

# 高レベル放射性廃棄物処分における地下水移行に係る 安全評価のシナリオ構築のためのFEPデータベース (受託研究)

FEP Database for Scenario Construction on Groundwater Migration in Safety  
Assessment for a Geological Disposal of High-level Radioactive Waste  
(Contract Research)

神崎 裕 武田 聖司 木村 英雄

Yutaka KANZAKI, Seiji TAKEDA and Hideo KIMURA

安全研究センター  
原子力エネルギー関連施設安全評価研究ユニット  
Nuclear Facility Safety Research Unit  
Nuclear Safety Research Center

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。  
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。  
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)  
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課  
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4  
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

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

高レベル放射性廃棄物処分における地下水移行に係る安全評価の  
シナリオ構築のための FEP データベース  
(受託研究)

日本原子力研究開発機構安全研究センター 原子力エネルギー関連施設安全評価研究ユニット  
神崎 裕<sup>※1</sup>・武田 聖司・木村 英雄

(2009 年 6 月 19 日受理)

高レベル放射性廃棄物の地層処分の安全性の評価では、人工バリアの機能や処分サイトの地質環境に関する様々な条件や起こりうる現象を考慮して評価シナリオを構築する。それらの条件や現象、すなわち安全性に関係すると考えられる要因は多岐に亘り、情報を体系的に整理しつつシナリオ構築を進める必要がある。その方法として、安全性に関連する要因を特性 (Feature)、事象 (Event) およびプロセス (Process) (FEP) に分けてリストアップし、それらに関する科学的なデータ・知見 (「FEP データ」) に基づいてシナリオを構築していく方法が国際的に共有されている。通常、この方法は、サイトおよび設計が特定された処分場に対して適用されるものであるが、わが国では処分場が未決定であり、設計も示されていない。そこで、わが国の代表的な地質環境と一般性のある人工バリア仕様からなる処分概念を想定し、放射性核種の地下水移行に係るシナリオ (地下水移行シナリオ) を対象として、FEP に基づくシナリオ構築を試みた。

まず、OECD/NEA が示した FEP を基に、想定した処分概念に対する F、E および P を特定 (リスト化) し (「FEP リスト」)、各 F、E および P に対する知見・データ (FEP データ) を文献調査により収集した。「FEP データ」をこのように文献情報とともに整理したデータベースを「FEP シート」と称する。つぎに「FEP データ」に基づいて、異なる FEP 間の連結などを表わす相関関係を吟味した。浮かび上がった相関関係の個々が、安全性への影響の可能性を列挙したもの (「相関関係図」) である。最後の、そして最も重要な段階として、それらの相関関係を安全評価のシナリオとして取り組む必要性や重要さを判定した (「相関の判定」)。こうして選択された相関関係を積み上げてシナリオとする。なお、「相関の判定」においては、判定材料となる「FEP データ」に係る技術的信頼性を確保すること、および判定に係る客観性の向上を目的として、日本原子力研究開発機構内外の専門家に対してヒアリングやアンケートを行いコメントを収集した。「FEP リスト」、「FEP シート」、「相関関係図」および「相関の判定の結果」をまとめて「FEP データベース」と称する。本報告では、「安全性への影響の可能性」 (相関関係図) の整備と、それに基づいたシナリオ構築手法を説明する。

---

本報告は経済産業省原子力安全・保安院の委託により実施した研究の成果の一部である

原子力科学研究所 (駐在) 〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4

※1 特定課題推進員 中央開発株式会社より (現在 : 中央開発株式会社)

FEP Database for Scenario Construction on Groundwater Migration in Safety Assessment  
for a Geological Disposal of High-level Radioactive Waste  
(Contract Research)

Yutaka KANZAKI<sup>\*1</sup>, Seiji TAKEDA and Hideo KIMURA

Nuclear Facility Safety Research Unit  
Nuclear Safety Research Center  
Japan Atomic Energy Agency  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received June 19, 2009)

Scenario description is the first and essential step in the safety assessment of geological disposal of radioactive waste. Scenarios are constructed considering factors that are likely to affect long-term safety of disposal, and the scenario construction is needed to perform in a systematic manner because the factors include a wide range of future processes and conditions of engineered barriers and geosphere. Recent safety assessment studies employ the “FEP” approach, where scenarios are constructed based on comprehensive information on features, events and processes (FEPs) occurring in the disposal system.

We, in this study, applied the FEP approach to a hypothetical geological disposal system consisting of Japanese representative geosphere and generalized engineered barriers. We began with choosing FEPs from the internationally common OECD/NEA FEP database. Then we added scientific and technical information on the chosen FEPs obtained through comprehensive literature survey, creating an assembly of correlations between FEPs for possible future state of geological disposal system. The correlations were scrutinized to select finally critical safety correlations, which became elements integrated to safety assessment scenarios. Internal and external experts were involved in the selection; the experts’ opinions and comments were used to update the scientific and technical information on the FEPs, and to keep the objective view in selecting the critical safety correlations.

This report provides aforementioned FEP-related database and illustrates the scenario construction procedure for the groundwater transporting radionuclide scenario.

Keywords:

FEP Database, Scenario, Safety Assessment, High-level Radioactive Waste, Geological Disposal

---

This work was performed by the Nuclear and Industrial Safety Agency in Ministry of Economy, Trade and Industry under contract with Japan Atomic Energy Agency.

<sup>\*1</sup>Special Topic Engineer (Presently, Chuo kaihatsu Corporation)

## 目 次

1. はじめに.....	1
2. シナリオ構築の基本的な考え方.....	2
3. FEP データベース .....	3
3.1 全体フロー.....	4
3.2 FEP データベースの作成.....	5
3.2.1 FEP リスト及び相関関係図 .....	5
3.2.2 FEP シート .....	11
3.2.3 安全性への影響の可能性、理解の現状及び相関の判定 .....	12
3.2.4 データベースのシステム化.....	13
4. 専門家へのアンケート調査.....	14
4.1 アンケート調査の方法.....	14
4.2 アンケートの調査結果.....	14
5. シナリオの作成.....	20
5.1 シナリオ作成の流れ.....	20
5.2 前提条件の整理.....	20
5.3 シナリオの分類.....	21
5.3.1 標準シナリオ .....	22
5.3.2 サブシナリオ .....	23
6. まとめ.....	31
謝 辞.....	32
参考文献.....	32

## 付 錄

Appendix-I. 安全性への影響の可能性と判定結果.....	33
Appendix-II FEP データベースシステム.....	83
1. システム開発.....	83
2. 収録データ .....	87

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Basic thought of scenario compilation.....	2
3. Constitution of FEP database.....	3
3.1 Entire flow.....	4
3.2 Individual compilation procedure of FEP database .....	5
3.2.1 FEP list and correlation figure.....	5
3.2.2 FEP Sheet .....	11
3.2.3 Possibility of influence on safety, Present conditions of the understanding, Judgment on the correlation of FEPs .....	12
3.2.4 Systematization of the database .....	13
4. Questionnaire survey to specialist.....	14
4.1 Method of questionnaire survey.....	14
4.2 Questionnaire survey result.....	14
5. Compilation of Scenario .....	20
5.1 Flow of scenario compilation.....	20
5.2 Rearrangement of prerequisite .....	20
5.3 Classification of Scenario .....	21
5.3.1 Normal Scenario.....	22
5.3.2 Sub Scenario .....	23
6. Summary .....	31
 Acknowledgements .....	32
References .....	32
 Appendix	
Appendix I Questionnaire survey result regarding the possibility of influence to safety .....	33
Appendix II FEP database system .....	83
1. System development .....	83
2 Collecting data .....	87

## 図目次

Fig.2.1 FEP データベースの全体像 .....	3
Fig.3.1 FEP データベースの整備の全体フロー.....	4
Fig.3.2 地下水移行シナリオを対象とした地下環境に関する FEP 相関関係図.....	7
Fig.4.1 アンケート回答の傾向値の頻度分布図 1 .....	15

## 表目次

Table 3.1 FEP データベースの構成一覧 .....	3
Table 3.2 OECD/NEA で示されている国際 FEP リストの構成.....	5
Table 3.3 地下水移行シナリオを対象とした地下環境に関する FEP リスト .....	9
Table 3.4 FEP シートの構成一覧 .....	12
Table 3.5 安全性への影響の可能性に対する相関の判定の区分 .....	13
Table 4.1 アンケート結果一覧（ガラス固化体） .....	16
Table 4.2 アンケート結果一覧（オーバーパック） .....	16
Table 4.3 アンケート結果一覧（緩衝材） .....	17
Table 4.4 アンケート結果一覧（母岩） .....	18
Table 5.1 標準シナリオ .....	23
Table 5.2 構成要素毎のサブシナリオ .....	24
Table 5.3 サブシナリオ（ガラス固化体：ガラス表面積変化シナリオ） .....	24
Table 5.4 サブシナリオ（ガラス固化体：ガラス溶解機構変化シナリオ） .....	25
Table 5.5 サブシナリオ（オーバーパック：早期破損シナリオ-全面腐食） .....	26
Table 5.6 サブシナリオ（オーバーパック：早期破損シナリオ-局部腐食） .....	27
Table 5.7 サブシナリオ（オーバーパック：早期破損シナリオ-応力腐食割れ） .....	28
Table 5.8 サブシナリオ（緩衝材：変質シナリオ） .....	29
Table 5.9 サブシナリオ（母岩：構成鉱物変質シナリオ） .....	30

This is a blank page

## 1. はじめに

わが国の高レベル放射性廃棄物等の地層処分は、平成12年度の「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」により事業化段階に入り、現在事業主体である原子力発電環境整備機構による処分場候補地の公募が行われている。最終的な処分地選定に向けて、今後、規制当局による処分候補地に対する安全審査等が行われ、その際には地層処分の安全性を判断するための評価手法が必要である。

長寿命核種を有意に含む放射性廃棄物（高レベル放射性廃棄物（HLW）、TRU廃棄物）の地層処分は、処分場である人工バリアと天然バリアである地層（地質媒体）を適切に組み合わせたシステムにより、数万年以上の長期的な安全性を確保するものである。放射性廃棄物処分に対する安全性の評価のための一般的な方法とは、処分場からの放射性核種の移行過程を含め人工バリアと天然バリアの長期的な変遷を評価シナリオとして記述し、その評価シナリオに基づいて、数学モデル/コードを開発・整備し、適切なパラメータ条件による安全解析の結果を基に、地層処分システムの安全性を評価するものである。これらの方法は基本的に核燃料サイクル開発機構の第2次取りまとめ総論レポート<sup>(1)</sup>、米国ユッカマウンテンにおけるTSPA（Total System Performance Assessment）<sup>(2)</sup>、スウェーデンSKBのSR-Can<sup>(3)</sup>などの既往の国内外における安全評価もしくは性能評価の考え方において基本的に共通である。

日本原子力研究開発機構安全研究センターは、こうした安全評価の考え方を踏襲し、処分場候補地に対する安全審査のための支援研究として、国内外で得られた最新の知見を取り入れながら、評価シナリオの構築、評価モデル/コードの開発、評価パラメータの整備といった安全評価手法の開発・整備に取り組んでいる。

安全評価手法の一部であるシナリオ構築に関して、OECD/NEA（経済協力開発機構／原子力機関）<sup>(4)</sup>では、諸外国における具体的な放射性廃棄物処分の安全評価のシナリオ検討のために、放射性固体廃棄物処分場の閉鎖後の安全に関する要因を、特性(Features)、事象(Events)、プロセス(Processes)の視点から特定、分類し（以下、FEPとする）、それらの要因の一覧を国際FEPリストとして文書化している<sup>(4)</sup>。同報告書では、個別の具体的な安全評価においてシナリオを作成していく場合、特定、分類化されたFEPから個別の処分システムに関連するFEPを選別していくプロセスがとられるべきことが述べられている。米国ユッカマウンテンでは、国際FEPリストを基にユッカマウンテンに固有な処分概念に応じたFEPによるシナリオの構築が進められているが、わが国のHLW地層処分に対するFEPの情報を基にしたシナリオ構築の方法論では、具体的に示されていないのが現状である。今後の地層処分の処分候補地に対する安全審査の技術的な支援のため、わが国に固有な処分概念に対応したFEPの情報とシナリオ構築のための具体的な方法論について検討をしておくことが重要である。

HLW地層処分の候補地が現在決定されていないことから、本研究では、わが国の典型的な地質環境、人工バリア仕様を想定し、放射性核種の地下水による移行を想定したシナリオ（以下、地下水移行シナリオ）を対象に、FEPの特定（リスト化）及び各FEPに対する知見・データを文献調査から整備した。それらの情報を基に、各人工バリアの構成材及び天然バリアにおける事象・特性・プロセスの相関を整理し、各相間に対し、シナリオとして取り込む必要性や影響の有無に関する判定（相関の判定）を行った。また、シナリオ構築のための一連のFEPのデータに対する精度向上と客観性の向上を目的に、整備した相関の判定に至る情報に対して外部専門家へのヒアリングを行うとともに、各専門家の判断・コメントに対する検討を進めた。

わが国の HLW 地層処分に対する FEP の情報を基にしたシナリオ構築は、今後、処分場候補地の情報を追加しながら、具体化・精緻化していく必要があることから、本研究において整備した一連の情報を FEP データベースとして整備した。

なお、FEP データベースの一部として整備をした各人工バリアの構成材及び天然バリアにおける事象・特性・プロセスの相関関係については、「総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会 廃棄物安全小委員会報告書—高レベル放射性廃棄物処分の安全規制に係る基盤確保に向けて—」(平成 15 年 7 月 8 日)<sup>(5)</sup>において、放射性廃棄物処分に対する統一的な安全評価の考え方・安全規制のために必要な研究課題の取りまとめの基礎となる FEP 間の相関関係図として活用された。

## 2. シナリオ構築の基本的な考え方

HLW 地層処分の安全評価のためのシナリオ構築の方針は、わが国において想定される一般的な処分概念に対応した情報を網羅的に収集し、FEP データベースとしてとりまとめた知見に基づいて、人工バリアと天然バリアの長期的な変遷を想定し、処分場からの放射性核種の移行過程を評価シナリオとして記述するものとした。これは OECD/NEA<sup>(4)</sup>の FEP に基づいたシナリオ構築の考え方へ準拠するものである。なお、本研究では地層処分システムの領域への外乱、すなわち、「将来の人間の行為」と「地質及び気候関連現象の発生」の可能性を前提とするシナリオについては、検討の対象外とした。

FEP の情報を基にしたシナリオ構築では、以下に示す課題が考えられる。

- (a) リスト化した個々の FEP の相関関係には、複数の起因事象の発生に伴う影響が混在し、相関関係を整理し、理解するのが困難な場合が多い
- (b) 選定したシナリオと考慮される FEP との関係（範囲）が不明瞭なケースが存在する
- (c) シナリオの設定に至る科学的知見や専門家判断の追跡性の確保

(a)及び(b)に関しては、地層処分における人工バリアと天然バリアの長期的な変遷や核種の移行挙動に関する物理化学的な相関関係を具体化し、個々の相関関係について、現在の科学的知見に基づいた理解がどこまで進んでいるかを整理しておくことが重要になると考えられる。地層処分システムの長期的な変遷や核種移行挙動に対するシナリオの理解のための研究開発は現在も進められており、また、将来の地層処分の処分地の選定に向けたわが国に固有な処分概念に応じたシナリオの選別のためにも、(c)に示したシナリオの設定に至る科学的知見や専門家判断の追跡性を確保し、今後の最新知見の取り込みが可能な情報管理のシステム化が必要である。また、ここには示していないが、時間軸をシナリオにおいて考慮するのが困難であるという課題も存在している。

こうした課題に対処するため、本研究では、Fig.2.1 に示すような FEP に関する情報群をデータベース化し、シナリオ構築までのフローを作成した。FEP データベースは、国際 FEP リストに基づいて作成した①FEP リスト（放射性廃棄物処分の安全評価に関連する特性 feature）・事象（event）・プロセス（process）のリスト）、②相関関係図（関連性のある FEP 間の因果関係を図化したもの）、③FEP シート（当該 FEP に関する既往の実験的・解析的な研究から得られる知見情報、他の FEP との関係、参考文献等を収録したもの）、及び④「安全性への影響の可能性・理解の現状・相関の判定」の主に 4 つの項目から構成される。

項目④の「安全性への影響の可能性」とは、前述の課題(a)及び(b)に対応するため、人工バリアの構成材及び天然バリアにおける事象・特性・プロセスの相関を整理して抽出・記述し、データベースに収録したものである。項目④については、さらに、「安全性への影響の可能性」に関する現状の知見の集約として「理解の現状」を整理し、「理解の現状」の情報を基にシナリオとして取り込む必要性や影響の有無等を判断した「相関の判定」を整備した。

また、シナリオ構築のための上記に示した一連のFEPデータに対する信頼性の確保を目的として、「FEPリスト」及び「FEPシート」、「安全性への影響の可能性」、「理解の現状」、「相関の判定」について、放射性廃棄物処分の専門家を対象にアンケート調査を実施した。このアンケート結果について、各専門家の判断及び検討結果をそれぞれに反映させた。

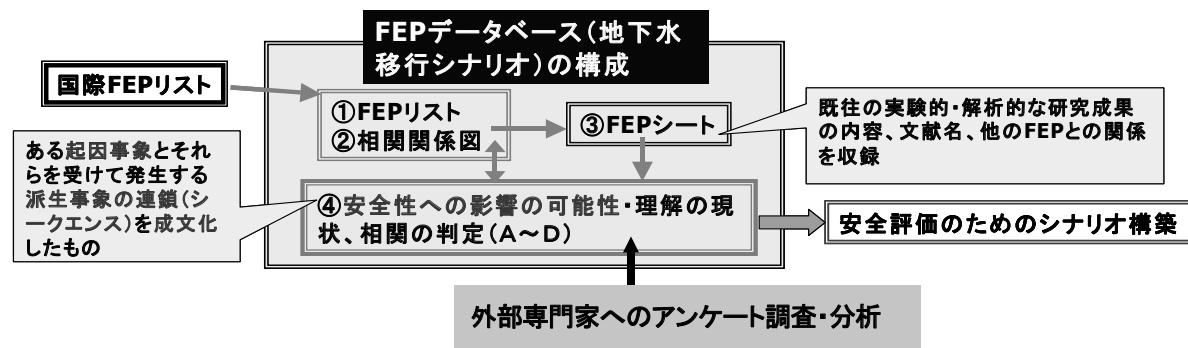


Fig.2.1 FEP データベースの全体像

### 3. FEP データベース

本章では、FEP データベースを構成する項目とその作成方法を示す。Table3.1 は、本研究において整備した FEP データベースの構成項目の一覧を示しており、以下、FEP データベース作成の全体フロー及び各項目の具体的な作成方法について記述する。

Table 3.1 FEPデータベースの構成一覧

構成項目	内容	備考
FEP リスト	国際FEPリストを基に我が国において想定される一般的な処分概念に対応した FEP をリスト化	本文中に示す
相関関係図	関連性のある FEP 間の因果関係を図化したもの	本文中に示す
FEP シート	各 FEP リストに関係する既往の科学的知見を文献調査により整理したもの。現在 143 項目である。	膨大であるため、別途に添付
安全性への影響の可能性	現在懸念されている現象間の関係を起因事象とそれを受けた事象として抽出し、物理化学的分野（温度、水理、力学、化学、放射線、物質移動）別に成文化したもの	本文付録に示す
理解の現状	個々の「安全性への影響の可能性」に対する知見の集約の結果を示したもの	本文付録に示す
相関の判定	「理解の現状」の情報を基にシナリオとして取り込む必要性や影響の有無等を判断したもの	本文付録に示す

なお、わが国において想定される一般的な処分概念は、安定な地層に性能に余裕を持たせた人工バリアを含む多重バリアシステムを構築するという考え方である。第2次取りまとめ 総論レポート<sup>(1)</sup>によれば、サイトの地質環境に求められる好ましい条件が下記の①～④のようにあげられており、ここではそれを踏襲する。

- ①人工バリア（ガラス固化体、オーバーパック、緩衝材）の健全性と放射性核種の保持・移行遅延機能が保証されるよう、岩盤が力学的に安定であること
- ②地下水の流速が小さく、化学的に還元性であること
- ③地質媒体が放射性核種の移行に対して、大きな遅延機能を有すること
- ④処分場から人間環境までの地下水の移動距離が長く、分散希釈効果が大きいこと

などがあげられている。

### 3.1 全体フロー

FEP データベース整備に関する全体フローを Fig.3.1 に示す。全体フローは以下の順番で行った。

- ①「FEP リスト」の作成と各 FEP の「相関関係図」の作成
- ②「FEP シート」の作成（各 FEP リストに関係する既往の科学的知見の文献調査とその整理）
- ③「FEP シート」の情報を基にした「安全性への影響の可能性」及び「理解の現状」の整理
- ④「安全性への影響の可能性」に対する「相関の判定」の作成
- ⑤「安全性への影響の可能性」、「理解の現状」、「相関の判定」に対する放射性廃棄物処分の専門家へのアンケート調査の実施
- ⑥「安全性への影響の可能性」とその相関に関する判定の情報を基にしたシナリオの構築

なお、各手順の中で FEP データベースの構成項目についての新規知見が得られた場合には、適宜変更、修正を実施した。

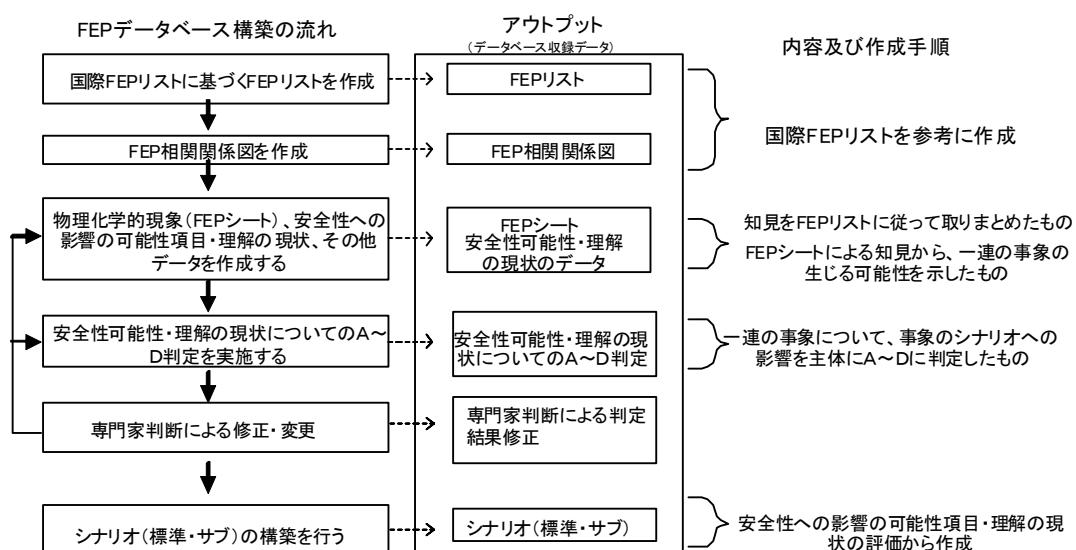


Fig.3.1 FEP データベースの整備の全体フロー

### 3.2 FEP データベースの作成

FEP データベースを構成する、FEP リスト及び相関関係図、FEP シート、「安全性への影響の可能性」、「理解の現象」、「相関の判定」のそれぞれについて、詳細な作成手順を示す。また、作成した FEP データベースの各構成項目の内容について述べる。

#### 3.2.1 FEP リスト及び相関関係図

FEP リスト及び相関関係図の作成手順を以下に示す。作成に当たっては、下記に示す OECD/NEA<sup>(4)</sup> の汎用的な国際 FEP リストに基づいて、FEP リストと相関関係図を作成した (Fig.2.1 に示す①及び②)。国際 FEP リストは、Table 3.2 に示すようなカテゴリ一分類がされており、その中で、本研究においては、「2.1 廃棄体と人工バリア」、「2.2 地質学的環境」、「3.1 汚染物質の特性」、「3.2 汚染物質の放出／移行に関する要因」の 4 つのカテゴリに関するものについての FEP リスト及び相関関係図の作成を行った。なお、1.の外的要因に分類されるもの、2.および 3.に分類されるもののうち、地表環境に関するものは、本件の対象外とした。

Table 3.2 OECD/NEA で示されている国際FEPリストの構成

階層	カテゴリー	検討対象
0.評価の基礎		
1.外的要因	1.1 処分場に関する事項	
	1.2 地質学的プロセスとその影響	
	1.3 気候プロセスとその影響	
	1.4 将来の人間の行為（能動的）	
	1.5 その他	
2.処分システム領域：環境要因	2.1 廃棄体と人工バリア	地下環境
	2.2 地質学的環境	地下環境
	2.3 地表の環境	地表環境
	2.4 人間のふるまい	地表環境
3.放射性核種/汚染物質に関する要因	3.1 汚染物質の特性	地下・地表環境
	3.2 汚染物質の放出／移行に関する要因	地下・地表環境
	3.3 被ばくに関する要件	地表環境

FEP リスト及び相関関係図は下記に示す手順にて作成した。

#### [FEP リスト]

- ① 「地下環境」における処分システムの構成要素を、ガラス固化体、オーバーパック、緩衝材/埋め戻し材、プラグ・グラウト・支保工等、母岩の 5 つに分類する。
- ② 「地下環境」における現象及び特性を、温度、水理、力学、化学、放射線、物質移動に分類する。
- ③ 国際FEP リストの検討結果から、わが国において検討の対象とすべき国際FEP リストを①及び②により分類された各表欄に割り当てる。
- ④ 第 2 次取りまとめ 分冊 3<sup>(6)</sup>で検討された基本シナリオのFEP リストを全て、考慮すべき特性・

プロセスとして記載し、国際FEP リストにおいて対象としている範囲との関連性を調べる。

- ⑤ ④の結果から、国際FEP リストの記載の範囲で、新たに特性・プロセスを追加する。この追加作業は、国際FEP リストとの網羅性のみを判断基準とする。
- ⑥ 明らかに事象の発生又はその影響がないと判断される特性・プロセスを削除する。ただし、削除了特性・プロセスの履歴は情報として残すものとする。

[相関関係図]

- ① 「地下環境」の5 つの個々の構成要素（ガラス固化体、オーバーパック、緩衝材、プラグ・グラウト等、母岩）において、大別される6 つの現象及び特性（温度、水理、力学、化学、放射線、物質移動）内でFEP 間の相関関係を矢印で示す。矢印の方向は、FEP ボックス間の影響の方向を表し、相互に影響すると考えられる場合は両矢印にて表示する。
- ② 個々の構成要素及び特性の関係から、さらに横断的に相互の影響をとらえ、地下環境全体の相関関係図を構築する。
- ③ 「FEP シート」に収録した情報を基に、相関関係の修正及び追加を行う。

上記方法にて作成した相関関係図を Fig.3.2 に、FEP リストを Table3.3 に示す。

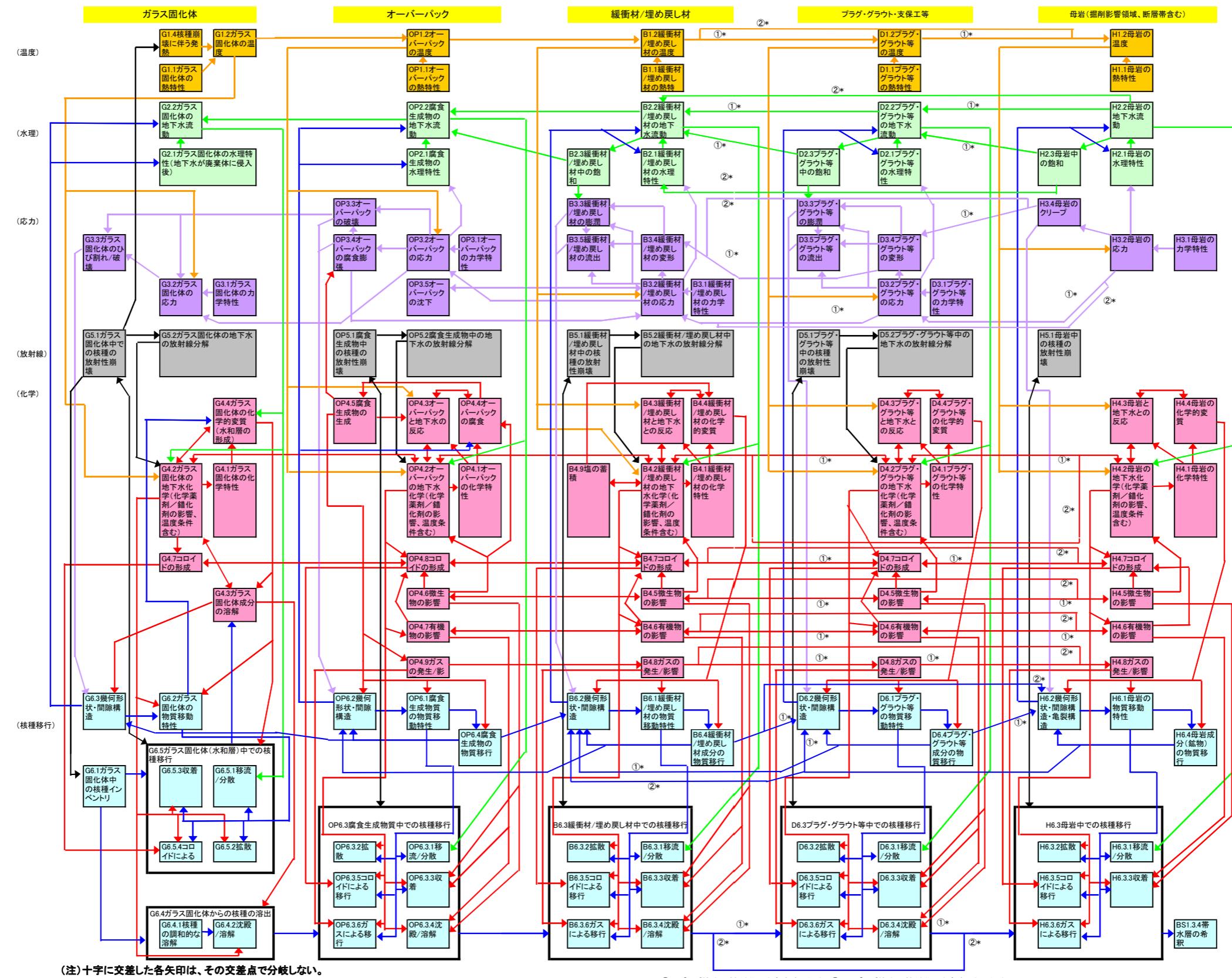


Fig.3.2 地下水移行シナリオを対象とした地下環境に関する FEP 相関関係図

Table 3.3. 地下水移行シナリオを対象とした地下環境に関するFEPリスト

国際FEPリストに基づく我が国の地層処分におけるFEPリスト(地下環境)										
地層処分システムの構成要素	汚染物質/ガラス固化体	オーバーパック	緩衝材/埋め戻し材	プラグ・グラウト・支保工等	母岩(掘削影響領域、断層帯を含む)					
	国際的FEPリスト	考慮すべき特性・プロセス	国際的FEPリスト	考慮すべき特性・プロセス	国際的FEPリスト	考慮すべき特性・プロセス	国際的FEPリスト	考慮すべき特性・プロセス	国際的FEPリスト	考慮すべき特性・プロセス
1. 熱的現象・特性	・熱的プロセスとその状態(廃棄体と工学パリア内)(FEP2.1.11)	G1.1ガラス固化体の熱特性	OP1.1オーバーパックの熱特性	B1.1緩衝材/埋め戻し材の熱特性	・熱的プロセスとその状態(廃棄体と工学パリア内)(FEP2.1.11)	D1.1プラグ・グラウト等の熱特性	H1.1母岩の熱特性			
		G1.2ガラス固化体の温度	OP1.2オーバーパックの温度	B1.2緩衝材/埋め戻し材の温度	・熱的プロセスとその状態(廃棄体と工学パリア内)(FEP2.1.11)	D1.2プラグ・グラウト等の温度	H1.2母岩の温度			
		G1.3ガラス固化体の熱膨張	OP1.3オーバーパックの熱膨張	B1.3緩衝材/埋め戻し材の熱膨張		D1.3プラグ・グラウト等の熱膨張	H1.3母岩の熱膨張			
		G1.4核種崩壊に伴う発熱								
2. 水理学的現象・特性	・水力学／水理地質学的プロセスとその状態(廃棄体と工学パリア内)(FEP2.1.08)	G2.1ガラス固化体の水理特性(地下水が廃棄体に侵入後)	OP2.1腐食生成物の水理特性	B2.1緩衝材/埋め戻し材の水理特性	・水力学／水理地質学的プロセスとその状態(廃棄体と工学パリア内)(FEP2.1.08)	D2.1プラグ・グラウト等の水理特性	H2.1母岩の水理特性			
		G2.2ガラス固化体の地下水水流動	OP2.2腐食生成物の地下水水流動	B2.2緩衝材/埋め戻し材の地下水水流動		D2.2プラグ・グラウト等の地下水水流動	H2.2母岩の地下水水流動			
				B2.3緩衝材/埋め戻し材の飽和		D2.3プラグ・グラウト等の飽和	H2.3母岩の飽和			
3. 力学的現象・特性	・力学的プロセスとその状態(廃棄体と工学パリア内)(FEP2.1.07)	G3.1ガラス固化体の力学特性	OP3.1オーバーパックの力学特性	B3.1緩衝材/埋め戻し材の力学特性	・力学的プロセスとその状態(廃棄体と工学パリア内)(FEP2.1.07)	D3.1プラグ・グラウト等の力学特性	H3.1母岩の力学特性			
		G3.2ガラス固化体の応力	OP3.2オーバーパックの応力	B3.2緩衝材/埋め戻し材の応力		D3.2プラグ・グラウト等の応力	H3.2母岩の応力			
		G3.3ガラス固化体のひび割れ/破壊	OP3.3オーバーパックの破壊	B3.3緩衝材/埋め戻し材の膨潤		D3.3プラグ・グラウト等の膨潤	H3.3母岩のクリープ			
			OP3.4オーバーパックの腐食膨張	B3.4緩衝材/埋め戻し材の変形		D3.4プラグ・グラウト等の変形				
			OP3.5オーバーパックの沈下	B3.5緩衝材/埋め戻し材の流出		D3.5プラグ・グラウト等の流出				
4. 化学的現象・特性	・化学／地球化学的プロセスとその状態(廃棄体と工学パリア内)(FEP2.1.09) ・生物学／生化学的プロセスとその状態(廃棄体と工学パリア内)(FEP2.1.10) ・有機物と有機形態をとる可能性(FEP3.1.05) ・微生物学的／生物学的／植物が媒介するプロセスによる汚染物質への影響(FEP3.2.06) ・ガス源とその影響(廃棄体と工学パリア内)(FEP2.1.12) ・化学薬剤／錯化剤による汚染物質の化学種／移行への影響(FEP3.2.05)	G4.1ガラス固化体の化学特性	OP4.1オーバーパックの化学特性	B4.1緩衝材/埋め戻し材の化学特性	・化学／地球化学的プロセスとその状態(廃棄体と工学パリア内)(FEP2.1.09)	D4.1プラグ・グラウト等の化学特性	H4.1母岩の化学特性			
		G4.2ガラス固化体の地下水化学(化学薬剤／錯化剤の影響含む)	OP4.2オーバーパックの地下水化学(化学薬剤／錯化剤の影響含む)	B4.2緩衝材/埋め戻し材の地下水化学(化学薬剤／錯化剤の影響含む)	・生物学／生化学的プロセスとその状態(廃棄体と工学パリア内)(FEP2.1.10)	D4.2プラグ・グラウト等の地下水化学(化学薬剤／錯化剤の影響含む)	H4.2母岩の地下水化学(化学薬剤／錯化剤の影響含む)			
		・有機物と有機形態をとる可能性(FEP3.1.05)	・有機物と有機形態をとる可能性(FEP3.1.05)	B4.3緩衝材/埋め戻し材と地下水の反応	・有機物と有機形態をとる可能性(FEP3.1.05)	D4.3プラグ・グラウト等と地下水の反応	H4.3母岩と地下水との反応			
		G4.3ガラス固化体成分の溶解	OP4.3オーバーパックと地下水の反応	B4.4緩衝材/埋め戻し材による汚染物質への影響(FEP3.2.06)	・微生物学的／生物学的／植物が媒介するプロセスによる汚染物質への影響(FEP3.2.06)	D4.4プラグ・グラウト等による汚染物質への影響(FEP3.2.06)	H4.4母岩の生物学的変質			
		G4.4ガラス固化体の化学的変質(水和層の形成)	OP4.4オーバーパックの腐食	B4.5微生物の影響	・ガス源とその影響(廃棄体と工学パリア内)(FEP2.1.12)	D4.5微生物の影響	H4.5微生物の影響			
		G4.5微生物の影響	OP4.5腐食生成物の生成	B4.6微生物の影響	・化学薬剤／錯化剤による汚染物質の化学種／移行への影響(FEP3.2.05)	D4.6微生物の影響	H4.6微生物の影響			
		G4.6有機物の影響	OP4.6微生物の影響	B4.7コロイドの形成		D4.7コロイドの形成	H4.7コロイドの形成			
		G4.7コロイドの形成	OP4.7有機物の影響	B4.8ガスの発生/影響		D4.8ガスの発生/影響	H4.8ガスの発生/影響			
		G4.8ガスの発生/影響	OP4.8コロイドの形成	B4.9塙の蓄積						
			OP4.9ガスの発生/影響							
		G5.1ガラス固化体中の核種の放射性崩壊	OP5.1腐食生成物中の核種の放射性崩壊	B5.1緩衝材/埋め戻し材中の核種の放射性崩壊	・放射線影響(廃棄体と工学パリア内)(FEP2.1.13)	D5.1プラグ・グラウト等中の核種の放射性崩壊	H5.1母岩中の核種の放射性崩壊			
		G5.2ガラス固化体中の地下水の放射線分解	OP5.2腐食生成物中の地下水の放射線分解	B5.2緩衝材/埋め戻し材中の地下水の放射線分解	・放射性核種の崩壊と連鎖生成(FEP3.1.01)	D5.2プラグ・グラウト等中の地下水の放射線分解	H5.2母岩中の地下水の放射線分解			
		G5.3ガラス固化体の放射線損傷	OP5.3オーバーパックの放射線損傷	B5.3緩衝材/埋め戻し材の放射線損傷		D5.3プラグ・グラウト等の放射線損傷	H5.3母岩の放射線損傷			
6. 汚染物質の特性及び物質移動現象・特性	・化学／有機毒性的安定性(FEP3.1.02) ・無機固相／溶質(FEP3.1.03) ・揮発性物質と揮発の可能性(FEP3.1.04) ・有機物と有機形態をとる可能性(FEP3.1.05) ・希ガス(FEP3.1.06) ・汚染物質の溶解、沈殿と結晶化(FEP3.2.01) ・汚染物質の化学種と溶解度(FEP3.2.02) ・汚染物質の収着／脱着プロセス(FEP3.2.03) ・コロイドと汚染物質の相互作用と移行(FEP3.2.04) ・水を媒介とする汚染物質の移行(FEP3.2.7)	G6.1ガラス固化体中の核種インベントリ	OP6.1腐食生成物の物質移動特性	B6.1緩衝材/埋め戻し材の物質移動特性	・無機固相／溶質(FEP3.1.03) ・揮発性物質と揮発の可能性(FEP3.1.04)	D6.1プラグ・グラウト等の物質移動特性	H6.1母岩の物質移動特性			
		G6.2ガラス固化体の物質移動特性	OP6.2幾何形状・間隙構造	B6.2幾何形状・間隙構造	・有機物と有機形態をとる可能性(FEP3.1.05)	D6.2幾何形状・間隙構造	H6.2幾何形状・間隙構造・亀裂構造			
		G6.3幾何形状・間隙構造	OP6.3腐食生成物中の核種移行	B6.3緩衝材/埋め戻し材中の核種移行	・希ガス(FEP3.1.06)	D6.3プラグ・グラウト等中の核種移行	H6.3母岩中の核種移行			
		・希ガス(FEP3.1.06)	OP6.3.1移流/分散	B6.3.1移流/分散	・汚染物質の溶解、沈殿と結晶化(FEP3.2.01)	D6.3.1移流/分散	H6.3.1移流/分散			
		・汚染物質の溶解、沈殿と結晶化(FEP3.2.01)	OP6.3.2拡散	B6.3.2拡散	・汚染物質の化学種と溶解度(FEP3.2.02)	D6.3.2拡散	H6.3.2拡散			
		・汚染物質の化学種と溶解度(FEP3.2.02)	OP6.3.3収着	B6.3.3収着	・汚染物質の収着／脱着プロセス(FEP3.2.03)	D6.3.3収着	H6.3.3収着			
		・汚染物質の収着／脱着プロセス(FEP3.2.03)	OP6.3.4沈殿/溶解	B6.3.4沈殿/溶解	・水を媒介とする汚染物質の移行(FEP3.2.7)	D6.3.4沈殿/溶解	H6.3.4沈殿/溶解			
		・コロイドと汚染物質の相互作用と移行(FEP3.2.04)	OP6.3.5コロイドによる移行	B6.3.5コロイドによる移行		D6.3.5コロイドによる移行	H6.3.5コロイドによる移行			
		・水を媒介とする汚染物質の移行(FEP3.2.7)	OP6.3.6ガスによる移行	B6.3.6ガスによる移行		D6.3.6ガスによる移行	H6.3.6ガスによる移行			
		G6.5.1移流/分散	OP6.4腐食生成物の物質移行	B6.4緩衝材/埋め戻し材成分の物質移行		D6.4プラグ・グラウト等の成分の物質移行	H6.4母岩成分(鉱物)の物質移行			
		G6.5.2拡散								
		G6.5.3収着								
		G6.5.4コロイドによる移行								
		G6.5.5ガスによる移行								
国際的FEPリスト(特性)	インベントリー、核種と他の材料(FEP2.1.01)	容器の材料とその特性(FEP2.1.03)	緩衝材／埋め戻し材と特性(FEP2.1.04)	サイロ、坑道、縦坑のシール(FEP2.1.05)						
	廃棄体の材料とその特性(FEP2.1.02)			他の工学パリアの材料と特性(FEP2.1.06)						

(注1)網掛けは、現在の知見より影響が明らかに無視できると判断した特性・プロセス

### 3.2.2 FEP シート

文献調査の対象は、原則として 1980 年（地層処分方針）以降の国内外における公開文献及び資料とした。なお、第 2 次取りまとめ 分冊 3<sup>(6)</sup>では、報告書以前の過去の文献についての検討が実施されていることから、第 2 次取りまとめ 分冊 3<sup>(6)</sup>の内容を検討することで過去の文献はほぼ網羅されているものとした。したがって、第 2 次取りまとめ 分冊 3<sup>(6)</sup>以降の公開されている文献を主体として収集し、その中から核種移行について関連するものを、FEP シートとして整理した。文献の検索の際に使用した、物理化学的現象及び特性についてのキーワードを下記に示す。

- ・ 热的現象・特性：地熱、热伝導、比热、温度
- ・ 水理学的現象・特性：地下水、透水、含水、饱和
- ・ 力学的現象・特性：弹性、引張/圧縮强度、応力、変形/破壊、密度、膨張、クリープ
- ・ 化学的現象・特性：劣化、地下水反応、微生物/有機物、コロイド形成、ガス発生
- ・ 放射線学的現象・特性：放射性崩壊、放射線分解
- ・ 物質移動現象・特性：溶出、移流/分散、拡散、コロイド、吸着/収着

人工バリア材/天然バリアにおける物理化学的現象及び特性の調査は、「FEP リスト/相関関係図」を基準に、各 FEP シート（ガラス固化体～母岩）を構成する「概要」項目、「安全性への影響の可能性」項目、及び「他 FEP との関連性」について成文化し、シートに調査内容を記載した。FEP シートには、主に「概要」項目に示された物理化学的現象及び特性に関する実験や解析による現状知見の調査を行った。調査結果は、FEP リストに示される構成要素別（ガラス固化体～母岩）における、温度、水理、力学、化学、放射線学、物質移動の各現象及び特性に対して、その概要、安全性への影響の可能性、他 FEP との関連性、現象特性に関する理解の現状、核種移行への影響、今後の課題及び参考文献について整理し取りまとめた。また名称、概要、安全性への影響の可能性、ほかの FEP との関連、現象特性に関する理解の現状、核種移行への影響、今後の課題、参考文献の項目に分けて記載した。収録した文献は第 2 次取りまとめ 分冊 3<sup>(6)</sup>以降の文献を主体として、土木学会誌、日本原子力学会誌、地盤工学会誌、動燃技術資料、粘土科学、原環セントピックス、日本原子力学会和文誌、原子力バックエンド研究、SKB、Nagra といった国内外及び研究機関による公表された論文である。なお、FEP シートは膨大な量となるために、個々の FEP シートの情報については別途 CD-R に収録した。構成を Table3.4 に示す。

Table 3.4 FEPシートの構成一覧

構成項目	内容
名称	FEP ナンバー及び要素名を記載する
概要	具体的な内容及び範囲を示す
安全性への影響の可能性	安全性への影響の可能性とその相関を示す
他の FEP との関連	FEP 相関関係図を基に「核種移行に向かう相関関係」の一部を記載
現象特性に関する理解の現状	調査した実験や解析などによって得られた物理化学的知見のまとめ及びその不確実性を記載する
核種移行への影響	影響の程度及び現時点での不確実性を示す
今後の課題	今後検討していく必要があると考えられる課題を示す
参考文献	FEP シートを作成するに当たって参考とした文献を示す。

### 3.2.3 安全性への影響の可能性、理解の現状及び相関の判定

個々の FEP の相関関係には、複数の起因事象の発生に伴う影響が混在しているため、相関関係を整理し理解するのが困難な場合や、選定したシナリオと考慮される FEP との関係（範囲）が不明瞭なケースが存在する。「安全性への影響の可能性」及び「理解の現状」は、人工バリア構成材や天然バリアにおける事象・特性・プロセスの相関を整理することで、これらの追跡を可能とする目的として作成した。具体的には、安全評価上で直接あるいは間接的に核種移行への影響が懸念される起因事象と、それらによって引き起こされる一連の派生事象の連鎖を抽出し、物理化学的分野（温度、水理、力学、化学、放射線、物質移動）別に成文化したものである。なお、ここで使用している「安全性への影響の可能性」及び「理解の現状」とは、安全性へ影響する項目という意味ではなく、「核種移行に対して、その事象の発生により安全性への影響が発生する可能性がある」といった意味で使用している。以下、「安全性への影響の可能性」及び「理解の現状」については、このような意味として取り扱う。

「安全性への影響の可能性」項目の設定の際には、安全性への影響が懸念されている現象（発生の可能性や影響の程度が未解明なものも含む）を網羅的に記述する必要がある。そのため、「FEP シート」の情報を基に、人工バリア及び天然バリアの時間的な変遷の中で起こる可能性のある起因事象及び特性とその事象発生による連鎖的な事象を具体的、かつ細分化するような記載に努めた。

「理解の現状」は、「FEP シート」の情報を基に「安全性への影響の可能性」に対する知見の集約という形で整理を行った。また、参照すべき FEP シート番号も整理した。さらに、これらの知見に対する影響の判断として、「JAEA による判断」として専門家判断のコメントを記載した。

「理解の現状」の情報を基本として、シナリオとして取り込む必要性や影響の有無等を判断し、「相関の判定」として、Table3.5 に示すような A～D の 4 つの区分を導入することとした。このうち判定 C は、現状の安全評価の中のシナリオとして取り扱いに関する判断を保留している「安全性への影響の可能性」を分類することとした。

Table 3.5 安全性への影響の可能性に対する相関の判定の区分

A	影響の程度によらず、安全性への影響の可能性の一連の事象が発生すると判断され、かつシナリオ上考慮すべきと判断される事象
B	一連の事象が発生するかどうか不明確であるものの、安全機能の観点からシナリオ上考慮すべきと判断される事象（シナリオ不確かさとして扱っている事象）
C	一連の事象が発生するかどうか不明確であり、かつシナリオ上考慮すべきの判断が出来ない事象（サイト処分条件や処分場仕様にも影響を受けるものを含む）
D	一連の事象が発生しても、影響を及ぼさない、あるいは影響が無視できるほど小さいことが解かっており、シナリオ上考慮しなくても良いと判断される事象

なお、ここで実施した「安全性への影響の可能性」、「理解の現状」、「相関の判定」は、原子力機構内部での検討により判断したものであり、今後の物理化学的事象の理解の進捗・工学技術の向上等により、知見が追加変更された場合には、それを受けたて作成されている判定も変更する必要がある。また、判定自体についても今後アンケート等を実施し、外部の研究者の判定を広く反映させていき、より精度の高い判定へと変更していくものである。

整備した「安全性への影響の可能性」、「理解の現状」及び「相関判定」は、全部で 238 項目であり、それらの結果の一覧については Appendix I に示す。

### 3.2.4 データベースのシステム化

前述までで示したとおり、地層処分の安全評価に用いるための様々なデータは、FEP データベースとして「FEP リスト」、「相関関係図」、「FEP シート」、「安全性への影響の可能性」といった項目別に整理されている。一方、より精度の高い検討やこれらのデータを参考として構築されるシナリオ構築にあたっては（5 章にて記述）、収集された知見に関する再検討が必須であるが、データが多量・多岐に渡っており、さらに相関関係も非常に複雑であるため、紙面における管理だけでは困難である。そのため、データの取り扱い性の向上も含めて、パーソナルコンピューターを使用したデータベースシステムを構築した。詳細については、Appendix II に示す。

#### 4. 専門家へのアンケート調査

上記の整備した FEP に関する情報を基に、HLW 地層処分の安全評価にあたり、放射性核種の地下水移行に関するシナリオ開発のため、FEP データベースを構築している。シナリオ開発は、「安全性への影響の可能性」とその相関に関する判定を基に進めており、こうした「安全性への影響の可能性」に対する専門家の意見を反映させることで、シナリオ開発に対する精度・信頼性を向上させ、客観性の向上を目指すことが可能になると判断し、放射性廃棄物処分の専門家を対象にアンケート調査を実施した。

##### 4.1 アンケート調査の方法

「安全性への影響の可能性」及び「相関の判定」の区分の検討は、原子力機構内で実施したものであり、様々な専門家による検討を行っているものの、内部による検討だけでは限界があり、それぞれの安全性への影響の可能性に対する検討の不足、相関の判定に対する判断ミスや、安全性への影響の可能性そのものの不足など、網羅性に関わる検討に不足が生じる可能性が存在する。また、現状集約された科学的な知見の情報に基づいたシナリオ作成の実施に当たっては、その分野の専門家の合意形成が重要であると考えられる。以上を受け、アンケートで検討を委託する項目を下記の3点を主体とした。今回のアンケート調査の結果は、FEP シートや安全性への影響の可能性、相関の判定へ反映させて精度向上を図り、シナリオ開発に反映させるものとした。アンケートで提示したデータは、FEP リスト、相関関係図、FEP シート、「安全性への影響の可能性項目」、「理解の現状」及び「相関の判定」である。このうち「相関の判定」(A～D) は、シナリオ構築にあたり重要な項目であり、この部分を中心としたアンケートとなった。Appendix Iにおいてアンケートの結果を示す。なお、アンケート調査の対象とした機関は、放射性廃棄物の地層処分に深く携わっている特殊法人、大学、民間の団体とし、所属する専門家に依頼した。

- ① 「安全性への影響の可能性」の追加の有無とその追加内容
- ② 「相関の判定 A～D」に関する意見、FEP シートの補足事項
- ③ その他 (FEP に関する全体的な指摘、アンケートに関する指摘)

##### 4.2 アンケートの調査結果

アンケート対象機関は、我が国の地層処分に関する特殊法人・大学・民間を対象とした。選定の内訳は、特殊法人等（14名）、大学（18名）、民間（19名）の合計51名である。このうち25名よりアンケートを回収した。25名の内訳は特殊法人（12名）、大学（8名）、民間（13名）である。

全体的なアンケート結果の要旨は下記のようにまとめられる。

- ・ アンケートの回収率は約50%
- ・ 各項目における回答内容はおおむね60%が無回答（専門外またはわからない）、約30%が合意、残り10%が改善事項のコメントとなっている
- ・ これらの傾向は、ガラス固化体・オーバーパック・緩衝材・母岩のそれぞれで同様な傾向にある
- ・ おおむね原子力機構内で行った判断と一致する結果となった。

上記のように、25人の専門家から、安全性への影響の可能性の判定223項目への回答結果を得た。しかし、これらの回答結果から大まかな傾向としては肯定的な意見が多いことは想定可能だが、よりアンケートにおける問題点をはつきりさせるためにヒストグラムを作成し、アンケートの回答について、肯定的主体であるのか、問題あるという意見が主体であるのかどうか、また全体的な回答の傾向はどうであるかといった傾向を確認した。グラフは縦軸にアンケートの回答の頻度、横軸のうち負の方向が肯定的見解、正の方向が問題あるという見解とした。つまり、安全性への影響の可能性について問題があるという傾向が多ければ、グラフは正の方向へ分布し、逆に肯定的見解が多ければグラフは全体に負の方向へ分布を示すこととなる。

作業に当たってはまず、アンケートの回答結果を大きく3つに区分した

- ・そのままでは問題が残るという見解
- ・肯定的見解
- ・回答無し

それぞれ問題有りの見解に+10、肯定的見解に-10、無回答に0という重みをつけた場合の、安全性への影響の可能性項目別に点数を集計した結果をFig.4.1に示す。これは安全性への影響の可能性の項目別に点数を集計し、回答の傾向を示したものである。回答の傾向値は、回答者全員の回答を点数化し集計したものであり、値が負である場合には肯定的な回答、正である場合には否定的な回答であることを示す。

頻度は可能性の判定の項目数を示す。なお、重み付けに使用した数字そのものについては、結果をわかりやすくしたものであり、特別な意味は持たない。

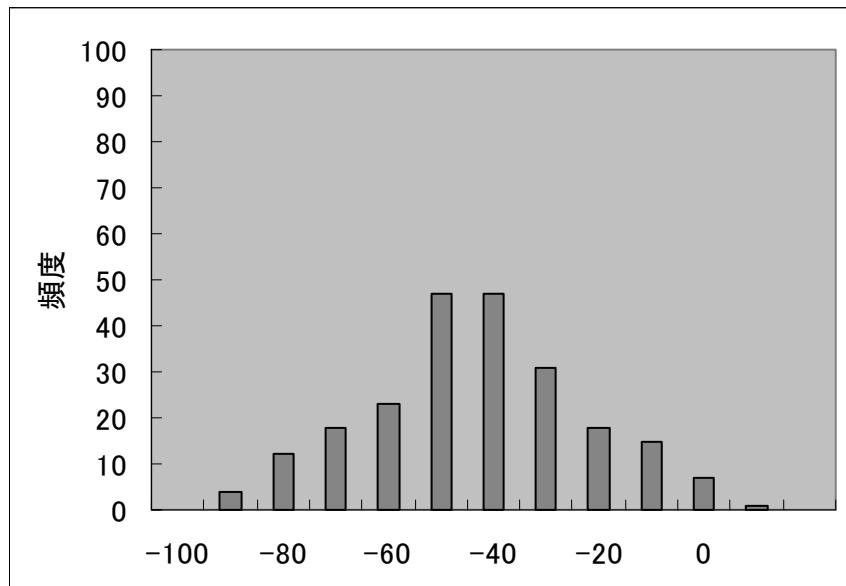


Fig. 4.1 アンケート回答の傾向値の頻度分布図1

上記の結果からは、肯定的な値である-40を中心とした正規分布を示す。この結果からは、解析

的にも肯定的な意見が主流であることが分かる。

次にアンケートによる指摘事項をうけて、実際に内容に関して一項目ずつ検討とそれをふまえた再判定を行った。複数のコメントを受けたものを特に重要視する形ではなく、コメントがあったものについてすべてもう一度検討を行って、A～D への再区分を実施した。その結果は下記のような形に取りまとめられる。

なお、判定に関する指摘以外に、TRU 併置処分との関係、緩衝材設置の不良等との関係（処分の工学技術と関連）などがあったが、今回は検討対象としていない。

アンケートによる指摘内容とその対応についてバリア材毎に取りまとめた。その結果の一覧を Table4.1～Table4.4 に示す。

Table 4.1 アンケート結果一覧（ガラス固化体）

	「安全性への影響の可能性（ガラス固化体、36 項目）」に関する主な指摘内容	対応と判定
熱	「早期破損時」と「1000 年以降破損時」の区分化 「崩壊熱による温度変化→ガラス結晶構造等の化学特性・力学特性」と「温度変化→ガラスに浸入した地下水水質」に関する「A→D 判定」、ガラス固化体の結晶化（失透）に関する現状理解の不足の指摘あり。	早期破損の区分化を実施。 左記の温度影響は文献情報による「D 判定」は十分ではないとして、現状は「A 判定」のままとした。
水理	「早期破損時」と「1000 年以降破損時」の区分化。	早期破損の区分化を実施した。
応力	ガラス固化体の応力がひび割れに与える影響の「A 判定」を「B 判定」との意見あり。	外力による割れ→幾何形状の変化によるガラスの溶解現象を連動させ、統一的に「B 判定」に変更した。
化学	「放射線分解→地下水組成の変化」の「D 判定」に対し、「早期破損時（A 判定）」と「1000 年以降破損時（D 判定）」の区分化。	早期破損の区分化により、A と D 判定を区別した。
放射線	化学における指摘と同じ。	化学における指摘と同じ。
物質移行	「ガラス固化体の幾何形状・間隙構造の変化→ガラスの溶解現象」の「B 判定」について、A, B, D の様々な判定意見あり。	外力による割れ→幾何形状の変化によるガラスの溶解現象を連動させ、統一的に「B 判定」とし変更なし。

Table 4.2 アンケート結果一覧（オーバーパック）

	「安全性への影響の可能性（オーバーパック 45 項目）」に関する主な指摘内容	対応と判定
熱	「崩壊熱による温度変化→オーバーパックの腐食生成物における化学特性及び力学特性値」について、ともに「D 判定」としていたが、化学特性について影響の可能性は現時点で排除できないとの意見「C 判定」。 「温度変化→溶解度、吸着、拡散」について、60℃ 程度では影響ないレベル「D 判定」。	専門家の意見に従い、現状の判断を「力学特性値は D 判定」、「化学特性値は C 判定」と変更した。 左記の温度影響は文献情報による「D 判定」は十分出来ないとして、現状は「A 判定」のままとした。
水理	「OP 破損後の OP 領域の幾何形状等の変化→核種漏洩量の変化」の天然バリアの低い地下水流動性を考えれば「D 判定」としていたが、こうした前提条件はあまり好ましくなく「C 判定」との意見。	専門家の意見に従い、「C 判定」と変更した。
応力	「OP の腐食膨張→緩衝材の応力状態の変化」（A 判定）は、有意な影響を及ぼすことはないという既往知見より「D 判定」の意見、また、この既往知見による判断の十分性に疑問の意見あり。	本件の影響の可能性は文献情報による「D 判定」は十分出来ないとして、現状は「A 判定」のままとした。
化学	「温度及び地下水化学の変化→不動態化、腐食形態	本現象だけ着目すれば「A 判定」であるが、処分環

	への影響、すきま腐食、応力腐食割れ等」に関するB判定を、「A判定」との指摘。	境の核種移行までにつながる一連の現象の中での判断をすることとしており、「B判定」のままとした。
放射線	「放射線分解→地下水組成の変化」の「D判定」に対し、「早期破損時（A判定）」と「1000年以降破損時（D判定）」の区分化。	早期破損の区分化により、AとD判定を区別した。
物質移行	放射線分解に関する判定の統一化。	「早期破損時（A判定）」と「1000年以降破損時（D判定）」の区分化で統一した。

Table 4.3 アンケート結果一覧（緩衝材）

	「安全性への影響の可能性（緩衝材、67項目）」に関する主な指摘内容	対応と判定
熱	「熱応力の変化→圧密、変形、流出」「D判定」に関して、間隙水粘性低下、透水係数及び一次圧密速度の増大、クリープ速度の増大の影響が考えられ、D判定への指摘あり。これに付随した関連事象についても同様。 「温度変化→変質現象への影響」で、100°C以下では有意な変質は起こらないとした既往の知見による「D判定」について、近年の知見よりD判定への指摘あり。	「圧密、変形、流出」の事象発生、及びそれに付随した一連の事象は、シナリオ不確かさがあるものとして、「B判定」に変更した。 緩衝材変質の温度影響は、「B判定」に変更した。
水理	「流出」「変質」に関する水理学的影響の判定が不統一との意見。	上記同様に、シナリオ不確かさがあるものとして、「B判定」とした。
応力	「岩盤クリープ、OP腐食膨張などの外圧→圧密、変形、流出、変質→幾何形状・間隙構造変化」に関する判定が不統一との意見。	上記同様に、シナリオ不確かさがあるものとして、「B判定」とした。
化学	「温度上昇→緩衝材中の塩の蓄積が地下水化学を変化」（早期：A判定、1000年以降：D判定）について、既往の解析のみで1000年以降を「D判定」して良いのかといった指摘あり、また、1000年以降の判定について「C判定」との意見あり。 「流出」「変質」に関する化学的影响の判定が不統一との意見。	本件の1000年以降の影響の可能性に関する判断については、まだ今後の検討の余地があるとし、「C判定」とする。 上記同様に、シナリオ不確かさがあるものとして、「B判定」とした。
放射線	「放射線分解→地下水組成の変化」の「D判定」に対し、「早期破損時（A判定）」と「1000年以降破損時（D判定）」の区分化。	早期破損の区分化により、AとD判定を区別した。
物質移行	ガス透気に伴う緩衝材中の繰り返し発生するパイピングが長期にわたり自己修復するかの問題、また、緩衝材の長期にわたるCa型化や高pHによる変質ベントナイト変質をともなうパイピングに対する自己修復についての懸念があり「C判定」との意見。	オリジナルの判定に記載ミスがあり「D判定となっていた。ガスについては、一連「C判定」との方針であり、「C判定」とした。

Table 4.4 アンケート結果一覧（母岩）

	「安全性への影響の可能性（母岩、81項目）」に関する主な指摘内容	対応と判定
熱	<p>「崩壊熱→掘削影響領域の温度上昇」の「A判定」に関して、熱発生の影響は「A判定」の指摘あり      「崩壊熱→掘削影響領域の温度上昇→変質・力学・地下水流动及びこれらをうける一連の間隙構造への影響」への「D判定」に関して、「C-A判定」の指摘。核種移行は条件により「A～D」の指摘。      「掘削影響領域の温度上昇→熱伝導による母岩領域の温度上昇」に関する「A判定」が「D判定」の指摘あり（不統一）一方 A または D でよいという意見もある。      「母岩領域の温度上昇→力学特性・地下水流动への影響」を「D判定」としているが、一部の実験から100°C以下の温度が力学特性に与える影響を小さいという判断は不適として「C～A」のいずれかの指摘。地下水流动への影響では、密度流やサーモハラインの影響が不明として「C判定」の指摘あり。</p>	<p>崩壊熱の掘削影響領域への伝播はあるため A 判定とする。崩壊熱による掘削影響領域の変質・力学・地下水流动、それに伴う間隙構造への一連の影響は具体的に長期的な影響も含めて D と判断できないため C とする。ただし、標準的な場合としては熱の影響が小さいとして D 判定とした。      崩壊熱がさらに母岩領域に伝播する影響はほとんどないため D 判定として、熱を起因とする力学特性・及びそれに伴う変質への影響事象を原則 D と判定とした。</p>
水理	<p>「掘削影響領域の飽和挙動→地下水化学を変化→O P の腐食形態に影響」とする「B判定」に関し、影響があるとし「A判定」の指摘。      「掘削影響領域の地下水流动の変化→移流による核種移行に影響」についての「D判定」を「A判定」の指摘。      「母岩領域の地下水流动が掘削影響領域の地下水流动により変化→核種移行への影響」についての「A判定」を、母岩領域・掘削影響領域の範囲を明確にすべき指摘。</p>	<p>掘削影響領域の飽和挙動が地下水化学を変化し、O P の腐食に影響する詳細は不明であることから「B判定」を継続した。      掘削影響領域の地下水流动の変化が核種移行に影響する「A判定」へ変更した。      母岩領域地下水流动及び核種移行が影響を受ける範囲を掘削影響領域周辺として記載した。</p>
応力	<p>「掘削影響領域の応力変化による変形→地下水流动に影響」する「A判定」に対し、D判定の指摘及び A でよいとする指摘の 2 つがある。またこれを起因とする掘削影響領域の核種移行への影響「A判定」を移流による場合と拡散による場合で区分すべき指摘。      崩壊熱が母岩領域の温度を上昇させ、母岩領域の力学特性を変化「D判定」を一部の実験結果から D とするのは問題との指摘（C～A が適当）。      母岩領域の力学特性、応力の変化により母岩領域の幾何形状が変化する「D判定」を掘削影響領域の亀裂進展の影響をうけるとし「C～A」と指摘。またそれらをうける地下水流动も同様の指摘。</p>	<p>掘削影響領域の応力変化による変形が地下水流动へ与える影響は排除できないため「A判定」のままとした。      掘削影響領域中の核種移行に関しては、拡散支配である状態や移流支配である状態が考えられるがここでは影響を限定せず「A判定」とした。      崩壊熱による母岩領域の温度上昇にともなう力学特性の変化は、掘削影響領域周辺に限定されるとし「D判定」のままとした。      母岩領域の温度上昇に伴う一連の影響は掘削影響領域周辺に限定されるとし、熱による力学特性変化は「D判定」その影響を受ける幾何形状や地下水流动への影響は範囲が限定的であるため「D判定」とした。</p>
化学	<p>「緩衝材やプラグの化学的影響→掘削影響領域の地下水化学を変化」に関する「B判定」を高 pH の影響を強くうけるとして「A判定」の指摘。      「地下水流动・化学特性・間隙構造の変化による地下水化学変化→掘削影響領域の変質に影響」に関する「B判定」に対し、事象の確実性から「A判定」を指摘。      「掘削影響領域の地下水化学の影響を受け、母岩領域の地下水化学が変化→さらに変質に影響」に関する「B判定」について、A判定の指摘。また、これらに連なる一連の幾何形状変化、物質移動、核種移行への判定の不統一を指摘。</p>	<p>掘削影響領域の地下水化学は高 pH の影響を受けるとし、「A判定」に変更した。</p> <p>地下水化学の変化が掘削影響領域の変質に影響すると考えられるが、一連の評価としては「B判定」を継続する。また、この変質による幾何形状変化、核種移行への影響についても「B判定」に変更した。      掘削影響領域の地下水化学が母岩領域の地下水化学に影響が広がる可能性はあるが領域等が不明確であるため「B判定」とする。また、母岩の変質への影響は不明であるため、「B判定」とする。またこれら変質のもたらす幾何形状変化、物質移動、核種移行への影響も「B判定」に統一した。</p>

放射線	「掘削影響領域を移行する核種→地下水の放射線分解の影響」に関する「D判定」に対し、判定の不統一及び $\alpha$ 核種による影響が無視出来ないとして「C判定」と指摘。母岩領域でも同様の指摘あり。	早期破損の区分化を行って、CないしD判定とする。掘削影響領域・母岩領域において、オーバーパック早期破損が生じ、 $\alpha$ 核種が大量に掘削影響領域に移行してきた場合、影響が無視出来ないとしてC判定とした。
物質移行	「幾何形状の変化・変質などにより掘削影響領域の地下水流の変化に影響された核種移行→母岩領域の核種移行へ影響」に関する「A判定」に対し、影響範囲は掘削影響領域周囲の母岩領域と指摘。 「母岩領域の化学的変化による物質移動→掘削影響領域及び緩衝材などの間隙構造へ影響」に関する「B, A判定」に対し、A判定の指摘。 「母岩領域におけるガスの押し出し→核種移行へ与える影響」に関して「B判定」と指摘。	掘削影響領域の地下水流動による母岩領域の核種移行への影響範囲は限られる可能性はあるが、「A判定」とした。  母岩領域の化学的変化による、掘削影響領域や緩衝材の間隙構造へ影響する可能性はあるが、現象に対する理解の現状が不十分なため「B判定」とした 現時点ではガスによる判定はCとした。

## 5. シナリオの作成

わが国における安全評価シナリオに関しては、総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会廃棄物安全小委員会が平成15年8月に「安全評価事項の構造」として体系化した<sup>(5)</sup>。それによれば、安全評価事項を、まず「処分システム領域への外乱の可能性を前提としないもの」と「処分システム領域への外乱の可能性を前提とするもの」に区分している。そのうち本研究では、処分システム領域への外乱の可能性を前提としないものを対象とし、処分システム領域への外乱の可能性を前提とするものは対象外とした。また、母岩の機能として、地質及び気候関連事象による処分場の機能への影響緩和が考えられるが、このような影響も考察対象外とした。なお、本研究において検討されたシナリオは、現状のFEPデータベースに収集した知見に基づいて行われたものであり、今後の研究の進捗により知見が増加するとともに安全性への影響の可能性が再検討された場合には、今後も継続して見直しが必要となる可能性がある。

### 5.1 シナリオ作成の流れ

今回のシナリオ検討では、上記の廃棄物安全小委員会による区分に沿って、地下水やガスなどを媒介として放射性物質が人間環境に運ばれることで放射線学的影響が生じる「地下水移行シナリオ」について検討を実施し、「地下水移行シナリオ」に含まれるシナリオとして「標準シナリオ」、「サブシナリオ」を構築した。

なお、ここでの「地下水移行シナリオ」とは、“将来の人間活動、地質及び気象関連事象の影響を受けず、現在の地質環境・地表環境が、将来まで継続することが前提”であり、人工バリア及び天然バリア中を地下水により核種が移行し、地表環境の生物圏に到達することを想定したシナリオとする。また「標準シナリオ」とは“システムの安全機能が期待通り発揮され、現在の地質環境、地表環境が将来まで継続するシナリオ”であり、設定した工学システム及び適切に選んだ地層が、劣化や変質を受けることがあったとしても、初期の機能を維持する場合を考える。一方、何らかの理由により地層処分システムの一部が破損し、その機能を期待できなくなる可能性が想定される。その場合のシナリオを「サブシナリオ」として構築した。

それぞれのシナリオは「安全性への影響の可能性」、「理解の現状」、「相関の判定」を基本として、そのうち相関の判定がA判定としている事象・特性・プロセスを、必ず生じると考えられる組み合わせとして、シナリオの中へ組み込んだ。また、B判定としている相関について、組み合わせることによりシナリオの分岐条件としてサブシナリオの構成要素とした。シナリオはそれぞれバリア材ごと、物理化学的事象ごとに整理するとともに、それらを統合したシナリオについても整理した。

### 5.2 前提条件の整理

対象とした現象は熱、水理学、力学、化学、放射線学、及び汚染物質の特性及び物質移動とした。なお、火山活動や隆起・沈降と言った地質環境に関連する事項は除外した（前提条件として処分システム領域が外乱事象の影響を受けない）。また地下環境では、相関関係図(Fig3.2)に示される“帶水層”までを考慮の範囲とした。

なお、処分システム領域とは、OECD/NEA<sup>(4)</sup>の国際FEPリストでは、①処分場の構成要素である廃棄体・人工バリア等、②処分場を取り囲む母岩等の地質環境、③人間の被ばくが発生する土壤、

地表水等の地表環境、④人間の被ばくに影響する食生活などの人間の振る舞い、とされている。本研究ではこの定義に従う。

処分サイトは、比較的健全な結晶質岩からなる母岩及び亀裂帯から構成される。処分場は地表から深度1,000m、地表面は一定の地形勾配とし、結晶質岩の上部に厚さ40mの堆積層を想定した。

人工バリアは、ガラス固化体、炭素鋼オーバーパック、及びベントナイト系緩衝材から構成され、プラグ／グラウトとして一般的なセメント系材料（普通ポルトランドセメント）が使用されるものとした。第2次取りまとめ 総論レポート<sup>(1)</sup>では、緩衝材の長期安定性の観点からプラグ／グラウトに対して低アルカリ性のセメントを用いるものとしているものの、実施主体である原子力発電環境整備機構（NUMO）において具体的な仕様は現状決められていないことから、本研究ではまず、知見及びデータとして豊富な普通ポルトランドセメントを対象とした。それ以外の人工バリアの設計仕様は第2次取りまとめ 総論レポート<sup>(1)</sup>の仕様と同一である。その他の主な処分環境条件は以下のように設定した。

人工バリア材/天然バリアに関する想定した仕様及び処分環境条件は以下の通り。

- ・ガラス固化体：ホウケイ酸ガラス（ステンレス製容器収納）
- ・オーバーパック：炭素鋼（單一材）
- ・緩衝材：ケイ砂混合ベントナイト材
- ・プラグ、グラウト、支保工等（以下プラグ等と言う）：プラグはコンクリート製及び粘土ブロック製、グラウトは亀裂帶止水の為の粘土グラウト等、支保工は覆工コンクリート、裏込めモルタル、インバートコンクリート、吹付けコンクリート、ロックボルト等
- ・掘削影響領域：処分坑道（処分孔）等の築造に伴い影響（掘削損傷、不飽和、応力再配分の各領域）を受けた母岩
- ・断層帯を含む母岩：硬岩系岩盤（亀裂性、結晶質岩）軟岩系岩盤（不均質性、堆積岩）

### 5.3 シナリオの分類

FEPデータベースに収集・整理された知見を用いたシナリオの整備にあたっては、様々な手法が考えられる。相関関係図から、FEPとFEPの結びつきについて、網羅的に抽出可能であるものをすべて抽出するといった手法や、相関関係をマトリクスで整理し、それらからシナリオ構築を実施するといった手法が試みられている。いずれの手法に置いても安全評価の上で検討範囲が十分に網羅的であること、シナリオに対する透明性及び追跡性が確保されていることといった点が重要と考えられる。

今回の研究では、シナリオの組み立て方として、「安全性への影響の可能性」、「理解の現状」及び「相関の判定」を用いて、事象の発生の有無と核種移行への影響という観点に着目して、A判定の内容を起因事象及びそれらによって引き起こされる特性・事象・プロセスに係る変化としてグルーピングを行い、バリア材を構成する要素ごとに取りまとめてシナリオとした。また、「相関の判定」でBと区分された特性・事象・プロセスについても同様にグルーピングした。ただし、個々の「安全性への影響の可能性」は、個別のモデル解析や特性をあらわすデータ分析などの検討結果を受けて詳細にシナリオ化されるものであり、現状の熱、水理、応力、化学、放射線、物質移行に対する各シナリオの記述は、必ずしも全ての「安全性への影響の可能性」を示したものでない。

A判定とB判定のグルーピングにより、地下水移行シナリオを2分化し、1つはシステムの安全

機能が期待どおり発揮され、現在の地質環境・地表環境が、将来まで継続するとした標準シナリオ、もう1つは、現在の地質環境・地表環境が、将来まで継続するが、人工バリアの漸進的な変化によって発生する影響を受けたサブシナリオとした。ここで示す人工バリアの漸進的な変化とは、FEPを用いた知見から安全性評価に大きく影響すると考えられるが、その影響が発生するかどうか、現時点で判断することが出来ないために、安全性への影響の有無が判断出来ない不確実性から生じるものである。これらサブシナリオは、人工バリア部材、天然バリアの知見レベルでの不確実性により標準シナリオを基準として作成した。以下にそれぞれの詳細を示す。

### 5.3.1 標準シナリオ

標準シナリオは、現在の地質環境及び地表環境が将来まで継続する場合における評価シナリオである。「現象間における相関/影響が現状知見によって判断できるかどうか」という点に着目し、安全性への影響の可能性の相関の判定のうち、Aに該当する内容について、現象間の関係を起因事象・特性とそれを受けける特性・事象・プロセスとして抽出し、グルーピングにより物理化学的事象ごとに取りまとめ、核種移行に関する処分システムの変遷を記述したものである。なお、想定される主な特性・事象・プロセスは下記のようにまとめられる。

- ・ ガラス固化体中の放射性核種の崩壊熱による温度分布及び温度変化、
- ・ 緩衝材による低透水性領域の形成、
- ・ オーバーパックの全面腐食、
- ・ 処分場閉鎖後1,000年以降における地下水とガラス固化体の接触、
- ・ 長期的なガラス溶解速度に従うガラス溶解、
- ・ ガラス固化体からの放射性核種の調和溶解及び地下水への溶解度律速溶解
- ・ 核種移行の媒体である人工バリア及び天然バリアは地下水で飽和、
- ・ 母岩中の亀裂中の地下水流動に支配された核種移行、
- ・ 核種移行中の崩壊連鎖、
- ・ 緩衝材中での収着・拡散、
- ・ 母岩の亀裂内の移流・分散、
- ・ 母岩マトリクス内への拡散及び鉱物への収着

その詳細について Table5.1 に一覧として示す。

Table.5.1 標準シナリオ

※緩衝材は変質しない、オーバーパックは全面腐食で1000年保持

現象要素	内 容
熱	ガラス固化体内で発生する崩壊熱により、廃棄体埋設後、人工バリア材とその周辺の母岩の温度は上昇する。廃棄体の設置間隔などの設計対応により、ガラス固化体中心の温度は120°Cを最高（埋設後数十年程度）として、オーバーパックの表面及び緩衝材内部・外部は100°Cを越えることはない。人工バリア材周辺の母岩では最高80°C程度となる。その後、時間とともに各バリア材の温度は緩やかに下降し、オーバーパックの寿命と想定した1,000年後には60°C程度になる。その後さらに温度は下降し岩盤の地温である45°C程度に漸近する。
水理	処分施設閉鎖後、掘削影響領域に形成されていた不飽和領域は、その周辺岩盤からの浸水の進行に伴い徐々に飽和する。また、掘削影響領域から緩衝材へ地下水が浸入し、緩衝材も徐々に飽和する。さらに、緩衝材と埋め戻し材は地下水の浸潤に伴って膨潤し、緩衝材や埋め戻し材自身のすきま、掘削影響領域の亀裂、オーバーパックとのすきまなどを充填する。緩衝材の膨潤に伴い緩衝材は低透水性の状態となり、緩衝材中の物質移行は拡散支配となる。 全面腐食によりオーバーパックの封じ込め性が喪失した後も、長期的に緩衝材は健全性を維持し、緩衝材内側の構成要素では地下水の移動は制限され、核種を含めた溶存成分は拡散律速にしたがって母岩へ移行する。やがて母岩に達した核種は母岩中の地下水流动系に従って、亀裂中を移行する。なお、再飽和の以降の母岩における地下水流动系に関する長期的な変化は小さいものと仮定する。
力学	廃棄体埋設後、緩衝材にはオーバーパック自重による圧密加重が作用する。また、母岩のクリープ変形、地下水の飽和後は緩衝材や埋め戻し材の膨潤に伴う応力、岩盤の地圧により、人工バリア内の応力の再分配が起こる。ただし、緩衝材中に定置された廃棄体は、応力の再分配が生じた以降もその位置は変化しない。 オーバーパックでは、全面腐食の進行に伴い腐食生成物が形成されオーバーパックの健全部分の厚さが減少し、やがて地下水圧、緩衝材の膨潤圧などの周囲からの応力に対する耐圧厚さを下回りオーバーパックは破損する。ガラス固化体は、製造時の冷却による割れが生じるものとする。 オーバーパック破損後、ガラスマトリックスの溶解、オーバーパックの腐食進展、緩衝材や埋め戻し材の変質などが進行し、各材料の力学特性や応力状態が変化するものの、こうした人工バリア材の変遷に伴う力学的変化が核種移行に及ぼす影響は小さいと仮定する。また、母岩における応力は、埋設処分時の初期の地圧から変化しない。
化学	緩衝材の間隙水は、ベントナイトの主成分であるスマクタイトのイオン交換反応や結晶端の表面水酸基による酸塩基解離反応、随伴鉱物や可溶性不純物（塩化物、硫酸塩）の溶解などによって、中性から弱アルカリ性となる。緩衝材中の黄鉄鉱やオーバーパックの腐食などの酸化/還元反応によって、操業期間中に持ち込まれた緩衝材間隙中の酸素は消費され、緩衝材の間隙水は酸化性から還元性となる。緩衝材は、間隙水との構成鉱物との化学反応により徐々に変質・劣化が進行するものの、核種移行に対する緩衝材の所定の機能は維持されるものとする。 また、オーバーパックでは酸素還元型から水還元型の全面腐食が進行し、間隙水と接触した金属の表面から腐食生成物が形成され、1000年以降にオーバーパックの核種封じ込め性を喪失する。オーバーパックの封じ込め性が喪失後、間隙水との接触でガラス固化体のマトリクスであるSiO <sub>2</sub> は拡散によりゆっくりと溶解する。ガラスマトリクスの溶解はケイ酸の脱離によって律速され、また、人工バリア内の拡散による物質移行に依存して溶存ケイ酸濃度が飽和に近づき、長期的なガラス溶解速度は低下する。長期的なガラス溶解速度に従ってガラスマトリクスは溶解・変質が進行し、核種はガラス固化体中の核種存在比に応じてガラスから溶解する。また、標準シナリオでは処分場構成材料との化学反応の影響を受けた人工バリア内の間隙水は、その周辺の母岩の水質や2次鉱物の生成などの母岩の化学特性に影響を与えないものと仮定し、埋設処分時の母岩の化学特性に変化がないとする。
放射線	放射性廃棄物の核種崩壊に伴いガラス固化体から $\alpha$ 線、 $\gamma$ 線が放出される。オーバーパックの閉じ込め性が維持されている期間には、 $\gamma$ 線による地下水の放射線分解の影響が生じる。その際過酸化水素などの酸化剤が生じるが、オーバーパックの腐食生成物や緩衝材中の黄鉄鉱など、人工バリア中の還元物質によりほとんど影響ない。1000年以降のオーバーパック封じ込め性の喪失後、放射能量は埋設時に比べて1/1000まで減衰する。放射線による直接の影響は、設計においても影響を低減するように設計され、人工バリア及び天然バリアに対してほとんど無い。
物質移動	廃棄体埋設後、人工バリア、天然バリア領域は地下水の浸潤により飽和する。緩衝材の膨潤に伴い緩衝材は低透水性の状態となり、緩衝材中の物質移行は拡散支配となる。 オーバーパック封じ込め性の喪失後、ガラス固化体に間隙水が接触すると、ガラスマトリクスが溶解及び変質し、調和溶解にて核種がガラスから溶解する。還元条件において放射性核種の多くは難溶性であるため、ガラス溶解により溶出した元素の濃度が溶解度を越えると沈殿する。核種は放射性崩壊及び溶解/沈殿をしながらオーバーパック及び緩衝材領域を拡散により移行する。移行の際、オーバーパックの腐食生成物に収着する可能性はあるものの、保守的にその現象は考慮しない。緩衝材のバリア機能を失うような変質・劣化の現象が生じないと、緩衝材中の核種は拡散律速により移行する。その際、核種は緩衝材に収着し遅延する。 母岩に達した核種は亀裂中を移流・分散にて移行する。母岩における核種移行経路を多孔質媒体で近似した場合には粒子間の微細な亀裂間を移流・分散にて移行する。その際多孔質媒体を構成する鉱物粒子表面へ核種が収着する。また、母岩における核種移行経路を亀裂性媒体で近似した場合には、核種は地下水の流れが支配する亀裂内を移流・分散にて移行する。その場合には、核種の一部が亀裂に接する基質部へ拡散にて移行（マトリクス拡散）し、基質内の鉱物表面へ収着する。

### 5.3.2 サブシナリオ

サブシナリオの作成では、「現象間における相関/影響が現状知見によって判断できるかどうか」の判定について、B判定（一連の事象が発生するかどうか不明確であるものの、安全機能の観点か

らシナリオ上考慮すべきと判断される事象)とされた項目を抽出し、各バリア材での安全機能に影響を与える現象としてシナリオを記述した。なお、サブシナリオ同士が複合して生じる影響については本研究での対象としていない。抽出されたB判定をバリア材ごとに取りまとめるTable 5.2のように示される。構成要素それぞれのサブシナリオの詳細はTable 5.3~Table 5.9に示す。

Table 5.2 構成要素毎のサブシナリオ

構成要素	サブシナリオ
ガラス固化体	ガラス固化体表面積変化シナリオ
	ガラス溶解機構変化シナリオ
オーバーパック	オーバーパック早期破損シナリオ (全面腐食)
	オーバーパック早期破損シナリオ (局部腐食)
	オーバーパック早期破損シナリオ (応力腐食割れ)
緩衝材	緩衝材変質シナリオ
母岩	構成鉱物変質シナリオ

Table 5.3 サブシナリオ (ガラス固化体: ガラス表面積変化シナリオ)

※ガラス固化体の表面積が変化する場合の、ガラス固化体での現象を記載したシナリオ

現象要素	標準シナリオ	サブシナリオ
熱	ガラス固化体内で発生する崩壊熱により、廃棄体埋設後、人工バリア材とその周辺の母岩の温度は上昇する。設置間隔などの設計対応により、ガラス固化体中心の温度は 120°C を最大 (埋設後數十年程度) として想定される。その後、時間とともに各バリア材の温度は緩やかに下降し、オーバーパックの寿命と想定した 1,000 年後には 60°C 程度になる。その後さらに温度は下降し岩盤の地温である 45°C 程度に漸近する。	標準シナリオと同じ。
水理	閉じ込め性喪失以前は、ガラス固化体領域へ地下水は流入しない。閉じ込め性喪失以降、地下水はガラス固化体とオーバーパック間の空隙に流入し、ガラス固化体と接触する。緩衝材は健全なため、拡散場が想定される。	標準シナリオと同じ。
力学	ガラス固化体製造時の熱変動に伴う内部応力、固化体のハンドリング過程等によって、固化体内部にひび割れを生じさせる。	(追加) さらに、処分孔の掘削に起因する周辺岩盤のクリープ現象、処分場の再冠水に伴う地下水圧力やベントナイト緩衝材の膨潤圧、オーバーパックの腐食膨張、等の外部応力により、固化体内部のひび割れは増大する。
化学	閉じ込め性喪失以前は、ガラス固化体の化学的変化は小さい。閉じ込め性喪失以降、地下水との接触によりガラスマトリクスである SiO <sub>2</sub> は拡散によりゆっくりと溶解する。拡散場のため、溶存ケイ酸の散逸は遅く、ガラス固化体近傍の溶存ケイ酸濃度は増加する。人工バリア内の拡散による物質移行に依存して溶存ケイ酸濃度が飽和に近づき、長期的なガラス溶解速度は低下する。ガラスマトリクス中への水分子の拡散によって、水素イオンとアルカリ金属元素のイオン交換反応が起こり、可溶性元素は浸出する。難溶性元素は溶解度を超えるとガラス表面に二次鉱物として析出される。	標準シナリオと同じ。
放射線	$\alpha$ 線によるガラス固化体の損傷の影響は小さく、透過 $\gamma$	標準シナリオと同じ。

	線による地下水の放射線分解の影響は、人工バリア中の還元物質の存在によって緩衝される。閉じ込め性が喪失する1,000年以降では、放射能量は埋設時に比べて1000分の1のオーダーまで減衰する。	
物質移動	閉じ込め性が喪失し地下水と接触した後、ガラスマトリクスの溶解反応が支配的となる。その後、ガラスマトリクスの溶解が低下し、化学親和力が減少する。化学親和力の減少とともに、可溶性元素の浸出が卓越し、溶存ケイ酸濃度が飽和に近づくと、可溶性元素の浸出が支配的となる。この段階では元素によって規格化浸出量は異なっており、可溶性元素は選択的に溶解し、難溶性元素は各固相形態の溶解度を超えると沈殿し、ガラス表面に二次鉱物などを析出する。	(追加) 外部応力によって固化体内部のひび割れが増大すると、幾何学的表面積が増加する。このうち、ガラス溶解に寄与する有効反応表面積に地下水が浸入すると、ガラスの溶解量は増加する。

Table 5.4 サブシナリオ（ガラス固化体：ガラス溶解機構変化シナリオ）

※ガラス固化体の溶解機構が変化する場合の、ガラス固化体での現象を記載したシナリオ

現象要素	標準シナリオ	サブシナリオ
熱	ガラス固化体内で発生する崩壊熱により、廃棄体埋設後、人工バリア材とその周辺の母岩の温度は上昇する。設置間隔などの設計対応により、ガラス固化体中心の温度は120°Cを最大（埋設後数十年程度）として想定される。その後、時間とともに各バリア材の温度は緩やかに下降し、オーバーパックの寿命と想定した1,000年後には60°C程度になる。その後さらに温度は下降し岩盤の地温である45°C程度に漸近する。	標準シナリオと同じ。
水理	閉じ込め性喪失以前は、ガラス固化体領域へ地下水は流入しない。閉じ込め性喪失以後、地下水はガラス固化体とオーバーパック間の空隙に流入し、ガラス固化体と接触する。緩衝材は健全なため、拡散場が想定される。	標準シナリオと同じ。
力学	ガラス固化体製造時の熱変動に伴う内部応力、固化体のハンドリング過程等によって、固化体内部にひび割れを生じさせる。	標準シナリオと同じ。
化学	閉じ込め性喪失以前は、ガラス固化体の化学的変化は小さい。閉じ込め性喪失以後、地下水との接触によりガラスマトリクスであるSiO <sub>2</sub> は拡散によりゆっくりと溶解する。拡散場のため、溶存ケイ酸の散逸は遅く、ガラス固化体近傍の溶存ケイ酸濃度は増加する。人工バリア内の拡散による物質移行に依存して溶存ケイ酸濃度が飽和に近づき、長期的なガラス溶解速度は低下する。ガラスマトリクス中への水分子の拡散によって、水素イオンとアルカリ金属元素のイオン交換反応が起こり、可溶性元素は浸出する。難溶性元素は溶解度を超えるとガラス表面に二次鉱物として析出される。	(追加) 沸石などケイ酸を取り込む二次鉱物が生成された場合、溶存ケイ酸消費により化学親和力が増大し、ガラス溶解機構が変化する可能性が考えられる。
放射線	α線によるガラス固化体の損傷の影響は小さく、透過γ線による地下水の放射線分解の影響は、人工バリア中の還元物質の存在によって緩衝される。閉じ込め性が喪失する1,000年以降では、放射能量は埋設時に比べて1000分の1のオーダーまで減衰する。	標準シナリオと同じ。
物質移動	閉じ込め性が喪失し地下水と接触した後、ガラスマトリクスの溶解反応が支配的となる。その後、ガラスマトリクスの溶解が低下し、化学親和力が減少する。化学親和力の減少とともに、可溶性元素の浸出が卓越し、溶存ケイ酸濃度が飽和に近づくと、可溶性元素の浸出が支配的となる。この段階では元素によって規格化浸出量は異なっており、可溶性元素は選択的に溶解し、難溶性元素は各固相形態の溶解度を超えると沈殿し、ガラス表面に二次鉱物などを析出する。	(追加) 沸石などケイ酸を取り込む二次鉱物がガラス変質層に生成された場合、溶存ケイ酸消費により化学親和力が増大し、ガラスマトリクスの溶解反応が促進され、ガラス溶解速度が増大する可能性が考えられる。その場合、核種は調和的に溶解し、沈殿／溶解の現象を伴い拡散または移流支配でガラス固化体から溶出する。難溶性のアクチニド核種等は、各核種濃度の溶解度を越えた場合、沈殿固相を形成する。

Table 5.5 サブシナリオ（オーバーパック：早期破損シナリオ-全面腐食）

※オーバーパックが破損した場合の、オーバーパックでの影響

現象要素	標準シナリオ	サブシナリオ
熱	ガラス固化体中における放射性核種の崩壊熱の影響により、廃棄体の埋設後のオーバーパック及びその周辺の温度は上昇する。廃棄体間隔等の設計による対応でオーバーパック外表面の温度は 100°Cを超えない。その後、時間とともに各バリア材の温度は緩やかに下降し、オーバーパックの寿命と想定した 1,000 年後には 60°C程度になる。その後さらに温度は下降し岩盤の地温である 45°C程度に漸近する。	標準シナリオと同じ
水理	緩衝材の止水性によりオーバーパック領域は低透水性の状態となる。全面腐食の進行によるオーバーパックの腐食膨張、緩衝材の圧密に起因してオーバーパック領域の幾何形状・間隙構造が変化する。これによりオーバーパック領域の水理特性が変化する。オーバーパック破損後も、オーバーパック領域は低透水性の状態を維持する。	標準シナリオと同じ
力学	廃棄体埋設後、緩衝材にはオーバーパックの自重による圧密加重が作用する。また、全面腐食の進行により生成される腐食生成物の影響でオーバーパック領域は腐食膨張し、腐食膨張圧に伴う緩衝材圧密反力が作用する。全面腐食の進行に伴い次第にオーバーパックの厚さが減少し、周囲から受ける地下水圧、緩衝材膨潤圧、岩盤のクリープ変位、腐食膨張圧等の周囲からの応力に対する耐圧厚さを下回りオーバーパックは破損し、閉じ込め性が喪失する。	標準シナリオと同じ
化学	廃棄体安置後において、緩衝材間隙地下水中の pH はオーバーパックの脱不動態化 pH を下回り、炭素鋼は不動態化せず全面腐食の形態となる。酸化性雰囲気では、地下水中の溶存酸素が還元される反応をカソード反応とした全面腐食、溶存酸素が消費され Eh が低下する。水質が還元性雰囲気への移行後は間隙地下水が還元される反応をカソード反応とした全面腐食が進行する。全面腐食の進展に伴い腐食生成物がオーバーパック表面に堆積し、表面への地下水の供給が制限され腐食速度が抑制される。核種閉じ込め性喪失後に間隙地下水とガラス固化体とが接触して地下水中に溶解し、拡散により間隙地下水中を移行する。間隙地下水中の Eh の変化は放射性核種の溶解度等へ影響を及ぼす。破損後も全面腐食は進行し最終的には 1,000 年以降に炭素鋼全量が腐食生成物へ変化する。	(変更) 斜体部分を変更 還元性雰囲気への移行後において、炭素鋼の腐食生成物であるマグネタイトの還元反応等によりカソード電流密度が増大し、炭素鋼の腐食速度が増大する可能性がある。この影響により早期にオーバーパックの核種閉じ込め性が喪失する。
放射線	ガラス固化体中の放射性核種から放出される放射線により、オーバーパック外側における間隙地下水の放射線分解が起こり過酸化水素等の酸化剤が生じ、間隙地下水の Eh が上昇する。しかし、オーバーパックとその腐食生成物、緩衝材中の黄鉄鉱、地下水中の還元物質等との反応によりオーバーパック領域の還元環境は保持される。	(変更) 斜体部分を変更 早期にオーバーパックの核種閉じ込め性が喪失し、間隙地下水と接触する。その後にガラス固化体から溶出した放射性物質から放出される放射線による地下水の放射線分解が起こり、酸素、過酸化水素等の酸化剤が生じ、それに伴い Eh が上昇する。この影響により溶出した放射性物質の地下水への溶解度に影響を及ぼす。また、早期の閉じ込め性喪失により短半減期核種からの放射線の強度が高いために、緩衝材の放射線損傷の可能性も考えられる。
物質移動	全面腐食の進行に伴いオーバーパックは腐食膨張し、オーバーパック領域の幾何形状・間隙構造が変化するに伴い、オーバーパック領域の水理特性が変化する。オーバーパックの核種閉じ込め性が喪失し、間隙地下水とガラス固化体とが接触して放射性核種が溶出する。移行の際、オーバーパックの腐食生成物に収着する可能性はあるものの、保守的にその現象は考慮しない。溶出した放射性核種は、拡散により移行する。	(追加) 早期破損の場合には、オーバーパック周囲の温度が高く、物質移動特性が変化する可能性がある。

Table 5.6 サブシナリオ（オーバーパック：早期破損シナリオ-局部腐食）

※オーバーパックの腐食生成物による、オーバーパックでの影響

現象要素	標準シナリオ	サブシナリオ
熱	ガラス固化体中における放射性核種の崩壊熱の影響により、廃棄体の埋設後のオーバーパック及びその周辺の温度は上昇する。廃棄体間隔等の設計による対応でオーバーパック外表面の温度は 100°Cを超えない。その後、時間とともに各バリア材の温度は緩やかに下降し、オーバーパックの寿命と想定した 1,000 年後には 60°C程度になる。その後さらに温度は下降し岩盤の地温である 45°C 程度に漸近する。	標準シナリオと同じ
水理	緩衝材の止水性によりオーバーパック領域は低透水性の状態となる。全面腐食の進行によるオーバーパックの腐食膨張、緩衝材の圧密に起因してオーバーパック領域の幾何形状・間隙構造が変化する。これによりオーバーパック領域の水理特性が変化する。オーバーパック破損後も、オーバーパック領域は低透水性の状態を維持する。	標準シナリオと同じ
力学	廃棄体埋設後、緩衝材にはオーバーパックの自重による圧密加重が作用する。また、全面腐食の進行により生成される腐食生成物の影響でオーバーパック領域は腐食膨張し、腐食膨張圧に伴う緩衝材圧密反力が作用する。全面腐食の進行に伴い次第にオーバーパックの厚さが減少し、周囲から受ける地下水圧、緩衝材膨潤圧、岩盤のクリープ変位、腐食膨張圧等の周囲からの応力に対する耐圧厚さを下回りオーバーパックは破損し、閉じ込め性が喪失する。	標準シナリオと同じ
化学	廃棄体定置後において、緩衝材間隙地下水中の pH はオーバーパックの脱不動態化 pH を下回り、炭素鋼は不動態化せず全面腐食の形態となる。酸化性雰囲気では、地下水中の溶存酸素が還元される反応をカソード反応とした全面腐食、溶存酸素が消費され Eh が低下する。水質が還元性雰囲気への移行後は間隙地下水が還元される反応をカソード反応とした全面腐食が進行する。全面腐食の進展に伴い腐食生成物がオーバーパック表面に堆積し、表面への地下水の供給が制限され腐食速度が抑制される。核種閉じ込め性喪失後に間隙地下水とガラス固化体とが接触して地下水中に溶解し、拡散により間隙地下水を移行する。間隙地下水中の Eh の変化は放射性核種の溶解度等へ影響を及ぼす。破損後も全面腐食は進行し最終的には 1,000 年以降に炭素鋼全量が腐食生成物へ変化する。	(変更) 斜体部分を変更 廃棄体定置直後の酸化性雰囲気において、緩衝材の間隙地下水 pH が脱不動態化 pH を上回り炭素鋼は不動態化する。炭素鋼が不動態化した場合には、局部腐食が発生、進展する可能性がある。酸素が消費され還元性雰囲気に水質が変化した場合は脱不動態化し全面腐食が進行する。局部腐食の進展速度は全面腐食速度と比較して極めて速くなる可能性があり、脱不動態化して全面腐食に移行したとしても早期に最大腐食深さがオーバーパック耐圧厚さに到達し、オーバーパックの核種閉じ込め性が喪失する。
放射線	ガラス固化体中の放射性核種から放出される放射線により、オーバーパック外側における間隙地下水の放射線分解が起こり過酸化水素等の酸化剤が生じ、間隙地下水の Eh が上昇する。しかし、オーバーパックとその腐食生成物、緩衝材中の黄鉄鉱、地下水中の還元物質等との反応によりオーバーパック領域の還元環境は保持される。	(変更) 斜体部分を変更 局部腐食進展の影響により早期にオーバーパックの核種閉じ込め性が喪失し、間隙地下水と接触する。その後にガラス固化体から溶出した放射性物質から放出される放射線による地下水の放射線分解が起こり、酸素、過酸化水素等の酸化剤が生じ、それに伴い Eh が上昇する。この影響により溶出した放射性物質の地下水への溶解度に影響を及ぼす。また、早期の閉じ込め性喪失により短半減期核種からの放射線の強度が高いために、緩衝材の放射線損傷の可能性がある。
物質移動	全面腐食の進行に伴いオーバーパックは腐食膨張し、オーバーパック領域の幾何形状・間隙構造が変化するに伴い、オーバーパック領域の水理特性が変化する。オーバーパックの核種閉じ込め性が喪失し、間隙地下水とガラス固化体とが接触して放射性核種が溶出する。移行の際、オーバーパックの腐食生成物に吸着する可能性はあるものの、保守的にその現象は考慮しない。溶出した放射性核種は、拡散により移行する。	(変更) 斜体部分を変更 局部腐食進展の影響により早期にオーバーパックの核種閉じ込め性が喪失し、間隙地下水とガラス固化体とが接触して放射性核種が溶出する。オーバーパック周囲の温度が高く、物質移動特性が変化する可能性がある。溶出した放射性核種は、移流-拡散により地下水中を移行する。また、移行の際オーバーパックの腐食生成物は放射性核種を吸着し、核種移行を抑制する。ただし、保守的にその現象は考慮しないものとする。

Table 5.7 サブシナリオ（オーバーパック：早期破損シナリオ-応力腐食割れ）

※オーバーパックの腐食生成物による、オーバーパックでの影響

現象要素	標準シナリオ	サブシナリオ
熱	ガラス固化体中における放射性核種の崩壊熱の影響により、廃棄体の埋設後のオーバーパック及びその周辺の温度は上昇する。廃棄体間隔等の設計による対応でオーバーパック外表面の温度は 100°C を超えない。その後、時間とともに各バリア材の温度は緩やかに下降し、オーバーパックの寿命と想定した 1,000 年後には 60°C 程度になる。その後さらに温度は下降し岩盤の地温である 45°C 程度に漸近する。	標準シナリオと同じ
水理	緩衝材の止水性によりオーバーパック領域は低透水性の状態となる。全面腐食の進行によるオーバーパックの腐食膨張、緩衝材の圧密に起因してオーバーパック領域の幾何形状・間隙構造が変化する。これによりオーバーパック領域の水理特性が変化する。オーバーパック破損後も、オーバーパック領域は低透水性の状態を維持する。	標準シナリオと同じ
力学	廃棄体埋設後、緩衝材にはオーバーパックの自重による圧密加重が作用する。また、全面腐食の進行により生成される腐食生成物の影響でオーバーパック領域は腐食膨張し、腐食膨張圧に伴う緩衝材圧密反力が作用する。全面腐食の進行に伴い次第にオーバーパックの厚さが減少し、周囲から受ける地下水圧、緩衝材膨潤圧、岩盤のクリープ変位、腐食膨張圧等の周囲からの応力に対する耐圧厚さを下回りオーバーパックは破損し、閉じ込め性が喪失する。	(変更) 斜体部分を変更 廃棄体定置直後の酸化性雰囲気において、間隙地下水中に含まれる炭酸イオン／炭酸水素イオンが高濃度となった場合に、オーバーパックの製造、運搬あるいは廃棄体定置時の際に発生する欠陥部における引っ張り応力、または溶接部の残留応力の影響により炭酸塩応力腐食割れが発生、応力腐食割れによるき裂が進展する。このき裂進展速度は極めて速くなる可能性があり、この影響により早期にオーバーパックの核種閉じ込め性が喪失する。
化学	廃棄体定置後において、緩衝材間隙地下水中の pH はオーバーパックの脱不動態化 pH を下回り、炭素鋼は不動態化せず全面腐食の形態となる。酸化性雰囲気では、地下水中の溶存酸素が還元される反応をカソード反応とした全面腐食、溶存酸素が消費され Eh が低下する。水質が還元性雰囲気への移行後は間隙地下水が還元される反応をカソード反応とした全面腐食が進行する。全面腐食の進展に伴い腐食生成物がオーバーパック表面に堆積し、表面への地下水の供給が制限され腐食速度が抑制される。核種閉じ込め性喪失後に間隙地下水とガラス固化体とが接触して地下水中に溶解し、拡散により間隙地下水中を移行する。間隙地下水中の Eh の変化は放射性核種の溶解度等へ影響を及ぼす。破損後も全面腐食は進行し最終的には 1,000 年以降に炭素鋼全量が腐食生成物へ変化する。	(変更) 斜体部分を変更 廃棄体定置直後の酸化性雰囲気において、間隙地下水中の炭酸イオン／炭酸水素イオンが高濃度となった場合に、溶接部の残留応力等の引っ張り応力の影響により、炭酸塩応力腐食割れが発生、進展する可能性がある。この炭酸塩応力腐食割れ進展の影響により早期にオーバーパックの核種閉じ込め性が喪失する。
放射線	ガラス固化体中の放射性核種から放出される放射線により、オーバーパック外側における間隙地下水の放射線分解が起こり過酸化水素等の酸化剤が生じ、間隙地下水の Eh が上昇する。しかし、オーバーパックとその腐食生成物、緩衝材中の黄鉄鉱、地下水中の還元物質等との反応によりオーバーパック領域の還元環境は保持される。	(変更) 斜体部分を変更 炭酸塩応力腐食割れの影響により早期にオーバーパックの核種閉じ込め性が喪失し、間隙地下水と接触する。その後にガラス固化体から溶出した放射性物質から放出される放射線による地下水の放射線分解が起こり、酸素、過酸化水素等の酸化剤が生じ、それに伴い Eh が上昇する。この影響により溶出した放射性物質の地下水への溶解度に影響を及ぼす。また、早期の閉じ込め性喪失により短半減期核種からの放射線の強度が高いために、緩衝材の放射線損傷の可能性がある。
物質移動	全面腐食の進行に伴いオーバーパックは腐食膨張し、オーバーパック領域の幾何形状・間隙構造が変化するに伴い、オーバーパック領域の水理特性が変化する。オーバーパックの核種閉じ込め性が喪失し、間隙地下水とガラス固化体とが接触して放射性核種が溶出する。移行の際、オーバーパックの腐食生成物に収着する可能性はあるものの、保守的にその現象は考慮しない。溶出した放射性核種は、拡散により移行する。	(変更) 斜体部分を変更 炭酸塩応力腐食割れにより早期にオーバーパックの核種閉じ込め性が喪失し、間隙地下水とガラス固化体とが接触して放射性核種が溶出する。オーバーパック周囲の温度が高く、物質移動特性が変化する可能性がある。溶出した放射性核種は、移流-拡散により地下水中を移行する。また、移行の際オーバーパックの腐食生成物は放射性核種を吸着し、核種移行を抑制する。ただし、保守的にその現象は考慮しないものとする。

Table 5.8 サブシナリオ（緩衝材：変質シナリオ）

※緩衝材の変質による、緩衝材中での影響

現象要素	標準シナリオ	サブシナリオ
熱	ガラス固化体内で発生する崩壊熱により、廃棄体埋設後、人工バリア材とその周辺の母岩の温度は上昇する。設置間隔などの設計対応により、緩衝材の温度は 100°Cを超えない。オーバーパックに期待されている寿命である処分後 1,000 年時点には、緩衝材の温度は 60°C 程度になる。その後、さらに緩衝材の温度は低下し、岩盤の温度である 45°C 程度に漸近する。	標準シナリオと同じ
水理	掘削影響領域から緩衝材へ地下水が浸入し、緩衝材も徐々に飽和する。さらに、緩衝材と埋め戻し材は地下水の浸潤に伴って膨潤し、緩衝材や埋め戻し材自身のすきま、掘削影響領域の亀裂、オーバーパックとのすきまなどを充填する。飽和到達時間は 50 年以内と評価されている。緩衝材の膨潤に伴い緩衝材は低透水性の状態となり、緩衝材中の物質移行は拡散支配となる。	(追加) 緩衝材周辺に存在するセメント系材料の溶解に伴い、浸透水は高アルカリ化し、緩衝材の外側領域から溶解／変質が開始する。緩衝機能を担う主要成分であるモンモリロナイトの溶解に伴い、浸透流量が増大し、変質の進展に応じて拡散支配から、移流支配に転ずる。
力学	廃棄体埋設後、緩衝材にはオーバーパック自重による圧密加重が作用する。また、母岩のクリープ変形、地下水の飽和後は緩衝材や埋め戻し材の膨潤に伴う応力、岩盤の地圧により、人工バリア内の応力の再分配が起こる。最終的に緩衝材には、地下水圧、膨潤反力、OP の自重、岩盤クリープ変形、OP の腐食膨脹圧、その他熱応力等の荷重が作用すると考えられる。ただし、廃棄体は緩衝材中に定置され、応力の再分配が生じた以降もその位置は変化しない。オーバーパック破損後、緩衝材の変質などが進行し、力学特性や応力状態が変化するものの、こうした人工バリア材の変遷に伴う力学的変化が核種移行に及ぼす影響は小さいと仮定する。	(追加) 緩衝材の変質シナリオでは浸透水は常に高アルカリ化しているとするため、緩衝材の膨潤性は低下する。また周辺部材から緩衝材への力学的影響は、標準シナリオに準ずるものとする。
化学	緩衝材の間隙水は、ベントナイトの主成分であるスマクタイトのイオン交換反応や結晶端の表面水酸基による酸塩基解離反応、随伴鉱物や可溶性不純物（塩化物、硫酸塩）の溶解などによって、中性から弱アルカリ性となる。緩衝材中の黄鉄鉱やオーバーパックの腐食などの酸化/還元反応によって、操業期間中に持ち込まれた緩衝材間隙中の酸素は消費され、緩衝材の間隙水は酸性地下水から還元性地下水となる。緩衝材は、間隙水との構成鉱物との化学反応により徐々に変質・劣化が進行するものの、核種移行に対する緩衝材の所定の機能は維持されるものとする。 また、緩衝材中が不飽和で温度勾配が大きい期間には、塩の蓄積が生じ、局所的な化学的環境変化が生じるが、しかし飽和後、塩は溶解し、拡散により散逸するため、その影響は有意とはならない。	(追加) セメント系材料は浸透水との接触により、その可溶性成分が溶脱し、水和物組成が変化するとともに、地下水の組成や pH を変化させる。セメント系材料として OPC を用いた場合、溶脱の進展に伴い、初期には Na や K が卓越して pH は 13 以上に達するが、その後 Ca が支配的になるとともに pH は低下する。高アルカリ条件における緩衝材構成鉱物の溶解とそれに伴う二次鉱物の沈澱、さらにベントナイトのイオン型が変化する。またアルカリ溶液によるスマクタイトの溶解に伴い、溶液中には Si, Al 等の陽イオンが増加すると考えられるが、地下水組成の変化に伴う核種移行への影響はないものとする。緩衝材は、環境条件によって主要構成鉱物であるスマクタイトの層間イオン交換が生じ、初期 Na イオンの地下水及びベントナイト中の方解石起源の Ca イオンとの置換、炭素鋼オーバーパックの腐食による Fe イオンとの置換が生じるが、いずれも緩衝材性能に有意な影響は及ぼさない。また、スマクタイトの鉱物学的変化として、イライト化や鉄との相互作用による緑泥石類似鉱物への転移、鉄スマクタイト化などが考えられるが、いずれも変質の程度に依存し、ある程度のスマクタイトが残存している場合、緩衝材性能に有意な影響とはならない。アモルファスシリカ等の二次鉱物の沈澱（セメンテーション）については、100°Cを超えない条件では起きない。

放射線	放射性廃棄物の核種崩壊に伴いガラス固化体から $\alpha$ 線、 $\gamma$ 線が放出される。オーバーパックの閉じ込め性が維持されている期間には、 $\gamma$ 線による地下水の放射線分解の影響が生じる。その際過酸化水素などの酸化剤が生じるが、オーバーパックの腐食生成物や緩衝材中の黄鉄鉱など、人工バリア中の還元物質によりほとんど影響ない。閉じ込め性喪失後も、ガラス固化体中からの放射線によって、間隙水の放射線分解が起こり、酸化剤が生じるが、緩衝材中の黄鉄鉱との反応により、酸化剤が存在するとして続けるとしてもガラス固化体近傍に留まる。	標準シナリオと同じ
物質移動	<p>ペントナイトは地下水の湿潤により膨潤し、緩衝材の間隙は全て水で満たされ飽和し均質な微細間隙構造となる。それ以降緩衝材は、非常に低い透水性を持ち、緩衝材中の物質の移行は拡散支配となる。</p> <p>間隙水中の核種移行は、緩衝材中の主成分鉱物スマクタイトの層間陽イオンとのイオン交換反応、結晶端の水酸基への吸着反応（表面錯体反応）によって吸着される。地下水で飽和したペントナイト中の物質移行は拡散支配となり、電荷を持つ化学種の実効拡散係数は緩衝材表面との静電的相互作用を受けるため、中性化学種（トリチウム）に比べ、陽イオン（Cs等）は大きな値を、陰イオンは小さな値を示す。その際、核種は緩衝材に吸着し遅延する。</p>	<p>(追加)</p> <p>緩衝材周辺に存在するセメント系材料の溶解に伴い、浸透水は高アルカリ化し、緩衝材の外側領域から溶解／変質が開始する。緩衝機能を担う主要成分であるモンモリロナイトの溶解に伴い、地下水流動の変化により、粒子拡散係数の増大、吸着分配係数の低下といった核種移行挙動に対する影響が考えられる。またアルカリ溶液によるスマクタイトの溶解に伴い、溶液中にはSi, Al等の陽イオンが増加すると考えられるが、地下水組成の変化に伴う核種移行への影響はないものとする。</p>

Tabel5.9 サブシナリオ（母岩：構成鉱物変質シナリオ）

※母岩の構成鉱物の変質による母岩での現象を記載したシナリオ

現象要素	標準シナリオ	サブシナリオ
熱	ガラス固化体内で発生する崩壊熱により、廃棄体埋設後、人工バリア材とその周辺の母岩の温度は上昇する。設置間隔などの設計対応により、ガラス固化体中心の温度は120°Cを最大（埋設後数十年程度）として、オーバーパックの表面及び緩衝材内部・外部は100°Cを越えることはない。人工バリア材周辺の母岩では最大80°C程度となる。その後、時間とともに各バリア材の温度は緩やかに下降し、オーバーパックの寿命と想定した1,000年後には60°C程度になる。その後さらに温度は下降し岩盤の地温である45°C程度に漸近する。	標準シナリオと同じ
水理	掘削により、人工バリア及び掘削影響領域は地下水位が下がり、不飽和領域として空気に触れる環境となる。処分施設閉鎖後、不飽和領域（人工バリア、掘削影響領域）は、数十年をかけて、母岩からの浸水で飽和する。飽和に伴い、緩衝材が膨張し、掘削影響領域の亀裂に浸入する。全面腐食によりオーバーパックの封じ込め性が喪失した後も、長期的に緩衝材は健全性を維持し、緩衝材内側の構成要素では地下水の移動は制限され、核種を含めた溶存成分は拡散律速にしたがって母岩へ移行する。やがて母岩に達した核種は母岩中の地下水流動系に従つて、亀裂中を移行する。なお、再飽和の以降の母岩における地下水流動系に関する長期的な変化は小さいものと仮定する。亀裂帯に核種が到達した場合、断層中を移流、分散にて移行する。	<p>(追加)</p> <p>母岩を構成する鉱物がセメント系材料を起源とする高pH地下水の影響によりアルカリシリカ反応を起こし、C-S-H系の化合物が生成し、岩盤表面に沈着する。また、黄鉄鉱との反応により酸性に変質した地下水が緩衝材や亀裂充填鉱物を溶解し、2次鉱物を沈殿させる可能性がある。それらにより、亀裂の閉塞等が生じ地下水流動が変化する可能性がある。</p>
力学	処分施設には、深度に比例した応力が、母岩部分を含めて初期応力として加わっている。母岩の一部は掘削により掘削影響領域として、応力解放及び力学特性が母岩と異なる領域となる。再冠水や熱応力などにより、処分場周辺の母岩に対して応力再配分が生じるが、応力再配分の影響は掘削影響領域にとどまる可能性が高い。そのため、母岩における応力は、埋設処分時の初期の地圧から変化しない。	<p>(追加)</p> <p>母岩の鉱物の変質による間隙構造の変化などにより、母岩に対して応力再配分が生じるが、影響は限定的であり小さい。</p>

化学	<p>処分施設設置前には、間隙地下水の組成は地下水の起源と母岩の鉱物組成によって決定されている。大きくは降水系起源の地下水と、海水系起源の地下水に分けられる。地下水が土壤・岩石を構成する鉱物と接すると、<math>\text{Na}^+</math>、<math>\text{K}^+</math>、<math>\text{Ca}^{2+}</math>、<math>\text{Mg}^{2+}</math>、<math>\text{HCO}_3^-</math>、<math>\text{OH}^-</math>、<math>\text{SiO}_2</math>などが溶出する。接触時間に応じて溶存成分は増加する。特に長石類や方解石類との反応は様々な岩石を構成する主要な鉱物であり、これらとの反応は主要な地下水の水質を決定する。一方で、海水(化石海水)を起源とする地下水は、特に <math>\text{Na}^+</math> と <math>\text{Cl}^-</math> に富む水質を示す。地下水中に施設閉鎖後、数十年かけて人工バリア及び掘削影響領域は再冠水し飽和する。なお、当時込め性が喪失する 1000 年の間に、地下水と人工バリア材及び母岩鉱物との化学反応などにより、化学的に比較的安定している地下水流動経路が構築されていると考えられる。閉じ込め性が喪失する 1000 年以降に核種は移行を開始し、すでに形成されている母岩の亀裂中を、移流、分散にて移行する。標準シナリオでは処分場構成材料との化学反応の影響を受けた人工バリア起源の地下水は、母岩の水質や 2 次鉱物の生成などの母岩の化学特性に影響を与えないものと仮定し、埋設処分時の母岩の化学特性に変化がないとする。</p>	(追加) セメント系材料から発生した高 pH 地下水の影響により、処分施設周辺の地下水組成は変化する可能性がある。地下水組成が変化することにより、母岩を構成する鉱物のうち、シリカ分が溶出し、C-S-H 系化合物の析出が考えられる。この影響により母岩の間隙構造に変化を与え、地下水流动に影響する可能性がある。一方、高 pH 地下水は母岩の他に緩衝材の変質を引き起こし、膨潤性を低下させ、掘削影響領域の亀裂を満たしていた緩衝材の一部が流出して、地下水流动を変化させる可能性がある。
放射線	放射性廃棄物の核種崩壊に伴いガラス固化体から $\alpha$ 線、 $\gamma$ 線が放出される。 $\alpha$ 線による影響ではなく、透過 $\gamma$ 線による地下水の放射線分解の影響も母岩領域ではほとんど受けないものと考えられる。閉じ込め性が喪失する 1000 年以降では、放射能量は埋設時に比べて 1000 分の 1 のオーダーまで減衰する。1000 年後の核種移行開始時には影響は少ない。	標準シナリオに同じ。
物質移動	<p>廃棄体埋設後、人工バリア、天然バリア領域は地下水の浸潤により飽和する。緩衝材の膨潤に伴い緩衝材は低透水性の状態となり、緩衝材中の物質移行は拡散支配となる。</p> <p>閉じ込め性が喪失する 1000 年以降に核種は移行を開始し、母岩に達した核種は亀裂中を移流・分散にて移行する。母岩における核種移行経路を多孔質媒体で近似した場合には粒子間の微細な亀裂間を移流・分散にて移行する。その際多孔質媒体を構成する鉱物粒子表面へ核種が吸着する。また、母岩における核種移行経路を亀裂性媒体で近似した場合には、核種は地下水の流れが支配する亀裂内を移流・分散にて移行する。その場合には、核種の一部が亀裂に接する基質部へ拡散にて移行(マトリックス拡散)し、基質内の鉱物表面へ吸着する。</p>	(追加) セメント系材料から発生した高 pH 地下水の影響により、ケイ酸塩鉱物が溶解する一方で、セメントから溶出したカルシウムとケイ素の反応により C-S-H ゲルが二次鉱物として岩盤中に析出する。 緩衝材や亀裂充填鉱物の溶解の影響として、亀裂の拡張、空隙率の上昇、表面積の変化が考えられる。一方、二次鉱物の析出による影響では亀裂の閉鎖、表面積の変化、二次鉱物の被覆などが考えられる。亀裂を充填した場合には、地下水流の速度の低下が考えられる。一方鉱物の析出では、二次鉱物に対する核種の吸着が考えられる。これらの現象は移行を進展・阻害する両方向に作用する。

## 6.まとめ

HLW の地層処分に当たり、安全評価に必要である処分場の人工バリア材及び天然バリアに起こる長期的な物理化学的挙動を、OECD/NEA<sup>(4)</sup>によって示された安全評価のアプローチを参考し、わが国の地域性や地層処分システムを考慮して、FEP データベースとして取りまとめ、シナリオに記述した。安全評価のために収集・整理した「FEP リスト」、「相関関係図」、「FEP シート」のデータを用いて、「安全性への影響の可能性」、「理解の現状」、「相関の判定」を作成することにより、FEP データを用いたシナリオ構築に至るまでの一連の流れを示した。シナリオの構築では、システムの安全機能が期待通り発揮され、現在の地質環境・地表環境が将来まで継続するとした場合を標準シナリオとして構築した。加えて人工バリア、天然バリアを構成する要素毎に知見レベルの不確定性から、サブシナリオを作成した。サブシナリオは、ガラス固化体ではガラス固化体表面積変化シナリオ、ガラス溶解機構変化シナリオ、オーバーパックではオーバーパック早期破損シナリオ（全面

腐食)、オーバーパック早期破損シナリオ(局部腐食)、オーバーパック早期破損シナリオ(応力腐食割れ)、緩衝材では緩衝材変質シナリオ、母岩では構成鉱物変質シナリオに関する、以上7つのサブシナリオを抽出した。また、「安全性への影響の可能性」、「理解の現状」及び「相関の判定」を中心に、専門家へのアンケート調査を実施し、各専門家の判断・コメントを取り入れることにより、精度の向上を図った。

今回シナリオ作成の根拠とした「FEPシート」、「安全性への影響の可能性」等の資料は、現状の知見から集約したものであり、今後の研究や技術の進捗に合わせ、得られた知見を「FEPシート」、「安全性への影響の可能性」に反映させ、FEPデータベースを更新させる継続的な検討を行っていく。作成したシナリオの十分性に関しても同様に継続的な検討を行い、最新知見のシナリオへの反映を実施していくものである。また、今回の判定では、事象及びプロセスが発生するかどうかが不明確であり、影響の程度も現在のところ不明確であると考えられる事象としてC区分に分類しており、現状のシナリオ構築では考慮していないため、今後の研究において、A、B、Dのいずれかに分類し、シナリオへ反映させていく必要がある。また、今後TRU廃棄物との併置処分<sup>(7)</sup>により、HLW処分では考慮されていない廃棄物から発生すると考えられる物質による処分施設への影響などを踏まえて、併置処分に伴う影響を反映させたシナリオの作成などの検討も必要であると考えられる。

### 謝 辞

本報告の研究開発にあたり、日本原子力研究開発機構、臼井秀雄氏、藤原武氏、田中忠夫氏、向井雅之氏、関岡靖司氏、渡邊正敏氏、株式会社 間組の雨宮 清氏、上岡武夫、中央開発 株式会社 の荒木邦夫氏、緒方信一氏、斎藤正男氏にご指導・御協力を賜りました。また、アンケート調査にご協力いただいた各研究機関、企業の多くの方々に心から感謝します。ここに記して深く謝意を申し上げます。

### 参考文献

- (1) 核燃料サイクル開発機構：わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分研究開発第2次取りまとめ、総論レポート、1999年11月
- (2) Yucca Mountain Science and Engineering Report, DOE/RW-539, 2001
- (3) Long-term safety for KBS-3 repositories at Forsmark and Laxemar – a first evaluation, Main report for the SR-Can project, SKB, TR-06-09, 2006
- (4) OECD/NEA, “Safety Assessment of Radioactive Waste Repositories: An International Database of Features, Events and Processes”, OECD/NEA, 1999.
- (5) 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会 廃棄物安全小委員会報告書、高レベル放射性廃棄物処分の安全規制に係る基盤確保に向けて、2003年7月
- (6) 核燃料サイクル開発機構：わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分研究開発第2次取りまとめ、分冊3 地層処分システムの安全評価、1999年11月
- (7) 電気事業連合会、核燃料サイクル開発機構：TRU廃棄物処分技術検討書－第2次 TRU廃棄物処分研究開発取りまとめ、JNC TY1400 2005-013, 2005年9月

## 付 錄

## Appendix- I 安全性への影響の可能性と判定結果

※示す内容は本文中でのアンケート結果を反映させたものである

Table I -1. 安全性への影響の可能性に関する理解の現状と相関の判定 (ガラス固化体)

現象	「安全性への影響の可能性」項目	理解の現状	相関の判定と、判定に関するコメント
温度	G1①：ガラス固化体中の放射性核種の崩壊によって発生する熱が、固化体、オーバーパック、緩衝材などの熱特性に依存して周辺のバリア材へ伝播し、固化体の埋設初期段階における温度上昇や時間的・空間的な温度変動をもたらす可能性。<熱> G1. 4→G1. 2→OP1. 2→B1. 2, G1. 1→G1. 2	【文献からの知見】 放射性核種の崩壊に伴う熱は母岩からの熱と共に、ガラス固化体に温度変動をもたらす。処分坑道離間距離及び廃棄体(処分孔)ピッチの組み合わせ、及び隙間の物性値などによって最高温度の値は変化するが、最高で120°Cを下回る温度と評価されている。また、オーバーパック破損とされる1,000年後の温度は各部材共60°C程度と想定されている。(参照 FEP : G1. 2) 【JAEAによる判断】 崩壊熱の熱伝播により温度変動が生じる。	A : 崩壊熱の熱伝播により温度変動が生じる。ガラス固化体を含めたニアフィールドの温度の時間的変化は、水と応力との連成を考慮しない有限要素法汎用解析コードFINASを用いて解析された(最大120°C)。
	G1②：熱伝導の過程において発生するガラス固化体の熱応力が、固化体自身に作用し、固化体内部や表面に微細ひび割れを発生させ、また進展させる可能性。<熱、応力> G1. 4→G1. 2→G3. 2→G3. 3	【文献からの知見】 崩壊熱による固化体の温度変動に伴い、熱応力が微細ひび割れを発生させまた進展させる可能性がある。ガラス固化体製造時に発生する熱応力によるひび割れのため、ガラス固化体表面積は4~5倍程度まで増加すると考えられている。しかしオーバーパックの腐食膨張に起因する、応力変化—ひび割れ—表面積増加は見掛け寸法基準で30~50倍になるとの報告もある。(参照 FEP : G3. 3) 【JAEAによる判断】 崩壊熱による固化体の温度変動に伴い、熱応力が微細ひび割れを発生させまた進展させる可能性がある。	D : 固化体内部—表面等の温度差によるが、熱応力がガラスの弾性限界を超えるとは考えられないことから、影響は小さいとされている。しかし、埋設前の中間貯蔵期間において、熱膨張が大きく、ガラス固化体に割れを生じさせ表面積を増大させる(約10倍程度)。
	G1③：崩壊熱によるガラス固化体の温度上昇や温度変化が、ガラス組織、結晶構造など化学特性や、弾性係数、ボアソン比など力学特性に影響を及ぼす可能性。<熱、化学、応力> G1. 4→G1. 2(→)G4. 1, G1. 4→G1. 2(→)G3. 1	【文献からの知見】 崩壊熱による固化体の温度変動により固化体の化学特性や力学特性に影響を及ぼす可能性がある。しかし処分坑道離間距離及び廃棄体(処分孔)ピッチの組合せ、及び隙間の物性値によって最高温度の値は変化するが、いずれもガラスの変質温度を上回るものではない。(参照 FEP : G3. 1, G4. 1) 【JAEAによる判断】 温度上昇によるガラスの再結晶の発生する可能性は低い。また力学特性への影響は少ないと見られるが、具体的な温度依存性に関する報告の例は見られない。	A : ガラス固化体の化学特性や力学特性は、温度に依存する。 D: 処分環境に近い状況における、個々の特性に対する温度依存性に関する具体的な報告例は見られない。ただし、設計上の対応により、ガラス固化体の中心温度を低くすることが可能であれば、D判定とすることが出来ると考えられる。
	G1④：オーバーパック破損後において崩壊熱によるガラス固化体の温度上昇が、固化体内に侵入した地下水の化学組成に影響を及ぼす可能性。<熱、化学> G1. 4→G1. 2→G4. 2	【文献からの知見】 オーバーパック破損後における崩壊熱による固化体温度上昇が、浸入地下水の化学組成に影響を及ぼす可能性は存在する。温度勾配による組成の不均一や変化(塩の析出、微生物の活性化など)が考えられるが、オーバーパック破損とされる1,000年後においては、温度も低く影響は小さいとされている。なお温度に伴う地下水組成への影響の程度に関する報告の例は見られない。(参照 FEP : G4. 2) 【JAEAによる判断】 オーバーパック破損後における崩壊熱による固化体温度上昇が、浸入地下水の化学組成に影響を及ぼす可能性がある	A (早期破損) : オーバーパック破損後における、固化体の温度上昇は、侵入地下水の化学組成に影響を及ぼす。しかし、地下水化学の変化に関する具体的な報告例は見られない。 D: (1000年以降の破損) 現行の固化体及び施設設計条件では、オーバーパック破損時点では、固化体温度は低下していることとなるので、浸入地下水化学組成の変化は劇的なものではない
	G1⑤：G1②~④に示した崩壊熱によるガラス固化体や地下水の組成変化が、ガラス固化体の化学的変質の進行やガラス成分の溶解現象に影響を及ぼす可能性。<熱、化学> G1. 4→G1. 2→G4. 2→G4. 4, G1. 4→G1. 2→G4. 2→G4. 3	【文献からの知見】 崩壊熱による固化体の温度変動に起因した地下水の組成変化が、固化体の化学的変質や溶解現象への影響は考えられる。本事業のデータベース整備において、ガラス溶解速度の温度依存性には正の相関が認められた。(参照 FEP : G4. 3) 【JAEAによる判断】	A (早期破損) : 崩壊熱による固化体の温度変動に起因した地下水の組成変化が、固化体の化学的変質や溶解現象へ影響を及ぼすと考えられる。 D (1000年以降の破損) : オ

	<p>オーバーパック破損とされる 1,000 年後においては、崩壊熱によるガラス、地下水の温度上昇は小さく、ガラス固化体、地下水組成に影響を及ぼすことは相対的に小さいと考えられることから、総じて変質や溶解に対しても影響は小さいものと考えられる。</p>	<p>一バーパック破損が 1,000 年以降であれば固化体温度も低く影響は小さいと推測される。</p>	
	<p>G1⑥ : G1①に示した温度上昇や温度変化が、オーバーパック破損後において地下水との接触に関わる溶解度、収着、拡散などの核種移行現象に影響を及ぼす可能性。&lt;熱、化学、核種移行&gt; G1. 4→G1. 2→G4. 2→G4. 3→G6. 4, G1. 4→G1. 2→G4. 2→G4. 4→G6. 5, G1. 4→G1. 2→G4. 2→G6. 5. 2, G1. 4→G1. 2→G4. 2→G6. 5. 3</p>	<p>A (早期破損) : オーバーパック破損後における崩壊熱による温度変動の影響が核種移行現象に影響を及ぼす可能性は存在する。溶解度の温度依存性については、それが顕著でないことを示す報告がある。(参照 FEP : G4. 3, G6. 5. 2, G6. 4. 2) ガラス固化体の原位置変質試験で、90°Cでの変質は 30°C に比べて二桁大きいことが示されている。(参照 FEP : G4. 3)</p> <p>【JAEAによる判断】 溶解度、収着、拡散は温度の影響を受けると考えられるが、オーバーパックの寿命は 1,000 年で設計されており、この間にガラス固化体の温度は下がっている(60°C程度)ので影響は小さいと考えられる。</p>	
	<p>G1⑦ : G1①に示した温度上昇や温度変化が、オーバーパック破損後において固化体領域中に地下水と共に侵入した微生物、有機物、コロイドと、核種との化学作用（錯形成、溶解度、収着等）などに影響を及ぼす可能性。&lt;熱、化学、核種移行&gt; G1. 4→G1. 2→G4. 2→G4. 7→G6. 5. 4, G1. 1→G1. 2, G1. 4→G1. 2→G4. 2→G4. 4→G6. 5</p>	<p>B (早期破損) : オーバーパックの早期破損のケースについては微生物、有機物、コロイドと核種との化学作用に崩壊熱によるガラス固化体の温度変化が影響を及ぼすと考えられる。しかし、緩衝材の遮水機能が見込める期間は、緩衝材中の微生物や有機物の活性が維持され難いことや、量的な点から影響が小さいとされている。コロイドと核種との化学作用における温度依存性に関する報告の例は見られない。(参照 FEP : G4. 2)</p> <p>【JAEAによる判断】 オーバーパックが早期破損した場合のみ、微生物、有機物、コロイドと核種との化学作用に崩壊熱によるガラス固化体の温度変化が影響を及ぼすと考えられる。</p>	
水理	<p>G2① : ガラス固化体領域の(特に、発生する変質・溶解・空隙を想定)透水係数、飽和度、含水率、動水勾配などの水理特性の変化が、その領域内における地下水流动現象に影響を及ぼす可能性。&lt;水理&gt; G2. 1→G2. 2</p>	<p>【文献からの知見】 ガラス固化体領域における水理特性の変化が、地下水流動へ影響を及ぼす可能性に関する報告の例は見られない。 ガラス固化体中の水の拡散係数として 50°C と 90°C で <math>2 \times 10^{-21} \sim 6 \times 10^{-23} \text{ m}^2/\text{s}</math> という値が得られている。(参照 FEP : G2. 1)</p> <p>【JAEAによる判断】 基本的に緩衝材の存在により、ガラス固化体からの核種溶出は拡散支配となることから、地下水流动の影響が顕著となるシナリオは可能性が極めて小さい。しかし緩衝材の変質や劣化が起こり、ガラス固化体を含めた物質移動現象を変化させる様な状況(オーバーパックの早期破損などを含み)が生じた場合、固化体領域の地下水流が変化し、ガラス溶解や核種溶解へ影響することが考えられる。(参照 FEP : G2. 1)</p>	<p>A : ガラス固化体領域中(ガラスの溶解層、周囲空隙等の空間)における間隙地下水の水理特性は、地下水流動に影響を及ぼすが、領域全体に関する具体的な報告例は見られない。第 2 次取りまとめ 分冊 3<sup>(6)</sup>では、緩衝材内側(変質しない場合)における地下水流動、物質移動は拡散支配とされている。 D: (早期破損) オーバーパックが破損しても緩衝材が健全性であれば拡散支配であり地下水流変化は無視してよく、判定はD。</p>
	<p>G2② : ガラス固化体領域内の(特に、発生する変質・溶解・空隙を想定)地下水流动が、領域内の物質移動現象を支配し、地下水中の溶存成分、コロイドなど地下水の化学組成に影響を及ぼす可能性。&lt;水理、化学&gt; G2. 2→G4. 2→G4. 7, G2. 2→G4. 2→G4. 1</p>	<p>【文献からの知見】 ガラス固化体領域内における地下水流動が、地下水の化学組成へ影響を及ぼす可能性に関する報告の例は見られない。(参照 FEP : G2. 1)</p> <p>【JAEAによる判断】 流れ場が化学変化に及ぼす影響はガラスの空隙構造や流速等に支配されるため、有意な影響が生じるか否かについての知見は充分ではない。</p>	<p>D (緩衝材健全) : ガラスの溶解浸出速度よりも地下水流速が充分速ければ、地下水組成に有意な影響を与えないと思われる。 B: ガラス固化体領域中(ガラスの溶解層、周囲空隙等の空間)における間隙地下水の流動により溶液濃度が変化し、化学組成へ影響を及ぼすと考えられるが、有意な影響が生じるか否かについての知見は充分ではない。</p>

	<p><b>G2③:</b> ガラス固化体領域における(特に、発生する変質・溶解・空隙を想定)地下水流动の状況が、ガラスの化学的変質の進行やガラス成分の溶解現象を左右するなど地下水化学に影響を及ぼす可能性。&lt;水理、化学&gt; G2. 2→G4. 4, G2. 2(→)G4. 3, G2. 2→G4. 2</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> ガラス固化体領域における地下水流动が、溶解現象など地下水化学へ影響を及ぼす可能性に関する報告の例は見られない。(参照 FEP : G2. 1)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> ガラスの変質・溶解層によるガラス固化体とオーバーパック間の空間変化を要因とする、固化体領域の地下水流动の変化は地下水の化学組成を変化させており、地下水化学にも影響を及ぼすと考えられる。</p> <p>A : 固化体領域の地下水流动の変化は地下水の化学組成を変化させており、地下水化学にも影響を及ぼす。しかし、その程度などに関する具体的な報告例は見られない。</p> <p>D: (緩衝材健全) 地下水流动が存在するとの状況では、緩衝材に流入する地下水化学組成に対する変化に対して、現行シナリオから、緩衝材が健全な場合には、これが、地下水化学に影響を及ぼす程度についての判定はDとなる。</p>
	<p><b>G2④:</b> ガラス固化体領域における(特に、発生する変質・溶解・空隙を想定)地下水流动が、その領域内における放射性核種の移行挙動や固化体からの核種の漏洩量に影響を及ぼす可能性。&lt;水理、核種移行&gt; G2. 2→G6. 5. 1, G2. 2→G6. 4, G2. 2→G6. 5</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> ナチュラルアナログ研究として、1,800 年間海底に沈んでいた亀裂入りのガラスブロックの観察が行われ、ガラスの変質の度合いが亀裂の内部と外表面とで 2~3 倍違うことが示され、亀裂内部で水の流れがないと述べている。ただし、ガラス固化体領域における地下水流动が、移行挙動や漏洩量へ影響を及ぼす可能性に関する報告の例は見られない。(参照 FEP : G2. 1)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> ガラス固化体領域中 (ガラスの溶解層、周囲空隙等の空間) における地下水流动は、固化体の移行挙動や漏洩量に影響を及ぼすと考えられる。</p> <p>A: ガラス固化体領域中 (ガラスの溶解層、周囲空隙等の空間) における地下水流动は、固化体の移行挙動や漏洩量に影響を及ぼす可能性がある。</p> <p>D (緩衝材健全) : 緩衝材が健全である場合には、核種の移行挙動や核種の漏洩量には影響しない。</p>
	<p><b>G3①:</b> ガラス固化体領域における弹性係数、ポアソン比など力学特性値が、崩壊熱などによる温度変化、ガラスの変質や溶解の進行などによって変化する可能性。&lt;熱、化学、応力&gt; G1. 4→G1. 2(→)G3. 1, G4. 4(→)G3. 1, G4. 3(→)G3. 1</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> ガラス固化体の力学特性値が、温度変化、変質や溶解の進行によって変化する可能性がある。 固化体の力学特性値に関する温度依存性は温度幅から見て小さい。またガラスの転移点よりずっと低い値である。(参照 FEP : G3. 1)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> ガラス固化体の力学特性値が、温度変化、変質や溶解の進行によって変化する可能性がある。 緩衝材の変質、劣化に伴う早期オーバーパック腐食の進行があった場合、より高温雰囲気となることが考えられ、影響の程度を検討する必要がある。ガラスの溶解による表面状態の変化は、亀裂の発生や進展に影響することが考えられるが、その程度に関する報告の例は見られない。ガラス変質に伴うガラスの力学特性値への影響は少ないと考えられている。</p> <p>A(一般論) : ガラス固化体領域の力学特性値に関する温度依存性は存在する。ガラスの変質や溶解の進行があれば、固化体領域力学特性値が変化する可能性は存在する。</p> <p>D(温度) : 現行シナリオを前提にすると、弾性係数、ポアソン比など力学特性値、さらに崩壊熱などによる温度変化、ガラスの変質や溶解の進行などによって、力学的特性が変化する可能性は小さい。</p> <p>D (変質、溶解の進行) : OP 破損が 1,000 年以前であって、しかも緩衝材に乾燥・ひび割れが生じ、さらに再冠水が起きた場合には、一時的にではあるが変質と溶解の開始が有り得るが、ガラス固化体の表層に留まり、力学特性値の変化は生じない。</p>
応力	<p><b>G3②:</b> オーバーパックの破損や腐食などに伴う材料の健全性に関する事項が、ガラス固化体の格納容器であるオーバーパックからの外力に対応した固化体の応力に影響を及ぼす可能性。&lt;応力&gt; OP3. 3→G3. 2, OP3. 2→G3. 2</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> オーバーパックは耐圧と充分な腐食代が見込まれて設計され、またキャニスター-オーバーパック間に空隙が設定される。しかし、オーバーパックの腐食膨張による体積増加が 3 倍程度となる報告もある。またオーバーパックの腐食膨張に起因するガラスの割れは、固化体表面積を 30 ~50 倍以上にするとの報告もある。(参照 FEP : G3. 2, G3. 3)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> 設計からオーバーパックにかかる外力がガラスに直接かかる可能性は少ない。腐食膨張の接触に伴う固化体応力への影響を考慮すべき処分時期の存在が考えられる。</p> <p>D (破損前) : キャニスターとオーバーパック間に空隙を設定することでガラス固化体への外力作用をなくす様に設計がなされている。</p> <p>A (破損、接触後) : オーバーパックの欠損貫通、割れ、破壊等に伴う地下水流入や、腐食生成物との接触により、固化体に外力が作用する。</p>

	<p>G3③：オーバーパックを通じてガラス固化体へ作用する外力が、オーバーパックの腐食膨張、緩衝材の膨潤、母岩クリープ、地下水圧などの現象の進行状況によって変化する可能性。&lt;応力&gt;</p> <p>B3. 2→OP3. 2→G3. 2, D3. 2(→)OP3. 2→G3. 2, H3. 2(→)OP3. 2→G3. 2</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> オーバーパックを通じてガラス固化体へ作用する外力は、腐食膨張、膨潤、クリープ変形などにより変化するが、現状、最大値をもって検討や設計が行われている。オーバーパックが健全な期間は固化体へ荷重が加わらないとされる。</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> オーバーパックの腐食膨張、緩衝材の膨潤、母岩クリープ、地下水圧などの現象の進行状況によって、ガラス固化体に作用する外力は、腐食膨張、膨潤、クリープ変形、割れの増加などの変化がある。オーバーパックに対する外力の変化への対応は、設計手法としての検討がなされているものの、現象の進行状況にあわせた経時的な検討が不足していると考えられる。(参照 FEP : G3. 2)</p>	<p>D (破損前)：オーバーパック間に空隙を設定することでガラス固化体への外力作用をなくす様に設計がなされている。</p> <p>A (破損、接触後)：オーバーパックの欠損貫通、割れ、破壊等に伴う地下水流入や、腐食生成物との接触により、固化体に外力が作用する。</p>
	<p>G3④：G3①～③に示した荷重の変化が、ガラス固化体内の応力状態を変化させ、固化体のひび割れ発生、進展に影響を及ぼす可能性。&lt;応力&gt;</p> <p>G3. 1→G3. 2→G3. 3, OP3. 3→G3. 2→G3. 3, G1. 2→G3. 2→G3. 3, OP3. 2→G3. 2→G3. 3, B3. 2→OP3. 2→G3. 2→G3. 3, B3. 2→OP3. 2→G3. 2→G3. 3, H3. 2(→)OP3. 2→G3. 2→G3. 3</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> オーバーパックは、母岩クリープ、地下水圧、緩衝材の膨潤力、オーバーパックの腐食膨張などを考慮して設計されており、基本的に健全な1,000年間における外力に対する反応として機能しており、この期間の外力起因応力変化はない。</p> <p>固化体への外部荷重の作用は、体積3倍と言われるオーバーパックの腐食膨張により、固化体との接触時点からガラス固化体内の応力状態の変化が始まると考えられる。オーバーパックの腐食膨張に起因するガラスの割れは、固化体表面積を30～50倍以上にするとの報告もある。固化体製造後の冷却に伴うひび割れの表面積増大は浸出試験から4～5倍とされている。この他、ハンドリング過程における衝撃力影響について、処分施設内での取扱い高さからの落下試験(9m)で、落下時の割れによりガラス表面積が最大90%増加したという報告がなされている。(参照 FEP : G3. 2)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> オーバーパック破損後においては、地下水流入、腐食生成物等の接触、固化体への外力荷重が作用すると考えられる。しかし、固化体応力による割れの発生、進展に関する具体的な報告例は見られない。</p>	<p>D (破損前)：オーバーパック間に空隙を設定することでガラス固化体への外力作用をなくす様に設計がなされている。</p> <p>B (破損後)：オーバーパック破損後においては、地下水流入、腐食生成物等の接触、固化体への外力荷重が作用する。固化体内に発生する応力による割れの発生、進展の可能性がある。</p>
	<p>G3⑤：G3④の要因による固化体のひび割れ発生、進展が、固化体内の水理特性や地下水流动現象に影響を及ぼす可能性。&lt;応力、水理&gt;</p> <p>G3. 3→G6. 3→G2. 1, G3. 3→G6. 3→G2. 2</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> ガラス固化体領域のひび割れ面積の増加が固化体内の水理特性や地下水流动現象に影響を及ぼす可能性が考えられるが、具体的な報告の例は見られない。</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> 固化体への加重変化に伴うひび割れは、極小空隙部における浸入地下水の水理特性や流动現象に影響を及ぼすと考えられるが、影響は小さいと推定される。</p>	<p>D (破損後)：オーバーパック破損後、固化体への荷重の変化に伴った固化体のひび割れ面積増加、進展は固化体内の水理特性に影響をもたらすが影響は小さいと考えられる。</p>
	<p>G3⑥：G3④の要因による固化体のひび割れ発生、進展が、ガラスの化学的変質の進行、ガラス成分の溶解現象に影響を及ぼす可能性。&lt;応力、化学&gt;</p> <p>G3. 3→G6. 3→G2. 2→G4. 4, G3. 3→G6. 3→G2. 2(→)G4. 3</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> ガラス固化体近傍では、二次鉱物の析出により溶解が促進されるとの報告、表面変質層の保護機能から抑制されるとの報告、割れの中ではガラス溶解速度が小さいとの報告が混在しており、定量的な評価となっていない。(参照 FEP : G4. 4)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> 固化体のひび割れの発生、進展がガラス溶出、核種溶出に影響を及ぼすメカニズムについては、現状、定量的に統一された理解となっていない。</p>	<p>B (破損後)：固化体のひび割れの発生、進展は、ガラス溶解や変質の量に影響を及ぼす。しかし、固化体のひび割れの発生、進展がガラス溶出、核種溶出に影響を及ぼすメカニズムについては、現状、定量的に統一された理解となっていない。</p>
化学	<p>G4①：核種の放射性崩壊に伴う地下水の放射線分解が、地下水組成を変化(酸化還元反応、ガス発生など)させる可能性。&lt;放射線、化学&gt;</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> オーバーパックが健全な期間では、透過γ線による地下水の放射線分解が重要である。オーバーパックの遮蔽効果によって、放射線強度は低い状態(最大でも0.84[mSv/h])で推移し、生成酸化種と還元種は再結合し易い(なおオーバーパック腐食に伴って水素が発生し、地下水中には還元雰囲気が形成される)。</p> <p>オーバーパックの破損とされる1,000年以降においては、地下水がガラス固化体に接触した段階でα線による放射線分解が重要といわれている。酸化種発生量は10万年後に1,000molと想定される。(参照 FEP : G5. 2)</p>	<p>A: 一般論として地下水の放射線分解により地下水組成の変化、pHの変化などが起こる可能性がある。</p> <p>D: (OP健全期間)オーバーパックの遮蔽効果によって、放射線強度は低い状態(最大でも0.84[mSv/h])で推移し、生成酸化種と還元種は再結合し易い(なおオーバーパック腐食に伴つ</p>

	<p><b>【JAEAによる判断】</b> 還元能力は放射線分解の影響を考慮しない場合に比べ10%程度失われるものの、地下水中の還元雰囲気は維持されると考えられる。また、地下水の放射線分解によるガス発生については、炭素鋼腐食による水素ガスの発生に比べれば無視できる程度のものと考えられる。</p>	<p>て水素が発生し、地下水中には還元雰囲気が形成される)。 D:(破損後):1,000 年以降においては、地下水がガラス固化体に接触した段階で <math>\alpha</math> 線による放射線分解が重要といわれている。酸化種発生量は 10 万年後に 1,000mol と想定される。オーバーパックの腐食に伴う還元種発生により還元雰囲気は維持される。Kristallin-1 での解析でも、酸化状態が進展しないと評価している。</p>
G4②：地下水との接触に伴いガラス固化体の変質(水和層の形成)及び溶解の進行が、ガラス構成物質の化学組成、結晶構造などの化学特性における違いの影響を受ける可能性。<化学>G4. 2→G4. 1→G4. 4, G4. 2→G4. 1(→)G4. 3, G4. 2→G4. 1→G4. 4→G4. 3	<p><b>【文献からの知見】</b> 我が国における固化ガラスの特性(物理特性と浸出率)と組成(固化ガラスフリットの組成と廃棄物組成)例が原産(編)放射性廃棄物管理－日本の技術と計画－pp164、164(1997)に示されている。各国のホウケイ酸ガラスの組成(比較表)は、IAEA Technical Series No. 257(1985)に示されている。</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> ガラス固化体成分の化学的特性の違いにより、水和層の形成や溶解挙動が影響を受ける可能性が考えられる。</p>	<p>A : ガラス固化体の化学特性の違いが、固化体の変質、溶解の進行に影響を及ぼすと考えられる。</p>
G4③：地下水の温度、組成などの化学特性に支配され、ガラス固化体の変質(析出層・ゲル層の形成とこれらの層中の核種拡散移行)及び溶解・浸出が進行する可能性。<熱、化学>G1. 2(→)G4. 1→G4. 4, G1. 2→G4. 2→G4. 4, G1. 2→G4. 2→G4. 3, G4. 1→G4. 4, G4. 1(→)G4. 3	<p><b>【文献からの知見】</b> 地下水組成が、ガラス固化体の変質や溶解の進行へ影響を及ぼす可能性は存在する。海水と脱イオン水を用いた浸出試験において、海水中ではガラス表面に溶解反応を抑制する Mg に富む変質層が形成され、溶解速度は脱イオン水中に比べて 2 衍程度小さいという結果が得られている。鉄共存条件の浸出試験では、鉄とガラスとの表面積比が 10 : 1 の条件におけるガラスマトリクスの長期的な溶解速度が、鉄のない条件と比較して 1 衍程度高いこと、が観察されている。地下水 pH がガラス溶解速度に及ぼす影響で、pH11 以上では、ガラス初期溶解速度、及び長期溶解速度が急激に上昇する(参照 FEP : G4. 3) ベルギー・モルのブームクレイでのガラス固化体の長期埋設試験で、約 3. 3 年経過後の状況として、90°Cでの変質は 30°Cに比べて二桁大きい、Ca ベントナイトにガラスフリットを添加すると、そうでない場合に比べてガラスの変質が二桁小さくなっていることが報告されている。 (参考 FEP : G4. 4)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> ガラス溶解速度と温度との関係には正の相関が認められ、溶解現象は温度の影響を受けると考えられる。</p>	<p>A : 固化体に浸入した間隙水の地下水化学や温度等に依存して、ガラス固化体の変質、溶解が進行する。変質層は、拡散層、ゲル層、析出層から構成され、浸出試験等が実施されているが、そのメカニズム解明までは到達していない。</p>
G4④：G4③の逆作用として、ガラス固化体の変質や溶解現象が、地下水の組成に影響を及ぼす可能性。<化学、水理>G1. 2(→)G4. 1→G4. 4, G1. 2→G4. 2→G4. 4, G1. 2→G4. 2→G4. 3, G4. 1→G4. 4, G4. 1(→)G4. 3	<p><b>【文献からの知見】</b> ガラス固化体は、水との反応により表面変質層を形成するが、その中でガラスの主成分である Si は <math>\text{SiO}_2(\text{am})</math> となり、<math>\text{SiO}_2(\text{am})</math> が地下水に溶出する反応を律速段階として溶解する。(参照 FEP : G4. 3)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> ガラス固化体の変質、溶解が、侵入地下水の組成に影響を及ぼすと考えられる。 地下水中に溶解した Si は、ガラス固化体近傍地下水中の Si 濃度を高め、<math>\text{SiO}_2(\text{am})</math> はその溶解度に達するまで、その溶解の一次反応律速で溶出するが、溶解度に達した後は一定の長期溶解速度で溶解すると考えられる。</p>	<p>A : ガラス固化体の変質、溶解が、侵入地下水の組成に影響を及ぼすと考えられるが、そのメカニズム解明までは至っていない。 C: TRU との並置、支保工・ブレグ材料の影響(時間・空間・依存性含む)等については、今後の課題である。</p>
G4⑤：ガラス固化体の変質及び溶解の進行と共に、地下水コロイド(ケイ素含有コロイド等)が形成される可能性。<熱、水理、化学>G4. 4(→)G4. 7, G4. 3(→)G4. 7, G4. 4→G4. 2→G4. 7, G4. 3→G4. 2→G4. 7	<p><b>【文献からの知見】</b> ガラス固化体の変質や溶解の進行に伴い、地下水コロイドの形成が進行する可能性がある。変質層のうち、特にゲル層はそれ自身がコロイド状物質であると考えられており、それが剥離・溶脱した場合には、アモルファシリカを主要構成物とした地下水コロイドのソースを提供することになる。また、ガラスの溶</p>	<p>B : ガラスの変質に伴いコロイドが生成するか否かについての知見は充分ではないので、B 判定となる。</p>

	<p>解に伴って溶脱する Al, Fe 等の金属元素は、シリカ同様、地下水コロイドのソースとなる可能性がある。(参照 FEP : G6. 5. 4, G4. 7)</p> <p>【JAEAによる判断】ガラス固化体の変質や溶解の進行に伴い、地下水コロイドの形成が進行する可能性がある。特にガラスの場合、ガラス固相表面に析出した二次鉱物が溶解度制限固相となると考えられるため、シリカコロイドの生成条件はより複雑なものとなると考えられる。</p>	
G4⑥：難溶性核種からなる真性コロイドが、地下水コロイドに収着して擬似コロイドを形成し、ガラス固化体から漏洩する可能性。<化学、核種移行> G4. 2 → G4. 7 (→) G4. 3, G4. 2 → G4. 7 (→) G6. 4	<p>【文献からの知見】 ガラス固化体の溶解に伴い溶出する放射性元素のうち、Pu や Am など難溶性のものには、凝集により真性コロイドあるいは、真性コロイドが収着媒体となる擬似コロイドを形成しやすい性質を有することが知られている。(参照 FEP : G4. 7, G6. 5. 4)</p> <p>【JAEAによる判断】ガラス固化体周辺環境におけるコロイド安定性についての知見は、未だ充分ではない。</p>	<p>D : ベントナイトのフィルトレーション機能が維持される場合は D 判定となる。 B : フィルトレーション機能が維持されない場合、コロイド安定性についての知見が充分でないため、B 判定となる。</p>
G4⑦：ガラス固化体成分の溶解進行に伴い、ガラスが劣化し幾何形状・間隙構造を変化させる可能性。<化学、核種移行> G4. 3 → G6. 3	<p>【文献からの知見】 ガラス固化体が溶解して体積が減少傾向になり、溶解速度に影響する。ガラス固化体が表層から溶解・変質し、変質部の体積が部分的に減少傾向になり、亀裂が認められるとの報告がある。地下水との接触面積は現実的には時間と共に小さくなると考えられるが、容積一定として検討を行っている。</p> <p>【JAEAによる判断】 ガラス固化体の溶解進行に伴い、幾何形状・間隙構造が変化することが予想される。</p>	<p>A : ガラス固化体が溶解して体積が減少傾向になり、溶解速度に影響する。ガラス固化体成分の溶解進行に伴って、突起部と平面部など溶解度の異なる部位間では進行が異なる。一方、割れの進行に起因した表面積の増大に伴うガラス固化体の溶解速度への影響は、小さいことを示す実験的検討も行われている。 B: ガラス固化体を覆う変質部は表面積を増大させるが、溶解度は小さいのではないかと考えられ、今後の課題である。</p>
G4⑧：地下水の温度、組成など化学特性が、水和層中での核種移行現象に影響を及ぼす可能性。<化学、核種移行> G1. 2 → G4. 2 → G4. 4 → G6. 5, G4. 1 → G4. 4 → G6. 5	<p>【文献からの知見】 地下水の温度が高いと、水和層でのガラスの水和反応、ゲル層の形成反応、析出相での反応を促進すると言われている。地下水組成は、析出層での反応に影響を及ぼし、海水中ではガラス表面に溶解反応を抑制する Mg に富む変質層が形成されて、溶解速度は脱イオン水中と比べて 2 衍程度小さいという結果が得られている。(参照 FEP : G4. 2, G6. 2) ガラス固化体が一定期間変質すると固化体近傍でシリカが飽和し、変質速度は初期に比べ 4 衍低くなると言われており、その低くなった後の変質速度についてのモデル化研究が EC の下で GLAMOR として、進められている。その中で、変質層を通過するアクチニドとボロンの拡散の重要性が挙げられている。(参考 FEP : G4. 4)</p> <p>【JAEAによる判断】 地下水の温度、化学特性が、水和層中での核種移行現象に影響を及ぼすことが考えられる。</p>	<p>A : 間隙地下水の温度、化学特性が、水和層中での核種移行現象に影響を及ぼす。現在、水和層中における移行現象の、温度依存性や地下水組成による変化に関する実験や解析が実施されている。</p>
G4⑨：地下水の温度、組成などに依存する化学特性が、沈殿と沈殿物の再溶解現象に影響を及ぼす可能性。<化学、核種移行> G1. 2 → G4. 2 → G6. 4. 2, G4. 1 (→) G4. 2 → G6. 4. 2	<p>【文献からの知見】 温度勾配や化学特性と沈殿と沈殿物の再溶解現象との関連を具体的に示した報告の例は見られない。(参照 FEP : G6. 4. 2) 前述⑧と同様に、地下水の化学特性が沈殿や溶解現象へ影響を及ぼすことが考えられる。</p> <p>【JAEAによる判断】 下水の化学特性が沈殿や溶解現象へ影響を及ぼすことが考えられる。</p>	<p>A : 溶解度は温度等に依存すると考えられる。しかし温度勾配や化学特性と沈殿と沈殿物の再溶解現象との関連を具体的に示す報告の例は見られない。</p>

	<p>G4⑩：ガラス固化体の変質（水和層の形成）及び地下水の化学組成の変化が、固化体領域の間隙構造と共に、物質移動特性を変化させ、水和層中の核種移行（移流、拡散、吸着等）の進行に影響を及ぼす可能性。&lt;化学、核種移行&gt;</p> <p>G4. 4→G6. 2, G4. 2→G6. 2, G6. 3→G6. 2 G6. 2→G6. 5. 1, G6. 2→G6. 5. 2, G6. 2→G6. 5. 3, G6. 2→G6. 5. 4</p>	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>ガラス浸出／変質は方沸石の生成により加速されるが、一方、スマクタイトの生成する条件では、生成の有無に係わらずガラス浸出／変質速度は遅く、拡散過程に律速される。（参照 G4. 6）</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>スマクタイト生成条件では、水の拡散がガラス浸出／変質の律速過程になると考えられる。</p>	<p>B:既往の実験から、変質鉱物によってガラス浸出／変質速度が変化する。しかし、長期的評価のためには、データが不足しているため、一層の実験の積重ねと理論的な裏づけが必要である。</p>
放射線	<p>G5①：核種の放射性崩壊に伴う地下水への放射線が、地下水の組成を変化（酸化還元反応、ガス発生等）させる可能性。&lt;放射線、化学&gt;</p> <p>G5. 1→G5. 2→G4. 2</p>	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>オーバーパックの遮蔽効果によって、放射線強度は低い状態（最大でも <math>0.84[\text{mSv}/\text{h}]</math>）で推移し、生成酸化種と還元種は再結合し易く、オーバーパック腐食に伴って、地下水の中には還元雰囲気が形成される。</p> <p>オーバーパックの破損とされる 1,000 年以降においては、地下水がガラス固化体に接触した段階で <math>\alpha</math> 線による放射線分解が重要とされる。酸化種発生量は 10 万年後に <math>1,000\text{mol}</math> と想定される、SKB では放射線分解した地下水が核種移行挙動に与える影響を、実験を基に検討している。（参照 FEP : G5. 2, B6. 3. 6）</p> <p>核種崩壊に伴う放射線が地下水組成を変化させることが予想される。オーバーパックが健全な期間では、透過 <math>\gamma</math> 線による地下水の放射線分解が重要である。</p> <p><math>\alpha</math> 核種を添加したガラス固化体(SON68)をブームクリエー中に埋設し、Co でガンマ線照射しながら温度約 <math>30^\circ\text{C}</math> と <math>90^\circ\text{C}</math> で一定期間（最長 10 年）保管してガラスの変質が調べられ、約 3. 3 年経過後の状況として、<math>\alpha</math> 核種を添加したサンプルの方が添加していないものより変質層が僅かに厚くなっている、その厚さは <math>\alpha</math> <math>\beta</math> <math>\gamma</math> 放射能の増加と共に増えているらしい事などが報告されている。（参考 FEP : G5. 1）</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>還元能力は放射線分解の影響を考慮しない場合に比べ 10%程度失われるものの、地下水中的還元雰囲気は維持されると考えられる。また、地下水の放射線分解によるガス発生については、炭素鋼腐食による水素ガスの発生に比べれば無視できる程度のものと考えられる。</p>	<p>A:一般論として地下水の放射線分解と地下水組成の変化が起こる可能性がある。地下水の酸化還元状態だけではなく、pH も変化（低下）させるという指摘がある。</p> <p>D:（健全期間）オーバーパックの遮蔽効果によって、放射線強度は低い状態（最大でも <math>0.84[\text{mSv}/\text{h}]</math>）で推移し、地下水中の生成酸化種と還元種は再結合し易い（なおオーバーパック腐食に伴って水素が発生し、地下水の中には還元雰囲気が形成される）</p> <p>D:（破損後）:1,000 年以降においては、地下水がガラス固化体に接触した段階で <math>\alpha</math> 線による放射線分解が重要といわれている。酸化種発生量は 10 万年後に <math>1,000\text{mol}</math> と想定される。オーバーパックの腐食に伴う還元種発生により還元雰囲気は維持される。Kristallin-1 での解析でも、酸化状態が進展しないと評価している。</p>
	<p>G5②：核種の放射性崩壊によって放出された放射線が、固化体及びその周辺のバリア材料に対し放射線影響を及ぼす可能性&lt;放射線&gt;</p> <p>G5. 1(→)G1. 1, G5. 1(→)G2. 1, G5. 1(→)G3. 1, G5. 1(→)G4. 1, G5. 1(→)G6. 2</p>	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>ガラス固化体における特性への影響は特に <math>\alpha</math> 線による影響が重要で、数万年の照射線量に相当する量を照射した実験から、ガラス固化体の硬度とヤング率は照射量に対して指數関数的に減少すること、破壊靭性は増加すること、核種の浸出率の増加は 3 倍以下であること、難溶性核種の浸出、溶解度を制限する固相形態が変化する可能性があることなどの報告がある。臨界の影響についても懸念されているが、実験により影響が小さいという結果が得られている。また、ガラスの溶解は、マトリクスの自己照射によって、あるいは、周辺媒体の照射によって著しい影響を受けることはないとしている（参照 FEP : G3. 1, B6. 4. 1, G5. 2, G6. 2, ）</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>核種崩壊に伴う放射線が、ガラス固化体の化学特性に影響を及ぼすことが考えられる。しかし、影響は小さいものと考えられる。</p> <p>他バリア材への放射線の影響について検討が必要と考えられるが、影響は不明である。</p>	<p>A:核種崩壊に伴う放射線が、ガラス固化体の特性に影響を及ぼすことが考えられる。</p> <p>D(ガラス固化体)：核種崩壊に伴う放射線が、ガラス固化体の特性に影響を及ぼす程度については、安全評価上有意ではない。</p> <p>B(他バリア材)：他バリア材への放射線の影響はないと考えられるが、確認されていない。</p>
	<p>G6①：放射性崩壊に伴う固化体中の核種インベントリの変化が、移行する核種量の時間的变化をもたらす可能性。&lt;核種移行&gt;</p> <p>G5. 1→G6. 1→G6. 5</p>	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>核種崩壊に伴うインベントリの変化は、移行する核種量に時間的変動をもたらす。一般に放射性元素は、ガラス固化体からの溶出あるいは親核種からの崩壊に基づく濃度の変化により、ある濃度を超えると沈殿により放射性</p>	<p>A:放射性崩壊に伴う固化体中の核種インベントリの変化が、移行する核種量の時間的变化をもたらす可能性はある。現行評価で</p>

		<p>核種を含む固相を形成し、最終的には沈殿固相と間隙水とが化学平衡に達すると考えられる。このときこの固相の溶解度が、間隙水に対する放射性元素の濃度を与える。従って、ガラス固化体中のインベントリが増えても、固化体から溶出した Pu や Am などの難溶性元素の濃度は溶解度により制限されることになる。(参照 FEP : G4. 3, G6. 1)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>一般論として放射性崩壊に伴う固化体中の核種インベントリの変化が、移行する核種量の時間的変化をもたらす可能性はある。</p>	<p>は、核種移行は拡散支配であり、地下水中放射性物質濃度の上限は、対象核種を含む化学形の溶解度や、(間隙を構成する固体物質に対する)間隙水中平衡濃度によって決定される。従って、ガラス固化体中のインベントリが増えても、固化体から溶出した難溶性元素の濃度は化学種の溶解度あるいは間隙水中平衡濃度により制限されることとしている。</p>
物質移動	G6②：ガラス固化体中における同位体存在比の時間的変動が、核種の溶解や沈殿などに影響を及ぼす可能性。<核種移行、化学> G6. 1→G6. 4	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>ガラス固化体近傍あるいは緩衝材中での核種濃度は、同位体の存在比に応じて分配された化学種の溶解度あるいは平衡濃度により制限されるため、化学種の溶解度あるいは平衡濃度の変化により、直接的に時間的変動の影響を受ける。(参照 FEP : G6. 4. 2)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>同位体存在比の時間的変動が、溶解や沈殿へ影響を及ぼす可能性が考えられる。</p>	<p>A: 同位体の存在比により、元素の濃度が一定であっても、核種の液中濃度は変化するため、影響があると考えられる。</p>
	G6③：ガラス固化体領域における物質の拡散、移流、収着など移行特性が、水和層の形成及び地下水組成に影響を及ぼす可能性。<核種移行、化学、水理> G6. 2→G4. 4, G6. 2(→)G4. 2, G6. 2→G6. 5. 2, G6. 2→G6. 5. 1, G6. 2→G6. 5. 3	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>ガラス固化体の変質層は通常、拡散層(反応層/水和層)、ゲル層、及び析出層から構成され、拡散層では、ガラスの水和変質(ガラス中の Na 等とのイオン交換)が起こる。ガラス固化体中の拡散速度が大きくなると拡散層の拡大につながるが、溶解速度が Si の溶解に支配され、Si は緩衝材中での拡散による散逸が遅いことからガラス固化体近傍で長期的に飽和していると考えられる。</p> <p>移流、収着の移行特性が変質層の形成や地下水組成に及ぼす影響を示す報告の例は見られない。(参照 FEP : G4. 2, G6. 5. 3)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>拡散支配の物質移動形態である限り、ガラス固化体の溶解速度を増大させる可能性は低いと考えられる。</p>	<p>A : 一般的には、ガラス固化体の移行特性が、水和層や地下水組成に影響を及ぼす。</p> <p>D: 拡散支配の物質移動形態である限り、ガラス固化体領域の移流速度が変質層の形成・地下水組成変化を増大させる可能性は低いと考えられる。</p> <p>B: 長期評価上、ガラス固化体領域における物質の拡散、収着速度などの特性が、変質層の形成及び地下水組成に影響を及ぼす具体的なデータ取得の研究・評価が必要である。</p>
	G6④：水和層中における核種の拡散、収着、移流など移行特性が、ガラス固化体からの核種溶出量に影響を及ぼす可能性。<化学、核種移行> G6. 2 → G4. 4 → G4. 3 → G6. 4 , G6. 2(→)G4. 3→G6. 4	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>Cs では、Na の様な他の可溶性元素とのアナロジーから、拡散層での移行遅延は期待されるものの、ゲル層での移行遅延効果は考えにくい(インコングルエント溶解)とされている。他の核種では、ゲル層そのものも移行媒体として移行遅延に寄与することが考えられる。また、核種によっては、析出層での二次鉱物生成の際、同時に取り込まれて鉱物化することも考えられる。(参照 FEP : G6. 5, G6. 5. 3)</p> <p>原位置試験では、ガラス変質層厚さは、30°Cより 90°Cの方が約 20 倍大きくなる。Ca ベントナイト埋戻材に対して粉末ガラスフリットを添加すると、乾燥ブームクレイと比較してガラス変質層が 2 枝減少した[参考 FEP : G6. 2]。解析では、ガラス変質層がイオン交換層であるとして、拡散抑制イオン交換を考慮した変質モデルが開発された[参考 FEP : G6. 5. 2]。</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>変質層中の核種移行挙動は、注目する核種の化学形によって相違があると考えられる。</p> <p>拡散支配になることから、水和層中の移流の影響は小さいと考えられる。また収着について現状の性能評価では、移行遅延機能として考慮されていない。</p>	<p>B: 水和変質層中における移行特性、特に拡散・収着特性が、固化体からの核種溶出量に影響を及ぼすことは明白であるが、注目する核種の溶出挙動は、その化学形によって異なるので、実験等による解明が望まれる。ガラス固化体領域中の核種の拡散・収着挙動は、変質層領域(拡散層、ゲル層、析出層の 3 領域)で生じ、各領域での拡散係数。収着等のデータは充分ではないので、さらに必要である。</p>
	G6⑤：ガラス固化体の幾何形状・間隙構造の変化が、ガラス固化体成分の溶解現象に影響を及ぼす可能性。	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>ガラス固化体の形状/間隙構造が、ガラス成分の溶解現象へ影響を及ぼす可能性が考えられる。しかしガラス固化</p>	<p>B : ガラス固化体の形状・間隙構造の変化が、ガラス成分の溶解現象へ影響を</p>

<p>&lt;核種移行、化学&gt; G6. 3(→)G4. 3, G6. 3→G2. 2→G4. 4→G4. 3</p>	<p>体は溶解が進むに従って表面積が小さくなしていくと考えられるが、現状の性能評価上は表面積が一定として扱われている。</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>温度変動、溶解の進行、外力の変化に伴うひび割れの進行、<math>\alpha</math>線による損傷などによりガラス固化体の間隙構造が変化すると予想される。242Cm を含有する実規模ガラス固化体による浸出試験の結果より、割れが生じたときの浸出率の増加は、約 20~30%と示されている。</p>	<p>及ぼす。長期的な安全評価として温度変動、溶解の進行、外力の変化に伴うひび割れの進行、<math>\alpha</math>線による損傷などによりガラス固化体の間隙構造が変化すると予想される。しかし、それらの影響は明らかにはなっていないため、今後の検討が必要である。</p>
<p>G6⑥：難溶性核種からなる真性コロイドが、地下水コロイドに収着して疑似コロイドを形成し、ガラス固化体から漏洩する可能性。&lt;核種移行&gt; G4. 2 → G4. 7(→)G4. 3, G4. 2 → G4. 7(→)G6. 4, G4. 2→G4. 7→OP4. 8</p>	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>ガラス固化体の溶解に伴い溶出する放射性元素のうち、Pu や Am などの難溶性のものは、凝集により真性コロイドあるいは、真性コロイドが収着媒体となる擬似コロイドを形成しやすい性質を有することが知られており、コロイド形成により固化体から漏洩する。(参照 FEP : G4. 7, G6. 5. 4)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>真性コロイドが擬似コロイドを形成し、ガラス固化体から漏洩する可能性がある。しかしガラス固化体周辺環境におけるコロイド安定性についての知見は、未だ充分ではない</p>	<p>B: 真性コロイドが擬似コロイドを形成し、ガラス固化体から漏洩する可能性がある。しかし、コロイドの安定性についての知見は十分でない。</p> <p>D: ベントナイトのフィルトレーション機能が維持される場合は D 判定となる。</p>
<p>G6⑦：調和的に溶解した核種が、沈殿/溶解の現象を伴い拡散または移流支配でガラス固化体から溶出する可能性。&lt;核種移行&gt; G6. 4. 1(→)G6. 4. 2→OP6. 3</p>	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>基本的にガラス固化体は緩衝材に覆われた構造であり、緩衝材の遮水性能によって核種を含めた物質移動は、固化体及び緩衝材中とも拡散支配と考えられる。この場合、移動の駆動力となる濃度勾配をより小さく保つことができるので、核種の沈殿現象は物質移行抑制機能としても重要である。(参照 FEP : G6. 4. 2)</p> <p>高温(110°C)での模擬ガラス固化体の溶解・沈殿実験で、Th 及び U の溶解度の pH 依存性がそれぞれの水酸化物(固相)の溶解度データに近い結果が得られた[参考 FEP : G6. 4. 2]。既往研究を整理してイオン半径と実験的に求められた分配係数の関係により、固溶体の物性が元素分配に大きく影響を与える可能性を指摘した[参考 FEP : G6. 4. 2]。模擬ガラス固化体の変質で、二次結晶化層の沈殿が観測された。また、解析では元素ごとに沈殿を考慮したモデルが開発された[G6. 4. 2]。さらに、水飽和のガラス-鉄-地層系のモデル、モンテカルロ法で水和、ゲル形成、沈殿等を考慮したガラス溶解モデル、拡散層中のホウ素及びアルカリ化合物の拡散を考慮したモデルが開発された[参考 FEP : G6. 4. 1]</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>緩衝材の変質が起こり、遮水性が低下した場合、母岩の地下水水流動によっては移流支配となる可能性も考えられる。</p>	<p>A : 調和的に溶解した核種は、沈殿/溶解の現象を伴い拡散または移流支配でガラス固化体から溶出する。難溶性のアクチニド核種等は、各核種濃度の溶解度を越えた場合、沈殿固相を形成する。移流や拡散によって溶存核種が移動し濃度が減少すると、沈殿が再溶解する。</p>
<p>G6⑧：ガラス固化体中の核種の放射性崩壊が、水和層中での核種移行(移流、拡散等)に影響を及ぼす可能性。またその逆に、水和層中における核種の拡散、収着、移流などの移行の進行により、廃棄体の放射性崩壊や核種インベントリが変化する可能性。&lt;核種移行、放射線&gt; G5. 1→G6. 5, G6. 5→G5. 1→G6. 1</p>	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>水和変質は主にガラスの骨格を形成する Si の反応によるものであり、放射性核種の影響はない。固化体から核種が出て行くことにより核種のインベントリは減っていくが、インベントリの変化の範囲は変質層に限られる。廃棄体の放射性崩壊が影響を受けることはない。(参照 FEP : G6. 2)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>ガラス固化対中の核種の崩壊が、水和層中での核種移行に影響する可能性はあるが、影響は変質層に限られるとされ、低いと考えられる。</p>	<p>D: ガラス固化体領域中の核種崩壊の影響は変質層の伊津部にとどまると考えられるため、廃棄体自体への放射性崩壊に与える影響は少ないと考えられる。</p>
<p>G6⑨：ガラス固化体の成分溶解や応力による割れ等に依存した幾何形状・間隙構造の変化が、水和層中における核種の拡散、収着、移流などの物質移動特性を変化させ、移行現象に影響を及ぼす可能性。&lt;核種移行&gt; G6. 3→G6. 2G6. 2→G6. 5. 1, G6. 2→</p>	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>水和相中の物質移動特性は固化体の表面近傍での挙動であるが、幾何学形状、間隙構造の変化により新しい表面が表れてくると、水和層が形成される新たな反応が始まることになる。溶解により容積が小さくなつて表面積が小さくなるが、その効果は一般に考慮されていない。(参照 FEP : G6. 2)</p> <p>移行現象について、Tc 及び Re を含むガラス固化体を、</p>	<p>C : 幾何形状の変化が核種移行や物質移動に影響する可能性は、移行現象により Tc と Re の濃度分布に差が見られるという知見もあるため、存在すると思われるが、総合的には評価されていないため、C 判定と</p>

	G6. 5. 2G6. 2→G6. 5. 3, G6. 2→G6. 5. 4	VHT 法で処理した後、試料を X 線吸収分光(XAS)及び走査電子顕微鏡(SEM)で観測した結果、Tc と Re の濃度分布に差異が見られた。(参照 FEP : G6. 5) 【JAEAによる判断】成分溶解や割れに依存した幾何形状の変化が、水和層中の核種移行に影響する可能性はある。割れが進行すると表面積は増加する。一方、溶解の進行に伴って表面積が小さくなる。これらの影響が総合的には評価されていなかっため不明である。	する。
--	--	---	-----

Table I-2. 安全性への影響の可能性に関する理解の現状と相関の判定（オーバーパック）

現象	「安全性への影響の可能性」項目	理解の現状	相関の判定と、判定に関するコメント
温度	OP1①：核種崩壊に伴い発生する熱が、ガラス固化体、オーバーパック、緩衝材などの熱特性に依存して周辺バリア材へ伝播し、オーバーパックの埋設初期段階における温度上昇や時間的・空間的な温度変動をもたらす可能性。<熱> OP1. 2→B1. 2, OP1. 1→OP1. 2	【文献からの知見】核種崩壊に伴い発生する熱が、ガラス固化体、オーバーパック、緩衝材などの熱特性に依存してオーバーパックの温度上昇、温度変化を引き起す。緩衝材の熱変質防止の観点から、オーバーパック外表面温度が 100°Cを超えない様に、廃棄体間隔などの設計で対応することされている。なお、廃棄体間隔の検討では、空洞安定性から設定された最小処分坑道離間距離及びピッチの組合せでも、オーバーパックの最高上昇温度は 100°Cを下回る結果が得られ、緩衝材飽和度の上昇を考慮した連成解析では、熱解析の結果に比べて温度が低くなっている。(参照 FEP : OP1. 2) 【JAEAによる判断】核種崩壊に伴い発生する熱により、オーバーパックの温度上昇、温度変化を引き起す。しかしオーバーパックの温度が 100 度を超えないような設計は可能であると考えられる。	A : 崩壊熱による熱伝播が、オーバーパックの温度変化をもたらす。オーバーパック外表面温度が 100°Cを超えない様に、廃棄体間隔などの設計で対応することが求められており、解析の結果、オーバーパック温度が 100°Cを下回る様な処分場設計は可能である。
	OP1②：OP1①に示した熱伝導の過程において発生するオーバーパックの熱応力が、ガラス固化体に外力として作用し、固化体内部や表面に微細なひび割れなどを発生、進展させる可能性。<熱、応力> OP1. 2→OP3. 2→OP3. 3→G3. 3	【文献からの知見】オーバーパックの温度勾配に起因する熱応力が、ガラス固化体へ作用する可能性について直接関係する報告は見られないが、設計で見込まれるオーバーパックの寿命 1,000 年までの期間では、オーバーパックとキャニスター間に空隙があり、熱応力による荷重も腐食膨張等に比べて極めて小さい。オーバーパックにおける熱応力の解析から、発生応力の最大は胴部の蓋受け溝コーナーの不連続部で、134N/mm <sup>2</sup> と想定されている。(参照 FEP : OP3. 2) 【JAEAによる判断】ガラス固化体への接触、外力としての作用もなく、ひび割れの発生、進展に影響を及ぼす可能性はほとんどないと考えられる。	D : オーバーパック及び腐食生成物の熱伝導は緩衝材に比べ良好で、オーバーパック内の空間的温度差は少なく、熱応力も小さいといえる。 またオーバーパックにかかる外力がガラスに直接かかる可能性は、キャニスターとオーバーパック間に空隙が設定されるため、初期段階における接触の可能性は小さい。
	OP1③：OP1①に示した熱伝導の過程において発生する緩衝材の熱応力が、緩衝材の圧密、変形、膨潤現象、流出現象などに影響を及ぼす可能性。<熱、応力> OP1. 2→B1. 2→B3. 2	【文献からの知見】緩衝材に及ぼすオーバーパックの熱応力の影響に直接関係する解析の報告は見られないが、OP1②と同様に、オーバーパックの温度勾配に起因した熱応力による荷重は、腐食膨張等に比べて極めて小さい。(参照 FEP : OP3. 2, B3. 2) 【JAEAによる判断】熱応力による荷重は、腐食膨張等に比べて極めて小さいことから、緩衝材の圧密、変形、膨潤、流出に大きな影響を及ぼすとは考えにくい	D : 热荷重の影響評価(原環センタ)より、最大でも許容値(134N/mm <sup>2</sup> )と、比べると極めて小さい。
	OP1④：OP1①に示した熱伝導の過程において発生するオーバーパックの熱応力が、オーバーパックの溶接部等に存在する微小き裂に作用し、応力腐食割れなどを誘起させる可能性<熱、応力> OP1. 2→OP3. 2(→)OP4. 4,	【文献からの知見】地下水組成(緩衝材間隙水中の炭酸イオン濃度、pH、腐食電位等)が応力腐食割れを発生させる範囲になれば、オーバーパックの応力状態の変化により、応力腐食割れの発生、進展が助長される可能性がある。炭酸塩濃度と炭素鋼の応力腐食割れの感受性についての関連が研究されている。オーバーパック溶接部(特に外表面)の応力状態を決定する一要素として熱応力があるが、オーバーパックの応力状態に占める熱応力の依存性について解析した報告は見られない。(参照 FEP : OP4. 4, OP3. 2)	B (早期破損) : 応力腐食割れの発生は、熱応力の他に、地下水環境(炭酸塩+重炭酸塩濃度、pH、腐食電位、温度)にも大きく依存するが、長期評価の中での取り扱いとして B 判定を継続する

	<p><b>【JAEAによる判断】</b> 地下水組成により、応力腐食割れが助長する可能性がある。</p>	
OP1⑤：OP1①に示した温度上昇や温度変化が、オーバーパックと地下水との化学反応、腐食により生成した腐食生成物の化学組成等の化学特性値、あるいはオーバーパック、腐食生成物の弾性係数、ポアソン比などの力学特性値を変化させる可能性。<熱、化学、応力> OP1. 2(→)OP4. 1、OP1. 2(→)OP3. 1	<p><b>【文献からの知見】</b> 一般的に、温度上昇とともに腐食反応は加速することが知られている。また反応の環境によっては生成する腐食生成物種が異なる場合がある。例えば、鉄が 60°C 以下では Fe(OH)<sub>2</sub>、60°C 以上では Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> になるという報告がある。(参照 FEP : OP4. 3, OP3. 1)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> 温度上昇、温度変化により炭素鋼や腐食生成物の力学特性値が変化する可能性は存在するが、圧力変動に伴う腐食生成物の密度変化実験から推測すると、その影響の可能性は小さいと考えられる。</p>	D (力学特性値) : 温度変化による影響は小さいものと考えられるが、具体的な報告例は少ない。 C (化学特性値) : 一般に腐食反応は促進されることが知られているが、具体的には不明である。
OP1⑥：OP1①に示した温度上昇や温度変化が、オーバーパック破損後のオーバーパック領域内の水理特性を変化させ、地下水流动の現象に影響を及ぼす可能性。<熱、水理> OP1. 2→OP4. 3→OP4. 4(→)OP3. 3→OP6. 2→OP2. 1→OP2. 2	<p><b>【文献からの知見】</b> オーバーパックは、腐食の進行にともないその強度が周囲からの荷重を下回った段階で機械的に破損する。設計で見込まれるオーバーパックの寿命 1,000 年後において、オーバーパック周囲温度は 60°C 程度に、また 10,000 年後には処分場周辺岩盤の初期地温にほぼ等しくなると考えられている。(参照 FEP : OP2. 2)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> オーバーパック破損後における約 45~60°C の温度変化が、腐食生成物中の水理特性や地下水流动に及ぼす影響について示した報告は見られないが、その影響の可能性は小さいと考えられる。</p>	D (1000 年以降) : 周囲温度の低下から、影響は小さいものと考えられる。 B (早期破損) : オーバーパック早期破損により、高温度による水理特性の変化が考えられるが、水理特性や地下水流动に関する具体的な報告例は見られない。
OP1⑦：OP1①に示した温度上昇や温度変化が、オーバーパック破損後ににおけるオーバーパック領域内の溶解度、吸着、拡散などの核種移行現象に影響を及ぼす可能性。<熱、化学、核種移行> OP1. 2→OP4. 3→OP4. 4(→)OP3. 3→OP6. 2→OP6. 1→OP6. 3	<p><b>【文献からの知見】</b> 核種崩壊に伴った温度上昇や温度変化が、溶解度、吸着、拡散など核種移行に影響を及ぼす可能性は存在する。設計で見込まれるオーバーパックの寿命 1,000 年後において、オーバーパック周囲温度は 100°C 以下と推定されている。拡散係数や溶解度の温度依存性については、顕著でないことを示す報告がある。(参照 FEP : OP6. 3. 4, OP6. 3. 2)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> 1000 年後のオーバーパック周辺の温度は 60 度程度であり、人工バリア内での核種の移行挙動には直接的に影響を与えると考えられる。しかし拡散係数や溶解度の温度依存性は不明な点が多い。</p>	A : 拡散係数は、温度上昇に伴いブラウン運動していた分子の運動エネルギーが増加し、自由水中の拡散係数が増加する。また、温度上昇に伴い、間隙水の粘性が少なくなるため、物質が移動しやすくなるともいわれている。 D : (1000 年後) 1000 年後のオーバーパック周辺温度は 60°C 程度であり影響ないレベルと考えられる。
OP1⑧：OP1①に示した温度上昇や温度変化が、オーバーパック領域中の微生物活性、有機物、コロイド生成などに影響を及ぼす可能性。<熱、化学> OP1. 2→OP4. 2(→)OP4. 6、OP1. 2→OP4. 2→OP4. 7, OP1. 2→OP4. 2→OP4. 8	<p><b>【文献からの知見】</b> 処分環境での微生物の存在、生息可能性は、ベントナイト中に硫酸塩還元細菌などが存在し、有機物を栄養源として繁殖し得ることや、低 Eh 環境での生存が可能との報告があり、地下水中の有機物や生息に伴うガス発生、コロイド形成などに伴う影響が懸念された。コロイドと核種との化学作用については、人工バリア温度の低下後(1,000 年以降)であり、熱の影響は無視できると考えられている。(参照 FEP : OP4. 6, OP4. 7, OP6. 3. 4)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> 温度上昇や温度変化が、腐食生成物中の微生物、有機物、コロイドと核種との化学作用(錯形成等)に影響を及ぼす可能性が考えられる。</p>	D (コロイド) : 核種との化学作用については、人工バリア温度の低下後(1,000 年以降)であり、熱の影響は小さい。 B (コロイド) : 人工バリア温度が低下する前(1,000 年まで)にオーバーパックが早期破損した場合は、コロイドの形成及び核種との化学作用について考慮する必要がある。安全性の影響は、緩衝材のフィルタレーション効果が不明確であり B 判定とする。 C : 微生物活動や有機物への熱の検討は、今後サイト特定後の具体的な地質環境条件で明らかにされるものと考えられる。
OP2①：オーバーパックの腐食膨張あるいは破損によってオーバーパック領域の幾何形状・間隙構造が変化し、この要因によるオーバーパック領域の水理特性の変化により、オーバーパック領域における地下水流动現象	<p><b>【文献からの知見】</b> 腐食生成物の間隙構造の変化に伴う水理特性に関して、マグネタイトの透水係数に対する成型圧(密度)の影響に関する報告には、緩衝材より 3~4 オーダー高い数値の実験結果が示されている。(参照 FEP : OP2. 1)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p>	A : オーバーパックの腐食膨張、緩衝材の圧密等に起因した、腐食生成物等の間隙構造の変化が、水理特性や地下水流动を変化させるが、領域全体(OP 健全部、

水理	に影響を及ぼす可能性。<熱、化学、応力、水理> OP3. 4 → OP3. 3 → OP6. 2 → OP2. 1 → OP2. 2	オーバーパックの腐食膨張、破損あるいは緩衝材の圧密反力によって、オーバーパック領域の幾何形状・間隙構造が変化し、水理特性、地下水流动に影響を及ぼすことが考えられるが、直接関係する報告は見られない。	腐食生成物) に係わる具体的な報告例は見られない。
	OP2② : OP2①に示したオーバーパック領域における地下水流动現象の変化が、ガラス固化体領域における地下水流动現象に影響を及ぼす可能性。<水理> OP2. 2→G2. 2	<p><b>【文献からの知見】</b> オーバーパック破損後における地下水流动に関する、銅キヤニスタに微小開口(4mm、差圧 4.9Mpa)が生じた場合、水の浸入は 300 年程度継続し、600 年程度で腐食に使用された水がなくなるとの解析が示されている。(参照 FEP : OP2. 2)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> オーバーパックの破壊の後、腐食によるオーバーパック領域における地下水流动の変化が、ガラス固化体領域における地下水流动に影響を及ぼす可能性はあるが、緩衝材によってその内側の地下水流速が支配されていることを踏まえるとその影響は少ないと考えられる。しかし緩衝材の変質や劣化が生じたり、オーバーパックの早期破損が発生したりした場合は、オーバーパック領域と共にガラス固化体領域の地下水流动が変化することが考えられる。</p>	D (緩衝材健全) : 緩衝材飽和後は、オーバーパック領域内は拡散支配と考えられ、固化体領域への影響は小さい。 B (早期破損、緩衝材変質) : オーバーパック早期破損、緩衝材の変質等によって地下水流动が変化した場合の評価事例は見られない。
	OP2③ : OP2①に示した地下水流动現象の変化が、オーバーパック領域の地下水化学及びコロイド、有機物、微生物の物質移動特性などに影響を及ぼす可能性。<熱、化学、応力、核種移行、水理> OP2. 2 → OP4. 2 → OP4. 8 、 OP2. 2 → OP4. 2(→)OP4. 6 、 OP2. 2 → OP4. 2 → OP4. 7	<p><b>【文献からの知見】</b> 具体的な影響の可能性を示すデータは得られていない。</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> オーバーパック領域における流速は、種々の物質移動に影響を及ぼすが、緩衝材で地下水流速が制限されていることを考えるとその影響は少ないと考えられる。</p>	C : 微生物、ガスに関する判定は、C 判定とする。 D (緩衝材健全、コロイド) : オーバーパック領域の地下水流动が緩衝材の地下水流速で制限されていることを考えると、コロイド形成及び移動に及ぼすその影響は無視できる。安全性の影響は、緩衝材健全時は D 判定とする。 A : 緩衝材が劣化した場合には A 判定となる。
	OP2④ : OP2①に示した地下水流动現象の変化が、オーバーパック領域の核種移行、ガスによる核種移行及びオーバーパック領域を通過する核種の漏洩量などに影響を及ぼす可能性。<熱、化学、応力、核種移行、水理> OP2. 2→OP6. 3	<p><b>【文献からの知見】</b> 天然バリアの透水性が低く、動水勾配の大きさが数%以下の条件であれば、核種移行や通過する核種の漏洩量に影響を及ぼす様な可能性は低くなると考えられる。</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> オーバーパック領域内における地下水流动が、オーバーパック領域の核種移行、ガスによる核種移行及びオーバーパック領域を通過する核種の漏洩量などに影響を及ぼす可能性は否定できない。しかし、天然バリアの透水性、動水勾配の大きさといった条件を満たすサイトの場合は影響は小さいものと考えられる。</p>	C : 地下水流动が変化すれば、核種移行や核種の漏洩量に変化を及ぼすことが考えられるが、天然バリアの透水性が低く、動水勾配の大きさが数%以下のサイトであれば、核種移行や通過する核種の漏洩量への影響は小さい (サイト依存としてここでは C とする)。
	OP2⑤ : OP2③に示したオーバーパック領域における地下水化学とコロイド、微生物、有機物の物質移動特性の変化が、オーバーパック領域の微生物、有機物、コロイドと、核種との化学作用(錯形成、溶解度、吸着等)に影響を及ぼす可能性。<熱、化学、応力、核種移行、水理> OP2. 2→OP4. 2→OP4. 8→OP6. 3、OP2. 2 →OP4. 2(→)OP4. 6→OP4. 8→OP6. 3、OP2. 2→OP4. 2→OP4. 7→OP6. 3	<p><b>【文献からの知見】</b> 具体的な影響の可能性を示すデータは得られていない。</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> オーバーパック領域における地下水化学、コロイド、微生物、有機物の物質移動特性の変化が、オーバーパック領域の微生物、有機物、コロイドと、核種との化学作用(錯形成、溶解度、吸着等)に影響を及ぼす可能性は存在すると考えられる。</p>	B (コロイド) : 地下水化学は、コロイドと核種の化学作用に影響を及ぼす。安全性の影響は、緩衝材のフィルトレーション効果が不明確である D (コロイド) : 一方、物質移動特性の変化が、コロイドと核種の化学作用に及ぼす影響は無視できる。 C : 微生物、有機物に関する判定は、C 判定とする。
	OP3① : OP1⑤に示したオーバーパックあるいは腐食生成物の力学特性値の変化が、オーバーパックへ作用する外力や応力の状態に影響を及ぼす可能性。<熱、応力> OP1. 2(→)OP3. 1→OP3. 2	<p><b>【文献からの知見】</b> 充分なデータはない。特に腐食生成物の物性値がほとんど採取されておらず、その影響は不明である。(参照 FEP : OP3. 1)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> オーバーパック及び腐食生成物における、温度上昇/温度変化に伴う力学特性の変化が、応力状態に影響を及ぼす可能性は存在すると考えられるが、データが少なく不明である。</p>	A : 定量的に不明な点が多いが、定性的には否定できない現象である。温度起因によるオーバーパックや腐食生成物の力学特性値の変化が、応力状態に影響を及ぼすことに関する具体的な報告例は見られない。

応力	OP3②: 緩衝材／埋め戻し材の応力状態、オーバーパック溶接部の残留応力及び OP3①で示したオーバーパックへ作用する外力や応力の状態の変化により、オーバーパック表面にき裂を生じさせ、応力腐食割れに進展する可能性。<熱、応力、化学> B3. 2 → OP3. 2( → )OP4. 4 、 OP1. 2(→)OP3. 1→OP3. 2(→)OP4. 4	【文献からの知見】 直接関係する報告は見られない。（参照 FEP : OP4. 4, OP3. 3） オーバーパック溶接部で応力腐食割れが進展する可能性はあるが、応力腐食割れの進展する環境条件が整わないために、その発生の可能性は低いとされている。 【JAEAによる判断】 オーバーパックへ作用する外力や応力状態の変化が、オーバーパック表面にき裂を生じさせる可能性が考えられる。地下水組成（緩衝材間隙水中の炭酸イオン濃度、pH、腐食電位等）が応力腐食割れを発生させる範囲になれば、オーバーパックの応力状態の変化により応力腐食割れの発生、進展が助長される可能性がある。しかし、オーバーパックの応力状態、溶接箇所、外力等の変化による腐食の進展に関する具体的な報告例はない。	B（早期破損）：応力腐食割れの発生は、炭酸塩濃度やpH等の地下水環境に大きく依存するが、オーバーパックの応力状態、溶接箇所、外力等の変化による腐食の進展に関する具体的な報告例はない。
	OP3③: オーバーパックの製造、運搬、定置など作業時に発生する初期きずにより発生する微細なき裂に応力集中が生じ、応力腐食割れに進展する可能性。<応力、化学> OP3. 1→OP3. 2(→)OP4. 4	【文献からの知見】 製造や運搬により発生する初期欠陥が及ぼす影響を示す報告は見られない。（参照 FEP : OP3. 3, OP4. 4） 【JAEAによる判断】 OP3②の理解の現状に示した様に、環境条件によって応力腐食割れが生じるとされているが、報告例はない。	B：初期欠陥に伴う応力腐食割れの発生、進展に関する具体的な報告例はない。
	OP3④: OP3②、OP3③に示した応力腐食割れにより、オーバーパックが破損し、ガラス固化体への地下水の浸入やガラス固化体からの核種移行を生じさせる可能性。<熱、応力、化学、水理、核種移行> OP4. 4(→)OP3. 3→OP6. 2→OP6. 1→OP6. 3	【文献からの知見】 応力腐食割れを起点とした核種移行に関する報告は見られない。（参照 FEP : OP3. 3, OP4. 4） 【JAEAによる判断】 応力腐食割れが発生すると炭素鋼オーバーパックは破損し、ガラス固化体への地下水の浸入やガラス固化体からの核種移行が予想される。 設計で見込まれるオーバーパックの寿命 1,000 年よりも早期に応力腐食割れが起こった場合、周囲温度も高く、オーバーパック内面が腐食しガラス固化体に接触し、固化体のひび割れ/破壊、核種の溶解へ進展する現象が促進されることが考えられる。	B（早期破損）：破損した場合には、ガラス固化体への地下水の浸入、核種移行を生じることが考えられるが、応力腐食割れを起点とした核種移行に関する報告例は見られない。
	OP3⑤: オーバーパックの腐食膨張により、緩衝材の応力状態に変化を及ぼす可能性。<応力、化学> OP3. 4→B3. 2	【文献からの知見】 オーバーパックの腐食膨張によって、緩衝材の応力は増加する。オーバーパックの腐食後の体積は、腐食前の 3 倍になると仮定されている。しかしオーバーパックの腐食膨張のみを考慮した場合、緩衝材厚さの減少による核種の移行促進効果よりも緩衝材の圧縮による核種の移行抑制効果の方が大きいという報告がある。 オーバーパックの腐食膨張による緩衝材に生じる応力の測定が、緩衝材の力学的変形挙動を評価のためのモデル及び設定したパラメータの妥当性を確認するために行われている。（参照 FEP : OP3. 4, OP3. 2, OP3. 5） 【JAEAによる判断】 応力の状態は変化すると考えられる。	A：オーバーパックの腐食膨張によって、緩衝材の応力は増加する。
	OP3⑥: OP3⑤に示す緩衝材の応力に対する反力がオーバーパックに作用し、この反力及び母岩クリープ変形、地下水圧等によりオーバーパックが変形、破壊する可能性。<化学、応力> OP3. 2→B3. 2→OP3. 2→OP3. 3	【文献からの知見】 オーバーパックに作用する有効応力は、腐食膨張が完了する 4,750 年後で 3.3MPa、オーバーパックの寿命期間である 1,000 年経過した時点では 1.0MPa 程度である。1,000 年後の時点で、オーバーパックは 40mm まで腐食が進行し、残りの厚さ 150mm は健全として残っているとし、厚さ 150mm の炭素鋼の許容耐圧は、23MPa 程度で、静水圧を 10MPa と仮定しても、オーバーパックの耐圧には十分な裕度がある。さらなる長期間のオーバーパックの腐食により肉厚が減少することで、周囲の圧力に耐えられなくなり破壊する状況の報告例が数件ある。（参照 FEP : OP3. 3, OP3. 4） 【JAEAによる判断】 知見による解析結果からは 1000 年以前にオーバーパックの圧力による破壊は無いと考えられる	A：全面腐食に外力が加わった解析が実施されており、オーバーパックの耐圧性で充分 1,000 年まで破壊されないとしている。オーバーパックは肉厚の減少による耐圧が外力を下回った時点で破壊する。
	OP3⑦: オーバーパックの腐食膨張により、ガラス固化体の応力状態に変化を及ぼし、ガラス固化体にひび割れ、破壊が生じる可能性。<応力、	【文献からの知見】 オーバーパックは耐圧と充分な腐食代が見込まれて設計され、またキャニスター－オーバーパック間に空隙が設定される。（参照 FEP : OP3. 2, OP3. 3）	D（破損前）：オーバーパックの全面腐食に基づき、腐食代が考慮されており、キャニスターとオーバーパック

	<p>化学&gt; OP3. 4→OP3. 3→G3. 3</p> <p>しかし、オーバーパックの腐食膨張による体積増加が 3倍程度となる報告もある。</p> <p>【JAEAによる判断】</p> <p>設計から、オーバーパックが健全な期間中は、ガラス固化体に直接外力が加わる可能性は少ないと考えられている。オーバーパックの早期欠損などによる間隙水の浸入から、内面が腐食しガラス固化体に接触し、固化体のひび割れ/破壊、核種の溶解へ進展することが考えられる。</p>	<p>ク間に空隙を設定することでガラス固化体に外力がかからない様に設計されている。</p> <p>A (破損後) : 間隙水の浸入から、内面が腐食しガラス固化体に接触し、固化体のひび割れ/破壊、核種の溶解へ進展することが考えられる。</p>
	<p>OP3⑧: オーバーパックの自重による沈下により、緩衝材圧密状態に影響を及ぼす可能性。&lt;応力&gt; OP3. 5→B3. 2</p> <p>【文献からの知見】</p> <p>オーバーパックの自重沈下及び腐食膨張によって緩衝材は圧密される。レファレンスケースでの保守的な設定の場合、10,000 年後の沈下量は 2.6~5.1mm であったが、長期圧密試験から予測した解析では、1 万年後の沈下量は、評価のバラメータの取り方によって 5mm~100mm と幅があることがわかった。(参照 FEP : OP3. 5)</p> <p>【JAEAによる判断】</p> <p>圧密に相対する空隙(移行経路)の形成や、圧密沈下に伴う緩衝材の密度増大による影響などが考えられるが、具体的な影響の可能性を示すデータは得られていない。</p>	<p>A : オーバーパックの自重沈下、腐食膨張によって緩衝材は、圧密される。オーバーパック沈下挙動の実験例は少なく、ベントナイトの圧密試験に基づいた解析評価が実施されている。</p>
化学	<p>OP4① : OP1①に示す温度変化、あるいは緩衝材/埋め戻し材領域の地下水化学の変化に起因してオーバーパック領域の地下水化学が変化し、オーバーパックの不動態化挙動及び腐食形態に影響を及ぼす可能性。&lt;熱、化学&gt; OP1. 2→OP4. 2→OP4. 3→OP4. 4、B4. 2→OP4. 2→OP4. 3→OP4. 4</p> <p>【文献からの知見】</p> <p>「第 2 次取りまとめ 分冊 3<sup>(6)</sup>」では、濃度勾配、拡散、反応速度を考慮して、地下水化学の長期的な経時変化について解析した結果、熱力学平衡モデルが長期間にわたって継続すると評価されている。地下水環境は、処分初期の酸化性環境と地下深部本来の還元性環境に大別され、全面腐食、局部腐食、応力腐食割れの腐食形態別に、生起の可能性や進行速度について検討が進められている。具体的にはサイト選定後において、サイト固有の地下水組成に応じた評価が必要となる。</p> <p>セメントが使用された場合の炭素鋼の腐食形態に及ぼす影響が評価されており、炭素鋼が不動態化しうるのはセメント材料として普通ポルトランドセメントを用いた場合にほぼ限定され、低アルカリ性セメントを用いた場合には不動態化せず、局部腐食はほとんど生じないことが明らかになった。(参照 FEP : OP4. 1, OP4. 3)</p> <p>【JAEAによる判断】</p> <p>崩壊熱による温度変化、緩衝材領域の地下水化学の変化に起因してオーバーパック領域の地下水化学が変化し、腐食挙動へ影響を及ぼす可能性が考えられる。</p>	<p>B : 温度変化、緩衝材領域の地下水化学の変化(酸化性、還元性環境)に起因した、オーバーパックの不動態化挙動及び腐食形態への影響は、現在検討課題として種々の実験等が行われている。処分初期の溶存酸素が存在する酸化性雰囲気における不動態化の生起の判断は、JNC では pH が 9.5 以上でなければ不動態化は起こらないとしている。不動態化しないオーバーパック表面では、酸素の還元反応→水の還元反応による全面腐食が支配的となる。しかしながら、不動態化の臨界 pH は、温度や溶存イオン形態など環境因子に影響されると考えられているため、安全機能の観点から長期的な評価を考えた場合には、不確実性が残るため、B 判定とする。</p>
	<p>OP4② : OP4①に示した要因により、オーバーパックの全面腐食が進展する可能性。&lt;熱、化学&gt; OP1. 2→OP4. 2→OP4. 3→OP4. 4、B4. 2→OP4. 2→OP4. 3→OP4. 4</p> <p>【文献からの知見】</p> <p>圧密ベントナイト接触下においては、炭素鋼は不動態化せず腐食形態は全面腐食であるとの見方が支配的である。還元性雰囲気下での炭素鋼の全面腐食速度の温度依存性は 50~100°C の間で 2 倍程度と報告されている。しかし、温度変化に伴う緩衝材の変質や普通ポルトランドセメントが使用される場合などの緩衝材間隙水の組成によっては不動態化する可能性は否定できず、不動態化すると、酸化性雰囲気下で局部腐食が進展する可能性が指摘されている。(参照 FEP : OP4. 3, OP4. 4)</p> <p>【JAEAによる判断】</p> <p>普通ポルトランドセメント OPC を用いた場合、高 pH 領域になるので、オーバーパックは不動態化する可能性が考えられる。</p>	<p>A : 圧密ベントナイト接触下においては、炭素鋼は不動態化せず腐食形態は全面腐食であるとの見方が一般的といえる。一方、普通ポルトランドセメント OPC を用いた場合、高 pH 領域になるので、オーバーパックは不動態化する可能性が考えられる。腐食形態の統一された見解には至っていない。</p>
	<p>OP4③ : OP4①に示した要因によりオーバーパック表面が不動態化し、孔食あるいはすき間腐食等の局部腐食またはそれに起因した応力腐食割れ</p> <p>【文献からの知見】</p> <p>炭素鋼オーバーパックに応力腐食割れが発生、進展するか否かは地下水組成(緩衝材間隙水中の炭酸イオン濃度、pH、腐食電位等)に依存すると考えられている。</p>	<p>B : オーバーパックが不動態化した条件下では、局部腐食が生ずる可能性が高い。地下水中に塩化物イオ</p>

<p>が発生、進展する可能性。&lt;化学、力学&gt; OP1. 2→OP4. 2→OP4. 3→OP4. 4、B4. 2→OP4. 2→OP4. 3→OP4. 4</p>	<p>セメントが使用された場合の炭素鋼の腐食形態に及ぼす影響が評価されており、炭素鋼が不動態化しうるのはセメント材料として普通ポルトランドセメントを用いた場合にほぼ限定され、低アルカリ性セメントを用いた場合には不動態化せず、局部腐食はほとんど生じないことが明らかになった。(参照 FEP : OP4. 2, OP4. 3, OP4. 4)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>温度変動や地下水化学の変化から、炭素鋼オーバーパック表面が不動態化すれば、酸化性雰囲気下で孔食、すきま腐食のような局部腐食が進展する可能性は存在する。</p>	<p>ンなどの不動態化被膜破壊型のアニオンが共存すると、酸化性環境下で不動態被膜が局所的に破壊され、局部腐食（孔食/すきま腐食）が生起することが考えられる。</p>
<p>OP4④：OP3②、OP3③に示したオーバーパックへ作用する応力の状態の変化に加えて、地下水組成、溶存酸素濃度、温度等の地下水化学の変化により、応力腐食割れが発生、進展する可能性。&lt;応力、化学&gt; OP3. 2(→)OP4. 4、OP4. 2→OP4. 3→OP4. 4</p>	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>応力及び地下水化学の変化が応力腐食割れの発生、進展につながるかどうか、具体的な報告例は見られない。(参照 FEP : OP3. 2, OP4. 2, OP4. 4)</p> <p>重要なのは <math>\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-}</math> 中の応力腐食割れであるが、これが起こるのは弱酸性 (<math>\text{pH} \sim 6</math>)、アルカリ (<math>\text{pH} = 10 \sim 11</math>) であり、ペントナイト間隙水の <math>\text{pH}</math> (<math>\sim 7.3</math>) から離れている。また、応力腐食割れが進展するには繰り返し応力が必要である。ただし、所定の環境条件が揃わなければ、応力の状態に関係なく応力腐食割れは発生しないと考えられている。</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>地下水組成(緩衝材間隙水中の炭酸イオン濃度、pH、腐食電位等)が応力腐食割れを発生させる範囲になれば、オーバーパックへ作用する応力の状態の変化により応力腐食割れの発生、進展が助長される可能性がある。</p>	<p>B：応力及び地下水化学の変化が応力腐食割れの発生、進展につながるかどうか、具体的な報告例は見られない。局部腐食を経由した応力腐食割れは、処分環境条件などを踏まえると、炭酸塩、塩化物、OP 製作条件などに起因する可能性が指摘されている。</p>
<p>OP4⑤：OP4②に示した腐食の進行によりオーバーパック表面に腐食生成物が生成され、オーバーパックの腐食進行速度等に影響を及ぼす可能性。&lt;化学&gt; OP4. 4→OP4. 5→OP4. 3→OP4. 4</p>	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>一般的には、炭素鋼表面に生成した腐食生成物は腐食を抑制すると考えられている。一方、炭素鋼表面にマグネタイト (<math>\text{Fe}_3\text{O}_4</math>) を付与すると還元性雰囲気下での腐食速度が著しく増大するとの研究結果が報告され、大きな議論となっているが、結論には至っていない。(参照 FEP : OP4. 5)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>腐食の進行によって生成された腐食生成物が、腐食進行に影響を及ぼすことは明らかであると考えられるが、結論は出ていない。</p>	<p>B：腐食の進行によって生成された腐食生成物が、腐食進行に影響を及ぼすことは明らかである。ただし、安全機能の観点から長期的な評価を考えた場合には、不確実性が残るため、B 判定とする。</p>
<p>OP4⑥：緩衝材領域に生息する微生物の影響により、オーバーパックの腐食形態及び腐食進行に影響を及ぼす可能性。&lt;化学&gt; OP4. 6→OP4. 4、OP4. 6→OP4. 2→OP4. 3→OP4. 4</p>	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>緩衝材中には炭素鋼の腐食形態や腐食速度に影響を及ぼす微生物が存在するが、還元性環境下で生息する代表的な微生物である SRB(硫酸塩還元細菌)は圧縮ペントナイト中ではスマクタイトの空隙サイズの関係でほとんど活性を維持できないことが確認されている。(参照 FEP : OP4. 6)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>ペントナイトが変質した場合の影響については別途の評価が必要。</p>	<p>C：微生物に関する判定は、C 判定とする。</p>
<p>OP4⑦：地下水あるいは腐食生成物との還元反応により発生する水素ガスがオーバーパック中に吸収され、水素脆化割れ、水素誘起割れを引き起こす可能性。&lt;化学、応力&gt; OP4. 3→OP4. 4、OP4. 5→OP4. 3→OP4. 4</p>	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>100°C、10MPa の水素ガス雰囲気下で炭素鋼中に吸収される水素量は 0.02~0.03ppm 程度との報告があり、この水素吸収量は低炭素鋼に水素脆化割れを生じさせるには全く不充分な量であることが一般産業界での経験から知られている。但し、更なる広範囲の条件下での確認が必要である。(参照 FEP : OP4. 4, OP4. 9)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>腐食に伴い発生する水素ガスがオーバーパック中に吸収され、水素脆化割れを引き起こす可能性は極めて少ないと考えられる。</p>	<p>D：腐食に伴い発生する水素ガスがオーバーパック中に吸収され、水素脆化割れを引き起こす可能性は極めて少ないと考えられる。</p>
<p>OP4⑧：オーバーパック表面と接触する緩衝材の鉱物組成、オーバーパック組成などの化学特性の違いが、オーバーパックの腐食形態及びその進行に影響を与える可能性。&lt;化学&gt;</p>	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>還元性条件下の炭素鋼の全面腐食速度に及ぼす溶液組成(各種アニオン、カチオン)の影響は少ないことが報告されている。一方、還元性条件下における炭素鋼の腐食速度に及ぼす化学組成の影響について系統的な研究例はな</p>	<p>D (全面腐食)：還元性条件下の炭素鋼において、溶液組成(各種アニオン、カチオン)の全面腐食速度に及ぼす影響は小さいとされ</p>

B4. 1→B4. 3→B4. 2→OP4. 2→OP4. 3→OP4. 4、OP4. 1→OP4. 3→OP4. 4	<p>い。また、ベントナイトは天然材料であり、ある程度のばらつきにも対応できる広範囲な検討が必要である。(参照 FEP : OP4. 4)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>還元性条件下における炭素鋼の腐食速度に及ぼす化学組成の影響について系統的な研究例はないが、オーバーパックの対象となる低炭素鋼の範囲での鋼材組成の影響は少ないものと考えられる。</p>	ている。
OP4⑨ : OP4②、OP4③、OP4④、OP4⑤に示したオーバーパックの腐食進行、腐食生成物の生成等に起因するオーバーパック領域の地下水化学の変化が、オーバーパック破損後のガラス固化体領域における地下水化学に影響を及ぼす可能性。<化学> OP4. 2→G4. 2	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>具体的な影響の可能性を示すデータは得られていない。また、ガラスマトリクスの溶解挙動は、固化体組成、温度、溶液組成等に影響されるが、長期的には溶性ケイ酸濃度が重要なパラメータになるとされている。(参照 FEP : G4. 2, OP4. 3, OP4. 5)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>オーバーパックの腐食進行、腐食生成物の生成等に起因するオーバーパック領域の地下水化学の変化が、オーバーパック破損後のガラス固化体領域における地下水化学に影響を及ぼす可能性は存在すると考えられる。また、オーバーパック破損後においてガラス固化体と接触する間隙水は、緩衝材と共に、腐食生成物との反応も考慮する必要がある。</p>	A : オーバーパックの腐食進行、腐食生成物の生成等に起因するオーバーパック領域の地下水化学の変化が、オーバーパック破損後のガラス固化体領域における地下水化学に影響を及ぼすと考えられるが、具体的な報告例は見られない。
OP4⑩ : OP4②、OP4③、OP4④に示した腐食、応力腐食割れ等の進行により、オーバーパックが破損し、ガラス固化体への地下水の浸入及びガラス固化体からの核種移行が生じる可能性。<化学、応力、水理、核種移行> OP4. 4 → OP4. 5 → OP3. 4 → OP3. 3 → OP6. 2 → OP6. 1 → OP6. 3 、 OP4. 4(→)OP3. 3 → OP6. 2 → OP6. 1 → OP6. 3	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>腐食、応力腐食割れ等の何等かの原因により炭素鋼オーバーパックに早期の貫通欠損が生じた場合には、ガラス固化体領域への間隙水の浸入及びガラス固化体からの核種移行は避けられない。なお、非晶質の鉄鉱物が結晶化する際にウランが結晶構造中に取り込まれるとの報告があり、腐食生成物には岩石や緩衝材と同程度の収着能力が期待できる。(参照 FEP : OP3. 3, OP6. 3. 3)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>腐食生成物によるバリア機能の可能性もあるが、基本的にはオーバーパックの閉じ込め性喪失後、核種は必ず移行を開始する。</p>	A : 腐食生成物によるバリア機能も考えられるが、最終的には固化体領域への地下水侵入、ガラス固化体の溶解、核種移行が起こることは避けられない。
OP4⑪ : OP4⑩に示したオーバーパックの破損によるガラス固化体への地下水の侵入が、オーバーパック領域の物質移動現象を左右し、地下水化学、コロイドの形成、有機物及び微生物の化学特性などに影響を与える可能性。<熱、応力、化学、水理、核種移行> OP6. 3(→)OP4. 2、OP6. 3(→)OP4. 7、OP6. 3(→)OP4. 6、OP6. 3(→)OP4. 8	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>具体的な影響の可能性を示すデータは得られていない。具体的にはサイト選定後において、サイト固有の地下水化学や地下水流動に応じた評価が必要である。</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>オーバーパックの破損によるガラス固化体への地下水の侵入が、オーバーパック領域の物質移動を左右し、地下水化学、コロイドの形成、有機物及び微生物の化学特性などに影響を及ぼす可能性が考えられる。</p>	B (コロイド) : 地下水化学は、コロイドと核種の化学作用に影響を及ぼす。安全性の影響は、緩衝材のフィルトレーション効果が不明確であるためB判定とする。 C : (微生物、有機物) 微生物、有機物に関する判定は、サイト固有の地下水化学や地下水流動に応じた評価が必要であり、C判定とする。
OP4⑫ : OP4⑩に示す要因によってオーバーパック領域における地下水化学が変化し、緩衝材/埋め戻し材領域の地下水化学に影響を及ぼす可能性。<化学> OP6. 3(→)OP4. 2→B4. 2	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>具体的な影響の可能性を示すデータは得られていない。</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>オーバーパックの破損/破壊に伴うオーバーパック領域の地下水化学の変化が、緩衝材領域の地下水化学に影響を及ぼす可能性が考えられる。</p>	B : 腐食に伴う地下水化学の変化により、緩衝材領域における地下水化学への影響が考えられるが、具体的な報告例は見られない。
OP4⑬ : オーバーパック領域において形成されたコロイドが、オーバーパック破損後のガラス固化体領域におけるコロイドの形成現象に影響を及ぼす可能性。<化学> OP4. 8→G4. 7	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>具体的な影響の可能性を示すデータは得られていない。</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>オーバーパック領域において形成されたコロイドが、オーバーパック破損後のガラス固化体領域におけるコロイド形成に影響を及ぼす可能性が考えられる。今後サイト選定後において、サイト固有の地下水化学や地下水流動に応じた評価が必要である。</p>	B : ガラス固化体で、コロイドが生成するか否かについての知見は充分ではないので、B判定とする。

	<p>OP4⑭ : OP4⑬に示すガラス固化体領域のコロイド形成現象及びオーバーパック領域におけるコロイド形成現象が、緩衝材領域の地下水化学を変化させ、緩衝材/埋め戻し材領域のコロイドの形成現象に影響を及ぼす可能性。&lt;化学、核種移行&gt; OP4. 8→G4. 7→OP4. 8→B4. 7</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> 具体的な影響の可能性を示すデータは得られていない。 <b>【JAEAによる判断】</b> ガラス固化体領域(真性コロイド)及びオーバーパック領域(鉄酸化物、鉄水酸化物コロイド)におけるコロイド形成が、緩衝材領域の地下水化学を変化させ、緩衝材領域のコロイド形成に影響を及ぼす可能性が考えられる。今後サイト選定後において、サイト固有の地下水組成に応じた評価が必要である。</p>	B (コロイド) : ガラス固化体及びオーバーパック内でのコロイドの形成が緩衝材内のコロイドの形成に影響する可能性はあるが知見は十分でなくB判定とする。
	<p>OP4⑮ : OP4⑦の要因により発生した水素ガスが、ガスによる核種の移行に影響を及ぼす可能性。&lt;熱、化学、放射線、応力、水理、核種移行&gt; OP4. 4→OP4. 3→OP4. 2→OP6. 3. 6</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> 炭素鋼オーバーパックの腐食によって発生した水素ガスは、ガスの移行に伴う緩衝材中間隙水の排出により、核種移行を促進させる可能性が考えられるが、溶存水素の拡散により移行する量は僅かであり、オーバーパックと緩衝材界面に蓄積されると推測されている。(参照 FEP : OP4. 4, OP6. 3. 6) <b>【JAEAによる判断】</b> 拡散によって移行する量は僅かであり、水素ガスの殆どはオーバーパックと緩衝材の界面に蓄積するものと考えられており、ガスによる核種の移行に影響を及ぼす可能性は低いと考えられる。</p>	C : 拡散によって移行する量は僅かであり、水素ガスの殆どはオーバーパックと緩衝材の界面に蓄積するものと考えられており、ガスによる核種の移行に影響を及ぼす可能性は低いと考えられる
	<p>OP4⑯ : オーバーパックの腐食膨張により緩衝材/埋め戻し材の応力状態を変化させ、緩衝材が破断に至る可能性。&lt;化学、力学&gt; OP3. 4→B3. 2→B3. 4</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> 「第2次取りまとめ 分冊3<sup>(6)</sup>」では、オーバーパック周辺とオーバーパック隅角部で応力がほぼ限界状態にあるものの、緩衝材厚さ全部には及んでおらず、全体的な破壊には至っていないと考えられる。(参照 FEP : B3. 2) <b>【JAEAによる判断】</b> 今後、緩衝材や腐食生成物の物性値、腐食膨張による荷重等が明確になった段階で再度検討が行われるものと考えられ、「第2次取りまとめ 分冊3<sup>(6)</sup>」に示された様に破壊にまでは至らないというのが一般的である。</p>	D : 「第2次取りまとめ 分冊3 <sup>(6)</sup> 」に示された様に破壊にまでは至らないというのが一般的である。
	<p>OP4⑰ : OP⑩に示したコロイド形成、有機物、微生物の化学特性の変化が、オーバーパック領域中の、核種移行現象や、ガスによる核種の移行などに影響を及ぼす可能性。&lt;熱、化学、放射線、水理&gt; OP4. 8→OP6. 3、 OP4. 6→OP4. 8→OP6. 3、 OP4. 7→OP4. 8→OP6. 3</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> 具体的な影響の可能性を示すデータは得られていない。 <b>【JAEAによる判断】</b> オーバーパック領域におけるコロイド形成が、オーバーパック領域の地下水化学を変化させ、核種移行現象に影響を及ぼす可能性が考えられる。</p>	<p>D (コロイド) : オーバーパック領域におけるコロイド形成がその領域内の核種移行に影響を及ぼす可能性はあるが、安全性の影響は無視できる。 C : (微生物、有機物) 微生物、有機物に関する判定は、サイト固有の地下水化学や地下水流動に応じた評価が必要であり、C判定とする。</p>
	<p>OP4⑱ : オーバーパック腐食生成物がコロイドを形成する可能性及び緩衝材領域に生息する微生物が、オーバーパック内でのコロイド形成に影響を及ぼす可能性。&lt;核種移行、化学&gt; OP4. 6→OP4. 8→OP6. 3</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> 処分環境におけるオーバーパックの腐食で生成する腐食生成物、溶存鉄は二価鉄が主体であり、コロイド化しやすく且つ水中で安定なコロイドとして存在する。特に、安定なコロイドとして水酸化第一鉄コロイド (<math>\text{Fe(OH)}_2</math>) の形成が考えられる。 <b>【JAEAによる判断】</b> オーバーパック腐食に伴う腐食生成物コロイドの形成及び微生物活動による腐食生成物コロイド形成への影響は考慮する必要がある</p>	<p>B (コロイド) : オーバーパック腐食に伴う腐食生成物コロイドの形成及び微生物活動による腐食生成物コロイド形成への影響は考慮する必要がある。安全性の影響は、緩衝材のフィルトレーション効果が不明確でありコロイドの影響はB判定とする。 C (有機物、微生物、ガス) 影響はサイトに依存して変化すると思われるため、C判定とする</p>
放射線	<p>OP5① : オーバーパック領域における放射性核種からの放射線による地下水の放射線分解により生成した水素ガス、酸化性化学種等が、オーバーパック領域の地下水化学に影響を及ぼす可能性。&lt;放射線、化学&gt; G5. 1→OP5. 1→OP5. 2→OP4. 2</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> 具体的な影響の可能性を示すデータは得られていない。 緩衝材に関して示している「第2次取りまとめ 分冊3<sup>(6)</sup>」には、ガラス固化体から浸出、収着された核種のα崩壊の影響については、崩壊による反跳核の影響で、結晶構造の変化や収着特性に影響を及ぼす可能性が指摘されたが、影響を受けるスメクタイトは数%程度と推定され</p>	<p>A (早期破損) : オーバーパック内部に侵入した水の放射線分解が考えられる。その場合、地下水への放射線が地下水の組成を変化(酸化還元反応、ガス発生等)させる可能性が考えら</p>

		<p>ることや、損傷による変質物質が吸着性能を有することなどから、核種移行に有意な影響はないとしている。(参照 FEP : B5. 1)</p> <p>酸化剤が生じたとしても、充分な量の還元物質(腐食生成物、地下水中の還元物質等)が存在し、還元性雰囲気が保たれると考えられる。(参照 FEP : OP5. 2)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>オーバーパック領域における放射性核種からの放射線により、地下水の放射線分解により生成した水素ガス、酸化性化学種等が、オーバーパック領域の地下水化学に影響を及ぼす可能性が考えられる。しかし、酸化剤が生じたとしても、充分な量の還元物質(腐食生成物、地下水中の還元物質等)が存在し、還元性雰囲気が保たれると考えられる。</p>	<p>れる。</p> <p>D (OP1000 年以降破損) : 放射線分解による水素ガス等は、オーバーパック領域の地下水化学を変化させる。しかし、酸化剤が生じたとしても、充分な量の還元物質(腐食生成物、地下水中の還元物質等)が存在し、還元性雰囲気が保たれると考えられる。</p>
物質移動	OP6① : オーバーパックの腐食膨張、破損、あるいは緩衝材の圧密による反力に起因するオーバーパック領域の幾何形状・間隙構造の変化が、オーバーパック領域の地下水流动現象に影響を及ぼす可能性。<核種移行、水理> OP3. 3→OP6. 2→OP2. 2	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>オーバーパック領域の地下水流动に影響を及ぼす可能性は、緩衝材によってその内側の地下水速が支配されていることを踏まえるとその影響は少ない。ただし、緩衝材の変質や劣化が生じたり、オーバーパックの早期破損が発生し、地下水流动が変化した場合の評価事例は見られない。(参照 FEP : OP2. 2)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>腐食膨張等によるオーバーパック領域の幾何形状・間隙構造の変化が、オーバーパック領域の地下水流动に影響を及ぼす可能性は存在するが、緩衝材によってその内側の地下水速が支配されていることを踏まえるとその影響は少ないと考えられる。ただし、緩衝材の変質や劣化が生じたり、オーバーパックの早期破損が発生したりした場合には、オーバーパック領域と共にガラス固化体領域の地下水流动が変化することが考えられる</p>	<p>D (緩衝材健全) : 緩衝材飽和後は、オーバーパック領域内は拡散支配と考えられ、地下水流动への影響は小さいとされる。</p> <p>B (早期破損、緩衝材変質) : 腐食膨張等によるオーバーパック領域の幾何形状・間隙構造の変化が、オーバーパック領域の地下水流动に影響を及ぼす可能性がある。ただし地下水流动が変化した場合の評価事例は見られない。</p>
	OP6② : OP6①に示したオーバーパック領域の地下水流动現象の変化が、移流、分散などのオーバーパック領域の核種移行現象に影響を及ぼす可能性。<水理、核種移行> OP2. 2→OP6. 3	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>オーバーパック領域の地下水流动に影響を及ぼす可能性は、緩衝材によってその内側の地下水速が支配されているため、領域内は拡散支配と考えられ、移流、分散など核種移行への影響は小さいことを踏まえるとその影響は少ない。</p> <p>オーバーパック早期破損、緩衝材の変質等によって地下水流动が変化した場合の評価事例は見られない (参照 FEP : OP2. 2, OP6. 3. 1, OP6. 3. 2, OP6. 3. 4)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>オーバーパック領域における腐食膨張等に起因した幾何形状/間隙構造の変化に伴う地下水流动の変化が、移流、分散などのオーバーパック領域の核種移行に影響を及ぼす可能性は否定できない。しかし、緩衝材によってその内側の地下水速が支配されていることを踏まえるとその影響は少ないと考えられる。</p> <p>緩衝材の変質や劣化が生じたり、オーバーパックの早期破損が発生したりした場合には、オーバーパック領域と共にガラス固化体領域の地下水流动が変化することが考えられる。</p>	<p>D (緩衝材健全) : 緩衝材飽和後は、オーバーパック領域内は拡散支配と考えられ、地下水流动への影響は小さいとされる。</p> <p>B (早期破損、緩衝材変質) : 腐食膨張等によるオーバーパック領域の幾何形状・間隙構造の変化が、オーバーパック領域の地下水流动に影響を及ぼす可能性がある。ただし地下水流动が変化した場合の評価事例は見られない。</p>
	OP6③ : OP6②に示すオーバーパック領域の核種移行現象の変化が、緩衝材/埋め戻し材領域での核種移行現象に影響を及ぼす可能性。<核種移行> OP6. 3→B6. 3	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>オーバーパック領域の核種移行の変化が、緩衝材/埋め戻し材領域での核種移行に影響を及ぼすことは考えられるが、具体的な報告例は見られない。(参照 FEP : OP2. 2, OP6. 4)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>オーバーパック領域における腐食膨張等に起因した地下水流动の変化に伴う核種移行の変化が、緩衝材領域での核種移行に影響を及ぼす可能性は否定できない。</p> <p>しかし、緩衝材によってその内側の地下水速が支配されていることを踏まえるとその影響は少ないと考えられる。ただし、緩衝材の変質や劣化が生じたり、オーバーパックの早期破損が発生したりした場合には、オーバーパック領域と共にガラス固化体領域の地下水流动が変化することが考えられる。</p>	<p>D : (緩衝材健全) 影響は少ないものと考えられる。</p> <p>B : (緩衝材変質) オーバーパック領域の核種移行の変化が、緩衝材/埋め戻し材領域での核種移行に影響を及ぼすことは考えられるが、具体的な報告例は見られない。</p>

OP6④ : OP6②に示すオーバーパック領域の核種移行現象の変化が、地下水の放射線分解により発生する酸化性化学種、ガスの発生量に影響を及ぼす可能性。<核種移行、放射線> OP6. 3→OP5. 1→OP6. 3	<p><b>【文献からの知見】</b>          ガラス固化体から浸出した核種がオーバーパック領域中を移行する時期においては、アクチニド核種の崩壊によって生成される子孫核種によって地下水の放射線分解が生じる可能性がある。「第2次取りまとめ 分冊3<sup>(6)</sup>」では、人工バリア内の還元剤(オーバーパックと腐食生成物等)の存在によって、酸化剤生成の影響はなくなるとしている。(参照 FEP : OP5. 2, B5. 2)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b>          OP6②に示すオーバーパック領域の核種移行の変化が、地下水の放射線分解により発生する酸化性化学種、ガスの発生量に影響を及ぼす可能性が考えられる。しかし酸化性化学種が発生したとしても、十分な量の還元物質が存在し、還元性雰囲気が保たれると考えられる。</p>	<p>A: (早期破損) : オーバーパック内部に侵入した水の放射線分解が考えられる。          D : オーバーパック領域の核種移行の変化が、地下水の放射線分解により生じる酸化性化学種、ガスの発生量に影響を及ぼすことは考えられる。          ただし、酸化性化学種が発生したとしても、十分な量の還元物質が存在するため、還元性雰囲気が保たれると考えられる。</p>
OP6⑤ : OP6①のオーバーパック領域の地下水流动現象の変化によりオーバーパック領域の物質移動特性が変化し、オーバーパック領域の地下水化学あるいは有機物、微生物の存在及びコロイドの形成に影響を及ぼす可能性。<核種移行、化学> OP2. 2→OP6→OP4. 2、 OP2. 2→OP6→OP6. 3. 5	<p><b>【文献からの知見】</b>          具体的な影響の可能性を示すデータは得られていない。地下水化学の変化とコロイド形成についての検討は、今後の課題とされる。微生物の存在や活性については、地下水の pH、Eh 及び組成、有機物量などが影響するが、サイト選定後の固有の地下水組成に応じた評価が必要である。(参照 FEP : OP4. 6, OP4. 8)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b>          オーバーパック領域における腐食膨張に起因した地下水流动の変化に伴い、オーバーパック領域の地下水化学が変化し、オーバーパック領域の有機物、微生物の存在及びコロイドの形成に影響を及ぼす可能性が考えられる。</p>	<p>D (コロイド、緩衝材健全) : オーバーパック領域の地下水流动が緩衝材の地下水流速で制限されていることを考えると、オーバーパック領域の地下水化学やコロイド形成に及ぼす地下水流动変化の影響は無視できる。安全性の影響は、緩衝材健全時は D 判定となる          A (コロイド、緩衝材変質) : 緩衝材劣化時は地下水流动が変化し影響すると考えられる。          C : 有機物、微生物に関する判定は、サイト条件によるものとして C 判定とする。</p>
OP6⑥ : OP6⑤に示すオーバーパック領域の物質移動特性の変化が、ガラス固化体領域あるいは緩衝材領域の物質移動特性に影響を及ぼす可能性。<核種移行> OP6→G6, OP6→B6	<p><b>【文献からの知見】</b>          オーバーパック領域の物質移動特性の変化が、ガラス固化体領域あるいは緩衝材領域の物質移動特性に影響を及ぼす可能性は考えられる。しかし、種々の要因(腐食膨張、破壊、沈下、ガス発生と移行、緩衝材や岩盤との相互作用等)による間隙構造の変化が物質移動特性へ影響を及ぼすデータは整理されていない。(参照 FEP : OP6. 1, OP6. 3. 3)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b>          オーバーパック領域の形状・間隙構造の変化に伴う物質移動特性の変化が、オーバーパック周囲部材の物質移動特性に影響を及ぼす可能性はあると考えられる。</p>	<p>D (緩衝材健全) : オーバーパック領域の地下水流动が緩衝材の地下水流速で制限されていることを考えると、影響は少ないと考えられる。安全性の影響は、緩衝材健全時は D 判定とする。          C (緩衝材変質) 緩衝材が劣化した場合には地下水流动に影響するため、物質移動特性に対して影響を与える可能性がある。          しかし、各要因による物質移動特性への影響に関する具体的な整理は十分でないため C 判定とする</p>

Table I -3. 安全性への影響の可能性に関する理解の現状と相関の判定 (緩衝材)

現象	「安全性への影響の可能性」項目	理解の現状	相関の判定と、判定に関するコメント
B1①:核種崩壊に伴い発生する熱が、ガラス固化体、オーバーパック、緩衝材などの熱特性に依存して周辺バリア材へ伝播し、緩衝材の埋設初期段階における温度上昇や時間的・空間的な温度変動をもたらす可能性。<熱>	<p><b>【文献からの知見】</b>          緩衝材の埋設初期段階における温度上昇や時間的・空間的な温度変動は、緩衝材の温度伝導度(=密度*比熱/熱伝導率)に影響される。密度と比熱は緩衝材を構成する物質(水、空気を含め)の比率によって算定し、熱伝導率は実測から求められ、結果として緩衝材温度は 100°C 以下と想定されている。</p>	A : 崩壊熱による温度伝播は、緩衝材の温度変動に影響を及ぼす。なお、緩衝材が 100°C を下回るような処分場設計が可能と成る場合は判定Dが妥当。また、設計の現実化や最適化	

	G1. 4→G1. 2→OP1. 2→B1. 2, B1. 1→B1. 2	また熱-水-応力連成解析により、より詳細な温度変化の把握が行われている。（参照 FEP : G1. 2, B1. 2） 【JAEAによる判断】 崩壊熱による温度伝播は、緩衝材の温度変動に影響を及ぼす。	はかるときに、緩衝材の温度は重要な要因として存在する。
温 度	B1②：熱伝導の過程において発生する緩衝材中の熱応力が、応力状態を時間的に変化させ、緩衝材の圧密及び変形、膨潤現象、流出現象などに影響を及ぼす可能性。<熱、応力> B1. 2→B3. 2→B3. 4, B1. 2→B3. 2→B3. 3, B1. 2→B3. 2→B3. 5	【文献からの知見】 緩衝材中の温度勾配によって熱応力が発生する。熱応力は、緩衝材の圧密及び変形、膨潤現象、流出現象などに影響を及ぼすが、膨潤応力や腐食膨張による応力に比べ小さいと考えられる。しかし、具体的な報告はない。また、オーバーパックの腐食寿命である約1,000年後には、温度勾配は無視できるほど小さくなる。（参照 FEP : B3. 2） 【JAEAによる判断】 熱応力による応力状態の時間的変化が、緩衝材の圧密等へ影響を及ぼすが、膨潤応力や腐食膨張による応力に比べ小さいものと考えられる。 オーバーパックの腐食寿命である約1,000年後には、温度勾配は無視できることから熱応力による圧密及び変形、膨潤、流出現象への影響はないものと考えられる。	B : 崩壊熱による温度上昇は、設計による対応により100°Cを越えないことが想定されている。一方、100°C以下の高温履歴であっても膨潤特性に影響が現れたとする報告があり、B判定とする
	B1③：B1①に示した温度上昇や温度変化が、緩衝材の変質現象に影響を及ぼす可能性。<熱、化学> B1. 2(→)B4. 4, B1. 2→B4. 2→B4. 3, B1. 2→B4. 3, B4. 3→B4. 4	【文献からの知見】 緩衝材を取り巻く周囲雰囲気温度は100°C以下とされており、緩衝材性能に有意な影響を及ぼすと予想されるライトイタ化やセメンテーションは起こらないと考えられている。ライトイタ化はナチュラルアナログ研究で、100～150°Cで数百年間生じていないとの報告がある。一方、モンモリロナイトの溶解速度に及ぼす温度の影響が指摘されている。（参照 FEP : B4. 4） 【JAEAによる判断】 温度の他に地下水組成を考慮したペントナイト変質に関する長期熱負荷に伴う実験的検討を進める必要が考えられる。	B : 崩壊熱による温度上昇は、設計による対応により100°Cを越えないことが想定されている。一方、100°C以下の高温履歴であってもモンモリロナイトの溶解速度に及ぼす温度の影響等の報告がある。従つて、緩衝材の変質に影響する可能性がある。
	B1④：B1①に示した温度上昇や温度変化が、侵入した地下水中の溶存化学種、緩衝材の鉱物組成、及びそれらの化学反応や化学特性に、また弾性係数やボアソン比など力学特性値に影響を及ぼす可能性。<熱、化学、応力> B1. 2→B4. 2→B4. 1, B1. 2(→)B3. 1	【文献からの知見】 核種崩壊に伴った温度上昇や温度変化による、侵入した地下水中の溶存化学種、緩衝材の鉱物組成、及びそれらの化学反応や化学特性への影響は小さいと考えられている。また緩衝材の安定性において重要なクリープや腐食膨張ひずみを検討する段階では、熱の影響は小さくなっている。力学特性値に対する温度変化の影響について、具体的な報告の例は見られない。（参照 FEP : B3. 1, B4. 1, B4. 2, B4. 3） 【JAEAによる判断】 崩壊熱起因の緩衝材温度による、力学特性への影響は存在すると考えられる。	D（地下水化学、化学特性）：1000年以降であれば、崩壊熱起因の緩衝材温度による、間隙水の地下水化学、緩衝材の化学特性への影響は小さい。 A（早期破損、力学特性）：崩壊熱起因の緩衝材温度による、力学特性への影響は存在するが、具体的な報告例は見られない。早期破損の場合には、地下水化学及び化学特性についても影響する。
	B1⑤：B1①に示した温度上昇や温度変化が、緩衝材の水理特性を変化させ、地下水飽和挙動や地下水水流動の現象に影響を及ぼす可能性。<熱、水理> B1. 2(→)B2. 1→B2. 2→B2. 3, B1. 2→B3. 2→B2. 1→B2. 2→B2. 3	【文献からの知見】 核種崩壊に伴った温度上昇や温度変化が、緩衝材の水理特性を変化させ、地下水飽和挙動や地下水水流動の現象に影響を及ぼす可能性があるが、具体的な報告例は見られない。 飽和の水理特性は固有透過度の考え方を用いることによって、水の粘性の影響が除かれる。一方、再冠水での不飽和水理については、サクションや水分拡散係数の温度依存性が観察されている。（参照 FEP : B2. 1） 【JAEAによる判断】 核種崩壊に伴った温度上昇や温度変化が、緩衝材の水理特性を変化させ、地下水飽和挙動や地下水水流動の現象に影響を及ぼす可能性がある。 再冠水時間の予測に係る精度向上のためには、この様な水理係数の温度依存性を扱っていく必要がある。	A : 崩壊熱に起因した緩衝材温度による、水理特性、地下水水流動への影響は存在するが、具体的な報告例は見られない。 D: 緩衝材が健全であるばかりには、拡散支配方が保たれており、地下水水流動は変化しない。
	B1⑥：B1①に示した温度上昇や温度変化が、オーバーパック破損後における溶解度、吸着、拡散などの核種	【文献からの知見】 拡散係数は、温度上昇に伴いプラウン運動していた分子の運動エネルギーが増加することにより、自由水中の拡	A : 温度上昇に伴い、間隙水の粘性による影響や元素の相違による吸着分配

	<p>移行現象に影響を及ぼす可能性。&lt;熱、化学、核種移行&gt; B1. 2→B4. 2→B6. 3. 2, B1. 2→B4. 2→B6. 3. 4, B1. 2→B4. 2→B6. 3. 3</p>	<p>散係数が増加することが知られている。拡散係数や溶解度の温度依存性については、データ数が多くないものの顕著ではないことを示す報告がある。(参照 FEP : B6. 3. 4, B6. 3. 2)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> 核種崩壊に伴った温度上昇や温度変化は、溶解度や吸着、拡散などの核種移行現象に影響を及ぼす可能性がある。</p>	<p>係数・拡散係数により、物質が移動しやすくなるといわれている。</p>
	<p>B1⑦ : B1①に示した温度上昇や温度変化が、緩衝材中の微生物、有機物、コロイドと核種との化学作用(錯形成、溶解度、吸着等)や、ガスによる核種の移行などに影響を及ぼす可能性。&lt;熱、化学、核種移行&gt; B1. 2( → )B4. 5 → B6. 3. 3 , B1. 2( → )B4. 5 → B6. 3. 4 , B1. 2( → )B4. 6 → B6. 3. 3 , B1. 2( → )B4. 6 → B6. 3. 4 , B1. 2( → )B4. 8→B6. 3. 6</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> 処分環境での微生物の存在、生息可能性は、ペントナイト製品中に硫酸塩還元細菌などが存在し、有機物を栄養源として繁殖し得ることや低 Eh 環境において生存が可能との報告があり、地下水中の有機物や生息に伴うガス発生、コロイド形成などに伴う影響が懸念される。(参照 FEP : B4. 5, B6. 3. 4)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> 核種崩壊に伴った温度上昇や温度変化が、緩衝材中の微生物、有機物、コロイドと核種との化学作用(錯形成、溶解度、吸着等)に影響を及ぼす可能性が考えられる。地下水化学や人工バリア劣化の視点からの、微生物活動や有機物影響への熱の検討は、今後サイト特定後の具体的な地質環境条件で研究されるものと考えられる。コロイドと核種との化学作用については、人工バリア温度の低下後(1,000 年以降)であり熱の影響は無視できると考えられている。オーバーパックの早期破損のケースについては、別途検討を要する。</p>	<p>D(コロイド) : オーバーパックの早期破損のケースを除き、コロイドと核種との化学作用については、人工バリア温度の低下後であり、熱の影響は無視できるので D 判定。</p> <p>B (コロイド、早期破損) : オーバーパックの早期破損のケースについては B 判定。</p>
	<p>B1⑧ : B1②、③に示した熱起因の変形、変質現象が、緩衝材の間隙率、間隙構造(連続性)、密度などを変化させ、地下水流动の現象を変化させる可能性。&lt;熱、応力、化学、核種移行、水理&gt; B1. 2→B3. 2→B3. 4(→)B6. 2→B2. 2, B1. 2(→)B4. 4→B6. 2→B2. 2</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> セメント影響による高 pH 環境下でのペントナイト変質(スマクタイトの溶解)に関して、スマクタイトには pH 及び温度依存性が認められる報告が示された。(参照 FEP : B2. 1)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> 熱応力、熱変質など熱起因の変形、変質現象が、緩衝材の間隙率、間隙構造(連続性)、密度などを変化させ、地下水流动の現象を変化させることが予想される。ペントナイトの微細な構造の変化によって、初期に想定した地下水流动よりも大きくなり、核種移行に影響を及ぼすことが考えられるが、検討は今後の課題である。</p>	<p>B : 热応力、热変質など热起因の変形、変質現象が、緩衝材の間隙率、間隙構造(連続性)、密度などを変化させ、地下水流动の現象を変化させることが予想される。</p>
	<p>B1⑨ : B1⑧に示した熱起因による地下水流动の変化が、緩衝材中の移流による核種移行や、緩衝材を通過する核種の漏洩量を左右する可能性。&lt;熱、応力、化学、核種移行、水理&gt; B1. 2→B3. 2→B3. 4(→)B6. 2→B2. 2, B1. 2(→)B4. 4→B6. 2→B2. 2, B2. 2→B6. 3. 1→B6. 3</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> セメント影響による高 pH 環境下でのペントナイト変質(スマクタイトの溶解)に関して、スマクタイトには pH 及び温度依存性が認められる報告が示された。また、自由水中の拡散係数はブラウン運動や粘性的減少による温度依存性があり、正の相関がある。ただし、熱起因による地下水流动の変化が、緩衝材中の移流による核種移行や、緩衝材を通過する核種の漏洩量を左右する可能性の具体的な報告はない。(参照 FEP : B6. 3. 2, B6. 3. 1)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> 熱応力、熱変質など熱起因の変形、変質に伴う地下水流动の変化が、移流の核種移行や核種の漏洩(緩衝材の通過)に影響を及ぼす可能性が考えられる。</p>	<p>B: 热応力や熱起因の変質、変形現象が移流に伴う核種移行に影響を及ぼす可能性が予想される。影響が有る場合には安全機能の喪失が予測される。</p>
	<p>B2① : 緩衝材の水理特性、母岩領域の地下水流动の状態に依存して、廃棄体の埋設後における緩衝材の浸潤、膨潤、飽和現象の進行が変動する可能性。&lt;水理&gt; D2. 2→B2. 2→B2. 3→B3. 3</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> 「第2次取りまとめ 分冊3<sup>(6)</sup>」では、緩衝材の不飽和透水特性に加え、岩盤の固有透過度と地下水位の位置が影響することを示している。その熱-水-応力連成解析の結果、地下環境では緩衝材の再冠水期間は5~50 年後に地下水位が復元し飽和すると推定される。(参照 FEP : B2. 3)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> 緩衝材の水理特性、母岩の地下水流动によって、緩衝材の飽和の進行は影響を受けると考えられる。</p>	<p>A : 緩衝材の水理特性、母岩の地下水流动によって、緩衝材の飽和の進行状況は熱-水-応力連成解析を用いて検討されている。</p>
水理	<p>B2② : B2①に示した浸潤、膨潤、飽和現象の進行の程度が、緩衝材における酸素濃度やオーバーパック近傍の地下水化学を変化させ、オーバーパック破損に至るまでのオーバーパックの腐食形態及びその進行に影響</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> 降水系レファレンスケースでは、数十年以内の期間で緩衝材は飽和し、地下水と間隙水との間の pH 及び Eh の値に大きな違いはない。これは、比較的早い時期に人工バリア中は、中性から弱アリカリ性の還元状態に至り、これが保たれることを意味する。</p>	<p>A: オーバーパックの腐食形態及びその進行に影響を及ぼす可能性がある。海水環境など地下水の組成種類に応じた検討は、今後の課題として残る。</p>

<p>を及ぼす可能性。&lt;水理、化学&gt; B2. 2→B4. 2→OP4. 2→OP4. 3→OP4. 4</p>	<p>(参照 FEP : B2. 1, B4. 2) 【JAEAによる判断】 緩衝材水理特性や母岩地下水流动に依存して浸潤、膨潤、飽和現象の進行の程度が、緩衝材における酸素濃度やオーバーパック近傍の地下水化学を変化させ、オーバーパック破損に至るまでのオーバーパックの腐食形態及びその進行に影響を及ぼす可能性がある。 なお、海水環境など地下水の組成種類に応じた検討は、今後の課題として残る。</p>	
<p>B2③：緩衝材の浸潤、膨潤、飽和現象の進行に伴い、緩衝材の期待性能を損なうような流出、圧密や変形の現象があらわれる可能性。&lt;水理、応力、化学&gt; B2. 2 → B2. 3 → B3. 3 → B3. 5 , B2. 2(→)B3. 4, B2. 2(→)B3. 4</p>	<p>【文献からの知見】 流出については実験及び解析的な検討が加えられ、亀裂開口幅 1.5mm で 1 万年経過後でも緩衝材の性能は保持されることが示されている。 圧密については、オーバーパックの沈下解析が実施され、数 mm 程度の沈下量が見積もられている。 変形の現象については、地下水の浸潤による局所的な膨潤応力の発生に伴う、密度の不均質化などが考えられるが、飽和後には均質になり緩衝材の性能には大きく影響しないことが示されている。（参照 FEP : B3. 5, B3. 4, B3. 2, B3. 3） 【JAEAによる判断】 流出については実験及び解析的な検討が加えられ、亀裂開口幅 1.5mm で 1 万年経過後でも緩衝材の性能は保持されることが示されており、可能性は小さいと考えられる。ただし、処分サイトの水質、亀裂、水理条件を考慮した検討が今後も必要である。 圧密については、オーバーパックの沈下解析が実施され、数 mm 程度の沈下量が見積もられている。初期の浸潤飽和過程での緩衝材の流出や変形については、実規模の実証試験でのモデルによる確認が今後の課題と考えられる。</p>	<p>B (流出、変形)：緩衝材の浸潤、飽和現象の進行により、緩衝材の期待性能を損なう様な流出、変形は生じないとされている。ただし、処分サイトの水質、亀裂、水理条件を考慮した検討が今後も必要である。 B (圧密)：浸潤、飽和の進行により圧密が起こるが、その程度に関する報告は見られない。</p>
<p>B2④：母岩領域の地下水流动の時間的・空間的な変化が、緩衝材における水理特性に影響を及ぼし、緩衝材中の地下水流动の現象を変化させる可能性&lt;水理&gt; D2. 2(→)B2. 1→B2. 2</p>	<p>【文献からの知見】 母岩領域の地下水流动は、オーバーパックから核種が漏洩する時期には、定常状態(水位回復や熱の影響がない)となっており、緩衝材中の水理も安定した状況と考えられる。（参照 FEP : B2. 2, B2. 3） 【JAEAによる判断】 母岩領域の地下水流动の時間的・空間的な変化が、緩衝材における水理特性に影響を及ぼし、緩衝材中の地下水流动現象が変化することが予想される。ただし、サイト選定の際に周辺岩盤中の地下水流动が小さい場所を選べば、緩衝材が飽和した後の地下水流动による核種移行への影響はほとんどないと考えられる。</p>	<p>D: 母岩領域の地下水流动の時間的・空間的な変化が、緩衝材における水理特性に影響を及ぼし、緩衝材中の地下水流动現象が変化することが予想される。ただし、緩衝材が変質しない場合には、拡散支配であり、地下水流动の影響は小さい。また、サイト選定の際に周辺岩盤中の地下水流动が小さい場所を選べば、緩衝材が飽和した後の地下水流动による核種移行への影響はほとんどないと考えられる。</p>
<p>B2⑤：緩衝材の変質現象が、緩衝材の間隙率、間隙構造(連続性)、密度などを変化させ、緩衝材中の地下水流动の現象を変化させる可能性。&lt;化学、水理&gt; B4. 4→B6. 2→B2. 2</p>	<p>【文献からの知見】 緩衝材の変質現象は、ベントナイト変質に関する実験から、緩衝材の間隙率、間隙構造(連続性)、密度などを変化させる可能性が指摘される。（参照 FEP : B2. 1, B4. 4） 【JAEAによる判断】 緩衝材の間隙率、間隙構造、密度などの変化により、緩衝材中の透水性は変化する可能性がある。</p>	<p>B : 緩衝材の変質に伴って、間隙率、間隙構造、密度などの変化により、緩衝材中の透水性は変化する可能性がある。変質が起因事象となるため、B 判定とする。</p>
<p>B2⑥：緩衝材の流出現象が、緩衝材の間隙率、間隙構造(連続性)、密度などを変化させ、緩衝材中の地下水流动の現象を変化させる可能性。&lt;応力、水理&gt; B3. 5→B6. 2→B2. 2</p>	<p>【文献からの知見】 緩衝材の流出現象に関する実験的、解析的検討がなされている。（参照 FEP : B2. 1, B6. 2） 【JAEAによる判断】 緩衝材の性能を損なう様な流出現象を生じさせる環境条件(緩衝材密度、き裂特性、水理特性など)の発生可能性は低いと考えられる。処分サイトの水質、亀裂、水理条件を考慮した検討や、実規模の実証試験でのモデルによる確認は今後の課題と考えられる。</p>	<p>D : 緩衝材の流出による間隙率等の変化が、緩衝材中の地下水流动を変化させる可能性は存在するが、低いと考えられる。処分地が選定されれば、地質条件に応じた評価が必要である。</p>
<p>B2⑦：緩衝材の圧密及び変形の現象</p>	<p>【文献からの知見】</p>	<p>A : 緩衝材の圧密や変形に</p>

<p>が、緩衝材の間隙率、間隙構造（連續性）、密度などを変化させ、緩衝材中の地下水流动の現象を変化させる可能性。&lt;熱、化学、応力、水理&gt; B3. 4(→)B6. 2→B2. 2</p>	<p>OP沈下による圧密の検討などの解析が実施されている。しかし流动に影響する圧密及び変形に伴う空間的な間隙率、間隙構造（連續性）、密度などの変化を示す報告の例は見られない。</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>緩衝材の圧密及び変形の現象が、緩衝材の間隙率、間隙構造（連續性）、密度などを変化させ、緩衝材中の地下水流动の現象を変化させる可能性が考えられる。</p>	<p>より間隙率等の変化が及ぼす、空間的な地下水流动への影響は存在し、OP沈下による圧密の検討などの解析が実施されている。ただし、密度などを直接観察した報告例は認められない。</p>
<p>B2⑧ : B2④～⑦に示した要因となり得る現象が、複合的な連鎖現象として発生し、緩衝材中の地下水流动現象に影響を及ぼす可能性。&lt;化学、応力、核種移行、水理&gt; D2. 2 → B2. 2 , B2. 1 → B2. 2 , B4. 4(→)B2. 2 , B3. 5(→)B2. 2 , B3. 4(→)B2. 2</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> 様な複合的な相関現象と地下水流动との関係について検討した例は見られない。（参照FEP : B2. 1, B2. 2）</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>母岩領域における地下水流动の変化、変質、流出、圧密、変形の各現象が複合的な連鎖現象として発生し、緩衝材中の地下水流动現象に影響を及ぼす可能性は否定できない。しかし、天然バリアの透水性が低く、動水勾配の大きさが数%以下の条件であれば、緩衝材中の地下水流动現象に影響を及ぼす様な可能性は低くなると考えられる。</p>	<p>B : 母岩の地下水流动や、緩衝材の変質等、及びそれらの相互作用による地下水流动への影響に関する具体的な報告例は見られない。また、圧密や流出に伴う影響の程度も不明である。しかし、天然バリアの透水性が低く、動水勾配の大きさが数%以下の条件であれば、緩衝材中の地下水流动現象に影響を及ぼす様な可能性は低くなる。</p>
<p>B2⑨ : B2④～⑧に示した地下水流动現象の変化が、緩衝材中の物質移動現象を支配し、地下水化学、コロイドの形成、有機物や微生物の化学特性、ガスの透気性などに影響を及ぼす可能性。&lt;化学、核種移行、水理&gt; B2. 2( → )B6. 1( → )B4. 2 , B2. 2( → )B6. 1( → )B4. 7 , B2. 2( → )B6. 1( → )B4. 6 , B2. 2( → )B6. 1( → )B4. 5 , B2. 2( → )B6. 1( → )B4. 8</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> 具体的な影響の可能性を示すデータは得られていない。</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>B2④～⑧に示した要因によって、地下水流动現象の変化が生じた場合、その変化が物質移動現象を支配し、地下水化学、コロイドの形成、有機物や微生物の化学特性、ガスの透気性などに影響を及ぼすことが考えられる。</p>	<p>D(コロイド) : 緩衝材によるコロイドのろ過性能が維持されている限りにおいてはD判定。 B (コロイド) : 特に知見はないが、緩衝材の変質(温度、アルカリ起因)に伴い、緩衝材によるコロイドのろ過性能が劣化するケースについてはB判定。</p>
<p>B2⑩ : B2④～⑧に示した地下水流动現象の変化が、緩衝材中の移流による核種移行や緩衝材を通過する核種の漏洩量に影響を及ぼす可能性。&lt;熱、化学、応力、核種移行、水理&gt; B2. 2→B6. 3. 1, B2. 2(→)D6. 3</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> 天然バリアの透水性が低く、動水勾配の大きさが数%以下の条件であれば、核種移行や通過する核種の漏洩量に影響を及ぼす様な可能性は低くなると考えられる。（参照FEP : B6. 3. 1）</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>B2④～⑧に示した地下水流动現象の変化が、緩衝材中の移流による核種移行や緩衝材を通過する核種の漏洩量に影響を及ぼす可能性は否定できない。</p>	<p>B: 核種移行が拡散によるものを主体とする場合には、影響は少ないと考えられる。しかし、移流が支配的である場合や、変質などによる影響を考慮した場合には、不明確であるため、B判定とする</p>
<p>B2⑪ : B2⑨に示した地下水流动現象の変化に伴う物質移動現象への影響が、緩衝材中の微生物、有機物、コロイドと、核種との化学作用（錯形成、溶解度、吸着等）、ガスによる核種の移行などに影響を及ぼす可能性。&lt;化学、核種移行、水理&gt; B2. 2(→)B6. 1(→)B4. 5→B6. 3. 3, B2. 2(→)B6. 1(→)B4. 5→B6. 3. 4, B2. 2(→)B6. 1(→)B4. 6→B6. 3. 3, B2. 2(→)B6. 1(→)B4. 6→B6. 3. 4, B2. 2(→)B6. 1(→)B4. 7→B6. 3. 5, B2. 2(→)B6. 1→B6. 3. 6</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> 具体的な影響の可能性を示すデータは得られていない。</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>B2④～⑧の要因による地下水流动現象の変化が生じ、物質移動現象への影響が仮に現れた場合、緩衝材中の微生物、有機物、コロイドと、核種との化学作用（錯形成、溶解度、吸着など）、ガスによる核種の移行などに影響を及ぼす可能性が考えられる。</p>	<p>D(コロイド) : 緩衝材によるコロイドのろ過性能が維持されている限りにおいてはD判定。 B (コロイド) : 特に知見はないが、緩衝材の変質(温度、アルカリ起因)に伴い、緩衝材によるコロイドのろ過性能が低下するケースについてはB判定。</p>

<p>B2⑩ : B2④～⑧による変質に伴う緩衝材の地下水流動が、オーバーパック領域における腐食生成物中の地下水流れに影響を及ぼす可能性。&lt;水理&gt; B2. 2→OP2. 2, B2. 2→B2. 3→OP2. 2</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> サイトの動水勾配の大きさが数%以下の条件で、緩衝材の低透水性が維持されれば、緩衝材中は拡散支配となる。この時、オーバーパック腐食生成物中も拡散場となり、緩衝材から外側の地下水流れの影響は受けない。 <b>【JAEAによる判断】</b> 緩衝材の地下水流れが、また緩衝材の飽和現象が、オーバーパック領域における腐食生成物中の地下水流れに影響を及ぼす可能性が考えられるが、緩衝材が低透水の場合であれば、地下水流れの影響は受けないと考えられる。</p>	<p>D : サイトの動水勾配の大きさが数%以下、緩衝材が低透水の条件で、地下水流れによる影響はほとんど無い</p>
<p>B2⑪ : B2④～⑧による母岩やプラグ等の地下水流れの変化が、オーバーパック領域における腐食生成物中の地下水流れに影響を及ぼす可能性。&lt;水理&gt; B2. 2→OP2. 2, B2. 2→B2. 3→OP2. 2</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> サイトの動水勾配の大きさが数%以下の条件で、緩衝材の低透水性が維持されれば、緩衝材中は拡散支配となる。この時、オーバーパック腐食生成物中も拡散場となり、緩衝材から外側の地下水流れの影響は受けない。 <b>【JAEAによる判断】</b> 緩衝材の地下水流れが、また緩衝材の飽和現象が、オーバーパック領域における腐食生成物中の地下水流れに影響を及ぼす可能性が考えられるが、緩衝材が低透水の場合であれば、地下水流れの影響は受けないと考えられる。</p>	<p>D : サイトの動水勾配の大きさが数%以下、緩衝材が低透水の条件で、地下水流れによる影響はほとんど無い</p>
<p>B3① : 緩衝材の弾性係数、ポアソン比などの力学特性値が、崩壊熱などによる温度変化や緩衝材の含水率、化学組成などによって変化する可能性。&lt;熱、化学、応力&gt; B1. 2(→)B3. 1</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> 緩衝材の弾性係数、ポアソン比などの力学特性値は、崩壊熱などによる温度変化や緩衝材の含水率、化学組成などによって変化する。(参照 FEP : B3. 1) <b>【JAEAによる判断】</b> 弾性係数は温度、含水比の上昇によって低下し、またベントナイトの化学組成の変動によっても力学特性値は変動することが考えられるが、充分なデータはない。</p>	<p>A : 温度、含水率や化学組成によって、緩衝材の力学的特性値は変化するが、その程度に関するデータは十分でない。</p>
<p>応力 H 3. 3 → D3. 4( → )B3. 2 , B3. 4( → )B3. 2 , OP3. 4 → B3. 2 , B3. 3(→)B3. 2</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> 「第2次取りまとめ 分冊3<sup>(6)</sup>」では、岩盤クリープ解析、オーバーパック腐食膨張解析、オーバーパック沈下解析が構造力学安定性評価として、それぞれ別個に実施され、緩衝材の性能が損なわれないことが示されている。しかし、圧密や腐食膨張等の進行に伴う時間的・空間的取扱いを行った総合的な影響に関する具体的な報告は見られない。(参照 FEP : B3. 2) <b>【JAEAによる判断】</b> 緩衝材へ作用する外力や反力の状態が、母岩クリープ変形、オーバーパックの自重による圧密、オーバーパックの腐食膨張、浸透地下水による膨潤などの現象の進行状況によって変化する可能性。&lt;熱、応力、化学、水理&gt;</p>	<p>A : 母岩クリープ変形、緩衝材の圧密、腐食膨張等の進行が、緩衝材への外力の状態に影響を及ぼす。しかし、圧密や腐食膨張等の進行に伴う時間的・空間的取扱いを行った総合的な影響に関する具体的な報告は見られない。</p>
<p>B3③ : 緩衝材へ作用する外力や反力の状態が、緩衝材の変質、流出の現象の進行状況によって変化する可能性。&lt;熱、応力、化学、水理、核種移行&gt; B4. 4(→)B3. 2, B3. 5(→)B3. 2</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> 緩衝材の変質に伴う力学的影響に関する具体的報告は見られない。 また、流出による密度低下は弾性係数を小さくするが、「第2次取りまとめ 分冊3<sup>(6)</sup>」の検討では、流出による密度低下は小さいことが示されている。(参照 FEP : B3. 2) <b>【JAEAによる判断】</b> 緩衝材へ作用する外力や反力の状態が、緩衝材の変質、流出の現象の進行状況によって変化する可能性が考えられる。鉱物の変質は弾性係数を大きくする可能性がある。</p>	<p>B (変質による力学状態) : 緩衝材の変質に伴う力学的影響に関する具体的報告は見られない。 B (流出による力学状態) : 緩衝材の流出に伴う密度の低下は小さいとされている。外力の状態は変わらないが、変質により反力は低下する。例えばカルシウム型化が生じた場合には膨潤性が低下するとされている。</p>
<p>B3④ : B3①～③の要因によって緩衝材内の応力状態が時間的・空間的に変化し、緩衝材の変形、幾何形状及び間隙構造の変化、緩衝材の破断などが生じる可能性。&lt;熱、応力、化学、水理、核種移行&gt; B3. 2→B3. 4, B3. 2(→)B6. 2, B3. 4→B3. 3→B6. 2, B3. 4→B3. 5→B6. 2</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> 緩衝材内の応力状態が時間的・空間的に変化し、緩衝材の変形、幾何形状及び間隙構造の変化、緩衝材の破断などが生じる可能性が指摘されているが、現状個別の現象(岩盤クリープ解析、オーバーパック腐食膨張解析、オーバーパック沈下解析、流出)についての解析の結果、緩衝材の性能を大きく損なう条件を避けるなどの検討が行われている。(参照 FEP : B3. 4) <b>【JAEAによる判断】</b></p>	<p>A : 緩衝材の力学特性値、外力や反力の状態に起因した、応力状態の変化は、変形や間隙構造を変化させる。ただし、破断については設計要件等も考慮すると通常は発生しないと考えられる</p>

	B3①～③の要因によって緩衝材内の応力状態は時間的・空間的に変化し、緩衝材の変形、幾何形状及び間隙構造の変化、緩衝材の破断などが生じる可能性がある。	
B3⑤：B3④により発生した緩衝材の変形、幾何形状及び間隙構造の変化、緩衝材の破断が、緩衝材領域の水理特性や地下水水流動現象を変化させる可能性。<熱、応力、化学、水理、核種移行> B6.2 → B2.1 , B6.2 → B2.2 , B3.4(→)B2.1, B3.4(→)B2.2	<p><b>【文献からの知見】</b> B3④により発生した、緩衝材の変形、幾何形状及び間隙構造の変化、緩衝材の破断が、緩衝材領域の水理特性や地下水水流動現象を変化させる可能性がある。核種移行において考慮される飽和の固有透過度は密度の低下によって増大するが、解析的な検討の結果、現状の設計では充分に拡散律速を保持することができる密度の範囲にあると考えられる。 ただし、海水系など地下水の組成種類による影響は、今後の課題として残る。(参照 FEP : B2.1, B6.3.1, B4.8)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> 緩衝材温度及び変質等、他バリア材による力学的作用に起因した、緩衝材の変形、間隙構造の変化は、水理特性や地下水水流動へ影響を及ぼす。</p>	A : 緩衝材温度及び変質等、他バリア材による力学的作用に起因した、緩衝材の変形、間隙構造の変化は、水理特性や地下水水流動へ影響を及ぼす。変質の影響は今後の検討課題である。なお、核種移行において考慮すべき密度の低下は、設計により対応可能である。
B3⑥：B3⑤による緩衝材領域の水理特性や地下水水流動現象の変化が、緩衝材中の物質移動現象を支配し、地下水化学、コロイドの形成、有機物や微生物の化学特性、ガスの透気性などに影響を及ぼす可能性。<熱、応力、化学、水理、核種移行> B2.1 → B2.2 → B4.2 , B2.1 → B2.2(→)B4.7, B2.1→B2.2(→)B4.5, B2.1 → B2.2(→)B4.6 , B2.1 → B2.2(→)B4.8	<p><b>【文献からの知見】</b> B3⑤による緩衝材領域の水理特性や地下水水流動現象の変化が、地下水化学、コロイドの形成、有機物や微生物の化学特性、ガスの透気性などに影響を及ぼす可能性が考えられる。圧縮ベントナイトの流出挙動試験などから 10~5~10~4m/s の流速付近にベントナイトの流出及びコロイド形成に臨界点が存在するとの報告がある。また、緩衝材でガスの透気が起こったとしても、再冠水後でありその経路が地下水の浸潤による自己シール性によって修復されることを示す実験結果が得られている。(参照 FEP : B4.7, B4.8)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> 圧縮ベントナイトの流出挙動試験の結果からは、健全な緩衝材中からコロイドは顕著に発生しないと考えられる。緩衝材の変質の影響については、別途検討を要する。</p>	D(コロイド) : 圧縮ベントナイトの流出挙動試験の結果を見る限り、緩衝材からコロイドが顕著に発生するケースは想定しにくいので、一般にはD判定。 B (コロイド) : 緩衝材の変質(温度、アルカリ起因)の影響についての知見はないが、コロイドが発生するようになる可能性は否定できないのでB判定。
B3⑦：B3⑤による緩衝材領域の水理特性や地下水水流動現象の変化が、緩衝材中の移流による核種移行や緩衝材を通過する核種の漏洩量を左右する可能性。<熱、応力、化学、水理、核種移行> B2.1 → B6.3.1 , B2.2 → B6.3.1 , B2.1(→)D6.3, B2.2(→)D6.3	<p><b>【文献からの知見】</b> 緩衝材は、母岩によって力学的に拘束された状態にあり、圧密体拡散バリアとして機能すると考えられている。天然バリアの透水性が低く、動水勾配の大きさが数%以下の条件であれば、核種移行や通過する核種の漏洩量に影響を及ぼす様な可能性は小さくなると考えられる。(参照 FEP : B6.3.1)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> B3⑤による緩衝材領域の水理特性や地下水水流動現象の変化が、緩衝材中の移流による核種移行や緩衝材を通過する核種の漏洩量に影響を及ぼす可能性がある。</p>	B : 緩衝材領域の水理特性や地下水水流動現象の変化が、緩衝材中の移流による核種移行や緩衝材を通過する核種の漏洩量に影響を及ぼす可能性がある。ただし、破断については設計要件等も考慮すると通常は発生しないと考えられる為、ここでは考慮していない。
B3⑧：B3⑥に示したコロイド、微生物、有機物、ガスに関する物質移動現象への影響が、緩衝材中の微生物、有機物、コロイドと核種との化学作用(錯形成、溶解度、収着等)や、ガスによる核種の移行などに影響を及ぼす可能性。<熱、応力、化学、水理、核種移行> B4.7→B6.3.5, B4.5→B6.3.3, B4.5→B6.3.4, B4.6→B6.3.3, B4.6→B6.3.4, B4.8→B6.3.6	<p><b>【文献からの知見】</b> 金コロイドを用いた透過試験などから、緩衝材中ではコロイドはろ過効果から移行せず、核種の移行にも影響を与えないと考えられる。(参照 FEP : B6.3.5)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> B3⑥に示したコロイド、微生物、有機物、ガスに関する物質移動現象への影響が、緩衝材中の微生物、有機物、コロイドと核種との化学作用(錯形成、溶解度、収着など)や、ガスによる核種の移行などに影響を及ぼす可能性が考えられる。</p>	D(コロイド) : 一般にはコロイドは緩衝材中でろ過されると考えられるのでD判定。 B (コロイド) : 緩衝材の変質(温度、アルカリ起因)の影響についての知見はないが、緩衝材によるろ過性能が低下する可能性は否定できないのでB判定。
B3⑨：B3①～③の要因によって緩衝材内の応力状態が時間的・空間的に変化し、緩衝材の応力状態が、緩衝材の水理特性(間隙率、透水係数等)を変化させ、地下水流れに影響を及ぼす可能性。<応力、水理> D3.4→B3.2→B2.1, OP3.4→B3.2→B2.1, OP3.5→B3.2→B2.1 B1.2→B3.2→B2.1, B3.1→B3.2→B2.1	<p><b>【文献からの知見】</b> 緩衝材の間隙率と透水係数の関係は、有効粘土密度を指標に整備されており、これと緩衝材の応力-ひずみの関係から応力状態の変化による緩衝材の水理特性は予測される。</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> B3①～③の要因による緩衝材の水理特性の変化は、緩衝材中の核種移行を移流支配とする程度ではないと考えられる。</p>	D : 拡散支配が保たれる場合には、地下水水流動への影響は小さいとされている。

	<p>B4①：廃棄体埋設後の緩衝材中における飽和領域の進展及び地下水流动の変化が、緩衝材中の地下水化学を変化させる可能性。&lt;化学&gt; B2. 3(→)B4. 2, B2. 2→B4. 2</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> 「第2次取りまとめ 分冊3<sup>(6)</sup>」では、濃度勾配、拡散、反応速度を考慮して、地下水化学の長期的な経時変化について解析した結果、熱力学的平衡モデルが長期間にわたって継続すると評価されている。しかし緩衝材の変質進行により物理化学特性が変化し、それに伴い地下水化学の時間的・空間的な変化が生じる可能性が考えられる為、物質移行と地下水化学の連成解析による検討は重要である。(参照 FEP : B4. 2)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> 廃棄体埋設後の緩衝材中における飽和領域の進展及び地下水流动の変化が、緩衝材中の地下水化学を変化させる可能性がある。長期にわたる母岩の間隙水組成の解析は困難とされ、時間的・空間的な変動幅を把握することが重要と考えられる。</p>	<p>B : 地下水流動の変化が、緩衝材中の地下水化学を変化させる可能性がある。ただし、長期にわたる母岩の間隙水組成の解析は困難とされており、今後の課題である。</p>
	<p>B4②：母岩またはプラグ、支保工などの化学的影響を受け、緩衝材中に流入する地下水の化学的性質の時間的・空間的な不均質性及び多様性が、緩衝材中の地下水化学を変化させる可能性。&lt;水理、化学&gt; D4. 3→D4. 2→B4. 2</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> 母岩、プラグ、支保工等の化学的影響を受け、緩衝材中に流入する地下水の化学的性質の変化は、まだ十分な解析が進んでいない。 「第2次取りまとめ 分冊3<sup>(6)</sup>」では、コンクリートと反応した地下水の組成を降水系地下水について求めている。(参照 FEP : B4. 2)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> 母岩またはプラグ、支保工などの化学的影響を受け、緩衝材中に流入する地下水の化学的性質の時間的・空間的な不均質性及び多様性は、緩衝材中の地下水化学を変化させる可能性がある。緩衝材間隙水の地下水化学は、サイト選定後において、サイト固有の地下水組成に応じた評価が必要となる。</p>	<p>A : 母岩またはプラグ、支保工などの化学的影響を受け、緩衝材中に流入する地下水の化学的性質の時間的・空間的な不均質性及び多様性は、緩衝材中の地下水化学を変化させる可能性がある。ただし、緩衝材間隙水の地下水化学は、サイト選定後において、サイト固有の地下水組成に応じた評価が必要となる。</p>
化学	<p>B4③：核種の放射性崩壊に起因した地下水の放射線分解が、緩衝材中の地下水化学を変化させる可能性。&lt;放射線、化学&gt; (欠番)</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> 核種の放射性崩壊に起因し、地下水の放射線分解が生じてH2O2などの酸化剤が発生する。このため、緩衝材中の地下水化学は変化する。(参照 FEP : B5. 2)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> 発生した酸化剤に対し充分な量の還元剤(オーバーパックの腐食生成物)が生まれるため、還元性を維持する可能性は大きいと考えられる。</p>	<p>D : 放射性崩壊に伴う緩衝材中の地下水化学への影響は小さいとされている。</p>
	<p>B4④：核種崩壊による緩衝材中の温度上昇及び温度変化が、緩衝材中の塩の蓄積を生じさせ、また緩衝材中の地下水化学を変化させる可能性。&lt;熱、化学、水理、核種移行&gt; B1. 2(→)B4. 9→B4. 2, B1. 2→B4. 2→B4. 9, B1. 2→B4. 2</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> 塩の蓄積は、廃棄体埋設後初期の不飽和で緩衝材中の温度勾配が大きい期間に生じ、熱-水-応力-化学連成コードでの研究が行われている。また、緩衝材の飽和後は、塩は間隙水によって溶解し、拡散によって逸脱すると考えられる。(参照 FEP : B4. 2, B4. 9)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> 核種崩壊による緩衝材中の温度上昇及び温度変化が、緩衝材中の塩の蓄積を生じさせる可能性がある。温度勾配が大きな時期では、塩の蓄積による影響を考慮する必要が考えられる。緩衝材の飽和後は塩は溶解すると考えられる。</p>	<p>C (1,000 年以降) : 緩衝材の温度変化に起因した、塩の蓄積が及ぼす、地下水化学への影響は小さいとされている。 A (埋設初期 : 早期破損) : 温度勾配が大きな時期では、塩の蓄積による影響を考慮する必要が考えられる。</p>
	<p>B4⑤：オーバーパック腐食の進行に伴い生成される腐食生成物が、緩衝材中の地下水化学に影響を及ぼす可能性。&lt;化学&gt; OP4. 5(→)B4. 2, OP4. 5→OP4. 3→OP4. 2→B4. 2</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> 処分環境で安定であると考えられる腐食生成物は磁鉄鉱、海水系地下水では菱鉄鉱とされている。腐食生成物の沈殿などから、オーバーパック-緩衝材境界近傍の間隙水の鉄濃度は、磁鉄鉱などの安定な鉄鉱物の溶解度よりも高いことも予想される。(参照 FEP : B4. 3)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> オーバーパック腐食の進行に伴い生成される腐食生成物が、緩衝材中の地下水化学に影響を及ぼすことが考えられる。</p>	<p>B : オーバーパック腐食の進行に伴い生成される腐食生成物が、緩衝材中の地下水化学に影響を及ぼすことが考えられるが、腐食形態(全面、局部、応力腐食割れ)によって生成される腐食生成物が異なり、緩衝材中の地下水化学への影響も異なる。</p>
	<p>B4⑥ : B4⑧～⑨の要因による緩衝材の変質及び流出の現象が、緩衝材中の地下水化学に影響を及ぼす可能性。&lt;熱、化学、放射線、水理、核種移行、応力&gt;</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> B4⑧～⑨(地下水流动や温度の変化が地下水化学の変化に影響)の要因による緩衝材の変質現象は、緩衝材中の地下水化学に影響を及ぼす。ベントナイトの化学的特性の変化(スメクタイトの鉄型化など)に伴う間隙水組成の継</p>	<p>B : 鮫和、間隙水化学等に起因して、緩衝材の変質/流出による地下水化学の変化に関する解析は十分でない。</p>

B4. 4(→)B4. 2, B3. 5(→)B4. 2	<p>統的な変化が予想される。(参照 FEP : B4. 2, B4. 3)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>飽和、間隙水化学等に起因して、緩衝材の変質/流出による地下水化学の変化に関する解析は十分でない。</p>	
B4⑦ : B4①～④, ⑥の要因による緩衝材中の地下水化学の変化が、オーバーパックの腐食/破損の現象に影響を及ぼす可能性。<熱、化学、放射線、水理、核種移行> B4. 2(→)OP4. 4, B4. 2(→)OP3. 3	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>B4①～④, ⑥(地下水、放射線、崩壊熱)の要因による緩衝材中の地下水化学の変化は、オーバーパックの腐食/破損の現象に影響を及ぼす。現在考えられているケイ砂30%混合の緩衝材では、間隙水のpHが9.5以上になると、炭素鋼オーバーパックは不動態化する可能性が報告されており、緩衝材中の地下水化学の変化を把握することは重要である。(参照 FEP : OP)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>緩衝材中の地下水化学の変化が、オーバーパックの腐食形態に影響を及ぼすと考えられるが、十分な知見が示されていない。</p>	B : 緩衝材中の地下水化学の変化が、オーバーパックの腐食形態に影響を及ぼすと考えられるが、十分な知見が示されていない。
B4⑧ : B4①～⑤の要因による緩衝材中の地下水化学の変化や核種崩壊による温度上昇及び温度変化が、緩衝材の変質及び流出の現象に影響を及ぼす可能性。<熱、化学、放射線、水理、核種移行、応力> B4. 2(→)B4. 4, B4. 2(→)B3. 5, B1. 2(→)B4. 4, B1. 2(→)B3. 5	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>現在の処分場設計では、ベントナイトは100°C以下に保持され、緩衝材性能に有意な影響を及ぼすようなセメントーションや熱変質はないと考えられている。しかし、緩衝材加熱処理時間の違いによる膨潤性能の試験から、長期の熱負荷がベントナイト膨潤性能に与える影響の検討が課題であり、本事業におけるベントナイト変質実験が実施されている。</p> <p>温度変化と流出現象との関係に関するデータは見られない。(参照 FEP : B4. 4)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>B4①～⑤(地下水、放射線、崩壊熱、腐食生成物)の要因による緩衝材中の地下水化学の変化や核種崩壊による温度上昇及び温度変化が、緩衝材の変質に影響を及ぼす可能性が考えられるが、変質及び流出への影響に関する解析は十分ではない。</p> <p>長期熱環境下におけるベントナイト膨潤性能等についての知見は十分ではない。</p>	<p>B (地下水化学) : 緩衝材中の地下水化学の変化が、緩衝材の変質/流出への影響に関する解析は十分でない。</p> <p>B (温度変化) : 処分場設計により緩衝材は100°C以下に保持され、緩衝材性能に有意な影響を及ぼすようなセメントーションや熱変質はないと考えられている。しかし、100°C以下においても機能低下が発生する場合が指摘されており、また長期熱環境下におけるベントナイト膨潤性能等については十分でない。</p>
B4⑨ : 緩衝材の鉱物組成など化学特性における違いが、緩衝材の変質及び流出などの現象に影響を及ぼす可能性。<化学、水理、応力、核種移行> B4. 1→B4. 4, B4. 1(→)B3. 5	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>モンモリロナイトの構造式、ベントナイト中のモンモリロナイト含有量、随伴鉱物の種類と量が要因となり、またベントナイト自体、天然の産物であり品質にばらつきが存在する。(参照 FEP : B4. 1, B4. 4)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>ベントナイトの化学特性の変動は、モンモリロナイトの変質や随伴鉱物の溶解さらに緩衝材の流出などに影響を与えると考えられるが、その影響は定量的には明らかにされていない。</p>	<p>A : 緩衝材の化学特性の違いが変質や流出現象へ影響を及ぼす。リファレンス材料として考えられているクニゲルV1以外のベントナイトについて、その化学特性の評価項目、基準の検討が課題とされている。</p>
B4⑩ : B4⑧～⑨の要因による緩衝材の変質及び流出の現象が、緩衝材の間隙率や間隙構造などを変化させる可能性。<熱、化学、放射線、水理、核種移行、応力> B4. 4→B6. 2, B3. 5→B6. 2	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>B4⑧, ⑨の要因による緩衝材の変質は、緩衝材の間隙率や間隙構造などを変化させる可能性が考えられる。</p> <p>緩衝材の流出現象に関して、岩盤内への侵入は時間と共に緩衝材の密度低下が起こり、10万年で初期値の約92%になると報告されている。(参照 FEP : B6. 1, B4. 4)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>緩衝材の変質が、間隙構造を変化させる可能性は存在するが、解析が十分には進んでいない。</p>	<p>B (変質) : 緩衝材の変質が、間隙構造を変化させる可能性は存在するが、解析が十分には進んでいない。</p> <p>B (流出) : 緩衝材の流出挙動を拡散モデルで評価した結果、密度低下は100万年で80%とされているが解析は十分ではない。</p>
B4⑪ : B4⑩の要因による緩衝材の間隙率及び間隙構造の変化が、緩衝材中の溶存成分などの物質移動特性(拡散、移流、吸着等)を変化させ、さらに緩衝材中の地下水化学に影響を及ぼす可能性。<熱、化学、放射線、水理、物質移行、応力> B6. 2 → B6. 1 → B6. 3, B6. 2 → B6. 1(→)B4. 2	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>B4⑩の要因による緩衝材の間隙率及び間隙構造の変化が、緩衝材中の溶存成分などの物質移動特性(拡散、移流、吸着)を変化させ、更に緩衝材中の地下水化学に影響を及ぼす可能性が考えられる。現在ベントナイト変質に関して、実験及び解析的な検討が実施されている。(参照 FEP : B4. 2, B6. 3. 1, B6. 3. 2, B6. 3. 3)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>緩衝材の変質等に起因し、物質移動特性の変化が、緩衝材中の地下水化学を変化させる可能性は存在するが、解析が十分には進んでいない。</p>	<p>B : 緩衝材の変質等に起因し、物質移動特性の変化が、緩衝材中の地下水化学を変化させる可能性は存在するが、解析が十分には進んでいない。</p>

<p>B4⑫ : B4①～⑥, ⑪の要因による緩衝材中の地下水化学の変化が、緩衝材におけるコロイド形成、有機物及び微生物の化学特性、ガスの透気性などに影響を及ぼす可能性。&lt;熱、化学、放射線、水理、核種移行、応力&gt;</p> <p>B4. 2 → B4. 7 , B4. 2 → B4. 6 , B4. 2(→)B4. 5, B4. 2(→)B4. 8</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> B4①～⑥, ⑪(地下水、放射線、崩壊熱、腐食生成物、変質、間隙)の要因による緩衝材中の地下水化学の変化が、緩衝材におけるコロイド形成に影響を及ぼすと考えられる。「第2次取りまとめ 分冊3<sup>(6)</sup>」では、地下水中のコロイド特性、ベントナイト系緩衝材を起源とするコロイド生成が検討されている。 微生物の化学特性については、地下水のpH、Eh及び組成、有機物量などが影響するが、サイト選定段階の具体的な地質環境下での研究に依存するものと考えられる。(参照FEP : B4. 7, B4. 5) <b>【JAEAによる判断】</b> 緩衝材中の地下水化学の変化は緩衝材におけるコロイド形成に影響すると考えられるが、現在のところ解析が進んでおらず、地下水化学の変化とコロイド形成についての検討は、今後の課題である。また、緩衝材中の地下水化学の変化が、有機物及びガスの透気性に影響を及ぼすことに関する報告の例は見られない。</p>	<p><b>B(コロイド) :</b> 地下水化学の変化に伴う緩衝材の変質の影響についての直接的な知見はないが、コロイドが発生するようになる可能性は否定できないのでB判定。 <b>C(有機物、微生物) :</b> 影響はサイトに依存して変化すると思われるため、C判定とする。</p>
<p>B4⑬ : B4⑩の要因による緩衝材の間隙率及び間隙構造の変化が、緩衝材領域の水理特性や地下水流动現象を変化させ、緩衝材中の移流による核種移行や緩衝材を通過する核種の漏洩量などを左右する可能性。&lt;熱、化学、放射線、水理、核種移行、応力&gt;</p> <p>B6. 2 → B2. 2 → B6. 3. 1 , B6. 2 → B2. 2(→)D6. 3</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> 解析が十分には進んでいない。本事業においてベントナイト変質に関わる実験、解析的な検討を進めている。(参照FEP : B6. 3. 1) <b>【JAEAによる判断】</b> B4⑩(地下水化学、温度、化学特性)の要因による緩衝材の間隙率及び間隙構造の変化が、緩衝材領域の水理特性や地下水流动現象を変化させる可能性が考えられる。これに伴って核種移行も変化すると考えられる。しかし現在のところ解析は十分ではない。</p>	<p><b>B :</b> 緩衝材間隙構造の変化に起因した、水理特性や地下水流动現象が、核種移行を変化させる。しかし、解析が十分には進んでいない。</p>
<p>B4⑭ : B4①～⑥, ⑪の要因による緩衝材中の地下水化学の変化が、溶解度、吸着、拡散などの核種移行現象に影響を及ぼす可能性。&lt;熱、化学、放射線、水理、核種移行、応力&gt;</p> <p>B4. 2→B6. 3. 4, B4. 2→B6. 3. 3, B4. 2→B6. 3. 2</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> B4①～⑥, ⑪(地下水、放射線、崩壊熱、腐食生成物、変質、間隙)の要因による緩衝材中の地下水化学の変化は、溶解、拡散などの核種移行現象に影響を及ぼす。地下水のpH、Eh、イオン強度は緩衝材中の電気二重層の広がり、実行拡散係数、拡散化学種などに影響を及ぼす。(参照FEP : B6. 3. 2, B6. 3. 3) <b>【JAEAによる判断】</b> B4①～⑥, ⑪(地下水、放射線、崩壊熱、腐食生成物、変質、間隙)の要因による緩衝材中の地下水化学の変化は、溶解、拡散などの核種移行現象に影響を及ぼすと考えられる</p>	<p><b>A :</b> 緩衝材中の地下水化学の変化は、溶解度、吸着、拡散などの核種移行現象に影響を及ぼす。溶解度は、pH、Eh、配位子などの溶液の化学的条件と、その条件に応じて生成される溶解度制限固相によって変化する。</p>
<p>B4⑮ : B4⑫に示したコロイド形成、有機物及び微生物の化学特性、ガスの透気性などによる影響が、緩衝材中の微生物、有機物、コロイドと、核種との化学作用(錯形成、溶解度、吸着等)や、ガスによる核種の移行などに影響を及ぼす可能性。&lt;熱、化学、放射線、水理、核種移行、応力&gt;</p> <p>B4. 7→B6. 3. 5, B4. 6→B6. 3. 3, B4. 6→B6. 3. 4, B4. 5→B6. 3. 3, B4. 5→B6. 3. 4, B4. 8→B6. 3. 6</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> B4⑫に示したコロイド形成、有機物及び微生物の化学特性、ガスの透気性などによる影響が、緩衝材中の微生物、有機物、コロイドと、核種との化学作用(錯形成、溶解度、吸着等)や、ガスによる核種の移行などに影響を及ぼすことに関する報告の例は見られない。【JAEAによる判断】今後、サイトが絞られる段階の具体的な地質環境下での研究に依存するものと考えられる。B4⑫に示した地下水化学の変化に伴ってコロイドが発生すれば、コロイドと核種の相互作用は無視できない。</p>	<p><b>B(コロイド) :</b> 地下水化学の変化に伴ってコロイドが発生すれば、コロイドと核種の相互作用は無視できないのでB判定。 <b>C(有機物、微生物) :</b> 影響はサイトに依存して変化すると思われるため、C判定とする。</p>
<p>B4⑯ : B4④に示した塩の蓄積が、緩衝材の化学的変質(鉱物学的変化等)や間隙地下水との反応に影響を及ぼす可能性。&lt;化学&gt;</p> <p>B4. 9→B4. 4→B4. 3</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> 緩衝材の温度変化に起因した、塩の蓄積が及ぼす地下水化学への影響は小さいとされている。塩の蓄積を正しく評価することは緩衝材の間隙水組成や鉱物学的変化についての検討を行うとき重要であり、熱-水-応力-化学連成モデルのうち水理と地球化学の連成において検討されている。 <b>【JAEAによる判断】</b> 塩の蓄積が及ぼす地下水化学への影響は小さいと考えられるが、塩の蓄積が化学的変質に及ぼす影響については今後の課題である。</p>	<p><b>D (1,000年以降) :</b> 緩衝材の温度変化に起因した、塩の蓄積が及ぼす、地下水化学への影響は小さいとされている。 <b>A (埋設初期：早期破損) :</b> 温度勾配が大きな時期では、塩の蓄積による影響を考慮する必要が考えられる。</p>

放射線	<p>B4⑯ : 緩衝材中における微生物、有機物の存在やコロイドの形成状態が、プラグ等や腐食生成物中における微生物、有機物の存在やコロイド形成に影響を及ぼす可能性。&lt;化学&gt;</p> <p>B4. 7→D4. 7, B4. 7→OP4. 8, B4. 5→D4. 5, B4. 5→OP4. 6, B4. 6→D4. 6, B4. 6→OP4. 7</p>	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>緩衝材中における微生物、有機物の存在やコロイドの形成状態が、プラグ等や腐食生成物中における微生物、有機物の存在やコロイド形成に影響を及ぼす可能性に関する報告の例は見られない。</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>今後、サイトが絞られる段階の具体的な地質環境下での研究に依存するものと考えられる。B4⑯に示した地下水化学の変化に伴って緩衝材中においてコロイドを形成する条件が整う場合には、その周辺領域においてもコロイドを形成する条件が実現する可能性が否定できない。</p>	<p>B(コロイド) : 既往の知見はないが、緩衝材中においてコロイドを形成する条件が整う場合には、その周辺領域においてもコロイドを形成する条件が実現する可能性が否定できないのでB判定。</p> <p>C(有機物、微生物) 影響はサイトに依存して変化すると思われるため、C判定とする。</p>
	<p>B4⑰ : B4⑯～⑯の要因による緩衝材の変質が、緩衝材成分の物質移動(溶存成分、コロイド物質)を変化させ、緩衝材の間隙構造に、またオーバーパック領域の腐食生成物、及びプラグ等や母岩掘削影響領域の間隙構造に影響を及ぼす可能性。&lt;化学、核種移行&gt;</p> <p>B4. 4→B6. 4→B6. 2, B4. 4→B6. 1→B6. 4→OP6. 2</p> <p>B4. 4→B6. 1→B6. 4→D6. 2</p>	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>B4⑯～⑯の要因による緩衝材の変質が、緩衝材成分の物質移動(溶存成分、コロイド物質)を変化させ、緩衝材の間隙構造に、またオーバーパック領域の腐食生成物、及びプラグ等や母岩掘削影響領域の間隙構造に影響を及ぼす可能性に関する報告の例は見られない。</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>今後、サイトが絞られる段階で高アルカリや高温(100°C以上) 霧囲気での変質を検討するとき、重要な課題となる。</p>	<p>B(コロイド) : 既往の知見はないが、緩衝材の変質に伴って緩衝材中においてコロイドを形成する条件が整う場合には、その周辺領域に影響を及ぼす可能性が否定できないのでB判定。</p>
	<p>B5① : 核種の放射性崩壊に起因した地下水への放射線が、地下水の組成を変化(酸化還元反応、ガス発生等)させる可能性。&lt;放射線、化学&gt;</p> <p>G5. 1→B5. 1→B5. 2→B4. 2</p>	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>バーパックの遮蔽効果によって、放射線強度は低い状態(最大でも 0.84[mSv/h])で推移するとされている。地下水の放射線分解では、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>などの酸化剤が発生し、緩衝材中の地下水化学は変化する可能性があるが、この定量的な数値に関するデータは整備されていない。オー(参照 FEP : B5. 2)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>酸化剤が生じたとしてもオーバーパック腐食による還元剤の供給により核種移行に及ぼす影響はほとんどないものと考えられる。</p>	<p>A (OP 早期破損) : オーバーパックが早期破損した場合、地下水の放射線分解と地下水組成の変化が起こる可能性がある。地下水の酸化還元状態だけではなく、pHも変化(低下)させるという指摘がある。</p> <p>D: (OP 健全期間) オーバーパックの遮蔽効果によって、放射線強度は低い状態(最大でも 0.84[mSv/h])で推移し、地下水中的生成酸化種と還元種は再結合し易い(なおオーバーパック腐食に伴って水素が発生し、地下水中には還元霧囲気が形成される)</p> <p>D: (OP 破損後) : 1,000 年以降においては、地下水がガラス固化体に接触した段階で α 線による放射線分解が重要といわれている。ガラス固化体から溶出してきた核種が緩衝材中を移行する時期においては、アクチニド核種の崩壊によって生成される娘核種によって核種移行に影響を及ぼすことが考えられる。酸化種発生量は 10 万年後に 1,000mol と想定される。しかしオーバーパックの腐食に伴う還元種発生により還元霧囲気は維持される。Kristallin-1 での解析でも、酸化状態が進展しないと評価している。</p>
	<p>B5② : 核種の放射性崩壊によって放出された放射線が、緩衝材及びその周辺のバリア材料に対し放射線影響を及ぼす可能性&lt;放射線&gt;</p>	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>「第 2 次取りまとめ 分冊 3<sup>(6)</sup>」では、スメクタイトの γ 線照射試験では影響が小さいことを述べている。また、ガラス固化体から浸出し、収着された核種の α 崩壊の影</p>	<p>A (OP 早期破損) : オーバーパックが早期破損した場合、地下水の放射線分解と地下水組成の変化が起こ</p>

	<p>G5. 1 → B5. 1 (→) B1. 1 , G5. 1 → B5. 1 (→) B2. 1, G5. 1 → B5. 1 (→) B3. 1, G5. 1 → B5. 1 (→) B4. 1 , G5. 1 → B5. 1 (→) B6. 1</p> <p>【文献からの知見】 影響については、崩壊による反跳核の影響で、結晶構造の変化や収着特性に影響を及ぼす可能性が指摘されているが、影響を受けるスメクタイトは多くても数%程度と推定されることや、損傷による変質物質が収着性能を有することなどから、核種移行に有意な影響を与えることはないとしている。 緩衝材以外の周辺人工バリア材への影響は「第2次取りまとめ 分冊3<sup>(6)</sup>」には述べられていない。(参照 FEP : B5. 1)</p> <p>【JAEAによる判断】 「第2次取りまとめ 分冊3<sup>(6)</sup>」等より、オーバーパックによる遮蔽効果も合わせ、緩衝材の放射線影響は小さいと考えられる。</p>	<p>る可能性がある。</p> <p>D(OP 健全期間)：オーバーパックの遮蔽効果によつて、放射線強度は低い状態で、影響は小さいと考えられる。</p> <p>D：(OP 破損後)核種崩壊に伴う放射線が、ガラス固化体の特性に影響を及ぼす程度については、安全評価上有意ではない。</p> <p>B: 他バリア材への放射線の影響はないと考えられるが、確認されていない。</p>
	<p>B6①：緩衝材領域における物質の拡散、移流、収着など移行特性の変化が、地下水組成に影響を及ぼす可能性。&lt;核種移行、化学&gt; B6. 1 (→) B4. 1</p> <p>【文献からの知見】 物質の拡散、移流、収着など移行特性は、緩衝材の変質、鉱物の溶解/沈殿、間隙の変化などによって変化する。そしてこの移行特性の変化によって、腐食性生物、緩衝材成分などの移行挙動が変化し、緩衝材の間隙水の組成は変化すると考えられるが、これまでに定量的に示された事例は見当たらない。(参照 FEP : B4. 2)</p> <p>【JAEAによる判断】 移行特性の変化によって、腐食性生物、緩衝材成分などの移行挙動が変化し、緩衝材の間隙水の組成は変化すると考えられる。本事業においてペントナイト変質に関わる実験、解析的な検討を進めている。</p>	<p>A : 移行特性の変化により、核種濃度の変化が考えられ、地下水組成への影響が生じる。しかし、具体的な報告例は見られない。</p>
物質移動	<p>B6②：緩衝材中における核種の拡散、収着、移流など移行特性が、熱応力、変質、変形、流出、オーバーパック自重による圧密沈下などに伴った幾何形状・間隙構造の変化によって変化する可能性。&lt;核種移行&gt; B4. 4→B6. 2, B3. 2→B3. 3→B6. 2, B3. 4→B3. 5→B6. 2, B6. 2→B6. 1→B6. 4</p> <p>【文献からの知見】 緩衝材の主要構成鉱物であるスメクタイトは、イオン交換もしくはエッジサイトでの収着メカニズムが考えられている。緩衝材中の核種の見掛け拡散係数や実行拡散係数は緩衝材の密度に依存することが報告されている。(参照 FEP : B6. 3. 2, B6. 3. 1)</p> <p>【JAEAによる判断】 熱応力、変形、流出、オーバーパック自重による圧密沈下などによる幾何形状/間隙構造の変化が、緩衝材中における核種の拡散、収着、移流など移行特性の変化に影響を及ぼす可能性が考えられる。拡散による核種の移行については、拡散係数への幾何形状/間隙構造の変化の影響が問題となる。本事業においてペントナイト変質に関わる実験、解析的な検討を進めている。</p>	<p>A : 緩衝材中の間隙構造は密度に依存し、それに伴い拡散係数が変化する。間隙構造の変化は、移行特性へ影響を及ぼす。</p>
	<p>B6③：コロイドによる移行現象が、緩衝材中の有機物や微生物の存在によって変化する可能性。&lt;核種移行&gt; B4. 6→B4. 7→B6. 3. 5, B4. 5→B4. 7→B6. 3. 5, B4. 5→B4. 2→B4. 7→B6. 3. 5</p> <p>【文献からの知見】 圧縮ペントナイトの持つコロイドのフィルタ効果のために、分子量の小さい有機物が問題となる。また微生物自体の移行はフィルタ効果のために問題とならないが、微生物の活動に付随して起こる有機物の分解による、可溶性で可動性の有機物の増加の問題が指摘されている。(参照 FEP : B6. 3. 5)</p> <p>【JAEAによる判断】 コロイドによる移行現象が、緩衝材中の有機物や微生物の存在によって変化する可能性がある。</p>	<p>D (コロイド) : 緩衝材が健全でコロイドの移行が生じない場合は D 判定とする。</p> <p>A (コロイド) : コロイド移行が生じるシナリオでは A 判定とする。</p> <p>C (有機物、微生物) 影響はサイトに依存して変化すると思われるため、C 判定とする。</p>
	<p>B6④：緩衝材中の核種移行現象が、地下水の放射線分解に影響を及ぼす可能性。&lt;核種移行、放射線&gt; B6. 3→B5. 1→B5. 2</p> <p>【文献からの知見】 「第2次取りまとめ 分冊3<sup>(6)</sup>」では、人工バリア内の還元剤(オーバーパックとその腐食生成物、緩衝材中の黄鉄鉱など)の存在によって、緩衝材中での地下水の放射線分解による酸化剤生成の影響はなくなるとしている。(参照 FEP : B5. 2)</p> <p>【JAEAによる判断】 緩衝材中の核種移行現象が、地下水の放射線分解に影響を及ぼす可能性が考えられる。ガラス固化体から浸出してきた核種が緩衝材中を移行する時期においては、アクリニド核種の崩壊によって生成される娘核種によって地下水の放射線分解が生じる可能性がある。</p>	<p>D : 緩衝材中の核種移行に伴う、放射線分解への影響は小さい。間隙水中の核種による放射線分解によって、酸化剤が生成したとしても OP の腐食生成物(還元物質)の存在によって、還元環境は保持されると考えられる。</p>

B6⑤：緩衝材中のガス発生(腐食反応、放射線分解、微生物等による)や蓄積に伴った幾何形状・間隙構造の変化や、突発的に発生する地下水の押し出し現象が、核種の拡散、収着、移流など移行特性に影響を及ぼす可能性。<核種移行> B4. 8→D4. 8, B4. 8→H4. 8, B4. 8→B6. 2→B6. 1, B4. 8(→)B6. 1	【文献からの知見】 微生物からのメタンガスは地下水に溶解し拡散するが、腐食生成ガス(水素ガス)は、オーバーパックと緩衝材境界に蓄積され、緩衝材中を透気することになる。二相流コードによる解析の結果では、発生した水素ガスのほぼ全量は周辺岩盤に移動し、緩衝材や岩盤の構造力学的な安定性を損なうことはないことが報告されている。 突発的に発生する地下水の押し出し現象による緩衝材の核種の移行特性への影響は、突発的な水圧と緩衝材内の動水勾配、それによる流速の増大の程度が問題となるが、充分な検討はされていない。(参照 FEP : B6. 3. 6) 【JAEAによる判断】 緩衝材中のガス発生(腐食反応、放射線分解、微生物等による)や蓄積に伴った幾何形状/間隙構造の変化や、突発的に発生する地下水の押し出し現象が、核種の拡散、収着、移流など移行特性に影響を及ぼす可能性がある。	C : ガスによる間隙構造の変化や押し出し現象が、移行特性に影響を及ぼす可能性は小さいと考えられる。炭素鋼の腐食試験、溶存水素の溶解度、緩衝材中の拡散速度などを考慮すると、長期的には水素ガスの蓄積は起りにくく、炭素鋼腐食による水素ガス発生と比べて無視できる程度とされている。しかし、ガス透気は、ペントナイトの空隙を拡大してパイピングを生じるものと考えられ、透気後のパイプの自己修復が、長期にわたって繰り返された場合の自己修復性は不明である。また、ペントナイトは、長期的にはCa化やアルカリ影響で変質しており、その状態で自己修復するかは不明。
B6⑥：B6②, ⑤に示す緩衝材の幾何形状・間隙構造の変化が、緩衝材成分の物質移動特性に影響を及ぼす可能性。<核種移行> B6. 2→B6. 1	【文献からの知見】 種々の要因(変形、流出、オーバーパック自重による圧密沈下、岩盤との相互作用、クリープ変位、ガス発生と移行、再冠水による膨潤応力の発生など)による間隙構造の変化が物質移動特性へ影響を及ぼすデータは整理されていない。(参照 FEP : B6. 4) 【JAEAによる判断】 B6②, ⑤に示す緩衝材の幾何形状/間隙構造の変化が、緩衝材成分の物質移動特性に影響を及ぼす可能性が考えられる。	A : 緩衝材の幾何形状・間隙構造の変化が、緩衝材の物質移動特性を変化させる。しかし、個別要因の変化に関する、物質移動特性への影響は整理されていない。
B6⑦：B6②, ⑤に示す緩衝材の幾何形状・間隙構造の変化に伴った緩衝材中の核種移行が、プラグ等やニアフィールド母岩中における核種移行現象に影響を及ぼす可能性。<核種移行> B6. 2(→)B6. 3→D6. 3	【文献からの知見】 緩衝材の幾何形状・間隙構造の変化が、緩衝材の核種移行現象を変化させる。しかし、個別要因の変化に関する、核種移行への影響は整理されていない。 【JAEAによる判断】 B6②, ⑤に示す緩衝材の幾何形状/間隙構造の変化に伴った緩衝材中の核種移行が、プラグ等やニアフィールド母岩中における核種移行現象に影響を及ぼす可能性がある。 これらについてはプラグ等の核種移行(D6. 3)、母岩の核種移行(H6. 3)のFEP調査を行い、今後検討を加える必要がある。	A : 緩衝材の幾何形状・間隙構造の変化が、緩衝材の核種移行現象を変化させる。しかし、個別要因の変化に関する、核種移行への影響は整理されていない。

Table I-4. 安全性への影響の可能性に関する理解の現状と相関の判定（母岩）

現象	「安全性への影響の可能性」項目	理解の現状	相関の判定と、判定に関するコメント
H1①：核種崩壊に伴い発生する熱が、人工バリア材などの熱特性や地中温度に依存して伝播し、掘削影響領域の埋設初期段階における温度上昇や時間的・空間的な温度変動をもたらす可能性。<熱> G1. 4→G1. 2→OP1. 2→B1. 2→D1. 2→H1. 2, H1. 1→H1. 2	【文献からの知見】 核種崩壊に伴い発生する熱が、人工バリア材の熱特性や地中温度に依存して伝播し、掘削影響領域の埋設初期段階における温度上昇や時間的・空間的な温度変動をもたらす可能性は存在する。緩衝材の熱変質防止の観点から、オーバーパック外表面温度が100°Cを超えない様に、廃棄体間隔などの設計で対応することとされている。なお、廃棄体間隔の検討では、空洞安定性から設定された最小処分坑道離間距離及びピッチの組合せでも、岩盤の最高上昇温度は80°Cを下回る結果が得られ、緩衝材と岩盤、廃棄体との間の隙間(空気)を考慮する隙間モデルの場合でも、80°C程度であることが示されている。(参照 FEP : H1. 2) 【JAEAによる判断】 温度上昇は生じると考えられるが、それによる影響はほ	A: 通常の設計からは岩盤の温度は最大80°C程度で変化すると考えられる。	

温 度	H1② : H1①に示した熱伝導の過程において発生する掘削影響領域における熱応力が、応力状態を時間的に変化させ、応力再配分領域のクリープ、掘削損傷領域の亀裂進展などに影響を及ぼす可能性。<熱、応力> G1. 4→G1. 2→OP1. 2→B1. 2→D1. 2→H1. 2, H1. 2→H3. 2→H3. 3→H6. 2	とんど無いものと考えられる。  【文献からの知見】 処分孔周辺の掘削影響領域に伝播した温度はあまり高くなく、発生する熱応力は大きくない。そのため、連絡坑道周辺の掘削影響領域への温度伝播はさらに小さいと考えられる。これらの具体的な検討は少ない。  【JAEAによる判断】 伝播する温度が余り高くないため、H1①に示した熱伝導の過程において発生する掘削影響領域における熱応力が、応力状態を時間的に変化させ、応力再配分領域のクリープ現象、掘削損傷領域の亀裂進展などに影響を及ぼす可能性は少ないと考えてよい。	D : 崩壊熱が伝播しても、通常の場合は設計対応により、熱による影響がほとんど無いため、それに伴って発生する応力変化もほとんど無い。
	H1③ : H1①に示した温度上昇や温度変化が、間隙地下水中の溶存化学種、掘削影響領域の鉱物組成、亀裂充填鉱物や亀裂変質帯の鉱物組成、及びその化学特性に影響を及ぼす可能性。<熱、化学> G1. 4→G1. 2→OP1. 2→B1. 2→D1. 2→H1. 2, H1. 2→H4. 2, H1. 2(→)H4. 1	【文献からの知見】 埋設初期の段階では処分孔周辺の掘削影響領域は不飽和領域である。また、後期になると崩壊熱が小さくなり、発生する熱自体が少なくなる。したがって、H1①に示した温度上昇や温度変化が、間隙地下水中の溶存化学種、掘削影響領域の鉱物組成、亀裂充填鉱物や亀裂変質帯の鉱物組成、及びその化学特性に影響を及ぼす可能性は少ないと考えられるものの、温度依存性について実験、解析した報告は見られない。  【JAEAによる判断】 温度上昇や温度変化が、間隙地下水中の溶存化学種、掘削影響領域の鉱物組成、亀裂充填鉱物や亀裂変質帯の鉱物組成、及びその化学特性に影響を及ぼす可能性は少ないと考えられる。	D (標準的な場合) : 設計対応により、熱による影響がほとんど無いため、熱が地下水化学、鉱物の変質に与える影響はわずかであると考えられる。
	H1④ : H1①に示した温度上昇や温度変化が、掘削影響領域の弾性係数やポアソン比など力学特性に影響を及ぼす可能性。<熱、応力> G1. 4→G1. 2→OP1. 2→B1. 2→D1. 2→H1. 2, H1. 2(→)H3. 1	【文献からの知見】 H1①に示した温度上昇や温度変化が、掘削影響領域の弾性係数やポアソン比など力学特性に影響を及ぼす可能性は存在する。しかし、周囲雰囲気温度は 100°C 以下とされていることから、弾性係数やポアソン比など力学特性に有意な影響を及ぼす可能性は小さいと考えられる。温度依存性について実験、解析した報告は見られない。  【JAEAによる判断】 温度変化による影響はあると考えられるが、周辺温度は 100 度以下とされているため、水理特性や地下水流動に對しての影響は、ごくわずかであると考えられる。	D (標準的な場合) : 設計対応により、熱による影響がほとんど無いため、それに伴って発生する応力変化もほとんど無い。
	H1⑤ : H1①に示した温度上昇や温度変化が、掘削影響領域の水理特性を変化させ、不飽和領域における地下水の飽和挙動、地下水流動に影響を及ぼす可能性。<熱、水理> G1. 4→G1. 2→OP1. 2→B1. 2→D1. 2→H1. 2, H1. 2→H3. 2→H2. 1→H2. 2→H2. 3	【文献からの知見】 H1①に示した温度上昇や温度変化が、掘削影響領域の水理特性を変化させ、不飽和領域における地下水の飽和挙動、地下水流動に影響を及ぼす可能性は存在する。しかし、周囲雰囲気温度は 100°C 以下とされていることから、水理特性や地下水流動に有意な影響を及ぼす可能性は小さいと考えられるものの、温度依存性について実験、解析した報告は見られない。  【JAEAによる判断】 温度変化による影響はあると考えられるが、周辺温度は 100 度以下とされているため、水理特性や地下水流動に對しての影響は、ごくわずかであると考えられる。	D (標準的な場合) : 設計対応により、熱による影響がほとんど無いため、それに伴って発生する応力変化もほとんど無い。

<p>H1⑥ : H1①に示した温度上昇や温度変化が、オーバーパック破損後における掘削影響領域中の溶解度、収着、拡散などの核種移行に、また掘削影響領域における微生物、有機物、コロイドと核種との化学作用(錯形成、収着等)や、ガスによる核種の移行挙動などに影響を及ぼす可能性。&lt;熱、化学、核種移行&gt;</p> <p>G1.4→G1.2→OP1.2→B1.2→D1.2→H1.2, H1.2→H4.2→H6.3, H1.2(→)H4.5→H4.2, H4.2→H6.3.2, H4.2→H6.3.3, H4.2→H6.3.5, H4.2→H6.3.6, H1.2→H4.2→H4.6→H6.3.3, H1.2(→)H4.7→H6.3.5, H1.2(→)H4.8→H6.3.6</p>	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>H1①にしめた核種崩壊に伴う温度上昇や温度変化が、オーバーパック破損後における掘削影響領域中の溶解度、収着、拡散などの核種移行に、また掘削影響領域における微生物、有機物、コロイドと核種との化学作用(錯形成、収着等)や、ガスによる核種の移行挙動などに影響を及ぼす可能性は存在する。しかし、掘削影響領域では、温度がどの程度影響を与えるか定量的に評価されていない。拡散係数や溶解度の温度依存性については、顕著でないことを示す報告がある。(参照 FEP : H6.3.2, H4.3)</p> <p>処分環境での微生物の存在、生息可能性は、ペントナイト中に硫酸塩還元細菌などが存在し、右機物を栄養源として繁殖し得ることや、低 Eh 環境での生存が可能との報告があり、地下水中の有機物や生息に伴うガス発生、コロイド形成などに伴う影響が懸念された。コロイドと核種との化学作用については、人工バリア温度の低下後(1,000 年以降)であり、熱の影響は無視できると考えられている。(参照 FEP : D4.6, D4.7, D6.3.4)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>温度上昇は生じると考えられるが、それによる EDZ への影響はほとんど無いものと考えられる。但し、温度影響が発現する時期と OP 破損時期とが重なるかどうかを検討して考える必要がある。温度上昇や温度変化が、腐食生成物中の微生物、有機物、コロイドと核種との化学作用(錯形成等)に影響を及ぼす可能性が考えられる。</p>	<p>D (コロイド) : 温度上昇や温度変化の影響が少ない、と判定された H1①に基づくため D。</p> <p>B (早期破損) : OP 早期破損かつ緩衝材コロイドろ過があるときは B。</p> <p>C (有機物、微生物) 影響はサイトに依存して変化すると思われるため、C 判定とする。</p>
<p>H1⑦ : H1②, ③に示した変形、変質が、掘削影響領域の幾何形状や間隙構造などを変化させ、地下水流动を変化させる可能性。&lt;熱、応力、化学、水理&gt;</p> <p>G1.4→G1.2→OP1.2→B1.2→D1.2→H1.2, H1.2→H3.2→H3.3→H6.2, H1.2→H4.2→H4.1→H4.4→H6.2, H6.2→H2.2, H1.2→H6.2→H2.1→H2.2</p>	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>対象となる間隙構造や地下水流动に直接関係する温度依存性に関する報告は見られない。</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>H1②、③に示した変形、変質現象が、掘削影響領域の幾何形状や間隙構造などを変化させ、地下水流动、浸透量、流路などの現象を変化させる可能性は考えられる。しかし熱による変形や変質がごくわずかであると考えられるため、地下水流动への影響はほとんど無いと推定される。</p>	<p>D : 設計要件を満たす場合、伝搬する温度があまり高くないことは設計対応によって達成されると考えられている。そのため熱による変形・変質がわずかであると考えられるため、地下水流动への影響はほとんど無い。</p>
<p>H1⑧ : H1⑦に示した地下水流动の変化が、掘削影響領域中の移流による核種移行や、掘削影響領域を通過する核種の漏洩量を左右する可能性。&lt;熱、応力、化学、水理、核種移行&gt;</p> <p>G1.4→G1.2→OP1.2→B1.2→D1.2→H1.2, H1.2→H3.2→H3.3→H6.2, H1.2→H4.2→H4.1→H4.4→H6.2, H6.2→H2.2, H2.2→H6.3.1, H2.2(→)H6.3, H6.2→H6.1→H6.3</p>	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>拡散係数や溶解度の温度依存性については、顕著でないことを示す報告がある。(参照 FEP : H6.3.4, H6.3.2)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>H1⑦に示した地下水流动の変化が、地下水中に含まれる物質の移動現象への影響及び掘削影響領域中の移流による核種移行や、掘削影響領域を通過する核種の漏洩量を左右する可能性は存在するが、設計で見込まれるオーバーパックの寿命 1,000 年後において、掘削影響領域の周囲温度は 80°C 以下と推定されており、人工バリア内での核種移行挙動には直接的には影響を与えないと考えられる。</p>	<p>D : 設計要件を満たす場合には、地下水流动はほとんど影響せず、拡散係数や溶解度も温度依存性は顕著でない。</p>
<p>H1⑨ : 人工バリアから掘削影響領域に伝播した熱が、さらに母岩の掘削影響領域外部分の温度上昇や、時間的・空間的な温度変動をもたらす可能性。&lt;熱&gt;</p> <p>G1.4→G1.2→OP1.2→B1.2→D1.2→H1.2, H1.1→H1.2</p>	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>掘削影響領域に引き続き、母岩の温度も熱伝導解析で評価されている。岩盤の最高上昇温度は、岩石の熱的変質の制限温度を下回り、また、廃棄体の専有面積が同じであれば、最高上昇温度に対する処分坑道離間距離の違いによる影響は小さいことがわかった。(参照 FEP : H1.2)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>核種崩壊に伴い発生する熱が、人工バリア材の熱特性や地中温度に依存して伝播し、掘削影響領域を通り、母岩の通常部分の埋設初期段階における温度上昇や時間的・空間的な温度変動をもたらす可能性は存在する。</p> <p>実際には緩衝材の温度が 100°C を超えないように廃棄体専有面積が決められることになると考えられるため、母岩の温度も 100°C を超えることはなく、熱の影響は小さいと推定される。</p>	<p>D : 崩壊熱が掘削影響領域を伝播し、さらに母岩の温度上昇や時間的・空間的な温度変動をもたらす可能性はひくく、実際には緩衝材の温度が 100°C を超えないように廃棄体専有面積が決められることになると考えられるため、母岩の温度も 100°C を超えることはなく、熱の影響は小さいと推定される。</p>
<p>H1⑩ : H1⑨に示した熱伝播の過程において発生する母岩中の熱応力が、応力状態を時間的に変化させ、母岩のクリープ、亀裂進展などに影響を</p>	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>崩壊熱による熱応力は母岩領域では熱の伝播がほとんど無いと考えられるため、発生しないと考えられる。また、堆積岩(稚内硬質頁岩)を用いて、温度条件におけるク</p>	<p>D : 崩壊熱が掘削影響領域を伝播し、温度上昇や時間的・空間的な温度変動をもたらす可能性低いため、応</p>

<p>及ぼす可能性。&lt;熱, 応力&gt;G1. 4→G1. 2→OP1. 2→B1. 2→D1. 2→H1. 2, H1. 2→H3. 2→H3. 3→H6. 2</p>	<p>リープ試験を実施した結果によれば、破壊間際のひずみ速度について、供試体固有の微細な潜在的な割れ目（ヘーアクラック）などによる力学特性のバラツキ以上に、熱条件による明瞭な違いは定性的に現れていない。（参照 FEP : H3. 3）</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>母岩中の熱応力が、応力状態を時間的に変化させ、母岩のクリープ、亀裂進展などに影響を及ぼす可能性は低く、影響は小さいと考えられる。</p>	<p>力変化もほとんど生じないと考えられるためD判定とする。</p>
<p>H1⑪ : H1⑨に示した温度上昇や温度変化が、母岩の溶存化学種、鉱物組成、亀裂充填鉱物や亀裂変質帯の鉱物組成、及びその化学特性に影響を及ぼす可能性。&lt;熱, 化学&gt; G1. 4→G1. 2→OP1. 2→B1. 2→D1. 2→H1. 2, H1. 2→H4. 2, H1. 2(→)H4. 1</p>	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>H1⑨に示した温度上昇や温度変化は最大で 80°C であるので、掘削影響領域周辺における母岩中を流れる地下水中の溶存化学種の変化は生じる可能性がある。しかし、鉱物組成、亀裂充填鉱物や亀裂変質帯の鉱物組成およびその化学特性に影響を及ぼす可能性は、母岩を構成する鉱物の溶解度溶解度から考えて少ないと推定される。これらの化学特性の温度依存性について、実験、解析した報告は見られない。（参照 FEP : H4. 2）</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>温度上昇や温度変化は最大で 80°C であるので、母岩中を流れる地下水中の溶存化学種の変化は少ないと考えられる。鉱物組成、亀裂充填鉱物や亀裂変質帯の鉱物組成およびその化学特性に影響を及ぼす可能性は、母岩を構成する鉱物の溶解度から考えて少ないと推定される。</p>	<p>D（鉱物組成、亀裂充填鉱物や亀裂変質帯の鉱物組成、及びその化学特性）：母岩を構成する鉱物の溶解度から考えて少ないと推定される。これらの化学特性の温度依存性について、実験、解析した報告は見られない。また、溶存化学種についても、温度変化は生じる可能性があるが、その影響は限定的であり、母岩中を流れる地下水中の溶存化学種の変化はほとんどないと考えられる。</p>
<p>H1⑫ : H1⑨に示した温度上昇や温度変化が、母岩の弾性係数やポアソン比など力学特性に影響を及ぼす可能性。&lt;熱, 応力&gt; G1. 4→G1. 2→OP1. 2→B1. 2→D1. 2→H1. 2, H1. 2(→)H3. 1</p>	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>H1⑨に示した温度上昇や温度変化は弾性係数やポアソン比など力学特性に影響を及ぼす可能性はあるが、掘削影響領域周辺に限定されると考えられる。また、堆積岩（稚内硬質頁岩）を用いて、温度条件における一軸圧縮試験を実施した結果によれば、一軸圧縮強度や弾性係数について、供試体固有の微細な潜在的な割れ目（ヘーアクラック）などによる力学特性のバラツキ以上に、熱の影響による強度特性の明瞭な違いは見られなかった。（参照 FEP : H3. 1）</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>温度上昇による力学特性への影響は非常に小さいと考えられる。熱特性は岩盤の種類によって異なるため、処分サイトごとに調査し、そのメカニズムについて追求していく必要がある。</p>	<p>D（設計による想定）：温度による影響は少なく、また設計対応によって影響をほとんど無くすることが可能であるため、母岩の力学特性には影響しないと考えられる</p>
<p>H1⑬ : H1⑨に示した温度上昇や温度変化が、母岩の水理特性を変化させ、母岩（飽和領域）における地下水の飽和挙動、地下水流动に影響を及ぼす可能性。&lt;熱, 水理&gt; G1. 4→G1. 2→OP1. 2→B1. 2→D1. 2→H1. 2, H1. 2→H3. 2→H2. 1→H2. 2→H2. 3, H1. 2→H2. 1, H2. 3→H2. 2</p>	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>H1⑨に示した温度上昇や温度変化が母岩の水理特性を変化させ、母岩（不飽和領域）における地下水の飽和挙動、地下水流动に影響を及ぼす可能性は考えられるが、温度の影響が限定された範囲であり、流动への影響範囲も限定される。（参照 FEP : H2. 3）</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>H1⑨に示した温度上昇や温度変化が母岩の水理特性を変化させ、母岩（飽和領域）における地下水の飽和挙動、地下水流动に影響を及ぼす可能性は考えられるが、影響は小さいと考えられる。</p>	<p>D（設計による想定）：温度変化による応力への影響の可能性はあるが、設計対応によって掘削影響領域周辺部分に限られ、流动への影響も考えにくいため D 判定とする</p>

	<p>H1⑭ : H1⑨に示した温度上昇や温度変化が、母岩の溶解度、吸着、拡散などの核種移行に、また母岩における微生物、有機物、コロイドと核種との化学作用(錯形成、吸着等)や、ガスによる核種の移行挙動などに影響を及ぼす可能性。&lt;熱、化学、核種移行&gt;</p> <p>G1. 4→G1. 2→OP1. 2→B1. 2→D1. 2→H1. 2 , H1. 2 → H4. 2 → H6. 3 , H1. 2(→)H4. 5→H4. 2, H4. 2→H6. 3. 2, H4. 2→H6. 3. 3, H4. 2→H6. 3. 5, H4. 2→H6. 3. 6 , H1. 2 → H4. 2 → H4. 6 → H6. 3. 3 , H1. 2(→)H4. 7→H6. 3. 5, H1. 2(→)H4. 8→H6. 3. 6</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> 母岩における拡散係数や溶解度の温度依存性については、顕著でないことを示す報告がある。(参照 FEP : H6. 3. 2, H4. 3) 処分環境での微生物の存在、生息可能性は、ベントナイト中に硫酸塩還元細菌などが存在し、有機物を栄養源として繁殖し得ることや、低 Eh 環境での生存が可能との報告があり、地下水中の有機物や生息に伴うガス発生、コロイド形成などに伴う影響が懸念されている。(参照 FEP : D4. 6, D4. 7, D6. 3. 4)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> 放射性崩壊による温度上昇は生じると考えられるが、その範囲は掘削影響領域に限定され母岩への影響はほとんど無いものと考えられる。従って、温度上昇や温度変化が、腐食生成物中の微生物、有機物、コロイドと核種との化学作用(錯形成等)に影響を及ぼす可能性はほとんど無いと考えられる。</p>	D (設計による想定) : 温度変化は吸着、拡散などの核種移行に影響するが、母岩領域で想定される温度変化では、優位ではないと考えられ、それに付随して生じる影響についても、ほとんど無いと考えられる。
	<p>H1⑮ : H1⑩, ⑪に示した変形、変質が、母岩の幾何形状や間隙構造などを変化させ、地下水水流動を変化させる可能性。&lt;熱、応力、化学、水理&gt;</p> <p>G1. 4→G1. 2→OP1. 2→B1. 2→D1. 2→H1. 2, H1. 2→H3. 2→H3. 3→H6. 2, H1. 2→H4. 2→H4. 1→H4. 4→H6. 2, H6. 2→H2. 2</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> H1⑩, ⑪に示した変形、変質が母岩の幾何形状や間隙構造などを変化させ、地下水水流動を変化させる可能性はあるが、掘削影響領域周辺の母岩の温度でも最高 80°C 程度であり、この程度では結晶質岩、堆積岩とともに間隙の発生は認められず、したがって幾何形状の変化も少ないと思われるため、地下水水流動を変化させる可能性はほとんどないと考えられる(参照 FEP : H3. 3, H4. 2)。また、対象となる間隙構造や地下水水流動に直接関係する温度依存性に関する報告は見られない。</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> 熱による変形・変質がわずかであると考えられるため、地下水水流動への影響はほとんど無いと考えられる。</p>	D : 熱による変形・変質がほとんど無いと考えられるため、地下水水流動への影響は感がにくい
	<p>H1⑯ : H1⑯に示した地下水水流動の変化が、母岩の移流による核種移行や、母岩を通過する核種の漏洩量を左右する可能性。&lt;熱、応力、化学、水理、核種移行&gt;</p> <p>G1. 4→G1. 2→OP1. 2→B1. 2→D1. 2→H1. 2, H1. 2→H3. 2→H3. 3→H6. 2, H1. 2→H4. 2→H4. 1→H4. 4→H6. 2, H6. 2→H2. 2, H2. 2→H6. 3. 1, H2. 2(→)H6. 3</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> H1⑯に示した地下水水流動の変化が、母岩の移流による核種移行や、母岩を通過する核種の漏洩量を左右する可能性は考えられるが、H1⑯による地下水水流動の変化はほとんどないことが分かっている。また、拡散係数や溶解度の温度依存性については、顕著でないことを示す報告がある。(参照 FEP : H6. 3. 4, H6. 3. 2)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> 地下水水流動はほとんど変化しないため、母岩を通過する核種の漏洩量に影響する可能性は小さいと考えられる。</p>	D : 地下水流動はほとんど影響せず、核種移行への影響は考えにくい。
水理	<p>H2① : 掘削影響領域の水理特性、並びに母岩領域の地下水水流動の時間的・空間的变化が、廃棄体埋設後ににおける、掘削影響領域を構成する不飽和領域の地下水飽和挙動の進行に影響を及ぼす可能性。&lt;水理&gt;</p> <p>H2. 1→H2. 2→H2. 3</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> 飽和の進行状況は熱-水-応力連成解析を用いて検討されている。岩盤に対する不飽和浸透特性及び地下水の浸潤挙動に関するデータは、体系立ててまとめられている。一方、掘削影響領域の水理特性の変化、並びに掘削による地下水水流動の時間的・空間的变化が、廃棄体埋設後の再冠水挙動に影響を及ぼす可能性は存在するが、掘削影響領域(不飽和領域)の地下水水流動や飽和挙動に関する実験や解析の報告は少なく、現状では不充分と考えられる。原位置試験などによるデータ蓄積が望まれている。「第2次取りまとめ 分冊3<sup>(6)</sup>」では、熱-水-応力連成解析モデルを用い、再冠水までの時間を求めている。岩盤中の再冠水時間は 5~15 年とされ、透水性が極端に小さい場合には 50 年程度と考えられている。「TRU 処分概念検討書」では飽和定常の地下水水流動解析を行い、処分施設は 300 年程度で再冠水することを示している(参照 FEP : H2. 3, H2. 2)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> 掘削影響領域及び母岩の地下水水流動の時空的变化により、不飽和領域の進行が変化すると考えられる。</p>	A : 掘削影響領域及び母岩の地下水水流動の時空的変化により、不飽和領域の進行が変化する。今後、サイト選定段階において、サイト固有の水理特性などに応じた評価が必要と考えられる。
	<p>H2② : H2①に示した不飽和領域における地下水飽和挙動の進行の程度が、プラグ、グラウト、支保工等及び緩衝材における地下水の溶存酸素</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> 不飽和領域における地下水飽和挙動の進行の程度が、プラグ、グラウト、支保工等及び緩衝材における地下水の溶存酸素濃度やオーバーパックの地下水化学を変化さ</p>	B : 地下水飽和挙動の程度が、地下水化学を変化させ、腐食形態及びその進行に影響を及ぼす可能性は

<p>濃度やオーバーパックの地下水化学を変化させ、オーバーパック破損に至るまでの腐食形態及びその進行に影響を及ぼす可能性。&lt;水理、化学&gt;</p> <p>H2. 1 → H2. 2 → H2. 3, H2. 3 → D2. 2 → D4. 2 → B4. 2, H2. 3 → B2. 2 → B4. 2, B4. 2 → OP4. 2 → OP4. 3 → OP4. 4</p>	<p>せ、オーバーパック破損に至るまでの腐食形態及びその進行に影響を及ぼす可能性は存在するが、プラグ等の地下水化学の変化と緩衝材の地下水化学の変化は異なるので、いずれの地下水の化学変化がオーバーパックの腐食に影響を及ぼすかどうかは解っていない。掘削影響領域に直接関係した具体的な影響の可能性を示す報告は見られない。</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>不飽和領域における地下水飽和挙動の進行の程度が、プラグ、グラウト、支保工等及び緩衝材における地下水の化学変化か、あるいは緩衝材における地下水の化学変化のいずれかが、OPの腐蝕反応へ影響を及ぼすかどうかは解っていない。</p>	<p>存在すると考えられる。ただし、掘削影響領域における不飽和領域の地下水飽和挙動の進行の程度が、プラグ、グラウト、支保工等における地下水の化学変化か、あるいは緩衝材における地下水の化学変化のいずれかが、OPの腐蝕反応へ影響を及ぼすかどうかは解っていない。</p>
<p>H2③：母岩領域の地下水流动の時間的・空間的变化が、掘削影响領域の水理特性に影響を及ぼし、掘削影响領域中の地下水流动を变化させる可能性。&lt;水理&gt;</p> <p>H2. 2 (→) H2. 1 → H2. 2</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> 掘削影响領域に直接関係した具体的な影響の可能性を示す報告は見られない。</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> 母岩領域の地下水流动の時間的・空間的变化が、掘削影响領域の水理特性に影響を及ぼし、掘削影响領域中の地下水流动現象を变化させる可能性は存在する。</p>	<p>A : 地下水流動には影響する。</p>
<p>H2④：掘削影响領域を構成する応力再配分領域のクリープ、掘削損傷領域中の亀裂進展が、掘削影响領域の幾何形状や間隙構造などを変化させ、掘削影响領域中の地下水流动を変化させる可能性。&lt;応力、水理&gt;</p> <p>H3. 3 → H6. 2 → H2. 2, H3. 2 (→) H6. 2 → H2. 2</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> 掘削影响領域に直接関係した具体的な影響の可能性を示す報告は見られない。</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> 掘削影响領域を構成する応力再配分領域のクリープ現象、掘削損傷領域中の亀裂進展が、掘削影响領域の幾何形状や間隙構造などを変化させ、掘削影响領域中の地下水流动現象を変化させる可能性は存在する。</p>	<p>A : 幾何形状の変化が地下水流動を変化させる。しかし程度は不明である。</p>
<p>H2⑤：H2③、④に示した要因となり得る現象が、複合的な連鎖現象として発生し、母岩領域並びに掘削影响領域中の地下水流动に影響を及ぼす可能性。&lt;応力、水理&gt;</p> <p>H2. 2 (→) H2. 1 → H2. 2, H3. 3 → H6. 2 → H2. 2, H3. 2 (→) H6. 2 → H2. 2</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> 掘削影响領域に直接関係した具体的な影響の可能性を示す報告は見られない。</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> H2③、④に示した要因となり得る現象が、複合的な連鎖現象として発生し、母岩領域並びに掘削影响領域中の地下水流动現象に影響を及ぼす可能性はあると考えられる。</p>	<p>A : 複合的な原因により影響する。</p>
<p>H2⑥：H2③～⑤に示した地下水流动の変化が、掘削影响領域中の物質移動現象を支配し、地下水化学、コロイドの形成、有機物や微生物の化学特性、ガスの透気性などに影響を及ぼす可能性。&lt;応力、水理、化学&gt;</p> <p>H2. 2 (→) H2. 1 → H2. 2, H3. 3 → H6. 2 → H2. 2, H3. 2 (→) H6. 2 → H2. 2, H2. 2 → H4. 2, H4. 2 → H4. 7, H4. 2 → H4. 6, H4. 2 (→) H4. 5, H4. 2 (→) H4. 8</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> 具体的な影響の可能性を示す報告は見られない。</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> H2③～⑤に示した地下水流动現象の変化が、掘削影响領域中の物質移動現象を支配し、地下水化学、コロイドの形成、有機物や微生物の化学特性、ガスの透気性などに影響を及ぼす可能性はあると考えられる。</p>	<p>A (コロイド) : 再冠水に300年かかるという報告があり、不飽和から飽和へ EDZ 中の水理は長期間変化する。これは、緩衝材との境界面におけるコロイドの形成、濃度、濃度分布、コロイド特性などへの影響し、OP 破損時期に関わらず影響が残る可能性が大きい。但し影響の大きさは不明である。</p> <p>C (有機物、微生物) 影響はサイトに依存して変化すると思われるため、C 判定とする。</p>
<p>H2⑦：H2③～⑤に示した地下水流动の変化が、掘削影响領域中の移流による核種移行や掘削影响領域を通過する核種の漏洩量などに影響を及ぼす可能性。&lt;応力、水理、化学、核種移行&gt;</p> <p>H2. 2 (→) H2. 1 → H2. 2, H3. 3 → H6. 2 → H2. 2, H3. 2 (→) H6. 2 → H2. 2, H2. 2 → H6. 3. 1, H2. 2 (→) H6. 3</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> 具体的な影響の可能性を示す報告は見られない。</p> <p>しかし、天然バリアの透水性が低く、動水勾配の大きさが数%以下の条件であれば、掘削影响領域中の核種移行や領域を通過する核種の漏洩量などに影響を及ぼす様な可能性は低くなると考えられる。(参照 FEP : H6. 3. 1)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> H2③～⑤に示した地下水流动の変化が、掘削影响領域中の移流による核種移行や掘削影响領域を通過する核種の漏洩量などに影響を及ぼす可能性は存在すると考えられる。しかし、天然バリアの透水性は低く、動水勾配の大</p>	<p>A : H2③～⑤に示した地下水流动の変化が、掘削影响領域中の移流による核種移行や掘削影响領域を通過する核種の漏洩量などに影響を及ぼす可能性が存在する。</p>

	<p>きさが数パーセント以下の条件であればこの可能性は低くなると考えられる。</p> <p><b>H2⑧ : H2⑥に示した地下水流动の変化に伴う物質移動現象への影響が、掘削影響領域中の微生物、有機物、コロイドと、核種との化学作用(錯形成、収着等)、ガスによる核種の移行などに影響を及ぼす可能性。&lt;応力、水理、化学、核種移行&gt;</b>            H2. 2(→)H2. 1→H2. 2, H3. 3→H6. 2→H2. 2, H3. 2(→)H6. 2→H2. 2, H2. 2→H4. 2, H4. 2→H4. 7→H6. 3. 5, H4. 2→H4. 6→H6. 3. 3, H4. 2(→)H4. 5→H6. 3. 3, H4. 2(→)H4. 8→H6. 3. 6         </p>	<p><b>【文献からの知見】</b>            具体的な影響の可能性を示す報告は見られない。  <b>【JAEAによる判断】</b>            H2⑦に示した地下水流动現象の変化に伴う物質移動現象への影響が、掘削影響領域中の微生物、有機物、コロイドと、核種との化学作用(錯形成、収着等)、ガスによる核種の移行などに影響を及ぼす可能性が考えられる。</p>	<p>D : 地下水流動の変化そのものが、核種とコロイドとの化学作用にまで影響するかどうかは分からぬが、本来分離して捉えるべき現象である。</p> <p>C(有機物、微生物、ガス) : 影響はサイトに依存して変化すると思われるため、C判定とする。</p>
	<p><b>H2⑨ : 掘削影響領域において影響を受けた地下水は、もともとの母岩と異なる地下水流动を示す。この地下水が母岩本来の地下水流动に影響する可能性。&lt;水理&gt;</b>            H2. 1→H2. 2</p>	<p><b>【文献からの知見】</b>            掘削影響領域の透水数は、掘削方法によって異なることが知られている。即ち、発破掘削では掘削前の岩盤よりも平均1~2桁ほど増加し、機械掘削では掘削前の岩盤よりも1桁程度増加すると見られている。しかし、局所的には掘削影響領域の透水係数が掘削前と変化しない場合も、また、掘削前よりも低下する場合も確認されていることから、母岩本来の地下水流动に及ぼす影響は十分あるものと考えられるが、その影響の程度は、サイトにより大きく異なることもわかつており、その程度は不明である。(参照 FEP : H2. 1, H2. 2)  <b>【JAEAによる判断】</b>            掘削影響領域の地下水流动は、母岩領域の地下水流动に対して影響を与えると考えられる。</p>	<p>A(掘削影響領域周辺) : 掘削影響領域の地下水流动は、母岩領域の地下水流动に対して影響を与える。しかし、影響程度はサイトにより大きく異なることやデータのばらつきが大きいと考えられる。また、ある程度掘削影響領域に近い部分のみの限定した影響と推定される。</p> <p>D(それ以外の母岩領域) : 地下水流動の変化する領域は掘削影響領域周辺に限定されると考えられ、影響はないと考えられる。</p>
	<p><b>H2⑩ : H2⑨に示した地下水流动の変化が、母岩本来の物質移動現象に影響を与え、その結果、地下水化学・コロイドの形成・有機物や微生物の化学特性・ガスの透気性などに影響を及ぼす可能性。&lt;水力、化学&gt;</b>            H2. 2(→)H2. 1→H2. 2, H3. 3→H6. 2→H2. 2, H3. 2(→)H6. 2→H2. 2, H2. 2→H4. 2, H4. 2→H4. 7, H4. 2→H4. 6, H4. 2(→)H4. 5, H4. 2(→)H4. 8</p>	<p><b>【文献からの知見】</b>            母岩の透水経路として岩盤亀裂や断層破碎帯が主要な役割を果たしていることから、H2⑨に示された地下水流动流速の大きな変化は、母岩中の物質移動に少なからず影響を及ぼすことになる。(参照 FEP : H2. 2) 掘削影響領域より生ずる新たな物質移動の影響を受けて、母岩の地下水化学特性に変化を生じさせるような高 pH ブルームの混入や、ベントナイトコロイドの流入、地下水溶存物質と亀裂間隙充填鉱物との化学反応、溶解等、地下水化学反応やさらにはコロイドの形成などに影響を及ぼす可能性が十分考えられるが、具体的な影響の可能性を示す報告は見られない。  <b>【JAEAによる判断】</b>            地下水流動の変化は掘削影響領域周辺部に限られると考えられるが、物質移動の変化は、母岩の地下水化学特性に変化を生じさせるような高 pH ブルームの混入やそれに伴って生じる地下水溶存物質と亀裂間隙充填鉱物との化学反応、溶解等、地下水化学反応やさらにはコロイドの形成などに影響を及ぼす可能性が考えられる。</p>	<p>C(コロイド、ガス、微生物、有機物) : H2⑨が母岩まで影響が及ぶ可能性は大きく、地下水の化学組成が変化することは十分予想される。岩盤亀裂や断層破碎帯が主要な透水経路となることから、地下水の流動速度の大きな変化は、物質移動現象、それに基づくコロイドの形成に影響を及ぼす。但し掘削影響領域の地下水流动の影響が母岩流动に及ぼす範囲は限定的であると考えられ、影響の大きさは不明である。</p>
	<p><b>H2⑪ : H2⑩に示した地下水流动の変化が、母岩中の移流による核種移行に影響を及ぼす可能性。&lt;水理、化学、核種移行&gt;</b>            H2. 2(→)H2. 1→H2. 2, H3. 3→H6. 2→H2. 2, H3. 2(→)H6. 2→H2. 2, H2. 2→H6. 3. 1, H2. 2(→)H6. 3</p>	<p><b>【文献からの知見】</b>            H2⑨で示す地下水流动・透水係数の変化は、掘削影響領域周辺の母岩に限られ、そのほかの母岩領域には影響しないと考えられる。天然バリアの性能評価においては、多孔質岩盤モデルに関して有効間隙率よりも透水係数の及ぼす影響が大きく、岩種では泥質岩・凝灰質岩よりも砂質岩の方が、地下水では降水系地下水よりも海水系地下水の方が分配係数が小さく、核種移行率が大きくなることがわかった。(参照 FEP : H2. 1)  <b>【JAEAによる判断】</b>            地下水流動の変化は、核種移行に影響を及ぼす可能性はあるが、あるものと考えられる。実際には、200m以深のデータに基づくものであるため、実際の処分深度では岩盤の透水性はさらに低くなり、核種移行率もさらに低減されると考えられる。</p>	<p>A (掘削影響領域周辺) : 地下水流動が変化する可能性があり、核種移行への影響がある可能性がある。            しかし、透水係数および分配係数は岩種によって異なる。結晶質岩については不明である。</p> <p>D(掘削影響領域以外) : 地下水流動への影響が少ないと考えられ、変化による影響はほとんど無いと考えられる。</p>

	<p><b>H2⑫ : H2⑩に示した地下水流动の変化に伴う物質移動現象への影響が、母岩中の微生物・有機物・コロイドと核種との化学作用（錯形成、吸着など）、ガスによる核種の移行に影響を及ぼす可能性。&lt;水理、化学、核種移行&gt;</b></p> <p>H2. 2(→)H2. 1→H2. 2, H3. 3→H6. 2→H2. 2, H3. 2(→)H6. 2→H2. 2, H2. 2→H4. 2, H4. 2→H4. 7→H6. 3. 5, H4. 2→H4. 6→H6. 3. 3, H4. 2(→)H4. 5→H6. 3. 3, H4. 2(→)H4. 8→H6. 3. 6</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> H2⑩に示した掘削影響領域周辺の地下水流动の変化に伴う物質移動現象により、コロイド形成、コロイドへの核種の吸着、疑似コロイドの生成や錯形成等への影響を及ぼす可能性がある。 また、コロイドは、その粒子の大きさのためマトリクス拡散が生じにくい、あるいは亀裂表面への吸着性が核種のそれよりも低い場合が予想されるので、核種移行の遅延効果を減少させる恐れがある。（参照 FEP : H4. 7）</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> 地下水流动の変化は、核種移行に影響を及ぼす可能性があるものと考えられるが、流动への影響が掘削影響領域に限られるため、核種移行への影響も限定的であると考えられる。 岩盤亀裂中の核種の移行に与える影響としては、疑似コロイド形成による影響を評価することが必要と考えられる。核種がコロイドを形成した場合、吸着性に影響を与えることが考えられる。</p>	<p>C(掘削影響領域周辺)：地下水流动現象の変化に伴う物質移動現象への影響が、微生物、コロイドと、核種との化学作用やガスによる核種の移行などに及ぼす影響はサイト環境に大きく依存するためC判定とする。</p> <p>D(掘削影響領域以外)：地下水流动への影響が少ないと考えられ、変化による影響はほとんど無いと考えられる。</p>
	<p><b>H3① : 崩壊熱などによる温度上昇や温度変化、応力再配分領域のクリープ、掘削損傷領域の亀裂進展が、掘削影響領域の弾性係数、ポアソン比などの力学特性値などを変化させる可能性。&lt;熱、応力&gt;</b></p> <p>G1. 4→G1. 2→OP1. 2→B1. 2→D1. 2→H1. 2, H1. 2(→)H3. 1, H3. 3→H3. 1, H6. 2→H3. 1</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> 崩壊熱などによる温度上昇や温度変化、応力再配分領域のクリープ現象、掘削損傷領域の亀裂進展が、掘削影響領域の弾性係数、ポアソン比などの力学特性値などを変化させる可能性はあるが、依存性などを示す充分なデータは見られない。ただし、健全な母岩に関するクリープ現象に関する解析的検討は実施されており、また、掘削損傷領域の亀裂進展の検討も最近になって実施されはじめている。 弾性係数、ポアソン比などの力学特性値は、崩壊熱などによる温度変化や含水率、化学組成などによって変化する。釜石原位置試験によれば、坑道壁面から 0.8m 程度の掘削損傷領域における力学特性（弾性係数）は、割れ目の影響により健岩部に比べ 1/2 程度に下降しているとの報告がある。（参照 FEP : H3. 1）</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> 崩壊熱などによる温度上昇や温度変化、応力再配分領域のクリープ現象、掘削損傷領域の亀裂進展が、掘削影響領域の弾性係数、ポアソン比などの力学特性値などを変化させる可能性が考えられる。</p>	<p>A : 温度、含水率や化学組成によって、崩壊熱などによる温度上昇や温度変化、応力再配分領域のクリープ現象、掘削損傷領域の亀裂進展が、掘削影響領域の弾性係数、ポアソン比などの力学特性値などを変化させる可能性が考えられるが、その程度に関するデータは十分でない。</p>
<p><b>応力</b></p> <p>H3. 1 → H3. 2 , H1. 2 → H3. 2 , H2. 3(→)H3. 2 , H3. 3(→)H3. 2 , H6. 2(→)H3. 1→H3. 2</p>	<p><b>H3② : 地下水圧、緩衝材やプラグ等の膨潤などのほか、熱応力、不飽和領域における地下水の飽和挙動、掘削影響領域のクリープ、掘削損傷領域の亀裂進展などの進行状況が、掘削影響領域へ作用する外力や反力の状態を変化させる可能性。&lt;熱、水理、応力&gt;</b></p> <p>G1. 4→G1. 2→OP1. 2→B1. 2→D1. 2→H1. 2, H1. 2(→)H3. 1, H3. 3→H3. 1, H6. 2→H3. 1, H3. 1→H3. 2, H1. 2→H3. 2, H2. 3(→)H3. 2, H3. 3(→)H3. 2 , H6. 2(→)H3. 1→H3. 2</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> 地下水圧、緩衝材やプラグ等の膨潤などのほか、熱応力、不飽和領域における地下水の飽和現象、掘削影響領域のクリープ現象、掘削損傷領域の亀裂進展などの進行状況が、掘削影響領域岩盤へ作用する外力や反力の状態を変化させる可能性はあるものの、実証するデータはない。 しかし、H3①と同様に掘削損傷領域の亀裂進展などの進行状況が、掘削影響領域岩盤へ作用する外力や反力の状態を変化させる検討も実施され始めている。（参照 FEP : H3. 2）</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> 地下水圧、緩衝材やプラグ等の膨潤などのほか、熱応力、不飽和領域における地下水の飽和現象、掘削影響領域のクリープ現象、掘削損傷領域の亀裂進展などの進行状況が、掘削影響領域岩盤へ作用する外力や反力の状態を変化させる可能性が考えられる。</p>	<p>A : 母岩のクリープ変形、掘削影響領域の亀裂進展などの進行が外力の状態に影響する。しかし、影響の程度は不明。</p>
	<p><b>H3③ : H3①, ②の要因によって掘削影響領域における応力状態が時間的・空間的に変化し、掘削影響領域の変形、幾何形状や間隙構造の変化が生じる可能性。&lt;熱、水理、応力&gt;</b></p> <p>G1. 4→G1. 2→OP1. 2→B1. 2→D1. 2→H1. 2, H1. 2(→)H3. 1, H3. 3→H3. 1, H6. 2→H3. 1, H3. 1→H3. 2, H1. 2→H3. 2, H2. 3(→)H3. 2, H3. 3(→)H3. 2,</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> H3①, ②の要因によって掘削影響領域における応力状態が時間的・空間的に変化し、掘削影響領域の変形、幾何形状や間隙構造の変化が生じる可能性は存在するが、解析的検討に留まり、具体的な影響の可能性を示す報告は見られない。（参照 FEP : H3. 2, H3. 3）</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> H3①, ②の要因によって掘削影響領域における応力状態が時間的・空間的に変化し、掘削影響領域の変形、幾何形状や間隙構造の変化が生じる可能性が考えられる。</p>	<p>A : 力学特性値、外力や反力の状態に起因した、応力状態の変化は、変形や間隙構造を変化させる。しかし、影響の程度は不明。</p>

H6. 2(→)H3. 1→H3. 2, H3. 2→H3. 3→H6. 2		
H3④ : H3③により発生した掘削影響領域の変形、幾何形状や間隙構造の変化が、掘削影響領域の水理特性や地下水流动などに影響を及ぼす可能性。<熱、応力、水理> G1. 4→G1. 2→OP1. 2→B1. 2→D1. 2→H1. 2, H1. 2(→)H3. 1, H3. 3→H3. 1, H6. 2→H3. 1, H3. 1→H3. 2, H1. 2→H3. 2, H2. 3(→)H3. 2, H3. 3(→)H3. 2, H6. 2(→)H3. 1→H3. 2, H3. 2→H3. 3→H6. 2, H6. 2→H2. 1, H6. 2→H2. 2	【文献からの知見】 H3③により発生した掘削影響領域岩盤の変形、幾何形状や間隙構造の変化が、掘削影響領域の水理特性や地下水流动現象などに影響を及ぼす可能性はあるが、解析的検討にとどまり十分に実証するデータはみられない。(参照FEP : H2. 2, H3. 3) 【JAEAによる判断】 H3③により発生した掘削影響領域岩盤の変形、幾何形状や間隙構造の変化が、掘削影響領域の水理特性や地下水流动現象などに影響を及ぼす可能性が考えられる。	A: 掘削影響領域岩盤の変形、幾何形状や間隙構造の変化が、掘削影響領域の水理特性や地下水流动現象などに影響を及ぼす可能性が考えられる。ただし、十分に実証するデータはみられない。
H3⑤ : H3④による掘削影響領域における水理特性や地下水流动の変化が、掘削影響領域中の物質移動を支配し、地下水化学、コロイドの形成、有機物や微生物の化学特性、ガスの透気性などに影響を及ぼす可能性。<熱、応力、水理、化学> G1. 4→G1. 2→OP1. 2→B1. 2→D1. 2→H1. 2, H1. 2(→)H3. 1, H3. 3→H3. 1, H6. 2→H3. 1, H3. 1→H3. 2, H1. 2→H3. 2, H2. 3(→)H3. 2, H3. 3(→)H3. 2, H6. 2(→)H3. 1→H3. 2, H3. 2→H3. 3→H6. 2, H6. 2→H2. 1, H6. 2→H2. 2, H2. 1→H2. 2, H2. 2→H4. 2, H4. 2→H4. 7, H4. 2→H4. 6, H4. 2(→)H4. 5, H4. 2(→)H4. 8	【文献からの知見】 H3④による掘削影響領域における水理特性や地下水流动の変化が、掘削影響領域中の物質移動を支配し、地下水化学、コロイドの形成、有機物や微生物の化学特性、ガスの透気性などに影響を及ぼす可能性は存在する。しかし、具体的な影響の可能性を示す報告は見られない。 【JAEAによる判断】 H3④による掘削影響領域における水理特性や地下水流动の変化が、掘削影響領域中の物質移動を支配し、地下水化学、コロイドの形成、有機物や微生物の化学特性、ガスの透気性などに影響を及ぼす可能性が考えられる。	C : 応力による地下水流动への影響及び評価法は不明なため。
H3⑥ : H3④による掘削影響領域における水理特性や地下水流动の変化が、掘削影響領域中の移流による核種移行や掘削影響領域を通過する核種の漏洩量を左右する可能性。<熱、応力、水理、核種移行> G1. 4→G1. 2→OP1. 2→B1. 2→D1. 2→H1. 2, H1. 2(→)H3. 1, H3. 3→H3. 1, H6. 2→H3. 1, H3. 1→H3. 2, H1. 2→H3. 2, H2. 3(→)H3. 2, H3. 3(→)H3. 2, H6. 2(→)H3. 1→H3. 2, H3. 2→H3. 3→H6. 2, H6. 2→H2. 1, H6. 2→H2. 2, H2. 1→H2. 2, H2. 2→H6. 3. 1, H2. 2(→)H6. 3	【文献からの知見】 H3④による掘削影響領域における水理特性や地下水流动の変化が、掘削影響領域中の移流による核種移行や掘削影響領域を通過する核種の漏洩量を左右する可能性は存在する。しかし、具体的な影響の可能性を示す報告は見られない。 天然バリアの透水係数が低く、動水勾配の大きさが数%以下の条件であれば、核種移行や通過する核種の漏洩量に影響を及ぼす様な可能性は低くなると考えられる。(参照FEP : H6. 3. 1) 【JAEAによる判断】 H3④による掘削影響領域における水理特性や地下水流动の変化が、掘削影響領域中の移流による核種移行や掘削影響領域を通過する核種の漏洩量を左右する可能性が考えられる。	A : 水理特性や地下水流动への影響はあるが、具体的な影響の可能性を示す報告は見られない。 D: 通常の拡散支配の場合には核種移行への影響は無視できると考えられる。
H3⑦ : H3⑤に示したコロイド、微生物、有機物、ガスに関する物質移動への影響が、掘削影響領域中の微生物、有機物、コロイドと核種との化学作用(錯形成、収着等)や、ガスによる核種の移行などに影響を及ぼす可能性。<熱、応力、水理、化学、核種移行> G1. 4→G1. 2→OP1. 2→B1. 2→D1. 2→H1. 2, H1. 2(→)H3. 1, H3. 3→H3. 1, H6. 2→H3. 1, H3. 1→H3. 2, H1. 2→H3. 2, H2. 3(→)H3. 2, H3. 3(→)H3. 2, H6. 2(→)H3. 1→H3. 2, H3. 2→H3. 3→H6. 2, H6. 2→H2. 1, H6. 2→H2. 2, H2. 1→H2. 2, H2. 2→H4. 2, H4. 2→H4. 7→H6. 3. 5, H4. 2→H4. 6→H6. 3. 3, H4. 2(→)H4. 5→H6. 3. 3, H4. 2(→)H4. 8→H6. 3. 6	【文献からの知見】 H3⑤に示したコロイド、微生物、有機物、ガスに関する物質移動現象への影響が、掘削影響領域中の微生物、有機物、コロイドと核種との化学作用(錯形成、収着等)や、ガスによる核種の移行などに影響を及ぼす可能性は存在する。しかし、具体的な影響の可能性を示す報告は見られない。 【JAEAによる判断】 H3⑤に示したコロイド、微生物、有機物、ガスに関する物質移動現象への影響が、掘削影響領域中の微生物、有機物、コロイドと核種との化学作用(錯形成、収着等)や、ガスによる核種の移行などに影響を及ぼす可能性が考えられる。	D 地下水流動の変化そのものが、核種とコロイドとの化学作用にまで影響するかどうかは分からぬが、本来分離して捉えるべき現象である。 C (有機物、微生物、ガス)影響はサイトに依存して変化すると思われるため、C 判定とする
H3⑧ : 崩壊熱などによる温度上昇や温度変化により母岩の弾性係数、ボアソン比などの力学特性値を変化さ	【文献からの知見】 崩壊熱などによる温度上昇や温度変化により母岩の弾性係数、ボアソン比などの力学特性値を変化させる可能性	D (掘削影響領域周辺) : 崩壊熱が掘削影響領域を伝播し、さらに母岩の温度上

<p>せる可能性。&lt;熱、応力&gt; G1. 4→G1. 2→OP1. 2→B1. 2→D1. 2→H1. 2, H1. 2(→)H3. 1</p>	<p>はあるが、100°C以下においては弾性係数やポアソン比の変化はほとんど変化がなく、温度上昇による力学特性への影響は非常に小さい。(参照 FEP : H1. 2) 堆積岩(稚内硬質頁岩)を用いて、温度条件における一軸圧縮試験を実施した結果によれば、一軸圧縮強度や弾性係数について、供試体固有の微細な潜在的な割れ目(ヘーアクラック)などによる力学特性のバラツキ以上に、熱の影響による強度特性の明瞭な違いは見られなかつた。(参照 FEP : H3. 1)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> 温度上昇による力学特性への影響は非常に小さいと考えられる。</p>	<p>昇や時間的・空間的な温度変動をもたらす可能性があるが、設計要件からするとほとんど無いと考えられる D(それ以外の母岩領域)：熱による影響がないため、応力の影響は無いと考えられる。</p>
<p>H3⑨：応力再配分領域のクリープ、掘削影響領域の亀裂進展などの進行状況が母岩へ作用する外力や反力の状態を変化させる可能性。&lt;熱、応力、核種移行&gt; G1. 4→G1. 2→OP1. 2→B1. 2→D1. 2→H1. 2, H1. 2→H3. 2, H3. 3(→)H3. 2, H6. 2(→)H3. 1→H3. 2</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> 掘削影響領域でのクリープ現象に関する解析的検討は実施されている。岩盤空洞の安定性は、硬質岩盤では長期にわたって安定している一方、軟質岩盤では、長期的には安定性が低下する。ただし、空洞以外ではどちらの岩盤でも応力の変化は少ないとしている。幌延の地質データを用いて掘削影響領域での長期力学的挙動に関する解析が実施されており、応力状態の変化、応力再配分領域のクリープや掘削影響領域の亀裂進展などの進行状況が検討されている。これらは母岩へ作用する外力や反力の状態を変化させる可能性はあるものの、掘削影響領域外の母岩における具体的な影響の可能性を示す報告は見られない。(参照 FEP : H3. 2, H3. 3)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> 母岩のクリープ変形、掘削影響領域の亀裂進展などの進行が外力の状態に影響すると考えられる。</p>	<p>A：掘削影響領域周辺の母岩のクリープ変形、掘削影響領域の亀裂進展などの進行が外力の状態に影響する。</p>
<p>H3⑩：H3⑧、⑨の影響を受けて、母岩における応力状態が時間的・空間的に変化し、母岩の幾何形状や間隙構造の変化が生じる可能性。&lt;熱、水理、応力&gt; G1. 4→G1. 2→OP1. 2→B1. 2→D1. 2→H1. 2, H1. 2→H3. 2, H3. 3(→)H3. 2, H6. 2(→)H3. 1→H3. 2 G1. 4→G1. 2→OP1. 2→B1. 2→D1. 2→H1. 2, H1. 2(→)H3. 1, H3. 1→H3. 2, H1. 2→H3. 2, H6. 2(→)H3. 1→H3. 2</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> H3⑧、⑨の影響を受けて母岩における応力状態が時間的・空間的に変化し、母岩の幾何形状や間隙構造の変化が生じる可能性はあるが、花崗岩及び堆積岩とともに熱膨張率が10-6のオーダーであるので、母岩の応力状態の変化は小さい(参照 FEP : H1. 2)、また、掘削影響領域において解析的検討がなされているが、掘削影響領域外の母岩における具体的な影響の可能性を示す報告は見られない。(参照 FEP : H3. 2, H3. 3)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> 花崗岩及び堆積岩とともに、熱膨張率が10-6のオーダーであるので、母岩の応力状態の変化は小さく、その変化も僅少であると考えられる。そのため熱による応力状態の変化はほとんど無いと考えられる。</p>	<p>C：花崗岩及び堆積岩とともに、熱膨張率が10-6のオーダーであるので、母岩の応力状態の変化は小さく、その変化も僅少であると考えられる。しかし、詳細についての影響は不明である。</p>
<p>H3⑪：H3⑩の影響を受けて、母岩の幾何形状や間隙構造の変化が、水理特性や地下水流动などに影響を及ぼす可能性。&lt;熱、応力、水理&gt; G1. 4→G1. 2→OP1. 2→B1. 2→D1. 2→H1. 2, H1. 2(→)H3. 1, H6. 2→H3. 1, H3. 1 → H3. 2, H1. 2 → H3. 2, H6. 2(→)H3. 1→H3. 2, H6. 2→H2. 1, H6. 2→H2. 2</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> H3⑩の影響を受けて、母岩の幾何形状や間隙構造の変化が、水理特性や地下水流动現象などに影響を及ぼす可能性はあるが、具体的な影響の可能性を示す報告は見られない。(参照 FEP : H2. 2, H3. 3) また、影響により生じる幾何形状や間隙構造の変化はわずかであるので、水理特性や地下水流动現象に影響を及ぼす可能性は小さいと考えられる。しかし、具体的な影響の可能性を示す報告は見られない。</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> H3⑩の影響を受けて、母岩の幾何形状や間隙構造の変化が、水理特性や地下水流动現象などに影響を及ぼす可能性がある。 影響により生じる幾何形状や間隙構造の変化はわずかであるので、水理特性や地下水流动現象に影響を及ぼす可能性は小さいと考えられる。</p>	<p>D：H3⑩の影響を受けて生ずる母岩の幾何形状や間隙構造の変化は僅かであるので、水理特性や地下水流动現象に影響を及ぼす可能性は小さいと考えられる。また、範囲についても限定されるため、影響は少ないと考えられる。</p>
<p>H3⑫：H3⑪による母岩の水理特性や地下水流动の変化が、母岩の物質移動に影響し、地下水化学、コロイドの形成、有機物や微生物の化学特性、ガスの透気性などに影響を及ぼす可能性。&lt;熱、応力、水理、化学&gt; G1. 4→G1. 2→OP1. 2→B1. 2→D1. 2→</p>	<p><b>【文献からの知見】</b> H3⑪による母岩の水理特性や地下水流动現象に影響を及ぼす可能性が少なく、その変化は小さいと見られるため、母岩の物質移動への影響や、地下水化学、コロイドの形成、有機物や微生物の化学特性、ガスの透気性などに影響を及ぼす可能性は極めて小さいものと考えられる。しかし、具体的な影響の可能性を示す報告は見られない。</p>	<p>D(コロイド、有機物、微生物、ガス)：コロイド、微生物、有機物な、ガスの透気性などへの影響はある可能性はあるが、母岩の地下水流动への影響がほとんど無いと考えられる</p>

	H1. 2, H1. 2(→)H3. 1, H6. 2→H3. 1, H3. 1 → H3. 2 , H1. 2 → H3. 2 , H6. 2(→)H3. 1→H3. 2, H6. 2→H2. 1, H6. 2→H2. 2, H2. 1→H2. 2, H2. 2→H4. 2, H4. 2→H4. 7, H4. 2→H4. 6, H4. 2(→)H4. 5, H4. 2(→)H4. 8	<b>【JAEAによる判断】</b> 水理特性や地下水流动現象の変化の影響は小さいと見られるため、母岩の物質移動への影響や、地下水化学、コロイドの形成、有機物や微生物の化学特性、ガスの透気性などに影響を及ぼす可能性は極めて小さいものと考えられる	ため、物質移動への影響はきわめて少ないと判断される。
	H3⑬ : H3⑪による母岩の水理特性や地下水流动の変化が、移流による核種移行に影響する可能性。<熱、応力、水理、核種移行> G1. 4→G1. 2→OP1. 2→B1. 2→D1. 2→H1. 2, H1. 2(→)H3. 1, H6. 2→H3. 1, H3. 1 → H3. 2 , H1. 2 → H3. 2 , H3. 3(→)H3. 2, H6. 2(→)H3. 1→H3. 2, H3. 2→H6. 2, H6. 2→H2. 1, H6. 2→H2. 2, H2. 1→H2. 2, H2. 2→H4. 7→H6. 3. 1, H4. 2→H4. 5 → H6. 3. 3 , H4. 2(→)H4. 8→H6. 3. 6	<b>【文献からの知見】</b> H3⑪による熱影響に起因する母岩の水理特性や地下水流动の変化は小さいものとみられるため、移流による核種移行に影響を及ぼす可能性も小さいと考えられるが、具体的な影響の可能性を示す報告は見られない。 <b>【JAEAによる判断】</b> H3⑪による熱影響に起因する母岩の水理特性や地下水流动の変化は小さいものとみられるため、移流による核種移行に影響を及ぼす可能性はほとんどないと考えられる。	D : 水理特性や地下水流动への影響がほとんど無いと考えられ、仮に影響したとしてもその範囲は限定的であると考えられるため、移流への影響もほとんど無い。
	H3⑭ : H3⑫による物質移動への影響が、母岩中の微生物、有機物、コロイドと核種との化学作用（錯形成、収着等）や、ガスによる核種の移行などに影響する可能性。<熱、応力、水理、化学、核種移行> G1. 4→G1. 2→OP1. 2→B1. 2→D1. 2→H1. 2, H1. 2(→)H3. 1, H6. 2→H3. 1, H3. 1 → H3. 2 , H1. 2 → H3. 2 , H6. 2(→)H3. 1→H3. 2, H3. 2→H6. 2, H6. 2→H2. 1, H6. 2→H2. 2, H2. 1→H2. 2, H2. 2→H4. 2, H4. 2→H4. 7→H6. 3. 5 , H4. 2→H4. 6 → H6. 3. 3 , H4. 2( → )H4. 5 → H6. 3. 3 , H4. 2(→)H4. 8→H6. 3. 6	<b>【文献からの知見】</b> H3⑫による物質移動への影響が、母岩中の微生物、有機物、コロイドと核種との化学作用（錯形成、収着等）や、ガスによる核種の移行などに影響する可能性はあるが、具体的な影響の可能性を示す報告は見られない。 <b>【JAEAによる判断】</b> H3⑫による物質移動への影響が、母岩中の微生物、有機物、コロイドと核種との化学作用（錯形成、収着等）や、ガスによる核種の移行などに影響する可能性が考えられる。	D(コロイド、ガス、有機物、微生物): 物質移動自体が影響をほとんど受けないと考えられるため、コロイドや有機物への影響もないと判断し D 判定とする
化 学	H4① : 廃棄体埋設後、掘削影響領域を構成する不飽和領域における地下水の飽和挙動の進展及び地下水流动の変化が、掘削影響領域中の地下水化学を変化させる可能性。<水理、化学> H2. 2→H4. 2, H2. 3(→)H4. 2	<b>【文献からの知見】</b> 廃棄体埋設後、掘削影響領域を構成する不飽和領域における地下水の飽和挙動の進展及び地下水流动の変化が、掘削影響領域中の地下水化学を変化させる可能性は存在する。（参照 FEP : H4. 4） <b>【JAEAによる判断】</b> 黄鉄鉱の含有量が比較的高い堆積岩では、埋戻し前まで岩盤が空気にさらされるため、地下水の飽和挙動の進展に伴って、黄鉄鉱の酸化による硫酸の生成が水質に及ぼす影響が考えられる。特に掘削影響領域ではこの影響が顕著になる可能性がある。	A : 地下水の飽和挙動による影響が、地下水化学に影響する可能性は高い。長期にわたる間隙水組成の解析が必要。
	H4② : 緩衝材、プラグ等、母岩領域などの化学的影響を受け、掘削影響領域中に流入する地下水の化学的特性の時間的・空間的な不均質性及び多様性が、掘削影響領域中の地下水化学を変化させる可能性。<化学> H4. 1→H4. 3→H4. 2, H2. 2→H4. 2, D4. 1→D4. 3→D4. 2→H4. 2, B4. 1→B4. 3→B4. 2→H4. 2, H2. 2→B2. 2(→)B4. 3, H2. 2→D2. 2(→)D4. 3	<b>【文献からの知見】</b> 緩衝材、プラグ等、母岩領域などの化学的影響を受け、掘削影響領域中に流入する地下水の化学的特性の時間的・空間的な不均質性及び多様性が、掘削影響領域中の地下水化学を変化させる可能性は存在する。コンクリート系材料使用の場合、セメント成分の溶出により高 pH プルームが掘削影響領域を含む岩盤中に広がると考えられる。あるいは、緩衝材中や母岩（堆積岩）中に多く含まれる黄鉄鉱を酸化して硫酸酸性の間隙地下水が、掘削影響領域を含む岩盤中に広がる場合も考えられる。いずれの場合もどのような影響を及ぼすか不明である（参照 FEP : H4. 4, D3. 5） <b>【JAEAによる判断】</b> 緩衝材、プラグ等、母岩領域などの化学的影響を受け、掘削影響領域中に流入する地下水の化学的特性の時間的・空間的な不均質性及び多様性が、掘削影響領域中の地下水化学を変化させる可能性が考えられる。今後、サイト選定において、サイト固有の地下水組成に応じた評価が必要と考えられる。	A : コンクリート系材料よりセメント成分が溶出して高 pH プルームが発生して掘削影響領域に広がる場合も、また、緩衝材中や母岩（堆積岩）中に多く含まれる黄鉄鉱を酸化して硫酸酸性の間隙地下水が広がる場合も考えられる。いずれの場合もどのような影響を及ぼすかは不明である。
	H4③ : 核種崩壊による掘削影響領域の温度上昇及び温度変化、並びに核種の放射性崩壊による地下水の放射	<b>【文献からの知見】</b> 核種崩壊による掘削影響領域の温度上昇及び温度変化、並びに核種の放射性崩壊による地下水の放射線分解が、	A : 核種崩壊による掘削影響領域の温度上昇や温度変化は、地下水化学を変化

<p>線分解が、掘削影響領域の地下水化学を変化させる可能性。&lt;熱、放射線、化学&gt; G1. 4→G1. 2→OP1. 2→B1. 2→D1. 2→H1. 2, H1. 2→H4. 2, H5. 1(→)H4. 2</p>	<p>掘削影響領域の地下水化学を変化させる可能性は存在する。埋め戻し後の初期の段階では廃棄体の崩壊熱による温度の影響が考えられるが、周辺岩盤の温度変化が大きくなことを考慮すると、地下水と岩盤との化学的相互作用を顕著に促進するとは考えにくい。また、その具体的な影響の可能性を示す報告は見られない。(参照FEP : H4. 3, D3. 5, H6. 3. 2)</p>	<p>させる。しかし、その程度は不明で、温度勾配が大きな時期においては塩の蓄積による影響をも考慮する必要があると考えられる。また、放射線分解による地下水化学の変化については、まず、掘削影響領域の線量率を評価する必要がある。</p>
<p>H4④ : (削除)</p>	<p>【JAEAによる判断】</p>	
<p>H4⑤ : 掘削影響領域における亀裂状況に応じた地下水流動の現象が、地下水化学を変化させる可能性。&lt;応力、水理、化学&gt; H3. 2(→)H6. 2, H3. 3→H6. 2, H6. 2→H2. 2 H2. 2→H4. 2</p>	<p>【文献からの知見】 H4④に示す掘削影響領域における亀裂状況に応じた地下水流動の現象が、地下水化学を変化させる可能性は存在する。しかし、掘削影響領域を対象とした具体的な影響の可能性を示す報告は見られない。 釜石鉱山における地下水の水質形成には、割れ目を充填している粘土鉱物と地下水間のイオン交換反応が寄与していることが確認され、充填鉱物との反応による地下水還元状態の形成は断層中にも見られることが報告されている。(参照 FEP : H4. 2)</p> <p>【JAEAによる判断】 H4④に示す掘削影響領域における亀裂状況に応じた地下水流動の現象が、地下水化学を変化させる可能性が存在する。しかし、地下水流動への影響がほとんど無いと考えられるため、地下水化学への影響もほとんど無いと考えられる</p>	<p>D : 地下水流動への影響がほとんど無いと考えられるため、地下水化学への影響もほとんど無いと考えられる。</p>
<p>H4⑥ : H4①～③、⑤の要因による地下水化学の変化が、掘削影響領域の亀裂充填鉱物と間隙地下水との反応、充填鉱物の変質などに影響を及ぼす可能性。&lt;化学、熱、放射線、応力、水理&gt; H2. 1→H2. 2→H2. 3→H4. 3→H4. 2, H2. 2→B2. 2→B2. 3→B4. 3→B4. 4→B6. 2, B4. 2→B6. 2→B6. 3 B4. 2 → B6. 3 → B6. 2 , H2. 2 → D2. 2(→)D4. 3→D4. 2→H4. 2, H4. 2→H4. 3→H4. 4→H6. 2→H2. 2 D4. 3→D4. 4→D6. 2</p>	<p>【文献からの知見】 H4①～③、⑤の要因による地下水化学の変化が、亀裂充填鉱物と間隙地下水との反応、充填鉱物の変質などに影響を及ぼす可能性は存在する。しかし、掘削影響領域を対象とした具体的な影響の可能性を示す報告は見られない。 飽和に伴い酸化性に変化した地下水が亀裂充填鉱物や黄鉄鉱成分を酸化し、硫酸を生成、酸性に変化した地下水は、充填鉱物を溶解し、また、2次鉱物(CaSO4)を生成沈殿する。また、花崗閃緑岩の浸漬試験から、セメント系材料からの高 pH ブルームによって、周辺岩盤が比較的短期間でも変質する可能性が示されている。他の例を含めこれらの実験から、セメントからの浸出液によって処分場周辺の岩盤が変質し、核種移行に影響を及ぼす可能性があることを示している。黄鉄鉱が存在すれば、硫酸が生成される。酸性に変質した地下水が、亀裂充填鉱物を溶解し、また、2次鉱物を沈殿させる。(参照 FEP : H4. 4) 長期的に岩盤が地下水との相互作用で変質を受けた場合、亀裂の二次鉱物による充填や、岩石基質部の変質により基質部への核種の拡散が起こりやすくなったり、生成沈殿する2次鉱物も核種の収着効果を有することから、核種の移行を遅延させる効果が期待できる。(参照 FEP : H4. 3, D3. 5, H6. 3. 2)</p> <p>【JAEAによる判断】 H4①～③、⑤の要因による地下水化学の変化が、亀裂充</p>	<p>B : 飽和に伴い酸化性に変質した地下水が、亀裂充填鉱物を溶解し、2次鉱物を沈殿させる。一方、コンクリート系材料から高 pH ブルームが生成してアルカリ性に変質する地下水が亀裂充填鉱物を溶解し、2次鉱物を析出、沈殿させる。酸性水による溶解か、あるいはアルカリ水による溶解か、作用する化学種は異なるが結果は類似している。どちらが先行、優先するかは不明であり、また、一部表面が溶解した鉱物と核種の収着性等も不明である。事象として生じるが、変質の影響は解明されておらず、B 判定とする。</p>

	<p>塗鉱物と間隙地下水との反応、充填鉱物の変質などに影響を及ぼす可能性が考えられる。酸性に地下水が変化する影響、セメントによるアルカリ性に変質する影響それぞれが亀裂充填鉱物や地下水との反応を引き起こすと考えられるが、それぞれの相互作用についてはまだ得られていない。</p>	
H4⑦ : H4⑥に示す掘削影響領域中の亀裂充填鉱物の変質が、掘削影響領域における、応力再配分領域のクリープ、不飽和領域の地下水飽和挙動、掘削損傷領域の亀裂進展と共に、幾何形状や間隙構造の変化に影響を及ぼす可能性。<化学、熱、放射線、応力、水理> H2. 2→H4. 2, H2. 3(→)H4. 2, H4. 1→H4. 3→H4. 2, D4. 1→D4. 3→D4. 2→H4. 2, B4. 1→B4. 3→B4. 2→H4. 2, G1. 4→G1. 2→OP1. 2→B1. 2→D1. 2→H1. 2, H1. 2→H4. 2, H5. 1(→)H4. 2, H3. 2(→)H6. 2, H3. 3→H6. 2, H6. 2→H2. 2, H2. 2→H4. 2, H4. 2→H4. 3→H4. 4, H4. 4→H6. 2, H4. 4(→)H3. 3, H4. 4(→)H2. 3	<p><b>【文献からの知見】</b> H4⑥に示す掘削影響領域中の亀裂充填鉱物の変質が、掘削影響領域における、応力再配分領域のクリープ、不飽和領域の地下水飽和挙動、掘削損傷領域の亀裂進展と共に、幾何形状や間隙構造の変化に影響を及ぼす可能性は存在する。しかし、掘削影響領域を対象とした具体的な影響の可能性を示す報告は見られない。 亀裂中に二次的に生成した充填鉱物が確認されており、亀裂が充填されて亀裂の間隙構造が変わる可能性があるが、定量的な評価は困難である。(参照 FEP : H4. 4)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> H4⑥に示す掘削影響領域中の亀裂充填鉱物の変質が、掘削影響領域における、応力再配分領域のクリープ、不飽和領域の地下水飽和挙動、掘削損傷領域の亀裂進展と共に、幾何形状や間隙構造の変化に影響を及ぼす可能性が考えられる。</p>	B : 鉱物の変質による間隙構造などへの影響はあると考えられるが、変質の影響が解明されておらず、幾何形状への影響はどのようになるかは分かっていない
H4⑧ : H4⑦の要因による幾何形状や間隙構造の変化が、掘削影響領域中の溶存成分などの物質移動特性(拡散、移流、収着等)を変化させ、さらに掘削影響領域中の地下水化学に影響を及ぼす可能性。<化学、熱、応力、放射線、水理、核種移行> H2. 2→H4. 2, H2. 3(→)H4. 2, H4. 1→H4. 3→H4. 2, D4. 1→D4. 3→D4. 2→H4. 2, B4. 1→B4. 3→B4. 2→H4. 2, G1. 4→G1. 2→OP1. 2→B1. 2→D1. 2→H1. 2, H1. 2→H4. 2, H5. 1(→)H4. 2, H3. 2(→)H6. 2, H3. 3→H6. 2, H6. 2→H2. 2, H4. 2→H4. 3→H4. 4, H4. 4→H6. 2→H6. 1, H6. 2→H2. 2→H4. 2	<p><b>【文献からの知見】</b> H4⑦の要因による幾何形状や間隙構造の変化が、掘削影響領域中の溶存成分などの物質移動特性(拡散、移流、収着等)を変化させ、さらに掘削影響領域中の地下水化学に影響を及ぼす可能性は存在する。しかし、掘削影響領域を対象とした具体的な影響の可能性を示す報告は見られない。 亀裂充填鉱物の核種収着、亀裂閉塞による核種移行遅延効果が期待できるが、定量的な評価は困難である。(参照 FEP : H4. 4, H4. 5)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> H4⑦の要因による幾何形状や間隙構造の変化が、掘削影響領域中の溶存成分などの物質移動特性(拡散、移流、収着等)を変化させ、さらに掘削影響領域中の地下水化学に影響を及ぼす可能性が考えられる。</p>	B : 移動特性が変化し、地下水化学に影響する可能性は存在すると考えられる。しかし核種移行については移行を促進する働きと、阻害する働きの両方が生じ、影響の程度が不明である。
H4⑨ : H4①～③、⑤の要因による掘削影響領域中の地下水化学の変化が、コロイドの形成、有機物及び微生物の化学特性、ガスの透気性などに影響を及ぼす可能性。<化学、熱、応力、放射線、水理、核種移行> H2. 2→H4. 2, H2. 3(→)H4. 2, H4. 1→H4. 3→H4. 2, D4. 1→D4. 3→D4. 2→H4. 2, B4. 1→B4. 3→B4. 2→H4. 2, G1. 4→G1. 2→OP1. 2→B1. 2→D1. 2→H1. 2, H1. 2→H4. 2, H5. 1(→)H4. 2, H3. 2(→)H6. 2, H3. 3→H6. 2, H6. 2→H2. 2, H2. 2→H4. 2, H4. 2→H4. 7, H4. 2→H4. 6, H4. 2(→)H4. 5, H4. 2(→)H4. 8	<p><b>【文献からの知見】</b> H4①～③、⑤の要因による掘削影響領域中の地下水化学の変化が、コロイドの形成、有機物及び微生物の化学特性、ガスの透気性などに影響を及ぼす可能性は存在する。しかし、掘削影響領域を対象とした具体的な影響の可能性を示す報告は見られない。</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> H4①～③、⑤の要因による掘削影響領域中の地下水化学の変化が、コロイドの形成、有機物及び微生物の化学特性、ガスの透気性などに影響を及ぼす可能性が考えられる。</p>	A (コロイド) : EDZ 及び母岩中の地下水化学による安定性は DLVO 理論等によりある程度推定可能。
H4⑩ : H4⑦の要因による幾何構造や間隙構造の変化が、掘削影響領域における水理特性や地下水水流動を変化させ、移流による核種移行や掘削影響領域を通過する核種の漏洩量などを左右する可能性。<化学、熱、応力、放射線、水理、核種移行> H2. 2→H4. 2, H2. 3(→)H4. 2, H4. 1→H4. 3→H4. 2, D4. 1→D4. 3→D4. 2→H4. 2, B4. 1→B4. 3→B4. 2→H4. 2, G1. 4→G1. 2→OP1. 2→B1. 2→D1. 2→H1. 2, H1. 2→H4. 2, H5. 1(→)H4. 2, H3. 2(→)H6. 2, H3. 3→H6. 2, H6. 2→H2. 2, H2. 2→H4. 2, H4. 2→H4. 7, H4. 2→H4. 6, H4. 2(→)H4. 5, H4. 2(→)H4. 8	<p><b>【文献からの知見】</b> H4⑦の要因による幾何構造や間隙構造の変化が、掘削影響領域における水理特性や地下水水流動を変化させ、移流による核種移行や掘削影響領域を通過する核種の漏洩量などを左右する可能性は存在する。しかし、掘削影響領域を対象とした具体的な影響の可能性を示す報告は見られない。 亀裂充填鉱物により亀裂が閉塞されて透水性が低下し、掘削影響領域を通過する核種の漏洩量を低下させる効果が期待できるが、定量的な評価は困難と考えられる。(参照 FEP : H4. 4, H4. 5)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p>	B : 物質の移動を遅延する働きが生じる一方、移流を加速する作用も生じる。結果としてどのような影響が発生するか不明 C : 移行時に関連するとされるコロイドや微生物などの影響はサイトに依存する。

H3. 2(→)H6. 2, H3. 3→H6. 2, H6. 2→H2. 2, H2. 2→H4. 2, H4. 2→H4. 3→H4. 4, H4. 4→H6. 2, H6. 2→H2. 1→H2. 2, H2. 2→H6. 3. 1, H2. 2(→)H6. 3	物質の移動を遅延する働きが生じる一方、移流を加速する作用も生じる。そのため両方の影響がどのように働くかについては結論づけるのが困難である。	
H4⑪ : H4①～③, ⑤の要因による掘削影響領域中の地下水化学の変化が、溶解度、収着、拡散などの核種移行に影響を及ぼす可能性。<化学、熱、応力、放射線、水理、核種移行> H2. 3(→)H4. 2→H4. 3→H4. 4, H4. 4→H6. 2→H6. 1 B2. 3(→)B4. 2→B4. 3→B4. 4, B4. 4→B6. 2→H6. 1、B4. 3(→)B2. 2→H4. 2, D2. 3(→)D4. 2→D4. 3→D4. 4 D4. 4→D6. 2→D6. 1, D4. 3(→)D2. 2→H4. 2	<b>【文献からの知見】</b> H4①～③, ⑤の要因による掘削影響領域中の地下水化学の変化が、溶解度、収着、拡散などの核種移行に影響を及ぼす可能性は存在する。しかし、掘削影響領域を対象とした具体的な影響の可能性を示す報告は見られない。黄鉄鉱の含有量が比較的高い堆積岩では、埋戻し前まで岩盤が空気にさらされる。また、地下水がコンクリート系材料よりアルカリブルームを発生して、地下水化学を変化させて、亀裂充填鉱物の長石類や石英などから Si や Al を溶出して、C-S-H ゲルや C-A-S-H ゲルの 2 次鉱物が生成沈殿する。 2 次鉱物は、その表面収着と内部収着の機能を有するため、核種の移行遅延に影響を及ぼす。(参照 FEP:H4. 4) (参考 FEP : H4. 4) <b>【JAEAによる判断】</b> H4①～③, ⑤の要因による掘削影響領域中の地下水化学の変化が、溶解度、収着、拡散などの核種移行に影響を及ぼす可能性が考えられる。 地下水の飽和挙動の進展に伴って、黄鉄鉱の酸化による硫酸の生成が水質に及ぼす影響が考えられる。特に掘削影響領域ではこの影響が顕著になる可能性がある。 以上のような地下水化学の変化が、飽和時の酸化性への変化及び黄鉄鉱の酸化による硫酸酸性水質か、あるいはプラグ等における地下水へのアルカリブルームによるものか、またはイオン交換反応に基づくものは不明である。	B : 地下水化学の変化は生じるが、核種移行などへ与える影響は不明な点が有るために、B に区分する。地下水化学の変化が、飽和時の酸化性への変化及び黄鉄鉱の酸化による硫酸酸性水質か、あるいはプラグ等における地下水へのアルカリブルームによるものか、またはイオン交換反応に基づくものが不明である。H4①～③, ⑤の要因による掘削影響領域中の地下水化学の変化が、溶解度、収着、拡散などの核種移行に影響を及ぼす可能性が考えられる。
H4⑫ : H4⑨に示したコロイドの形成、有機物及び微生物の化学特性、ガスの透気性などの変化が、掘削影響領域中の微生物、有機物、コロイドと、核種との化学作用(錯形成、収着等)やガスによる移行などに影響を及ぼす可能性。<化学、熱、応力、放射線、水理、核種移行> H2. 2→H4. 2, H2. 3(→)H4. 2, H4. 1→H4. 3→H4. 2, D4. 1→D4. 3→D4. 2→H4. 2, B4. 1→B4. 3→B4. 2→H4. 2, G1. 4→G1. 2→OP1. 2→B1. 2→D1. 2→H1. 2, H1. 2 → H4. 2 , H5. 1( → )H4. 2 , H3. 2(→)H6. 2, H3. 3→H6. 2, H6. 2→H2. 2, H2. 2→H4. 2, H4. 2→H4. 7→H6. 3. 5 , H4. 2 → H4. 6 → H6. 3. 3 , H4. 2( → )H4. 5 → H6. 3. 3 , H4. 2(→)H4. 8→H6. 3. 6	<b>【文献からの知見】</b> H4⑨に示したコロイドの形成、有機物及び微生物の化学特性、ガスの透気性などの変化が、掘削影響領域中の微生物、有機物、コロイドと、核種との化学作用(錯形成、収着等)やガスによる移行などに影響を及ぼす可能性は存在する。しかし、掘削影響領域を対象とした具体的な影響の可能性を示す報告は見られない。 <b>【JAEAによる判断】</b> H4⑨に示したコロイドの形成、有機物及び微生物の化学特性、ガスの透気性などの変化が、掘削影響領域中の微生物、有機物、コロイドと、核種との化学作用(錯形成、収着等)やガスによる移行などに影響を及ぼす可能性が考えられる。	D : コロイドの形成の有無に関わらず、コロイドと核種との化学作用は本来分離して検討されるべきである。変化が影響して変化するという連鎖が無限に続いてしまう可能性がある。(但し、微生物の変化がコロイドの変化に影響すると言うように異なる要因間での可能性は否定しない) C (有機物、微生物、ガス) 影響はサイトに依存して変化すると思われるため、C 判定とする
H4⑬ : H4②で示す掘削影響領域において地下水化学に影響を受けた地下水が、母岩中の地下水と混じることにより、母岩中の地下水化学を変化させる可能性。<化学> H4. 1→H4. 3→H4. 2, D4. 1→D4. 3→D4. 2→H4. 2, B4. 1→B4. 3→B4. 2→H4. 2, H2. 2→H4. 2	<b>【文献からの知見】</b> コンクリート系材料を使用した場合には、セメント成分の溶出により、高 pH ブルームが母岩中の地下水に混入して、アルカリ性地下水となって母岩中に広がる。また、飽和挙動では、地下水は酸化性となり、母岩(堆積岩)に含まれる黄鉄鉱成分と反応して硫酸酸性に地下水化学を変化させる可能性がある。(参照 FEP : H4. 4, D3. 5) <b>【JAEAによる判断】</b> コンクリート材料からセメント成分が地下水に溶出し、高 pH ブルームとなり母岩中の地下水に混入して、アルカリ性地下水となって母岩中の地下水化学を変化させる可能性は高いと考えられる。	A : 地下水化学は変化するため、その影響はあるものとして、A 判定とする。コンクリート材料からセメント成分が地下水に溶出し、高 pH ブルームとなり母岩中の地下水に混入して、アルカリ性地下水となって母岩中の地下水化学を変化させる現象は発生する
H4⑭ : 核種崩壊による母岩の温度上昇及び温度変化、核種の放射性崩壊による地下水分解が、母岩の地下水化学を変化させる可能性。<化学、	<b>【文献からの知見】</b> 埋め戻し後の初期の段階では廃棄体の崩壊熱による温度の影響が考えられるが、核種崩壊による母岩の温度上昇や温度変化は最大で 80°C であるとされており、母岩地下	D : 母岩領域における核種崩壊に伴う温度変化の地下水化学への影響はほとんど無いと考えられる。

<p>熱、放射線&gt;</p> <p>G1. 4→G1. 2→OP1. 2→B1. 2→D1. 2→H1. 2, H1. 2→H4. 2, H5. 1(→)H4. 2</p>	<p>水中の溶存化学種を変化させる可能性はあるが、母岩の溶解度から考えて少ないと推定される。(参照 FEP : H1. 1)</p> <p>核種の放射性崩壊に起因して、溶存する化学種によっては酸化反応を受け、コロイド、沈殿等を生成する可能性があるが、その具体的な影響の可能性を示す報告は見られない。(参照 FEP : H5. 1)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>母岩地下水中の溶存化学種を変化させる可能性はあるが、熱による影響がほとんど無いと考えられるため、母岩の溶解度から考えて少ないと推定される。核種の放射性崩壊に起因して、溶存する化学種によっては酸化反応を受け、コロイド、沈殿等を生成する可能性がある。</p>	
<p>H4⑯ : H4⑮で示した地下水化学の変化が、亀裂充填物と間隙地下水との反応、充填鉱物の変質などに影響を及ぼす可能性。&lt;化学、水理&gt;</p> <p>H2. 2 → D2. 2( → )D4. 3 → D4. 2(→)D2. 2, D2. 2→H2. 2(→)H4. 2 →H4. 3→H4. 4, H4. 4→H6. 2→H6. 1</p>	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>花崗閃緑岩の浸漬試験から、セメント系材料からの高 pH アルカリ性地下水により花崗岩に多く含まれる石英・長石類の主要構成元素である Si, Al が溶出するため、周辺岩盤が花崗岩の場合、比較的の短期間に溶解・変質する可能性がある。亀裂充填鉱物についても長石類が多く含有するため、溶出・溶解・変質する。溶出した Si は地下水中に含まれている Ca と反応してカルシウムシリケート水和物 C-S-H を析出する。また、飽和挙動で酸化性となった地下水が、緩衝材や埋め戻し材、あるいは母岩（堆積岩）に多く含まれる黄鉄鉱を酸化して生ずる硫酸酸性地下水による母岩の主要構成鉱物の酸溶解反応、変質、2 次鉱物の析出などの影響もある。他の例を含めこれらの実験から、セメントからの浸出液によって処分場周辺の岩盤が変質し、核種移行に影響を及ぼす可能性があることを示している。この他に、飽和挙動で地下水は酸化性となり、緩衝材や埋め戻し材及び母岩（堆積岩）に多く含まれる黄鉄鉱を酸化して生ずる硫酸により硫酸酸性地下水に変化し、母岩主要構成鉱物を溶解反応で変質し、地下水中に含まれる Ca と反応して、2 次鉱物を析出し、核種移行に影響を及ぼす可能性がある。(参照 FEP : H4. 4)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>セメントからの浸出液によって処分場周辺の岩盤が変質し、核種移行に影響を及ぼす可能性がある。また、母岩（堆積岩）に多く含まれる黄鉄鉱を酸化して生ずる硫酸酸性地下水による母岩の主要構成鉱物の酸溶解反応、変質、2 次鉱物の析出などの影響もあると考えられる。しかしこれらが全体でどのような相互作用となるかは分かっていない。</p>	<p>B : セメントからの浸出液によって処分場周辺の岩盤が変質し、核種移行に影響を及ぼす可能性がある。地下水化学の変化に対する影響範囲は掘削影響領域の外側まで含まれる可能性があるが、現在定まっておらず、B 判定とする</p>
<p>H4⑰ : H4⑯に示す母岩の亀裂充填鉱物の変質が、幾何形状や間隙構造の変化に影響を与え、亀裂の進展や、地下水流动の変化を引き起こす可能性。&lt;化学、応力、水理&gt;</p> <p>H2. 2→H4. 2, H4. 1→H4. 3→H4. 2, D4. 1→D4. 3→D4. 2→H4. 2, B4. 1→B4. 3→B4. 2→H4. 2, G1. 4→G1. 2→OP1. 2→B1. 2→D1. 2→H1. 2, H1. 2→H4. 2, H3. 2(→)H6. 2, H6. 2→H2. 2, H2. 2→H4. 2, H4. 2→H4. 3→H4. 4, H4. 4→H6. 2</p>	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>H4⑯に示す母岩の亀裂充填鉱物の変質が、幾何形状や間隙構造の変化に影響を与え、亀裂進展と共に、幾何形状や間隙構造の変化に影響を及ぼす可能性は存在する。しかし、具体的な影響の可能性を示す報告は見られない。(参照 FEP : H4. 4)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>亀裂充填鉱物の溶解が進む場合には、亀裂は拡張し間隙も広がるため、地下水は流动しやすくなる。一方、溶出した Si と地下水中に溶存している Ca と反応して C-S-H を 2 次鉱物として析出、間隙充填物表面に被覆沈着するため、隙間を閉塞するようになり、地下水の移行を抑制する結果となる可能性がある。</p>	<p>C : 母岩の基質や亀裂充填鉱物の変質などが、亀裂進展及び幾何形状の変化に影響すると考えられるが、変質の原因となる高 pH 地下水の影響の範囲は不明であり、変質する範囲も不明であるため B とする。</p>
<p>H4⑱ : H4⑯に示す幾何形状や間隙構造の変化が、母岩領域の溶存成分などの物質移動特性(拡散、移流、収着等)を変化させ、さらに地下水化学に影響を及ぼす可能性。&lt;化学、熱、応力、水理、核種移行&gt;</p> <p>H2. 2→H4. 2, H2. 3(→)H4. 2, H4. 1→H4. 3→H4. 2, D4. 1→D4. 3→D4. 2→H4. 2, B4. 1→B4. 3→B4. 2→H4. 2, G1. 4→</p>	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>H4⑯に示す幾何形状や間隙構造の変化が、母岩中の溶存成分などの物質移動特性(拡散、移流、収着等)を変化させ、さらに地下水化学に影響を及ぼす可能性は存在する。しかし、母岩領域を対象とした具体的な影響の可能性を示す報告は見られない。(参照 FEP : H4. 4)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>高 pH ブルームにより岩石の溶解が進行した場合には、充填鉱物の多角形状が溶解して丸く小さくなり、隙間構造</p>	<p>C : 母岩を構成する鉱物の変質の影響により発生する間隙構造変化の影響範囲は不明確であり、それに伴う母岩の物質移動特性や化学特性に対する影響範囲も不明である。したがって C 判定とする</p>

G1. 2→OP1. 2→B1. 2→D1. 2→H1. 2, H1. 2→H4. 2, H3. 2(→)H6. 2, H6. 2→H2. 2, H2. 2→H4. 2, H4. 2→H4. 3→H4. 4, H4. 4→H6. 2→H6. 1→H6. 4, H6. 2→H2. 2→H4. 2	が拡張して溶存物質の移流が促進されるようになる一方で、比表面積の変化も生じて収着能が大きくなるため分配係数も変わり、物質の移動を抑制・遅延する効果を生ずる。さらに、溶出した Si と溶存 Ca の反応で C-S-H を析出し、鉱物表面に被覆沈着するため、隙間を閉塞する方に作用する。結局は物質の移流を加速するかにみえたものの、収着能と隙間の閉塞作用で移流遅延効果を生じて、核種の移行特性に及ぼす影響はほとんどないものと思われる。	
H4⑯ : H4⑮による地下水化学の変化が、母岩地下水中のコロイドの形成、有機物及び微生物の化学特性、ガスの透気性などに影響する可能性。<化学、熱、応力、水理、核種移行> H2. 2→H4. 2, H4. 1→H4. 3→H4. 2, D4. 1→D4. 3→D4. 2→H4. 2, B4. 1→B4. 3→B4. 2→H4. 2, G1. 4→G1. 2→OP1. 2→B1. 2→D1. 2→H1. 2, H1. 2→H4. 2, H3. 2(→)H6. 2, H6. 2→H2. 2, H2. 2→H4. 2, H4. 2→H4. 7, H4. 2→H4. 6, H4. 2(→)H4. 5, H4. 2(→)H4. 8	<b>【文献からの知見】</b> H4⑮による地下水化学の変化が、母岩地下水中のコロイドの形成、有機物及び微生物の化学特性、ガスの透気性などに影響を及ぼす可能性は存在する。高 pH ブルーム条件のもとでのコロイドの形成は十分可能であるが、有機物や微生物及びガスについて高 pH アルカリ液地下水条件下でのそれぞれの挙動・現象等にかかるデータ・資料・情報は見当らない。(参照 FEP : H4. 4, D3. 5) <b>【JAEAによる判断】</b> H4⑮による地下水化学の変化が、母岩地下水中のコロイドの形成、有機物及び微生物の化学特性、ガスの透気性などに影響を及ぼす可能性は存在すると考えられる。また、高 pH ブルーム条件のもとでのコロイドの形成は十分可能であると考えられる	C(ガス、微生物、有機物、コロイド) : 地下水化学の変化が、母岩地下水中のコロイドの形成、微生物などの化学特性、ガスの透気性などに影響を及ぼす可能性は存在するが、地下水化学への影響範囲については明確に定まっていないため、化学特性への影響も不明であるため C 判定とする。
H4⑰ : H4⑯に示す幾何形状や隙間構造の変化が、母岩の水理特性や地下水水流動を変化させ、移流による核種移行や掘削影響領域を通過する核種の漏洩量などを左右する可能性。<化学、熱、応力、水理、核種移行> H2. 2→H4. 2, H4. 1→H4. 3→H4. 2, D4. 1→D4. 3→D4. 2→H4. 2, B4. 1→B4. 3→B4. 2→H4. 2, G1. 4→G1. 2→OP1. 2→B1. 2→D1. 2→H1. 2, H1. 2→H4. 2, H3. 2(→)H6. 2, H3. 3→H6. 2, H6. 2→H2. 2, H2. 2→H4. 2, H4. 2→H4. 3→H4. 4, H4. 4→H6. 2, H6. 2→H2. 1 → H2. 2 , H2. 2 → H6. 3. 1 , H2. 2(→)H6. 3	<b>【文献からの知見】</b> 高 pH ブルームにより岩石の溶解が進行した場合には、隙間構造が拡張して溶存物質の移流が促進されるようになる一方で、比表面積の変化も生じて収着能が大きくなるため分配係数も変わり、物質の移動を抑制・遅延する効果を生ずる。さらに、溶出した Si と溶存 Ca の反応で C-S-H を析出し、鉱物表面に被覆沈着するため、隙間を閉塞する方に作用する。(参照 FEP : H4. 4) <b>【JAEAによる判断】</b> H4⑯の事象がセメント成分の溶出により、高 pH ブルームが母岩中の地下水に混入して生じたものであれば、H4⑯の場合と同様とみなすことができる。 物質の移流を加速する作用と、収着能と隙間の閉塞作用で移流遅延効果を生じて、核種の移行特性に及ぼす影響は不明である。	C : 幾何形状の変化の範囲は限定的であると推定されるが明確でなく、これらの影響による核種移行への影響も不明確であるため C 判定とする
H4⑳ : H4⑮, ⑯の要因による母岩中の地下水化学の変化が、溶解度、収着、拡散などの核種移行に影響を及ぼす可能性。<化学、熱、応力、水理、核種移行> H2. 2→H4. 2, H4. 1→H4. 3→H4. 2, D4. 1→D4. 3→D4. 2→H4. 2, B4. 1→B4. 3→B4. 2→H4. 2, G1. 4→G1. 2→OP1. 2→B1. 2→D1. 2→H1. 2, H1. 2→H4. 2, H5. 1(→)H4. 2, H3. 2(→)H6. 2, H6. 2→H2. 2, H2. 2→H4. 2, H4. 2→H6. 3. 3, H4. 2→H6. 3. 2	<b>【文献からの知見】</b> H4⑮, ⑯の要因による母岩中の地下水化学の変化が、溶解度、収着、拡散などの核種移行に影響を及ぼす可能性が存在する。 母岩が花崗岩であった場合、マトリクス拡散による核種移行遅延と花崗岩の表面特性、核種の収着特性による核種移行遅延の効果と、高 pH アルカリ水による花崗岩の溶解・変質と 2 次鉱物相の析出による表面への被覆沈着など、マトリクス及び比表面積(収着面積)の減少による影響が考えられる。 (参照 FEP : H4. 3, D3. 5, H6. 3. 2) <b>【JAEAによる判断】</b> アルカリ性地下水が亀裂の幾何形状や隙間構造を変化させ、母岩中の地下水化学の変化が、地下水流路の隙間を析出物で狭く閉塞する一方で、収着するはずである細孔・隙間・拡散マトリクスも同様に閉塞され、マトリクス拡散及び収着による核種移行遅延に反する影響も考えられる。	C : 地下水化学の変化は限定的な範囲であると推定される。そのため核種移行へ与える影響の範囲や量などについても不明確である。そのため C 判定とする。

放射線	<p>H4(21) : H4⑯に示したコロイドの形成、有機物及び微生物の化学特性、ガスの透気性などの変化が、母岩中の微生物、有機物、コロイドと核種との化学作用（錯形成、吸着等）やガスによる移行などに影響を及ぼす可能性。&lt;化学、熱、応力、水理、核種移行&gt;</p> <p>H2. 2 → H4. 2, H2. 3 (→) H4. 2, H4. 1 → H4. 3 → H4. 2, D4. 1 → D4. 3 → D4. 2 → H4. 2,</p> <p>B4. 1 → B4. 3 → B4. 2 → H4. 2, G1. 4 → G1. 2 → OP1. 2 → B1. 2 → D1. 2 → H1. 2, H1. 2 → H4. 2, H3. 2 (→) H6. 2, H6. 2 → H2. 2, H2. 2 → H4. 2, H4. 2 → H4. 7 → H6. 3. 5, H4. 2 → H4. 6 → H6. 3. 3, H4. 2 (→) H4. 5 → H6. 3. 3, H4. 2 (→) H4. 8 → H6. 3. 6</p>	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>コロイドによる核種との作用は、真性コロイドや天然コロイドよりは擬似コロイド形成によるものが岩盤亀裂中の核種移行に与える影響が大きい。（参照 FEP : H4. 7）</p> <p>微生物や有機物はそれぞれ単独では核種移行に及ぼす影響効果は少ないが、微生物と有機物及び擬似コロイドの相互作用による場合の方が核種との作用は多岐にわたるため、核種移行などへの影響を及ぼす可能性が十分考えられるが、関係するデータ・情報が非常に少ないので現状である。（参照 FEP : H6. 3. 5）</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>コロイドによる核種との作用は、真性コロイドや天然コロイドよりは擬似コロイド形成によるものが岩盤亀裂中の核種移行に与える影響が大きいと考えられる。</p> <p>微生物や有機物はそれぞれ単独では核種移行に及ぼす影響効果は少ないが、微生物と有機物及び擬似コロイドの相互作用による場合の方が核種との作用は多岐にわたるため、核種移行などへの影響を及ぼす可能性が十分考えられる。</p>	<p>C: コロイド、微生物、ガスなどの影響により母岩中の移行に影響を及ぼす可能性はある。しかし、前提となる地下水化学への影響の範囲や量などは不明確である。また、それらの影響はサイトに大きく依存する。以上から移行への影響は不明確であるため C 判定とする</p>
	<p>H5① : 放射性崩壊に起因した放射線が、掘削影響領域における地下水の組成を変化（酸化還元反応、ガス発生等）させる可能性。&lt;放射線、化学&gt;</p> <p>H5. 1 (→) H4. 2</p>	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>核種の放射性崩壊に起因した地下水への放射線が、地下水の組成を変化（酸化還元反応、ガス発生等）させる可能性がある。しかし、具体的な影響の可能性を示すデータは整備されていない。</p> <p>一方、地下水の放射線分解で <math>H_2O_2</math> などの酸化剤が発生したとしても、放射線分解により発生し得る酸化剤と人工バリア中の還元物質（オーバーパック腐食生成物）の量の比較からは十分な量の還元剤が存在すると考えられている。（参照 FEP : H5. 2）</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>核種の放射性崩壊に起因した地下水への放射線が、地下水の組成を変化（酸化還元反応、ガス発生等）させる可能性が考えられる。</p> <p>十分な量の還元剤が存在すると考えられるため、地下水の放射線分解で掘削影響領域における地下水化学は変化するとは考えにくい。</p>	<p>C (早期破損) : オーバーパックの早期破損が生じた場合、核種の放射性崩壊に起因した地下水への放射線が、地下水の組成を変化（酸化還元反応、ガス発生等）させる可能性が考えられる。なお、十分な量の還元剤が存在すると考えられるため、地下水の放射線分解で掘削影響領域における地下水化学は変化するとは考えにくいが詳細は不明である。</p> <p>D: オーバーパックが健全であれば、核種移行は発生せず影響はない。また、オーバーパックの破損が 1000 年以降に生じた場合、放射性崩壊の影響はほとんど無いと考えられる。</p>
	<p>H5② : 掘削影響領域中を移行する核種の放射性崩壊によって放出された放射線が、掘削影響領域の鉱物に対して放射線影響を及ぼす可能性&lt;放射線、熱、水理、応力、化学、核種移行&gt;</p> <p>H5. 1 (→) H1. 1, H5. 1 (→) H2. 1, H5. 1 (→) H3. 1, H5. 1 (→) H4. 1, H5. 1 (→) H6. 1</p>	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>掘削影響領域中を移行する核種の放射性崩壊によって放出された放射線が、掘削影響領域の鉱物に対して放射線影響を及ぼす可能性は存在する。しかし、具体的な影響の可能性を示すデータは得られていない。</p> <p>緩衝材に関して示している「第 2 次取りまとめ 分冊 3<sup>(6)</sup>」には、ガラス固化体から浸出、吸着された核種の <math>\alpha</math> 崩壊の影響については、崩壊による反跳核の影響で、結晶構造の変化や吸着特性に影響を及ぼす可能性が指摘されたが、影響を受けるスメクタイトは数%程度と推定されることや、損傷による変質物質が吸着性能を有することなどから、核種移行に有意な影響はないとしている。（参照 FEP : B5. 1）</p> <p>酸化剤が生じたとしても、充分な量の還元物質（腐食生成物、地下水中的還元物質等）が存在し、還元性雰囲気が保たれると考えられる。（参照 FEP : H5. 1）</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p><math>\alpha</math> 崩壊による反跳核の影響で、結晶構造の変化や吸着特性に影響を及ぼす可能性が指摘されているが、影響を受けるスメクタイトは数%程度と推定されており、損傷により変質した物質が吸着能を有することから、核種移行に有意な影響はないと考えられる。</p>	<p>C (早期破損) : オーバーパックの早期破損が生じた場合、核種の放射性崩壊に起因した地下水への放射線が、地下水の組成を変化（酸化還元反応、ガス発生等）させる可能性が考えられる。なお、十分な量の還元剤が存在すると考えられるため、地下水の放射線分解で掘削影響領域における地下水化学は変化するとは考えにくいが詳細は不明である。</p> <p>D: オーバーパックが健全であれば、核種移行は発生せず影響はない。また、オーバーパックの破損が 1000 年以降に生じた場合、放射性崩壊の影響はほとんど無いと考えられる。</p>

	<p>H5③：母岩中を移行する核種の放射性崩壊に起因した放射線が、掘削影響領域における地下水の組成を変化（酸化還元反応、ガス発生等）させる可能性。&lt;放射線、化学&gt;</p> <p>H5. 1(→)H4. 2</p>	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>地下水に溶存する化学種によっては酸化反応を受け、コロイド、沈殿等を生成する可能性がある。また、地下水が密閉されていれば組成の変化はないが、開放されていれば水素ガス及び酸素ガスを発生する可能性がある。しかし、具体的な影響の可能性を示すデータは整備されていない。</p> <p>一方、地下水の放射線分解で <math>H_2O_2</math>などの酸化剤が発生したとしても、放射線分解により発生し得る酸化剤と人工バリア中の還元物質（オーバーパック腐食生成物）の量の比較からは十分な量の還元剤が存在すると考えられ、母岩領域における地下水化学は変化するとは考えにくい。（参照 FEP : H5. 2）</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>地下水に溶存する化学種によっては酸化反応を受け、コロイド、沈殿等を生成する可能性が考えられる。また、水素ガス及び酸素ガスを発生する可能性がある。</p> <p>一方、地下水化学が放射線分解の影響で変化するとは考えにくい。</p>	<p>C (OP 早期破損、緩衝材変質)：オーバーパックの早期破損が生じた場合、核種の放射性崩壊に起因した地下水への放射線が、地下水の組成を変化（酸化還元反応、ガス発生等）させる可能性が考えられる。なお、十分な量の還元剤が存在すると考えられるため、地下水の放射線分解で母岩領域における地下水化学は変化するとは考えにくい。</p> <p>D(1000 年以降の破損)：オーバーパックが健全であれば、核種移行は発生せず影響はない。また、オーバーパックの破損が 1000 年以降に生じた場合、放射性崩壊の影響はほとんど無いと考えられる</p>
	<p>H5④：母岩中を移行する核種の放射性崩壊によって放出された放射線が、岩盤に対し放射線影響を及ぼす可能性。&lt;放射線、熱、水理、応力、化学、核種移行&gt;</p> <p>H5. 1(→)H1. 1, H5. 1(→)H2. 1, H5. 1(→)H3. 1, 5. 1(→)H4. 1, H5. 1(→)H6. 1</p>	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>母岩中を移行する核種の放射性崩壊によって放出された放射線が、岩盤に対し放射線影響を及ぼす可能性は存在する。しかし、具体的な影響の可能性を示すデータは得られていない。</p> <p>母岩中を移行する放射性核種が、岩盤にトラップされた場合には、ボイドスウェーリングやヘリウム脆化を起こす可能性がある。また、岩盤が結晶を含む場合には結晶水の放射線分解が考えられる。（参照 FEP : H5. 1）</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>母岩中を移行する核種の放射性崩壊によって放出された放射線が、岩盤に対し放射線影響を及ぼす可能性が考えられる。</p> <p>いずれの問題もサイトによって異なるため、今後詳細調査において確認していく必要がある。</p>	<p>C (OP 早期破損、緩衝材変質)：オーバーパックの早期破損が生じた場合、<math>\alpha</math>崩壊による反跳核の影響で、結晶構造の変化や収着特性に影響を及ぼす可能性が指摘されているが、影響を受けるスメクタイトは数%程度と推定されており。放射線影響があるとは考えにくい</p> <p>D(1000 年以降の破損)：オーバーパックが健全であれば、核種移行は発生せず影響はない。また、オーバーパックの破損が 1000 年以降に生じた場合、放射線の影響はほとんど無いと考えられる</p>
物質移動	<p>H6①：掘削影響領域における物質の拡散、移流、収着など移行特性の変化が、地下水組成に影響を及ぼす可能性。&lt;核種移行、化学&gt;</p> <p>H6. 1 → H6. 3. 2(→)H4. 2, H6. 1 → H6. 3. 1(→)H4. 2, H6. 1 → H6. 3. 3(→)H4. 2, H6. 3. 5(→)H4. 2, H6. 3. 6(→)H4. 2</p>	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>物質の拡散、移流、収着などの移行特性は、掘削に伴う亀裂/割れ目の開口やクリープに伴う閉鎖に関わって起きる変質/劣化、鉱物の溶解/沈殿、間隙の変化などによって変化する。この移行特性の変化によって、腐食生成物や成分の移行挙動が変化し、間隙水の地下水組成は変化すると考えられる。しかしこれまでに定量的に示された報告は見られない。（参照 FEP : H4. 2, H4. 4）</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>掘削影響領域における物質の拡散、移流、収着など移行特性の変化が、地下水組成に影響を及ぼす可能性がある。</p>	<p>A : 物質の拡散、移流、吸着などの移行特性は、掘削に伴う亀裂/割れ目の開口やクリープに伴う閉鎖に関わって起きる変質/劣化、鉱物の溶解/沈殿、間隙の変化などによって変化する。この移行特性の変化によって腐食生成物や成分の移行挙動が変化し、間隙水の地下水組成は変化すると考えられる。</p>
	<p>H6②：掘削影響領域における熱応力、応力再配分領域のクリープ、掘削損傷領域の亀裂進展などに伴った幾何形状や間隙構造の変化が、核種の拡散、移流、収着など移行特性を変化させる可能性。&lt;熱、応力、核種移行&gt;</p> <p>H1. 2 → H3. 2 → H3. 3 → H6. 2, H4. 4 → H6. 2, D6. 4 → H6. 2, B6. 4 → H6. 2, H6. 2 → H6. 1 → H6. 3. 2, H6. 2 → H6. 1 → H6. 3. 1, H6. 2 → H6. 1 → H6. 3. 3</p>	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>掘削影響領域における熱応力、応力再配分領域のクリープ、掘削損傷領域の亀裂進展などに伴った幾何形状や間隙構造の変化が、核種の拡散、移流、収着など移行特性を変化させる可能性は存在する。緩衝材の膨潤、オーバーパックの腐食膨張、あるいは応力再配分による掘削影響領域における間隙構造の変化の可能性は否定できないが、特性変化については明らかでない。特性変化が起これば核種の移行特性も変化する。（参照 FEP : H6. 2, H6. 3. 1, H6. 3. 2）</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p>	<p>A : 热応力、緩衝材の膨潤、オーバーパックの腐食膨張等の応力再配分による掘削影響領域の幾何形状や間隙構造が変化する。これに伴い、核種の拡散、移流、収着等の移行特性も変化する。</p>

	<p>掘削影響領域における熱応力、応力再配分領域のクリープ、掘削損傷領域の亀裂進展などに伴った幾何形状や間隙構造の変化が、核種の拡散、移流、収着など移行特性を変化させる可能性がある。</p>	
H6③：掘削影響領域中の有機物や微生物の存在が、コロイドによる移行を変化させる可能性。<化学、核種移行> H4. 6→H4. 7, H4. 5→H4. 7, H4. 7→H6. 3. 5	<p><b>【文献からの知見】</b> 掘削影響領域中の有機物や微生物の存在が、コロイドによる移行を変化させる可能性が考えられる。有機物、微生物の存在が、コロイドによる移行に与える影響については明確ではない。一方、大きなコロイドが狭いき裂や細孔を通過できずに補足される、ろ過効果が起こることが知られている。(参照 FEP : H4. 5, H4. 6, H6. 3. 3)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> 掘削影響領域中の有機物や微生物の存在が、コロイドによる移行を変化させる可能性がある。有機物はコロイドとして、微生物は地層環境条件の変化要因として機能する可能性がある</p>	B (コロイド) : EDZ 中のコロイド成分は物質移行を変化させる他の可能性の要因(温度、再冠水、応力)にも依存して変化する。有機物や微生物の存在よりも、どのような温度、再冠水、応力変化を生じてきたかの影響を強く受けるため、評価が非常に困難
H6④：掘削影響領域中のガス発生(放射線分解、微生物等による)や蓄積に伴った、幾何形状や間隙構造の変化及び地下水の押し出し現象が、核種の拡散、移流、収着などの移行特性に影響を及ぼす可能性。<化学、放射線、核種移行> H4. 8(→)H6. 2, H6. 2→H6. 1→H6. 3. 2, H6. 2→H6. 1→H6. 3. 1, H6. 2→H6. 1→H6. 3. 3, H6. 2(→)H6. 3. 5, H6. 2(→)H6. 3. 6, H4. 8(→)H6. 3. 1, H4. 8(→)H6. 3. 2, H4. 8(→)H6. 3. 3, H4. 8(→)H6. 3. 5, H4. 8(→)H6. 3. 6	<p><b>【文献からの知見】</b> 掘削影響領域中のガス発生(放射線分解、微生物等による)や蓄積に伴った、幾何形状や間隙構造の変化及び地下水の押し出し現象が、核種の拡散、移流、収着などの移行特性に影響を及ぼす可能性は存在する。掘削時の影響による微小亀裂生成によって掘削影響領域の間隙率は健全部に比較して増大していることが推測される。この相対的に大きな間隙容量のため、掘削影響領域はガス発生・蓄積における緩衝領域となって、圧力上昇を緩和し、健全な母岩領域へのガスの浸透を抑制あるいは遅延することが考えられる。(参照 FEP : H6. 3. 6)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> 掘削影響領域中のガス発生(放射線分解、微生物等による)や蓄積に伴った、幾何形状や間隙構造の変化及び地下水の押し出し現象が、核種の拡散、移流、収着などの移行特性に影響を及ぼす可能性がある。</p>	C : ガスによる影響はサイト環境に大きく支配されるため C 判定とする。 しかし、放射線分解によるガス発生は OP の腐食起源のガスと比較して少ないため、ガスによる優位な移行は考えにくい。掘削影響領域中のガス発生や蓄積に伴った幾何形状や間隙構造の変化、及び地下水の押し出し現象が核種の拡散、移流、吸着などの移行特性に影響を及ぼす可能性はほとんど無いと考えられる。
H6⑤ : H6②, ④に示す掘削影響領域における幾何形状や間隙構造の変化が、掘削影響領域を構成する鉱物等成分の物質移動特性に影響を及ぼす可能性。<熱、応力、化学、放射線、核種移行> H1. 2→H3. 2→H3. 3→H6. 2, H4. 4→H6. 2, D6. 4→H6. 2, B6. 4→H6. 2, H4. 8(→)H6. 2, H6. 2→H6. 1	<p><b>【文献からの知見】</b> H6②, ④に示す掘削影響領域における幾何形状や間隙構造の変化が、掘削影響領域を構成する鉱物等成分の物質移動特性に影響を及ぼす可能性は存在する。掘削による微小亀裂生成によって掘削影響領域の間隙率は健全部に比較して増大していることが推測される。このため掘削影響領域の透水係数が増加し、鉱物等成分の物質移動速度が上昇する可能性がある。(参照 FEP : H6. 1, H6. 2)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> H6②, ④に示す掘削影響領域における幾何形状や間隙構造の変化が、掘削影響領域を構成する鉱物等成分の物質移動特性に影響を及ぼす可能性がある。</p>	A : 掘削による微小亀裂生成によって、掘削影響領域の間隙率は、健全部に比較して増大していることが推測されるので、H6②, ④に示す掘削影響領域における幾何形状や間隙構造の変化が掘削影響領域を構成する鉱物等成分の物質移動特性に影響を及ぼす。
H6⑥ : 掘削影響領域における化学的変質(鉱物学的变化等)に起因し、構成成分(鉱物)の物質移動が、母岩、掘削影響領域、プラグ等、緩衝材の各領域の間隙構造、亀裂構造に影響を及ぼす可能性。<核種移行> H4. 4→H6. 1, H4. 4→H6. 4, H6. 2→H6. 1→H6. 4, H6. 4→H6. 2, H6. 4→D6. 2, H6. 4→B6. 2	<p><b>【文献からの知見】</b> 掘削影響領域は地下水が変質し母岩を構成する鉱物及びマトリクスの溶解が促進されると共に、不飽和領域が拡大すると考えられ、溶解した鉱物が移動して母岩等の間隙構造に影響を及ぼす可能性がある。それに関わる研究のひとつとして、JNC 釜石原位置試験総括報告書において、坑道から岩盤への酸素の拡散深度が測定され、解析モデルが検討されている。ただし、その影響の程度については明らかでない。(参照 FEP : H6. 4)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b> 掘削影響領域は地下水が変質し母岩を構成する鉱物及びマトリクスの溶解が促進されると共に、不飽和領域が拡大すると考えられ、鉱物が溶解して移動し母岩等の間隙構造に影響を及ぼす可能性がある。</p>	A : 掘削影響領域の不飽和領域の拡大により地下水が変質し、鉱物が溶解して移動して、母岩、核領域の間隙構造、亀裂構造に影響を及ぼすが、具体的な影響度合いは不明である。
H6⑦ : 掘削影響領域の地下水流れに従い、移流、拡散など領域中の核種移行が、母岩及び亀裂帯における核種移行現象に影響を及ぼす可能性。<核種移行> H6. 3→H6. 3	<p><b>【文献からの知見】</b> 「第 2 次取りまとめ 分冊 3<sup>(6)</sup>」においては、掘削影響領域の流量を変動させて、放射性核種の移行率の変化を調査している。結果として、掘削影響領域の流量が増加すると緩衝材外側の核種移行率は比例的に増加するが、Np237 のように溶解度制限がある場合は、制限値により移行率は上限を持つ。一方 Cs135 のように溶解度制限が</p>	A : 掘削影響領域の地下水流により、塩水あるいは酸化性物質が移流して核種と反応、あるいは化学的変化した場合、掘削領域に近い母岩では、核種の移行挙動が変化する。また、移行

	<p>ない場合は、ガラス固化体からの溶出速度により上限値が決まる。（参照 FEP : H6. 1 H6. 3）</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>地下水の流れに従い、核種移行現象が影響を受けると考えられる。</p>	物質が媒体を変化して核種移行挙動が変化する。
H6⑧：母岩及び亀裂帯における物質の拡散、移流、収着など移行特性の変化が、地下水組成に影響を及ぼす可能性。<核種移行、化学> H6. 1 → H6. 3. 2(→)H4. 2, H6. 1 → H6. 3. 1(→)H4. 2, H6. 1 → H6. 3. 3(→)H4. 2, H6. 3. 5(→)H4. 2, H6. 3. 6(→)H4. 2	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>具体的に評価をした例は見当たらない。（参照 FEP : H6. 3）</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>母岩及び亀裂帯の物質移行特性の変化が地下水組成に影響を及ぼす可能性がある。</p>	A : 母岩及び亀裂帯の物質移行特性の変化が、地下水組成に影響を及ぼす可能性はあるが、具体的な影響度合いは不明である。
H6⑨：母岩及び亀裂帯における熱応力、亀裂の充填現象などに伴った幾何形状・間隙構造の変化が、核種の拡散、移流、収着など移行特性を変化させる可能性。<熱、応力、核種移行> H1. 2 → H3. 2 → H3. 3 → H6. 2, H4. 4 → H6. 2, H6. 4 → H6. 2, D6. 4 → H6. 2, B6. 2 → H6. 2, H6. 2 → H6. 1 → H6. 3. 2, H6. 2 → H6. 1 → H6. 3. 1, H6. 1 → H6. 3. 3	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>亀裂の間隙構造（間隙の大きさ、連結性、屈曲度など）が変わると実効拡散係数が変化する。「第2次取りまとめ分冊3<sup>(6)</sup>」では、花崗岩類における実効拡散係数と有効間隙率の関係を図示し、有効間隙率2%に対して求められる実効拡散係数に温度補正を行った値3.0E-12m<sup>2</sup>/sを採用した。なお、実効拡散係数は温度、化学種、間隙水にも依存し、実効拡散係数が変化すると、それに伴って核種の移行特性も変化する。（参照 FEP : H6. 3. 2）</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>幾何形状や間隙構造の変化は移行特性を変化させると考えられる。</p>	D : 亀裂の間隙構造が変化すると、実効拡散係数が変化する。温度、化学種、間隙水に依存する実効拡散係数が変化すると、各種の移行特性も変化する。
H6⑩：母岩及び亀裂帯中の有機物や微生物の存在が、コロイドによる移行を変化させる可能性。<化学、核種移行> H4. 6 → H4. 7, H4. 5 → H4. 7, H4. 7 → H6. 3. 5	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>有機物や微生物の存在が、コロイドによる移行を変化させる可能性は存在する。地下深部では、フミン酸、フルボ酸等の腐植物質の存在が考えられ、有機物起源のコロイドを生成し、それに放射性核種が関与して有機コロイドが生成する可能性がある。長崎らはこの影響を明らかにするために、有機コロイドを形成するフミン酸(HA)とUO<sub>2</sub><sup>+</sup>の錯体形成をクエンチング法、遠心限外ろ過法、IRを使って観測し、核種-フミン酸相互作用に及ぼすフミン酸官能基のミクロ構造不均質性の影響を検討している。（参照 FEP : H6. 3. 5）</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>有機物や微生物の存在が、コロイドによる移行を変化させる可能性がある。有機物はコロイドとして、微生物は地層環境条件の変化要因として機能する可能性がある。</p>	C (コロイド) : 母岩中のコロイド成分は物質移行を変化させる他の可能性の要因（温度、再冠水、応力）にも依存して変化する。有機物や微生物の存在よりも、どのような温度、再冠水、応力変化を生じてきたかの影響を強く受けたため、評価が非常に困難。 C : 天然有機物の存在が、錯生成による移行を変化させる可能性は存在するが、その程度についてはサイトの地質、地下水環境に大きく依存する。
H6⑪：母岩及び亀裂帯中のガス発生（放射線分解、微生物等による）や蓄積に伴った、幾何形状や間隙構造の変化及び地下水の押し出し現象が、核種の拡散、移流、収着などの移行特性に影響を及ぼす可能性。<化学、放射線、核種移行> H4. 8(→)H6. 2, H6. 2 → H6. 1 → H6. 3. 2, H6. 2 → H6. 1 → H6. 3. 1, H6. 2 → H6. 1 → H6. 3. 3, 6. 2(→)H6. 3. 5, H6. 2(→)H6. 3. 6, H4. 8(→)H6. 3. 1, H4. 8(→)H6. 3. 2, H4. 8(→)H6. 3. 3, H4. 8(→)H6. 3. 5, H4. 8(→)H6. 3. 6	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>イスの Opalinus clay の事例で、Nagra は飽和した Opalinus clay 中でのガス移行メカニズムについては、①溶存ガスの移流・拡散、②2相流、③経路の拡大、が想定されている。</p> <p>母岩をガスが透過する場合、核種移行への懸念事項としては、a. 地下水理における駆動力として水頭圧差以外に、ガスによる加圧分が新たな駆動力となる可能性と、b. 母岩中に過渡的に形成される不飽和領域の存在が水理環境への擾乱となって、核種の移行経路を変化させる可能性とが指摘できる。a. の効果は核種移行を促進する負の影響作用となるが、b. の効果が核種移行を促進する方向に作用するのか遅延する方向に作用するのか、現時点では判断することは困難である。（参照 FEP : H6. 3. 6）</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>母岩、亀裂帯中にガスの発生・蓄積により間隙構造の変化や地下水のガス圧による押し出しが、各種の拡散、移流、収着等移行特性に影響を及ぼすが、具体的な影響度合いを判断することは現時点では難しい。</p>	C : 母岩、亀裂帯中では、ガスの発生はそれほど顕著ではないと考えられる。ガスの発生・蓄積により間隙構造の変化や地下水のガス圧による押し出しが、核種の拡散、移流、収着等移行特性に影響を及ぼす可能性はあるが、具体的な影響度合いは不明である。ガスによる影響についてはサイト依存性が高いとしていまのところC判定とする
H6⑫ : H6⑨、⑪に示す母岩及び亀裂帯における幾何形状や間隙構造の変化が、母岩及び亀裂帯を構成する鉱物等成分の物質移動特性に影響を及	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>亀裂の間隙構造（間隙の大きさ、連結性、屈曲度など）が変わると実効拡散係数が変化する。「第2次取りまとめ分冊3<sup>(6)</sup>」では、花崗岩類における実効拡散係数と有効間隙水に依存する実効拡散係数が変化すると、実効拡散係数が変化する。温度、化学種、間隙水に依存する実効拡散係数が変化すると、各種の移行特性も変化する。</p>	A : 亀裂間隙構造が変化すると、実効拡散係数が変化する。温度、化学種、間隙水に依存する実効拡散係数が変化すると、実効拡散係数が変化する。温度、化学種、間隙水に依存する実効拡散係数が変化すると、各種の移行特性も変化する。

<p>ぼす可能性。&lt;熱、応力、化学、放射線、核種移行&gt;</p> <p>H1. 2→H3. 2→H3. 3→H6. 2, H4. 4→H6. 2, D6. 4→H6. 2, B6. 4→H6. 2, H4. 8(→)H6. 2, H6. 2→H6. 1</p>	<p>隙率の関係を図示し、有効間隙率2%に対して求められる実効拡散係数に温度補正を行った値 3.0E-12m<sup>2</sup>/s を採用した。なお、実効拡散係数は温度、化学種、間隙水にも依存する。実効拡散係数が変化すれば、物質の移行特性も変化する。(参照 FEP : H6. 3. 2)</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>間隙構造の変化は物質移動特性に影響すると考えられる。</p>	<p>数が変化すれば、物質の移行特性も変化する。</p>
<p>H6⑬：母岩及び亀裂帯における化学的変質（鉱物学的变化等）に起因し、構成成分（鉱物）の物質移動が、母岩、掘削影響領域、プラグ等、緩衝材の各領域の間隙構造、亀裂構造に影響を及ぼす可能性。&lt;核種移行&gt;</p> <p>D2. 2( → )D4. 3 → D4. 2(→)D2. 2(→)H2. 2, H2. 2→H4. 2 →H4. 3→H4. 4, H4. 4→H6. 2→H6. 1→H6. 4 D4. 2→D4. 3→D4. 4→D6. 2, D6. 2→D6. 1 → D6. 4, D4. 3(→)D6. 3. 4(→)D6. 2, D2. 2→B2. 2→B4. 2→B4. 3→B4. 4→B6. 2, B6. 2 → B6. 1 → B6. 4 , B4. 3(→)B6. 3. 4(→)B6. 2</p>	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>母岩及び亀裂帯の化学変質に起因して、構成成分が移動する可能性はある。例えば、釜石原位置試験総括報告書において、坑道から岩盤への酸素の拡散深度が測定され、解析モデルが検討されている。ただし、間隙構造に対してどの程度の影響があるのかは明らかでないが、飽和挙動によって酸化性となった地下水が、母岩、緩衝材中に含まれる黄鉄鉱成分と反応して硫酸酸性の地下水に変化して、母岩、緩衝材、プラグ等の間隙亀裂構成鉱物と反応し、間隙構造や亀裂構造を変化させる可能性と、また一方、支保等の人工バリアとして使用されるセメント系材料からの高 pH ブルームによって母岩からシリカ成分が溶出し、C-S-H ゲルが二次鉱物となって析出し間隙構造が変化する可能性がある。なお、C-S-H の生成は母岩と人工バリアとの境界で生じると考えられる（参照 FEP : H6. 4）</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>母岩及び亀裂帯の化学変質に起因して、構成成分が移動する可能性がある。坑道から岩盤への酸素の拡散深度が測定され、解析モデルが検討されているが、間隙構造に対しては、どの程度の影響があるのか明らかではない。</p>	<p>C:母岩及び亀裂帯の化学変質に起因して、構成成分が移動する可能性がある。なお、坑道から岩盤への酸素の拡散深度が測定され、解析モデルが検討されているが、間隙構造に対しては、その影響程度は不明である。</p>
<p>H6⑭：母岩及び亀裂帯の地下水流れに従い、移流、拡散など領域中の核種移行が、帶水層における核種移行現象に影響を及ぼす可能性。&lt;核種移行&gt;</p> <p>H6. 3→BS1. 3. 4</p>	<p><b>【文献からの知見】</b></p> <p>「第2次取りまとめ 分冊3<sup>(6)</sup>」では、母岩、亀裂帯を経て帶水層に放射性核種が流入するとしている。したがって、母岩の透水量係数、巨視的分散長等の変化により、帶水層への核種流入量が変化する。（参照 FEP : H6. 3. 1）</p> <p><b>【JAEAによる判断】</b></p> <p>核種移行は帶水層中の核種移行現象に影響すると考えられる。</p>	<p>A:母岩、亀裂帯の地下水流にしたがって、移流・拡散する核種の移行で核種が帶水層に流入する。母岩の透水量係数、有効間隙率、巨視的分散長などの変化で、帶水層への核種流入量が変化する。</p>

## Appendix-II FEP データベースシステム

### 1. システム開発

FEP の調査では、400 ページを超える多量なデータが収集、整理され、シートなどの作成に当たって参考とした知見類の量も膨大なバックデータとして存在している。一方、安全性評価のための重要事項を抽出し、地下水移行に係るシナリオの再検討及び充実を図るには、収集及び蓄積されている FEP シート及び知見や相関関係アップデートが必要であるが、データ量が膨大であるため、修正結果をその都度、現状の FEP シートやデータに反映させていくことはデータの量からしても困難と考えられる。また、アップデートにあたり、知見の改訂履歴を保存することも、システム化を行わないと困難である。

以上をふまえて、それぞれの現象間の相関などに関する資料提供と、物理化学的現象の理解を支援し、FEP の相関関係の見直しとシナリオ再検討のための手法等をサポートする目的で、FEP データベースシステムの構築を行った。

### (1) データベースシステムの構成、仕様、動作環境

システムの概略を Fig. II-1 に示す。データベースの SQL プログラムとしてはリレーショナルデータベース (Firebird : InterBase を起源に持つオープンソース RDBMS、SQL データベースエンジン) を使用した。また、FEP シートは Word ファイルを使用し、報告書の書式と同一として兼用が可能とした。参考文献については、広く用いられている PDF ファイルとした。

データベースの動作環境は、現在一般に使用されている PC 環境において、快適な動作が可能となることを念頭に、Windows2000/XP、メモリ 256Mbyte 以上、HD10Gbyte 以上（データの容量による）のハードウェア環境を想定し、MS-WORD2000 以降、Acrobat Reader がインストールされているソフトウェア環境を必要条件とした。また、リレーショナルデータベースサーバーとして、Firebird のインストールが必要である。下記にシステムの概略とデータベースの構成を示す。

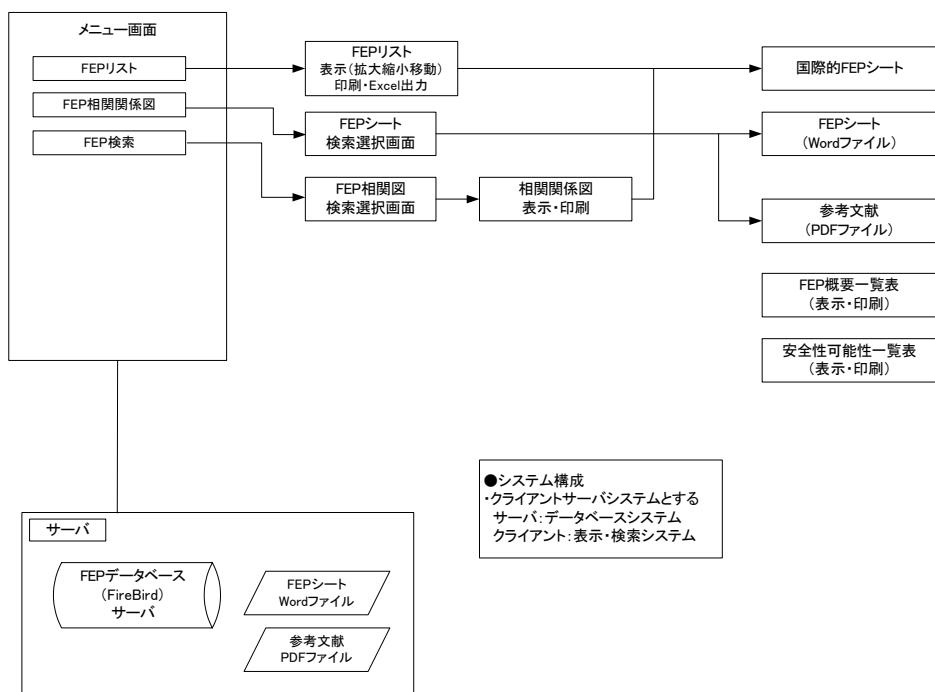


Fig. II-1 システムの概略

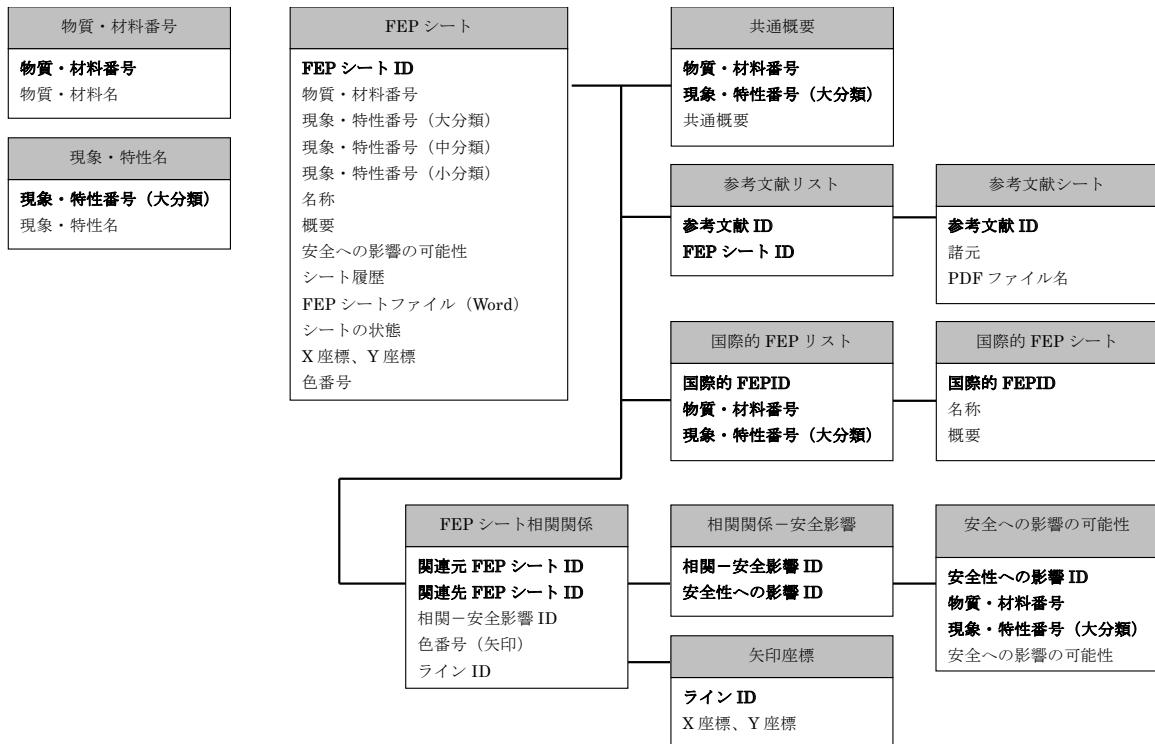


Fig. II-2 データベースの構成

(2) データベース化するデータ

データベース化する FEP データは、現在のところ平成 18 年度までに調査された FEP シート、FEP リスト、安全性への影響の可能性、参考文献に加えて、それらを検索する機能を有するものとした。また、各項目は視覚的な選択による「相関関係図」や関連する「FEP シート」、「安全性への影響の可能性」などの表示を可能とし、選択した FEP や相関関係図上の矢印に関連する「FEP シート」、「安全性への影響の可能性」として登録されている内容の表示が可能である。また、ある FEP を起因事象として、それから影響する FEP の範囲及び逆にある FEP に影響を与える FEP についての抽出が可能である。

なお、これらのデータは工学技術の研究・調査が進展するのに伴って、その結果を反映させて随時アップデートするものである。

### (3) システムの機能

FEP データベースシステムでは、「FEP リスト」「FEP 相関関係図」を元に「現象、特性 FEP シート」、及びその知見を示す「参考文献」「安全性への影響の可能性」が収納されており、それぞれの相関や現象要素の関係についても収納されている。FEP リストや FEP 相関関係図は視覚的に表示され、それらをマウスで選択することにより、関係する FEP シートを表示したり、参考文献を表示したりすることが可能である。この機能により多量に蓄積されているデータについて、効率よく検討することが可能である。また、検索によって直接データを表示することも可能である。

FEP 抽出の機能は、「ガラス固化体」、「オーバーパック」、「緩衝材・埋め戻し材」、「プラグ・グラウト・支保工事」、「母岩（掘削影響領域、断層帯を含む）」といったいわゆる構成要素の違いによる抽出や（ex. 相関関係図からオーバーパックのみを表示）、「温度」、「水理」、「応力」、「放射線」、「化

学」、「核種移行」といった物理化学的現象の違いによる抽出(ex.相関関係図から水理のみを表示)のほかに、両者を組み合わせたオーバーパックのうちの水理関係のみの抽出といったことが可能である。従来の相関関係図は、一枚のシート上に全体の関係を示す必要があるために、どうしても相関の矢印数が多く、また煩雑な状態であったが、今回作成したデータベースシステムの抽出機能を用いると、必要な相関のみを表示でき、整理された形で表現可能である。

さらに、相関や現象要素に関する各要素と要素について、“起因事象”である場合と“影響を受ける事象”である場合、及び“その両方”的3つに区分して、あるFEPを基準として影響の及ぶFEPとFEPの相関を抽出し、視覚的に表現することを可能としている。たとえば「H4.3母岩と地下水の反応」を選択し、H4.3が“影響を及ぼす”“影響を受ける”“その両方”といった条件を選択し、さらにFEPの影響の及ぶ範囲を選択することにより、H4.3項目がどこから影響を受けるのか、何処に影響を与えるのか、といった関係を視覚的に表示することが可能である。従来FEPとFEPとの関係は相関関係図でしか確認することができず、それぞれの複雑な関係については、個々のFEPシートや安全性への影響の可能性によって示されている影響の項目をたどるしか方法がなく、影響の及ぶ範囲を実感するのは難しかった。しかし、この機能を用いることにより、現象/相関に関するユーザーの理解を支援し、各項目に対する再検討に当たっての有効な手段となる。

データベースの相関関係図上に示されている矢印は、“影響を及ぼす／受ける”FEP同士の関係を示しているが、この矢印を選択することにより、安全性への影響の可能性項目の表示を可能とする。2つに分岐する場合には、その両方の候補が表示され、矢印が両側に向かっている場合にも、両方の候補が表示され、安全性への影響の可能性項目を表示することが出来る。

FEP番号自体からは、上記に示した“影響を及ぼす”“影響を受ける”“その両方”といった関係を表示するほかに、参考文献や安全性への影響の可能性などについても表示することが可能である。従来の紙面ベースのデータからは、こういった内容を一元的に表示することは出来ないため、多数の資料に当たる必要があったが、データベースを用いることにより、簡単に抽出及び表示が可能となる。

検索機能は「FEPシート」ファイルを対象とした全文文字検索機能をもつ。FEPシートのファイル形式は、これまでの作成されているファイル形式を踏襲し、Wordファイル形式とした。これにより、すべてのシートからのキーワードによる検索を可能としている。また、安全性への影響の可能性・理解の現状についてもキーワード抽出が可能であり、関連する項目を一覧にて示すことが出来る。

シナリオの構築に深く関係する安全性への影響の可能性項目・理解の現状に含まれている相関を抽出し、表示することが可能である。これはシナリオの構築の際に重要な関係を一目で確認できる機能である。

シナリオの構築の補助となる機能として、任意の相関関係を登録し、表示する機能やコメントを貼り付ける機能を持たせた。

そのほかの機能として、各ページの拡大、縮小、スクロールや印刷などの機能が付属する。データの修正機能については、各FEP概要項目、安全性への影響の可能性、参考文献のPDFファイルの登録などについては、データベース上のメニューより、“編集”機能にチェックを入れることにより、マウスで編集項目を選択し、視覚的に編集可能である。これにより、知見について変更や追加があった場合にも比較的容易に対応することができる。

これらの機能を組み合わせて使用することにより、シナリオの構築の際の有用なツールとなるほ

か、データの追跡・閲覧等を容易なものとし、複雑でわかりにくいFEPデータベースを活用可能とした。

## 2. 収録データ

以下に収録したデータ項目を示す。

- ・FEPリスト及び相関関係図
- ・FEPシート（ガラス固化体、緩衝材、母岩（掘削影響領域、断層帯を含む））
- ・安全性への影響の可能性及び理解の現状、相関の判定（アンケートの結果を反映）
- ・参考文献リスト及びデータ

Table II-1 登録データ一覧

調査年度	報告書名	登録項目
平成15年度	放射性廃棄物処分の長期的評価 手法の調査 〔確率論的アプローチによる長期的評価手法の調査〕	・FEP相関関係図 ・国際FEPリストに基づく我が国の地層処分におけるFEPリスト（地下環境） ・安全性への影響の可能性及び理解の現状
平成16年度	放射性廃棄物処分の長期的評価 手法の調査 〔確率論的アプローチによる長期的評価手法の調査〕	・FEPシート ・参考文献
平成17年度	放射性廃棄物処分の長期的評価 手法の調査 〔確率論的アプローチによる長期的評価手法の調査〕	

Table II-2 登録済みのFEPシート

FEP番号	FEP名	ファイル名
B1.1	緩衝材／埋め戻し材の熱特性	B1-1.doc
B1.2	緩衝材／埋め戻し材の温度	B1-2.doc
B1.3	緩衝材／埋め戻し材の熱膨張	
B2.1	緩衝材／埋め戻し材の水理特性	B2-1.doc
B2.2	緩衝材／埋め戻し材の地下水流动	B2-2.doc
B2.3	緩衝材／埋め戻し材の飽和	B2-3.doc
B3.1	緩衝材／埋め戻し材の力学特性	B3-1.doc
B3.2	緩衝材／埋め戻し材の応力	B3-2.doc
B3.3	緩衝材／埋め戻し材の膨潤	B3-3.doc
B3.4	緩衝材／埋め戻し材の変形	B3-4.doc
B3.5	緩衝材／埋め戻し材の流出	B3-5.doc
B4.1	緩衝材／埋め戻し材の化学特性	B4-1.doc
B4.2	緩衝材／埋め戻し材の地下水化学(化学薬剤／錯化剤の影響含む)	B4-2.doc
B4.3	緩衝材／埋め戻し材成分と地下水の反応	B4-3.doc
B4.4	緩衝材／埋め戻し材の化学的変質	B4-4.doc
B4.5	微生物の影響	B4-5.doc

B4.6	有機物の影響	B4-6.doc
B4.7	コロイドの形成	B4-7.doc
B4.8	ガスの発生／影響	B4-8.doc
B4.9	塩の蓄積	B4-9.doc
B5.1	緩衝材／埋め戻し材中での核種の放射性崩壊	B5-1.doc
B5.2	緩衝材／埋め戻し材中の地下水の放射性分解	B5-2.doc
B5.3	緩衝材／埋め戻し材の放射性損傷	
B6.1	緩衝材／埋め戻し材の物質移動特性	B6-1.doc
B6.2	幾何形状・間隙構造	B6-2.doc
B6.3	緩衝材／埋め戻し材中での核種移行	B6-3.doc
B6.3.1	移流／分散	B6-3-1.doc
B6.3.2	拡散	B6-3-2.doc
B6.3.3	収着	B6-3-3.doc
B6.3.4	沈殿／溶解	B6-3-4.doc
B6.3.5	コロイドによる移行	B6-3-5.doc
B6.3.6	ガスによる移行	B6-3-6.doc
B6.4	緩衝材／埋め戻し材の物質移行	B6-4.doc
D1.1	プラグ等の熱特性	D1-1.doc
D1.2	プラグ等の温度	D1-2.doc
D1.3	プラグ・グラウト等の熱膨張	
D2.1	プラグ等の水理特性	D2-1.doc
D2.2	プラグ等の地下水流动	D2-2.doc
D2.3	プラグ等の飽和	D2-3.doc
D3.1	プラグ等の力学特性	D3-1.doc
D3.2	プラグ等の応力	D3-2.doc
D3.3	プラグ等の膨潤	D3-3.doc
D3.4	プラグ等の変形	D3-4.doc
D3.5	プラグ等の流出	D3-5.doc
D4.1	プラグ等の化学特性	D4-1.doc
D4.2	プラグ等の地下水化学(化学薬剤/錯化剤の影響含む)	D4-2.doc
D4.3	プラグ等と地下水の反応	D4-3.doc
D4.4	プラグ等の化学的変質	D4-4.doc
D4.5	微生物の影響	D4-5.doc
D4.6	有機物の影響	D4-6.doc
D4.7	コロイドの影響	D4-7.doc
D4.8	ガスの発生、影響	D4-8.doc
D5.1	プラグ等中での核種の放射性崩壊	D5-1.doc
D5.2	プラグ等中の地下水の放射性分解	D5-2.doc
D5.3	プラグ・グラウト等の放射線損傷	
D6.1	プラグ等の物質移動特性	D6-1.doc
D6.2	幾何形状、間隙構造	D6-2.doc
D6.3	プラグ等中での核種移行	D6-3.doc
D6.3.1	移流、分散	D6-3-1.doc
D6.3.2	拡散	D6-3-2.doc
D6.3.3	収着	D6-3-3.doc
D6.3.4	沈殿、溶解	D6-3-4.doc
D6.3.5	コロイドによる移行	D6-3-5.doc
D6.3.6	ガスによる移行	D6-3-6.doc
D6.4	プラグ等の成分の物質移行	D6-4.doc
G1.1	ガラス固化体の熱特性	G1-1.doc
G1.2	ガラス固化体の温度	G1-2.doc

G1.3	ガラス固化体の熱膨張	
G1.4	核種崩壊に伴う発熱	G1-4.doc
G2.1	ガラス固化体の水理特性(地下水が廃棄体に滲入後)	G2-1.doc
G2.2	ガラス固化体の地下水流动	G2-2.doc
G3.1	ガラス固化体の力学特性	G3-1.doc
G3.2	ガラス固化体の応力	G3-2.doc
G3.3	ガラス固化体のひび割れ／破壊	G3-3.doc
G4.1	ガラス固化体の化学特性	G4-1.doc
G4.2	ガラス固化体の地下水化学(化学薬剤／錯化剤の影響含む)	G4-2.doc
G4.3	ガラス固化体成分の溶解	G4-3.doc
G4.4	ガラス固化体の科学的変質(水和層の形成)	G4-4.doc
G4.5	微生物の影響	
G4.6	有機物の影響	
G4.7	コロイドの形成	G4-7.doc
G4.8	ガスの発生／影響	
G5.1	ガラス固化体中での核種の放射性崩壊	G5-1.doc
G5.2	ガラス固化体中の地下水の放射線分解	G5-2.doc
G5.3	ガラス固化体の放射線損傷	
G6.1	ガラス固化体の中の核種インベントリ	G6-1.doc
G6.2	ガラス固化体の物質移動特性	G6-2.doc
G6.3	幾何形状・間隙構造	G6-3.doc
G6.4	ガラス固化体からの核種の溶出	G6-4.doc
G6.4.1	核種の調和的な溶解	G6-4-1.doc
G6.4.2	沈殿／溶解	G6-4-2.doc
G6.5	ガラス固化体(水和層)中の核種移行	G6-5.doc
G6.5.1	移流／分流	G6-5-1.doc
G6.5.2	拡散	G6-5-2.doc
G6.5.3	収着	G6-5-3.doc
G6.5.4	コロイドによる移行	G6-5-4.doc
G6.5.5	ガスによる移行	
H1.1	母岩の熱特性	H1-1.doc
H1.2	母岩の温度	H1-2.doc
H1.3	母岩の熱膨張	
H2.1	母岩の水理特性	H2-1.doc
H2.2	母岩の地下水流动	H2-2.doc
H2.3	母岩の飽和	H2-3.doc
H3.1	母岩の力学特性	H3-1.doc
H3.2	母岩の応力	H3-2.doc
H3.3	母岩のクリープ	H3-3.doc
H4.1	母岩の化学特性	H4-1.doc
H4.2	母岩の地下水化学(化学薬剤／錯化剤の影響含む)	H4-2.doc
H4.3	母岩と地下水との反応	H4-3.doc
H4.4	母岩の化学的変質	H4-4.doc
H4.5	微生物の影響	H4-5.doc
H4.6	有機物の影響	H4-6.doc
H4.7	コロイドの影響	H4-7.doc
H4.8	ガスの発生、影響	H4-8.doc
H5.1	母岩中の核種の放射性崩壊	H5-1.doc
H5.2	母岩中の地下水の放射線分解	
H5.3	母岩の放射線損傷	
H6.1	母岩の物質移動特性	H6-1.doc

H6.2	幾何形状、間隙構造、亀裂構造	H6-2.doc
H6.3	母岩中の核種移行	H6-3.doc
H6.3.1	移流、分散	H6-3-1.doc
H6.3.2	拡散	H6-3-2.doc
H6.3.3	収着	H6-3-3.doc
H6.3.4	沈殿／溶解	H6-3-4.doc
H6.3.5	コロイドによる移行	H6-3-5.doc
H6.3.6	ガスによる移行	H6-3-6.doc
H6.4	母岩成分(鉱物)の物質移行	H6-4.doc
OP1.1	オーバーパックの熱特性	OP1-1.doc
OP1.2	オーバーパックの温度	OP1-2.doc
OP1.3	オーバーパックの熱膨張	
OP2.1	腐食生成物の水理特性	OP2-1.doc
OP2.2	腐食生成物の地下水流动	OP2-2.doc
OP3.1	オーバーパックの力学特性	OP3-1.doc
OP3.2	オーバーパックの応力	OP3-2.doc
OP3.3	オーバーパックの破壊	OP3-3.doc
OP3.4	オーバーパックの腐食膨張	OP3-4.doc
OP3.5	オーバーパックの沈下	OP3-5.doc
OP4.1	オーバーパックの化学特性	OP4-1.doc
OP4.2	オーバーパックの地下水化学 (化学薬剤、錯化剤の影響含む)	OP4-2.doc
OP4.3	オーバーパックと地下水の反応	OP4-3.doc
OP4.4	オーバーパックの腐食	OP4-4.doc
OP4.5	腐食生成物の生成	OP4-5.doc
OP4.6	微生物の影響	OP4-6.doc
OP4.7	有機物の影響	OP4-7.doc
OP4.8	コロイドの形成	OP4-8.doc
OP4.9	ガスの発生、影響	OP4-9.doc
OP5.1	腐食生成物中での核種の放射性崩壊	OP5-1.doc
OP5.2	腐食生成物中の地下水の放射線分解	OP5-2.doc
OP5.3	オーバーパックの放射線損傷	
OP6.1	腐食生成物中の物質移動特性	OP6-1.doc
OP6.2	幾何形状、間隙構造	OP6-2.doc
OP6.3	腐食生成物質中の核種移行	OP6-3.doc
OP6.3.1	移流／分散	OP6-3-1.doc
OP6.3.2	拡散	OP6-3-2.doc
OP6.3.3	収着	OP6-3-3.doc
OP6.3.4	沈殿／溶解	OP6-3-4.doc
OP6.3.5	コロイドによる移行	OP6-3-5.doc
OP6.3.6	ガスによる移行	OP6-3-6.doc
OP6.4	腐食生成物の物質移行	OP6-4.doc

# 国際単位系 (SI)

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

組立量	SI 基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	$\text{m}^2$
体積	立方メートル	$\text{m}^3$
速さ, 速度	メートル毎秒	$\text{m}/\text{s}$
加速速度	メートル毎秒毎秒	$\text{m}/\text{s}^2$
波数	毎メートル	$\text{m}^{-1}$
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	$\text{kg}/\text{m}^3$
面積密度	キログラム毎平方メートル	$\text{kg}/\text{m}^2$
比體積	立方メートル毎キログラム	$\text{m}^3/\text{kg}$
電流密度	アンペア毎平方メートル	$\text{A}/\text{m}^2$
磁界の強さ	アンペア毎メートル	$\text{A}/\text{m}$
量濃度 <sup>(a)</sup> , 濃度	モル毎立方メートル	$\text{mol}/\text{m}^3$
質量濃度 <sup>(a)</sup> , 濃度	キログラム毎立方メートル	$\text{kg}/\text{m}^3$
輝度	カンデラ毎平方メートル	$\text{cd}/\text{m}^2$
輝度率 <sup>(b)</sup>	(数字の) 1	1
屈折率 <sup>(b)</sup>	(数字の) 1	1
比透磁率 <sup>(b)</sup>	(数字の) 1	1

(a) 量濃度(amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度(substance concentration)ともよばれる。  
(b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	他のSI単位による表し方
平面角	ラジアン <sup>(b)</sup>	rad	$1^{(b)}$
立体角	ステラジアン <sup>(b)</sup>	$\text{sr}^{(c)}$	$1^{(b)}$
周波数	ヘルツ <sup>(d)</sup>	Hz	$\text{m}^2/\text{m}^2$
力	ニュートン	N	$\text{m kg s}^{-2}$
圧力, 応力	パスカル	Pa	$\text{N}/\text{m}^2$
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	$\text{N m}$
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	$\text{J}/\text{s}$
電荷, 電気量	クーロン	C	$\text{m}^2 \text{kg s}^{-3}$
電位差(電圧), 起電力	ボルト	V	$\text{W}/\text{A}$
静電容量	ファラード	F	$\text{C}/\text{V}$
電気抵抗	オーム	$\Omega$	$\text{m}^2 \text{kg s}^{-3} \text{A}^{-2}$
コンダクタンス	シーメンス	S	$\text{A}/\text{V}$
磁束密度	ウェーバ	Wb	$\text{Vs}$
磁束密度	テスラ	T	$\text{Wb}/\text{m}^2$
インダクタンス	ヘンリー	H	$\text{Wb}/\text{A}$
セルシウス温度	セルシウス度 <sup>(e)</sup>	°C	K
光束	ルーメン	lm	cd sr <sup>(c)</sup>
照度	ルクス	lx	$\text{lm}/\text{m}^2$
放射性核種の放射能 <sup>(f)</sup>	ベクレル <sup>(d)</sup>	Bq	$\text{cd s}^{-1}$
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	$\text{J}/\text{kg}$
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト <sup>(g)</sup>	Sv	$\text{J}/\text{kg}$
酸素活性	カタール	kat	$\text{m}^2 \text{s}^{-2}$

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもやはヨーロピアンではない。

(b) ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際にには、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は表示されない。

(c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。

(d) ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。

(e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度範囲を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。

(f) 放射性核種の放射能(activity referred to a radionuclide)は、しばしば誤った用語で“radioactivity”と記される。

(g) 単位シーベルト(PV,2002,70,205)についてはCIPM勧告2(CI-2002)を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘度	バスカル秒	Pa s	$\text{m}^{-1} \text{kg s}^{-1}$
力のモーメント	ニュートンメートル	N m	$\text{m}^2 \text{kg s}^{-2}$
表面張力	ニュートン每メートル	N/m	$\text{kg s}^{-2}$
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	$\text{m}^{-1} \text{s}^{-1}$
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s <sup>2</sup>	$\text{m}^{-1} \text{s}^{-2}$
熱流密度, 放射照度	ワット毎平方メートル	W/m <sup>2</sup>	$\text{kg s}^{-3}$
熱容量, エントロピー	ジュール每ケルビン	J/K	$\text{m}^2 \text{kg s}^{-2} \text{K}^{-1}$
比熱容量, 比エントロピー	ジュール每キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	$\text{m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$
比エネルギー	ジュール每キログラム	J/kg	$\text{m}^3 \text{s}^{-2}$
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	$\text{m kg s}^{-3} \text{K}^{-1}$
体積エネルギー	ジュール每立方メートル	J/m <sup>3</sup>	$\text{m}^{-1} \text{kg s}^{-2}$
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	$\text{m kg s}^{-3} \text{A}^{-1}$
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m <sup>3</sup>	$\text{m}^{-3} \text{sA}$
表面電荷密度	クーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	$\text{m}^{-2} \text{sA}$
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	$\text{m}^{-2} \text{sA}$
誘電率	ファラード毎メートル	F/m	$\text{m}^{-3} \text{kg}^{-1} \text{s}^{-1} \text{A}^2$
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	$\text{m}^2 \text{kg s}^{-2} \text{A}^2$
モルエネルギー	ジュール每モル	J/mol	$\text{m}^2 \text{kg s}^{-2} \text{mol}^{-1}$
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール每モル毎ケルビン	J/(mol K)	$\text{m}^2 \text{kg s}^{-2} \text{K}^{-1} \text{mol}^{-1}$
照射線量(X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	$\text{kg}^{-1} \text{sA}$
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	$\text{m}^2 \text{s}^{-3}$
放射強度	ワット每ステラジアン	W/sr	$\text{m}^4 \text{m}^2 \text{kg s}^{-3} = \text{m}^2 \text{kg s}^{-3}$
放射輝度	ワット每平方メートル每ステラジアン	W/(m <sup>2</sup> sr)	$\text{m}^2 \text{m}^2 \text{kg s}^{-3} = \text{kg s}^{-3}$
酵素活性濃度	カタール每立方メートル	kat/m <sup>3</sup>	$\text{m}^{-3} \text{s}^{-1} \text{mol}$

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
$10^{-24}$	ヨタ	Y	$10^{-1}$	デシ	d
$10^{-21}$	ゼタ	Z	$10^{-2}$	センチ	c
$10^{18}$	エクサ	E	$10^{-3}$	ミリ	m
$10^{15}$	ペタ	P	$10^{-6}$	マイクロ	μ
$10^{12}$	テラ	T	$10^{-9}$	ナノ	n
$10^9$	ギガ	G	$10^{-12}$	ピコ	p
$10^6$	メガ	M	$10^{-15}$	フェムト	f
$10^3$	キロ	k	$10^{-18}$	アト	a
$10^2$	ヘクト	h	$10^{-21}$	ゼット	z
$10^1$	デカ	da	$10^{-24}$	ヨクト	y

表5. SI接頭語

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60 s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	$1^\circ=(\pi/180) \text{ rad}$
分	'	$1'=(1/60)^\circ=(\pi/10800) \text{ rad}$
秒	"	$1''=(1/60)'=(\pi/648000) \text{ rad}$
ヘクタール	ha	$1 \text{ ha}=1 \text{ hm}^2=10^4 \text{ m}^2$
リットル	L	$1 \text{ L}=1 \text{ dm}^3=10^3 \text{ cm}^3=10^{-3} \text{ m}^3$
トン	t	$1 \text{ t}=10^3 \text{ kg}$

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60 s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	$1^\circ=(\pi/180) \text{ rad}$
分	'	$1'=(1/60)^\circ=(\pi/10800) \text{ rad}$
秒	"	$1''=(1/60)'=(\pi/648000) \text{ rad}$
ヘクタール	ha	$1 \text{ ha}=1 \text{ hm}^2=10^4 \text{ m}^2$
リットル	L	$1 \text{ L}=1 \text{ dm}^3=10^3 \text{ cm}^3=10^{-3} \text{ m}^3$
トン	t	$1 \text{ t}=10^3 \text{ kg}$

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位でSI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位で表される数値
電子ボルト	eV	$1 \text{ eV}=1.602 176 53(14) \times 10^{-19} \text{ J}$
ダルトン	Da	$1 \text{ Da}=1.660 538 86(28) \times 10^{-27} \text{ kg}$
統一原子質量単位	u	$1 \text{ u}=1 \text{ Da}$
天文単位	ua	$1 \text{ ua}=1.495 978 706 91(6) \times 10^{11} \text{ m}$

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
バール	bar	$1 \text{ bar}=0.1 \text{ MPa}=100 \text{ kPa}=10^5 \text{ Pa}$
水銀柱ミリメートル	mmHg	$1 \text{ mmHg}=133.322 \text{ Pa}$
オングストローム	Å	$1 \text{ Å}=0.1 \text{ nm}=100 \text{ pm}=10^{-10} \text{ m}$
海里	M	$1 \text{ M}=1852 \text{ m}$
バーン	b	$1 \text{ b}=100 \text{ fm}^2=(10^{-12} \text{ cm})^2=10^{-28} \text{ m}^2$
ノット	kn	$1 \text{ kn}=1852/3600 \text{ m/s}$
ネーベル	Np	$1 \text{ Np}$ と数値的な関係は、対数量の定義に依存。
デジベル	dB	

(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「」は対応関係を示すものである。

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
エルグ	erg	$1 \text{ erg}=10^{-7} \text{ J}$
ダイナ	dyn	$1 \text{ dyn}=10^{-5} \text{ N}$
ボアズ	P	$1 \text{ P}=1 \text{ dyn s cm}^{-2}=0.1 \text{ Pa s}$
ストークス	St	$1 \text{ St}=1 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}=10^3 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$
スチール	sb	$1 \text{ sb}=1 \text{ cd cm}^{-2}=10^4 \text{ cd m}^{-2}$
フォト	ph	$1 \text{ ph}=1 \text{ cd sr cm}^{-2} 10^4 \text{ lx}$
ガル	Gal	$1 \text{ Gal}=1 \text{ cm s}^{-2}=10^{-2} \text{ ms}^{-2}$
マックスウェル	Mx	$1 \text{ Mx}=1 \text{ G cm}^{-2}=10^{-8} \text{ Wb}$
ガウス	G	$1 \text{ G}=1 \text{ Mx cm}^{-2}=10^{-9} \text{ T}$
エルステッド	Oe	$1 \text{ Oe} \triangleq (10^3/4\pi) \text{ A m}^{-1}$
キュリ	Ci	$1 \text{ Ci}=3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$
レントゲン	R	$1 \text{ R}=2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$
ラド	rad	$1 \text{ rad}=1 \text{ eGy}=10^{-2} \text{ Gy}$
レム	rem	$1 \text{ rem}=1 \text{ eSv}=10^{-2} \text{ Sv}$
ガンマ	γ	$1 \gamma=1 \text{ nT}=10^{-9} \text{ T}$
フェルミ	fm	$1 \text{ フェルミ}=1 \text{ fm}=10^{-15} \text{ m}$
メートル系カラット	Torr	$1 \text{ Torr}=(101 325/760) \text{ Pa}$
標準大気圧	atm	$1 \text{ atm}=101 325 \text{ Pa}$
カリ	cal	$1 \text{ cal}=4.1858 \text{ J} ([15^\circ \text{C}] \text{ カロリー})$
ミクロ	μ	$1 \mu=1 \mu\text{m}=10^{-6} \text{ m}$

(第8版、2006年改訂)

