JNC　TN8400　2002－026

高レベル放射性廃棄物の地層処分における人工バリア等の性能保証に関わる研究の進め方と反映先

（研究報告）

2003年3月

核燃料サイクル開発機構
東　海　事　業　所

本資料の全部または一部を複写・複製・転写する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319－1184　茨城県那珂郡東海村村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部　技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to :
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2003

JNC TN8400 2002-026
２００３年３月

高レベル放射性廃棄物の地層処分における人工バリア等の性能保証に関わる研究の進め方と反映先（研究報告）

川上　進*、杉田　裕*、栗原雄二**
神徳　敬*、谷口直樹*、油井三和*
棚井憲治*、柴田雅博***、本間信之****

要　旨

国が策定する安全基準・指針等に資するため、今後の研究開発等により得られる成果がどのように反映されるかを明確とするための検討を行った。ここでは、処分場における長期的安全性の観点から人工バリア等の処分施設を構成する各要素、本報告ではオーバーパックと緩衝材、において性能を保証すべき項目を抽出し、これらの項目について具体的にどのように性能保証するのかを示した。さらに、これらの性能保証の方法について現状の取り組み状況（第２次取りまとめ）を踏まえて、今後の取り組みが必要と考えられる課題を抽出した。また、安全基準・指針の項目を想定し、性能保証項目との関係を整理した。この整理により、性能保証項目より抽出された今後取り組みが必要と考えられる研究課題が、安全規制のどのようなところに反映されるかの関連性を明確とするための一つの整理ができたものと考えられる。

*　東海事業所　環境保全・研究開発センター　処分研究部　処分バリア性能研究グループ
**　東海事業所　環境保全・研究開発センター　処分研究部　システム解析グループ
***　東海事業所　環境保全・研究開発センター　処分研究部　放射化学研究グループ
****　現在　石川島播磨重工業株式会社

JNC TN8400 2002-026
March, 2003

Studies on the performance guarantee for the Engineering Barrier System on geological disposal of High-level radioactive waste (Research Document)

Susumu KAWAKAMI*, Yutaka SUGITA*, Yuji KURIHARA**
Takashi Jintoku*, Naoki TANIGUTI*, Mikazu YUI*
Kenji TANAI*, Masahiro SHIBATA*** and Nobuyuki HONMA****

Abstract

In order to contribute to the safety standards and guidelines upon which a administration decides, examination for clarifying how to reflect the result obtained by future R&D was performed. From a viewpoint of the long-term safety on geological disposal, the items which should guarantee the performance of each element which constitutes disposal institutions (by this report, they are the overpack and the buffer material) were extracted, and it was shown what a performance guarantee is concretely offered about these items. Furthermore, based on the H12 report as a situation of present R&D for a method of a performance guarantee, the subjects considered that a future R&D is required were extracted. Moreover, the items of a safety standard and guideline were assumed, and the relation between these items and a performance guarantee items was arranged. One arrangement for clarifying whether to be reflected in the safety regulations and guidelines whose R&D subjects extracted from the performance guarantee items was shown.

---

* Barrier performance group, Waste isolation research division, Waste management and fuel cycle research center, Tokai works
** Repository system analysis group, Waste isolation research division, Waste management and fuel cycle research center, Tokai works
*** Radiochemistry Group, Waste isolation research division, Waste management and fuel cycle research center, Tokai works
**** Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.

目次

1. はじめに 1
2. 目的 3
3. 人工バリア等の性能保証項目の抽出および整理 4
3.1 性能保証項目の抽出 4
(1) オーバーパックにおける性能保証項目 7
(2) 緩衝材における性能保証項目 7
3.2 性能保証項目に対する評価方法・評価に用いるデータベース等及び課題の整理 10
(1) オーバーパックにおける整理 11
(2) 緩衝材における整理 11
(3) その他のオーバーパックと緩衝材における整理 11
4. 安全基準・指針（案）の想定と性能保証項目との位置付けの整理 20
4.1 安全基準・指針（案）の想定の考え方と想定における参考資料 20
(1) 第2次取りまとめにおける記述 20
(2) 「最終処分法」における記述 23
(3) 「安全規制の基本的考え方」における記述 23
(4) 「概要調査地区選定時に考慮すべき地質環境に関する基本的考え方」（土木学会、2001年）における記述 23
(5) 「高レベル放射性廃棄物処分の概要調査地区選定段階において考慮すべき環境要件について」（原子力安全委員会、2002）における記述 27
(6) 「放射性廃棄物安全研究年次計画（平成13年度～平成17年度）」（原子力安全委員会、2000b）における記述 27
4.2 安全基準・指針（案）の想定 29
4.3 性能保証項目と基準項目（案）の関係 29
5. 今後の計画 33
6. おわりに 33
参考文献 33
添付資料 35

表目次

表 3.1-1　オーバーパックに対する基本要件 5

表 3.1-2　オーバーパックの設計要件 5

表 3.1-3　放射性核種の隔離のための緩衝材の設計要件 6

表 3.1-4　人工バリアが成立するための緩衝材の設計要件 6

表 3.1-5　オーバーパックに係わる性能保証項目 8

表 3.1-6　緩衝材に係わる性能保証項目 9

表 3.2-1　処分場の長期安全性確保のための整理表の概念 10

表 3.2-2　オーバーパックの設計要件と課題の整理表（1/2） 13

表 3.2-3　オーバーパックの設計要件と課題の整理表（2/2） 14

表 3.2-4　緩衝材の設計要件と課題の整理表（1/4） 15

表 3.2-5　緩衝材の設計要件と課題の整理表（2/4） 16

表 3.2-6　緩衝材の設計要件と課題の整理表（3/4） 17

表 3.2-7　緩衝材の設計要件と課題の整理表（4/4） 18

表 3.2-8　その他のオーバーパックと緩衝材の設計要件と課題の整理表 19

表 4.1-1　第 2 次取りまとめにおける要件の整理 21

表 4.1-2　「最終処分法」における地区選定に係わる調査事項及び確認事項を基とした整理 24

表 4.1-3　「安全規制の基本的考え方」における安全確保の方策及び基本的な考え方を基とした整理 25

表 4.1-4　土木学会取りまとめでの概要調査地区選定時における考慮すべき要件に関する整理 26

表 4.1-5　概要調査地区選定段階において考慮すべき環境要件 27

表 4.1-6　安全研究年次計画を基とした整理 28

表 4.2-1　安全基準・指針の項目（案） 30

表 4.3-1　性能保証項目と安全基準・指針（案）との関係（星取表による整理） 31

図目次

図 1-1　高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全基準・指針等に関するスケジュール 2

図 4.1-1　地層処分の事業化に向けた研究開発成果の反映 22

図 4.1-2　地層処分事業の展開と技術的拠り所 22

1. はじめに

原子力発電所等において発生する使用済燃料を再処理する過程で発生する高レベル放射性廃棄物に関して、人間の生活環境から隔離して最終処分するために地下の深い安定した地層中に永久に隔離する地層処分することが、わが国の基本方針となっている。

この地層処分については、平成12年5月に「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律（官報、2000a）」（以下、「最終処分法」）が成立し、最終処分を計画的かつ確実に実施させるために必要な措置等が制度化された。また、最終処分法に基づき平成12年10月に最終処分事業を実施する機関として「原子力発電環境整備機構」（以下、原環機構）が設立された。処分予定地の選定に関しては、概要調査地区、精密調査地区、最終処分施設建設地と段階的に進めていくこととしており、これらの選定時期について「特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針（官報、2000b）」（以下、「最終処分に関する基本方針」）に、精密調査地区の選定を平成20年代前半、最終処分施設建設地の選定を平成30年代後半、最終処分の開始を平成40年代後半を目処とされている。概要調査地区の選定に関しては、原環機構より公表されている「特定放射性廃棄物処分の概要調査地区等の選定手順の基本的考え方（原環機構、2001）」において、概要調査地区の公募開始を平成14年度、概要調査地区の選定を平成10年代後半を目処とされている。

また、最終処分に係る安全規制に関しては、その基本的考え方について平成12年11月に原子力安全委員会より「高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全規制の基本的考え方について（第1次報告）（原子力安全委員会、2000a）」（以下、「安全規制の基本的考え方」）として公表されている。この「安全規制の基本的考え方」では、実施主体が行う処分事業の進展に合わせて安全の確認が適切に行われるように、安全審査、安全確認等に係る指針・技術基準を策定していくこととし、安全基準・指針等の策定に関するスケジュールが示されている（図1-1）。

これらの安全規制に係わる指針・基準を策定するためには、地層処分の長期的安全性に関する基盤的な技術情報が必要となる。したがって、この技術情報は、安全規制・基準の策定スケジュールに合わせて整備しておく必要があり、既存のものおよび今後の研究開発により取得する必要があるものもある。技術情報の整備に関しては、「最終処分の基本方針」にあるように、国および関係機関は、最終処分の安全規制・安全評価のために必要な研究開発を積極的に進めていく必要があるとされ、また、「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画」（原子力委員会、2000）（以下、原子力長期計画）、「原子力の技術基盤の確保について」（総合資源エネルギー調査会原子力部会、2001）において、最終処分の実施に向けて必要な取り組みや関係機関の役割分担が示されている。

以上のように、最終処分の事業化へ向けた制度的環境が整いつつあり、また最終処分に必要となる研究開発への取り組み方針が示された状況を踏まえ、今後の研究開発での取り組みが必要となる技術情報について整理を行うことが必要である。また、「安全規制の基本的考え方」に示された地層処分に係る安全基準・指針等の策定において、具体的にどのような安全基準・指針項目が必要と考えられるかは今後国により検討されることであるが、これらの策定に資することを念頭に置いて基礎・基盤研究を進めることは重要である。

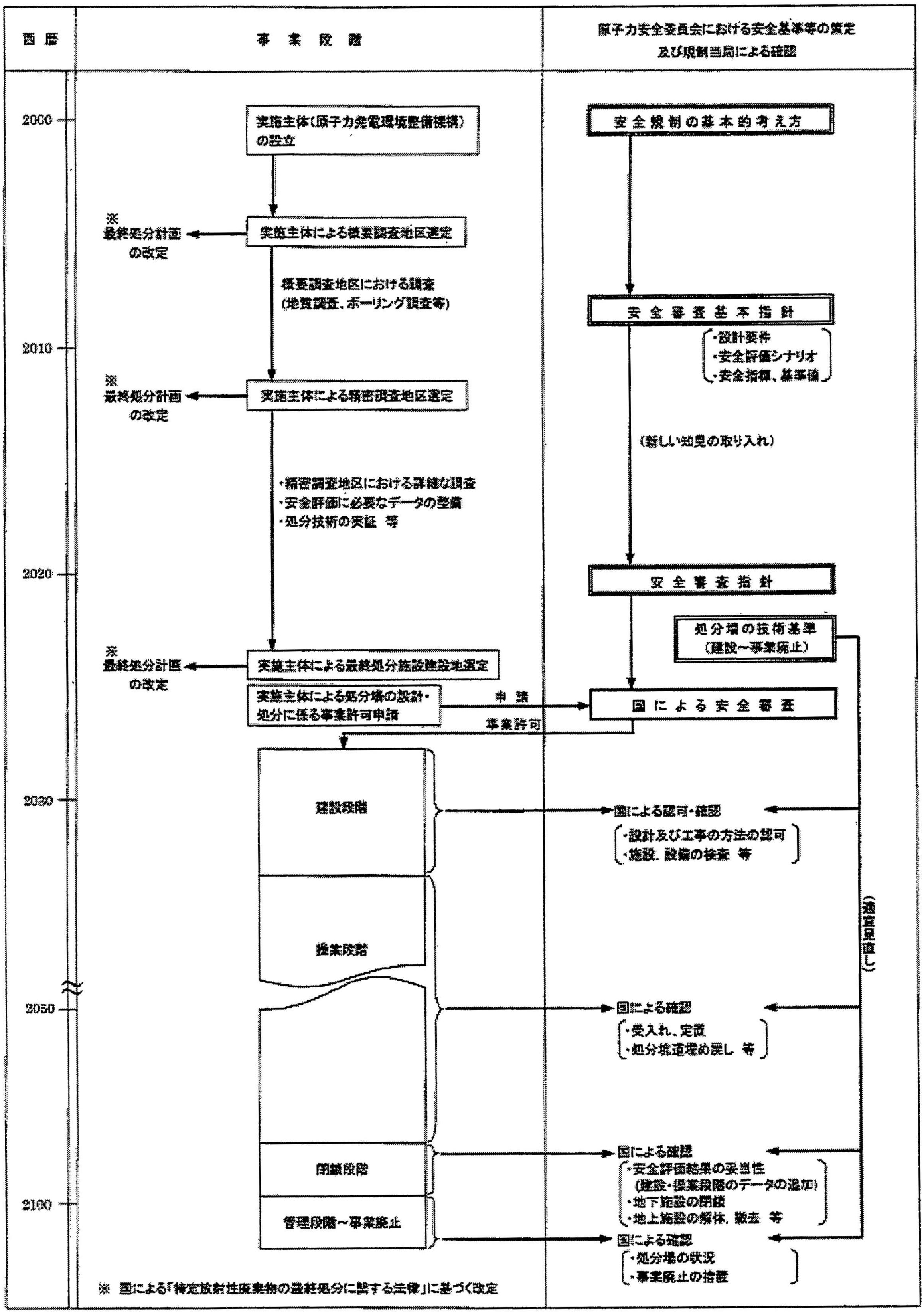

図 1-1　高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全基準・指針等に関するスケジュール
（原子力安全員会、2000a）

2. 目的

現在、安全規制に関する基本的考え方が示されているが、1.で述べたように安全基準・指針等が具体的に策定されるのはまだ先の予定である。ただし、安全基準・指針等の策定に資することを念頭に置いて、地層処分技術に関する基礎・基盤研究を進めることが重要である。この基礎・基盤研究の成果は、安全基準・指針の策定に資する基盤情報であるとともに、実施主体が進める処分事業へも反映される。しかしながら、本資料では、安全基準・指針等の策定に資することを念頭に置いて、地層処分研究における今後の研究開発に関する検討・整理を行うとともに、これまで十分に行われていなかった安全基準・指針等に対して地層処分研究における個別の研究項目（課題）がどのような位置付けにあるのかを明確とするための検討を行う。

検討・整理においては、まず、国による安全審査において「何を評価するのか」、「評価するためにはどんな技術情報が必要となるのか」を想定し、検討する。ここでは、人工バリア等の処分施設を構成する各要素について、処分場の長期的安全性の観点から性能を保証すべき項目を抽出する。この抽出された性能保証項目は、安全基準・指針等の項目のポイントとなるものと考える。次に、これらの性能保証項目について、性能を保証するためにはどのような評価が必要となるのかを具体的に示し、また現状の研究開発状況との対比により残された研究項目（課題）を抽出・整理を行う。

さらに、研究項目（課題）の位置付けを明確とするために、安全基準・指針等として策定される項目を現状の関連する公開資料や報告書などを参考として想定し、想定した安全基準・指針等の項目（案）に対する性能保証項目の関連性を検討する。

以上の内容について、次の2項目として以降に検討内容を記載する。

- 人工バリア等の性能保証項目の抽出および整理
- 安全基準・指針（案）の想定と性能保証項目との関連性の検討

3. 人工バリア等の性能保証項目の抽出および整理

処分場の長期的安全性を確保するためには、人工バリア等の処分場を構成する各要素に対して期待する性能が確実に発揮されることを評価等により保証する必要がある。ここでは、この性能保証すべき項目（性能保証項目）を抽出し、さらに、この項目をどのように保証するのか、そのために必要な具体的な評価方法・評価に必要なデータベース等を抽出・整理する。この具体的な内容に対して現状での取り組み状況を整理することにより、性能保証項目に対して今後取り組むべき課題が整理されるものと考える。

また、処分場を構成する要素としては、ガラス固化体、オーバーパック、緩衝材、埋め戻し材、プラグ、アクセス・連絡・主要・処分の各坑道および処分孔等があるが、本資料ではオーバーパックと緩衝材を対象として上記の検討を行う。

3.1 性能保証項目の抽出

第2次取りまとめでは、オーバーパックおよび緩衝材に求められる要件が表3.1-1～表3.1-4のように示されている（サイクル機構、1999a)。オーバーパックにおいては、ガラス固化体に地下水を所定の期間接触させないこと、ガラス固化体および緩衝材に有意な影響を与えないこと、製作・施工が技術的に可能なことを基本要件として位置付け、さらに、これら基本要件を満足するために設計において考慮すべき具体的な項目（設計要件）を整理している。緩衝材においては、長期的な安全確保の観点から、オーバーパックの保護と放射性核種の移行を抑制することを基本的な要件とし、これらの要件より求められる機能、機能を満たすために設計上考慮すべき項目（設計要件）を整理している。しかしながら、ここでの整理は処分場における時間軸の観点が示されていないため、これらの要件が「いつ」「どんな時」に必要となるのかが明確にはなっていない。性能保証項目の抽出においては、「いつ」「どんな時」の観点も重要と考え、時間軸も考慮した検討を実施した。

性能保証項目の抽出においては、その性能が処分事業開始からの時間の経過に伴い性能保証項目が変化することを十分考慮して行う必要がある。ここでは、オーバーパックと緩衝材について、それぞれに期待される性能の特徴を考慮して処分場における時間の経過を軸とした段階（例えば埋め戻し前、埋め戻し後等）を設定し、この段階における性能保証項目を抽出した。また、性能保証項目としては、まず処分場の長期的安全性の観点から各要素に期待される役割を、処分場における時間を軸とした段階毎に抽出した。

さらに、これら抽出された役割に対して、性能を保証するために具体的にどのような事項を確認する必要があるのかを基準のポイントとして検討した。これらが安全規制・基準等の項目を実際に策定する場合に、具体的な項目になりうるものと想定された。

表 3.1-1 オーバーパックに対する基本要件（サイクル機構、1999a）

地層処分における安全確保のための要件	放射性核種の閉じ込め（ガラス固化体に地下水を所定の期間接触させない）
人工バリアが成立するための要件	他の人工バリア（ガラス固化体および緩衝材）に有意な影響を与えないこと
	製作・施工が技術的に可能であること

表 3.1-2 オーバーパックの設計要件（サイクル機構、1999a）

基本的な要件		機能・役割	設計上考慮すべき項目（設計要件）	内容
安全確保のための要件	放射性核種の閉じ込め	ガラス固化体に地下水を所定の期間接触させないこと	①閉じ込め性を有すること	操業時に放射性物質の外部環境への漏出を防ぐこと／廃棄体埋設後、地下水の浸入を防ぐこと
			②耐食性を有すること	廃棄体埋設後、所定の期間、腐食によって閉じ込め性が損なわれないこと
			③耐圧性を有すること	埋設後作用する機械的荷重に対して構造健全性を維持し、閉じ込め性を損なわれないこと
			④放射線遮へい性を有すること	ガラス固化体からの放射線による水の放射線分解にともなって生成される酸化性化学種により、腐食が促進されないこと
			⑤耐放射線性を有すること	ガラス固化体からの放射線によって、耐圧性が有意な影響を受けないこと
			⑥耐熱性を有すること	ガラス固化体からの発熱に対して、閉じ込め性、耐食性および耐圧性が有意な影響を受けないこと
人工バリアが成立するための要件	所定の期間、他の人工バリアに有意な影響を与えないこと		⑦十分な内空間を有すること	オーバーパックの変形やガラス固化体の熱膨張により、ガラス固化体が機械的に破損しないこと
			⑧良好な熱伝導性を有すること	ガラス固化体の発熱を外部に伝え、ガラス固化体の安定な形態を損なうような熱による変質を生じさせないこと
			⑨放射線遮へい性を有すること	ガラス固化体からの放射線によって、緩衝材の材料特性が変化しないこと
			⑩化学的緩衝性を有すること*1	周囲の地下水を腐食生成物によって還元性環境に緩和すること
	製作・施工が技術的に可能であること		⑪製作性を有すること	既存の技術もしくは近い将来実現可能と考えられる技術に基づいた構造であること
			⑫遠隔封入性を有すること*2	ガラス固化体の遠隔操作による封入が、既存の技術もしくは近い将来実現可能と考えられる技術により、ガラス固化体の安定な形態を損なうことなく可能な構造であること
			⑬遠隔定置性を有すること*2	廃棄体の遠隔操作による定置が、既存の技術もしくは近い将来実現可能と考えられる技術により、ガラス固化体の安定な形態を損なうことなく可能な構造であること

注）*1：この特性を有していれば人工バリアの機能向上に寄与することが期待される特性。
*2：これらを考慮することによって、放射線遮へい性に対する過度に保守的な要求を緩和できるため、オーバーパック厚さを減少させることが可能となり、その結果、緩衝材の機能に有意な影響を与えないことが期待できる要件。

表 3.1-3　放射性核種の隔離のための緩衝材の設計要件（サイクル機構、1999a）

安全確保のための要件	機能／役割	設計上考慮すべき項目（設計要件）	内　容
放射性核種の移行抑制	地下水の移動の抑制	①低透水性を有すること	低透水性を有することにより緩衝材中の地下水の動きを遅くして，結果的に緩衝材中の物質の移動が遅くなるようにするとともに，ガラス固化体の溶解速度や核種の溶出を抑制すること
	溶解した核種の収着	②高い収着性を有すること	ガラス固化体から放射性核種が溶解した場合，それを収着することによって放射性核種の移動を抑制すること
	コロイドの移動の防止	③コロイドフィルトレーション機能を有すること	放射性核種がコロイドとして移動することを妨げること
	地下水環境の変動の緩和	④化学的緩衝性を有すること*1	地下水の pH や還元性等を化学的に緩衝することにより地下水の化学的条件を好ましいものとすること

*1：この特性を有していれば，人工バリアの機能向上に寄与することが期待される特性。

表 3.1-4　人工バリアが成立するための緩衝材の設計要件（サイクル機構、1999a）

人工バリアが成立するための要件	機能／役割	設計上考慮すべき項目（設計要件）	内　容
製作・施工が可能であること	施工，その他で生じた隙間等を充填できること	⑤自己シール性を有すること	水を含んだ際の膨潤性により，定置時の周辺岩盤との隙間や緩衝材内に生じた隙間を充填できること
	施工可能な特性を有すること	⑥施工可能な締固め特性を有すること	既存の技術によって所要の密度が得られるような締固め特性を有すること
		⑦施工可能な強度を有すること	ブロック方式による施工を想定した場合，据え付け時のハンドリングに必要な力学的特性を有すること
所要の期間人工バリアの機能に有意な影響を与えないこと	応力緩衝性を有すること	⑧変形能を有すること	廃棄体埋設後，オーバーパックの機能が維持される期間，緩衝材が変形能を有することにより，オーバーパックの腐食膨張と岩盤のクリープ変形を力学的に緩和できること
	オーバーパックを力学的に安定に支持できること	⑨力学的に安定に支持できる強度を有すること	廃棄体埋設後，オーバーパックの機能が維持される期間，オーバーパックを力学的に安定に支持でき，地震に対しても健全性を維持できる力学的特性を有すること
	ガラス固化体及び緩衝材の変質の抑制	⑩良好な熱伝導性を有すること	良好な熱伝導性を有することにより，ガラス固化体の発熱を外部に伝え，ガラス固化体の安定な形態を損なうような熱による変質を生じさせないこと 人工バリアの性能にかかわる熱移動，水分移動，核種移行，応力緩和などに関する性質に有意な影響を及ぼすような緩衝材の熱的な変質が生じないこと

(1) オーバーパックにおける性能保証項目

オーバーパックに関しては、ガラス固化体封入時より性能を要求されること、埋め戻し前後において性能保証項目が変化することから時間を軸とした段階を、「操業中～埋め戻し」及び「埋め戻し後」と設定した。また、オーバーパックの寿命が終了し腐食等により破損した後についても人工バリアの機能を向上させるものとして要求される性能があることから、「オーバーパック破損後」も時間を軸とした段階に含めるものとした。表に示したように、「操業中～埋め戻し」では、操業中における作業員等への安全確保や廃棄体の確実な定置に必要となるものとして、ガラス固化体を健全な形で内包し放射線核種の外部への漏えいを防止することや作業員への放射線防護の観点からの放射線を遮へいすることが役割となる。「埋め戻し後」では、処分場の長期的安全性を確保するために必要となるものとして、放射線核種の外部への漏えいを防止しガラス固化体を外部から隔離すること、腐食への影響として地下水の放射線分解に対する配慮が役割となる。「オーバーパックの破損後」では、性能評価上必ずしも必要とされていないが、人工バリアの機能をさらに向上させるものとして、オーバーパック自らの腐食によるガラス固化体周囲の還元的環境維持が役割となる。また、これらの役割に対して、それぞれの時間軸においてどのような観点からの技術的な確認が必要になるのかを基準のポイントとして示した。

オーバーパックに対する処分場における時間軸の段階とこの段階に対応する性能保証項目として抽出した結果を表 3.1-5 に示す。

(2) 緩衝材における性能保証項目

緩衝材に関しては、廃棄体定置時以降より性能を要求されること、埋め戻し前後において緩衝材の膨潤状態を考慮することにより性能保証項目が変化することから、時間を軸とした段階を「廃棄体定置時～埋め戻し」、「埋め戻し」および「緩衝材膨潤中～膨潤後」と設定した。「廃棄体定置時～埋め戻し」では、廃棄体の定置前後において必要となるものとして、廃棄体を確実に内包・支持することが役割となる。「埋め戻し」では、作業員の安全確保に必要になるものとして、放射線防護の観点から放射線を遮へいすることが役割となる。「緩衝材膨潤中～膨潤後」では、処分場の長期的安全性を確保するために必要になるものとして、オーバーパックの腐食寿命に適する環境を維持すること、放射性核種の移行を抑制することおよび岩盤を保護することが役割となる。また、これらの役割に対して、それぞれの時間軸においてどのような観点からの技術的な確認が必要になるのかを基準のポイントとして示した。特に、「放射性核種の移行を抑制する」の役割に対しては、緩衝材に対する力学的、水理的および化学的な観点からそれぞれに関する基準のポイントが設定される。

緩衝材に対する処分場における時間軸の段階とこの段階に対応する性能保証項目として抽出した結果を表 3.1-6 に示す。

表 3.1-5　オーバーパックに係わる性能保証項目

処分場における時間軸	何を性能保証するか（性能保証項目） 役割	基準のポイント
操業中～埋め戻し	ガラス固化体を内包し外部から隔離する（埋設前）	内空寸法は固化体キャニスタに適切なものであること（過大・過小でない・封入作業に影響を与えない・搬送時固化体に機械的損傷を与えない等）
		気密性を有し，それを確認すること
		運搬時，埋設時，事故時，気密性を損なわれないよう，運搬時の荷重に対して十分な強度を有すること
	放射線管理のため，ガラス固化体の放射線を遮蔽する	オーバーパックと操業設備を組み合わせて適切な遮蔽をすること（オーバーパック単独で遮蔽すると厚さが必要以上に厚くなる）
埋め戻し後	ガラス固化体を内包し外部から隔離する	埋設後（緩衝材膨潤前），水密性を損なわれないよう埋設後の荷重に対してオーバーパック寿命期間中の腐食量を考慮した上で十分な耐圧性を有すること
		地震時，水密性を損なわれないよう埋設後の荷重に対して十分な強度を有すること(*)
		腐食に対して所定の期間，水密性を維持するため，地下環境条件において必要な腐食寿命を有すること
	放射線遮蔽（地下水の放射線分解等の防止）	放射線による影響（地下水の放射線分解により発生する酸化性化学種のオーバーパックの腐食への影響等）を与えないよう，適切な遮蔽を考慮すること
オーバーパック破損後	ガラス固化体周りに放射性物質が溶けにくい環境を作る	ガラス固化体周りに還元性環境を作ること

(*)：整理表では別表とした項目

表 3.1-6　緩衝材に係わる性能保証項目

<table>
<tr><th rowspan="2">処分場における時間軸</th><th colspan="4">何を性能保証するか（性能保証項目）</th></tr>
<tr><th>役割</th><th colspan="3">基準のポイント</th></tr>
<tr><td rowspan="2">廃棄体定置時～埋め戻し</td><td colspan="4">廃棄体を内包する(*)</td></tr>
<tr><td>廃棄体を支持する</td><td colspan="3">廃棄体からの荷重に対して有意な影響を受けないこと(*)</td></tr>
<tr><td>埋め戻し</td><td>廃棄体からの放射線を遮蔽する</td><td colspan="3">廃棄体からの放射線に配慮されていること</td></tr>
<tr><td rowspan="19">緩衝材膨潤中～膨潤後</td><td rowspan="2">ｵｰﾊﾞｰﾊﾟｯｸが所定の寿命を達成できる環境を維持する</td><td colspan="3">顕著な不均一腐食を生じない環境を維持するとともに還元性環境を維持すること</td></tr>
<tr><td colspan="3">微生物などによる顕著な腐食速度の増加が生じない環境を維持すること</td></tr>
<tr><td rowspan="16">放射性核種の移行を抑制する</td><td rowspan="9">水みちが形成されず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと</td><td colspan="2">廃棄体を支持するとともに緩衝材の顕著な厚みの減少を防止すること</td></tr>
<tr><td colspan="2">地震で有意な影響を受けないこと(*)</td></tr>
<tr><td colspan="2">十分な膨潤能力（応力、ひずみ）を有すること</td></tr>
<tr><td colspan="2">膨潤能力、力学特性が劣化しないこと、あるいは劣化評価が可能なこと</td></tr>
<tr><td colspan="2">施工時のすき間を吸収すること</td></tr>
<tr><td colspan="2">腐食膨張によるせん断応力で有意な影響を受けないこと</td></tr>
<tr><td colspan="2">緩衝材が破壊しない十分な変形能を有すること(*)</td></tr>
<tr><td colspan="2">ガス発生により有意な影響を受けないこと</td></tr>
<tr><td colspan="2">岩盤クリープで有意な影響を受けないこと</td></tr>
<tr><td rowspan="2">地下水の移動を抑制すること</td><td rowspan="2">低透水性であること</td><td>緩衝材の密度を十分な範囲に維持すること</td></tr>
<tr><td>特性が著しく劣化しないことあるいは劣化評価が可能なこと</td></tr>
<tr><td rowspan="2">地下水化学の変動を緩和すること</td><td colspan="2">化学的緩衝性を有すること</td></tr>
<tr><td colspan="2">特性が著しく劣化しないことあるいは劣化評価が可能なこと</td></tr>
<tr><td colspan="3">核種のコロイドをろ過すること</td></tr>
<tr><td rowspan="2">溶解した核種の移行を遅延すること</td><td colspan="2">収着性を有すること</td></tr>
<tr><td colspan="2">特性が著しく劣化しないこと、あるいは劣化評価が可能なこと</td></tr>
<tr><td>岩盤を保護する</td><td colspan="3">岩盤が破壊して水みちが形成されないこと</td></tr>
</table>

(*)：整理表では別表とした項目

3.2 性能保証項目に対する評価方法・評価に用いるデータベース等及び課題の整理

前項 3.1 で示した性能保証項目が、具体的にどのように保証されるかを整理した。具体的に示される内容は、例えば構成要素に対する設計段階における性能保証するための評価方法や評価に用いるデータベース、建設・施工における品質管理内容、モニタリングによる測定項目・方法等になるものと考えられる。実際には、性能保証項目について、設計、製作・建設・施工、モニタリング等における評価・管理だけでは、長期にわたる性能保証を評価することができないことも十分考えられる。これらについては、処分場としての長期的安全性を確保するために、安全評価を実施することになる。表 3.2-1 に、処分場における時間の経過を縦軸、設計・建設等の工程の流れを横軸として、具体的な保証方法等に関する整理表の概念を示す。本資料では、表 3.2-1 の太枠で示した設計段階における検討を実施した。

この整理表の検討では、表 3.1-1、表 3.1-2 で示した性能保証項目に対してどのような評価方法、データベースが必要となるかを可能なかぎり理想に近い評価内容として具体的に示した。ただし、設計段階において具体的な評価内容が出てこないもの、例えばオーバーパックの内空寸法等は実際の現地において寸法計測等を行えば済むような製作・施工時の品質管理的なものについては、他のものと別に示した。また、地層処分技術に関する研究における取り組みが明確ではないもの、例えばオーバーパック、緩衝材の両方の性能保証項目に出てくる耐震性能に関するものについても別に示した。

また、性能保証項目に対して理想的かつ具体的な評価内容が示されることから、その評価内容と現在までに取り組みが行われている評価内容や現在までの評価の考え方を比較することにより、その差が現状における課題と考えられる。現在までの取り組みとして「第 2 次取りまとめ」において示された評価内容として、今回示した評価内容との比較を行い、第 2 次取りまとめ以降における課題として抽出した。

表 3.2-1 処分場の長期安全性確保のための整理表の概念

工程、手順の流れ →

処分場における時間軸 ↓

<table>
<tr><td>構成要素</td><td colspan="7">ガラス固化体、オーバーパック、緩衝材、埋め戻し材、プラグ、支保工、
アクセス・連絡・主要・処分の各坑道</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>設計</td><td>製作</td><td>建設・施工</td><td>モニタリング</td><td></td><td>安全評価</td></tr>
<tr><td>Pre
-closure

・操業
・埋戻し</td><td rowspan="2">何を性能保証するか（性能保証項目）</td><td rowspan="2">設計の要件
↓
どう保証するのか
↓
<具体的な>
・担保方法、手法
↓
・現状での対応
・課題
↓
[個別研究項目]</td><td rowspan="2">何を品質管理するのか
↓
・品質管理対象
・管理（計測）項目
・管理（計測）方法、検査方法　等
↓
[個別研究項目]</td><td rowspan="2">何を施工管理するのか
↓
・施工管理対象
・管理（計測）項目
・管理（計測）方法、検査方法　等
↓
[個別研究項目]</td><td rowspan="2">何をﾓﾆﾀﾘﾝｸﾞするのか
↓
・測定対象
・測定項目
・測定方法　等
↓
[個別研究項目]</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2">左の欄に対して
1)性能保証できる項目
↓
条件設定

2)性能保証できない項目
↓
評価項目</td></tr>
<tr><td>Post
-closure

・埋戻し後
・緩衝材不飽和
・緩衝材飽和
・核種移行</td></tr>
</table>

(1) オーバーパックにおける整理

オーバーパックについて行った具体的な評価方法や用いるデータベースの抽出結果、およびこれらの評価内容に関する第 2 次取りまとめとの比較により課題を抽出した結果を整理したものを表 3.2-2～3 に示す。

操業中～埋め戻しでは、オーバーパックの封入や地上・地下施設における運搬・埋設等に係わる性能保証項目となり、オーバーパックの気密性の確保、運搬・埋設・事故時に対する強度評価、搬送・定置の技術や作業者への放射線防護の観点からの遮へいの確保等について、設計要件や具体的な評価内容を示した。気密性の確保や搬送・定置技術については、ハードに係わる開発・実証試験や気密性の確保等のための安全規制の観点からの基準値の設定を第 2 次取りまとめ以降における課題とした。また、強度評価については、第 2 次取りまとめにおいて検討がされていないため、評価内容と同様の内容を課題とした。

埋め戻し後では、オーバーパックが地下環境にあることから地下水の存在や地下における荷重に係わる項目となり、荷重に対する強度評価や腐食に関するものを設計の要件や具体的な評価内容とした。これらについては、第 2 次取りまとめにおいても評価が実施されているが、腐食に関するものについては評価の信頼性向上のためのデータの拡充や評価手法の高度化等が課題となる。

オーバーパック破損後では、処分環境に係わる項目となり、オーバーパック材料に係わるものを評価内容とした。

(2) 緩衝材における整理

オーバーパックと同様に、緩衝材について行った具体的な評価方法や用いるデータベースの抽出結果、およびこれらの評価内容に関する第 2 次取りまとめとの比較により課題を抽出した結果を整理したものを表 3.2-4～7 に示す。

廃棄体定置時～埋め戻しおよび埋め戻しでは、廃棄体の自重および放射線に係わる項目となり、自重の影響や放射線の遮へいに関する解析評価を評価内容とした。

緩衝材膨潤中～膨潤後では、オーバーパック寿命に係わる項目および放射性核種の移行抑制に係わる項目となり、物理的・化学的な性能の両者の観点から多数の保証項目がある。これらの項目に関して、長期的な健全性の観点より緩衝材自身の劣化・変質、岩盤・支保工の物理・化学的影響やオーバーパックの腐食による力学および発生ガスの影響などを含め、設計の要件や評価内容とした。ここで、基準のポイントにある「十分な膨潤能力（応力、ひずみ）を有すること」については、実際にどの位の膨潤能力が必要とされそれを定量化可能かどうかが明確でないことから（第 2 次取りまとめの検討において定量的な能力は示されていない）、海外における考え方を調査した。特に、海水系地下水が存在する環境において、緩衝材の仕様に対してどのような考慮がなされているかの整理を試みた。調査の結果をまとめると、塩濃度の影響として緩衝材の密度を考慮する必要があるとし、影響が少ないと考えられる緩衝材の乾燥密度や塩濃度に対する乾燥密度値の設定を行っている。海外における考え方の調査結果は、添付資料に示した。

(3) その他の整理

オーバーパックおよび緩衝材の性能保証項目の内、品質管理的なものや地震の影響に関

するものについては、前述のオーバーパックおよび緩衝材での整理表とは別として表 3.2-8 にまとめて示した。

表 3.2-2　オーバーパックの設計要件と課題の整理表（1/2）

時期	何を性能保証するか（基準の内容）		どう保証するのか（方法，解説）		現状（B）	今後の課題（C－A・B）
	役割	基準のポイント	設計の要件	評価内容 （評価方法，データベース）(A)	第2次取りまとめでの 取り扱い	
操業中～埋め戻し	ガラス固化体を内包し外部から隔離する（埋設前）	内空寸法は固化体キャニスタに適切なものであること （過大・過小でない・封入作業に影響を与えない・搬送時固化体に機械的損傷を与えない等）	ガラス固化体の大きさに合せた空間を設け，ガラス固化体を挿入した後，蓋をする構造とすること	オーバーパック封入試験（ガラス固化体の挿入，蓋部封入）および搬送・定置実験により確認する	内空寸法は固化体外径に片側5mm、蓋側に6mmのギャップを考慮して設定した	オーバーパック封入試験および搬送・定置実験により設定したギャップが適切かどうかを確認する。
		気密性を有し，それを確認すること	胴部と蓋部に気密性を実現できる構造とすること	オーバーパック封入後，非破壊検査の実施（超音波探傷/磁粉探傷/浸透探傷ほか）により，欠陥の有無を確認する	既存の遠隔溶接技術によりオーバーパックの封入は可能とした	・既存の遠隔溶接技術でも問題なく封入できることを非破壊試験等で確認する。 ・非破壊検査手法および溶接部の許容欠陥等に関する評価基準を設定する（許容欠陥の定量化）。
				オーバーパック封入後，気密試験またはこれに相当する試験の実施により，欠陥の有無を確認する	漏えい試験，またはこれに相当する試験により確認するものとした	漏えい試験手法および評価基準を設定する。
		運搬時，埋設時，事故時，気密性を損なわれないよう，運搬時の荷重に対して十分な強度を有すること	運搬時，埋設時，事故時の荷重を設定して，これに対する強度評価を実施すること	強度試験を実施して荷重に対し十分な強度を有することを確認する	運搬時の荷重による強度評価は実施せず	処分場設計までに強度試験を実施し，運搬時にかかる荷重に対し十分な強度を有することを確認する。
	放射線管理のため，ガラス固化体の放射線を遮蔽する	オーバーパックと操業設備を組み合わせて適切な遮蔽をすること （オーバーパック単独で遮蔽すると厚さが必要以上に厚くなる）	オーバーパックと操業設備を組み合わせた状態で要求を満たす遮蔽を確保すること	オーバーパックと操業設備を組み合わせた状態での遮蔽能力を確認する。	搬送機器・操業設備に遮蔽を考慮した概念検討を実施した	処分場設計までに搬送機器・諸設備の機能や要件を明らかにし，その遮蔽能力を決定する。

表 3.2-3 オーバーパックの設計要件と課題の整理表（2/2）

時期	何を性能保証するか（基準の内容）		どう保証するのか（方法，解説）		現状（B）	今後の課題（C＝A－B）
	役割	基準のポイント	設計の要件	評価内容 （評価方法,データベース）(A)	第2次取りまとめでの取り扱い	
埋め戻し後	ガラス固化体を内包し外部から隔離する	埋設後（緩衝材膨潤前），水密性を損なわれないよう埋設後の荷重に対してオーバーパック寿命期間中の腐食量を考慮した上で十分な耐圧性を有すること	埋設後の荷重を設定して，これに対する強度評価を実施すること	定まった基準により設定された荷重により評価するとともに，強度試験を実施して荷重に対し十分な強度を有することを確認する	緩衝材膨潤前の荷重による強度評価は実施せず	処分場設計までに強度試験を実施し，埋設後にかかる荷重に対し十分な強度を有することを確認する。
埋め戻し後	ガラス固化体を内包し外部から隔離する	腐食に対して所定の期間，水密性を維持するため，地下環境条件において必要な腐食寿命を有すること	炭素鋼：処分環境条件に対する腐食代を設定すること。想定される応力，環境条件に対して，炭素鋼が応力腐食割れを生じないこと。	・浸漬試験，電気化学試験，応力腐食割れ試験などの腐食試験を実施し，1000年間の腐食量，応力腐食割れ感受性を評価する。 ・ナチュラルアナログ研究による確証を行う	・日本における地下水条件を想定した室内実験データに基づいて腐食の不均一化を考慮して1000年間の腐食量を見積もり，腐食代を設定した。 ・応力腐食割れ生起可能性評価を実験データ，ラインパイプ用鋼などの検討例等に基づいて評価した	・材質（溶接を含む）による腐食速度，応力腐食割れ感受性への影響を確認する。 ・軟岩系岩盤での処分を想定してコンクリート支保工による腐食形態，腐食局在化等への影響（地下水の高pH化による影響）を確認する。 ・処分後初期の酸化性環境での耐食性を確認するため実地下環境での実証試験を行う。 ・長期試験，ナチュラルアナログ研究により寿命評価の妥当性を確認する。
埋め戻し後	ガラス固化体を内包し外部から隔離する	腐食に対して所定の期間，水密性を維持するため，地下環境条件において必要な腐食寿命を有すること	銅（*）：処分環境条件に対する腐食代を設定すること。想定される応力，環境条件に対して応力腐食割れが生じないこと	・浸漬試験，電気化学試験，応力腐食割れ試験などの腐食試験を実施し，1000年間の腐食量，応力腐食割れ感受性を評価する。 ・ナチュラルアナログ研究による確証を行う	主に文献データと物質収支，物質移行に関する計算に基づき，1000年間の腐食量を見積もり，腐食代を設定した	局部腐食・応力腐食割れの発生／進展挙動，還元性環境での腐食挙動（特に硫化物共存系）などに関する基礎実験データを取得し，実験データに基づく腐食寿命評価を行う。
埋め戻し後	ガラス固化体を内包し外部から隔離する	腐食に対して所定の期間，水密性を維持するため，地下環境条件において必要な腐食寿命を有すること	チタン：想定される処分環境条件に対して局部腐食，水素脆化が生じないこと	・すきま腐食再不動態化電位などの局部腐食生起臨界条件に関するデータを整備し，処分環境での局部腐食生起可能性を評価する。 ・水素発生速度，吸収率，水素濃度分布，水素脆化生起条件を把握し，水素脆化生起可能性を評価する	・純チタンおよびチタン合金について，すきま腐食生起臨界条件に関するデータを取りまとめた。 ・水素脆化の生起可能性については，チタン中の水素の拡散を仮定して評価した。 ・水素発生速度，水素脆化生起条件などのパラメータは主に文献データを用いた	・還元環境下での腐食速度（水素発生速度），水素吸収率などを想定される処分環境を模擬した条件での実験的評価とともにチタン中の長期の水素濃度，水素分布を予測する。 ・水素脆化生起条件についてもより詳細に検討する。 ・これらの結果に基づいて水素脆化生起可能性を評価する。
埋め戻し後	放射線遮蔽（地下水の放射線分解等の防止）	放射線による影響（地下水の放射線分解により発生する酸化性化学種のオーバーパックの腐食への影響等）を与えないよう，適切な遮蔽を考慮すること	地下水の放射線分解による腐食への影響がない遮蔽厚さを設定すること	設定された遮蔽厚さに対し，放射線分解生成物が腐食寿命に影響を与えないことを解析および実験で確認する	・炭素鋼については放射線分解生成物の供給量が不動態保持電流密度相当以下となるように遮蔽厚さを設定した。 ・チタン，銅については放射線による影響は考慮されていない	・炭素鋼と銅については線量率（遮蔽厚さ）と腐食速度の関係，線量率（遮蔽厚さ）と放射線分解生成物の生成量の関係を評価する。 ・チタンについては放射線によりもたらされる現象（例えば不動態皮膜の変質，放射線分解による水素の発生／吸収など）を抽出し，各現象の影響の程度が線量率（遮蔽厚さ）によりどのように変化するのかを評価する。
オーバーパック破損後	ガラス固化体周りに放射性物質が溶けにくい環境を作る	ガラス固化体周りに還元性環境を作ること	腐食後還元性を維持できる材料を選定すること	材料による還元作用を評価する	腐食生成物により緩衝材中は還元条件が維持されると仮定した	オーバーパックの腐食生成物による還元作用を評価する。

*銅は硫化物が共存する場合をのぞき，酸素が消費された後は熱力学的に安定である。よって，環境条件（硫化物濃度）によっては極めて長い寿命を期待できる可能性がある。

表 3.2-4　緩衝材の設計要件と課題の整理表（1/4）

時期	何を性能保証するか（基準の内容） 役割	基準のポイント		どう保証するのか（方法、解説） 設計の要件	評価内容 (評価方法、データベース)（A）	現状（B） 第2次取りまとめでの取り扱い	今後の課題（C＝A－B）
廃棄体定置時～埋め戻し	廃棄体を支持する	廃棄体からの荷重に対して有意な影響を受けないこと		廃棄体の自重に対してせん断破壊しないこと	乾燥状態から飽和状態までの過程において、廃棄体の自重によるせん断応力によるき裂の発生等の現象を、弾性（弾塑性）解析により把握する。	不飽和状態における廃棄体自重に対する評価は行っていない。	・不飽和状態での緩衝材の力学特性の把握のために、力学特性（破壊強度）データを拡充する。 ・現象把握のための弾性解析、必要に応じて弾塑性解析を実施する。
埋め戻し	廃棄体からの放射線を遮蔽する	廃棄体からの放射線に配慮されていること		遮蔽を考慮した埋め戻し材厚さを設定すること	緩衝材、埋め戻し材（処分孔）の仕様に基づき、信頼性の高い計算コードにより遮蔽計算を行い、埋め戻し工程において放射線の影響が無いことを確認する。	埋め戻し材上部表面における線量当量率を１次元輸送計算コードANISNを用いて計算し、処分坑道内を非管理区域とする線量当量率以下となるような埋め戻し材の厚さを設定した。	・計算に用いるための緩衝材、埋め戻し材材料の放射線減衰係数を把握する。 ・実際の環境に基づいた遮蔽計算を実施する。
緩衝材膨潤中～膨潤後	オーバーパックが所定の寿命を達成できる環境を維持する	顕著な不均一腐食を生じない環境を維持するとともに還元性環境を維持すること		緩衝材仕様設定において腐食に係る環境の維持に配慮した緩衝材組成、密度、厚さとすること	地下水化学条件および緩衝材仕様に応じた緩衝材間隙水化学を評価する。	ボックス平衡反応モデルにより間隙水化学を評価した。	・物質移行・地球化学連成により間隙水化学を評価し、ナチュラル・アナログの活用を実施する。 ・セメントの影響を評価する。
				均一な緩衝材を製作し、施工時のすき間の影響が生じないように処置すること	・緩衝材のすき間の存在がOPの腐食挙動に与える影響を実験により確認する。 ・定置試験により、設定されたすき間寸法で緩衝材ブロックを施工可能であることを確認する。	・すき間は緩衝材の膨潤により閉塞すると仮定し、評価していない。 ・緩衝材のすき間を操業の観点から設定（外側4cm、内側2cm）した。	・緩衝材（隙間）-OPの複合挙動の把握のため、施工時のすき間を模擬した複合試験（小型（要素）、大型、原位置）を実施する。 ・設定されたすき間寸法に対して、定置装置の機構・精度の検討による実現可能性を検討する。 ・実環境または模擬環境における定置装置を用いた試験を実施する。
		微生物などによる顕著な腐食速度の増加が生じない環境を維持すること		緩衝材仕様設定において腐食に係る環境の維持に配慮した緩衝材組成、密度、厚さとすること	微生物のろ過効果や活性を実験等により確認する。	・金コロイド（15nm）や微生物のろ過を確認した。 ・圧縮ベントナイト中では微生物は活性を維持できないことを実験により確認した。	・緩衝材仕様と微生物のろ過効果や活性との詳細な関係を把握する。
	放射性核種の移行を抑制する	水みちが形成されず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと	廃棄体を支持するとともに緩衝材の顕著な厚みの減少を防止すること	廃棄体の自重で過大に沈下しないこと	信頼性の高いクリープモデルを用いて長期の挙動を評価する。	実験結果を基に関口・太田モデルを用いて概略的に評価しているが、現象の定量的把握ならびにモデルの妥当性を示すには至っていない。	・非排水せん断クリープ破壊又は非排水せん断クリープ変位速度増大に着目したクリープ荷重載荷試験等を通じて現象を把握する。 ・実験結果との比較検討によりモデルの妥当性を示し、クリープモデルを構築する。 ・構築されたモデルを検証するために腐食膨張模擬試験を実施する。
			十分な膨潤能力（応力、ひずみ）を有すること(*)	緩衝材仕様設定において膨潤能力に配慮した緩衝材組成、密度、厚さとすること	各種条件下における膨潤能力を、標準化された実験手法に基づいて定量化し、確認する。	降水系地下水、室温条件下（一部高温）での特性を定量化しているが、海水系や温度条件を考慮したデータが不十分である。	・塩濃度、密度、温度、ケイ砂混合率、スケール効果などを考慮したデータを取得するとともに、各パラメータとの相関関係を一般化する。 ・膨潤特性試験手法の標準化に関する基盤情報を整備する。

*緩衝材の十分な膨潤能力については、添付資料有り

表 3.2-5　緩衝材の設計要件と課題の整理表（2/4）

時期	何を性能保証するか（基準の内容） 役割	基準のポイント		どう保証するのか（方法、解説） 設計の要件	評価内容 (評価方法、データベース)(A)	現状(B) 第2次取りまとめでの取り扱い	今後の課題（C＝A－B）
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	水みちが形成されず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと	膨潤能力、力学特性が劣化しないこと、あるいは劣化評価が可能なこと	環境による特性劣化評価が可能であり、顕著な劣化が見込まれる場合には、劣化を考慮した材料の仕様設定が行えること	環境条件（地下水化学、温度等）や支保工（セメント）による材料の変化とそれに伴う膨潤能力、力学特性変化を、シナリオ、モデル、データを用いて評価する。	・シナリオに対する現状の知見を整理し、知見の不足している課題を抽出した。 ・定性的な議論により影響は少ないとしているが、より定量的な議論が必要である。 ・Ca型化についてはほぼ取得済み（TRU研究）。 ・セメント影響に関しては低アルカリセメントにより回避されるものと仮定した。	・鉄との反応に関するシナリオの明確化のために鉄-ベントナイト水熱試験を実施する。 ・コンクリート影響評価のためにスメクタイト溶解速度取得試験を実施する。 ・変質後材料の性能を定量化するために、二次鉱物の同定のための熱力学的考察、変質加速試験、ナチュラル・アナログを実施する。 ・時空間変化解析手法の確立のために連成コードを開発する。 ・各変質シナリオに対応した変質生成物の性能データ取得のために変質試料に対する膨潤試験、力学特性試験を実施する。
			施工時のすき間を吸収すること	緩衝材の仕様設定において、すき間をシールする膨潤能力を有するように設定すること	・緩衝材がその膨潤性能により施工時のすき間をシールすることを実験により確認する。 ・すき間の存在は核種移行挙動に影響を与えないことを実験により示す。 ・すき間充填（閉塞）の過程を大変形モデルにより評価する。	・緩衝材のすき間を操業の観点から設定（外側4cm、内側2cm）し、膨潤により閉塞すると仮定した。 ・透水試験（1.8、1.6ケイ砂）結果では、圧着したブロックの継ぎ目部はブロック部とほぼ同様の止水性能を持つ。	・すき間が充填されることを示すため、すき間、密度、試験水（蒸留水、人工海水）をパラメータとしたすき間膨潤試験を実施する。 ・これらを取りまとめた、すき間充填データベースを構築する。 ・すき間を埋める大変形モデルを開発する。 ・すき間充填部の止水性能のデータ拡充のため、透水試験を実施する。
				設定されたすき間寸法を満足した施工が可能であることを確認すること	実環境または模擬環境において定置装置を用いた試験により、設定されたすき間寸法で緩衝材ブロックを施工可能であることを確認する。	施工時の緩衝材ブロック間すき間については評価していない。	・設定されたすき間寸法に対して、定置装置の機構・精度の検討による実現可能性を検討する。 ・実環境または模擬環境における定置装置を用いた試験を実施する。
			腐食膨張によるせん断応力で有意な影響を受けないこと	腐食膨張によるせん断破壊を生じない厚さであり、かつ緩衝材厚さが一定以上減少しないこと	腐食膨張率ならびに腐食生成物の物性を定量化するとともに、信頼性の高いクリープモデルを用いて評価する。	・腐食膨張率等は、文献並びに仮定値に基づき保守的に設定するとともに、クリープ試験結果を基に、関口-太田モデルを用いて概略的に評価した。 ・現象の把握ならびにモデルの妥当性等を示すには至っていない。	・腐食加速試験により腐食膨張率を設定し、腐食生成物の物性値を取得する。 ・非排水せん断クリープ破壊又は非排水せん断クリープ変位速度増大に着目したクリープ荷重載荷試験などを通じて現象把握する。 ・実験結果との比較検討によりモデルの妥当性を示し、クリープモデルを構築する。 ・構築されたモデルを検証するために腐食膨張模擬試験を実施する。
			ガス発生により有意な影響を受けないこと	緩衝材の仕様設定においてガス発生の影響を定量的に評価すること	ガス発生によるニアフィールドの水理学的および力学的影響を実験および信頼性の高いガス移行モデルにより定量的に評価する。	・緩衝材を対象とした実験により現象を大まかに把握したが、データ数が少なく、データ自体のバラツキが存在している。 ・岩盤に関するデータは未取得。 ・既存の二相流モデルによりガス発生の影響を概略的に評価した。	・緩衝材および岩盤を対象として、温度、背圧、密度、ケイ砂混合率などをパラメータとしたガス移行試験によりデータを拡充する。 ・緩衝材および岩盤ならびにこれらを複合した系でのガス移行モデルを構築する。
			岩盤クリープで有意な影響を受けないこと	支保工強度喪失後の岩盤クリープによる圧縮およびせん断破壊を評価すること	緩衝材及び岩盤のクリープを含む力学挙動を信頼性の高いクリープモデルの組み合わせにより総合的に解析評価する。	最初から支保工がないものとして岩盤のみのクリープ挙動を非線形Maxwellモデル（大久保モデル）により解析評価した（1万年で30mmの変位）。	ニアフィールドの長期力学挙動を総合的に評価できるモデルを構築する。あるいは解析方法・手順の構築と室内実験や地下研等によりデータを拡充する。(*)

*支保工の劣化に伴う力学的影響は別途検討が必要

表 3.2-6 緩衝材の設計要件と課題の整理表（3/4）

時期	何を性能保証するか（基準の内容）：役割	基準のポイント			どう保証するのか（方法、解説）：設計の要件	評価内容（評価方法、データベース）(A)	現状(B)：第2次取りまとめでの取り扱い	今後の課題（C＝A-B）
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	地下水の移動を抑制すること	低透水性であること	緩衝材の密度を十分な範囲に維持すること	緩衝材の仕様設定においては、緩衝材の処分孔外への流出量（はらみ出し、流出）、支保の劣化を考慮すること(*)	長期にわたる緩衝材のはらみ出し量、流出量、支保の劣化量を実験で確認するとともに、流出および支保工の劣化に関しては信頼性の高いモデルにより評価する。	・はらみだし量は等価線形モデルにより評価している。 ・流出量は降水系地下水条件下における実験データを基に、拡散モデルでモデル化した。 ・支保工の劣化は評価していない。	・埋め戻し材との相互作用を考慮した、室内および原位置試験を実施する。 ・はらみ出し、流出を評価するために、地下水条件、亀裂幅、密度、ケイ砂混合率をパラメータとした室内試験等によりデータの拡充および粘性係数、密度分布等のデータ取得を実施する。 ・長期の緩衝材はらみだし量、流出量、支保工の劣化量を評価するために、基本モデルを構築する
				透水性が著しく劣化しないことあるいは劣化評価が可能なこと	透水係数が満足できる緩衝材仕様を設定すること	緩衝材の透水特性を実験的に定量化する。	・降水系地下水条件下でのデータを基に関係式を一般化した。 ・海水系や温度条件を考慮したデータは不十分である。	・塩濃度、密度、温度、ケイ砂混合率などを考慮したデータを取得するとともに、各パラメータとの相関関係を一般化する。
					環境による透水性の劣化をあらかじめ余裕代に組み込むこと	環境条件（地下水化学、温度等）や支保工（セメント）による材料の変化とそれに伴う水理特性の変化を、シナリオ、モデル、データを用いて評価する。	・シナリオに対する現状の知見を整理し、知見の不足している課題を抽出した。 ・定性的な議論により影響は少ないとしているが、より定量的な議論が必要である。 ・Ca型化についてはほぼ取得済み。（TRU研究）	・鉄との反応に関するシナリオの明確化のために鉄-ベントナイト水熱試験を実施する。 ・セメント影響評価のためにスメクタイト溶解速度取得試験を実施する。 ・変質後材料の性能を定量化するために、二次鉱物の同定のための熱力学的考察、変質加速試験、ナチュラル・アナログを実施する。 ・時空間変化解析手法の確立のために連成コードを開発する。 ・各変質シナリオに対応した変質生成物の性能データ取得のために変質試料に対する水理特性試験を実施する。
		地下水化学の変動を緩和すること	化学的緩衝性を有すること		緩衝材中の間隙水化学の変化を評価すること	緩衝材中の地下水化学の変化を、シナリオ、モデル、データを用いて評価する。	ボックス平衡反応モデルにより間隙水化学を評価した。	・物質移行-地球化学連成により間隙水化学を評価し、ナチュラル・アナログの活用を実施する。 ・セメントの影響を評価する。
			特性が著しく劣化しないことあるいは劣化評価が可能なこと		緩衝材の化学的な変化による間隙水化学の変化を評価すること	緩衝材の化学的変化による間隙水化学の変化を、シナリオ、モデル、データを用いて評価する。	・シナリオに対する現状の知見を整理し、知見の不足している課題を抽出する。 ・定性的な議論により影響は少ないとしているが、より定量的な議論が必要である。 ・Ca型化についてはほぼ取得済み。（TRU研究）	・鉄との反応に関するシナリオの明確化のために鉄-ベントナイト水熱試験を実施する。 ・セメント影響評価のためにスメクタイト溶解速度取得試験を実施する。 ・変質後材料の性能を定量化するために、二次鉱物の同定のための熱力学的考察、変質加速試験、ナチュラル・アナログを実施する。 ・時空間変化解析手法の確立のために連成コードを開発する。 ・変質試料に対する地球化学データベースを整備する。

*ここで考える支保の劣化とは、緩衝材の密度減少に関連する支保工の体積変化に係わる事項

表 3.2-7　緩衝材の設計要件と課題の整理表（4/4）

時期	何を性能保証するか（基準の内容）：役割	基準のポイント		どう保証するのか（方法、解説）：設計の要件	評価内容（評価方法、データベ-ス）(A)	現状(B)：第2次取りまとめでの取り扱い	今後の課題（C＝A−B）
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	核種のコロイドをろ過すること		緩衝材の仕様設定において、有効粘土密度をコロイドろ過に十分なものとすること	コロイドのろ過を実験的に確認する。	金コロイド（15nm）や微生物のろ過を確認した。	・緩衝材仕様とコロイドのろ過効果との詳細な関係を把握する。
				緩衝材の化学的変化がコロイドのろ過性能に影響を与えないこと	変質した緩衝材を用いてコロイドのろ過を実験的に確認する。	コロイドろ過性能に対する緩衝材の変質の影響は検討していない。	・緩衝材の変質とコロイドのろ過効果との詳細な関係を把握する。
		溶解した核種の移行を遅延すること	収着性を有すること	収着性能をもつ粘土鉱物を含有していること	緩衝材の核種の収着性能を、信頼性の高いデータベース(*)およびモデルにより評価する。	緩衝材に対応する収着分配係数データベ--スを開発した。	・信頼性の高い収着分配係数データを拡充する。 ・核種の収着メカニズム（イオン交換、表面錯体、共沈等）を解明し、基本定数を整備する。
			特性が著しく劣化しないこと、あるいは劣化評価が可能なこと	環境や支保工材料による特性劣化評価が可能なこと	・オ--バ--パック腐食生成物の影響（Fe型化、クロライト化等）を、モデルおよびデータベースにより評価する。 ・普通セメントの影響（CSH化、イライト化、ゼオライト化等）を、モデルおよびデータベースにより評価する。	・シナリオに対する現状の知見を整理し、知見の不足している課題を抽出した。 ・定性的な議論により影響は少ないとしているが、より定量的な議論が必要である。 ・Ca型化についてはほぼ取得済み。（TRU研究）	・鉄との反応に関するシナリオの明確化のために鉄-ベントナイト水熱試験を実施する。 ・セメント影響評価のためにスメクタイト溶解速度取得試験を実施する。 ・変質後材料の性能を定量化するために、二次鉱物の同定のための熱力学的考察、変質加速試験、ナチュラル・アナログを実施する。 ・時空間変化解析手法の確立のために連成コードを開発する。 ・各変質シナリオに対応した変質生成物の性能データ取得のために変質試料に対する核種収着、拡散試験を実施する。 ・変質試料に対する核種移行データベースを整備する。
	岩盤を保護する	岩盤が破壊して水みちが形成されないこと		ニアフィ--ルドの応力場を評価すること	・オ--バ--パックの腐食膨張を考慮した緩衝材反力によりEDZが広がる範囲、程度および岩盤が破壊しないことを定量化する。	・岩盤クリ--プを考慮した0/P腐食膨張解析（修正Cam-Clayモデル）を実施し、緩衝材内部の応力を評価した。 ・腐食生成物の物性として保守的な値を設定している。	・腐食生成物の物性デ--タ（膨張率、弾性係数等）取得のために腐食試験を実施する。 ・緩衝材反力を考慮した岩盤のEDZの広がりを定量化するために岩盤及び緩衝材クリ--プモデルを開発する。

＊標準化された手法を用いて得られたデ--タが望ましい

表 3.2-8　その他のオーバーパックと緩衝材の設計要件と課題の整理表

	時期	何を性能保証するか（基準の内容） 緩衝材の役割	基準のポイント（緩衝材）	どう保証するのか（方法、解説） 設計の要件	評価内容 (評価方法,データベース)(A)	現状(B) 第2次取りまとめでの取り扱い	今後の課題（C＝A－B）
オーバーパック	埋め戻し後	ガラス固化体を内包し外部から隔離する	地震時，水密性を損なわれないよう埋設後の荷重に対して十分な強度を有すること	地震時の荷重を設定して，これに対する強度評価を実施すること	強度試験を実施して荷重に対し十分な強度を有することを確認する	地震時荷重による強度評価は実施していない。	処分場設計までに強度試験を実施し，地震時にかかる荷重に対し十分な強度を有することを確認する。
緩衝材	廃棄体定置時～埋め戻し	廃棄体を内包すること		0/Pの大きさに合わせた空間を設けておき、0/Pを挿入、その後蓋をする施工ができること	緩衝材および0/Pを破損せず、確実に定置できることを実証する。	0/Pの外寸法に施工に必要なすき間を加えたものを、施工時の緩衝材の内寸法としている。	・0/Pおよび緩衝材の定置技術（精度、位置決め等）を考慮したすき間の設定のためのハンドリング試験を実施する。 ・すき間の設定と、緩衝材の自己シール特性との整合を確認する。
緩衝材	廃棄体定置時～埋め戻し	廃棄体を支持する	廃棄体からの自重に対して有意な影響を受けないこと	廃棄体の地震による荷重を評価できること	緩衝材不飽和状態における地震時挙動を評価する。	・不飽和緩衝材に関する検討は未実施である。	・地下深部における地震動を設定する。
緩衝材	緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	水みちが形成されず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと 地震で有意な影響を受けないこと	地震により自己シールできないすき間を生じないこと、また液状化によって廃棄体が沈下しないこと	動的な緩衝材の特性を基として地震の影響を定量的に評価する。	・地震応答解析コード／モデルを開発動的力学試験を基にR/Oモデルでモデル化し、解析を実施し	・モデルの妥当性を評価するために、室内試験および工学規模試験等で確認する。
緩衝材	緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	水みちが形成されず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと 緩衝材が破壊しない十分な変形能を有すること	緩衝材仕様設定において変形能に配慮した緩衝材組成、密度、厚さとすること	緩衝材のせん断応答挙動に関する限界維持性能を評価する。	・未検討である。	・人工バリアせん断応答挙動試験を通じてデータを取得する。 ・有限要素法による解析を行い、人工バリアの限界維持性能を定量的に評価する。

4. 安全基準・指針（案）の想定と性能保証項目との位置付けの整理

3.において、性能保証項目の抽出、性能保証項目に対する評価方法および今後の課題を抽出し、整理表としてまとめた。ここでは、抽出した性能保証項目が、今後国により策定される安全基準・指針に対しての位置付けを明確とするための検討を実施した。この作業により、性能保証項目に対する第 2 次取りまとめ以降における課題が抽出されていることから、これらの課題と安全基準・指針との位置付けが明確となる。これらの課題とサイクル機構で現在取り組んでいる研究開発とを対比させることにより、サイクル機構における取り組みが安全基準・指針の策定においてどのように反映されるのか、その位置付けが明確になるものと思われる。

しかしながら、安全基準・指針等については今後国により策定される予定であり、具体的にどのようなものとなるかは決まっていない。そのため、本検討を実施するために、現状の地層処分や放射性廃棄物等に関連する公開資料や報告書などを参考として、安全基準・指針等（案）の項目を想定した。この想定した安全基準・指針（案）に対して 3.で整理した性能保証項目等との位置付けを整理した。

4.1 安全基準・指針（案）の想定の考え方と想定における参考資料

「安全規制の基本的考え方」では、今後国が事業の進展に合わせて安全の確認を適切に行われるように、安全審査基本指針、安全審査指針および技術基準を策定していくことが示されている。安全審査基本指針とは、処分場の設計要件、安全評価に係る安全指標とその基準値、安全評価シナリオ等を定めるものであり、安全審査指針とは安全研究等によって得られる新しい知見を基本指針へ適宜取り入れて定めるものとしている。策定の時期としては、安全審査基本指針が実施主体による精密調査地区選定開始時期までに、安全審査指針が処分場の安全審査開始前までとされている。また、技術基準とは、処分場の建設段階から事業廃止までの各段階で国が確認すべき事項を定めた技術上の基準であるとしており、安全研究等によって得られる新しい知見を取りいれ適宜見直していくこととしている。策定の時期としては、実施主体による最終処分施設建設地選定がなされるまでとされている。

このように、安全規制に係わるものとしては、安全審査（基本）指針、技術基準があるが、本検討では、特に安全指針と技術基準を区別することはせず、安全基準・指針（案）として想定を試みることとする。

また、以下に示す公開資料・報告書等を安全基準・指針（案）想定のための参考資料とした。

- 「わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性」（核燃料サイクル開発機構、1999b）
- 「最終処分法」（官報、2000a）
- 「安全規制の基本的考え方」（原子力安全委員会、2000a）
- 「概要調査地区選定時に考慮すべき地質環境に関する基本的考え方」（土木学会、2001）
- 「高レベル放射性廃棄物処分の概要調査地区選定段階において考慮すべき環境要件について」（原子力安全委員会、2002）
- 「放射性廃棄物安全研究年次計画（平成 13 年度～平成 17 年度）」（原子力安全委員会、

2000b）

これらの資料について、以降に参考とする部分の記述内容の概要を示す。

(1)　第２次取りまとめにおける記述

第２次取りまとめにおいて，地層処分による安全確保の対策として、サイト選定，工学的対策，安全評価を挙げ、これら３つの対策に関連する研究成果が処分予定地の選定や国が行う安全基準・指針の策定へ反映するものとしてその関係が示されている。また、研究開発成果を技術的拠り所として示すために、どのような時期にどのような技術情報が必要となるかを事業化の展開との関係として示している。これらの関係を図 4.1-1、図 4.1-2 に示す（サイクル機構、1999）。

図 4.1-1 のように、処分予定地に資する技術的拠り所の「サイト選定の要件」、安全基準の策定に資する技術的拠り所の「人工バリアおよび処分施設の設計・施工要件」「地層処分システムの安全評価上の要件」の各要件が、地層処分の規制法に直接係わりがあるものと矢印で示されている。これらは、安全規制・基準の項目（案）の想定において考慮するものとする。

ここで、前述した地層処分の規制法に係わる要件を基として、安全規制・基準の項目を念頭に置き、要件を基準・指針に読み替えて表 4.1-1 のように整理した。

表 4.1-1　第２次取りまとめにおける要件の整理

処分地選定に係わるもの					安全基準に係わるもの										
サイト選定に係わる基準・指針（案）					人工バリアおよび処分施設の設計・施工に係わる基準・指針（案）			地層処分システムの安全評価に係わる基準・指針（案）							
地質環境の長期安定性に関する基準・指針（案）	処分場の建設可能性に関する基準・指針（案）	人間侵入に関する基準・指針（案）	人工バリアの設置環境として考慮すべき地質環境条件に関する基準・指針（案）	天然バリアとして重要な地質環境条件に関する基準・指針（案）	人工バリアおよび処分施設の設計と製作・施工技術の品質管理に関する基準・指針（案）	人工バリアの埋設後の健全性評価に関する基準・指針（案）	処分場の管理に関する基準・指針（案）	安全評価の前提条件に関する基準・指針（案）			安全評価方法に関する基準・指針（案）	安全評価シナリオに関する基準・指針（案）	地下水シナリオに対する多重バリアシステムの安全評価に関する基準・指針（案）	接近シナリオに関する基準・指針（案）	総合的な安全評価に関する基準・指針（案）
								防護目標	安全指標	時間スケール					

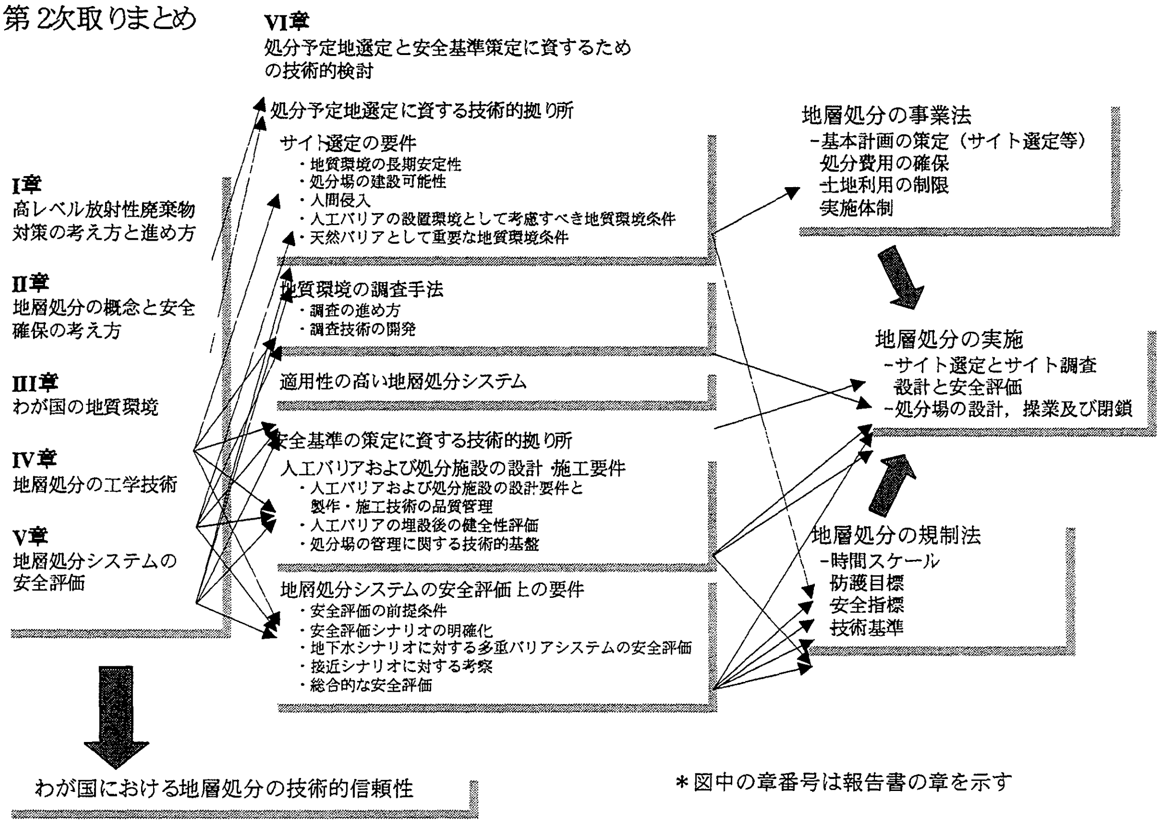

図 4.1-1　地層処分の事業化に向けた研究開発成果の反映（サイクル機構、1999）

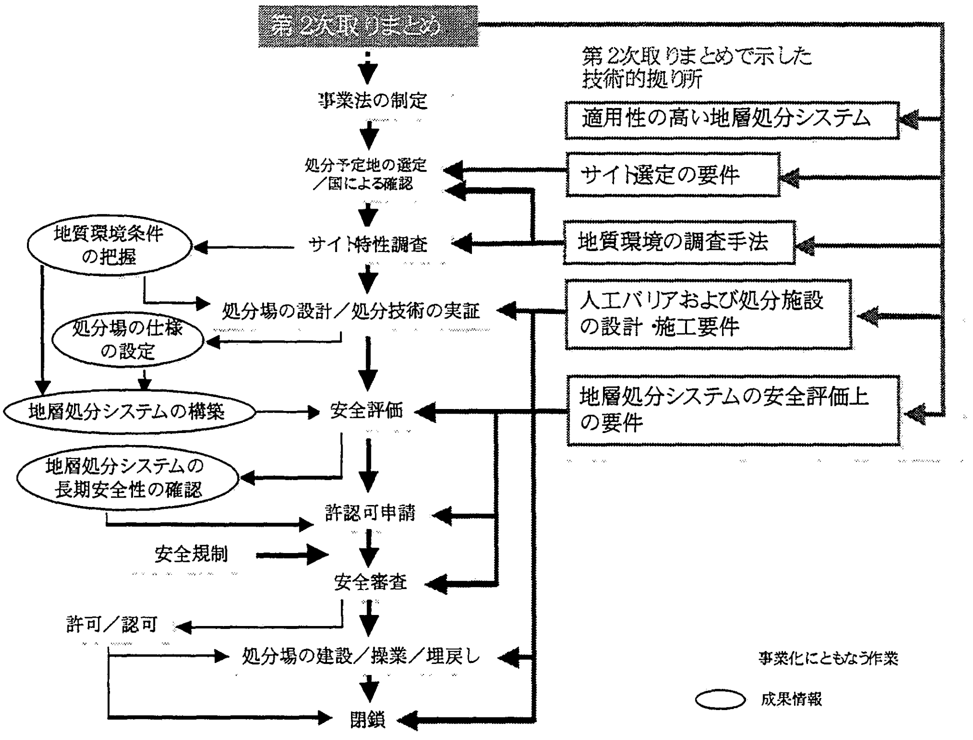

図 4.1-2　地層処分事業の展開と技術的拠り所（サイクル機構、1999）

(2)　「最終処分法」における記述

本法律では，詳細な安全規制に係わる記述はなく、別に法律で定められるものとしている。ただし、概要調査地区，精密調査地区，最終処分施設についての定義と選定に係る調査事項等が定められており、これらは何らかの形で規制に反映されるものと思われる。例えば概要調査地区の選定においては，過去に発生した地震等の自然現象に関する事項、活断層がある場合にはその概要に関する事項、その他国の省令で定めた事項について、文献調査を行うことを規定しており、これらの関連項目の根拠として安全規制等が策定されていくものと考えられる。

ここで、本法律の内容について、地区選定に係わる調査事項及び地区選定における確認事項を基として選定段階毎に表 4.1-2 のように整理した。

(3)　「安全規制の基本的考え方」における記述

本報告書では，処分候補地、処分予定地及び処分地の選定、並びに操業の開始という処分事業の段階的な進展に伴い、安全審査、安全設計等に係る具体的な安全基準・指針等を順次策定することが必要であるとし、具体的な安全基準・指針等に関する策定スケジュールについても図 1-1 のように示している。同報告書においては，安全確保のための対策（サイト選定、工学的対策）ならびに安全評価等による安全確認を講じることが必要であるとしている。ここで安全評価においては、適切なシナリオを仮定し、一般公衆が放射性物質から受けると想定される線量を評価し、定められた放射線防護レベルを超えることがないことを確認することが基本であるとしている。また、ここでは処分事業の展開スケジュールに応じて、各段階に対応した安全確保方策を講じることが必要であるとして、その基本的な安全確保の方策、基本的な考え方が示されている。

ここで、同報告書において記述されている立地段階、事業許可申請、建設・操業・閉鎖段階、管理段階～事業廃止の各段階に対しての基本的な安全確保の方策、基本的な考え方を基として、表 4.1-3 のように整理した。

(4)　「概要調査地区選定時に考慮すべき地質環境に関する基本的考え方」（土木学会、2001年）における記述

本取りまとめでは、処分地の選定を念頭に置き、概要調査地区選定に関する要件、あるいは設計・施工、性能評価上好ましい条件を、科学的・技術的根拠に基づき具体的な形で提示している。これらについて、地質環境に関するものとして安全基準・指針類の項目に関連するものと考える。

ここで、同取りまとめにおいて考慮すべき要件として記述されているものを表 4.1-4 のように整理した。

表 4.1-2　「最終処分法」における地区選定に係わる調査事項及び確認事項を基とした整理

最終処分施設建設地の選定	地区の選定	その他省令で定める事項
		対象地層内にある地下水又はその水流が地下施設の機能に障害を及ぼすおそれがないと見込まれること
		その他対象地層の化学的的性質が最終処分施設の設置に適しているると見込まれること
		地下施設が対象地層内において異常な腐食作用を受けるおそれがないと見込まれること
		その他対象地層の物理的性質が最終処分施設の設置に適していると見込まれること
		地下施設が対象地層内において異常な圧力を受けるおそれがないと見込まれること
	精密調査	その他省令で定める事項
		必要な測定及び試験を行う施設で政令で定めるものを設けることにより、地層の物理的及び化学的性質を調査
		対象地層内に地下水の水流があるときは、その詳細に関する事項
		対象地層内の水素イオン濃度その他の対象地層の化学的性質に関する事項
		対象地層を構成する岩石の強度その他の対象地層の物理的性質に関する事項
精密調査地区の選定	地区の選定	その他省令で定める事項
		当該対象地層内に活断層，破砕帯又は地下水の水流があるときは，これらが坑道その他の地下施設に悪影響を及ぼすおそれが少ないと見込まれること
		当該対象地層等が坑道の掘削に支障のないものであること
		当該対象地層等において、地震等の自然現象による地層の著しい変動が長期間生じていない
	概要調査	その他省令で定める事項
		ボーリングの実施その他政令で定める方法により、地下水の状況その他の事項を調査
		対象地層内に破砕帯又は地下水の水流があるときは、その概要に関する事項
		対象地層内に活断層があるときは、その詳細に関する事項
		対象地層を構成する岩石の種類及び性状に関する事項
		対象地層等における地震等の自然現象による対象地層等の変動に関する事項
概要調査地区の選定	地区の選定	その他省令で定める事項
		文献調査対象地区において、将来にわたって、地震等の自然現象による地層の著しい変動が生ずるおそれがないと見込まれること
		文献調査対象地区において、地震等の自然現象による地層の著しい変動の記録がないこと
	文献調査	その他省令で定める事項
		活断層があるときは、その概要に関する事項
		過去に発生した地震等の自然現象に関する事項

表 4.1-3 「安全規制の基本的考え方」における安全確保の方策及び基本的な考え方を基とした整理

立地段階	処分地に要求される環境要件	その他（自然環境・社会環境等）における安全確保の確認に関する事項
		鉱物資源の賦存に関する事項
		火山・火成活動に関する事項
		断層に関する事項
		隆起・侵食に関する事項
事業許可申請	評価シナリオ	接近シナリオによる評価に関する事項
		地下水移行シナリオによる評価に関する事項
	評価モデル及びパラメータ	地質環境に関する評価モデルの不確実性やパラメータの変動幅等を考慮した安全評価に関する事項
		地質環境等評価モデル・パラメータ設定に関する事項
		人工バリアの評価モデル・パラメータ設定に関する事項
	安全評価	評価モデルやパラメータに関する不確実性に配慮した指標に関する事項
		安全評価のための指標及び基準値に関する事項
建設段階	建設段階の安全確認	処分場を構成する施設，設備等の製作・施工の品質管理，品質保証に関する事項
		処分場を構成する施設，設備等の規格・基準に関する事項
		処分場を構成する施設，設備等の製作・施工の検査に関する事項
		処分場を構成する施設，設備等の製作・施工の安全設計の確認に関する事項
操業段階	操業段階の安全確認	ガラス固化体の受け入れ時点における保安措置及び安全確保の確認に関する事項
		オーバーパック封入時点における保安措置及び安全確保の確認に関する事項
		処分坑道への高レベル廃棄物の定置における保安措置及び安全確保の確認に関する事項
		処分坑道埋め戻し時の保安措置及び安全確保に関する事項
閉鎖段階	閉鎖段階の安全確認	地下施設の閉鎖，地上施設の解体・撤去措置等における保安措置及び安全確保の確認に関する事項
		回収の可能性の維持に関する事項
		処分場の閉鎖の際における安全評価に関する事項
管理段階～事業廃止	管理段階～事業廃止時の安全確認	事業廃止段階における保安措置及び安全確保の確認に関する事項
		管理段階における安全確保の確認に関する事項

表 4.1-4　土木学会取りまとめでの概要調査地区選定時における考慮すべき要件に関する整理

概要調査地区の選定		
	施工上の安全性の観点からの項目	大湧水の発生は、坑道の崩壊等により建設に影響を及ぼす可能性があるが、技術的に掘削が不可能ではないと考えられるので、概要調査地区選定に関する要件としない
		山はねは、坑道掘削に影響を及ぼす可能性があるが、掘削が不可能ではないと考えられるので、概要調査地区選定に関する要件としない
		ガス突出については、建設・操業時の安全性に影響を及ぼす可能性があるが、適切な対策を施すことにより安全性の確保が可能と考えられるので、概要調査地区選定に関する要件としない
		膨張性地山は、坑道掘削に影響を及ぼす可能性があるが技術的に掘削は不可能ではないと考えられるので、概要調査地区選定に関する要件としない
		泥火山が発生すると予想される地域については、施工及び性能評価の観点から、著しい影響を及ぼすと判断される場合は、対象から除外すること
	多重バリア性能の観点からの項目	著しく酸化的な環境と、著しく酸性もしくはアルカリ性の地下水や熱水が支配的に分布する地域のうち、処分システムに対して著しい影響を及ぼすと判断される箇所は、対象から除外すること
		高い透水性が予想される岩体、あるいは熱水対流の影響が大きいと考えられる地域のうち、処分システムに著しく影響を及ぼすと判断される場合には、対象から除外すること
		地質構造線等の大規模な破砕帯を伴う断層、第四紀火成岩は、明らかに透水性が著しく高いことが予想されるので、対象から除外すること
	処分場の建設可能性の観点からの項目	第四紀堆積層のうち未固結なもの以外であっても、明らかに施工が不可能であると判断できる岩体は、地下施設の設置対象から除外すること
		第四紀堆積層のうち、未固結なものは、地下施設の設置対象から除外すること
		地層処分に適した岩質を有するものの、岩体（単数あるいは複数合体した岩体）の規模が、処分パネル等の地下施設を収納し得ない形状・規模である岩体は、概要調査地区選定において除外すること
	人間侵入の観点からの項目	現在採掘あるいは開発の計画のある資源が分布する地域は、対象から除外すること
	地質環境の長期安定性の観点からの項目	概要調査地区選定にあたっては、気候変動・海水準変動が地層処分に及ぼす影響について考慮しない
		概要調査地区選定にあたっては、沈降が地層処分に及ぼす影響について考慮しない
		隆起、侵食については、概要調査地区選定に関する要件としない
		断層活動による周辺岩盤への力学的、水理学的影響を、活断層から両側2km程度の範囲を目安として検討し、著しい影響があると判断される場合には、影響の範囲を対象から除外すること
		断層活動による処分施設の直接的破壊を避けるためには、活断層を除外すること
		概要調査地区選定にあたっては、地震活動が地層処分に及ぼす影響について特に考慮する必要はない
		火成活動による周辺への熱・熱水の影響については、個々の第四紀火山の活動中心から20km程度の範囲を目安とし、著しい影響の及ぶ範囲を特定した上で、火山地域と影響範囲を併せた除外範囲を検討すること
		火成活動による処分施設の直接的破壊を避けるためには、火山地域を除外すること

(5)　「高レベル放射性廃棄物処分の概要調査地区選定段階において考慮すべき環境要件について」（原子力安全委員会、2002）における記述

本取りまとめでは、概要調査地区選定段階における考慮すべき環境要件の考え方が示され、この段階ではその後の調査によって詳細情報が得られることから、実際に概要調査するまでもなく処分地に適さないことが明らかな環境要件を示すことが適切であるとしている。そして、この考え方を基に、「安全規制の基本的考え方」、「最終処分法」を踏まえ、また、「第2次取りまとめ」等を参考に、隆起・沈降・侵食・地震・断層活動、火山・火成活動、鉱物資源の賦存、岩盤の特性などについて、「概要調査地区選定段階において考慮すべき環境要件」を検討している。これらは、前述(5)と同様に地質環境に関するものとして安全基準・指針類の項目に関連するものと考えられる。

ここで、同取りまとめにおいて示されている環境要件について表4.15のように整理した。

表4.1-5　概要調査地区選定段階において考慮すべき環境要件

概要調査地区選定段階において考慮すべき環境要件
想定される処分施設の深度において第四紀の未固結堆積層が広く分布することが、文献調査で明らかな地域
経済的に重要な鉱物資源の鉱床等の存在が、文献調査で明らかな地域
第四紀に活動したことのある火山の存在が、文献調査で明らかな地域
処分施設を合理的に配置することが困難となるような活断層の存在が、文献調査で明らかな地域
対象地域の隆起・侵食量からみて、処分場及びその周辺の地質環境に対し著しい変動をもたらすおそれがあることが、文献調査で明らかな地域

(6)　「放射性廃棄物安全研究年次計画（平成13年度～平成17年度）」（原子力安全委員会、2000b）における記述

原子力安全委員会安全規制専門部会が放射性廃棄物の処分に係る各種基準等の整備，安全評価における安全裕度の定量的把握等を目的として，今後国として実施すべき安全研究課題につき，長期視点に立ちその必要性，研究内容，実施機関等について審議し，そのうち平成13年度以降の5ヶ年計画を上記資料として報告している。本計画で実施すべきとされている安全研究課題は、安全基準・指針類の策定に資するものとして実施されている。したがって、これらの課題は、安全基準・指針類の項目と関連するものと考える。

ここで、本計画で示しされている課題及び実施内容を基とし、基準・指針における構成を念頭に置いて表4.1-6のように整理を試みた。

表 4.1-6 安全研究年次計画を基とした整理

処分場の設計要件	緩衝材長期健全性	緩衝材の地震動に関する安全評価に係わる項目
		緩衝材の長期品質保証に係わる項目
	オーバーパック長期健全性	オーバーパックの長期品質保証に係わる項目
	ガラス固化体長期健全性	ガラス固化体の長期品質保証に係わる項目
	処分場管理／モニタリング	処分場管理／モニタリング技術に係わる項目
		処分場管理／モニタリング項目に係わる項目
	処分場建設設計・施工	
	埋め戻し設計・施工	
	緩衝材の製作・施工	
	オーバーパックの製作	
	再冠水挙動予測手法技術	再冠水挙動にかかわる原位置試験に係わる項目
		再冠水挙動に関する現象モデルに係わる項目
	長期岩盤強度及び変形予測手法	
	ガス移行挙動評価技術	人工バリア中及び周辺岩盤中ガス移行原位置試験に係わる項目
		人工バリア中及び周辺岩盤中ガス移行挙動モデルに係わる項目
	オーバーパック長期健全性評価	オーバーパック原位置試験に係わる項目
		オーバーパック長期腐食モデルに係わる項目
	緩衝材長期健全性評価	緩衝材変質モデルに係わる項目
地層処分の安全評価手法	深部地下環境下における核種移行データ取得	岩石・人工バリア材料への収着データに係わる項目
		熱力学的基礎データに係わる項目
		溶解・拡散等のモデル技術に係わる項目
		核種移行に及ぼすコロイドの影響評価に係わる項目
		岩石基質中マトリクス拡散深さの評価に係わる項目
		ガラス近傍での溶解度制限固相の生成評価に係わる項目
		ガラスからの核種の浸出挙動に係わる項目
		熱力学的基礎データ取得手法に係わる項目
		拡散係数取得に係わる項目
		分配係数取得に係わる項目
		溶解度取得に係わる項目
	深部地下環境下における核種移行データ	熱力学的基礎データ
		拡散係数
		分配係数
		溶解度
	地下深部環境特性の評価技術	ニアフィールド間隙水の水質モデル技術に係わる項目
		深部地下水の水質形成モデル技術に係わる項目
	安全評価シナリオ技術	確率論的安全評価技術に係わる項目
		核種移行プロセスモデル不確実性評価技術に係わる項目
		水理地質構造モデル不確実性評価技術に係わる項目
		パラメータ不確実性評価技術に係わる項目
	生物圏評価モデル技術	
	天然バリア中核種移行モデルの技術	
	人工バリア中核種移行モデルの技術	
	安全評価シナリオの選定	
地質環境評価手法	地下深部環境特性の評価技術	断層活動およびその周辺の地質環境特性についての調査手法に係わる項目
		深部岩盤の初期応力測定に係わる項目
		地下施設建設影響評価技術に係わる項目
		地質環境モデル化技術に係わる項目
		調査／データ取得等に係わる項目
		地表からの調査技術に係わる項目
	地震・断層活動、隆起運動、火山活動などの天然現象の処分場への安全評価	火山活動に係わる安全評価項目
		隆起運動に係わる安全評価項目
		断層活動に係わる安全評価項目
		地震に係わる安全評価項目

4.2　安全基準・指針（案）の想定

関連する報告書及び公開資料について 4.1 で整理した項目に基づいて、安全規制に係わる安全基準・指針（案）の項目の想定を行った。整理した項目は、それぞれ異なる観点のもとに作成された資料を基としており，具体的な項目になり得るものと観点を変えた整理が必要な項目がある。したがって、次項において性能保証項目との関係の整理を検討することから、できるだけ具体的な項目として見ることが可能なような整理を行った。

ここでは、安全規制に主眼を置いている観点から「安全規制の基本的考え方」を基として整理した項目（表 4.1-3）を、安全基準・指針の項目（案）の想定において基本とするのが妥当と考えた。この時、整理した項目の中項目及び小項目を中心とし、また、安全研究年次計画で整理した項目（表 4.1-6）についても、中項目が「安全規制の基本的考え方」の項目と比較的共通する部分が多く、さらに小項目が具体的であることから、項目の想定に取り入れることとした。

以上示したような手順により想定を試みた安全基準・指針の項目（案）を表 4.2-1 に示す。

4.3　性能保証項目と基準項目（案）の関係

3.で整理した性能保証項目について、今後国が策定する安全基準・指針にどのように反映されるのかを検討した。ここでは緩衝材を例として、4.2 で想定した安全基準・指針（案）の項目（表 4.2-1）に対して、それぞれの性能保証項目の関係を星取表として表 4.3-1 のように整理した。この星取りについては、安全基準・指針の項目が想定であることから、個々については必要性も含めて今後より詳細な検討が必要である。しかしながら、この整理により、緩衝材の性能保証項目と安全基準・指針（案）との関係、言い換えれば性能保証項目より抽出された今後取り組む必要がある研究課題が、安全規制のどうようなところに反映されるかの関連性を明確とするための一つの整理ができたものと考えられる。

表 4.2-1　安全基準・指針の項目（案）

品質管理基準	岩盤	
	処分坑道などの坑道	
	コンクリート	
	埋め戻し材	
	緩衝材	
	オーバーパック	
	ガラス固化体	
人工バリアの製作及び処分場の建設・操業・閉鎖、モニタリング	処分場の閉鎖基準（プラグ、グラウト）	
	処分場管理／モニタリング基準	
	処分場建設・施工基準	支保設計
		熱解析
		空洞安定性解析
		レイアウト設計
	埋め戻し施工基準	
	人工バリアの定置基準	
	緩衝材の製作・施工標準	
	オーバーパックの製作基準	
処分場設計技術基準	熱－水－応力－化学連成評価基準	
	ベントナイト流出評価基準	
	再冠水評価基準	
	長期岩盤強度及び変形（クリープ）評価基準	
	ガス移行挙動評価技術基準	
	コンクリート長期健全性評価基準	
	オーバーパック長期健全性評価基準	オーバーパック腐食評価標準
	緩衝材長期健全性評価基準	緩衝材変形評価基準（相互作用を含む）
		緩衝材変質評価基準（相互作用を含む）
地層処分の安全評価手法の技術基準	核種移行モデル選定基準	溶解・収着、拡散等のモデル
		核種移行に及ぼすコロイド・有機物・微生物の影響評価
		岩石基質中マトリクス拡散深さ
		ガラス近傍での溶解度制限固相の設定
		ガラスからの核種移行モデル
	深部環境特性の長期挙動評価基準	地球化学評価基準
		水理評価基準
		力学評価基準
	生物圏評価モデル技術基準	
	天然バリア中核種移行モデルの技術基準	
	人工バリア中核種移行モデルの技術基準	
	不確実性評価基準	確率論的安全評価基準
		核種移行プロセスモデル不確実性評価技術基準
		地球化学モデル不確実性評価基準
		水理地質構造モデル不確実性評価技術基準
		パラメータ不確実性評価技術基準
	核種移行パラメータ設定基準	熱力学的基礎データの選定基準
		拡散係数設定基準
		分配係数設定基準
		溶解度設定基準
	核種移行データ測定基準	熱力学標準データベース
		拡散計数測定標準
		分配係数測定標準
		溶解度測定標準
	安全評価シナリオの選定基準	
地質環境評価手法の技術基準	地下深部環境特性の評価技術基準	測定基準（力学、水理、地球化学）
		地下施設建設影響評価技術基準
		地質環境（力学、水理、地球化学）評価技術標準
		地下坑道における調査及び評価技術基準
		掘削中の調査及び評価技術基準
		地表からの調査技術標準
	地震・断層活動、隆起・沈降、火山活動などの天然現象の処分場への安全評価基準	火山活動についての安全評価基準
		隆起運動についての安全評価基準
		断層活動についての安全評価基準
		地震についての安全評価基準

表 4.3-1　性能保証項目と安全基準・指針（案）との関係（星取表による整理）

時期	何を性能保証するか（基準案）：緩衝材の役割	何を性能保証するか（基準案）：基準のポイント（緩衝材）	地質環境評価手法の技術基準／地震・断層活動、隆起・沈降、火山活動などの天然現象の処分場への安全評価基準／地震についての安全評価基準	同／断層活動についての安全評価基準	同／隆起運動についての安全評価基準	同／火山活動についての安全評価基準	地質環境評価手法の技術基準／地下深部環境特性の評価技術基準／地表からの調査技術標準	同／掘削中の調査及び評価技術基準	同／地下坑道における調査及び評価技術基準	同／地質環境（力学、水理、地球化学）評価技術標準	同／地下施設建設影響評価技術基準	同／測定基準（力学、水理、地球化学）	地層処分の安全評価手法の技術基準／安全評価シナリオの選定基準	地層処分の安全評価手法の技術基準／核種移行データ測定基準／溶解度測定標準	同／分配係数測定標準	同／拡散計数測定標準	同／熱力学標準データベース
廃棄体定置時～埋め戻し	廃棄体を内包する																
廃棄体定置時～埋め戻し	廃棄体を支持する	廃棄体からの荷重に対して有意な影響を受けないこと	○	○													
埋め戻し	廃棄体からの放射線を遮蔽する	廃棄体からの放射線に配慮されていること															
緩衝材膨潤中～膨潤後	オーバーパックが所定の寿命を達成できる環境を維持する	顕著な不均一腐食を生じない環境を維持するとともに還元性環境を維持すること											○				
緩衝材膨潤中～膨潤後	オーバーパックが所定の寿命を達成できる環境を維持する	微生物などによる顕著な腐食速度の増加が生じない環境を維持すること															
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	水みちが形成されず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと／廃棄体を支持するとともに緩衝材の顕著な厚みの減少を防止すること											○				
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	水みちが形成されず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと／十分な膨潤能力（応力、ひずみ）を有すること															
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	水みちが形成されず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと／地震で有意な影響を受けないこと	○	○													
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	水みちが形成されず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと／膨潤能力、力学特性が劣化しないこと、あるいは劣化評価が可能なこと															
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	水みちが形成されず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと／施工時のすき間を吸収すること															
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	水みちが形成されず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと／腐食膨張によるせん断応力で有意な影響を受けないこと															
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	水みちが形成されず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと／緩衝材が破壊しない十分な変形能を有すること		○													
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	水みちが形成されず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと／ガス発生により有意な影響を受けないこと											○				
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	水みちが形成されず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと／岩盤クリープで有意な影響を受けないこと															
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	地下水の移動を抑制すること／低透水性であること／緩衝材の密度を十分な範囲に維持すること															
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	地下水の移動を抑制すること／低透水性であること／特性が著しく劣化しないことあるいは劣化評価が可能なこと											○				
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	地下水化学の変動を緩和すること／化学的緩衝性を有すること															
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	地下水化学の変動を緩和すること／特性が著しく劣化しないことあるいは劣化評価が可能なこと															
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	核種のコロイドをろ過すること											○				
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	溶解した核種の移行を遅延すること／収着性を有すること											○				
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	溶解した核種の移行を遅延すること／特性が著しく劣化しないこと、あるいは劣化評価が可能なこと											○				
緩衝材膨潤中～膨潤後	岩盤を保護する	岩盤が破壊して水みちが形成されないこと															

時期	何を性能保証するか（基準案）：緩衝材の役割	何を性能保証するか（基準案）：基準のポイント（緩衝材）	地層処分の安全評価手法の技術基準／核種移行パラメータ設定基準／溶解度設定基準	同／分配係数設定基準	同／拡散係数設定基準	同／熱力学的基礎データの選定基準	地層処分の安全評価手法の技術基準／不確実性評価基準／パラメータ不確実性評価技術基準	同／水理地質構造モデル不確実性評価技術基準	同／地球化学モデル不確実性評価基準	同／核種移行プロセスモデル不確実性評価技術基準	同／確率論的安全評価基準	地層処分の安全評価手法の技術基準／人工バリア中核種移行モデルの技術基準	同／天然バリア中核種移行モデルの技術基準	同／生物圏評価モデル技術基準	地層処分の安全評価手法の技術基準／深部環境特性の長期挙動評価基準／力学評価基準	同／水理評価基準	同／地球化学評価基準
廃棄体定置時～埋め戻し	廃棄体を内包する																
廃棄体定置時～埋め戻し	廃棄体を支持する	廃棄体からの荷重に対して有意な影響を受けないこと															
埋め戻し	廃棄体からの放射線を遮蔽する	廃棄体からの放射線に配慮されていること															
緩衝材膨潤中～膨潤後	オーバーパックが所定の寿命を達成できる環境を維持する	顕著な不均一腐食を生じない環境を維持するとともに還元性環境を維持すること															
緩衝材膨潤中～膨潤後	オーバーパックが所定の寿命を達成できる環境を維持する	微生物などによる顕著な腐食速度の増加が生じない環境を維持すること															
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	水みちが形成されず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと／廃棄体を支持するとともに緩衝材の顕著な厚みの減少を防止すること															
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	水みちが形成されず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと／十分な膨潤能力（応力、ひずみ）を有すること															
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	水みちが形成されず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと／地震で有意な影響を受けないこと															
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	水みちが形成されず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと／膨潤能力、力学特性が劣化しないこと、あるいは劣化評価が可能なこと															
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	水みちが形成されず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと／施工時のすき間を吸収すること															
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	水みちが形成されず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと／腐食膨張によるせん断応力で有意な影響を受けないこと															
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	水みちが形成されず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと／緩衝材が破壊しない十分な変形能を有すること															
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	水みちが形成されず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと／ガス発生により有意な影響を受けないこと															
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	水みちが形成されず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと／岩盤クリープで有意な影響を受けないこと															
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	地下水の移動を抑制すること／低透水性であること／緩衝材の密度を十分な範囲に維持すること					○					○					
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	地下水の移動を抑制すること／低透水性であること／特性が著しく劣化しないことあるいは劣化評価が可能なこと					○					○					
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	地下水化学の変動を緩和すること／化学的緩衝性を有すること					○					○					
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	地下水化学の変動を緩和すること／特性が著しく劣化しないことあるいは劣化評価が可能なこと					○					○					
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	核種のコロイドをろ過すること										○					
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	溶解した核種の移行を遅延すること／収着性を有すること										○					
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	溶解した核種の移行を遅延すること／特性が著しく劣化しないこと、あるいは劣化評価が可能なこと										○					
緩衝材膨潤中～膨潤後	岩盤を保護する	岩盤が破壊して水みちが形成されないこと											○				

時期	何を性能保証するか（基準案）：緩衝材の役割	何を性能保証するか（基準案）：基準のポイント（緩衝材）	地層処分の安全評価手法の技術基準／核種移行モデル選定基準／ガラスからの核種移行モデル	同／ガラス近傍での溶解度制限固相の設定	同／岩石基質中マトリクス拡散深さ	同／核種移行に及ぼすコロイド・有機物・微生物の影響評価	同／溶解・収着・拡散等のモデル	処分場設計技術基準／緩衝材長期健全性評価基準／緩衝材変質評価基準（相互作用を含む）	同／緩衝材変形評価基準（相互作用を含む）	処分場設計技術基準／オーバーパック長期健全性評価基準／オーバーパック腐食評価標準	処分場設計技術基準／コンクリート長期健全性評価基準	同／ガス移行挙動評価技術基準	同／長期岩盤強度及び変形（クリープ）評価基準	同／再冠水評価基準	同／ベントナイト流出評価基準	同／熱－水－応力－化学連成評価基準	人工バリアの製作及び処分場の建設・操業・閉鎖、モニタリング／オーバーパックの製作基準
廃棄体定置時～埋め戻し	廃棄体を内包する																
廃棄体定置時～埋め戻し	廃棄体を支持する	廃棄体からの荷重に対して有意な影響を受けないこと															
埋め戻し	廃棄体からの放射線を遮蔽する	廃棄体からの放射線に配慮されていること															
緩衝材膨潤中～膨潤後	オーバーパックが所定の寿命を達成できる環境を維持する	顕著な不均一腐食を生じない環境を維持するとともに還元性環境を維持すること								○				○		○	
緩衝材膨潤中～膨潤後	オーバーパックが所定の寿命を達成できる環境を維持する	微生物などによる顕著な腐食速度の増加が生じない環境を維持すること								○				○			
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	水みちが形成されず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと／廃棄体を支持するとともに緩衝材の顕著な厚みの減少を防止すること							○					○	○	○	
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	水みちが形成されず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと／十分な膨潤能力（応力、ひずみ）を有すること												○			
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	水みちが形成されず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと／地震で有意な影響を受けないこと						○	○								
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	水みちが形成されず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと／膨潤能力、力学特性が劣化しないこと、あるいは劣化評価が可能なこと						○	○							○	
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	水みちが形成されず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと／施工時のすき間を吸収すること							○					○			
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	水みちが形成されず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと／腐食膨張によるせん断応力で有意な影響を受けないこと						○	○								
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	水みちが形成されず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと／緩衝材が破壊しない十分な変形能を有すること							○					○			
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	水みちが形成されず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと／ガス発生により有意な影響を受けないこと						○				○					
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	水みちが形成されず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと／岩盤クリープで有意な影響を受けないこと						○	○				○				
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	地下水の移動を抑制すること／低透水性であること／緩衝材の密度を十分な範囲に維持すること						○					○	○	○	○	
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	地下水の移動を抑制すること／低透水性であること／特性が著しく劣化しないことあるいは劣化評価が可能なこと						○						○		○	
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	地下水化学の変動を緩和すること／化学的緩衝性を有すること						○								○	
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	地下水化学の変動を緩和すること／特性が著しく劣化しないことあるいは劣化評価が可能なこと						○								○	
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	核種のコロイドをろ過すること				○		○									
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	溶解した核種の移行を遅延すること／収着性を有すること					○	○									
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	溶解した核種の移行を遅延すること／特性が著しく劣化しないこと、あるいは劣化評価が可能なこと					○	○								○	
緩衝材膨潤中～膨潤後	岩盤を保護する	岩盤が破壊して水みちが形成されないこと						○	○				○				

時期	何を性能保証するか（基準案）：緩衝材の役割	何を性能保証するか（基準案）：基準のポイント（緩衝材）	人工バリアの製作及び処分場の建設・操業・閉鎖、モニタリング／緩衝材の製作・施工標準	同／人工バリアの定置基準	同／埋め戻し施工基準	同／処分場建設・施工基準／レイアウト設計	同／処分場建設・施工基準／空洞安定性解析	同／処分場建設・施工基準／熱解析	同／処分場建設・施工基準／支保設計	同／処分場管理／モニタリング基準	同／処分場の閉鎖基準（プラグ、グラウト）	品質管理基準／ガラス固化体	同／オーバーパック	同／緩衝材	同／埋め戻し材	同／コンクリート	同／処分坑道などの坑道	同／岩盤
廃棄体定置時～埋め戻し	廃棄体を内包する		○	○										○				
廃棄体定置時～埋め戻し	廃棄体を支持する	廃棄体からの荷重に対して有意な影響を受けないこと	○	○										○				
埋め戻し	廃棄体からの放射線を遮蔽する	廃棄体からの放射線に配慮されていること	○	○	○						○			○				
緩衝材膨潤中～膨潤後	オーバーパックが所定の寿命を達成できる環境を維持する	顕著な不均一腐食を生じない環境を維持するとともに還元性環境を維持すること	○	○										○		○		
緩衝材膨潤中～膨潤後	オーバーパックが所定の寿命を達成できる環境を維持する	微生物などによる顕著な腐食速度の増加が生じない環境を維持すること	○											○				
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	水みちが形成されず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと／廃棄体を支持するとともに緩衝材の顕著な厚みの減少を防止すること	○											○				
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	水みちが形成されず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと／十分な膨潤能力（応力、ひずみ）を有すること	○											○				
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	水みちが形成されず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと／地震で有意な影響を受けないこと	○											○				
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	水みちが形成されず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと／膨潤能力、力学特性が劣化しないこと、あるいは劣化評価が可能なこと	○											○		○		
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	水みちが形成されず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと／施工時のすき間を吸収すること	○	○				○						○				
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	水みちが形成されず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと／腐食膨張によるせん断応力で有意な影響を受けないこと	○											○				
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	水みちが形成されず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと／緩衝材が破壊しない十分な変形能を有すること	○											○				
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	水みちが形成されず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと／ガス発生により有意な影響を受けないこと	○											○				
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	水みちが形成されず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと／岩盤クリープで有意な影響を受けないこと	○											○				○
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	地下水の移動を抑制すること／低透水性であること／緩衝材の密度を十分な範囲に維持すること	○		○				○					○	○		○	○
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	地下水の移動を抑制すること／低透水性であること／特性が著しく劣化しないことあるいは劣化評価が可能なこと	○											○		○	○	
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	地下水化学の変動を緩和すること／化学的緩衝性を有すること	○											○		○		
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	地下水化学の変動を緩和すること／特性が著しく劣化しないことあるいは劣化評価が可能なこと	○											○		○		
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	核種のコロイドをろ過すること	○											○				
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	溶解した核種の移行を遅延すること／収着性を有すること	○											○				
緩衝材膨潤中～膨潤後	放射性核種の移行を抑制する	溶解した核種の移行を遅延すること／特性が著しく劣化しないこと、あるいは劣化評価が可能なこと	○											○		○	○	○
緩衝材膨潤中～膨潤後	岩盤を保護する	岩盤が破壊して水みちが形成されないこと	○											○				○

5. 今後の計画

今後は、オーバーパックおよび緩衝材以外の処分場を構成する要素（埋め戻し材、プラグ、各坑道等）について、同様な整理を行う予定である。また、本報告で示した課題について、サイクル機構における取り組み状況を整理し、処分事業の推進、安全基準・指針の策定への反映を念頭においた整理を行う。

6. まとめ

本報告では、今後国が策定することとなっている安全基準・指針等に資するため、今後研究開発等により得られる成果がどのように反映されるかを明確とするための検討を行った。ここでは、処分場における長期的安全性の観点から人工バリア等の処分施設を構成する各要素、本報告ではオーバーパックと緩衝材、において性能を保証すべき項目を抽出し、さらに、具体的にどのように性能を保証するのかを示した。また、これらの保証の方法について現状の取り組み状況（第２次取りまとめ）を踏まえて、今後の取り組みが必要と考えられる課題を抽出した。これらにより、各課題が処分場の長期安全性を確保するための研究としての位置付けが明確となったと考えられる。

参考文献

官報（2000a）：特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律、平成 12 年 6 月 7 日.

官報（2000b）：特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本計画、通商産業省告示第 592 号、平成 12 年 10 月 2 日.

原環機構（2001）：特定放射性廃棄物処分の概要調査地区等の選定手順の基本的考え方、原子力発電環境整備機構、平成 13 年 10 月 29 日

原子力安全委員会（2000a）：高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全規制の基本的考え方について（第１次報告）、原子力安全委員会、平成 12 年 11 月 6 日.

原子力安全委員会（2000b）：放射性廃棄物安全研究年次計画（平成 13 年度～平成 17 年度）、原子力安全委員会

原子力安全委員会（2002）：高レベル放射性廃棄物処分の概要調査地区選定段階において考慮すべき環境要件について、原子力安全委員会、平成 14 年 10 月 30 日.

核燃料サイクル開発機構（1999a）：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－、サイクル機構技術資料、JNC TN1410 99-022.

核燃料サイクル開発機構（1999b）：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２地層処分の工学技術、サイクル機構技術資料、JNC TN1410 99-020.

核燃料サイクル開発機構（2002）：高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発－平成 13 年度報告－、サイクル機構技術資料、JNC TN1400 2002-003.

原子力委員会（2000）：原子力研究、開発及び利用に関する長期計画、原子力委員会、平成

12年11月24日
原子力部会（2001）：原子力の技術基盤の確保について、総合資源エネルギー調査会原子力部会、2001年
土木学会（2001）：概要調査地区選定時に考慮すべき地質環境に関する基本的考え方、土木学会原子力土木委員会地下環境部会、2001年8月.

添付資料：

海外における膨潤能力の考え方（海水系地下水の影響に着目して）

緩衝材は、海水系地下水条件下では降水系地下水と異なり、膨潤能力が低下することが懸念されることから、海外における海水系地下水条件下における緩衝材の膨潤能力に関する知見を調査し、整理を試みた。以下に関連する文献において示されている考え方のポイントを示す。

・Waste Disposal in Rock (Pusch, R. (1994))

スウェーデンのPuschは、Lulea大学およびClay Technologyでの研究成果を取りまとめ（Pusch、1994）、その中で緩衝材の乾燥密度が1,800kg/m^{3}以上であれば塩の影響は少ないとしている。

＊Pusch, R. (1994): Waste Disposal in Rock, Developments of Geotechnical Engineering, 76, Elsevier (1994).

・NAGRA

NAGRAの報告書（Bradbury and Baeyens、2002）においては、MX-80の試験結果に基づき緩衝材の乾燥密度が900kg/m^{3}以上であれば、塩濃度が75g/lまでは影響は小さく、乾燥密度1,500kg/m^{3}以上であれば、塩水の影響は少ないとしている。

＊Bradbury, M.H. and Baeyens, B. (2002): Porewater chemistry in compacted re-saturated MX-80 bentonite: Physico-chemical characterization and geochemical modeling, NAGRA Technical Report 01-08, June 2002.

・SKB/POSIVA共同研究

共同研究に係わる報告書（Karnland, 1998等）によれば、変位が拘束されない状態では膨潤応力は発生しないこと、高密度の緩衝材であれば塩濃度の影響は少ないこと、膨潤性能が処分場の候補深度を規定することもあること、等が示されている。

＊Karnland, O. (1998): Bentonite swelling pressure in strong NaCl solutions –Correlation of model calculations to experimentally determined data, POSIVA 98-01.

＊Karnland, O. (1997): Bentonite swelling pressure in strong NaCl solutions –Correlation between model calculations and experimentally determined data, SKB TR-97-31.

・POSIVA

POSIVAの報告書（Vieno and Nordman, 1999）においては、緩衝材は古海水と接触する可能性があること、飽和密度が2,000kg/m^{3}以上であれば地下水環境に関わらず膨潤応力5MPaを達成できること、強塩濃度を考慮するとOlkiluotoでは700m、Hastholmenでは

800m 以深は適切ではないこと、等が示されている。

＊Vieno, T. and Nordman, H. (1999): Safety assessment of spent fuel disposal in Hastholmen, Kivetty, Olkiluoto and Romuvaara TILA-99, POSIVA 99-07