
8	p.2-1, L5	<p>「高位のアプローチとして」という文言は不要ではないでしょうか？高位でないアプローチがあることを意味し、それは低位となります。本来、上位や下位という言葉がありますが、その前後の文章から、安全確保を包絡する上位概念であることは明らかになっていると思います。</p>
9	p.2-5, L26	<p>「約5%割り増し合計19,018 m³」→「約5%割り増し、合計19,018 m³」</p>
10	p.2-6, L9	<p>「将来における放射線学的なリスクは受け入れ可能なほど低くなる」→「将来における放射線学的なリスクは国際的な許容レベルに比較しても十分に低くなる」ではいかがでしょうか？「受け入れ可能」という言葉は誰が受け入れるかということによって読み方が変化するかもしれません。ここでは、規制側が受け入れることを意味していると拝察しておりますが、現状、規制機関から安全規制基準が示されていないことを考慮すると、結局「受け入れ可能」とは空虚な言葉となってしまいます。</p>
11	p.2-7 以降	<p>「閉じ込め」という言葉について、閉鎖前の「操業時閉じ込め」と閉鎖後の「閉じ込め」は表2.1-3および表2.1-5において明確に区別しております。但し、「操業時閉じ込め」の記述のところで文章として出てくる「放射性物質を限定された区域に閉じ込め、・・・」、「固化された廃棄物が放射性物質を閉じ込めることを期待するが、廃棄物を容器などに封入し、廃棄物から漏えいした放射性物質を容器に閉じ込める・・・」などでの「閉じ込め」あるいは「閉じ込める」という言葉は、閉鎖後の用いる「閉じ込め」あるいは「閉じ込める」とは異なり、表に示されるように「漏えいの防止」という意味合いになることから、注記を示す、あるいは「閉じ込め(漏えい防止)」など、区別していることを文章中でも示すほうが良いと思います。また、「漏えいの防止」とは検出限界以下であることを確かめるなど、具体的な「操業時閉じ込め」の検証にも言及する必要があると思います。</p>
12	p.2-12, L27	<p>「技術的な信頼性が不十分と認識されるなどのリスクがある」のリスクという言葉は、p.2-25, 12行目の「リスク」とは異なる使い方であり、一般的には用いられることは承知しつつも、p.2-12, 27行目では「技術的な信頼性が不十分と認識されるなどの可能性がある」という記述もあると存じます。</p>
13	p.2-21, L3	<p>適切な設計項目を設定することで」は削除してもいいのでは？前段で、「設計因子」および「設計オプション」の言葉の定義を示していることから、ここでの「設計項目」の意味が明確でなく、文章としては、「適切な設計項目を設定することで」は削除しても意味は十分に伝わると思います。</p>
14	p.2-31, L24	<p>「データ: 数字や文字の羅列」とありますが、「データ: 事象に関する数値や文字の集まり」とするのはいかがでしょうか？なお、情報とはデータから意味あるものを抽出したものと、情報とデータを区別していることは承知しております。「数字や文字情報」とするのは誤解を生むとっております。</p>

No.	該当箇所	コメント・質問
15	第6章 全体	<p>・H12レポートや第2次 TRU レポートの知見を踏襲しつつ、その後の溶解度や収着分配係数などのデータベースの更新を図り、塩水系、淡水系地下水の各地下水成分、深成岩類、新第三紀体積岩類、先新第三紀体積岩類の特徴、さらに、廃棄体の定置方法、各種 TRU 廃棄物との併置を考慮して、安全評価を行っている。そこでは、ストーリーボードと併記することにより異なる専門性を持つ読み手の理解を促進し、基本シナリオおよび変動シナリオに加え、新規火山の発生や断層伸展などの稀頻度な事象や人間侵入の事象についての被ばくについても検討され、処分システムの頑健性が、国際的に示される許容される線量やリスクに比較しても、十分に低いことを定量的に示している。本章に示される安全評価は、処分システムにおける諸現象をより忠実に表すことを念頭にしており、いくつかの保守的な仮定と組み合わせつつも、H12レポートや第2次 TRU レポートから、その点で特に大きく進展しており、本書に掲げるセーフティケースとしての主要な部分の一つとなっている。今後、より一層科学的知見を深化させるべき要素についても言及している点も含め、本章に記載された一連の安全評価の取り組みは高く評価できる。</p> <p>但し、上記の進展を理解しつつも、ストーリーボードの位置づけや GBI における河川流量の設定など、いくつか気になる点もある。そこには、読み手の理解不足もあるかもしれないが、読み手が疑問を持つ点の一つとして参考になれば幸いである。</p>
16	第6章 冒頭	<p>・閉鎖前の安全性の評価(第5章)と第6章との関係</p> <p>第6章の冒頭では、第3章の地質環境の選定およびモデル化、4章の処分場の設計と工学技術との関連が述べられているが、第5章との関連は記述されていない。閉鎖前の安全性の評価と第6章との何らかの関連があると考えますが、もし、完全に独立しているとしても、そのことについても言及すべきと考える。</p>
17	6.1 安全評価の進め方	<p>p.6-2の12行目などいくつかの箇所で「安全評価の保守主義」という表現があるが、これは「安全評価における保守的な設定」という表現でいいと感じる。もし、「保守主義」という言葉を使いたい場合には、引用を示すなど適切な説明が必要になるが、一般的には対比する言葉として、一例としては「自由主義」もあり、誤解を招く恐れがある。</p>
18	6.1 安全評価の進め方	<p>p.6-2,10行目「このため、わが国に広く分布する代表的な母岩に対して、第3章で構築した検討対象母岩に対する現実的な地質環境モデルと、その特徴を考慮して設計した処分場を対象として、安全評価における保守主義を原則としつつ、<u>その特徴を可能な限り現実的に扱う</u>という、より実践的な方法論を適用し、わが国で考えられる処分場の安全性について論ずる。」は、下線部に示す「その」がどこを指すかを明確にするため、「このため、わが国に広く分布する代表的な母岩に対して、第3章で構築した検討対象母岩に対する現実的な地質環境モデルと、その特徴を考慮して設計した処分場を対象として、安全評価における保守的な設定を原則としつつ、<u>処分場の特徴を可能な限り現実的に扱う</u>という、より実践的な方法論を適用し、わが国で考えられる処分場の安全性について論ずる。」ではいかががが？</p>
19	6.1 安全評価の進め方	<p>p.6-2では、H12レポートおよび TRU2次取りまとめとの違いについて明確に記載されていることは評価できる。但し、最後の部分で、「シナリオ設定の網羅性と十分性」という記述があるが、網羅性は理解しつつも、十分性は網羅性に包含されるようにも思える。他方、「網羅的」という言葉が第6章に出てくる箇所がある(例えば、p.6-3の11行目、p.6-23,3行目、p.6-33,35行目、p.6-35,16行目、p.6-36,7行目など多数)。この形容詞は安全評価上、重要な意味を含む言葉であり、この形容詞をつける必要があるかも個々に確認していくことが望まれる。なお、「網羅して設定される」(p.6-17,2行目)のような表現もあるので、同様に確認をお願いしたい。</p>

No.	該当箇所	コメント・質問
20	6.1.2 安全評価の前提となる諸条件	「それぞれの熱的、水理的、力学的、地球化学的特性に関するバリエーションを」は「それぞれの熱的、水理的、力学的および地球化学的な多様な特性を」ではどうか。「バリエーション」が変化、変動、多様性、変種の何れを指しているのかによって文章のニュアンスが異なるように思える。
21	p.6-3, L13	p.6-3,13行目: 図6.1-1, 図6.1-2および図6.1-3について, その安全評価上の違いを本文にも簡単にでも記述をお願いしたい。
22	p.6-10, L4	「…、今後製造されるものが大部分を占めるため、利用できる情報は限られている。このため、第2次 TRU レポートにおいて…」→「…、今後製造されるものが大部分を占めるため、第2次 TRU レポートにおいて…」(「ため」が重なり、冗長のように思えます。)
23	p.6-13, L10	「一か月」→「一ヶ月」
24	p.6-18, L7 他	「稀頻度事象シナリオ」という言葉はこれまでも用いられてきていることは承知しつつも、「What-if シナリオ」といった他の言葉を用いることも一考と思われる。「基本シナリオ」や「変動シナリオ」には事象という文字はなく、「稀頻度」のみ「事象」が付されていることも違和感がある。分解アプローチにおいては、想定し難い事象についても念のためそのハザードの大きさを示すことにより、処分システムの頑健性を示すもので、セーフティケースとして重要である。「稀頻度」(すなわち、稀な「頻度」という確率的な要素を含めたような表現については、本書の意図とは異なるように思える。p.6-20の3行目から行目にあるように、本書では、「基本と変動」と「稀頻度と人間侵入」との区別を考えているが、「基本、変動、稀頻度」と「人間侵入」との区別と見なされることを危惧する。「基本、変動」そして「What-if」として、「What-if」に、ここでの稀頻度と人間侵入を入れるという考えもあると考える。 なお、p.6-23,3行目に「発生の可能性は極めて小さいが安全機能への影響は無視できないと考えられる要因を含むような処分場のふるまいは稀頻度事象シナリオとして扱う。」という表現と、p.6-41, 16行目「安全機能への影響分析表において、発生の可能性に関する検討に基づき稀頻度事象として扱うものとされた統合 FEP のうち、安全機能に著しい影響を与えられられるものを含む稀頻度事象シナリオを設定する。」があるが、下線部はニュアンスが若干異なる。
25	p.6-21, 図6.2-1	図中に「ストーリーボードの作成」「影響分析結果をストーリーボードと組み合わせ」とあるが、図中に記載する以上は、その意味などを本文でも記述することが望まれる。
26	p.6-22, L11	「所期の安全機能が時間的にどのように…」→「所定期間の安全機能が時間的にどのように…」では? 「所期」という言葉もあることは承知しつつも、これは「初期」という誤植ではないかという疑念を排除したい。
27	p.6-23, L1	<u>ストーリーボードの位置づけ</u> ここでは「これらを、ストーリーボードと組み合わせることによって、最も可能性の高いと考えられる地層処分システムとしてのふるまいに対応して基本シナリオを、…設定する。」とされている。また、後述の p.6-35, 2行目「6.3.1 項で述べた処分場閉鎖後のシステムとしてのふるまいを安全機能に注目して表現したストーリーボード(図 6.3-1 参照)を利用し、そのようなふるまいに関する不確実性を考慮に入れて想定されるシナリオを設定する。」、さらに、p.6-41,2行目においても、「ストーリーボード(図 6.3-1 参照)に基づいて、具体的にどのようにシナリオを選定したかについて論ずる。」とある。他方、p.6-167には「シナリオの十分性の確保に資するため、最新の科学的知見をさまざまな分野の専門家が共有し、処分システムの状態の設定について議論することを目的とし

No.	該当箇所	コメント・質問
		<p>たストーリーボードの開発が行われている」とされ、あくまでも異なる専門家が議論をする上で容易に共有できる材料としての位置づけとなっている。p.6-23, p.6-35や p.6-41の記載は、ストーリーボードがシナリオの設定における上位にあるような記載となっているが、p.6-167の位置づけであれば、処分システムの状態変遷の理解を助ける補完的なものとなる。p.6-167の位置づけであれば、シナリオ自体の妥当性も、異なる専門家がストーリーボードによって容易に共有できることになるが、その場合、p.6-23, p.6-35や p.6-41のような表現には違和感を覚える。ストーリーボードの位置づけがレビューアにとっては混乱している。</p> <p>なお、用語集には「ストーリーボード: 対象とする空間スケールと時間スケールごとに、処分場の状態や核種の移行に関係するプロセスを、概念図や記述を用いて描写したものをいう」とあり、「描写したもの」であって、必ずしも正確なものではなく、「状態の概要を共有するもの」と読める。</p>
28	p.6-28, L35	「そのため」の接続詞は適切か、確認要。
29	p.6-30, L3	「徐々に廃棄体パッケージ内充填材であるモルタル中を地下水は浸透していくものの、モルタルやアスファルトなどによって固型化したドラム缶、モルタル充填された角型容器やインナーバレルおよびハル缶、固化材を充填しないキャニスターといった廃棄体に含まれている放射性核種の地下水への溶出が抑えられる。」の文章では、何によって放射性核種の地下水への溶出が抑えられるかを明確に記述する必要があると思います。
30	p.6-30, L16	「廃棄物ガラスを充填した際」→「放射性廃液を含む溶融したガラスを充填した際」
31	p.6-30, L30	「この期間においては、処分場が設置される地質環境の条件は安定的に継続し、地震によって水理や地下水の化学的条件が短期的に変化する可能性があるが速やかに回復するため、核種移行プロセスに対し有意な影響は生じない。」について、適切な引用をつけてください。
32	p.6-33, L2	「・・・放射性核種濃度は大きく希釈され均一化が進むとともに、・・・」→「・・・放射性核種濃度は希釈されて均一化が進むとともに、・・・」。「大きく希釈」はやや感覚的な表現となっている。
33	p.6-38, L15	「影響分析を行う中で、安全機能への影響の程度が無視できると判断された要因は、シナリオの設定においては考慮しない。」とある。誰が判断するのが不明な文章となっている。
34	p.6-40, 表 6.3-2	「確からしい状態」として「・・・無視できる」、「・・・回避できる」という表現が多数出てくる。あくまでも「確からしい状態」の枠には考慮する状態(無視しない状態)を基本的に記述すべきではないか?
35	p.6-42, L8	「放射性物質の移流による移行の抑制」は「放射性物質の移流による移行」の抑制」とするなど、「放射性物質の移流」による移行の抑制などと誤解されないように記載。
36	p.6-44, 表6.3-3	「・・・回復することに寄与。」→「・・・回復することに寄与する。」(2箇所)
37	p.6-46	「一母岩」の記述のように、パネルスケールと処分場スケールの文章が全く同じになっている。後者は、パネルスケールと同一とすればいいのではないか。当頁の前後の記述は、特に冗長となっているので工夫が必要に思われる。(p.6-49も同様)
38	p.6-52, L19	「止水プラグは引き続き安全機能を維持しており、坑道や EDZ が地下水の移行経路となり、これを介して放射性核種が移行することが抑制される」→「止水プラグは引き続き

No.	該当箇所	コメント・質問
		安全機能を維持しており、坑道や EDZ が地下水の移行経路となる放射性核種の移行は抑制される」。同頁、34行目も同様に「アクセス坑道に設置される止水プラグの安全機能は引き続き維持され、坑道や EDZ が地下水の移行経路となり、これを介する放射性核種の移行が抑制される。」→「アクセス坑道に設置される止水プラグの安全機能は引き続き維持され、坑道や EDZ が地下水の移行経路となる放射性核種の移行は抑制される。」
39	p.6-53, L39	THMC 状態変化が伴うような深度の減少はないとしつつも、0.3 mm/y の隆起・侵食 (JAEA, 2015:直接処分1次取りまとめ)についての整合性も記述。
40	p.6-60, 表6.3-6	<p>・緩衝材の部分において、セメンテーションについての言及が望まれる。</p> <p>・地質環境の部分において「ランダムに分布する割れ目」という表現はこれでいいか。少なくとも実際の計算では、p.6-82,12行目にあるように「母岩の特性に対応した割れ目ネットワークモデルを生成」しており、地質環境に沿った割れ目の存在をより忠実に記述していると思われる。「ランダムに分布する割れ目」とい表現は、多く出てくるので併せて検討をお願いします。</p>
41	p.6-68, 表6.3-10	<p>・表の最初に出てくる項目「不確実性を考慮した状態」→「不確実性を考慮した状態または考慮すべき評価モデルやデータセットの摂動」では？</p> <p>・地質環境、遅い地下水流速による放射性物質の移行の抑制において、「・・・、高透水性の水みちが掲載される場合が想定され、この場合、分散の程度が低下する。」→「・・・、高透水性の水みちが掲載される場合が想定され、この場合、周囲岩盤への拡散の程度が低下する。」では？</p>
42	p.6-70, 表6.3-11	<p>・表のタイトルですが、「変動シナリオに対応する解析ケース(変動シナリオ)」は「基本シナリオと変動シナリオに対応する解析ケース」では？ここでは基本シナリオとの対比で変動シナリオが示されています。</p> <p>・☑が示されていますが、(2/2)の最後のところは、基本と変動との間に線を入れ、双方に☑が入っています。そのほかは、基本と変動との間に線を入れずに、共通として☑を入れています。統一すべきでは？</p>
43	p.6-75, 図6.4-1	広域スケールの境界条件も GBI において与えていると思いますが？
44	p.6-82, L19	「粒子追跡解析により求められるニアフィールド解析領域境界全体から外側へ放出される粒子の移行率の時間変化 ($\phi_{3D,N}(t)$) を、マルチチャンネルモデルで算出した各チャンネルの出口における移行率の時間変化 ($\phi_i(t)$) の総和によって近似できるよう、各チャンネルへの粒子流入量の配分率 (w_i) とチャンネル数および各チャンネルに与える透水量係数 (T_i) を最適化する。」とありますが、最適化のプロセスが読み取れませんでした。補足が必要ではないでしょうか？
45	p.6-83, 図6.4-6	図中の大きな矢印(青)が、人工バリアに直接的に反映されるように見える。母岩チャンネルへの反映が分かるようにすべきでは？
46	p.6-85, Partridge を用いた追跡粒子解析	この方法の実効性に同意する。但し、ネットワークモデルに、人工バリアを包含した割れ目の不均一性を等価多孔質体(連続体モデル)による三次元解析を行い、その圧力水頭を、割れ目ネットワークに引き渡している。引き渡しにより、求められる各割れ目の流速(透水量係数)は、ネットワークモデルのみによって圧力水頭も求めた場合より、小さくなる。この引き渡しの意味については、「割れ目のネットワークの解析全体の領域における連続性」の観点から、丁寧な説明を要します。

No.	該当箇所	コメント・質問
47	p.6-86, 図6.4-9	縦軸の移行率の定義を本文中に記載をお願いします。
48	p.6-93, L21	「さまざまな成分から成る間隙水・・・」→「さまざまな成分を含む間隙水・・・」
49	p.6-98, L1	「・・・イオン強度に相当する収着分配係数に補正した。」について、補正の方法が記載された引用文献等を示す。
50	p.6-99, L27	「・・・マトリックス拡散深さを設定する」→「・・・マトリックス拡散深さの最大値を保守的に設定する」では？
51	p.6-106, L10	「保守的に処分区分の領域を除いた母岩部分のみの距離をチャンネル長さとして設定した」→「処分区分の領域を除いた母岩部分のみの距離を保守的にチャンネル長さとして設定した」では？何れにしても、この文章は難解ですので、補足が必要に思われます。
52	p.6-115, 図6.4-19	図中に「核種の混入」だけでなく「GBI」であることを明記
53	p.6-116, L8	<p>「河川流量については、統計データの分布状況から対数正規分布に相当するとみなして対数平均値を与えた。第2次取りまとめや第2次 TRU レポートでは、河川流量については保守的な値として全国の一級河川の年間流量の分布において流量の大きい方からの累積分布が96%となる値を用いている。本報告書で設定された河川流量の値は、第2次取りまとめや第2次 TRU レポートの値の10倍となり、国内の最近の生活圏評価事例[22]で適用された値と同じものとなっている。」において、流量の大きい方からの累積分布が96%となる値とは、小さい方から累積分布4%となる値ということで齟齬はないでしょうか？また、その採用した値が第2次取りまとめや第2次 TRU レポートの値の10倍となり、かつ、JAEA(2015)の直接処分1次取りまとめ[22]と整合しているのは、元となるデータが更新されたということでしょうか？</p> <p>直接処分のレポート(JAEA, 2015)では、上述したように隆起・侵食を考慮し、330万年後に1000 m 深度の処分場が地表近傍に到達することを考慮しています。そこでは、U-238の娘核種である Rd-226や Pb-210が10⁶年以降に線量に効いてくることから、隆起侵食を考慮すると、生活圏近傍での希釈が重要となります。</p>
54	p.6-118, L10	「第2次 TRU レポートにおける線量への換算係数と比較して Ni-59, Ni-63, Nb-94, Sn-126, Np-237では大きくなり、・・・」の理由は簡単にでも説明を加えてください(文章中にも記述されているように、河川流量の設定では小さくなるのが想定されます)。
55	第7章 全体	<p>本章は、H12レポートや第2次 TRU レポートからの進展、回収可能性の維持、および、今後の信頼性向上に向けた取り組みを改めて記述し、本報告書の主要部分を抽出することにより、セーフティケースとしての信頼性を示しており、本報告書のセーフティケースとしてのまとめの章に相応しい内容としている。</p> <p>但し、各節のまとめの部分にはいくつか冗長な箇所、また、飛躍があるようにも思える箇所があるため、確認を要する。</p>
56	p.7-8, L20-23	「下限深さ」という言葉について、p.4-25,9行目では「下限深度」という言葉を用いている。但し、p.4-24,30行目や p.4-25,1行目のような表現を用いれば、あえて「下限」という言葉をつける必要がないと思われる。深度500 m および1000 m は、厳密な限界値を示しているのではないため、「下限深さ」という言葉について検討を要する。
57	p.7-11, L7-8	p.7-11の7行目と8行目との間に改行を入れる。p.7-34の35行目では改行を入れ、その上の部分の全体を受けていることが分かるようにしている。あるいは、「以上のように」を「以上(i)~(iv)に述べたように」とする。

No.	該当箇所	コメント・質問
58	p.7-12, L30	「放射線学的な影響」とは「処分場の設置の起因する線量」でいいのでは？p.7-19, 17行目, p.7-40, 13行目にもこの表現が出てくるが,「放射線学的な影響」は環境影響などより広い意味を持つ。
59	p.7-13, L10	「さまざまな安全対策を考慮するとともに」について,「さまざま」というのではなく, 具体的な例を入れる。
60	7.1.4	「所定の安全機能を満たす処分場を構築する技術に関するまとめ」として,「…技術基盤は整っているといえる。」と結んでいる。他方, p.7-13, 16行目や p.7-14, 9~10行目にある「規制基準を満たさないとの評価結果になる場合は処分施設の設計の見直しを行う。」や「処分場の設計の見直しを行っても規制基準を満たさないとの評価結果になる場合は, サイトを新たに選定し直すことにより対応する。」にある。これら「見直しての対応」と結びの「技術基盤は整っていると言える。」との間には飛躍があるように思える。表題を「所定の安全機能を確認する技術基盤に関するまとめ」とするなど, 7.1.3との整合性が求められる。
61	p.7-17,3 5行目 ~	p.7-16,34~36行目でも同様のことを記述しており, 不要ではないか。
62	7.2.3	「…, 安全評価結果に基づけば, わが国で想定される多様な地質環境に対して処分場の閉鎖前および閉鎖後長期にわたる安全性を確保できるということが出来る。」の文章は, 推敲が必要である。また, その前の文章「安全性を確保することは可能ということが出来る。」とあり, 7.2.3の文章全体が, 冗長となっている。7.2.3では, 「…, 安全評価の結果は, わが国で想定される多様な地質環境に対して処分場の閉鎖前および閉鎖後長期にわたる安全性を確保できることを示している。」ではどうか？そのあとに「今後, …」としてさらに補足する事項を添えることでまとめとすることも一案となる。
63	p.7-22, (iii)	「(1)品質確保に関する取り組み」として, (i)地質環境モデルの設定に用いるデータの品質確保, (ii) 解析手法の品質確保, (iii) 専門家の意見を踏まえた確認が記述されているが, (iii)については, (i)と(ii)との並列で記述することに違和感を覚える。(iii)は(i)や(ii)の品質確保についての「なお」書きのような位置づけではないのか。
64	p.7-27, (ii)	「岩盤中の天然ウランによる潜在的放射性毒性との比較による検討」の位置づけが不明である。ウランの場合, その多くは半減期が極めて長く, もともとウランを処分する量を制限していることを意味することになる。
65	p.7-28, L11	「対数平均」について, その値は算術平均値より小さい保守的な値となることを注釈に補足するのがどうか？
66	p.7-31, L36-39	「…一連の検討結果に対する信頼性が確保されていると言える」とあるが, 後述の p.7-32,34行目では, 「その信頼性を確認していく。」と述べており, 整合性を図る必要がある。
67	7.3.3	「セーフティケースとしての信頼性に関するまとめ」を記述している。その結びは「セーフティケースとしての信頼性が確保されているといえる。」とある。しかし, p.7-32, 29~34行目にあるように先新第三紀堆積岩類についてのデータ不足, p.7-40, 37~38行目にある隆起・侵食などの今後の課題などを考慮すると「セーフティケースの基盤としての信頼性が確保されている」ということではないか？
68	7.5	「7.5 サイト特定後におけるセーフティケースの基本形としての適用性」について, 基本形が様々なオプションに対応できる十分性を有することも意味するとすれば, 今後の検討をさらに深める必要性をも述べており, 本書が, サイト選定後の「セーフティケースの基盤」を提供するものであることを宣言する方がより適切かと個人的には考える。p.7-41(4~28行目)はサイトが特定された後に更新するセーフティケースのあくまでも例

No.	該当箇所	コメント・質問
		(案)を示しており, p.7-41, 33行目にある「セーフティケースに含めるべき項目が明確になっている」との間には飛躍がある。
69	p.7-42, L33-34	「以上を総括すると, サイトが特定された後にセーフティケースを用いて技術的信頼性を確保し, 事業を円滑に進めていくことができるといえる。」は「NUMO はサイトが特定された後もセーフティケースをさらに更新し, 技術的信頼性をより向上させることにより, 処分事業を円滑に進めていく。」というのも一案である。

NUMO 包括的技術報告書「わが国における安全な地層処分の実現
 ー適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築ー」レビュー版へのコメント
 春名 匠（関西大学）

No.	該当箇所	コメント・質問
1	p.3-1, L6	「段階的に取得する地質環境情報を、処分場の設計および安全評価の基盤となる検討対象母岩の地質環境モデルとして解釈・統合できる技術を保有していること」→「経時的・段階的に取得される地質環境情報を入力することにより、処分場の設計および安全に対する判断に資することができる地質環境モデルを構築している」と
2	p.3-1, L8	「Aに加え, Bするとともに, Cを示したうえで, Dを示す。」最後の「示す」が ABCD のすべてを示すのか, CとDを示すのか BとDを示すのかわからない。
3	p.3-1, L12	「地質環境に期待される安全機能を損なう・・・自然現象の著しい影響」と続けたときの意味が不明です。自然現象が及ぼす地質環境の影響を人工的に回避できるのでしょうか？
4	p.3-1, L20	「3.4節では,・・・自然現象の発生可能性について,・・・シナリオの検討を行う際の科学的知見を整理する」と 続けたときの意味が不明です。「自然現象の発生可能性を判断するためのシナリオの構築に必要な科学的知見を整理する」という意味ですか？
5	p.3-1, L24	人の安全ですか？施設の安全ですか？システム(機能)の安全ですか？
6	p.3-1, L30	「作業を実施する」→「作業が実施される」
7	p.4-1, L15	「所要の安全機能を確保した処分場」は「所要の安全機能が確保された処分場」ではありませんか？
8	p.4-2, 表4.1-1	「安全性」の対象が不明確なので,理解しにくいところが多いです。「バリアシステム」「施設」「作業員」「周辺住民」など
9	p.4-2, 表 4.1-1	「自然現象の著しい影響からの防護」→「処分場の自然現象の著しい影響からの防護」
10	p.4-4, 注釈3	「どちらも」の一方は超深孔処分だと思われませんが,他方が「坑道型処分」であればそれがわかるように記述した方がよいと思います。
11	p.4-7, L2	「本報告書では・・・設計を実施する。」と書かれていますが,報告書では設計を実施できません。設計方法例を提案できるに過ぎないと思います。
12	p.4-7, L3	「人工バリアは・・・三つの・・・モデルに対して,共通の仕様を示す。」の意味がわかりません。主語と述語を一致させてください。
13	p.4-7, L5	「地下施設は,・・・仕様をそれぞれの・・・モデルに対して示す。」の意味がわかりません。主語と述語を一致させてください。
14	p.4-7, L8	「遮蔽や作業動線など」は「サイトの地質環境特性」の例ですか？それとも「サイトの地質環境特性」に依存する因子ですか？
15	p.4-7, L25	「示している」→「示されている」
16	p.4-7, L29	「ガラス固化体」→「総放射線量」
17	p.4-7, L36	「見直していく」→「見直される」
18	p.4-7, L37	「閉鎖前の安全性に関する安全機能を確保するための設計では,・・・など閉鎖前の安全性の確保という観点から,・・・」の一文が同じことを二度書かれているので,表現を検討された方がよいと思います。
19	p.4-9, L2	「発熱量,放射線量,重量の」→「発熱量,放射線量,重量などの」
20	p.4-10, L9	「構成する」→「構成される」
21	p.4-13, L15	この文の主語と述語が対応しない。「輸送車両によって輸送容器を地上施設まで搬送する」など表現をご検討ください

No.	該当箇所	コメント・質問
22	p.4-13, L22	この文の主語と述語が対応しない。「廃棄物は・・・輸送される」「廃棄物は・・・一時仮置きされる」など表現をご検討ください。
23	p.4-14, L28	この文の主語と述語が対応しない。「オーバーパックは・・・搬送され、・・・定置装置にて定置される」など表現をご検討ください。
24	p.4-17, L11	「閉じ込めに関する安全機能については、以下のように処分場がふるまうことを期待して、放射性物質の浸出抑制および移行抑制の機能をさらに具体化して設定した。」の意味がわかりません。閉じ込めに関する9つの安全機能に対する構成要素の考え方を以下の文で示されているのではありませんか？「処分場がもつべき放射性物質の浸出抑制および移行抑制の機能を以下のように具体化し、それらの機能に沿って設定を検討した。」など機能の具体化と設定の検討を分けて書くとよいかもかもしれません。
25	p.4-18, L1	「この間」がどの間なのか不明です。
26	p.4-18, L5	「緩衝材は地下水と接触することによって膨潤し、オーバーパックへの力学的な擾乱に対する緩衝機能をもつ。」と書かれていますが、膨潤した緩衝材はオーバーパックへの力学的な作用を緩衝する機能があるほどの強度があるのでしょうか？また、この文から「腐食膨張に伴う変形の緩衝」と理解することは困難だと思います。
27	p.4-18, L11	この文の主語と述語が対応しません。「坑道は・・・埋め戻され、・・・止水プラグが設置される」など表現をご検討ください
28	p.4-18, L17	この箇所を含めて、本報告書全体にわたることでありますが、化学環境が還元性であることと放射性物質の溶解が制限されることは必ず対応するのでしょうか？また、地下深部は水があると思いますが、還元性と言えるのでしょうか？鉄酸化物に対して還元環境であれば鉄酸化物は還元されて鉄になりますので、腐食の心配はありません。
29	p.4-19, L2	この文の主語と述語が対応していません。「第2次 TRU レポートを参考にして、グループ1および2では人工バリアに緩衝材を設置することにし、グループ3および4L では設置しないこととしている。」など表現をご検討ください。
30	p.4-19, L5	この文の前後関係から、この文の役割がわかりません。次に挙げられている「構成要素」が9つの「安全機能」を果たしていることを説明されているのではありませんか？
31	p.4-19, L7	TRU など廃棄物処分場の人工バリアの構成要素にどのような安全機能を保持させようとしているのかを、表4.2-1に照らし合わせてもう少し簡潔に書かれた方がよいではありませんか？たとえば一つ目なら「廃棄体自体は固化・封入されているので、放射性物質の地下水への溶出の抑制に関する安全機能を提供している。」など。
32	p.4-19, L11	この部分は廃棄体自身の持つ安全機能なのでしょうか？「廃棄体」ではなく「廃棄体パッケージ」ではありませんか？
33	p.4-19, L21	「放射性物質は、・・・移行が遅延される。」の表現を再考してください。
34	p.4-20, L5	「基づいて、」→「基づいた」
35	p.4-22, L19	「水理学的特性は・・・透水係数を使用する」とありますが、透水係数を使用して水理学的特性値を求めるのですか？水理学的特性値として透水係数を使用するのですか？
36	p.4-22, L30	金属が還元性の条件にあるのであれば金属は腐食しない。
37	p.4-22, L33	炭素鋼の不働態化を炭酸化学種濃度で判断できるのでしょうか？炭素鋼の不働態化は一般的には pH10以上で起こるとされています。また、水溶液の pH は炭酸化学種濃度で決まるわけではなく、炭酸水素イオン濃度と炭酸イオン濃度の比で決まります。この部分が「炭素化学種濃度は・・・の範囲にあり」と書かれているので、NUMO が定めた設定値ではなく、実測値のように受け止めました。設定値なら「炭素化学種濃度を・・・の範囲に設定し、その値から炭素鋼の不働態化や局部腐食の挙動を評価する」などの文体にした方がよいと思います。

No.	該当箇所	コメント・質問
38	p.4-26, L21	ガラス固化体の「ガラスマトリクスによる溶出の抑制」は「ガラスマトリクスの溶出の抑制」ではありませんか？もしくは「ガラスで固化されたことによる廃棄物の溶出の抑制」ですか？後者の場合にはその上の文との違いがよくわかりません。
39	p.4-27, L29	オーバーパックの評価項目として構造健全性だけをあげてよいのでしょうか？表4.4-1の設計要件との違いがわかりません。直前の文の最後とこの文を、例えば「・・・を活用した。その結果、表4.4-2に示すように・・・」とうまくつなげれば、この文の理解ができると思います。
40	p.4-29, L15	表 4.4-3の Eh の単位に参照電極を表示すべきです。電位は相対値なので基準が必要です。電気化学における電位の基準は標準水素電極の電位(0 V vs SHE)であり、熱力学値から計算した場合の電位には V vs SHE が必要です。Eh を実測した場合には使用した参照電極を単位に添えます。例えば、実測時に使用した参照電極が飽和カロメル電極(SCE)の場合には Eh の実測値の単位は V vs SCE となります。
41	p.4-30, L16	「不動態化を伴う酸化性環境の高 pH の水溶液中において」→「酸化性高 pH 環境において不動態化し」
42	p.4-30, L16	「酸化性/還元性の遷移環境」はどのように定義できますか？異なる現象の境界は定義できますが、酸化性と還元性は表裏の関係なので、境界を定義することは難しいと思います。
43	p.4-30, L18	「還元性環境で発生する SCC」とありますが、還元性環境では酸化性(すなわち活性経路腐食型)SCC は起こりませんので、水素脆化型 SCC をお考えなのでしょうか？炭素鋼オーバーパックでは水素侵入が顕著に起こるほど低い電位は想定されておらず、また、炭素鋼のような高強度ではない鋼は水素脆化をほとんど示さないため、水素脆化型 SCC は想定されていないはずで、現実には酸素や水が炭素鋼を酸化腐食する「酸化性環境」だと思いますので、「還元性環境」と書かれていることが誤解を生む可能性があります。
44	p.4-35, L29	「必要溶接深さは26～40 mm」と書かれていますが L21では190mmと書かれていますが、説明がもう少し必要に思います。
45	p.4-50, L11	N/mm ² を MPa に統一されてはいかがですか？
46	p.4-52, L12	pH の概数を書かれてはいかがですか？炭素鋼が活性溶解をしているのか、不動態状態になっているのかを推測することができます。
47	第5章 全体	閉鎖前の公衆・作業従事者の安全性を評価する方法について、異常状態の過渡的な推移表現したイベントツリーに基づいて明確に想定した「異常状態のシナリオ」に沿って評価する準備があることが示されています。 しかし、「4.5 地下施設の設計、4.6 地上施設の設計」と「5. 安全評価」の違いが不明確に感じます。現状、想定されるシナリオに対して安全評価を行った結果を設計に反映しているのだから、p.5-27「5.6.1 まとめ」に書かれている「安全である」という評価結果は当然であるように思います。この章での目的とまとめが対応されて表現された方がよいと思います。
48	p.5-3, L2	「平常状態シナリオの評価」をするのではなく「平常状態シナリオに基づいた閉鎖前安全評価」を行うのではありませんか？
49	p.5-3, L8	「施設からの距離」と施設中心の表現にするより「公衆からの隔離距離」など公衆の安全を守る表現の方がよいように思います。
50	p.5-6, L28	「影響を合算して評価する」としながら「影響の大きい方で評価」していることに言葉の矛盾があるように感じます。
51	第7章 全体	第3章から第6章までに説明された項目を、「信頼性のある安全機能の確保」に関して取

No.	該当箇所	コメント・質問
		りまとめられており、信頼性を向上させる取り組みが行われていることが理解できました。
52	第7章 全体	「セーフティケース」という用語が概念を表すものなのか、ある条件での安全例なのか不明確なので、文章を読み切れませんでした。
53	第7章 全体	『サイトに依存しない安全項目は「設計」に反映され、サイトに依存する安全項目は不確実性があるので「安全評価技術」が準備されている』という理解でよいでしょうか？
54	p.7-2, L21	「所要の安全機能を満たす処分場を構築するためには」に対して、「・・・な対策を施した処分場を設計する。」と結びと主張されたいことが理解しにくいと思います。
55	p.7-2, L26	「さらに」を冒頭にした文がその前の文とどう関連するのかを理解することができませんでした。
56	p.7-3, L6	「地質環境に求められる要件を満たす好ましい特性を有する地質環境」に「地質環境」が2回出てきますので、意味を理解しにくいと思います。表現を再検討されてはいかがでしょうか？
57	p.7-11, L16	「溶接欠陥を非破壊で検出できること」に検出できる欠陥寸法を入れた方が現実的でよいと思います。
58	p.7-12, L9	この文に2回出てくる「・・・こと、」がどの部分に係るのかがわからないので、意味がわかりません。
59	p.7-12, L33	「説明性」という用語はないように思いますので、表現をご検討されてはいかがでしょうか？
60	p.7-13, L11	「確保する」の目的語がないように思いますので、表現をご検討されてはいかがでしょうか？
61	p.7-14, L31	「収着分配係数や拡散係数といった」→「収着分配係数や拡散係数といった」
62	p.7-14, L32	「保守性の確保」の保守性の意味がわかりません。何(誰)に対する保守性でしょうか？
63	p.7-16, L2	第5章も同様ですが、処分場閉鎖前までの安全性はサイトに独立なものとサイトに依存したのがあると思いますので、分けて表現された方がわかりやすいと思います。7.2.1項の「施設から敷地境界までの距離の確保」はサイト依存ですが、異常シナリオの項目はサイトに独立した事象であり、第4章の施設設計指針だと思えます。
64	p.7-17, L8	この一文の内容「不確実性や多様性を考慮しても安全基準を満たす」は科学的な表現ではないと思います。不確実なものから確定値を導き出すことは不可能だと思います。
65	p.7-28, L21	この節は「7.3 セーフティケースとしての信頼性確保の取り組み」と題されており、ここまでは「信頼性確保」に関して記述されていますが、「(3)線量以外の補完的指標による安全性の検討」の特に(i)の内容はそのような観点から記述されていないように感じます。この内容でよいかご検討されてはいかがでしょうか？
66	p.7-31, L36	(3)→(4)
67	p.7-42, L9	7.6(3)「セーフティケースとしての信頼性をどのように確保しているか」という項目は、この節の目的と一致しているため、この節の「視点」とはなりえないと思います。

NUMO 包括的技術報告書「わが国における安全な地層処分の実現
 ー適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築ー」レビュー版
 廣野 哲朗（大阪大学）

No.	該当箇所	コメント・質問
1	p.2-8	「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」の第二節と第三節にて、最終処分施設の閉鎖と保護についての記述があるが、閉鎖後の管理をあえて実施しない(例えば人的な長期モニタリングは実施しない)などの記述は見当たらない。日本のような変動帯では、地下の岩盤の応力状態・水理状態が長期的に安定しているとは考えにくいいため、個人的には常時モニタリングが必要と思うが、その実施を否定する法的根拠(技術的でない根拠)を本報告書の第2章および第5章に記述したほうがよいと思う。
2	p.2-10	「適切に選定されたサイトにおいては、現在認められる自然現象の一樣継続性から、隆起・侵食や火山活動、断層活動などの自然現象の傾向が少なくとも将来10万年程度までの期間は継続する可能性が高いと考えられる。」との記述・判断は極めて重要である。そこで科学的根拠としている梅田ほか(地学雑誌, 2013)は、まずそもそも著者全員が日本原子力研究開発機構所属であり、第三者である専門家による客観的な論文とは言えない、という認識もしくは誤解を招きかねない。さらにこの論文では、地殻変動の一樣継続性の議論において、笠原・杉村(1978)・松田(1988)などの古典的な研究結果を引用し、「中期更新世以降に一定になった地殻変動の方向と速度は、将来十万年程度であれば継続する可能性(永続性)が高いと考えられる。」と結論付けている。これは、先の2011年東日本太平洋沖地震後の活断層による地震などやGPS観測による歪集中帯の発見など、最新の地球物理学的知見が考慮されていない。そのため、この変動帯の長期安定性についての科学的根拠は極めて低いと言わざるを得ない。また、同主張において、他の論文も引用しているが、日本の地殻変動に関する数多くの学術論文より、ある意味、都合のよい論文を選択しているとも邪推されかねない。主要な論文を客観的にレビューし、その上で、本報告書にて科学的な判断をするのが望ましいであろう。
3	p.2-6, L10	「わが国でも最終処分基本方針」と記述がありますが、どの法律のどの部分に相当しているのでしょうか？
4	p.3-18, L3	唐突に「セルフアナログの考え方」と記載がありますが、注釈を付けたほうがよいと思います。
5	p.3-18, L4	「地層処分に適した地質環境を選定することを可能とする技術基盤が、NUMOに整備されているとすることができる」という記載について、「地震・断層の活動性の高精度な定量的評価を除き」との但し書きを追加すべきと思います。
6	p.3-18, L20	ボーリング調査については、単にボーリング調査と記載するだけでなく、孔内での物理・水理検層や多点ボーリングによる地下深部での空間的な水理実験・構造探査など、より詳細な調査の説明を追加したほうがよいと思います。
7	p.3-20, L14	地震・断層の活動性の評価について、「情報の総合的な解釈を通して…評価する」と記載されていますが、多くの活断層の活動性の評価もままならない国内の活断層の活動性評価の実情を鑑みますと、非常にあいまいな表現かと思います。さらに厳密に言いますと、「現在の科学レベルでは、地震・断層の活動性の評価精度は極めて低い」と記載するのが、正しいです。一方で、もし仮に NUMO のほうで内閣府中央防災会議での評価技術を超えるものを持っているのであれば、それをぜひ記載していただきたいと思います。

No.	該当箇所	コメント・質問
8	p.3-22, L31	繰り返しになりますが、精密調査の段階で仮に断層帯・破碎帯が見つかった場合、その活動性を定量的に評価できるすべを現時点の人類は有していないと思います。そのため、単に「評価する」という記載では極めて不十分と言えます。
9	p.3-24, L11	「新たな火山や断層の発生可能性に係る長期予測モデルの開発」や「将来10 万年程度の地形変化のシミュレーション技術」が整備されていると記載されていますが、過大な表現かと思えます。単に幾つかの論文で試みられているだけなのが現状であって、変動帯での実用例およびその有効性の担保はいかがでしょうか？
10	p.3-26	「活断層の分岐・伸展や地質学的に古い時期に形成された断層の再活動に係る調査事例、模型実験や数値解析などの結果に基づく評価は可能」と断定的な記載になっておりますが、言い過ぎな表現です。
11	p.3-27	「地殻変動の一様継続性を前提とした外挿法」がそもそも科学的に妥当かどうかの検証が必要です。
12	p.3-29, L11	「外挿法が最も一般的な方法であると考えられている」と記載されていますが、上記のように、科学的に妥当かどうかの独自の検証が必要です。さらに、その結論にいたる文献が少なく、これが世界のテクトニクス研究分野のコンセンサスを得ているとは確認できないと思います。
13	p.3-38, L25	図 3.3-5 の断層帯モデルは一般的ですが、かたや六甲山の蓬莱峡やサンアンドレアス断層ではダメージが非対称な粉碎断層岩 (pulverized rock) が発達しています。これは、国内の他の主要活断層でも今後、確認される可能性もあり、本報告書でも考慮すべきかと思えます。
14	p.3-40, L30	「断層ガウジは相対的に透水性が低く」との記載がありますが、断層帯に平行な方向での透水性は高いのが一般的です。断層帯では透水性に空間的異方性が強いことも明記したほうが良いと思います。
15	p.3-45	ダルシー流速分布の解析では、流体の粘性が考慮されているでしょうか？ 地下深部では、温度-圧力の上昇や溶存イオンの種類・濃度によって、流体(地下水)の粘性が変化しますので、それも考慮した解析が必要かと思えます。その他のケースでの解析でも同様です。
16	p.3-53	付加地質体での岩体では開口性亀裂に非常に富み、さらには層間滑りに伴う亀裂も存在しますが、それらも考慮した地下水流動解析が実施されているという理解でよいでしょうか？

NUMO 包括的技術報告書「わが国における安全な地層処分の実現
 ー適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築ー」レビュー版へのコメント
 安江 健一（富山大学）

No.	該当箇所	コメント・質問
1	p.1-10, L10-13	「国民の皆様から疑問や関心が寄せられることが多かった事項を中心に、難解な専門用語を極力使用しない平素な表現でわかりやすく説明する文書」は、対話の場などにおいても重要な資料となる。この「文書」というのはどのようなものか？本報告書の一部をわかりやすくしたものか？本報告書の文書体系(図1.3-2)の中に位置付けられるものか？本報告書とは別に、一般的に記されるものか？他の記述に比べて漠然としていることから、できるだけ具体的に記していただきたい。
2	p.2-6, L32	ここでは、放射線防護と一般労働安全に関する閉鎖前の安全機能について記されている。一般労働安全においては自然災害を考慮しているが、放射線防護においては自然災害を考慮しているかどうか不明である。閉鎖前における自然災害と放射線防護との関係をどのように考えているか？
3	p.2-9, L18	ここでは基本的に現在に近い(人が身近に感じる)時間スケールから順に遠い将来の説明がなされており(閉鎖前の100年程度→閉鎖後の過渡的な期間→将来10万年程度→将来10万年を超える長期→超長期)、時間的に順を追って理解しやすい構成となっている。さらにわかりやすくする工夫が望まれる。 例えば、第1段落は全体の期間について述べていることから、この中でも時間的に順を追っていく説明が良い。また、第2, 3, 4段落の書き始めを、第5, 6段落の書き始めのように時間スケールの記述にしてはどうか？ 関連して、表2.1-3と表2.1-4は閉鎖前、表2.1-5は閉鎖後であり、時間順になっている。一方、概要編の表1は閉鎖後、表2は閉鎖前となっており、時間的に順を追う点では違和感がある。
4	p.2-10, L13	「現在のテクトニクスが数十万年のオーダーで継続している」について、文献20の「中期更新世以降」、「数十万年前以降」、「百万年前以降」などを参考にした記述の場合は、「現在のテクトニクスが十万年のオーダーで継続している」、「現在のテクトニクスが数十万年前から継続している」などが良いと思われる。
5	p.2-16, L6	「隆起・侵食量」はどの程度の期間の隆起・侵食量か？量だけでは評価が難しいことから、「隆起・侵食速度」や「〇〇万年間の隆起・侵食量」のような表現が良い。
6	p.2-17, 図2.2-2	どのスケールがどの範囲であるかすぐにはわかりづらい。色や線の種類を工夫していただきたい。
7	第3章 全体	3.1節と3.2節では、わが国の地質環境の特徴、地層処分に適した地質環境を選定するための調査・評価技術について、関連する科学的知見が幅広く収集・整理されており、第2次取りまとめ以降の進展が簡潔に示されています。 後半(3.3節)では、地層処分の観点からわが国の地質環境を類型化した上で、段階的に絞られる空間スケールに対する地質環境モデルを構築する技術が、第2次取りまとめと比較して現実に即して示されています。特に、わが国の地質環境の半分近くを占めると推定される先新第三紀堆積岩類について、情報量が少ない中でも扱ったことは今後の取り組みに係る重要な成果だと思います。 これらの中で扱われている地質環境モデルは、地質環境特性の空間分布などを可視化したモデルであり、基本的に地質環境特性の時間的な変遷は含まれていないと思います。例えば、3.3節は他の節と異なり、地質環境特性の時間的な変遷は扱っていないのではないのでしょうか？その点が明確にわかると良いと思います。その

No.	該当箇所	コメント・質問
		他、全体的に時間スケールや時間変化について理解しやすい記述になるよう工夫していただきたいです。なお、地質環境特性の長期変遷に関しては今後の取り組みにも示されており期待します。
8	p.3-3, L2 p.3-5, L15	「地質学的な時間スケール」がどの程度の時間を示しているか不明確である。よりわかりやすい表現にしていきたい。なお、第2次取りまとめでは、「数十万年～数百万年という地質学的な時間」とどの程度の時間であるかがわかる記述になっている。
9	p.3-2&5, 表3.1-1, 3.1-4	「地上施設の安全性を損なう事象が発生する可能性が十分に小さいこと」の影響要因として、「火砕物密度流、溶岩流、岩屑なだれ」の他に「津波」を加筆してはどうか。東北地方太平洋沖地震の津波による被害から、イメージしやすい自然現象の一つである。
10	p.3-6, L27	「地質学的情報のデータベース」とは、活断層の分布だけでなく、何らかの地質学的な情報が含まれていることを重視しているのか？活断層の分布という点では、文献[33][34][35]以外に、最新の情報として「活断層詳細デジタルマップ[新編]」、国土地理院の活断層図などがある。
11	p.3-8, L5&10 p.3-9, L1&33 など	「好ましい地質環境特性」と「好ましい特性を有する地質環境」とは同じ意味であると思われるが、使い分けているのか？
12	p.3-15 図 3.2-2	「基盤情報(地理や地質構造など)の整理」の「地理」は「地形」とは異なる意味で用いているのか？「地理」の意味は人間活動に関する事柄も含まれることから、具体的でないように思われる。 「活断層など」の「など」は他に何かを想定しているのか？「など」を用いる場合でもどのような現象を想定しているかがわかる記述が良い。
13	p.3-16, L5-6	「相对比较」とは何を比較するのか？「必要に応じて」としていることから、「相对比较を通じた評価」をしない場合もあるのか？
14	p.3-17, L3-4	「最近の地質時代において繰り返し活動し変位規模の大きい既知の断層」は、必ずしも活断層でなくても良いのか？断層破碎帯を重視しているのか？「最近の地質時代」が曖昧であることから、時間をある程度明らかにするか、地表に変位が認められる断層として活断層を想定しているのなら「・・・大きい既知の活断層」でも良いのでないか？
15	p.3-18, L4	「将来にわたる地質環境特性の長期変遷について概略的に把握」とあるが、概要編では「地質環境特性の長期変遷を概念的に評価」(概要編 p.16, 11行)とある。同じ内容を示している場合は、概要編と整合させる必要がある。
16	p.3-21, L1	「数十万年間の隆起速度」は「数十万年間の隆起量」、「河川下刻量」は「河川の下刻量」としてはどうか？
17	p.3-24, L2-3	「地表地形」という用語は一般的ではないと思われる。また、航空レーザー計測でも地形を計測することから、この計測を用いた「地表地形から特定が困難な活断層の検出」の記述は矛盾するのではないか？「地表地形」を特別な意味で用いている場合は記述を検討すると良い。
18	p.3-13, L21 p.3-15, L3 p.3-25, L18 p.3-85, L32	「陸域(内陸・沿岸部)」と「陸域(内陸および沿岸部)」の2つの記述を統一する。

No.	該当箇所	コメント・質問
19	p.3-29 表 3.2-3	「単純化した系」、「不均質な系」の「系」とはどのようなものか？
20	p.3-29 L16 ～ p.3-30 L16	将来10万年程度を超えるような長期の評価期間に伴って発生する不確実性の定量化することができる確率論による手法の整備は、第2次取りまとめ以降に出てきた重要な課題であり、ITM-TOPAZ 手法の開発は新たな技術基盤の強化として高く評価できる。また、他の研究機関においても、第2次取りまとめ以降に新たな火山の形成等の想定されるシナリオが発生する可能性を確率論的に提示する手法の開発が進められている。これらの成果も踏まえて、変動帯に位置するわが国の多様な地質環境を対象とした確率論的評価手法の信頼性向上を期待する。
21	p.3-30 L3 ～ p.3-30 L16	ITM-TOPAZ 手法は、想定される自然現象のシナリオの発生とそれに伴う地質環境の状態変化を、時間と空間のスケールを考慮して漏れなく・重複なく整理することが可能と考えられる。さらに、自然現象と地質環境に関する幅広い情報や専門家の意見を集約する際にも有効な手法と考えられる。
22	p.3-34, L27 p.3-35, L22 p.3-36, L22	「一級河川の流域面積を考慮」、「新第三紀の堆積岩類の分布面積および最大層厚を整理した結果に基づき」、「付加コンプレックスの平均的な分布面積および厚さを整理した結果から」について、具体的にどう考慮したり、設定したりしたのか？本編に記した方が理解しやすい。
23	p.3-35 図 3.3-2	「深成岩類の地質環境概念モデル」としているが、概要編では「一般的に認められる地質環境の概念」としている。「一般的」としているが、日本では数が比較的少ない正断層の活断層が描かれている点で「一般的」ではない。また、地質断面の最上部の水色の層が何を示しているかわからない。
24	p.3-39 図 3.3-6	この図の断層の見方がわかりづらい。断層が2枚描かれているのか？また、傾斜角が④となる断層だと断層と褶曲は同時に形成されないのではないのか？この図からは、褶曲が形成された後に断層が形成されたと読むことができる。また、傾斜角が④となる断層だと③の走向が90度違うことになる。
25	p.3-41 表 3.3-2	「※4」の位置は、「決定論的 DFN ^{※4} 」ではなく、「決定論的 ^{※4} DFN」ではないか？
26	p.3-41, L18	「瑞浪の深地層の研究施設計画」は、p.3-24, L25の「JAEA が幌延および瑞浪で進めている深地層の研究施設計画」が簡略化された記述と考えられるが、このページ付近を境にこの簡略化された記述に変わるようである。章の中で統一されるように記述を工夫すると良い。
27	p.3-43 表 3.3-3	断層セットの1は傾斜方位が171° であることから NE 系というより EW 系(2は NS 系)ではないか(表3.3-13も同様)？この部分に関連して、断層の卓越方向との関連性を考慮した地下水流動について検討しているが、断層セット1が EW 系、断層セット2が NS 系であることから、ケース1とケース2で断層の卓越方向の影響を効果的に議論できるのではないか？
28	p.3-46, L22 p.3-51, L2	「傾動」とあるが、図3.3-14は傾動が考慮されていないようである。また、p.3-51,L2に「大局的な地層の走向(北北東-南南西)」と結果のところ突然詳しい地層の状態が記されているが、傾動はこの地層の状態にも関係しているのではないのか？断層と同じようにモデル化の記述において地層の状態についても簡単な説明があると良い。
29	p.3-47 図 3.3-14	中央の図について「地溝盆地の形成に伴い地層が堆積」とあるが、盆地の中に地層が堆積したのではなく、盆地の形成後に侵食してから堆積した図になっている。また、下の図は圧縮されているが一部正断層の運動を示している。図の修正が必要である。

No.	該当箇所	コメント・質問
30	p.3-48, L2-4	「落ち」は断層変位との誤解を避ける点から、「東落ち」、「西落ち」ではなく、「東傾斜」、「西傾斜」が良い。
31	p.3-60, L17	「褶曲構造が形成され」の「形成され」は時間変化が含まれている。ここでは時間変化はないことから「存在し」または「分布し」が良いのではないかと？
32	p.3-79 L10-12	火山性熱水・深部流体の流入について、科学的知見が現段階において十分に得られていないという理由で取り扱われていないが、科学的知見の整理は可能と考えられる。
33	p.3-79 L36 ～ p.3-80 L3	ITM-TOPAZ 手法の適用については、火山・火成活動での成果が紹介されている。地震・断層活動、隆起・侵食に対しても適用事例の蓄積に期待する。
34	p.3-79 ～ p.3-82	「3.4 将来における自然現象の発生可能性」では、安全評価における取り扱いの基盤情報となる自然現象の科学的知見が文章として整理されているが、重要な記述および文章だけでは理解が難しい内容については図表を用いて示されることが望まれる。 例えば、p.3-82, L11-13「わが国の多くの地域において、最近約 10 万年間の隆起速度、山地が形成されるような数百万年間の隆起速度、地形勾配の変化率はほぼ同様の傾向を示すことが確認できる。」は図示することで直感的に理解できると思われる。
35	p.3-80, L29	「地表において確認されている長さ10km 規模の断層は、・・・今後も活動する可能性が考えられ」とあるが、活断層でない断層でもいつでも動く可能性があると思われ、誤解のないように丁寧な記述が必要である。
36	p.3-81, L29-34	この段落の文章はいくつか明確でない表現やわかりづらい表現がある。具体的に文章を検討いただきたい。例えば、「地理」とすると漠然とした感じがある。「周期性や継続性などの時間スケールとともに」は、後に続く文章を考慮すると「周期性や継続性などの時間スケールが大きくなるとともに」ではないか？「次第に規模が大きくなる」は「次第に地形の規模が大きくなる」が良いのではないかと。「空間スケールが異なるいくつかの地殻変動が包含され」は「このような異なる空間スケールの中にいくつかの地殻変動が包含され」ということか？「それらがならされた結果」は、平均してしまうような文章となるが、個々の地形は残っていることから複合しているのではないかと。これらを参考に修正を検討いただきたい。
37	p.3-82 L10-13	数百万年間の隆起速度、最近約 10 万年間の隆起速度が同様の傾向を示す地域が多いことが示されている。一方で、同様の傾向を示さない地域も複数存在していると考えられ、それらの地域における共通の特徴などが将来10万年程度を超えるような長期の地殻変動を扱う上で重要と考えられる。
38	第 7 章全体	第2次取りまとめや第 2 次 TRU レポートなどの情報も踏まえつつ、それ以降の調査研究や技術開発で得られた主要な知見を総括し、処分場の設置に適した地質環境の選定や安全評価を行う基本的な技術が整備されていることが簡潔に示されている。しかし、変動帯に位置するわが国において重要となる地質環境特性の時間的な変化のモデル化技術の整備が課題となっていること、本報告書で地質環境の長期変遷モデルが示されていないことなどから、技術が整備されているとするまとめにおいては課題を踏まえた記述が望まれる。また、「将来 10 万年程度を超えるような長期」という時間スケールがイメージしやすい記述がある一方で、「閉鎖後長期」、「長期間にわたり」、「地質環境の長期的な変化」などの時間スケールが漠然としている記述が多い。他の章とも関係するが、「長期」とはどの程度の期間スケール

No.	該当箇所	コメント・質問
		であるのかを読み手が理解しやすい記述になることを望む。
39	p.7-2, L38	「地形や海陸分布」の海陸分布は地形の一種であると思います。併記するのではなく「海陸分布などの地形」としてはどうか。
40	p.7-6 図 7.1-1	【個別コメント】 正断層が描かれている概念の図は、日本において「一般的に…」とすることは難しい。「…概念の一例」としてはどうか。
41	用語集	報告書中に「地質環境」に係る用語が多い。用語集で整理されると良い。 →地質環境, 地質環境特性, 地質環境条件, 地質環境情報 (「地質環境」と「地質環境特性」は用語集にある)

NUMO 包括的技術報告書「わが国における安全な地層処分の実現

—適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築—」レビュー版へのコメント

若杉 圭一郎（東海大学）

No.	該当箇所	コメント・質問
1	p.1-7, 1.3.1	「1.3.1 報告書の目的」: NUMO を取り巻く情勢やこれまでの検討の重要性について整理されており、それを踏まえて4つの検討項目を実施する、と記述されていますが、この報告書の目的は何なのか明確に記載されていません。一方、次ページでは、「わが国における安全な地層処分を実現するための方法を示し、事業を次の段階に進めることの信任を社会から得ることを本報のねらいとする」とありますが、この文が目的のように思われます。
2	p.1-7, 注釈7	「地層処分に関する国民全体の理解を増進し、この実現に貢献する地域に対する敬意や感謝の念が広く国民に共有されることが不可欠であるとの認識にたち、国および NUMO は、幅広い対話のためのシンポジウムなどの開催を継続的に進めている。」: このような取り組みは、注釈で記載するのではなく、これまで応募が無かったことが社会的な側面に大きく起因していることを踏まえ、新たに項目を設け、これまでのレビューとそれを踏まえた現在の取り組みとして記述されるべきものではないか？
3	p.1-8, L19	「セーフティケースの一般的な構造」: これと上述のセーフティケースの基本形との関係を明確にしたほうが良いと思われます。
4	p.1-10, L13	「わかりやすく説明する文書の作成を別途行っている」: 図中に示されているのか？これから公表されるのか？あるいはすでに公表済みなのか？（であれば要文献）追加の説明が必要と思われます。
5	p.2-5, L1	「サイト環境条件」: ソースタームの設定は与条件として考慮すべきものであり、サイト環境には依存しないはず。
6	p.2-6, L19	「文献16」: 安全機能の考え方をリファアーするならば、timescale の報告書より、INTESC(2009)の方が適切と思われる。
7	p.2-8, L21	「IAEA では、発熱性が高い廃棄物に対しては短半減期核種の大部分が減衰するまでの期間、放射性物質を閉じ込めることが好ましいとしていることから、人工バリアの安全機能としてこれを考慮する。」: これに相当する安全機能が表2.1-5に無いように見受けられます。（いわゆる処分容器による閉じ込め）
8	p.2-8, 表2.1-5	「(IAEA, 2011[19]に基づき作成)」: SSR-5では、閉じ込めの戦略として、廃棄体マトリクス、処分容器、処分施設の3つを挙げていますが、ここではこのうち2つしか考慮されていないようです。
9	p.2-9, L28	「閉鎖前の安全評価によって確認される。」: 閉鎖前のどの段階の安全評価なのか具体的に記述した方が良いでしょう。
10	p.2-9, L33	「多重バリアの性能が十分に発揮されず、」: 安全機能は時間変化し、かつ相互補完的に機能するため、ある時間で陽に発揮されずとも潜在的にその機能を有している。多重バリアが発揮されない、との記述は誤解を与えるため、もう少し丁寧な説明が必要である。
11	p.2-10, L1	「人工バリアの物理・化学的な変質によって閉じ込め機能は次第に低下すると考えられるが、好ましい地質環境特性が維持される限り、処分場における状態変化は極めて緩慢であるため人工バリアの移行抑制機能が大きく失われることはない想定される。」: ここは注意深く記述することが必要。一見、性能が低下するのに機能が失われぬ、と矛盾した記載のように読める。これを回避するために、まず閉

No.	該当箇所	コメント・質問
		じ込め機能の低下が予想されるもののそれは局所的であること、また仮に一部の安全機能が低下しても他の安全機能が補完的に働くことにより全体としての閉じ込め性能は担保されること(多重の安全機能)、などを丁寧に説明することが望ましい。
12	p.2-10, L18	「安全機能が確保できるかを評価する」:安全機能が確保できるかを評価するのではなく、あくまでも処分の影響に関する安全性、を評価するのではないか?
13	p.2-10, L22	「人間活動の様式化についての仮定も意味をもたなくなる。」:どういう意味でしょうか?
14	p.2-12, L22	「また、決定事項が何かしら悪影響または好ましくない影響を及ぼすことがわかった場合には決定を覆すことができる」:決定事項が悪影響をおよぼすのであればそれを覆すのは当然である。むしろ可逆性として重要な点は、 ①過去の意思決定について、新たに得られた情報に照らして修正または後戻りの必要性が生じた場合にはそれが可能となる仕組みを整備すること、 ②さまざまなステークホルダーとの協働により、事業の各段階において(後戻りも含めて)意思決定することを可能とすること、 であり、そのためには、意思決定の変更に関する明確なプロセスの枠組みを整備し透明性を確保すること、意思決定の変更においては必要となる人的・経済的資源が合理性を持つようにすること、回収可能性の難易度が事業の進展に応じて高まることをあらかじめ考慮すること、などに留意することが必要である。 以上の回収可能性・可逆性について事業の時間軸に応じた NUMO の取り組み方針を説明することが望ましい。
15	p.2-19, L2	「②隆起・侵食を含む地形や地質構造の長期的な変化、気候・海水準変動はサイトの条件に強く依存するため現段階では設定することが困難である。したがって、地質環境モデルにはこれらの情報を設定せず、また、処分場は著しい隆起・侵食を避けた地域において十分深い深度に設置することを前提として、地質環境特性が長期間にわたって維持されることを想定した地質環境モデルを構築する。」:隆起・侵食は我が国で幅広く観測されている自然現象である。隆起・侵食による地形への影響は不確実性が大きくかつ安全機能への影響も小さいことから、考慮しないことは理解できるが、隆起・侵食による処分深度の変化は、蓋然性が高く隔離性にも直接影響することから、何らかの言及が必要ではないか?処分場を深い深度に設置することでこの影響を回避するロジックは、カットオフがない現状では無理がある。
16	p.2-24, L14	「このようなサイトの地質環境や処分場の設計が技術的な要件を満足するだけの安全機能を発揮し得るか否かを体系的に分析する一連の作業過程のことを安全評価」:安全機能の発揮の程度を評価するだけなら、安全評価ではなく性能評価である。本報告書の安全評価は、廃棄物の人間への影響を指標として処分場の安全性を評価しているのではないか?
17	p.2-24, L17	「放射性廃棄物の隔離と閉じ込めを達成するように設計された処分場の安全機能が将来的に低下する(あるいは失われる)状態を科学的知見の不確実性に基づいてさまざまに想定し、」:時間とともに安全機能が低下することしか想定していないことに違和感あり。例えば、初期に処分場内に持ち込まれた酸素は時間の経過とともに消費され還元環境になる。このことは、核種閉じ込め機能の性能を高めることになる。
18	p.2-24, L23	「したがって、安全評価で求まる線量は、将来の人間が受ける放射線の影響を予

No.	該当箇所	コメント・質問
		測したものではなく、線量を一つの指標として想定したシナリオに対する処分場の隔離・閉じ込め性能をあらわしたものである。」:このように割り切ってしまうと、NUMO の作る処分場の安全性をどのように論証するのか?と問われると思います。線量結果は単なる閉じ込め性能を表しているのではなく、さまざまな仮定に基づきつつも遠い将来の安全性を判断するための素材とすべきである。
19	p.2-25, L12	「リスク(=発生可能性×影響の大きさ)の大きさによって処分場の安全性を評価する考え方が合理的と考えられる。」:この文章を素直に読むとリスク評価を実施したように読めます。発生の可能性を考慮しているのはシナリオ区分のみで、実際はリスク(確率×影響)評価をしていませんので、誤解を避けるためにも統合アプローチと分割アプローチについて言及し、ここでは後者を用いたことを説明した方がよいと思います。
20	p.2-28, L35	「以上の対応の結果は各段階のセーフティケースにおいて統合するとともに、次の調査計画や技術開発計画などに反映し、段階的に不確実性の低減を図る。」:調査、設計、安全評価の不確実性の対応を単に統合するだけでなく、それぞれの分野の不確実性が他の分野にも伝搬することを鑑み、その相互影響についてどのように対応するのか?が重要と思います。恐らく”統合”にはそのような意味も含まれていると思いますが、現状の記述には(地層処分で最も重要な課題の一つである)不確実性に対する分野間の連携のアプローチが十分示されていないように見受けられます。
21	第3章 全体	第2次取りまとめ以降の地質環境の調査・評価に関する知見が体系的に取りまとめられており、具体的なサイトが未定であるジェネリックなフェーズであるにも関わらず、我が国の地質環境の特性を類型化し、いくつかの代表的な地質環境モデルを示したことは大きな成果である。一方、目的にも示されている“段階的に得られる情報を地質環境モデルとして統合化する技術の整備”、と言う点においてはさらなる強化が必要であるように思える。例えば、ここで示されている3つの地質環境モデルの構築では、段階的な調査の概念がなく様々な仮定に基づいて”1つのモデル”が描かれている。本来は各段階で得られる情報の質と量は異なっており、それに起因する不確実性への対応が最も重要な課題であるはずである。また、統合化においても、分野間の整合をとって設計や安全評価に受け渡すという線的な情報のやり取りではなく、分野の壁を超えて、設計・安全評価に必要な地質環境情報に関する調査・評価を協働で進める“面的な取り組み”となるような方針・考え方を示してほしい。
22	p.3-3, L13-15	第2章において“10万年を超える長期については、地質環境の不確実性が増大し長期変遷の予測の論拠が乏しくなる”、とある一方、ここでは10万年を超える期間で安全機能が喪失する可能性が極めて小さい、とあり論理の飛躍を感じる。この点について追加の説明が必要と思われる。
23	p.3-3, 表3.1-3	熱水・深部流体の影響による水理学的影響も考えられる。
24	p.3-5, 表 3.1-4	この表で示されている基本的考え方と、法定要件の関係はどうなっているのか?一般論として記載しているとしても、すでに文献調査での要件は示されており、除外要件の一つでも当てはまる地域はこの段階ではじかれることが前提のはず。過去に検討された処分地選定プロセスの仕組みとの関係を整理することを推奨する。
25	p.3-6, L12	我が国の地質環境の特徴として、深部流体については、その発生機構・母岩への影響には不明な点が多く、長期の予測には大きな不確実性が伴うことについて言

No.	該当箇所	コメント・質問
		及しておくべき。
26	p.3-13, (2)	地質環境調査から得られたデータを合理的に設計・評価へ反映させる取り組みは評価できるが、それが単なるデータの受け渡しということであれば不十分。地質環境情報の統合化そのものを安全評価のワークとしても位置づけ、シナリオの検討の一部とする必要がある。その意味で、ここは“連携”と言うよりも分野間の壁を超えた“協働”を行うことを目指してほしい。
27	p.3-20, L31-32	著しい範囲を除外していることをどのように確認するのでしょうか？ 10万年でカットオフしなければ処分場の地表接近を否定することは困難であると考えられます。もし法定要件(10万年で300mの隆起)に示されている要件を再確認するだけなら、そう記載すべき。もう少し説明が必要と思われる。
28	p.3-21, (3)	精密調査段階において設定される法定要件や考慮事項について言及が必要と思われる。
29	p.3-30	長期安全性の評価を目的としたシナリオとあるが、ここの成果が第6章のどこで利用されているのかが分かるように、クロスリファレンスがあると良い。
30	p.3-30, L3-12	<p>・ITM-TOPAZ の取り組みは、10万年を超える時間スケールでの自然現象の不確実性への対応という観点から、価値があるものと考えられる。ただ、本取り組みが海外の専門家が中心に進められていることから、日本の地質環境に詳しい国内の専門家によるレビューを通じて、各自然事象毎に技術的な妥当性について確認していく事が好ましいと考えられる。</p> <p>・包括的技術報告書では、地質環境モデルの検討として、地層処分の安全評価で対象とする時間スケールでの地質構造や各現象が評価されているが、ITM-TOPAZ における長期評価の検討も、これら地質環境モデル(特に長期変遷)の検討と整合的に進める必要があり、そのための手法の開発も重要である。</p> <p>・ITM-TOPAZ の開発の最終ゴールを安全評価とするならば、処分システムへの影響についてより詳細な検討を進めていく必要がある。すなわち各自然現象の発生確率だけにとどまらず、事象発生に伴う処分システムの安全機能への影響の範囲や程度も重要となる。その意味で今後、第6章との連携が不可欠である。</p>
31	p.4-83,84	力学プラグの内側に設置される透水層がセメントの長期安定性に与える影響を懸念します。包括的技術報告書では、この層を操業時の効率的な排水を可能とするために設置するとありますが、この透水性の高い層により、セメント・水反応による2次鉱物が洗い流され、アルカリ成分の溶脱が促進されてしまう可能性があります。このような操業時の対策と長期安全のトレードオフの関係は、処分概念の検討において極めて重要と考えられるため、報告書においても特段の配慮が必要と思われる。
32	p.3-85, L14	今後の取り組みにおいて、“設計、安全評価と連携しつつ”とありますが、地下環境を使って実施される各種調査結果を設計、安全評価へどのように反映し、地質環境情報の統合化を進めるのか、その技術開発に関する技術課題項目が明示的に示されていません。また、調査で得られる情報は局所的なので、それを評価へ反映するためにはアップスケールするための手法開発も必要です。
33	第6章 全体	第6章では、第3章で設定された地質環境モデルとこれに基づく第4章で設計した処分場に対して、それぞれの特徴を考慮したシナリオ、モデル、データ設定が行われ、処分場閉鎖後の長期安全性についてリスク論的な考え方に基づく評価が行われている。この際、適用された安全評価の方法論は、諸外国で用いられている方

No.	該当箇所	コメント・質問
		<p>法論や国際機関で推奨されているガイドラインと一致している。安全評価の基盤となるシナリオの作成については、最新のシナリオ構築手法に則って、網羅的なFEPを整備しこれに基づくボトムアップ的なアプローチと安全機能を軸としたトップダウン的なアプローチを統合し、リスク論的考え方に基づくシナリオの導出が行われている。一方、シナリオを作成するための素材となるFEPについては、リストは示されているものの各FEPが意味する内容や関連する技術情報は提示されていない。このため、各FEPについてその内容の明確化と共に現象理解、安全機能、不確実性等の観点からシナリオ構築に必要な知見をまとめておく必要があるとともに、品質保証の観点からこれを管理するデータベースの整備が望まれる。さらに、シナリオ導出までのプロセスについては、NUM OFEP、統合FEP、安全機能、要因分析がそれぞれどのような役割を持ってどのように関係しているのかが分かりにくい。透明性・追跡性の向上が必要である。また、リスク論的考え方に基づくシナリオ区分に応じた各シナリオの位置づけについてもより明確にすることを推奨する（特に基本シナリオと変動シナリオの関係）。モデル開発については、Partridgeによる3次元のモデル化が図られ、地質環境モデルや処分場の仕様を現実的に考慮することが可能となり、今後NUMOが直面するであろうサイト間の比較や設計オプションに基づく合理化に活用できる技術が整備されつつあると評価することができる。一方で、報告書においてはPartridgeに関する品質保証の説明がほとんどない。このため、PartridgeがNUMOのセーフティケースで利用に値する高い品質を有していることを、verificationおよびvalidationの観点から説明するなど、コードの品質保証に関する充実化が望まれる。データについては、第2次取りまとめ以降の進展を考慮し、最新のデータベースに基づきデータ設定が行われている。一方、複数の地質環境モデルが設定されたことから、核種移行パラメータにおいてもこれらの条件についてそれぞれデータ設定がなされているが、条件によってはデータが十分整備されていない核種移行パラメータも存在することから更なるデータの拡充や信頼性向上が必要と思われる。</p> <p>以上、シナリオ、モデル、データのそれぞれについて品質を保証することは勿論のこと、解析作業に関する品質保証も重要な課題である。特に、包括レポートではHLW、TRUを区別すればその解析数は100ケースを超えるため体系的な品質管理の仕組みが必要である。特に、コードチェーンにおける入出力の整合性の確保、解析の追跡性の確保、コード・データの履歴管理は安全評価の品質を総合的に保証していく上で重要である。このような取り組みについても言及し、セーフティケースの信頼性の向上を図っていく事が望まれる。</p>
34	第6章 全体	<p>今後サイトが特定されれば、包括的技術報告書に示された基盤情報や評価技術を用いて安全評価を進めることになるが、段階的な調査によって詳細化される情報に応じてどのように安全評価を進めるのか、各調査段階で得られる情報の質、量、不確実性の大きさなどを踏まえた程度の安全評価が達成可能なのか、地質環境調査や工学設計と連携しどのように安全性の最適化を図っていくのか、などについては今後更なる検討が必要である。また、包括的技術報告書に示された線量評価結果は、現時点で利用可能な情報に基づき、いずれのシナリオも線量めやす値を下回る結果となっている。このことから、現時点で地層処分の安全性を覆すプロセスや自然現象が存在する可能性は極めて低いと考えられるが、この評価結果を拠り所として地層処分の安全性の論証が成立した訳ではなく、むしろ今後のセーフティケースの信頼性向上に向け、さらに強化すべき安全機能に関する理解を深め、安全性に寄与するプロセスやパラメータを特定し、不確実性の低減・最小化</p>

No.	該当箇所	コメント・質問
		に向けた課題を明らかにする必要がある。以上の点を整理し、今後のサイト選定における安全評価の役割を踏まえ、安全評価のコアメッセージをより明確に記述することを推奨する。
35	p.6-1, L32	これを解析ケースという、のこれが何を指しているのか不明。シナリオ、モデル、パラメータの設定の「考え方」?
36	p.6-1, 脚注	核種の溶解度=>元素の溶解度
37	p.6-3 , 表6.1-1	H,Lの説明が必要
38	p.6-8	ガラス固化体のインベントリ評価でなぜ海外の直接処分の評価対象核種を参考にしているのか?合理的な説明が必要。また, Pd-107, Sm-151についても海外で考慮されていないことがなぜ除外理由になるのか説明が必要。
39	全般	p.6-18 L24に目標値とあるが, 同じような用語が随所に出てくる。例えば, めやす基準(L35), めやす, 拘束値など(表6.1-6)。用語の統一が必要。
40	p.6-10 , L19	貯蔵期間が延びれば核種のインベントリが減衰するとあるが, 崩壊系列を考慮すれば逆に増える核種もあることに注意。
41	p.6-15	ニアフィールドスケールで記述されているように, パネル, 処分場, 広域スケールの説明においても, どの解析コードが用いられているか説明されていることが望ましい。
42	p.6-18, 脚注	10 μ Sv/y を超えても, 300 μ Sv/y や 10^{-5} のリスクを超えなければ良い(安全を確保できる), とあるが, 300 μ Sv/y という基準もまた安全性を議論する判断基準の一つであり, これを満たしていればよいわけではないことに注意が必要である。
43	p.6-19, L14	稀頻度シナリオで述べられているリスクは, 線量めやす値にリスクへの換算係数を乗じたリスクと整合しないことについて説明が必要であると思われる。
44	p.6-21, 図6.2-1	まず, このフローは, 実務作業の手順を示したものでしょうか?あるいはシナリオ導出をわかりやすく示すことを目的としたフローでしょうか? もし前者であるなら, ストーリーボードの作成がシナリオ作成の最初に来ていることは適切でしょうか?システムの振る舞い(状態設定)は本来要因分析等を通じて明らかにされるものであり, アプリオリに決めるものではありません。後者であるなら, その旨説明が必要と思われる。 また, フローにおいて, 安全機能要因分析と影響分析のつながりは理解できますが, その前後とのつながり, すなわちシステムの振る舞いと安全機能分析, 安全機能分析とシナリオの選定の関係が不明瞭であるため, より丁寧な説明が必要と思われる(例えば, 安全機能分析に基づきどのように基本シナリオの記述が作り出されたのか?)。
45	p.6-23, L6	移行抑制性能を高める要因を考慮しない=>移行抑制性能を高める可能性のある不確実性要因を考慮しない
46	p.6-23 , L30	ここの項は2.5.1で述べられているシナリオ, モデル, データのそれぞれの不確実性について, どのように解釈しそれにどう対処するのか, その対応がわかるような構造にした方が良い。また, シナリオの不確実性については, “シナリオを適切に抽出し, 想定すべき範囲を明らかにする。”, とあるが, シナリオ不確実性への対応という意味において, リスク論的な考え方(特にシナリオ区分の考え方)との関係を明確にした方が良い。
47	p.6-24, L7	不確実性等に起因して基本シナリオと変動シナリオが区別できない場合がある, という現状は理解するものの, 基本シナリオが包含する範囲を(ある程度の保守性

No.	該当箇所	コメント・質問
		を見込んだ)基本ケースという1つのケースだけで代表できるかどうか疑問です。リスク論的な考え方に基づき蓋然性の高い解析ケースの設定を目指しているはずなのに、基本ケースは近傍の不確実性を包絡しているとして単一のケースしか設定していないことに若干矛盾を感じます。p.6-18に変動シナリオの定義として“科学的に合理的な変動を考慮するシナリオ”とありますが、このシナリオには、基本ケースに対するデータ不確実性といった軽微な不確実性からガス移行、コロイド移行といったシナリオレベルの不確実性まで全を包含するのでしょうか？各種不確実性とシナリオ区分の関係について、より分かりやすい整理が必要と思われます。
48	p.6-26	再冠水までの非常に初期の段階で生じた緩衝材変質は、その後の長期の状態変遷においてどうなったのか言及が必要。
49	p.6-28, L27	処分孔周辺にEDZの影響はないか？(地下水の流れが遅いとなぜいえるか？)
50	p.6-29, L30	主語がないため、何が“期待できる可能性がある”ことを示しているかが不明。
51	p.6-33, L14	なぜ、T4において、地層処分にとって好ましい地質環境が維持されるのか？その次のパラグラフにある火山・断層による影響が生じる”可能性が高くなる”，との記述と矛盾しないか？そもそも、T4の期間に火山・断層の影響が生じる可能性が高くなる、との記述は正確か？(3.4節のどこにそのような記述があるか？)あくまでも発生可能性に関する不確実性が増大するというわけではないか？T4の設定については、第3章の記載も含めてより丁寧な説明が必要。
52	p.6-33, L22	この項で述べられている安全機能を軸とした要因分析、影響分析は NUMO/JAEA 共同研究での成果の一部であることから、適切な文献を引用すること。
53	p.6-34, L5	i-FEP, NUMO FEP, 統合 FEP と3つの FEP が出てくるが、シナリオ解析のプロセスにおけるそれぞれの FEP の役割を明確にすべき。i-FEP で NUMO FEP の網羅性を担保することは理解できるが、ではなぜ NUMO FEP と統合 FEP を定義する必要があるのか？それぞれの目的は何か？いわゆる FEP カタログは NUMO FEP と統合 FEP の双方で作成するのか？それぞれどのような情報がコンパイルされるのか？
54	p.6-34, L14	THMC 状態変化の連成 FEP(例えば熱的プロセスが他のプロセスに与える影響)は、原理的には他の全ての FEP と関連する FEP となり、このような FEP を定義すること自体、FEP 解析を複雑にする原因となる(この FEP に含まれる情報量も膨大となりハンドリングの観点からも得策ではない)。FEP の構造としては、個々の FEP に対して THMC の情報を張り付ける方が合理的である。
55	p.6-39, 表 6.3-1	現象解析の一覧において、なぜこれらの現象が解析対象とされたのか説明が必要。特に、網羅性の観点から示された現象解析で十分かどうか確認することが重要である。また、これらの解析は、シナリオ解析で実施されるプロセスの一部であり、解析の一覧よりも、何を目的に解析を実施し、これによって何が明らかになったのか、をまとめた方が良い。
56	p.6-40, 表 6.3-2	この表の影響分析において、安全機能への影響に関する情報を追記すべきである(そもそもこの表は安全機能への影響を分析するためのものでは?)。これが無いために、影響分析と(3)のシナリオの記述との間に大きなギャップが存在している可能性がある。 また、シナリオ解析上の取り扱い区分に記載されている、「考慮しない」、「基本ケースに含める」などとした不確実性については、追跡性・透明性の観点からその根

No.	該当箇所	コメント・質問
		拠となる付属書等を引用することを推奨する。
57	p.6-42, L33	この“(”に対応するカッコが足りない
58	p.6-43, L6	変質が生じるが=>変質を生じるが
59	p.6-44, 表6.3-3	PEM の材質である鉄と緩衝材との相互作用, 緩衝材の変質は想定されないか?
60	p.6-46, L20 p.6-48, L24	力学プラグはセメントの溶脱が進み, いずれセメント成分が消失する可能性が高いと想定しているにも係らず, 透水層も含めてその影響を無視できると仮定している点について合理的な説明が必要であると思われる。
61	p.6-48, L21	母岩中へへ=>母岩中へ
62	p.6-48, L34	EDZ が評価期間中ずっと初期の状態のまま存在しているが, 蓋然性が高いシナリオ設定として適切か?核種移行モデルの取り扱い上は初期の状態を想定するにしても, 場の理解としての説明は必要ではないか?
63	p.6-49, L31	この文章は分かりにくい。アクセス坑道内の埋め戻し材の安全機能が低下するのに, そこに設置される止水プラグの安全機能が引き続き維持される点, 坑道やEDZ が移行経路となるとしているのに, 核種移行が抑制されるとしている点, が矛盾している。記載の見直しが必要と思われる。
64	p.6-53, L39	100万年までであれば, 隆起・侵食による深刻な事態を考慮する必要はないかもしれないが, T4ではそれ以降の時間帯も含まれるのではないか?
65	p.6-54, 表6.3-4	不確実性の整理が構成要素を軸に整理されているが, 安全機能を軸に整理したほうが良いのではないか?例えば, 鋼製支保工の不確実性として腐食する時期が早くなることが挙げられているが, それが安全機能にどう影響するのかが見えない。解析ケースに繋げるためにはこれと所期の安全機能との関係が整理されるべき。
66	p.6-56	力学プラグはセメントの溶脱が進み, いずれセメント成分が消失する可能性が高いと想定しているにも関わらず, 透水層も含めてその影響を無視できると仮定している点について, 補足の説明や合理的な根拠を追記することを推奨する。
67	p.6-59, 表6.3-5	<ul style="list-style-type: none"> ・“基本シナリオにおける核種移行挙動の記述”にある項目は, どのような手順で作成されたのか? ・ガラスの溶解で“浸出を移行率で表現する”とはどういうことか? ・EDZ 内の移行挙動の取り扱いに関する説明は必要ないか? ・“割れ目を平行平板でモデル化”とはすべての岩種について適用するのか? ・3.3.3(4)に示されている微細透水構造概念モデルとの関係はどうなっているか?
68	p.6-60, 表6.3-6	<ul style="list-style-type: none"> ・ガラス固化体:閉鎖直後の完全飽和を仮定する合理的な理由を説明すべき。 ・OP:最短1000年の寿命が最も可能性が高いと考えてよいか?最も可能性が高い状態として, 腐食生成物による拡散抵抗は考えられないか?核種移行上の取り扱いと最も可能性が高い状態が混在しないように留意すべきである。 ・地質環境の放射性物質の溶解の抑制において, 溶解度を越えた核種は沈殿するとあるが, 母岩において溶解度制限は考慮されていないので, 見直しが必要である。
69	p.6-65,	変動ケースを組み合わせたケースは, 発生の可能性が極めて小さいことから想定

No.	該当箇所	コメント・質問
	L12～	しないとあるが、プロセスによっては関連性を完全に否定できないものも存在する（例えば、オーバーパックの腐食生成物によるガラス溶解速度と緩衝材収着性能への影響）。基本シナリオでは考慮されないものの変動シナリオとして考慮すべきシナリオが、包括的技術報告書に示されているシナリオで十分に包括的なものとなっていることについて再度確認し、説明の拡充を図ることを推奨する。
70	p.6-73, L12～	人工バリアや地質構造をより現実的にモデル化していることから、各スケールでの移行経路は複雑であると考えられる。この場合、各スケールの空間的な接続が重要と考えられるが、文章を読んでもイメージがつかめません。概念図などを挿入し説明してほしい。（図6.4-2でスケールの関係は理解できるが、移行経路の繋がりがこの図からは不明）
71	p.6-73	この節は極めて重要で、後段の安全評価の流れを理解する上で必要となる基本的な考え方を示す役割を担う。その意味で、安全評価の手順の全体像が描かれる必要があり、場の不均質性の取り扱い、基本解の利用、1次元モデルへの簡略化、異なるスケールの接続、などがどのように進められるのか、もう少し詳しく述べられる必要がある。 また、L36にある、“ニアフィールドスケールの結果をパネルスケール全体に均等に適用する”とは具体的にどのような取り扱いがなされたのか説明が必要。
72	p.6-75, L12	母岩の移行距離を確保したいがために、処分場スケールの外側に500mの領域を用いるという説明は、実施主体として安全確保に最善を尽くすという目標に照らして適切でしょうか？（なぜ H12同様に100mでないのか？という批判は容易に想像できる）この“500m”の数字を説明するための合理的な説明が必要と思われます。
73	p.6-77, L33	マルチチャンネルモデルとは？説明がほしい。
74	p.6-81, L24～	核種移行プロセスの説明として基本となる、ガラスの溶解、放射性崩壊、人工バリア・母岩の境界の取り扱い、などの説明が無いのはなぜか？
75	p.6-84	場の不均質性の考慮と、計算負荷低減を両立させるために、統計的な手法を開発したことは大きな成果であるが、例えば不均質性を平均的な透水係数に置き換えることや、リアライゼーションのサンプリングの適用などについては十分検証されているのか？
76	p.6-86, L11	核種移行プロセスの説明が、繰り返し出てくるため、見直しが必要である。例えば、p.6-30のシステムの振る舞いに始まって、p.6-41の基本シナリオの記述、表6.3-5の核種移行解析上の取り扱い、p.6-81の partridge で考慮したプロセス、そして p.6-86簡略化した核種移行モデル、など。そして、同じ構成要素を対象とした核種移行解析にもかかわらず、考慮するプロセスが異なる（例えば、人工バリアに対して、partridge で考慮したプロセスにはガラスの溶解は含まれていないが、簡略化した核種移行モデルには考慮されている）。全体的に構造を見直してはどうか？
77	p.6-87	簡略化したモデルのうち、EDZの部分が partridge における人工バリアと天然バリアの境界の取り扱いと大きく異なる。簡略化された人工バリア中の核種の移行はミキシングセルの濃度を外側境界として解析される。そもそもミキシングセルの概念が無い partridge は簡略化モデルとは異なる外側境界条件のもとに解かれるが、この違いがあっても簡略化モデルで適切に評価することは可能か？本手法の適用限界はあるか？
78	p.6-89, L3	ミキシングタンクとミキシングセルが混在。統一した方が良い。
79	p.6-92, L9	三次元のパーティクルトラッキングから求められる物質移行解析の結果に基づき、一次元のマルチチャンネルモデルで近似する手法が用いられているが、各チャン

No.	該当箇所	コメント・質問
		ネルに与える透水量係数の算出方法の説明と透水量係数データが(透水量係数の分布形については付図に記されているものの)本文にも付属書にもない。核種移行解析の追跡可能性の観点からこれらの情報を追加することを推奨する。
80	p.6-105, L29	処分場スケールという5km四方の大きな領域に対してこの DFN モデルのサイズ(100m四方)の設定は適切か?また,不均質性をどのように取り扱ったのか説明が必要と思われる。
81	p.6-112, L22	隆起・侵食の影響に対して広域領域を無視するという設定で対応し,これが保守的であるとの考え方は厳密には正しくないと考えます。隆起・侵食により処分場が地表接近する場合,処分場周辺の化学環境の変化,地下水流量の増加に伴う人工バリア中の核種移行促進,さらには汚染土壌の削剥による被ばくなどが生じ,上記設定よりも明らかに線量が高くなることが見込まれます。このような想定しうる事象について説明が必要と思われます。
82	p.6-120	ここで示された線量評価結果は,これら基盤となった既往の結果に比べて明らかな相違が見られる。特に,ガラス固化体を対象とした基本シナリオに対する線量評価では,第2次取りまとめにおける支配核種が Cs-135であるのに対し,包括的技術報告書では,Se-79(深成岩),I-129(新第三紀堆積岩 低 Cl-濃度地下水),U-233(新第三紀堆積岩 高 Cl-濃度地下水)といった核種が支配的となっていることは特筆すべき相違である。また,いずれの場合の基本シナリオについても線量の最大値の現れる時期についても違いがみられる。レビュー委員会は,既往の安全評価との相違点について,これらの相違が何に起因しているのかを分析し,既往の評価からの変更点や関連する不確実性について整理することを推奨する。
83	p.6-153, L19	稀頻度シナリオについての結果が1~20mSv 以下になったことから,“安全確保について頑健性がある”との説明は,正しく理解されがたいと思います。例えば,火山が処分場に直撃しても安全性が確保されると曲解され,解析全体の信頼性について疑念を抱かせる可能性すらあります。ここで対象としている事象はサイト選定で回避することが大前提であり発生可能性は極めて低いものの,あえてそれを想定した解析であること,比較基準とした線量めやす値は影響の大きさに発生可能性の重みづけを含めた事業者としての目標値であり今後も頑健なシステム構築に向けて努めること,などの点について,もう少し丁寧な説明が必要と思われます。これは人間侵入の結果のまとめのところでも同じことが言えます。
84	p.6-159, L26	挙げられよる=>挙げられる
85	p.6-167, L38	リスク論的考え方に基づく安全評価を目指すのであれば,我が国の幅広い地域で観測されている隆起・侵食の影響について検討しておく必要があることから,今回考慮しなかった隆起・侵食(関連するシナリオ,モデル,データ設定)について課題に挙げておく必要がある。
86	p.6-169, L36	ここでの“サイト調査を反映した”は,核種移行パラメータを対象とするだけでは不十分。地質環境モデルの部分で述べられているような地質環境調査,設計,安全評価の連携による統合化,効果的な不確実性低減,安全性の向上などについて言及が必要と思われる。
87	第7章 全体	一般的に地層処分の安全性は,核種移行モデルに基づく解析結果と,規制機関によって定められる定量的な線量基準とを比較することによって行われるが,安全評価で対象としている時間スケールが極めて長期にわたること,さらには天然の地層という不均質で大きな媒体をシステムの一部として評価することから安全評価に

No.	該当箇所	コメント・質問
		<p>は不確実性の存在が回避であるため、近年、ナチュラルアナログによる評価や多様な指標による評価などを通じた多面的な検討の重要性が国際的にも指摘されており、第7章はこのような指摘に対して有効な取り組みであると評価できる。また、このような検討は、セーフティケースの性格を踏まえれば、長期にわたる地層処分事業において各マイルストーンで次の段階に進むための意思決定の際に客観的かつ直観的な情報として利用することが可能であり、地層処分の安全性をより確かなものとする意味でも好ましいアプローチである。</p> <p>なお、本報告書を“セーフティケースの基本形”とするにしても、(我が国の多様な地質環境条件を踏まえれば)安全戦略に柔軟性を持たせておくことが現時点では有効であることを明示するとともに、セーフティケースを構築する時点で得られている情報の質と量に応じてセーフティケースの基本形をどのようにカスタマイズするのかについて考え方を示すことによって、“セーフティケースの基本形”の位置づけをより明確にしておいた方が良いと思われる。</p>
88	p.7-2, L28	この報告書はセーフティケースの構築が目標であるため、「処分場が安全機能を有することを確認する」だけでは不十分であると考え。これが工学設計の範囲であれば問題ないが、セーフティケースとしては、処分場の安全性やその信頼性について論じる必要がある。
89	p.7-3, L31	閉鎖前で求められる安全機能は「隔離と閉じ込め」ではなく、遮蔽、閉じ込め、除熱などが基本的な安全機能となると考えられる。
90	p.7-8, L17	著しい隆起・侵食を避けて処分候補地を選定することは法定要件に基づき前提とするのは妥当であるが、十分深い深度に処分場を設置しても、超長期の評価では影響がないとは言いきれない。この点について、言及する必要がある。
91	p.7-15, L10	安全評価技術の今後の課題は設計オプションを比較するための技術の整備でよいか？セーフティケースにおける安全評価の位置づけは、将来の人間への影響に関する定量的評価を通じて、様々な不確実性を考慮してもなお処分場の安全性について確信を持てるかどうか判断するための情報を得ることである。事業者が最適化のために設計オプションの比較に必要な技術開発を進めることは理解できるものの、セーフティケースにおける安全評価技術のまとめとしては、不確実性への対応や安全性を定量的に評価するための技術に関する信頼性向上を目指すべきではないか。
92	p.7-15, L15	現時点では我が国の規制基準がないため、安全か否かの判断ができないことは承知しているものの、このセーフティケースの目標は安全機能を満たすかどうかを検討するだけでは不十分であると思慮。セーフティケースは安全確保が目的であるが、所要の安全機能を満たす処分場を構築できているかどうかで、それをどう判断するのか？
93	p.7-16	閉鎖前の安全性は、閉鎖後長期の安全性の前提条件となるため、これらの関係について言及した方が良いと思われ。ます。
94	p.7-24, L8	岩盤の透水性などの不確実性は、場の不均質性に起因して必ずしも低減することが可能でない場合も存在する。一般的に、不確実性の属性として、タイプ A (aleatory uncertainty) とタイプ B (epistemic uncertainty) が知られており、割れ目の不均質性などはタイプ A に分類され、統計的に取り扱うべき不確実性因子であると考えられている。この場合、不確実性を低減する取り組みよりも、不確実性を定量化する取り組みの方が重要であるとされている。実際の不確実性はこれらの特徴が混在しているため明確に区分することは現実的ではないが、不確実性への対

No.	該当箇所	コメント・質問
		応を検討する際に留意しておく必要がある。
95	p.7-24, L31	「線量以外のこれらの指標」のこれらの指標が何を指しているのか不明。“これらの”を削除？
96	p.7-25	処分場の閉じ込め性能の検討結果によれば、パネルスケール外側の母岩の核種閉じ込め性能があまりないということが示されている。これは、パネルスケール外側の核種移行を保守的な取り扱いにしていることに起因していると考えられる。ミスリードがないような説明が必要と思われる。
97	p.7-26	(b)や(c)の高 CI 地下水の結果において、処分場スケールの内側や処分場スケールの外側の核種の存在割合にピークがみられるのはなぜか？可溶性かつ低 Kd の核種が処分場スケールから抜け出してしまうため？何らかの説明が必要と思われる。
98	p.7-30, L3~	“放射能の閉じ込め”や“閉じ込められている放射能”などといった表現があるが、放射性核種の閉じ込めの方が適切ではないか？
99	p.7-31, L31	例えば、フィリピンのルソン島の例では、高アルカリ地下水とベントナイトの反応時間はたかだか数千年と見積もられており、現時点で数ミリ程度の変質領域が確認されているものの、安全評価で対象とする数十万年オーダーに比べて時間スケールが大きく異なる。このため、“セメント系材料から溶出する高アルカリの影響範囲が限定的であるとした設定は妥当である”，との表現はこのように違いに配慮した方が良いと思われる。
100	p.7-37, L3	回収可能性は(4)分野横断的な課題では？
101	p.7-37, L8	シナリオ作成における網羅性、追跡性の向上のために、FEP データベースの開発を今後の課題として挙げておく必要がある。
102	p.7-41, L4	各段階のセーフティケースにおいて、「法定要件の確認」の項目を含めるべきではないか？
103	p.7-40-41	本報告書で示されているセーフティケースの基本形と各段階のセーフティケースの関係がよくわかりません。例えば、p.7-41にある文献調査段階の「概略的な安全評価」とは、セーフティケースの基本形に示されている安全評価は同じものでしょうか？ また、7.5.3に「本報告書はセーフティケースの基本形として活用することが可能である」とあるが、これが何をもちて可能であることが示されたのかが不明です。むしろ、基本形として活用していく、ぐらいの表現の方が適切と思われる。