第８章

概要調査地区選定段階および精密調査地区選定段階の技術的取り組み

第8章　目　次

第8章 概要調査地区選定段階および精密調査地区選定段階の技術的取り組み....... 8-1
8.1 サイト選定段階における安全確保への取り組み.................................. 8-2
8.1.1 安全確保の取り組みの考え方 8-3
8.1.1.1 地層処分に適した地質環境の選定の考え方.................................... 8-3
8.1.1.2 多重バリアシステムによる安全確保の考え方.................................. 8-3
8.1.1.3 処分場概念の構築の考え方 8-4
8.1.1.4 セーフティケースの考え方 8-5
8.1.2 文献調査の開始から精密調査地区選定までの流れ................................ 8-5
8.2 概要調査地区選定段階における技術的な取り組みの概要............................ 8-8
8.2.1 概要調査地区選定段階における安全確保の目標と実施事項.......................... 8-8
8.2.2 文献調査計画の立案 8-11
8.2.3 文献調査の実施（文献情報の収集） 8-11
8.2.4 自然現象の影響にかかわる調査・評価 8-12
8.2.4.1 火山・火成活動の調査・評価 8-12
8.2.4.2 地震・断層活動の調査・評価 8-13
8.2.4.3 隆起・侵食の調査・評価 8-13
8.2.5 第四紀の未固結堆積物ならびに鉱物資源に関する調査・評価...................... 8-13
8.2.6 概要調査地区の選定 8-14
8.2.6.1 概要調査地区選定上の考慮事項への適格性の確認.............................. 8-14
8.2.6.2 概要調査地区と補足的に調査する範囲の設定.................................. 8-14
8.2.6.3 文献調査に関する法定報告書の説明と概要調査の実施の判断.................... 8-15
8.2.7 地質環境特性の調査・評価 8-15
8.2.8 処分場の概略検討 8-16
8.2.9 処分場の安全性の概略検討 8-16
8.2.10 次段階の準備 8-17
8.3 精密調査地区選定段階における技術的な取り組みの概要........................... 8-20
8.3.1 精密調査地区選定段階における安全確保の目標と実施事項......................... 8-20
8.3.2 概要調査の実施 8-24
8.3.2.1 地表調査のフェーズにおける調査の実施および概要調査計画の更新............... 8-24
8.3.2.2 ボーリング調査のフェーズにおける調査...................................... 8-25
8.3.2.3 概要調査における一般労働安全の確保と環境保全策............................ 8-25
8.3.3 自然現象の影響にかかわる調査・評価 8-25
8.3.3.1 火山・火成活動の調査・評価 8-26
8.3.3.2 地震・断層活動の調査・評価 8-26
8.3.3.3 隆起・侵食の調査・評価 8-26
8.3.4 地質環境特性の調査・評価 8-27
8.3.5 候補母岩の選定 8-28
8.3.5.1 熱環境の評価 8-30

8.3.5.2 力学場の評価 8-31
8.3.5.3 水理場の評価 8-32
8.3.5.4 化学環境の評価 8-33
8.3.6 処分場の概念設計 8-33
8.3.6.1 人工バリアの概念設計 8-34
(1) オーバーパックの設計 8-34
(2) 緩衝材の設計 8-34
8.3.6.2 地上施設および地下施設の設計 8-34
(1) 坑道の設計 8-34
(2) 基本レイアウトの設定 8-34
(3) 地上施設の設計 8-36
(4) 事業期間中の安全対策の設計への反映 8-37
8.3.6.3 処分概念・技術オプションの絞り込み 8-38
8.3.7 予備的な安全評価 8-39
8.3.7.1 安全評価戦略の策定 8-40
8.3.7.2 地層処分システムの設定 8-41
8.3.7.3 シナリオの構築 8-42
(1) シナリオ分類の枠組みの整備 8-42
(2) 状態設定とシナリオの作成 8-43
8.3.7.4 モデルの設定 8-46
8.3.7.5 データセットの整備 8-46
8.3.7.6 安全解析の実施 8-47
8.3.7.7 安全評価の信頼性に関する検討 8-48
8.3.8 レファレンス処分場概念の構築とセーフティケースの作成 8-48
8.3.9 精密調査地区の選定 8-49
8.3.9.1 精密調査地区選定上の考慮事項への適格性の確認 8-49
8.3.9.2 精密調査地区の設定 8-49
8.3.9.3 概要調査に関する法定報告書の説明と精密調査の実施の判断 8-49
8.3.10 次段階の準備 8-49
8.4 まとめ 8-51
(1) 概要調査地区選定段階の目標と実施事項 8-51
(2) 精密調査地区選定段階の目標と実施事項 8-51
参考資料 概要調査地区選定段階および精密調査地区選定段階の実施項目と関連する技術および検討事項の関係 8-53
参考文献 8-56

第8章　概要調査地区選定段階および精密調査地区選定段階の技術的取り組み

本報告書におけるこの章の位置付けを図 8-1 に模式的に示す。第 3 章では，NUMO が適切なサイト選定と確認，処分場の設計・施工などの適切な工学的対策，地層処分システムの長期安全性の評価の三つの安全確保策を軸として，段階的に事業を進めることで，地層処分の安全性を確保しようとしていることを述べた。第 4 章では，約 100 年にわたる事業期間において，段階的に事業を推進する際の技術的な視点から，将来的な展望をロードマップとして示した。また，サイト選定の開始から処分場の閉鎖に至るまでの各段階で，個々に得られた情報や成果に基づいて，三つの安全確保策を相互に連携･フィードバックさせながら，繰り返し安全性を確認する重要性についても述べた。第 5 章から第 7 章においては，各段階の実施事項の中心となるサイト調査・評価，工学的対策（設計，建設・操業・閉鎖），安全評価を支える技術の整備状況について述べ，NUMO および基盤研究開発機関が連携して計画的に技術を整備していることを述べた。

本章では，これらの章で述べてきたことを取りまとめ，第 4 章に示した安全確保ロードマップに従い，サイト調査段階の初期である概要調査地区選定段階（文献調査の段階），および精密調査地区選定段階（概要調査の段階）における以下の三つの事項について述べ，これらの段階の実施に向けた技術的な準備が整っていることを示す。

- 文献調査および概要調査を実施するための目標や実施事項を明確化していること
- 地質環境の調査・評価技術，処分場の設計・建設・操業・閉鎖技術，地層処分システムの長期安全性評価技術を連携し，概要調査地区および精密調査地区を選定するための基本的な実施手順を準備していること
- 各段階の実施手順に従って，第 5 章から第 7 章に示した技術の適用を検討していること

8.1 では，サイト選定段階の安全確保への取り組みとして，その考え方と，文献調査の開始から精密調査地区選定までの技術的な実施事項と NUMO や国などが行う意思決定との関係を示す。8.2 および 8.3 では，概要調査地区選定段階および精密調査地区選定段階の主要な実施事項について，その基本的な手順を示した上で，その概要と支える技術の適用について述べる。

なお，文献調査の実施に当たっては，市町村からの応募による場合と，市町村に文献調査の実施を国から申し入れる場合がある。これら二つの場合では，文献調査の開始に至るまでの手順に差異があるが，いったん文献調査を開始すれば，技術的な実施手順は同じである。従って，この章では，特に断らない限りは，市町村からの応募により文献調査が開始される場合を前提として記述する。

また，この章では，サイト選定の初期の 2 段階について記述の焦点を絞るが，5 章から 7 章にも示したように，処分施設建設地選定の実施や処分場の建設・操業・閉鎖の実施に必要な技術の整備が進んでいる（5.4.1.2 および 6.6.4 など）。例えば，第 2 次取りまとめ以降の技術開発により，国内外において多くの地下研究所の建設が進み，地下深部において坑道を安全に掘削できることが示され，地下の地質環境の調査技術の適用性の確認が進んだ。また，人工バリアの施工性についても実規模大の模型試験により，実証的な確認が進んだ。これらの技術開発成果に基づいて，精密調査の実施，さらには，処分場の建設・操業・閉鎖に至るまでの地層処分事業の技術的な実現性の見通しが得られ，その信頼性が向上したと判断している。今後，これらの成果についても，実用化の視点から，計画的に技術開発を進め，地層処分事業に反映する。

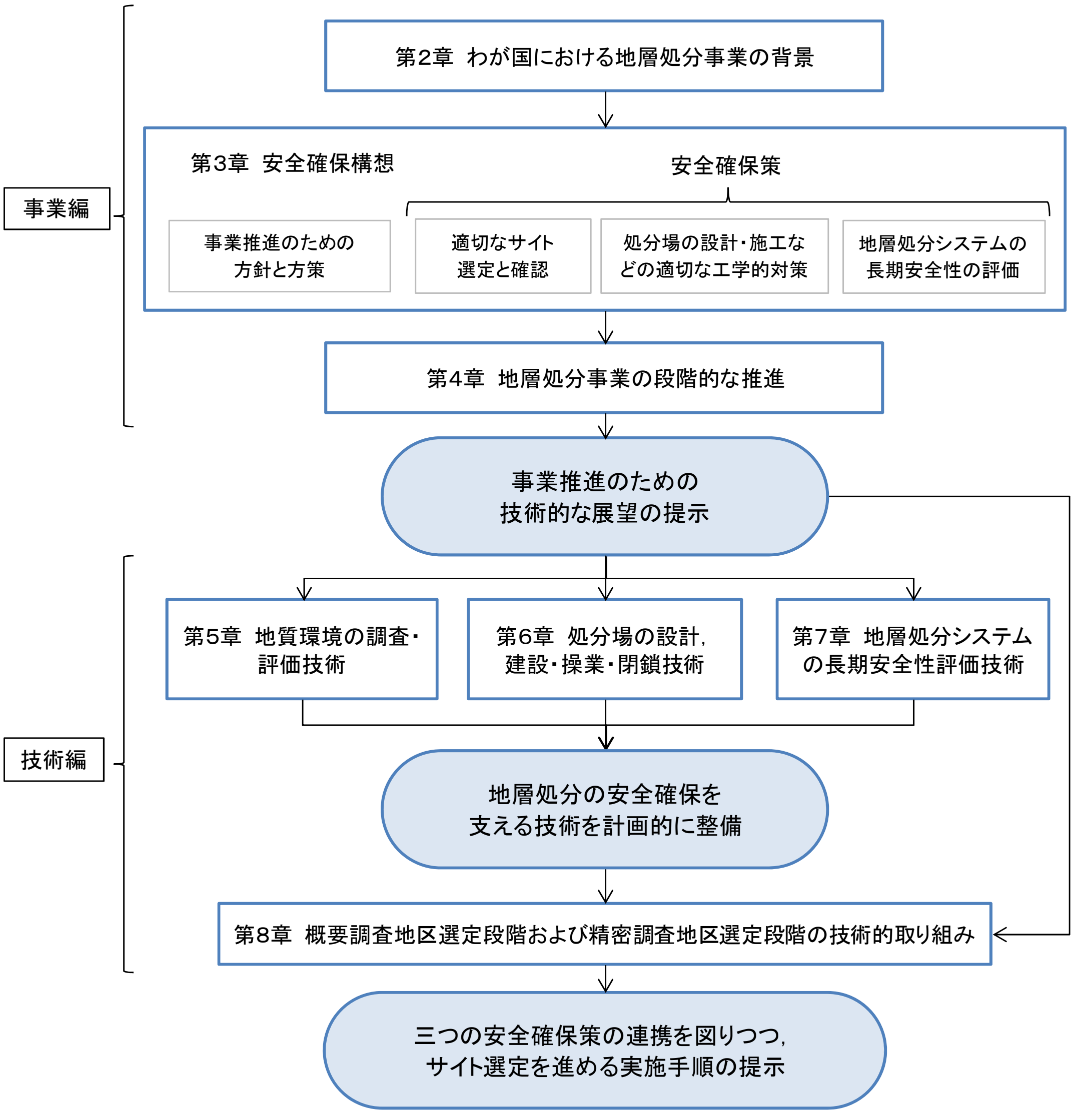


図 8-1 本報告書の各章と第 8 章の関係

8.1 サイト選定段階における安全確保への取り組み

NUMO は，概要調査地区選定段階（文献調査の段階），精密調査地区選定段階（概要調査の段階），処分施設建設地選定段階（精密調査の段階）の三段階のサイト選定段階において，閉鎖後長期の安全確保のために以下に示す検討を行う（3.1.2 参照）。

- 地層処分にとって適切な地質環境を選定し，建設段階以降はサイト選定時における評価の妥当性を確認する（適切なサイト選定と確認）。
- 選定された地質環境に対して人工バリアや処分施設を適切に設計･施工する（処分場の設計･施工などの適切な工学的対策）。
- 構築された地層処分システムの安全性を評価する（地層処分システムの長期安全性の評価）。

また，サイト調査においては，一般労働安全と環境保全策を講ずるとともに，建設・操業・閉鎖の各段階における事業期間中の放射線安全，一般労働安全，環境保全策についても処分施設の設計

において検討する（3.1.3 参照）。

上述の検討を進める際には，地質環境の調査・評価，処分場の設計，安全評価の各分野の情報を共有し，相互に連携を図りつつ作業を進める。連携は特別な技術ではないが，段階的な意思決定に基づいて事業を効果的に進め，地層処分の技術的信頼性を高めるための重要な手段である（Littleboy et al.，1998；Jonkman et al.，2002）。

8.1.1　安全確保の取り組みの考え方

8.1.1.1　地層処分に適した地質環境の選定の考え方

地層処分システムを成立させるための前提条件として，将来にわたり火山・火成活動，地震・断層活動，隆起・侵食などの自然現象の著しい影響を回避すると同時に，処分場の設計・施工などの適切な工学的対策，および地層処分システムの長期安全性の評価を実施する上で好ましい以下の二つの条件を有する場所を処分施設建設地として選定する（3.1.2 参照）。

- 坑道掘削や人工バリアの構築など，工学的対策の観点からより適切と判断される条件（力学的に安定であること，施設を通過する地下水流量が小さいことなど）
- 人工バリアや天然バリアの放射性物質の移行抑制など，地層処分システムの閉鎖後長期の安全性の観点からより適切と判断される条件（還元性，地下水流速が遅い，放射性物質の移行距離が長い，擾乱に対する緩衝能力あるいは回復力を有するなど）

また，将来の人間活動による偶発的な処分場への侵入を回避する観点から，経済的に価値が高い鉱物資源が存在する地域は含めない。

サイト選定においては，概要調査地区選定段階，精密調査地区選定段階，処分施設建設地選定段階の三段階の調査により，上述の条件を考慮して応募区域の地質環境を評価する。

自然現象については，サイト選定の初期段階（概要調査地区選定段階および精密調査地区選定段階）では，応募区域周辺で生じている自然現象の過去の変動傾向などから将来の挙動を予測し，将来にわたりそれらの影響が著しいと判断した場合には，そのような場所を含めないように概要調査地区および精密調査地区を選定する。

その上で，処分場を設置する場の地質・地質構造，地下水の流動特性や地化学特性，岩盤の熱特性や力学特性，物質移行特性などの地質環境特性を把握する。さらに地質環境特性の長期的な変遷を理解することにより，処分施設建設地選定段階において地層処分の安全確保にとって好ましい条件を有する場所を特定して処分施設建設地として選定する（4.2 参照）。

8.1.1.2　多重バリアシステムによる安全確保の考え方

地層処分による安全確保の基本概念は，3.1.2 に述べたように高レベル放射性廃棄物および地層処分低レベル放射性廃棄物を生活環境から十分に離された安定な地下深部に埋設し，廃棄物に含まれる放射性物質を閉鎖後の長期間にわたり閉じ込めることである。前者を「隔離」と呼び，後者を「閉鎖後閉じ込め」と呼ぶ。隔離は，地層処分に適した地質環境を選定することにより確保する。一方，閉鎖後閉じ込めは，人工バリアと天然バリアが有する性能（安全機能）により確保する（3.1.2，6.2.2 参照）。地層処分システムによる安全確保は，これらの多重の安全機能を組み合わせた多重バリアシステムにより担保する。

8.1.1.3　処分場概念の構築の考え方

地質環境特性，処分場の設計，安全評価の結果を統合して処分場概念を構築・更新する。処分場概念は，基本的に以下の項目により構成される（図 8.1.1-1）。

- 地質環境の長期安定性に関する評価結果
- 処分場の設置環境としての地質環境の評価結果
- 処分場のレイアウトおよび人工バリア，操業システム，閉鎖措置などの仕様
- 事業期間中ならびに閉鎖後長期の安全評価の結果
- 上述の結果を踏まえた工学的成立性，経済性などの観点からの評価結果

サイトの地質環境特性に適した処分場概念を構築するためには，サイト選定の各段階において三つの安全確保策を連携させ，地質環境の適性，地層処分システムの安全性とその工学的な実現性を繰り返し確認する。処分場概念のサイトへの適性は，閉鎖後長期の安全性，操業安全性，工学的成立性，品質保証などの設計因子の観点からその安全性と実現性を評価する（NUMO，2004a）。

2000 年に NUMO が設立されて以降，NUMO は第 2 次取りまとめの処分場概念を出発点とし，実際に処分場を建設・操業するという観点，および新たな知見を反映して処分場概念を高度化するという観点から，段階的な処分場概念の開発の方法論の検討を進めてきた（NUMO，2004a）。例えば，処分場の候補地が具体化されていない現段階では，多様な地質環境を想定し，サイトの地質環境特性に適した設計の考え方について整備を進めてきた（6.5 参照）。また，地質環境の不確実性に柔軟に対応しつつ，安全性を有する地層処分システムを構築することが可能となるよう，基盤研究開発機関と連携してさまざまな処分技術オプションの整備を進めている（6.5.2 参照）。今後，三つの安全確保策を支える技術を活用し，サイトに適した処分場概念を構築していく。

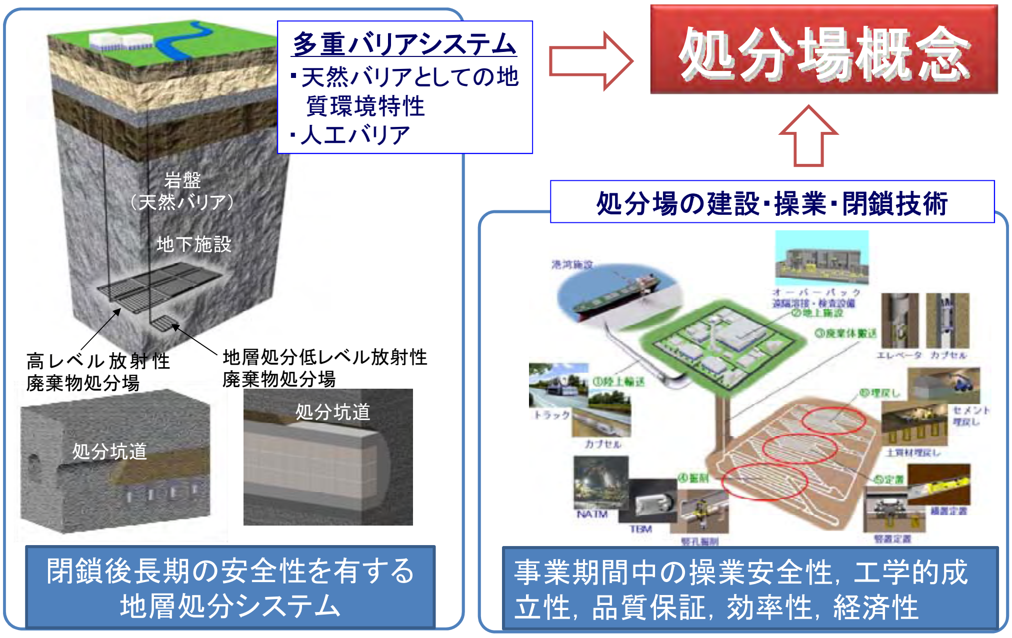


図 8.1.1-1　処分場概念の構築のイメージ

8.1.1.4　セーフティケースの考え方

セーフティケースは，安全確保策を施すことにより，地層処分が長期にわたって安全性を確保できることをその根拠となる多面的なさまざまな証拠や論拠とともに示すために，事業者が構築するものである。さらに，セーフティケースの重要な役割として，幅広いステークホルダーから出される安全性に対する疑問，心配事項や不安要因といったものに応えるための科学技術的な情報を提供することが挙げられる。セーフティケースの主要な構成要素は，「安全確保構想」，「適切なサイト選定と確認」，「適切な工学的対策」，「長期安全性の評価」，「安全性にかかわる論拠の提示」からなる。また，セーフティケースには，構築した時点においてどのような不確実性が存在しているか，また，その不確実性が地層処分システムの安全性に及ぼす影響や，それらの不確実性を低減するための取り組みなどについても言及する。このような不確実性の取り扱いは，セーフティケースの信頼性を確保する上で重要なポイントである（3.2.2.参照）。

サイト選定段階においては，精密調査地区選定時および処分施設建設地選定時に併せて，各段階の終わりに作成する法定報告書，設計と安全評価に関する報告書，それらの補足文書などからセーフティケースを構成する。セーフティケースに基づいて，地域をはじめとする幅広いステークホルダーに安全性を提示する。

8.1.2　文献調査の開始から精密調査地区選定までの流れ

事業の初期における重要なマイルストーンは，三段階のサイト選定（概要調査地区選定，精密調査地区選定，処分施設建設地選定），およびそれに続く事業許可である（4.1.1.1 参照）。このうち，公募から概要調査の段階における事業の流れと技術業務の流れを図 8.1.2-1 に示す。

NUMO は，2002 年に「特定放射性廃棄物の最終処分施設の設置可能性を調査する区域」について全国の市町村からの公募を開始し，それに併せ概要調査地区選定上の考慮事項を公表した。地域からの応募をいただくと，まず，地質的条件の事前確認を実施する（4.2.1.1 参照）。事前確認の結果は，応募していただいた地域の市町村長に書面で回答する。また，2007 年 11 月に公表された「放射性廃棄物小委員会報告書中間とりまとめ」（総合資源エネルギー調査会，2007）を受け，国が文献調査の申し入れを行うことも可能となった。この場合は，市町村長が国からの申し入れに対して受諾の可否を表明することとなる。文献調査の開始に先立ち，文献調査計画の説明を地域などに行った後，文献調査を進め，適宜調査状況の報告を行う。

概要調査地区の選定に当たっては，文献調査に関する法定報告書を取りまとめて公開し，応募された市町村長および関係都道府県知事に送付し，公告および縦覧の手続きを行う。また，地域に向けて説明会を開催する。このとき，意見書をいただいた場合には，その意見に対する NUMO の見解を作成する。

NUMO は概要調査地区を選定し，経済産業大臣に実施計画の変更を申請する。経済産業大臣は，都道府県知事，および市町村長からの意見を聴取し，それを尊重した上で，原子力委員会および原子力安全委員会の意見を聴き，閣議決定を経て最終処分計画が改定される。以上の過程を経て，実施計画の変更が承認され概要調査地区の選定を完了する。また，これと並行して，NUMO では，次段階の準備として，原子力安全委員会の定める環境要件を鑑みて，精密調査地区選定上の考慮事項を公表するとともに概要調査計画を策定する。

概要調査の実施に当たっては，概要調査計画を地域などに説明し，環境への配慮や調査期間中の安全も含め調査実施内容についての理解を得ながら実施する。概要調査の結果に基づいて，精密調

査地区選定上の考慮事項への適格性を確認し精密調査地区を設定する。概要調査の結果の公表から精密調査地区の選定の完了までの流れは，すでに述べた概要調査地区の選定までの流れと基本的に同じである。

なお，8.2 および 8.3 では，上述の事業の流れの中から特に技術的な実施内容と三つの安全確保策の連携に焦点を当てて，技術的な実施手順を適用する技術とともに示す。

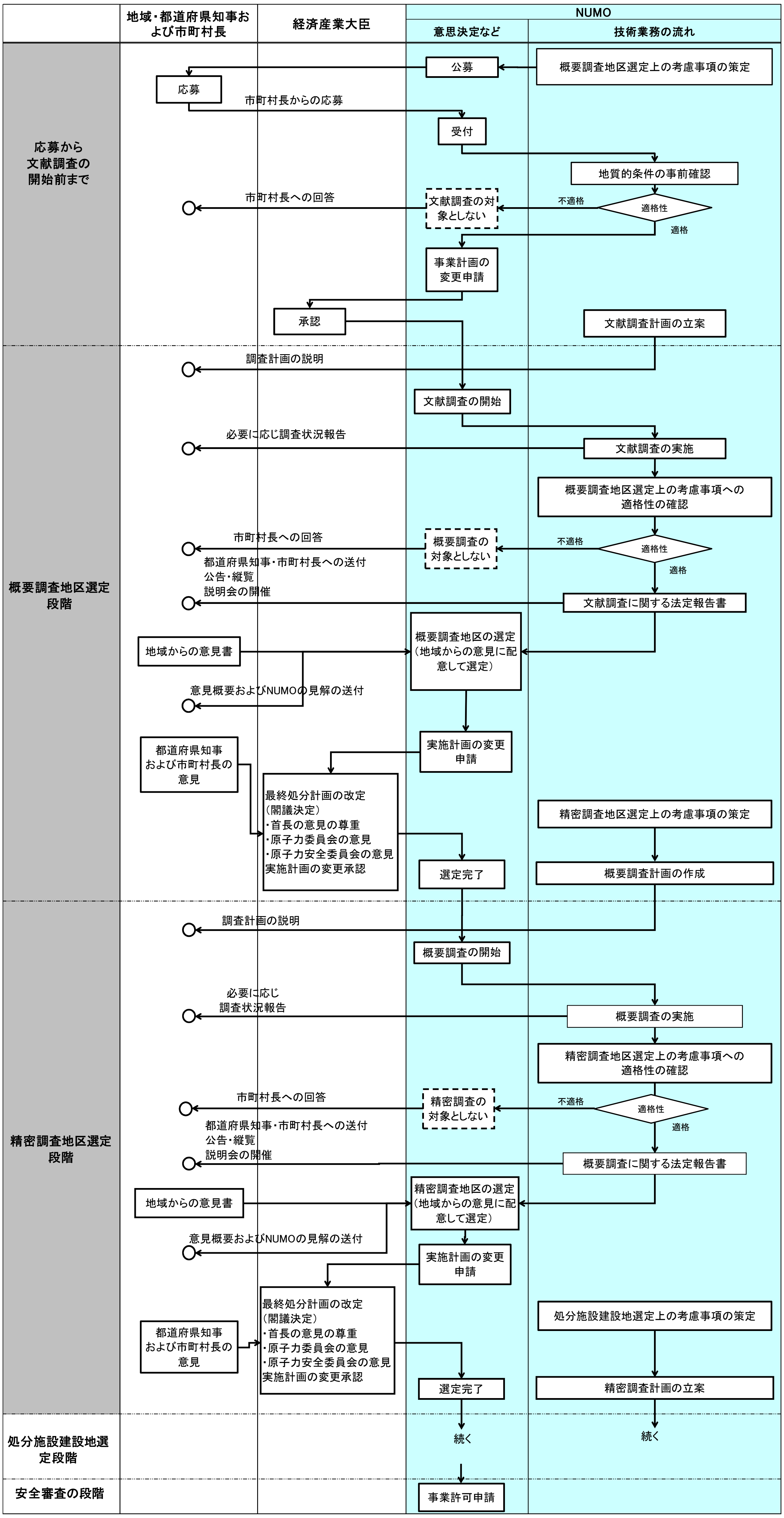


図 8.1.2-1 概要調査地区選定段階および精密調査地区選定段階における事業の流れと技術業務の流れ（公募の場合）

8.2　概要調査地区選定段階における技術的な取り組みの概要

8.2.1　概要調査地区選定段階における安全確保の目標と実施事項

概要調査地区選定段階（文献調査の段階）では，事業目標を概要調査地区の選定とし，安全確保の目標を自然現象の著しい影響の回避（明らかに不適切な地域を避ける）としている（4.2.1.1 参照）。また，具体的な目標達成にかかわる要件と成果として公表する安全確保にかかわる主要文書を以下に示す。

・本段階における事業目標	：概要調査地区選定
・安全確保にかかわる目標	：自然現象の著しい影響の回避 （明らかに不適格な地域を避ける）
・目標達成にかかわる要件	：法定要件への適合性 概要調査地区選定の環境要件への適合性 自主基準（考慮事項含む）への適合性
・安全確保にかかわる主要文書	：文献調査に関する法定報告書 文献情報に基づく処分場の概要

概要調査地区選定段階における実施事項のフローを図 8.2.1-1 に示す。

この段階で実施する主な事項としては，「安全確保ロードマップ（詳細版）」（表 4.1.2-1 参照）に示した以下の事項がある。

① 概要調査地区選定上の考慮事項への適格性の確認
② サイトの地質環境特性に応じた概略的な処分場概念の構築
③ 精密調査地区選定上の考慮事項の作成
④ 概要調査計画の作成

この段階では，文献調査に基づいて「概要調査地区選定上の考慮事項」（NUMO，2009）で示した将来にわたり火山・火成活動，地震・断層活動，隆起・侵食などの自然現象の著しい影響を回避できる長期的に安定な地質環境の中から，概要調査地区を選定する。

NUMO は，地域から応募をいただいた場合，文献調査の実施に先立ち地質的条件について事前確認を行う（4.2.1.1 参照）。確認を行う項目は以下の 2 点である（図 8.2.1-2）。

- 陸域では空中写真判読など，海域では海上音波探査などに基づいて全国的に調査された文献に示されている活断層がある場所が含まれないこと
- 将来数万年にわたるマグマの活動範囲の拡がりの可能性を考慮し，火山（第四紀火山）の中心から半径 15km の円の範囲内にある地域が含まれないこと

事前確認の結果は，応募をいただいた市町村長に送付する。なお，事前確認で上述 2 点に適合しない場合には，文献調査の対象としない。

以上の条件に関連した情報として，地質的な条件に関する全国の市町村の概況をホームページで公開している（http://www.numo.or.jp/koubo/bunken_chisitsu/index.html）。

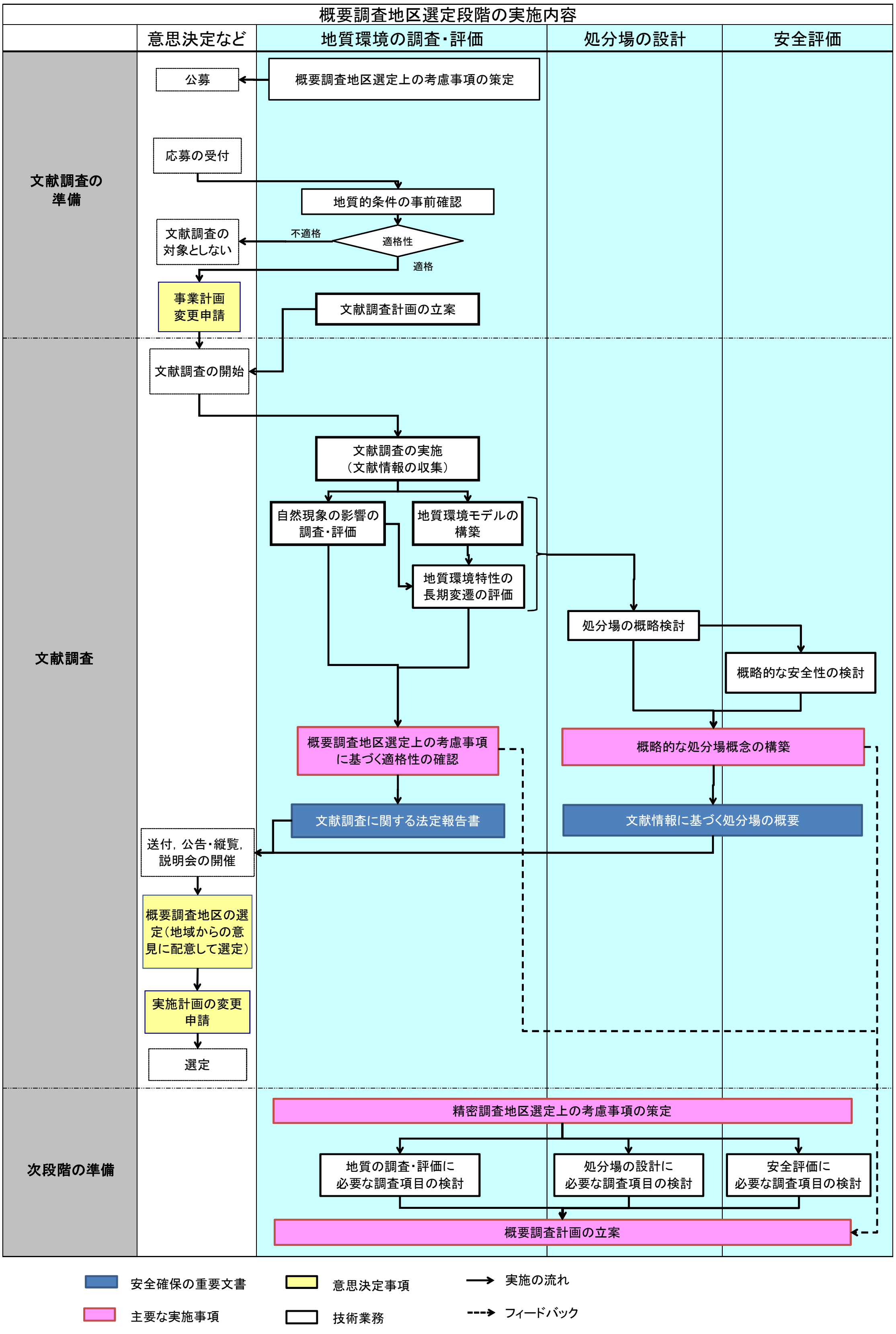


図 8.2.1-1 概要調査地区選定段階における実施事項フロー図（公募の場合）

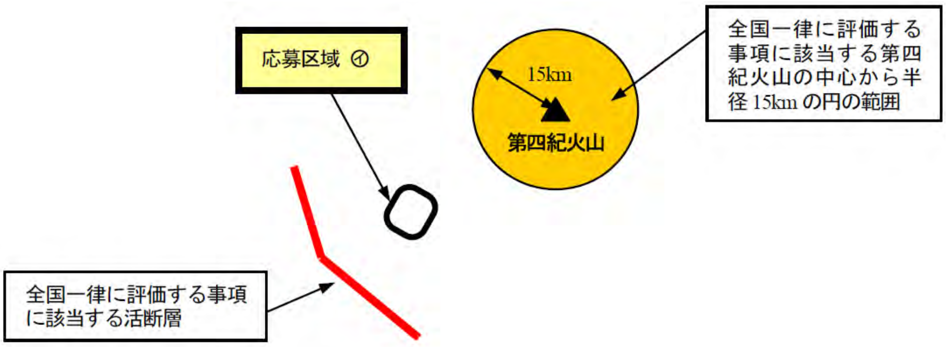


図 8.2.1-2 全国一律に評価する事項に基づいた文献調査の対象地区となる条件（公募の場合）
（出典：NUMO，2004b）

文献調査では，応募区域を評価するために必要となる概要調査地区を仮設定し，文献調査を行う範囲を設定する（図 8.2.1-3）。文献調査の具体的な調査・評価の内容は，5.3 に述べたとおりで，文献調査の範囲を対象とした個別の文献，そのほかの資料を詳細に分析・評価する。分析・評価の結果に基づいて，自然現象の影響にかかわる評価（5.3.1 参照），地質環境モデルの構築（5.2.1，5.3.2 参照），処分場の検討と概略的な安全性の検討（6.3.1，7.1.7.1 参照）を実施する。さらに，これらの検討結果などに対して，工学的成立性，閉鎖後長期の安全性，地質環境の調査・評価，経済性などの観点からの評価を行い，次段階の調査により取得すべき安全性にかかわる重要なサイトの情報を特定する。以上の検討の結果を取りまとめ「文献調査に関する法定報告書」，ならびに，応募区域に処分場を設置した場合の地上・地下施設のイメージを「文献情報に基づく処分場の概要」として公表する。その上で，概要調査地区の範囲の設定（5.2.3 参照），次段階の概要調査計画の立案（5.2.3 参照）などを行う。

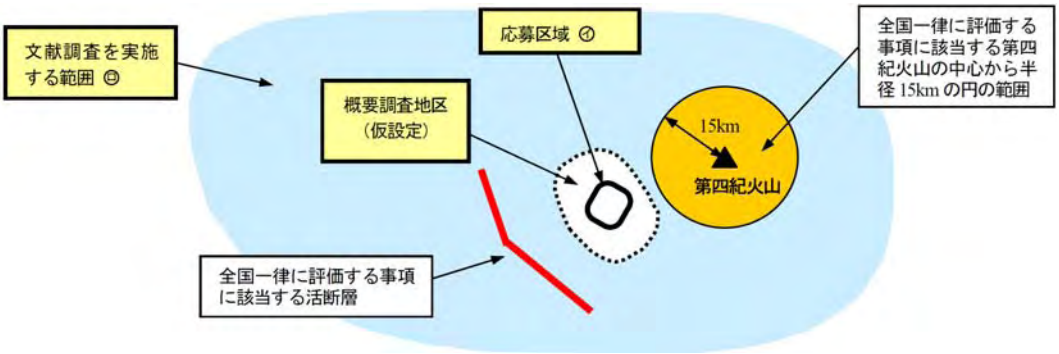


図 8.2.1-3 文献調査を行う範囲と文献調査で確認する項目のイメージ（公募の場合）
（出典：NUMO，2004b）

この段階における安全確保策の連携のポイントは，次段階の準備として実施する概要調査計画の立案である（8.2.10 参照）。立案においては，地質環境の調査・評価や設計や安全性の概略的な検討などの結果に基づいて，必要な調査項目を分析し，項目を取りまとめ，調査計画に反映する。

なお，以下に示す実施項目と関連する技術および検討事項の関係を参考資料に示す。

8.2.2　文献調査計画の立案

文献調査計画は，以下の項目について，文献調査マニュアルに従って作成する（5.2.2 参照）。

- 文献調査の位置付けと目的
- 応募受付から報告書作成までの流れ
- 文献調査の具体的な内容
- 応募区域の自然環境などに関する補充情報収集と「文献情報に基づく処分場の概要」の作成

8.2.3　文献調査の実施（文献情報の収集）

文献調査では，まず，文献調査マニュアルに基づいて，文献・資料を収集し，それらに記載されている地質環境情報などを体系的に整理・管理する。収集の対象となる情報は，自然現象の影響と地質環境特性に関する情報，自然環境，社会環境の分野の情報である。これらの情報に基づいて解析を進め，概要調査地区選定上の考慮事項に対する適格性について評価を行う。

文献情報は，概要調査地区選定上の考慮事項で示した多岐にわたる事項について，文献を網羅的に収集・整理する。これらの作業で取り扱うデータは膨大になることが予想されるため，NUMO は，地理情報システム（NUMO-GIS），文献調査システムフロー，地質環境データ管理システムからなる一連の支援ツールを整備している（図 8.2.3-1，5.2.4 参照）。文献調査では，これらの支援ツールを活用して，作業品質の確保や文献情報に基づいた意志決定の追跡性の確保を行う。

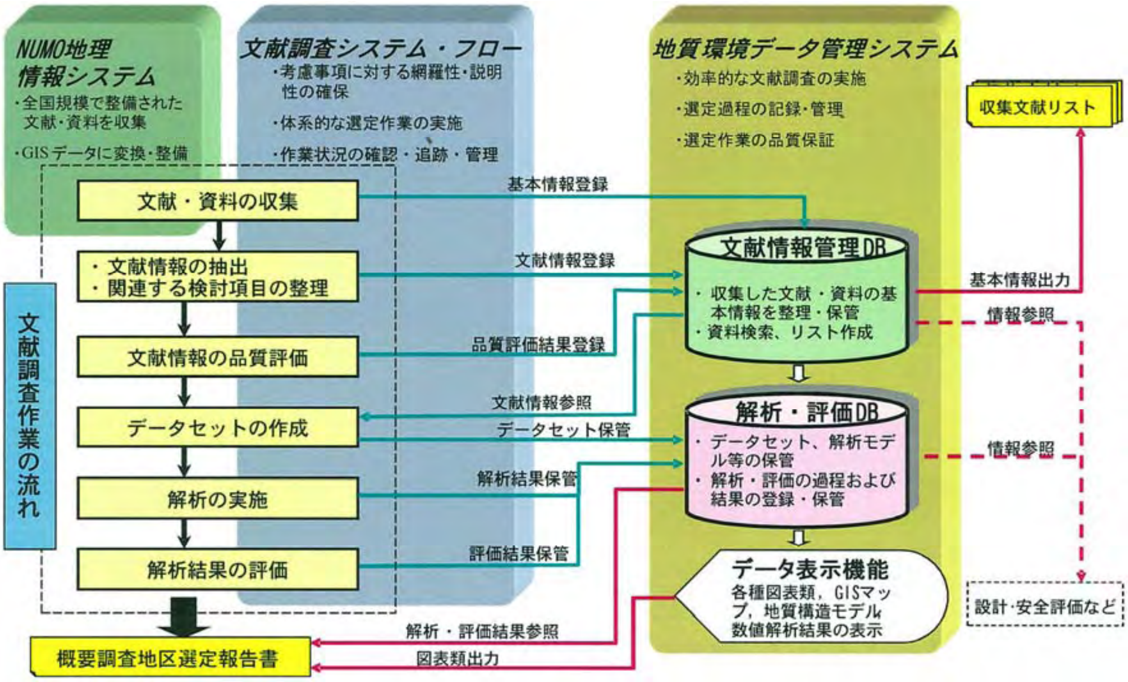


図 8.2.3-1 文献調査のための地質環境データ管理システムと支援ツールの概要
（図 5.2.4-1 の再掲）

地質環境データ管理システムは，地質環境情報の解析・評価作業を円滑に進めるためのシステムであり，地質環境情報を体系的に保管・管理するとともに，各分野の技術者が必要時に必要な情報を適切かつ網羅的に検索・抽出することが可能なシステムを目指している。

8.2.4　自然現象の影響にかかわる調査・評価

自然現象の長期的な影響にかかわる調査・評価を行う項目は，火山・火成活動，地震・断層活動ならびに隆起・侵食である。文献調査の範囲を対象とした個別の文献，そのほかの資料を詳細に分析・評価し，応募区域およびその周辺地域の法定要件に対する適格性を確認する。将来にわたり自然現象の影響が著しいと判断した場合には，そのような場所を含めないように概要調査地区を選定する（図 8.2.4-1）。また，評価結果を「文献調査に関する法定報告書」として取りまとめる（4.2.1.1 参照）。

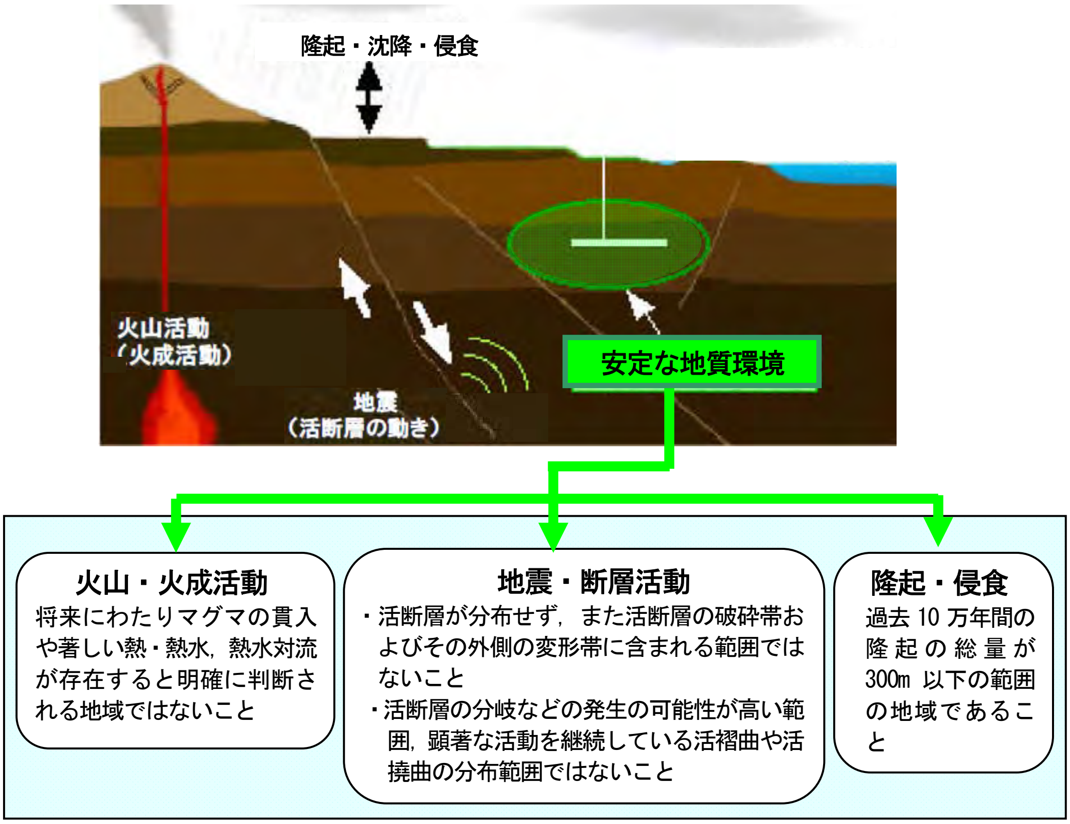


図 8.2.4-1 自然現象の著しい影響と概要調査地区選定上の考慮事項の関係
（JNC，1999a を編集）

8.2.4.1　火山・火成活動の調査・評価

火山・火成活動による地層処分システムへの長期的な影響としては，マグマの貫入・噴出による処分施設の直接的な破壊，熱・熱水による地質環境の変化（例えば，温度上昇，熱対流系の生成，地下水の化学特性など），および地質環境の変化に伴う人工バリアの性能低下などが挙げられる。

マグマの貫入・噴出に関する調査では，文献・資料の収集・整理から得られる情報，応募区域および周辺に分布する第四紀火山とその周辺を対象とした空中写真判読，リモートセンシングの情報などにより，火山地形，岩石学的特徴などの情報を収集する。それらの情報に基づいて，評価の対象とすべき応募区域周辺の第四紀火山を確認する。また，第四紀以前を含め可能な限り過去にさかのぼり活動履歴と発達過程を把握する。火山および周辺の地下構造，特に，地表からマントルまでの高温領域の分布に関する情報については，地球物理学，地球化学，測地学などの情報を収集して検討する（5.3.1.1 参照）。

熱・熱水に関する調査では，文献情報のほかに，空中写真判読，衛星画像解析などのリモートセンシング手法を用いて，変質帯の分布やその形成年代などに関する情報を取得する。地下深部の熱源の位置を検討するために必要な情報として，地震波速度構造や熱構造などに関する物理探査記録の再解析などを必要に応じて行う。また，現在の熱水賦存領域が応募区域の近傍に位置する場合には，必要に応じて数値解析により熱水対流系の評価を行い参考にする（5.3.1.1 参照）。

以上の検討により，火山・火成活動の著しい影響が明確に判断される場所を含めないように概要調査地区の候補となる地区を設定し，さらに，その地区が将来にわたり火山・火成活動の著しい影響を受ける場所でないことを確認した上で，概要調査地区として選定する。

8.2.4.2　地震・断層活動の調査・評価

地震・断層活動による地層処分システムへの長期的な影響としては，岩盤の破断・破砕に伴う処分施設や廃棄体の直接的破壊，小断層や節理の発生に伴う周辺岩盤の力学特性や水理特性の変化，地震動による地下施設や地上施設の破壊などが挙げられる。

文献調査では，文献・資料の収集・整理から得られる情報，空中写真や高解像度数値標高モデルを用いた地形判読，測地データの解析，地震観測記録の解析，物理探査記録の再解析などにより，応募区域およびその周辺の活断層，活褶曲や活撓曲の分布・活動性，変動地形の分布，震源分布に関する情報を取得する。また，火山・火成活動，隆起・侵食，地質・地質構造の情報を考慮し，地形・地質構造発達過程として総合的に取りまとめる。その上で活断層などの分布・活動性，活断層の幅およびその外側の変形帯の範囲について検討する（5.3.1.2 参照）。

以上の検討により，活断層の場所，活断層の幅（断層破砕帯）およびその外側の変形帯に含まれる範囲，活断層の分岐などの発生可能性が高い範囲，顕著な活動を継続している活褶曲や活撓曲の分布範囲に位置すると明確に判断される場所を含まないように概要調査地区を選定する。

8.2.4.3　隆起・侵食の調査・評価

隆起・侵食による地層処分システムへの長期的な影響としては，処分施設の地表への接近，それに伴う地下水の流動状況や地下水の化学環境の変化が挙げられる。

文献調査では，文献・資料の収集・整理から得られる情報，空中写真や高解像度数値標高モデルを用いた地形判読などにより，地形・地質情報を取得し，応募区域およびその周辺の隆起・沈降量やその分布，侵食量などを把握する。また，火山・火成活動（第四紀火山の分布など），地震・断層活動（活断層の分布など），地質・地質構造の情報を考慮し，地形・地質構造発達過程を検討する。それらの検討結果を踏まえ，必要に応じて内挿・外挿するなどして，応募区域およびその周辺の過去の隆起量（分布），侵食量（最大下刻量）を検討する（5.3.1.3 参照）。

以上の検討により，過去 10 万年間の隆起の総量が 300m を超えることが明らかな地域を含めないように概要調査地区を選定する。

8.2.5　第四紀の未固結堆積物ならびに鉱物資源に関する調査・評価

文献・資料の収集・整理，空中写真判読，衛星画像解析，地形判読のほか，既存の物理探査記録などの情報，さらに，処分施設を設置しようとする地層が第四紀の未固結堆積物である地域，その採掘が経済的に価値の高い鉱物資源が存在する地域を含まないことを確認して概要調査地区を選定する。

8.2.6　概要調査地区の選定

概要調査地区の選定のプロセスにおいては，まず，概要調査地区選定上の考慮事項への適格性を確認し，文献情報に基づいて概要調査地区と補足的に調査する範囲を設定する。また，概要調査地区の選定結果の妥当性を評価するために，国内外の専門家で構成する委員会を設置する（5.2.4 参照）。文献調査の結果は，「文献調査に関する法定報告書」として取りまとめ公表する。以下では，概要調査地区の選定の進め方について述べる。

8.2.6.1　概要調査地区選定上の考慮事項への適格性の確認

応募区域を含む概要調査地区を設定しようとする地区について，概要調査地区選定上の考慮事項への適格性を検討する。この段階においては，概要調査地区選定上の考慮事項と照らし合わせて，明らかに不適合な地域を除外する。

検討の結果については，国内外の専門家による委員会などを組織し，概要調査地区選定の科学技術的な妥当性を客観的に評価する（5.2.4 参照）。これらの結果は，「文献調査に関する法定報告書」として取りまとめる。

8.2.6.2　概要調査地区と補足的に調査する範囲の設定

文献調査の結果に基づいて，概要調査を実施する「概要調査地区」と「補足的に調査を行う範囲」からなる調査地区を設定する。概要調査地区は，応募区域およびその周辺の地域のうち，概要調査地区選定上の考慮事項に適合する範囲の中から選定する。この際，閉鎖後長期および事業期間中の安全確保の評価に必要な情報を取得できるように範囲を設定する（5.2.3 参照）。

概要調査地区の範囲は，文献調査の結果に基づき，将来の隆起・沈降および海水準変動と地下水流動系を考慮して設定する（5.2.3 参照）。

概要調査地区における自然現象の影響や地質環境特性をより詳細に評価するため，火山・火成活動，地震・断層活動，隆起・侵食などに関して，概要調査地区の周辺で補足的に調査を行う範囲を設定することが必要になる場合がある。調査範囲の設定の具体的な考え方については，5.2.3 に述べたとおりで，以下に示す事項を踏まえて補足的に調査を行う範囲を設定する。

・ 概要調査地区の評価に当たり，広域の地質・地質構造の分布や発達過程などを把握するため，概要調査地区およびその周辺の広い範囲における調査が必要となる場合がある。
・ 活断層や第四紀火山などが応募区域およびその周辺に存在する場合，これらを含めないように概要調査地区を設定するが，それらの影響が及ばないことを念のため確認するために調査が必要となる場合がある。
・ 隆起・侵食については，広域的な自然現象であるため，概要調査地区内においてそれらの評価が可能な海成段丘や河成段丘などが分布しない場合，概要調査地区の外に分布する海成段丘や河成段丘などの調査が必要となる場合がある。

以上のように，概要調査地区では，地質環境特性にかかわる調査・評価が主体となり，補足的に調査を行う範囲では，特に火山・火成活動，地震・断層活動，隆起・侵食などの自然現象の影響にかかわる調査・評価，広域の地質構造発達過程にかかわる調査が主体となる。このような考え方に基づき設定する概要調査地区，および補足的に調査する範囲のイメージを図 8.2.6-1 に示す。

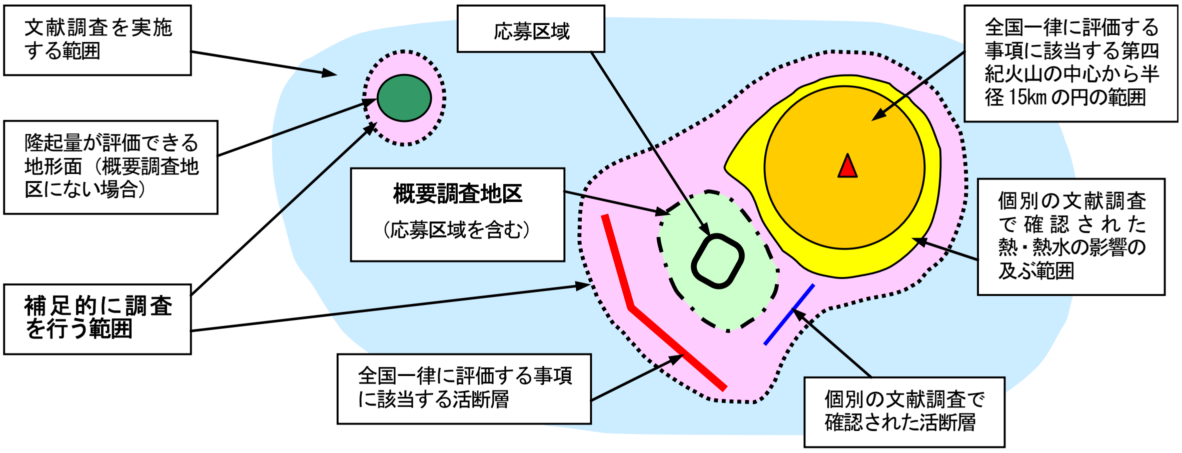


図 8.2.6-1 概要調査地区および補足的に調査する範囲の設定イメージ（図 5.2.3-4 の再掲）（公募の場合）（出典：NUMO, 2004b）

- 法定要件に該当する活断層や火成活動などに該当する範囲は，概要調査地区に含まない。
- 活断層や火成活動などに該当する範囲との位置関係，応募区域の大きさなどによっては，概要調査地区は応募区域より広くなるが，広がった部分は概要調査などを行うにとどめ，NUMO が処分施設建設地とすることはない。
- 概要調査地区の特性をより詳細に評価するため，概要調査地区の周辺でも補足的に調査を行うことがある。

8.2.6.3　文献調査に関する法定報告書の説明と概要調査の実施の判断

法定報告書については公告・縦覧し，関係都道府県内において，説明会を開催する。また，報告書の内容に対する意見の概要を取りまとめ，これについての NUMO の見解を作成する。ここまでに示したプロセスを経て，概要調査地区を選定する。

概要調査地区を選定後，NUMO は実施計画の変更を経済産業大臣に申請する。経済産業大臣は市町村長，都道府県知事の意見を聴取しこれを尊重する。さらに，原子力委員会および原子力安全委員会からも意見を聴取し，最終処分計画の改定を閣議決定する。経済産業大臣により実施計画の変更が承認され，概要調査地区選定のすべてのプロセスが完了することとなる。

8.2.7　地質環境特性の調査・評価

地質環境特性の評価は，この段階で構築する地質環境モデルを用いて行う。地質環境モデルは，地層処分にとって重要な地質環境特性である地下水流動特性，地下水化学特性，岩盤特性（物理特性，力学特性，熱特性），物質移行特性などを表現したモデルである（5.2.1 参照）。

地質環境モデルの構築は，まず，地質構造発達過程（地史）の検討に基づいた地質・地質構造の概念モデルを構築する。次に，地下水の水理・化学特性，岩盤の力学特性などの地質環境特性の空間的分布，現象・挙動，メカニズムなどを表現した概念モデルを文献情報に基づいて構築する。地質環境モデルは，概念モデルをベースとして，それぞれのモデルに関する情報を定量的に表現し可視化したモデルとして構築する（5.2.1 参照）。

地質環境モデルは，5.3.2 に述べたように既往の地質図幅などの地表付近の地質・地質構造に関する情報のほか，資源探査やトンネルなどから取得される地下深部の情報や既往のデータベースなどの文献・資料，空中写真判読，衛星画像解析などにより，地質・地質構造，岩盤の水理特性，地下水の化学特性，岩盤の物理・力学・熱特性，水文などに関する情報に基づいて構築する。

その際，5.3.1 に述べた自然現象にかかわる調査・評価の結果を踏まえ，地質構造発達過程を解釈し，古水理地質学的アプローチによる地質環境の変化の予測・評価も適用し，現在の地質環境の状態がどのように変化するか検討・評価する。特に,「地層の著しい変動」に該当しない程度の隆起・侵食による地形変化や，汎世界的な気候・海水準変動に伴う地下水流動状況の変化や地下水化学特性の変化，断層活動に伴う周辺岩盤の力学的変化や透水性の変化などについて検討する。

これらの情報に基づいて，付加的に評価する事項などの概要調査地区選定上の考慮事項（4.2.1.1 参照）に関する適格性を評価する。また，候補母岩の抽出，候補母岩の地質環境特性と地質構造発達過程（地史）を踏まえた地質環境特性の長期変遷についての評価など，処分場の概略検討，概略的な安全性の検討に用いる情報を整理する。

文献調査で取得される情報は，地表付近の情報が多く，地下深部の情報は限られたものとなる可能性が高い。このため，モデルを構築する際の解釈・推定結果に含まれる不確実性の種類やその大きさなどを特定することが重要となり，不確実性の程度に応じて，複数の地質環境モデルを設定する場合も考えられる。このため，地質環境モデルに含まれる不確実性の低減および施設設計や安全評価からの要求も考慮し，閉鎖後長期の安全性を確保する上で特に重要な構造・特性・現象を特定する。その上で，地質環境モデルを通じて概要調査において明らかにすべき事項，概要調査における構造・特性・現象に関するデータ取得の優先度などを明確にし，それらを概要調査計画に反映する。

8.2.8　処分場の概略検討

処分場の概略検討では，地質環境モデルに基づいて，これまで NUMO（2004a，2004c）や JNC（1999b）などで示している人工バリアや地下施設の設計の適用性を概略的に検討する。例えば，坑道の仕様などの設計を行う場合，この段階では，設計に必要な地下深部の岩盤の力学特性などの情報は限定的であると想定されることから，岩盤の種類に応じた簡易的な力学的安定性評価により，対象地域において掘削可能な坑道の大きさや深度を概略的に検討する。人工バリアについては，対象地域で安全機能が確保できることの見通しを確認するが，必要に応じて新たな工学的対策の追加検討を実施する（6.1.1 参照)。

また，概要調査計画や次段階の設計検討に反映するために，工学的成立性，経済性や建設工程などを含めた事業の成立性についても総合的な評価を行い，設計の観点から次段階の調査項目や設計課題を整理する。

8.2.9　処分場の安全性の概略検討

概要調査地区選定段階（文献調査の段階）においては，一般的に，地理，地形，地質構造といった情報が入手可能と考えられるものの，地質環境に関する情報が限定的であることから，天然バリアとしての母岩の性能の評価は概略的なものにとどまる。また，人工バリアについては，地質環境に関する情報が限定的であるため，保守性を重視した設計になると想定している。

このため，この段階の安全評価は，定量的な評価結果を得ることよりも，むしろ多重バリアシステムの各構成要素をどのように割り当てるかについての見通しを検討する。このためのアプローチとしては，既存のシナリオやモデル（例えば，JNC，1999c；電事連・JNC，2005）などに基づく感度解析が有効であり，安全評価の観点からの課題を調査や設計にフィードバックすべき因子を抽出する（7.1.7.1 参照)。

以上の処分場の概略検討（8.2.8 参照）と，処分場の安全性の概略検討に基づいて，文献調査に基づく処分場概念を構築する。また，その結果は，「文献情報に基づく処分場の概要」として取りまとめ公表する。

8.2.10　次段階の準備

概要調査地区の選定と並行して，次段階の準備として概要調査計画を策定する。概要調査では，地上からの調査（地表踏査，物理探査，ボーリング調査など）により，地層処分システムに著しい影響を及ぼす自然現象や地下深部の地質環境特性に関する情報と，適切な工学的対策や閉鎖後長期の安全性の評価に必要な情報を取得する。

文献調査の結果に基づく地質環境の理解は，文献情報の量や精度に依存することから，概要調査は，複数のフェーズに分けて行う段階的なアプローチにより実施する計画を策定する。これは，それぞれのフェーズまでに得られている情報に基づいて，次のフェーズの調査計画を見直すことで，合理的かつ効率的に概要調査ができると考えているためである。（図 8.2.10-1，5.2.3 参照）。

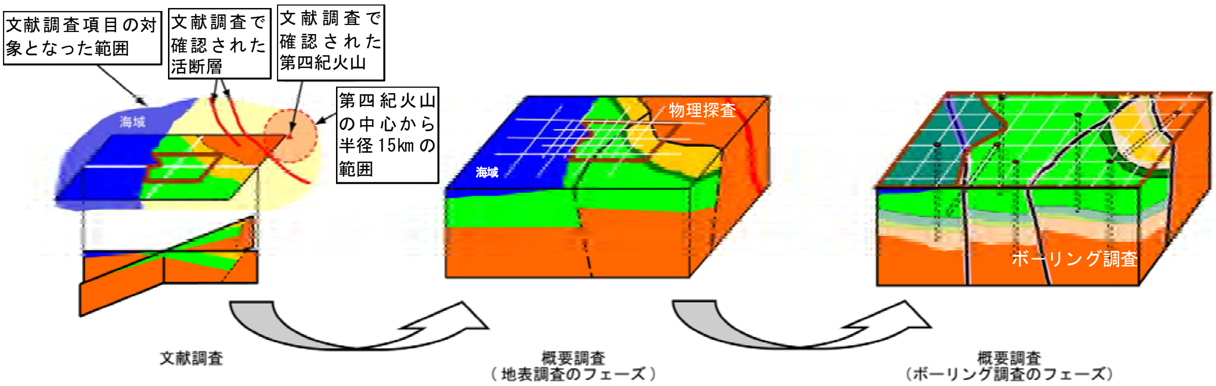


図 8.2.10-1 概要調査における段階的なアプローチのイメージ
（２フェーズの例：図 5.2.3-6 の再掲）

概要調査を合理的に進めるために段階的なアプローチを採用し，二つのフェーズ（地表調査のフェーズ，ボーリング調査のフェーズ）に区分した例を示す。

概要調査で実施する調査の項目については，文献調査の成果，およびこの段階までに準備される精密調査地区選定上の考慮事項に基づいて，地質環境の調査・評価，処分場の設計および安全評価の観点から必要な調査項目を設定する。

調査項目，調査数量，調査位置の設定などの調査計画の立案に際しては，文献情報に基づいた自然環境の長期的な影響にかかわる評価，地質環境特性の評価，処分場の概略検討，さら処分場の安全性の概略検討から，不確実性の要因とその重要度分析に基づいた具体的な調査目標を設定して計画を策定する。このためには，調査や，設計・安全評価に必要な調査データを効率的に取得することができるように準備を行っておく。具体的には，統合化データフローダイアグラム（原環センター，2007：図 8.2.10-2；三枝ほか，2007；太田ほか，2007；Ota et al.，2010）などの形で，調査データの取得，解釈から地質構造モデルの構築に至る一連のデータの関係や設計・安全評価の項目との関係について，あらかじめ連携する項目を明確化し調査データとその反映先を整理する（5.2.1 参照）。

この整理結果を活用して，調査・設計・安全評価に携わる技術者間の情報の共有化を図ることにより，効率的なデータの取得が可能となる。

概要調査計画は，計画立案手順を示した概要調査計画立案マニュアルに基づいて作成する（5.2.3 参照）。その基本的な考え方は，NUMO（2011a）に示している。また，個々の調査仕様の決定，実施計画の策定，調査の工程・品質・安全などの管理，さらに現地調査で想定される発生事象についての対策など，概要調査実施時に必要となる現場管理の方法や手順，管理上の留意点などを示した概要調査施工管理マニュアルを活用して概要調査を円滑に実施する（5.2.3 参照）。

概要調査では，地表踏査，資機材の運搬，トレンチ掘削，物理探査，ボーリング調査などを行う。このため，調査計画では，サイトの条件に応じた調査・試験時における一般労働安全の確保策を立案し調査計画に反映させる。また，NUMO は，サイト選定の早い段階から地域の環境に十分配慮する方針である。このため，概要調査計画では，現地調査・試験により環境に与える影響を回避・低減するための環境保全対策を立案し調査計画に反映させる。

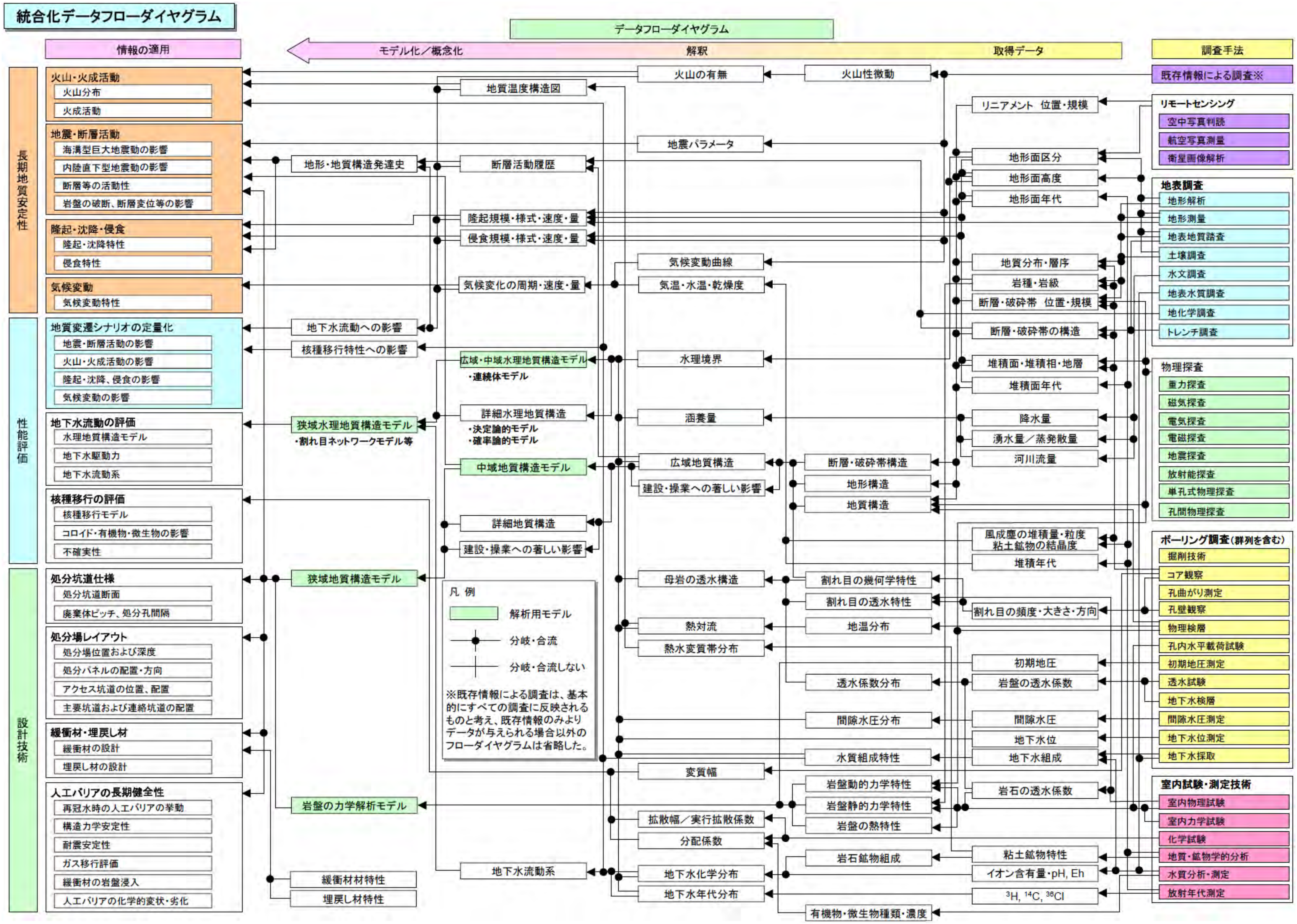


図 8.2.10-2 統合化データフローダイアグラム（図 5.2.1-3 の再掲）
（出典：原環センター, 2007）

8.3　精密調査地区選定段階における技術的な取り組みの概要

8.3.1　精密調査地区選定段階における安全確保の目標と実施事項

精密調査地区選定段階（概要調査の段階）では，事業目標を「精密調査地区選定」とし，また，安全確保の目標を「自然現象の著しい影響の回避」，「長期安全性確保の見通し」，「事業期間中の安全性確保の見通し」としている（4.2.1.2 参照）。また，具体的な目標達成にかかわる要件と成果として公表する安全確保にかかわる主要文書を以下に示す。

・本段階における事業目標	：精密調査地区選定
・安全確保にかかわる目標	：自然現象の著しい影響の回避 長期安全性確保の見通し 事業期間中の安全性確保の見通し
・目標達成にかかわる要件	：法定要件への適合性 精密調査地区選定の環境要件への適合性 安全審査基本指針への適合性 自主基準（考慮事項含む）への適合性
・安全確保にかかわる主要文書	：概要調査に関する法定報告書 概要調査に基づく概念設計と予備的安全評価に関する報告書

精密調査地区選定段階における実施事項のフローを図 8.3.1-1 に示す。

この段階で実施する主な事項としては，「安全確保ロードマップ（詳細版）」（表 4.1.2-2 参照）で示した以下の事項がある。

① 精密調査地区選定上の考慮事項への適格性の確認
② レファレンス処分場概念の構築
③ 処分施設建設地選定上の考慮事項の作成
④ 精密調査計画の作成
⑤ 安全審査基本指針への適合性の確認
⑥ セーフティケースの構築

概要調査は，調査の段階を複数のフェーズに分け，フェーズごとに調査結果を取りまとめ，次のフェーズの調査計画を見直して調査を行う段階的なアプローチにより実施する（5.2.3 参照）。調査のフェーズ設定は，一般土木構造物の建設にかかわる地質調査の事例，わが国の深地層の研究施設計画や諸外国の地層処分事業における調査などを勘案して，概要調査を地表調査のフェーズとボーリング調査のフェーズの 2 段階で実施する。

（i）地表調査のフェーズ

文献調査の評価結果を現地で確認して概要調査地区の地質環境の概要を把握すること，およびボーリング調査の計画立案に資する情報を取得することを目的として，地上からの地形・地質調査，物理探査（空中，地上，海上）などを実施するフェーズ。

（ｉｉ）**ボーリング調査のフェーズ**

地下深部のデータを取得することを目的とした深層ボーリング調査などを行うフェーズ。

概要調査では，法定要件に示された火山・火成活動，地震・断層活動，隆起・侵食といった自然現象による著しい影響の回避について，現地調査結果に基づいて判断する（5.3.1 参照）。また，概要調査地区の地質環境モデルを更新するとともに，地質環境の長期変遷についての検討を行う（5.3.2 参照）。

概要調査で更新された地質環境モデルに基づいて，三つの安全確保策（適切なサイト選定と確認，処分場の設計・施工などの適切な工学的対策，地層処分システムの長期安全性の評価）の連携による検討により，処分場を設置する候補母岩の選定および地上施設の概略の位置を設定する。選定した候補母岩を対象に，人工バリアの仕様や地上・地下施設の基本レイアウトを検討し，人工バリアの工学的成立性の確認，事業期間中の安全性（一般労働安全の確保，放射線安全の確保），周辺環境の保全策の検討，予備的な安全評価などの処分場の概念設計を行う。さらに，地質環境特性，事業期間中ならびに閉鎖後長期の安全性，経済性などの観点から総合的に判断した上で，処分場概念をレファレンス処分場概念として一つに絞り込む。この際に，この段階での不確実性を考慮し，一つに絞り込むことが適当でない場合には，複数のオプションを示すことも検討する。

上述の検討結果を踏まえ，精密調査地区選定上の考慮事項に基づいて精密調査地区を選定し，「概要調査に関する法定報告書」の作成，ならびに処分場の設計，事業期間中および閉鎖後長期の安全性などの評価結果を含む「概要調査に基づく概念設計と予備的安全評価に関する報告書」を取りまとめる。さらに，これらの報告書とその補足文書からなる文書群により，この段階のセーフティケースを構成し，ステークホルダーへの安全性の提示に利用する。また，次段階に向けて，処分施設建設地選定上の考慮事項を作成して公表し，これに基づき精密調査計画の立案を行う。

なお，次段階の後半に予定している地下調査施設の建設が地質環境や周辺環境に擾乱を及ぼす可能性があることに配慮し，影響を受ける前の状態を把握するためのモニタリングを必要に応じてこの段階から開始する。

この段階の安全確保策の連携のポイントは，以下に示すとおりである。

- ボーリング調査のフェーズの概要調査計画の更新
- 地質環境モデルの構築
- 候補母岩の選定
- 精密調査地区選定上の考慮事項への適格性の確認
- レファレンス処分場概念の構築
- 精密調査計画の策定

これらの項目の実施に当たっては，三つの分野で情報を共有しながら，必要に応じてフィードバックし業務を実施する。例えば，候補母岩の選定では，地質環境の調査・評価で作成した地質環境モデルを分野間での共有のインターフェースとして利用し，処分場の設計や閉鎖後長期の安全確保の観点から適切な岩盤を選定する（8.3.5 参照）。また，処分場の概念設計に際しては，設計の妥当性を検討するために，性能評価検討を実施し，設計に反映するなど，多くの実施項目で連携が重要となる（8.3.6.3 参照）。

なお，以下に示す実施項目と関連する技術および検討事項の関係を参考資料に示す。

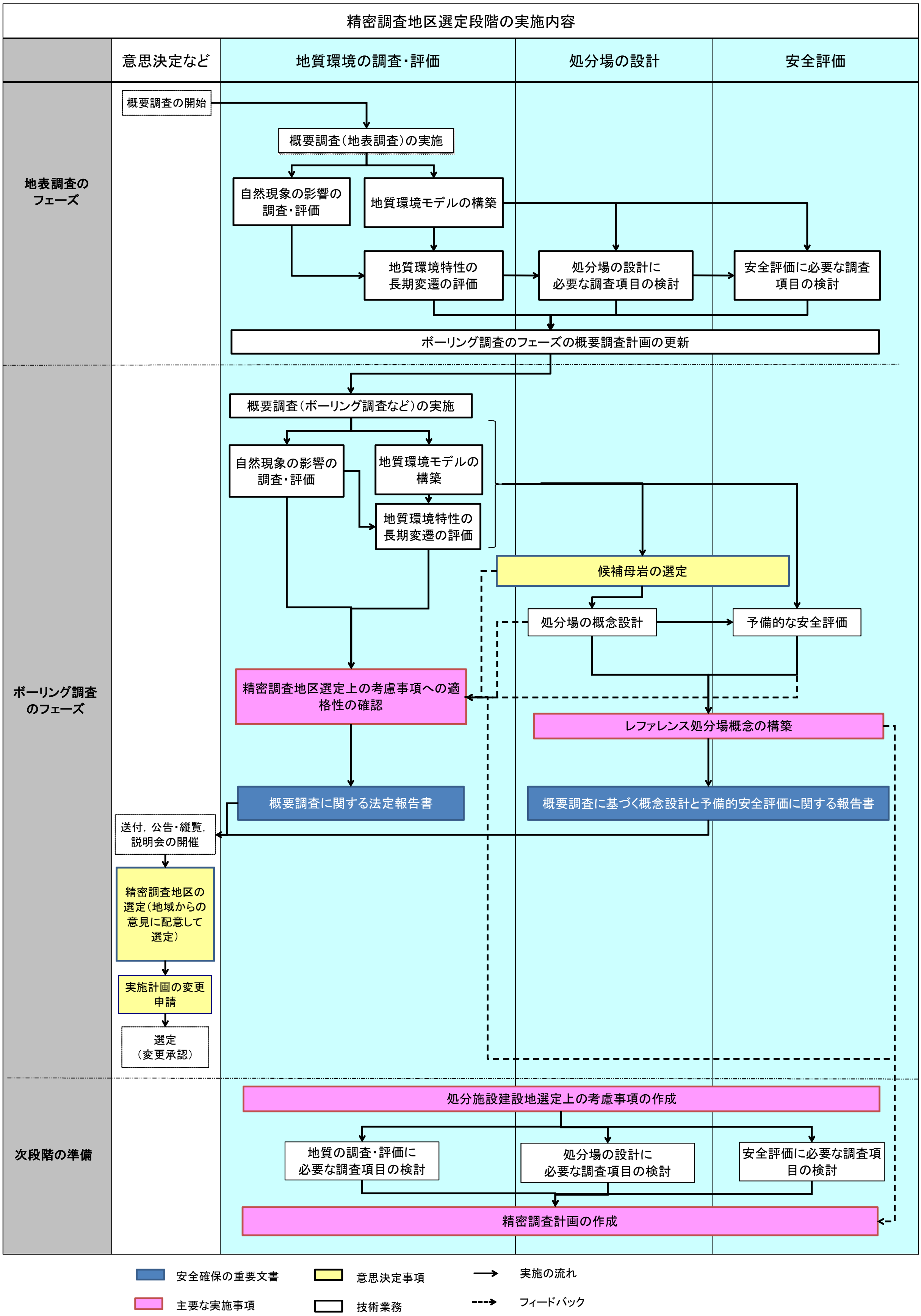


図 8.3.1-1 精密調査地区選定段階における実施事項フロー図

8.3.2　概要調査の実施

地質環境の調査は，地表調査のフェーズとボーリング調査のフェーズの 2 段階で実施する計画である。また，現地調査の実施に際しては，概要調査計画で策定した一般労働安全の確保策，環境保全対策に基づいて調査業務を行うとともに，現場の状況に応じてこれらの対策を適宜改善して，一般労働安全および環境保全を図る。

8.3.2.1　地表調査のフェーズにおける調査の実施および概要調査計画の更新

地表調査のフェーズの目的は以下に示すとおりである。

- 文献調査に基づく地質環境の評価結果を現地調査により確認し，その信頼性を向上させる。
- 自然現象の影響の評価，地質環境の長期変遷の評価，地質環境モデルの作成など，地質環境特性の概要を把握するための調査項目を設定し，また，設計や安全評価の観点からも必要な調査項目を抽出して次フェーズの調査計画を更新する。

このフェーズでは，主に地表踏査，物理探査（空中，地上，海上），トレンチ調査，浅層ボーリング，地表で採取する岩石や河川水などの室内試験・分析，さらに水文に関する調査・観測などを実施する（5.3.1，5.3.2 参照）。なお，物理探査結果の解釈などに利用するため，深層ボーリングをこのフェーズから実施するなど，調査の進展や地質環境の理解に応じて，適宜，調査計画を見直す柔軟な対応を行い，合理的かつ効率的に調査を実施することを基本とする。また，地表調査により得られた情報は，適宜，処分場の設計や安全評価の検討にも反映し，これらの業務の実施に必要な調査項目について検討した結果をボーリング調査の計画に反映する。

次に，地表調査の結果の取りまとめと評価に基づき，ボーリング調査のフェーズの調査計画を更新する。ボーリング調査のフェーズのその主な目的は，前フェーズで認識された不確実性を低減することであり，さらに以下に示す目的が達成できるよう概要調査計画を更新する（5.3.1, 5.3.2 参照）。

- 地表調査では取得できなかった地下深部のデータを取得し，火山・火成活動，地震・断層活動，隆起・侵食に関する評価を行い，自然現象の著しい影響の回避について判断する。
- 地表の詳細な地質環境の情報および物理探査結果と，ボーリング調査で得られる地下深部の情報を統合して地質環境モデルを更新する。
- 地質構造発達過程，自然現象の影響ならびに地質環境モデルに基づき，地質環境の長期変遷についての評価を行う。
- 処分場の設計や閉鎖後長期の安全性に大きな影響を及ぼすと考えられる地質環境特性や地質環境の長期変遷にかかわる不確実性について，設計，安全評価と連携した評価を行う。

概要調査計画の更新では，ボーリング調査の位置や調査の仕様（深度，試験項目，数量など）などの具体的な内容を含むものとする。調査計画の更新に際しては，地質環境モデルの構築にかかわる情報（地質構造，熱特性，力学場，地下水流動特性，化学特性など），処分場の設計や安全評価に必要な地質環境の長期安定性に関する情報が確実に得られるような計画を策定する。また，ボーリング孔の効率的な利用として，初期ベースラインを理解するために実施するモニタリング孔（水位，水圧，水質など）としての利用も念頭においた計画を策定する（4.2.1 参照）。

8.3.2.2　ボーリング調査のフェーズにおける調査

ボーリング調査のフェーズでは,前フェーズで認識された不確実性を低減することを目的として,地下深部の地質環境特性に関するデータを取得する。また，自然現象および地質環境の形成のメカニズムやプロセスに関する情報を取得する。

ボーリング調査の実施に際しては，調査の進捗で得られる情報を前フェーズまでの地質環境モデルに反映し，取得データやモデルの妥当性をサイトの地質環境，施設設計，安全評価の観点から適宜評価して問題点や課題の抽出に努める。また，調査の過程で問題点や課題が認識された場合は，その影響の大きさを検討する。検討の結果，影響が大きいと判断した場合は，ボーリング深度の変更，新たなボーリングや調査・試験の追加実施などの柔軟な対応を行うことを基本して調査を実施する。

8.3.2.3　概要調査における一般労働安全の確保と環境保全策

概要調査における一般労働安全の確保策は，地表からの調査やボーリング調査などの現地の調査を実施する際に想定される発生事象を，人的災害にかかわる事項と技術的な不具合いにかかわる事項に分類し，各作業のリスクレベル，低減措置，残存リスク発生時の対策を立案する（5.4.2 参照）。

環境保全対策の考え方は，3.2.2 および 6.2.3 に示したとおりであり，大気環境，水環境ならびに土壌環境などの良好な状態の保持，生物多様性の確保，自然環境の体系的保全，環境への負荷の低減などを基本的な考え方とする。概要調査の実施による環境影響については，文献調査で得られた自然環境や社会環境の情報や調査の内容に応じて,表 8.3.2-1 に示す評価項目を考慮するとともに,環境モニタリングを含めた適切な環境保全対策を立案する（NUMO，2004a）。

表 8.3.2-1 概要調査の実施に伴い考慮の可能性がある環境影響評価項目の例
（NUMO，2004a を一部修正）

概要調査における影響要因	環境影響評価項目例
トレンチ掘削	地下水，動植物への影響
ボーリング孔の掘削，孔内試験など	地下水への影響
やぐらの設置（資材などの輸送，掘削作業，保孔，ボーリングやぐらの存在）	動植物への影響
空中物理探査	ヘリコプターの騒音などによる家畜などへの影響
地表／海上物理探査（火薬や規模の大きな起振方法の場合）	地域住民，生物への影響
林道工事などの樹木伐採	動植物への影響

8.3.3　自然現象の影響にかかわる調査・評価

概要調査の結果に基づき,精密調査地区選定上の考慮事項の法定要件に示された火山･火成活動,地震・断層活動，隆起・侵食による地層の著しい変動が長期間生じてないことを確認する（5.3.1 参照）。その上で，自然現象の著しい影響の回避についての判断を行い，「概要調査に関する法定報告書」を作成する。

8.3.3.1　火山・火成活動の調査・評価

応募区域の近傍に第四紀火山あるいはマグマが存在する可能性がある場合は，物理探査，地表踏査（年代測定，地化学分析を含む）などの調査により，第四紀火山の火山層序の認定，活動履歴などの時代変遷の検討を行う。さらに温度プロファイル，岩石の年代・化学組成，温泉水や地下水の化学組成，同位体成分などのデータ，地球物理学的手法による調査結果などを総合的に評価して，マグマ供給系の基本単位としての個々の第四紀火山を認定する。

また，変質帯の分布・性状，地質・地質構造や火山との関連について検討し，変質鉱物や変質帯形成にかかわった熱水系の性状（温度，泉質など）を検討する。

ボーリング調査と地表からの調査により取得した情報に基づき，概要調査地区ならびにその周辺地域の第四紀の火山・火成活動や地下のマグマの存在について検討する。また，温度プロファイルや採取した地下水の遊離ガスや溶存ガスの同位体比測定などの地球化学的手法，さらに地球物理学的手法（地震波速度構造解析や比抵抗構造解析）などを組み合わせた調査・評価により，応募区域ならびにその周辺の第四紀火山や熱水賦存領域の存在について検討する。

これらの結果は，地質環境の評価や予備的な安全評価のための情報となる。

8.3.3.2　地震・断層活動の調査・評価

地上からの調査では，活断層，活褶曲および活撓曲の分布・活動性，活断層の幅およびその外側の変形帯の範囲などの文献調査結果を，地表踏査（地形，地質），物理探査，トレンチ調査などで確認する。また，海域に分布する活断層などが検討の対象となる場合には，音響測深やサイドスキャンソナーなどの海底地形測量，海上音波探査などの物理探査，ピストンコアなどの海底試料採取などを実施する。なお，この段階では，地震・断層活動の評価のための観測設備（微小地震観測設備など）を必要に応じて設置して，情報を取得する場合もある。

また，地表からの調査やボーリング調査で新たに確認された断層・破砕帯については，取得された情報に基づき，①分布・性状の確認（活断層と明確に判断される断層との比較を含む），②断層系のグルーピング，③各断層系の形成順序の検討，④活動性の評価を行い，概要調査地区内の活断層の存否について確認する。

調査により取得した情報，さらに火山・火成活動，隆起・侵食，地質・地質構造の情報を考慮し，地形・地質構造発達過程として総合的な取りまとめを行い，活断層などの幅およびその外側の変形帯に含まれる範囲，活断層の分岐などの発生の可能性が高い範囲を特定する。その際には，震源分布に関する情報と，地形判読や測地データの解析，物理探査などの調査結果を総合的に検討して評価する（5.3.1 参照）。

以上の検討により，応募区域の中から，活断層，活褶曲および活撓曲による影響の及ばない場所を評価し，予備的な安全評価のための情報とする。

8.3.3.3　隆起・侵食の調査・評価

地上からの調査では，海成・河成段丘や空中写真などから得られた文献調査結果を確認する調査を行う。隆起量や侵食量の指標となる段丘面の構成層やその形成年代に関する情報を，地形測量，地形解析や年代測定などにより取得する。また，隆起量や侵食量の指標となる地形面上，または最終氷期以降の堆積物の分布域においてボーリング調査を実施した場合には，堆積物の分布，形成年代，堆積環境などの隆起量，侵食量の指標となる情報を取得する。

ボーリング調査結果と前段階までの情報を統合して，隆起運動の背景にある地質構造発達過程を検討する。これらの結果に基づき，地形・地質構造発達過程や隆起・沈降量を再評価し，さらに地質構造発達過程を外挿することにより将来の隆起・沈降量を予測する。

一方，侵食については，最終氷期以降の堆積物の厚さを最終氷期の侵食深さの指標とみなせることから，これを把握するための物理探査，ボーリング調査を必要に応じて実施する。これらの調査により取得された情報と，隆起・侵食にかかわる情報に基づき，最大下刻量の評価を行い，地形変化予測モデルなどにより将来の侵食量を評価する（5.3.1 参照）。

これらの結果は，地質環境の評価や予備的な安全評価のための情報とする。

8.3.4　地質環境特性の調査・評価

地質環境特性の評価は，まず，前段階までに構築した地質構造発達過程（地史）の妥当性の確認，地質構造，地下水の水理・化学特性，岩盤の力学特性など地質環境の概念モデル（5.2.1 参照）を概要調査結果に基づいて更新する。その際には，それぞれの概念モデル間の整合性が図られていることを確認する。その次に，先の概念モデルをベースとして，地表の詳細な情報と物理探査結果，ボーリング調査で得られた地下の情報を定量的に表現し可視化した地質構造モデル，水理地質構造モデル，地下水の地化学特性モデル，岩盤特性モデルなどの地質環境モデルを構築し，地質環境特性の評価を行う（5.2.1 参照）。

地質環境モデルは，調査により得られた岩種・岩相，層序，割れ目分布，破砕性状，風化・変質の程度などの地質学的な情報に基づいて，地質構造要素（岩体または地層，断層など面構造など）の分類・特徴付けを行い構築する地質構造モデルをベースとして，水理地質構造，地下水の地化学特性，岩盤特性などのモデルを構築する（図 8.3.4-1）。また，それぞれの地質環境モデルは，直接取得したデータ，データの解釈，解析結果と計測データの比較，さらにデータや解釈の不確実性の評価などのモデルの妥当性の確認を経て構築する。例えば，地下水流動解析や密度流解析により得られた塩分濃度分布と実測データとの比較を行い，モデル間の整合性や妥当性を確認する。また，解析と実測データとの整合性が確認できない場合には，解析に用いた境界条件や，透水係数分布の設定などを検討して，差異の要因を特定し，追加的な調査の実施や次段階の調査計画の策定に反映する。

地質環境モデルの構築では，モデルの不確実性に応じて複数の地質構造モデルを設定する場合や，地質環境特性のデータに不確実性の情報（例えば，データのばらつきの幅や統計的な評価結果など）を加えることにより，地質環境モデルの不確実性を表現する。例えば，岩盤の力学特性（割れ目や層理面，劈開面などの岩盤分離面の分布頻度や方向など）の空間的な広がりに起因した不確実性が大きな場合には，岩盤の力学特性モデル（岩盤の物理・力学的物性値のデータセット）を複数設定することも考えられる。

また，地質環境特性の長期的な変遷については，5.3.1 に述べた自然現象にかかわる調査・評価の結果，地質構造発達過程や古水理地質学的アプローチによる地質環境の変化の予測・評価，例えば，堆積岩中に存在し，その生成と変遷に関連した地下水の性状などを踏まえ，現在の地質環境の状態がどのように変化するかというような検討を行い評価する。特に，「地層の著しい変動」に該当しない程度の隆起・侵食による地形変化や，汎世界的な気候・海水準変動，断層活動による地域的な隆起・沈降による変動によって生じる塩淡境界の移動や動水勾配の変化に対しても，それがどのように地下水流動特性や地下深部の地球化学的環境に影響するか，さらに，これらが周辺岩盤の力学的

変化や透水性にどのように影響するかなどについて検討する。

上述のようにこの段階に構築した地質環境の概念モデルや地質環境モデルは，概要調査地区の地質環境の理解を深め，処分場を設置する候補母岩の選定，人工バリアの概念設計，処分場の基本レイアウトの設定，予備的な安全評価などの処分場概念の構築や，次段階の調査計画を策定する際の判断材料として利用する。また，施設設計および安全評価で利用する各種パラメータの適用性，モデルに内在する不確実性やデータの信頼性を NUMO 内の技術者間で共有するためのツールとして用いる。

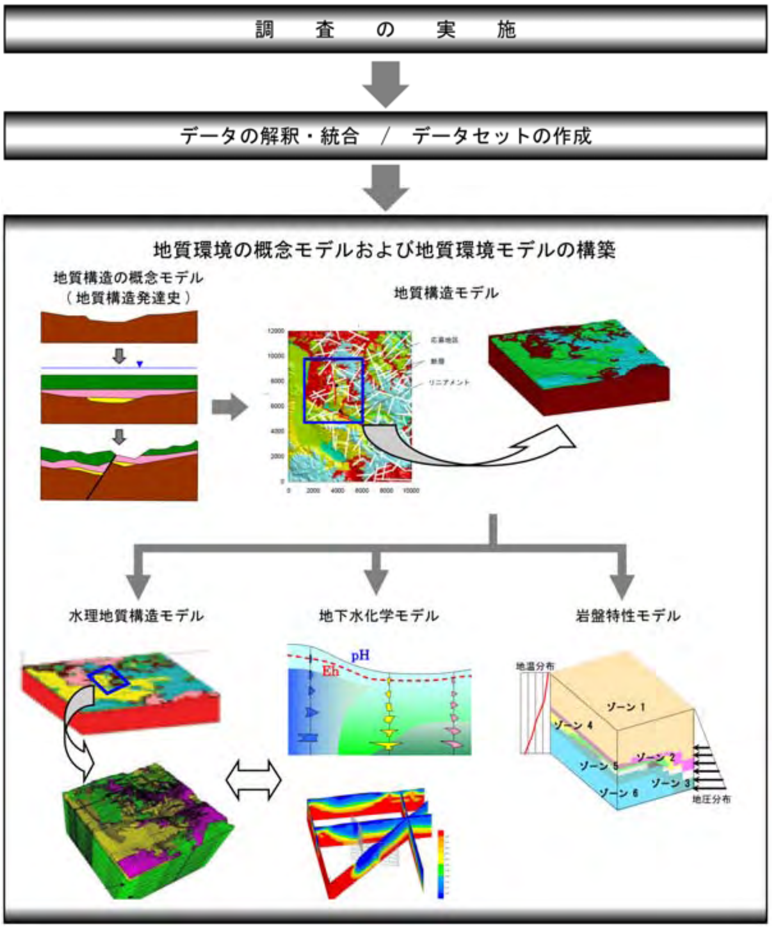


図 8.3.4-1 地質環境モデル構築の流れ（イメージ）（図 5.2.1-1 の再掲）

各段階の調査により取得された情報に基づき地質環境の概念モデルを構築し，それをベースとして，地質環境の各特性の分布や性状を定量的に可視化した地質環境モデルを構築する。

8.3.5　候補母岩の選定

地質環境モデルや地質環境の長期変遷に関する情報に基づいて，候補母岩の適性を評価する。なお，複数の母岩が候補となる場合には，それぞれの母岩について評価を行う。候補母岩の適性は，表 8.3.5-1 に示した項目に基づいて評価し，母岩としての適性の見通しがあると判断された岩体の中から，次段階の地下調査施設を建設する候補母岩を選定する。その際には，地下深部の地質や断層の空間的な分布などの地質環境特性のデータがもつ不確実性を考慮する。

候補母岩の評価は，天然バリアとして求められる安全機能（6.2.2 参照），廃棄体および人工バリアの設置環境として好ましい処分環境の条件（6.2.2 参照），ならびに所定量の廃棄体を収容できる岩体の広がり（処分場の収容性），工程・経済性などの地層処分事業の成立性の観点から評価を行う（表 8.3.5-1）。なお，候補母岩は上述の条件を満たすのであれば，複数の地層や岩体を選択する可能性もある。以上のように，母岩としての適性を有する地層（または岩体）を候補母岩として選定する。

表 8.3.5-1 地下施設設置位置の設定のための評価項目例（表 6.3.3-1 の再掲）

評価項目	評価指標の例	評価に必要な情報
【熱環境】 閉鎖後の処分場の温度が低いこと	廃棄体の発熱量と岩盤特性に基づく廃棄体専有面積や温度の経時変化	岩盤特性モデル，廃棄体の発熱量，地温勾配，岩盤の熱特性など
【力学場】 坑道の力学的安定性が確保できるとともに，閉鎖後の処分場とその周辺の力学場が人工バリアの安定性に適していること	岩盤特性に基づく坑道離間距離や支保の仕様	岩盤特性モデル，初期地圧，側圧比，岩盤の力学特性，地山強度比など
【水理場】 閉鎖後の処分場とその周辺の地下水流束が小さく，緩慢であること	地下水移行経路長，地下水移行時間など	水理地質構造モデル，地質環境の長期変遷評価結果，動水勾配，地温勾配，地下水組成，透水係数，有効間隙率，地下水流向
【化学環境】 閉鎖後の処分場とその周辺の化学的な環境が放射性物質の難溶解性と人工バリアの安定性に適していること	地下水化学特性に基づく人工バリアの長期挙動	地下水化学モデル，酸化還元電位，地下水の pH，地下水組成，鉱物組成など
【母岩の広がり】 処分場を収容できる面積（容積）を有するとともに，処分パネルを効率的に配置できる形状を有すること	処分場の規模，処分パネルの数・形状	地質構造モデル，母岩の空間的な広がり，断層・破砕帯の分布など
【工程・経済性など】 工程確保の見通しがあるとともに，経済性が確保されること	建設工程，操業工程，建設費の概算結果など	アクセス坑道の延長距離，処分形態や処分坑道断面の仮設定情報

候補母岩の抽出から候補母岩の選定，ならびに処分場設置可能領域の設定までの手順を図 8.3.5-1 に示す。処分場設置可能領域は，次段階に建設する地下調査施設の位置を設定するために，地下施設の概略的な位置を検討するために候補母岩中に設定する。まず，先に選定した候補母岩に対して，熱環境と力学場の評価から制約条件となる処分場設置可能深度を設定する。次に，水理場および地下水の化学環境に基づく核種移行抑制の観点から，相対的に好ましい条件の領域を抽出する。また，地質環境に応じた工学的対策の効果や実現性を評価して，その領域の岩体の広がりや地上施設との位置関係（アクセス坑道の延長距離）などの工程・経済性に関する評価項目を加えた総合的な評価により，処分場設置可能領域を設定する。

なお，以上で述べた候補母岩の評価の基本的な考え方は，サイト調査・評価の進展や得られた情報の質や量に併せて必要な検討事項を追加するなど，実際の事業の進展に併せて改訂する。

以下では，具体的な候補母岩の選定の方法について，評価の手順の例を示す。

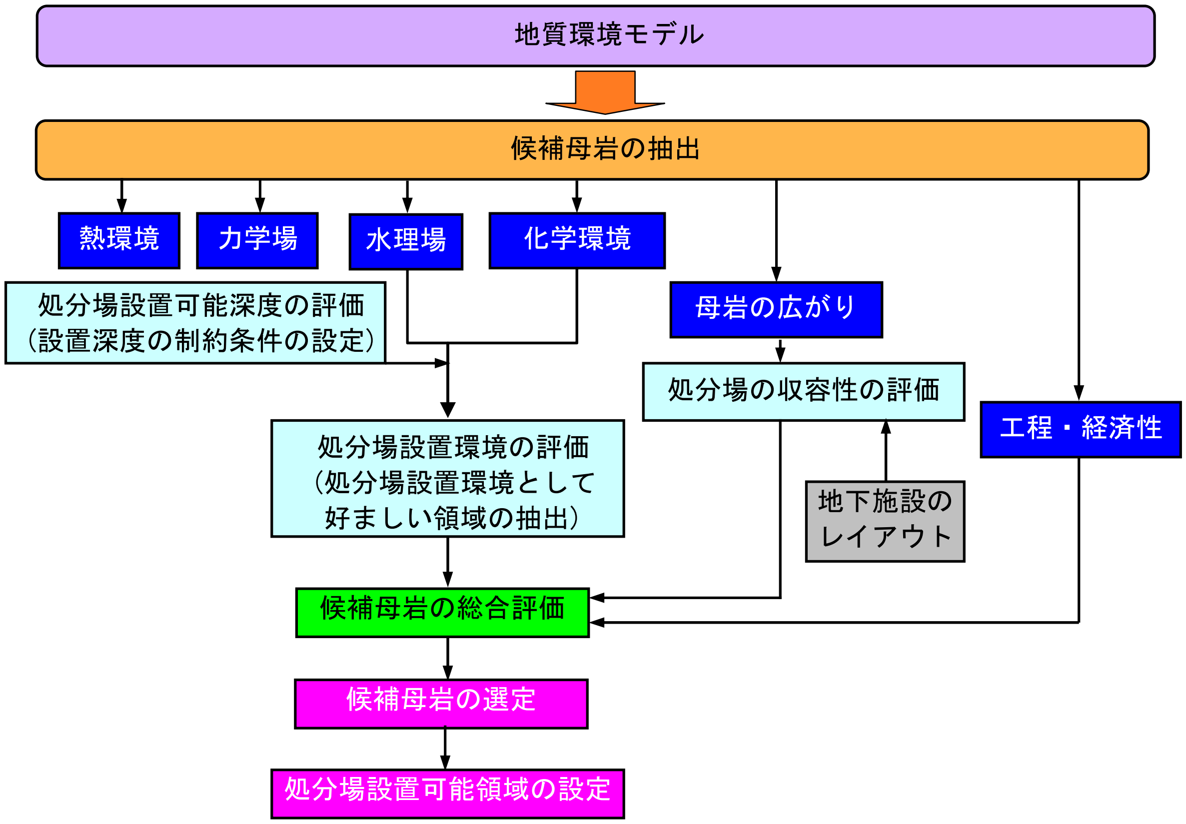
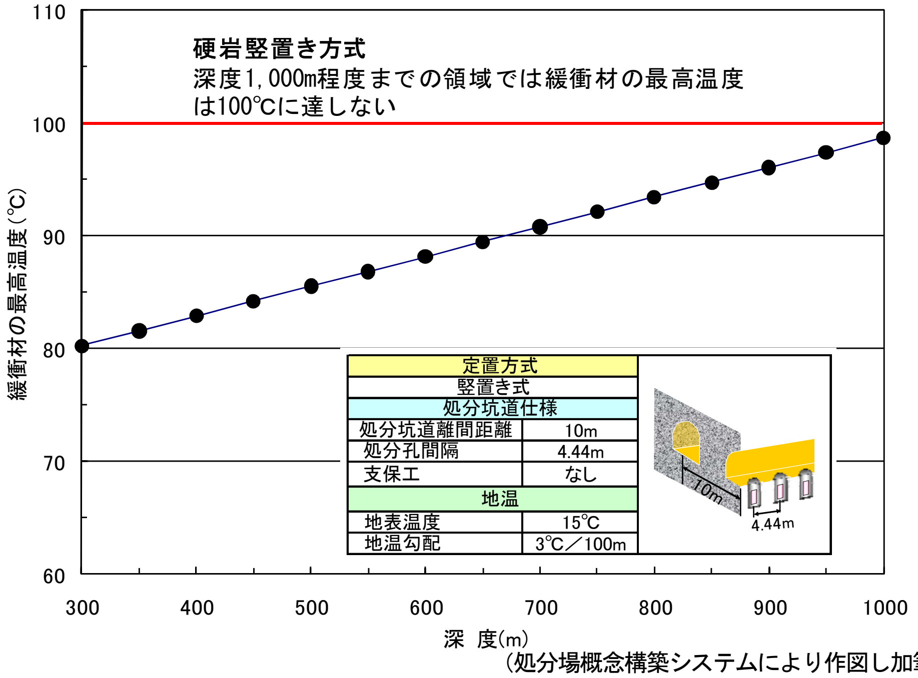


図 8.3.5-1 候補母岩の選定ならびに処分場設置可能領域の設定の流れ

8.3.5.1 熱環境の評価

熱環境の評価は，岩盤特性モデルで示される地温勾配に基づいた地温の深度方向の分布と母岩の熱特性（比熱，熱伝導率など），さらに処分坑道間隔と廃棄体の間隔で規定される廃棄体の専有面積（6.3.3 参照）を考慮して，深度に応じた緩衝材の最高温度を熱解析により評価を行う（図 8.3.5-2）。

熱環境は，閉鎖後の処分場の温度が低いことが望ましく，廃棄体の発熱量と岩盤特性に基づく廃棄体専有面積や温度の経時変化などが評価指標として考えられる。処分場概念構築の制約条件となる地下施設の設置可能深度は，緩衝材の最高温度が 100℃未満となる深度を目安として設定する（6.3.3 参照）。



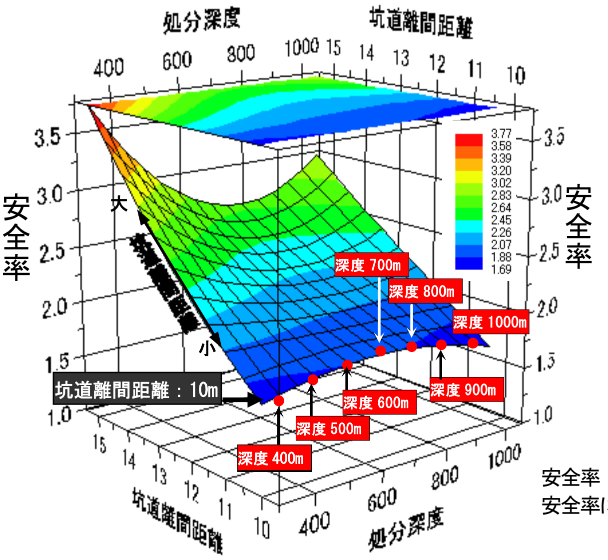
(処分場概念構築システムにより作図し加筆)

図 8.3.5-2 処分深度と緩衝材最高温度の関係の例示

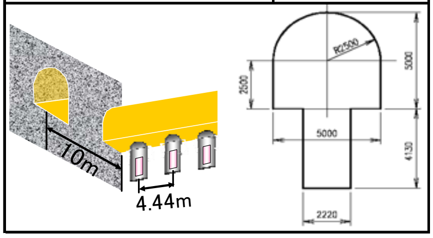
硬岩系岩盤を母岩としたケースを想定し，竪置き方式，地表温度を 15℃，地温勾配を 3℃/100m と設定して，緩衝材の最高温度(オーバーパックとの境界部)と深度の関係を示したものである。この図で示した深度 1,000m 程度以浅の領域では，緩衝材の最高温度は 100℃以下となり，この深度までの領域が処分場の設置可能深度と判断できる。

8.3.5.2　力学場の評価

力学場の評価は，岩盤特性モデルで示される岩盤の力学特性と岩盤の応力状態などの岩盤特性に基づいて，合理的な支保工の適用性を考慮した坑道の力学的安定性の確認，ならびに閉鎖後の処分場とその周辺の力学場が人工バリアの安定性に適していることについて評価を行う。力学場の評価指標としては，坑道の力学的安定性が確保できる合理的な坑道離間距離や支保の仕様の設定などが考えられる。坑道の力学的安定性は，岩盤の最大せん断ひずみ，局所安全率，支保工の応力度などを指標として評価する（図 8.3.5-3，6.3.3 参照）。処分場の設置可能深度は，熱環境への対応と併せて，成立可能な処分坑道の規模・形状，離間距離などの処分方式のオプションによる工学的対策を考慮した上で設定する。



定置方式	
竪置き式	
処分坑道仕様	
処分坑道離間距離	10m
処分孔間隔	4.44m
支保工	なし



安全率：処分坑道間の岩盤の局所安全率
安全率に関する指標：処分坑道間に局所安全率 1.5 を上回る領域が確保されていること

(処分場概念構築システムにより作図(左), 加筆)

図 8.3.5-3 深度と坑道安定性（局所安全率）の関係の例示

硬岩系岩盤を母岩としたケースを想定し，坑道間の岩盤の局所安全率を評価指標とした力学的安定性の評価結果を例示した。ここで示したケースでは，深度 1,000m 程度までの範囲で坑道の力学的安定性があると判断できる。

8.3.5.3　水理場の評価

水理場の評価は，水理特性を考慮する上で重要な地質環境の特性（岩盤の透水性の三次元的な分布）などの情報を含む水理地質構造モデルに基づいて行う。水理場は，工学的対策が過剰とならないよう地下水の動きが緩慢で流量の小さいことが好ましい。評価指標としては，放射性物質の移行抑制の観点から，地下水の流速や移行時間などが考えられる（6.3.3 参照）。このため，地下水の流動特性に影響を及ぼす要因となる地質構造（例えば断層や割れ目帯の分布），水理特性（透水係数，透水量係数，有効空隙率など）の分布を把握し，地下水の流動解析により水理場を評価する。

わが国の地形・地質の基本的な分類（5.1.2 参照）のうち，沿岸域の堆積岩分布地域を例に，水理場に影響を与える地質環境を図 8.3.5-4 に示す。地質構造は先新第三紀堆積岩（硬岩系岩盤）を基盤として，その上部に新第三紀堆積岩（軟岩系岩盤）が分布するものとした。例えば，地下水の流れ（青い矢印）に影響を与える地質環境の特性としては，地形，汀線の位置，岩盤の水理特性，断層の分布と水理特性，地下水の化学的特性（塩淡境界の分布）などが考えられる。また，周期的な海水準変動の影響による塩淡境界の移動を考慮した地下水流動解析により，水理場を評価する必要がある（6.5.1 参照）。

地下水流動解析では，複数の解析ケースを設定し，解析結果と概要調査によって得られた地下水流動に関するデータ（間隙水圧や塩分濃度の分布など）との整合性を確認して，モデルならびに設定したデータの妥当性を検証する（尾上ほか，2007）。

ボーリング調査で得られる情報が質・量において不十分である場合には，次段階の調査の結果も併せてその影響を評価することを基本とする。また，この段階で得られる母岩や断層の水理特性の不確実性に基づいた工学的対策の検討や感度解析などを実施して，安全評価結果に及ぼす影響が大きいデータの絞り込みや重要度の検討を行い，次段階の調査計画に反映する。

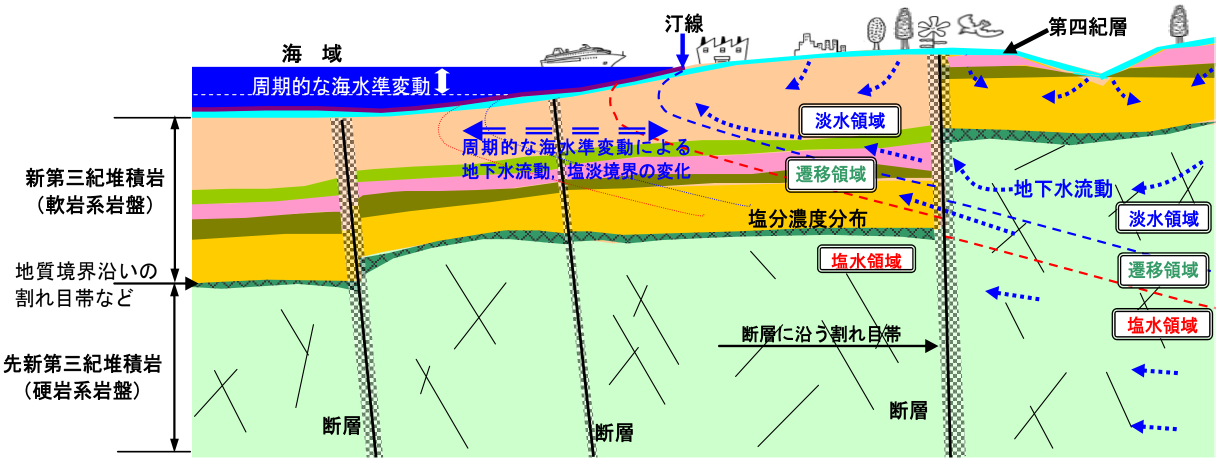


図 8.3.5-4 水理場の評価において考慮する地質環境の概念図

8.3.5.4　化学環境の評価

化学環境の評価は，地下水の化学的な特性（地下水の pH，酸化還元電位，地下水組成，鉱物組成など）の情報を含む地下水化学モデルに基づいて行う。評価指標としては，工学的対策の検討や性能評価の結果に基づいて，対象とする地質環境における放射性物質の溶解度特性（放射性物質の溶解度を低く維持し，移行を抑制する機能）や，緩衝材や母岩の収着特性，ならびに人工バリアの安全機能の長期的な維持（人工バリアの長期挙動）などが考えられる。

地下水の化学環境は，地下水と岩石の相互的な化学作用や地下水の流動と密接にかかわるものであり，それらの相互作用が概念的に整合性を有して理解されていることを確認する上でも重要である（岩月ほか，1998）。例えば，図 8.3.5-4 の概念図に示したように，沿岸域を想定した場合には，陸側の淡水と，海側の塩水を起源とする地下水が接触し，遷移領域を含む塩淡境界を形成する結果，塩分濃度などの地下水組成と地下水流動の空間的な変化を生じることが考えられる（6.5.1.1 参照）。また，隆起や気候変動に起因する海水準変動により，汀線が移動することによっても塩淡境界の移動と地下水流動が変化することも考えられる（7.3.2.1 参照）。従って，塩淡境界の空間的な広がりや，時間的な変遷を考慮した地下施設の位置の設定，人工バリアの設計や性能評価を行い候補母岩としての適性を評価する。

8.3.6　処分場の概念設計

処分場の設計の項目は，6.3.1 に示したようにサイト選定の各段階で共通的であるが，段階的に詳細化される地質環境の情報と各段階の性能評価の結果をフィードバックさせることで，処分場の設計の信頼性と合理性を向上させる。精密調査地区選定段階の処分場の設計の役割は以下の 2 点である。

- レファレンス処分場概念の構築を目的とした処分場の概念設計
- 次段階で実施する技術実証試験の計画策定を目的とした技術オプションの絞り込み

処分場の概念設計では，地質環境モデルと候補母岩の特性に基づいて，地下施設の設計（地下施設建設可能区域（深度とエリア）の設定），人工バリアの設計（材料設計，構造設計など），地下坑

道の仕様（内空断面，支保仕様，離間距離など），地下施設の基本レイアウトの設定（処分パネルの形状，数，配置，アクセス方式の設定など）を実施する（6.3.1 参照）。なお，これらの設計には，後述する技術オプションの絞り込みも検討項目に含まれる。これらの結果は，処分場概念として性能評価の結果とともに統合化され，設計因子により包括的にサイトの地質環境特性への適合性が評価される（NUMO，2004a）。

技術オプションの絞り込みでは，処分概念・技術オプションから，サイトの地質環境への適用性や建設工程の実現性，経済性などに基づいた評価を行う。また，この段階までの技術開発の進捗状況について検討し，次段階の前半までに実証試験を実施する技術項目を決定することを念頭に，複数の技術オプションから候補となる材料や技術を絞り込む（6.5.2 参照）。

8.3.6.1　人工バリアの概念設計

この段階の人工バリアの設計では，サイトの地質環境特性や，性能評価，人工バリアの施工技術開発の成果などに基づいて材料設計および形状などを設定する。この際には，材料の長期挙動の評価結果などを反映した人工バリアの長期健全性の評価を行う（6.3.2 参照）。

(1)　オーバーパックの設計

サイトの地質環境特性とオーバーパックに期待する安全機能を考慮して，耐食性や構造健全性を検討しオーバーパックを設計する。オーバーパックの候補材料（炭素鋼，銅，チタン）の環境条件への適用性，オーバーパックの製作や溶接技術などの施工性の観点などから材料を選定する（6.3.2.1 参照）。

(2)　緩衝材の設計

緩衝材の材料設計では，サイトの地質環境特性と緩衝材に期待する安全機能を考慮して，ベントナイト材料を選定し乾燥密度などの仕様を設計する。候補となるベントナイト材料の選定においては，締め固め特性，膨潤性，透水特性などの緩衝材の基本特性などを考慮する（6.3.2.2 参照）。

8.3.6.2　地上施設および地下施設の設計

(1)　坑道の設計

概要調査により得られた地下深部の岩盤の応力状態や力学特性などに基づき，合理的な掘削方法や施工手順を設定し，詳細な力学的安定解析を実施して坑道の仕様を決定する。

坑道の断面は，坑道の用途により，アクセス坑道，連絡坑道，処分坑道（および処分孔）に分類できる（6.3.3.2 参照）。坑道の断面の設計では，それぞれの用途に応じて必要な内空断面を確保し，処分場の設置深度と候補母岩の力学特性に基づいて，支保工の設計，坑道の力学的安定性や耐震性の評価を実施する。

また，処分坑道（および処分孔）は，廃棄体の発熱特性や人工バリアの仕様などに基づいて，熱的影響により緩衝材の安全機能を損なうような変質が起こらないように，廃棄体定置仕様として処分坑道の離間距離と廃棄体ピッチを設定する。

(2)　基本レイアウトの設定

処分場の地下施設の位置，深度，処分パネルやアクセス坑道などの基本レイアウトは，候補母岩

の評価・選定の結果，および主要な地下水流動方向などを踏まえた天然バリア中の放射性物質移行抑制の観点に基づいて設定する（6.3.3.3 参照）。また，候補母岩の評価・選定で例示した内容に加え，操業の効率性（物流，操業計画など），操業安全に関する制約（換気計画，避難経路確保など），建設費用や建設開始から操業開始までの時間の制約，さらに地層処分低レベル放射性廃棄物処分施設の併置などを考慮して設定する（図 8.3.6-1）。基本レイアウトの設定の結果は，精密調査地区選定段階の前半の調査計画に反映する。

地下施設の基本レイアウトの設計仕様項目としては，廃棄体を定置する単位区画としての処分パネルの形状，規模，数や配置，また，主要坑道・連絡坑道，地上施設からのアクセス坑道や換気・排水・電源用の坑道の配置などがある。アクセス坑道は，立坑および斜坑方式があり，物流などの操業システム，搬送効率，排気・排水，避難，地上施設と地下施設の位置関係，施工性・作業の安全性，経済性の観点からアクセス方式などを選定する（6.3.3 参照）。

基本レイアウトは，処分場の規模と候補母岩の広がり（規模）を比較して，処分場の収容性を評価する。候補母岩の広がり（規模）は，高レベル放射性廃棄物で 4 万本以上の廃棄体，地層処分低レベル放射性廃棄物では約 19,000m^3 相当の廃棄体を収容できる処分場の規模が必要であり，その規模は，高レベル放射性廃棄物で約 6km^2，地層処分低レベル放射性廃棄物で約 0.25km^2 と見積もられている（NUMO，2004a，2011b）。

なお，収容性の評価に際しては，図 8.3.6-2 に示すような湧水や処分孔の掘削不良などにより，廃棄体を設置できない個所や，坑道を交差する割れ目などが人工バリアの性能に影響を与えると判断される場合などを考慮して，必要に応じて処分場の規模に余裕をもたせるなどの対策が必要となる（SKB，2006，2008 ; POSIVA，2007）。このため，この段階までに得られている情報に基づいて，処分場規模の増大の可能性を考慮した収容性の評価を行い，母岩の広がり（規模）に応じた柔軟なレイアウトの検討を行う。

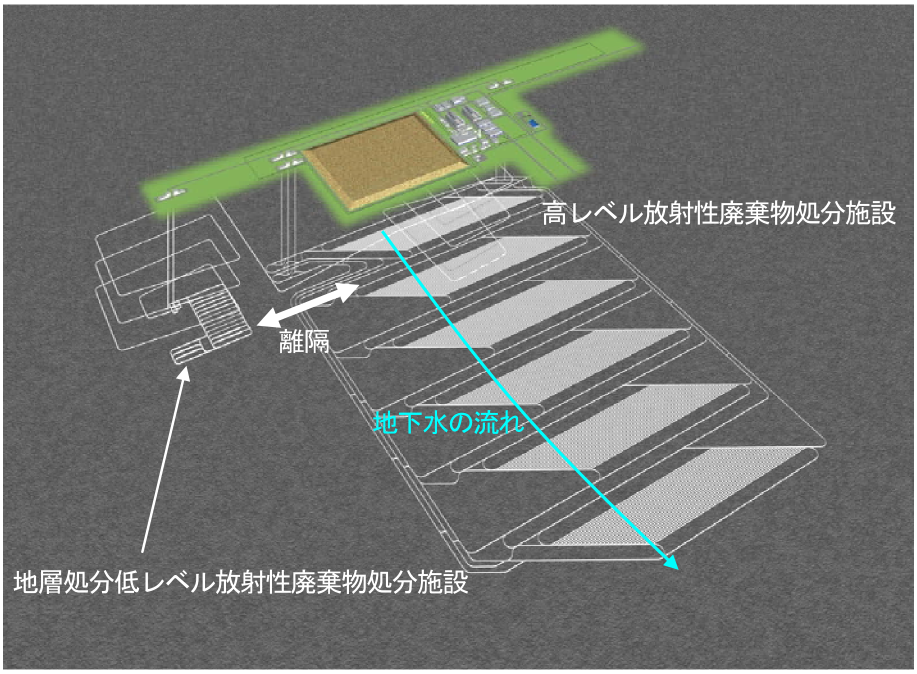


図 8.3.6-1 地下施設レイアウトの例
（地層処分低レベル放射性廃棄物処分施設の併置を考慮したレイアウト，図 6.3.5-1 の再掲）

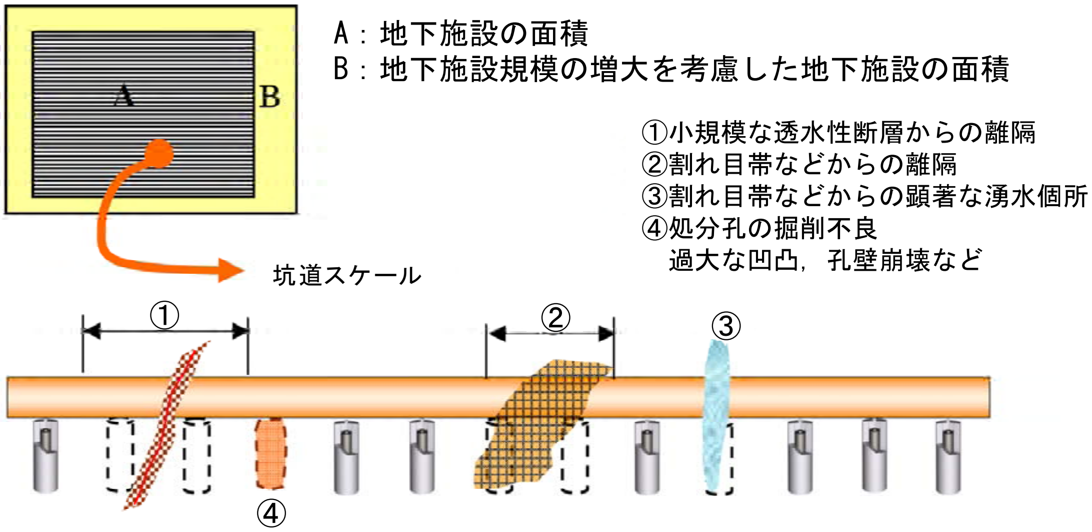


図 8.3.6-2 廃棄体を定置するのが相対的に好ましくない場所のイメージ
（図 6.1.2-1 の再掲）

(3) 地上施設の設計

この段階の地上施設の設計は，地上施設設置区域の敷地面積と社会環境条件などによる敷地面積の制約を確認して行う。地上施設の設計は，地上施設設置区域の設定，アクセス方法の検討，施設群ゾーニングの検討，造成計画，施設設計の手順で進める（6.3.4 参照）。

地上施設設置区域の設定は，地理・地形などの自然環境条件や，周辺の土地利用状況などの社会環境条件，港湾，道路などのインフラ設備などを考慮して設計する。また，地形が山地など急峻な場合や景観の保護といった条件により敷地面積に制約がある場合は，地上施設の分散配置や諸施設

を半地下化，あるいは複数階化するなどのオプションも検討する（NUMO，2004a）。

アクセス方法の検討では，地下施設の基本レイアウトの設定と並行して，立坑，斜坑およびそれらの組み合わせ，坑口の位置などを設定する。

施設群ゾーニングの検討では，地下施設の建設，掘削土の搬出，廃棄体の受入，地下施設への搬入などの施設群の用途に応じてゾーニングを行う。また，処分場の建設・操業・閉鎖などの一連の作業の動線を考慮して設計を行う（図 8.3.6-3）。

地上施設の造成計画や施設設計は，掘削土置き場の配置，掘削土の風雨による飛散や流出などの防止対策の検討を行う。その際には，環境への負荷の軽減などに配慮する。

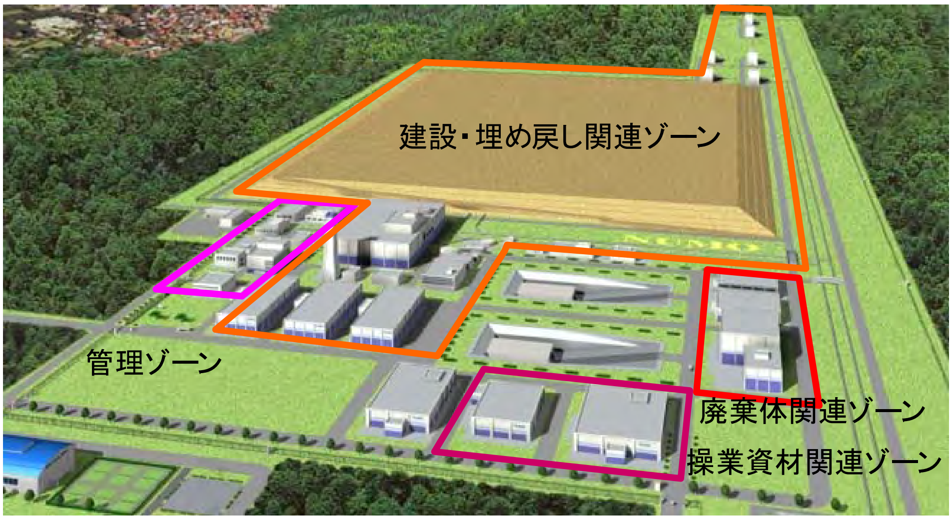


図 8.3.6-3 地上施設のゾーニング（併置処分）（図 6.3.4-2 の再掲）

(4)　事業期間中の安全対策の設計への反映

地上施設および地下施設の設計においては，放射線安全，一般労働安全および環境保全の対策も併せて検討する。例えば，廃棄体受入・検査施設では，遠隔操作による廃棄体の取り扱いを基本として，施設に放射線の遮へい壁の設置や，管理区域を設定する。地下施設の設計では，作業環境の維持を目的として，換気および排水設備の設計を行う。また，事故発生時の退避施設や避難経路などの設計を実施する。このほかの対策についても，建設・操業・閉鎖の作業手順を踏まえて，想定される自然災害についての具体的な安全対策を講じる。

この段階には，処分場の地下施設・地上施設などの処分場の概念設計に基づいた開発規模の概要が明らかになる。また，次段階の調査で建設する地下調査施設や処分場の建設で発生する坑道からの湧水の化学組成，掘削土の鉱物組成などの性状，大気環境，水環境，動植物や生態系の状況などの自然環境や，社会環境に関する具体的な情報が得られ，環境へ影響を及ぼす範囲やその大きさなどが予測される。これらの情報に基づいて，必要に応じて代償措置（復元・創出）を含めた環境保全に関する対策の検討を行う。

地上施設の中で最も大きな面積を占めるのは掘削土置き場で，その容積は 1,000 万 m^3 オーダーになると見積もっている（NUMO，2004a）。掘削土は地下施設の埋め戻し材料として再利用することを考えているが，地上施設の造成計画の際には，掘削土の風雨による飛散や流出などの防止対策を講じ，周囲の環境への影響を極力低減する対策を実施する。

事業を推進する際には，このほかにも事業が自然環境や社会環境に与える影響を整理し，事業に伴う自然環境の改変や環境への負荷を軽減するために必要な環境保全技術の適用や，環境モニタリングの方法などを検討して環境保全計画を立案する。

8.3.6.3 処分概念・技術オプションの絞り込み

NUMO は，概要調査地区選定段階までは，地質環境特性のデータが文献情報に限られること，複数の異なる地質環境が設定されることなどを想定して，処分場の設計・施工に関して代替材料や処分技術などの処分概念・技術オプションを複数整備している（NUMO，2004a，2004c）。

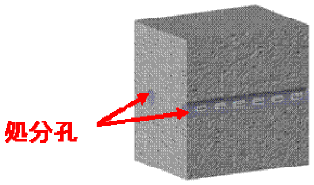
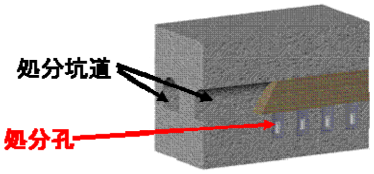
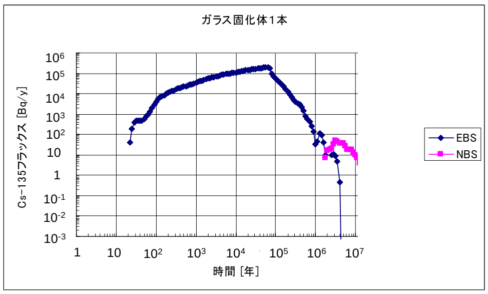
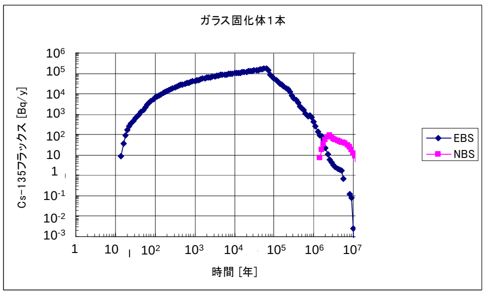
処分概念･技術オプションの絞り込みは, 以下に示す事業を効率的に進める観点から重要である。

- 人工バリア材料を選定することで，設計や安全評価のベースとなる解析モデルやデータの取得条件の範囲を絞り込み，人工バリアの長期健全性の評価や関連するデータ取得などの人的・経済的な資源を集中させる。
- 地下調査施設において実証する工学技術を選定することで，実証試験計画を策定し，また，必要な装置，設備の基本設計のための人的・経済的な資源を集中させる。

従って，処分概念・技術オプションの絞り込みは，精密調査地区選定段階の前半（地上からの調査の段階）を目途に，次段階の実証試験計画を策定するための準備として，サイトの地質環境特性に適した有力な技術を選定してレファレンス処分場概念に反映させる。

処分概念・技術オプションの絞り込みの評価項目としては，閉鎖後長期ならびに操業の安全性や工学的成立性，社会経済的側面などの設計因子の観点，技術開発の進捗と実現性の見通し，さらに事業スケジュール・経済性の観点から総合的に評価して絞り込む（6.5.2 参照）。なお，絞り込む際には，個々のオプションの優位性だけでなく，その組み合わせも考慮して相互に矛盾がないことに留意する。

図 8.3.6-4 には，閉鎖後長期の安全性の観点からの比較の例として，定置方式の違いが，放射性物質の移行に与える影響について予察的に評価した結果を示す（7.3.3 参照）。このような安全評価の視点からの検討結果を人工バリアの設計にフィードバックするとともに，遠隔操作技術などの実現性の観点からの制約条件を併せて検討し定置方式の設定を行う。このような結果は，次段階の地下調査施設で実施する搬送定置技術などの地下調査施設の実証試験計画に反映する。

<table>
<tr><th colspan="2"></th><th>横置き</th><th>竪置き</th></tr>
<tr><td colspan="2">概念図</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>解析結果</td><td>放出時間=約 7 万年</td><td></td><td></td></tr>
</table>

（◆：EBS（人工バリア）からの核種移行率の割合，■：NBS（母岩）からの核種移行率の割合）

図 8.3.6-4 廃棄体定置方式（竪置き，横置き）による核種移行率の比較

（参考図 3-4 を編集し，再掲）

ニアフィールド領域の三次元核種移行解析の結果に基づいた定置方式の違いによる閉鎖後長期の安全性への影響の比較の例示。この比較では，定置方式による天然バリアへの移行率はわずかな差であり（グラフの右端），核種移行評価上の差異はほとんど認められない。従って，この例では長期的安全性よりも力学的安定性などの要因に着目することが合理的といえる。

8.3.7　予備的な安全評価

安全評価の基本手順（7.1.1 参照）を図 8.3.7-1 に示す。以下では，基本手順に従い精密調査地区選定段階の実施事項とその技術を示す。

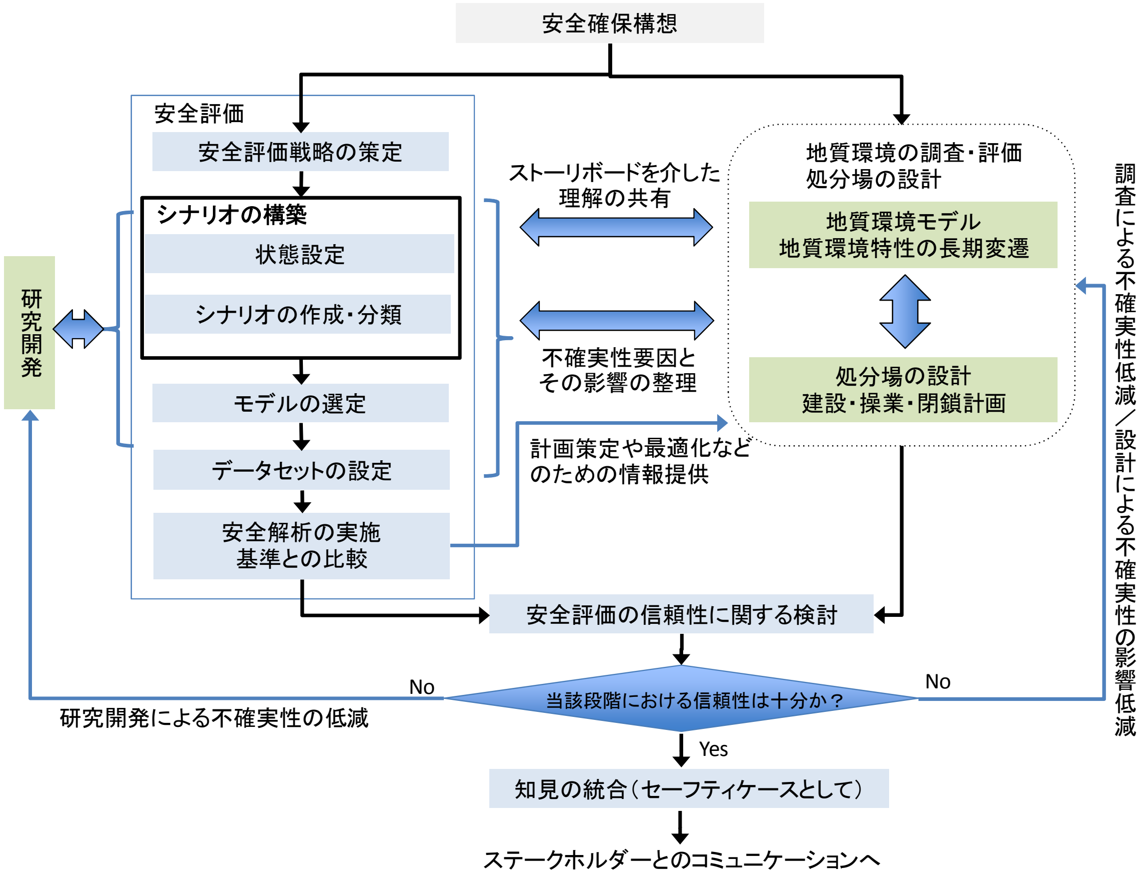


図 8.3.7-1 閉鎖後長期の安全性の評価手順（図 7.1.1-1 の再掲）

8.3.7.1 安全評価戦略の策定

この段階の安全評価は，処分場の設計に関する妥当性確認やオプション間の比較，精密調査計画の作成，セーフティケースの構築に対して，結果を反映することが主眼である。この段階の安全評価の役割は以下のとおりである（7.1.7.2 参照）。

① 処分場の設計の妥当性の確認とフィードバック
- 地下施設のレイアウトや人工バリア設計などの安全性の確認
- 処分概念・技術オプション間の比較

② 精密調査計画，次段階の実施事項への反映
- 安全評価上，重要な地質環境の特徴や地質的な条件の把握
- 次段階に必要なモデルの開発やデータ取得の条件範囲の把握
- 安全審査基本指針が公表される場合，指針に対応するために重要な調査項目や設計課題の把握

③ 安全性に対する信頼性の段階的な提示
- 閉鎖後長期の安全性に対する信頼性を支持する論拠の収集

なお，この段階の安全評価に関する不確実性は，7.1.2.2 に示した考え方に従って，不確実性を適切に取り扱う。

8.3.7.2　地層処分システムの設定

地層処分システムの設定のイメージを図 8.3.7-2 に示す。地層処分システムは，放射性廃棄物，処分場（人工バリアと地下施設），それらが設置される地質環境（天然バリア），および生物圏との接点により構成される（JNC，1999c ; NUMO，2004a）。地層処分システムは地質環境モデルおよび処分施設設計に基づいて設定し，その構成要素の安全機能とともに記述することで，安全評価の対象を明確にする。システムの状態は，以下の事項を記述する。

- 概要調査地区における地質環境の長期的な安定性（火山・火成活動，地震・断層活動，隆起・侵食）
- 処分場を設置する候補母岩の特性（処分場の設置環境）
- 概要調査地区における地質環境モデル（地質・地質構造，水理地質構造，地下水化学，岩盤特性）とその長期的な変遷
- 概要調査地区の地質環境に対して期待する天然バリアの安全機能
- 人工バリアの安全機能と概念設計に基づいた仕様，長期健全性
- 地下施設の基本レイアウト
- 閉鎖措置の安全機能と概念設計に基づいた仕様
- 主要な核種移行経路と移行時間の設定
- 概要調査および類似した環境での事例に基づいて想定される生物圏

なお，これらの設定は，概要調査によって得られる地質環境の情報の質・量に依存して，不確実性を伴うものと考えられる。従って，システムの設定においては，地層処分システムの各要素が有する不確実性の要因とその幅についても記述する。

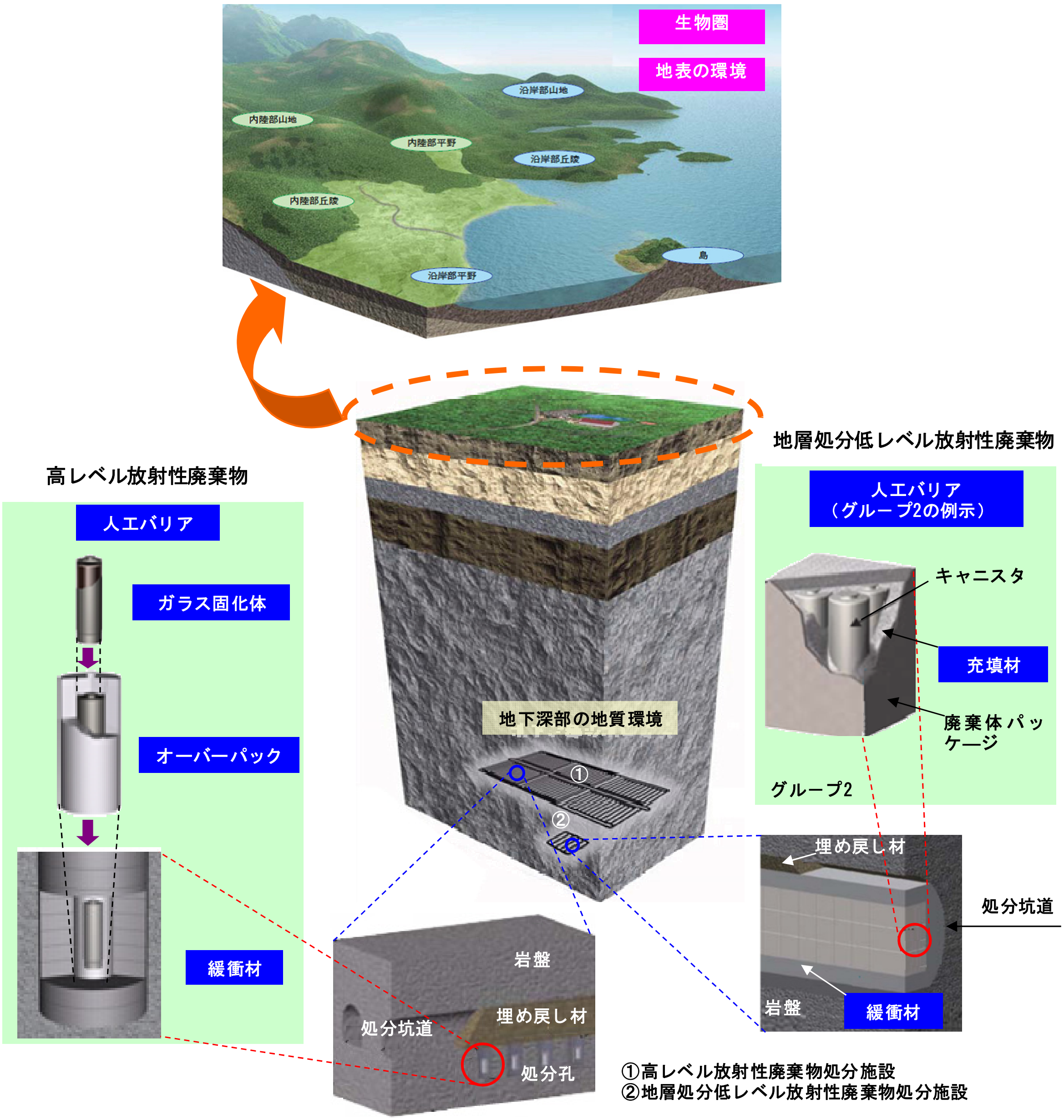


図 8.3.7-2 地層処分システムの構成のイメージ

8.3.7.3 シナリオの構築

安全評価シナリオは，地層処分システムの将来挙動を記述したものであり，安全評価の出発点となる（7.2.1 参照）。シナリオの考え方や方法論は，国際的に合意が得られた体系的なアプローチ（OECD/NEA，1991）に基づいており，サイト選定の各段階で大きく変わるものではない。ただし，わが国では，地層処分の安全評価の考え方についての議論が規制機関により今後実施されることから，第２次取りまとめなどで示されている方法を基本として議論の結果も適宜反映する。

(1) シナリオ分類の枠組みの整備

構築したシナリオや解析ケースに対して，安全評価で考慮するシナリオ分類の枠組みを設定する。シナリオの分類の枠組みについては，今後，原子力安全委員会などにおいて検討されるが，当面の考え方として，原子力安全委員会（2004）および放射線審議会基本部会（2010）の考え方に沿って，

自然過程を介するシナリオと人為過程を介するシナリオに区分して検討を進めている（3.1.2 参照）。これらのシナリオ分類の考え方を参考としつつ，NUMO では蓋然性の区分に基づいたシナリオの分類の枠組みについても検討を進めている（図 8.3.7-3）。なお，これらのシナリオ分類の枠組みは，今後の安全規制における評価方法の検討も反映する計画である。

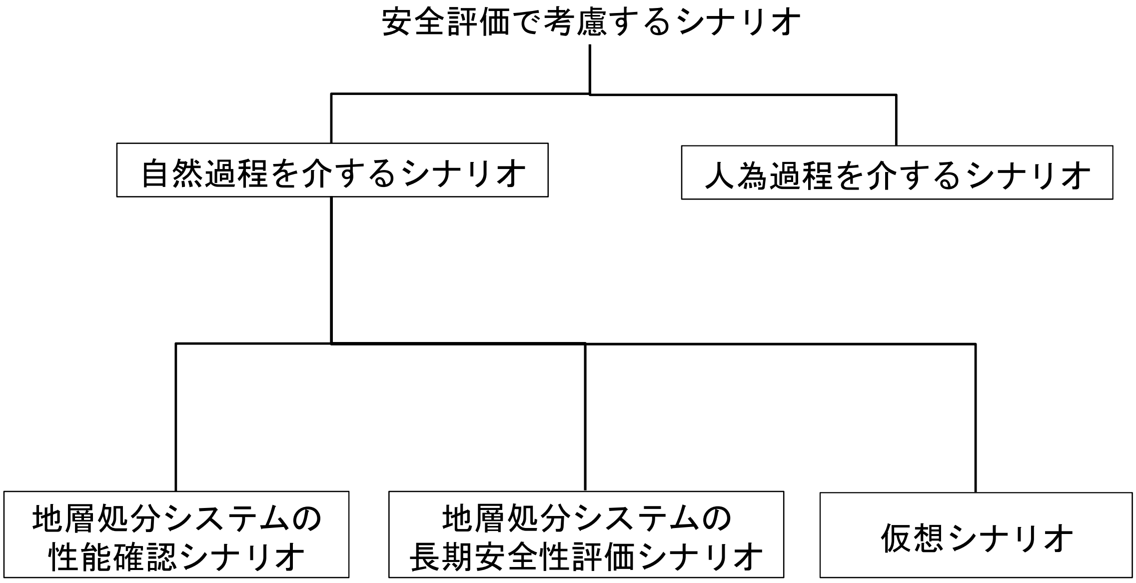


図 8.3.7-3 蓋然性の区分に基づいたシナリオ分類の検討例（図 7.1.3-1 の再掲）

(2) 状態設定とシナリオの作成

状態設定およびシナリオの作成においては，図 8.3.7-4 に示すアプローチに沿って進める。NUMO は，状態設定の枠組みとしてストーリボードの開発を進めている（図 8.3.7-5，7.2.1 参照）。そこで，ストーリボードを用いて，地層処分システム全体と各要素の長期的な変遷，人工バリアおよび天然バリア中での放射性物質の移行に関する現象，将来の人間活動などの記述を整備して状態設定を行った上でシナリオを作成する。

シナリオを作成した後は，シナリオから導かれる解析ケースの設定を行う。地層処分システムの設定やシナリオの作成過程，さらに，後述するモデルやデータセットの設定に伴う不確実性を考慮して，複数の解析ケースを設定する。また，安全評価結果の比較を効率的に実施するためには，標準的なシナリオを設定し，このシナリオに対応する解析ケースを起点とすることが有効であると考えている。また，将来予測に含まれる不確実性に適切に対処するために，変動シナリオおよび仮想シナリオといった代替的なシナリオを設定してそれぞれ評価を行う（7.1.3.1 参照）。また，7.1.4～7.1.6 に示す方法でモデルおよびデータについての不確実性の管理に取り組む（7.1.2 参照）。

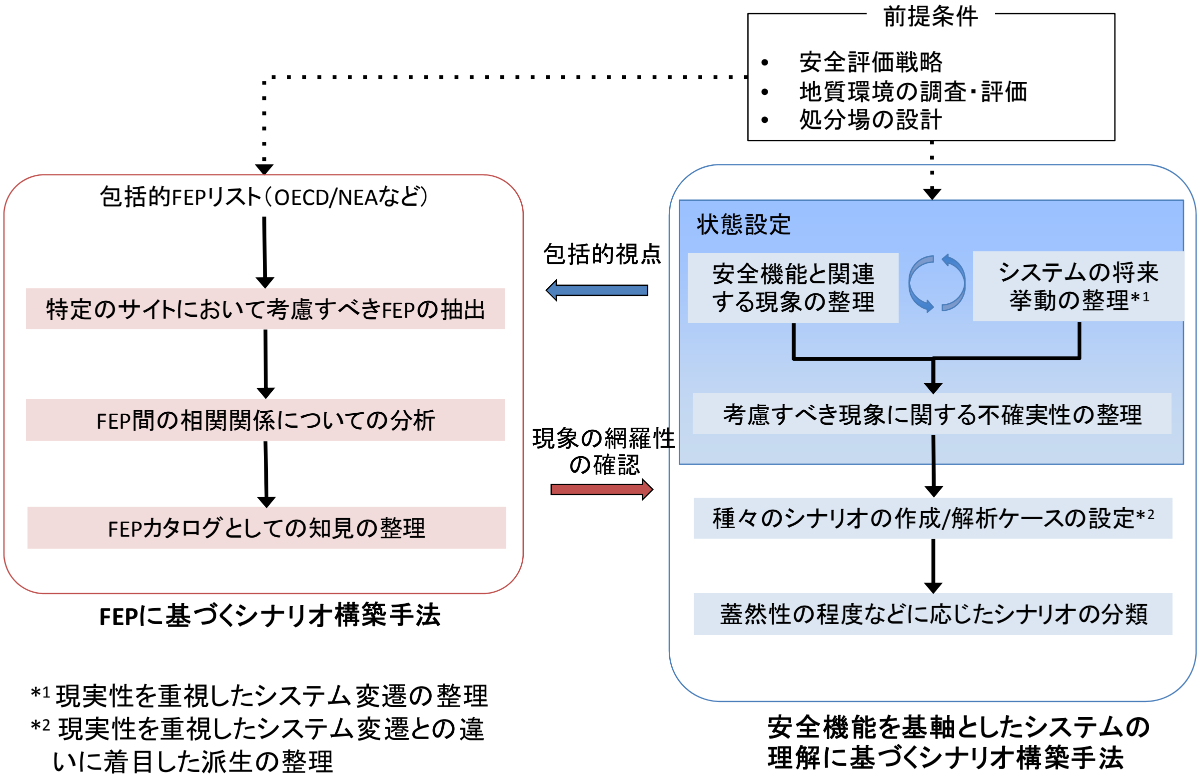
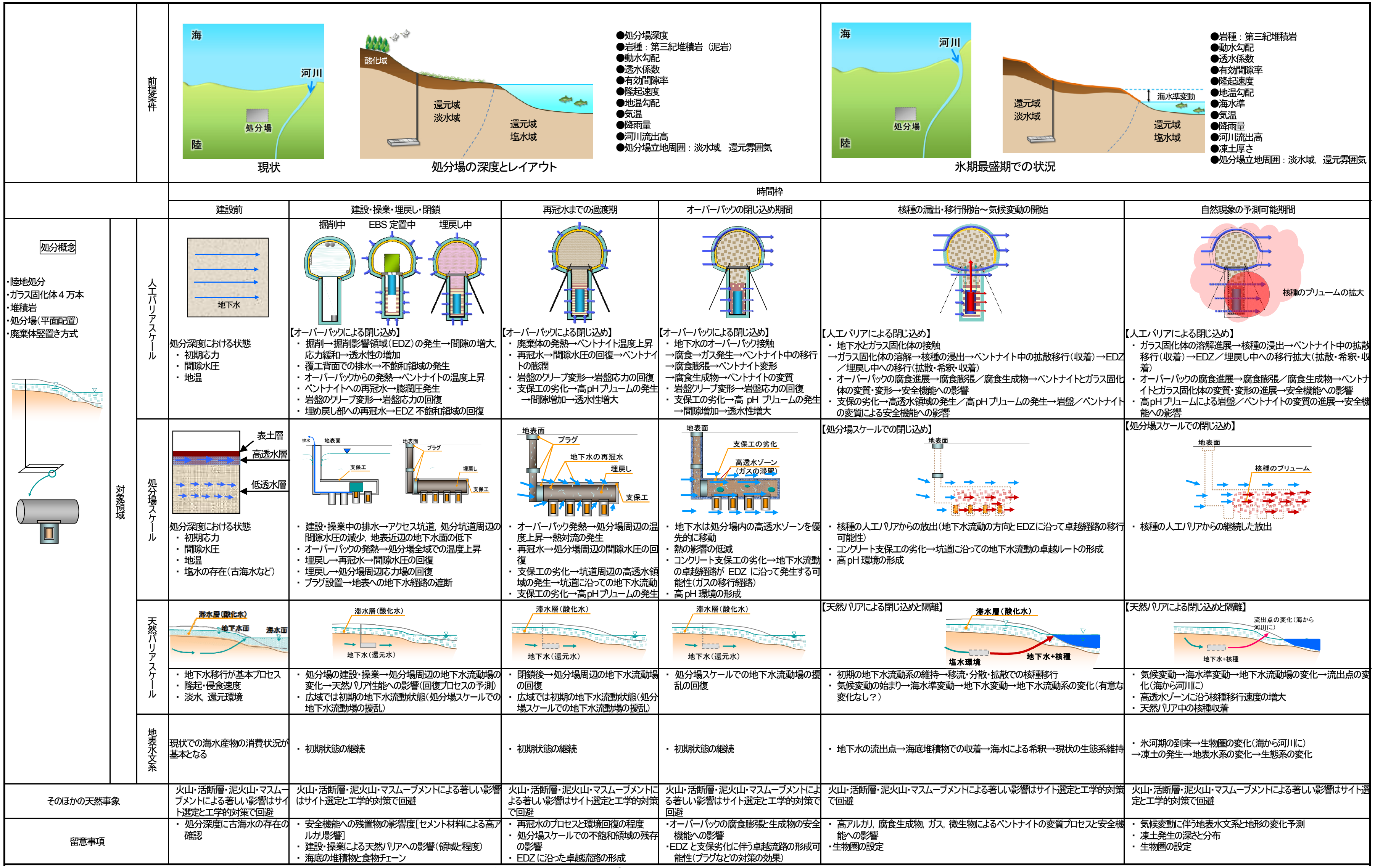


図 8.3.7-4 状態設定およびシナリオの作成・分類のアプローチ（図 7.2.1-1 の再掲）



EDZ：Excavated Disturbed Zone（掘削影響領域），EBS：Engineered Barrier System（人工バリアシステム），高 pH プリューム：岩盤中に形成される高アルカリ性の地下水領域

図 8.3.7-5 シナリオ作成のためのストーリーボードのイメージ（図 7.2.1-3 の再掲）

8.3.7.4　モデルの設定

安全評価で用いる性能評価モデル（7.1.4）とデータセットの構成の例を図 8.3.7-6 に示す。これらのモデルを用いて，多重バリアシステムの放射性物質を閉じ込める性能（放射性物質の浸出抑制，放射性物質の移行抑制）を定量的に評価する。モデルには，ソースタームモデル，人工バリア中の核種移行モデル，天然バリア中の核種移行モデルで構成され，このほかに生物圏モデルが加わる。これらのモデルは，解析ケースに対応するように設定する。モデルは，地層処分システムの構成や核種移行のメカニズムなどに基づいて，適切なモデルを選定する（7.2.2 参照）。

なお，モデル開発の取り組みの事例は，地質環境と生物圏の変遷に関するモデル（7.3.3.1 参照），および岩盤の不均質性と処分施設設計に対応したモデル（7.3.3.2 参照）として，第 7 章にその詳細を示している。

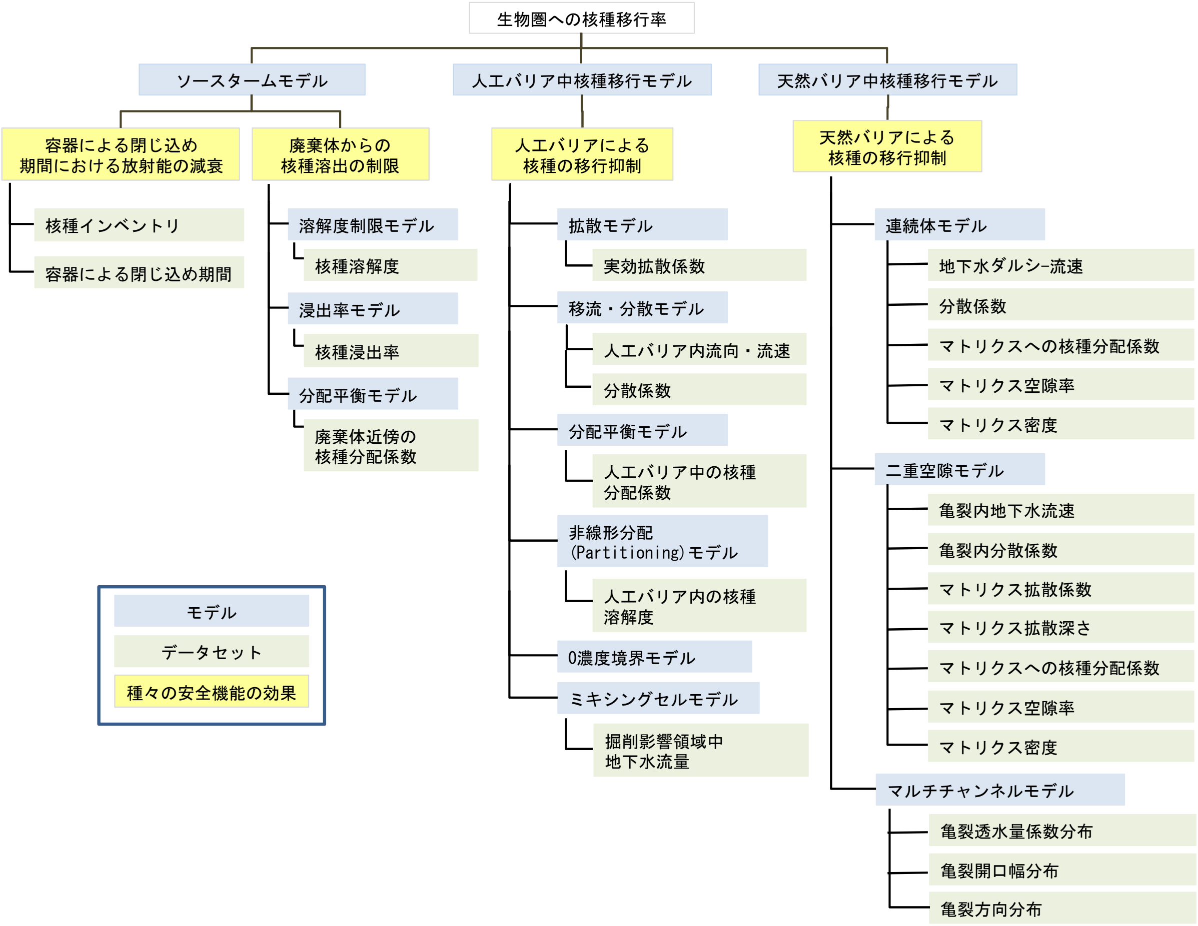


図 8.3.7-6 地下水中での核種移行に関する性能評価モデルおよびデータセットの構成例
（図 7.2.2-1 の再掲）

8.3.7.5　データセットの整備

概要調査の段階においては，ボーリング調査により地下水や岩石コアサンプルの採取ができることから，これらの試料を用いて，あるいは，条件を模擬して核種移行にかかわるデータセットを取得することができる。データセット設定においては，これらの現地の試料を利用して取得したデータセットと，既存のデータベースを比較して，地下水化学条件への依存性の傾向（例えば，分配係

数の pH 依存性）などを確認することで，データセットの変動範囲を設定する。既存のデータベースとしては，JAEA で整備しているガラス溶解データベース（GlassDB），熱力学データベース（JAEA-TDB），収着データベース（JAEA-SDB），拡散データベース（JAEA-DDB）などがあり，これらのデータベースを活用してデータセットの設定を行う（7.3.4 参照）。

8.3.7.6　安全解析の実施

安全解析は，ここまでに述べてきたシナリオの構築，モデル，データセットの整備に基づいて，シナリオごとに複数の解析ケースを設定して実施する。モデルの相関関係と入力するデータセットの関係を解析フローチャートとして図 8.3.7-7 に例示する。解析では，ここに示したモデル間で解析結果を順次引き継ぎながら解析を進める。ただし，これらの解析の相互の整合性を確認するとともに，それぞれの解析で得られた新たな知見にも柔軟に対応するために，必要に応じて反復的に解析を繰り返すこととする。なお，既往の安全解析の実施例を第 7 章の参考資料に示した。

この段階の安全解析に基づいて，次段階で長期安全性を確保するために重要な地質環境の特徴や条件をあらかじめ把握する。また，処分場の設計の妥当性を性能評価により確認するとともに，その結果を処分場の設計にフィードバックすることで次段階の調査・設計の方針に反映する。さらに，この段階の終わりまでに安全審査基本指針が公表される場合には，指針に対応するための重要な調査項目や設計課題，取得すべきデータなどを安全解析結果に基づいて準備する。

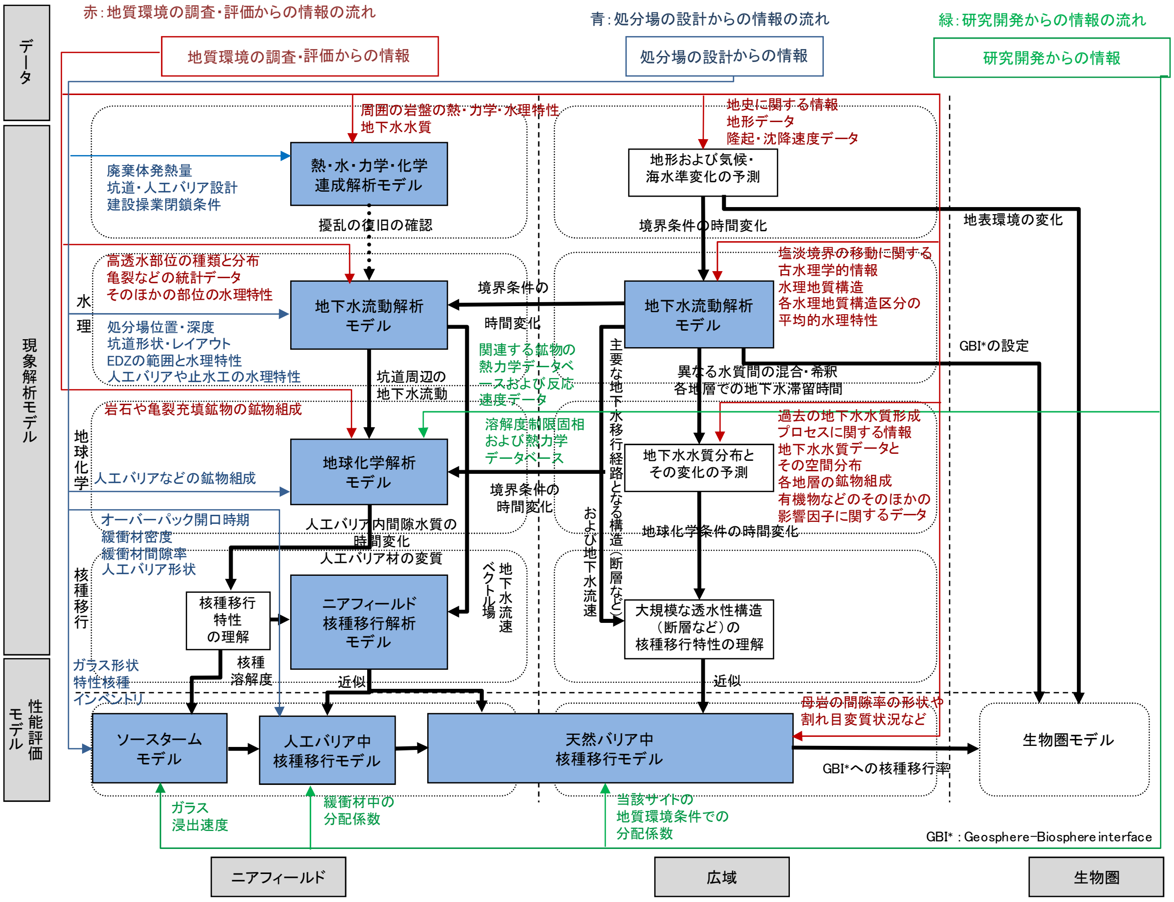


図 8.3.7-7 解析のフローチャート（安全評価のためのモデルチェーンの例）
（図 7.2.2-6 の再掲）

8.3.7.7　安全評価の信頼性に関する検討

安全評価の信頼性の検討は，地層処分システムの閉鎖後長期の安全性を示す上での重要な活動の一つであり，セーフティケースの重要な要素である。信頼性の検討では，安全評価の基本となるシナリオやモデル，データセットとこれらを用いた安全解析結果の信頼性の確保に加え，さまざまな観点から地層処分の長期安全性にかかわる説明（多面的な議論）を示すことが重要となる。さらに，7.1.1 に述べたように，これら一連の長期安全性を示す論拠に対して行われる専門家による独立したレビューも，信頼性を示す上で有効である（OECD/NEA，2002）。

安全評価の妥当性を示すためには，以下の点が綿密に検討されていることが重要である（NUMO, 2004a）。

- シナリオは過不足なく定義されているか
- 評価の目的に照らし，個々のモデルやコード，データセットは十分に妥当性が検討されているか
- これらを組み合わせたシステム全体の解析の手順や数値計算は正しく実行されているか

また，これらの視点に加え，信頼性を確保するためには，安全解析に至るまでのすべての作業について，透明性と追跡性を確保することが不可欠である。

具体的には，精密調査地区選定段階で実施した安全評価の妥当性について，国内外の専門家のレビューを受け，次段階の安全評価の方針や許認可申請までに整備すべきシナリオやモデル，データセットなどの内容を明確化して精密調査計画や技術開発計画に反映する。また，安全評価に関する品質管理体制も整備し，モデル化の対象となる個々の現象の理解や概念モデルの作成，さらに数学モデルや計算モデルの作成過程で生じる不確実性，あるいはモデルに対応したデータセットの取得／設定の過程で生じる不確実性についても対処する。また，計算技術の進展に伴う必要な計算機コードの改良もこのような品質管理に含める。さらに，安全評価の多面的な議論に利用するナチュラルアナログの整備や補完的安全指標など，信頼性の提示に必要な項目を検討して計画に反映する。

8.3.8　レファレンス処分場概念の構築とセーフティケースの作成

地質環境の調査・評価，処分場の設計，安全評価のそれぞれの結果を集約し，処分場概念として統合する。統合する際には，集約した結果が相互に矛盾を含んでいないこと，論拠の追跡性が確保されていることなどを確認する。その上で，処分場概念がサイトの地質環境特性に適する形で安全性が確保されていることや，工学的に成立可能であること，環境保全にも配慮されていること，社会環境条件にも適合していることを確認し，さらに，経済性についても評価する。また，セーフティケースの構築とも関連させて，この段階で残された課題や不確実性についても明確に示し，次段階の計画に反映する。このようにして構築した処分場概念が複数の場合には，適切な概念を絞り込む。この処分場概念をレファレンス処分場概念と呼び，次段階の処分場の設計や安全評価の出発点とする。

レファレンス処分場概念に含まれる情報のうち，特に安全評価のシナリオの設定や，モデル，データの設定，安全解析の結果と，それらの設定の論拠に関連する情報を集約してセーフティケースを構成する。この段階で示すセーフティケースは，「概要調査に関する法定報告書」および「概要調査に基づく概念設計と予備的安全評価に関する報告書」とそれらの補足文書により構成する計画で

ある（3.2.2.3 参照）。この中で，サイトの地質環境や，そのサイトに適した処分場の設計と安全評価の結果に加え，8.3.7.7 に示した安全評価の結果の信頼性向上に関する議論について記述し，次段階以降に検討が必要となる課題や対策を示す。

8.3.9　精密調査地区の選定

精密調査地区の選定の手順については，基本的に概要調査地区の選定と同様の手順（8.2.6 参照）で進める。

8.3.9.1　精密調査地区選定上の考慮事項への適格性の確認

考慮事項への適格性の確認では，法定要件に関する事項に対して，不適格な地域が精密調査地区の範囲に含まれないことを概要調査の結果に基づいて確認する。概要調査の結果については，専門家による評価も踏まえて，「概要調査に関する法定報告書」として取りまとめる。

8.3.9.2　精密調査地区の設定

概要調査の結果に基づいて精密調査計画を策定し，法定要件を考慮した上で精密調査地区の範囲を設定する。

8.3.9.3　概要調査に関する法定報告書の説明と精密調査の実施の判断

法定報告書については公告・縦覧し，関係都道府県内において，説明会を開催する。また，報告書の内容に対する意見の概要を取りまとめ，これについての NUMO の見解を作成する。ここまでに示したプロセスを経て，精密調査地区を選定する。

精密調査地区を選定後，NUMO は実施計画の変更を経済産業大臣に申請する。概要調査地区選定と同様に，経済産業大臣は関係市町村長，都道府県知事の意見を聴き，これを尊重するとともに，原子力委員会および原子力安全委員会の意見も聴き，最終処分計画の改定を閣議決定する。経済産業大臣による実施計画の変更の承認後，NUMO は，精密調査地区の選定のプロセスを完了させる。

8.3.10　次段階の準備

次段階の準備として，精密調査地区の選定と並行して処分施設建設地選定上の考慮事項を作成し，精密調査計画を策定する。精密調査は，地下の地質に関するデータの拡充と地下調査施設建設の準備のために，ボーリング調査を主体とする段階と，地下調査施設の建設と調査の段階に分けて実施する計画である（4.2.1.3 参照）。このため，この時点では精密調査の全体計画と地表からの調査の実施計画を策定する。

前半の地表からの調査の段階では，前段階で構築した処分場の概念設計に基づいて，処分場の候補母岩と処分場の基本レイアウトを考慮した調査計画を策定する。その際には，前段階で特定した重要な地質環境の不確実性の低減に向けた観点から調査計画を策定する。地質構造モデルの不確実性（例えば，断層や地層境界の分布形状など）や候補母岩の地質環境特性の不確実性などによる閉鎖後長期の安全に及ぼす影響が感度解析などで大きいと評価した場合は，概要調査で更新した地質環境モデルに基づいて，必要と考えられる範囲を対象とした調査を実施する柔軟な調査計画を策定する。また，調査の後半で実施する地下調査施設の建設が地質環境や周辺環境に擾乱を及ぼす可能性があることを考慮し，調査計画では，地下調査施設建設前の地質環境の状態を把握する調査項目

を計画に反映する。

地表からの調査の後半においては，それまでの調査結果を受けて更新される処分場のレイアウトに基づいて，地下調査施設の建設計画ならびに調査計画を作成する。また，この段階までに絞り込まれた技術オプションの実証試験計画を策定する。

精密調査計画の策定に際しては，調査の実施による環境への影響についての予測および評価を行い，環境に与える影響を回避，低減する方策を検討し，それを反映する。特に調査の後半においては，地下調査施設を建設することから，掘削土置き場への対策などが必要となる。また，このほかにも，自然環境や社会環境に与える影響を評価し，適切な環境保全対策を検討して精密調査計画に反映する。

以上の精密調査計画の策定の考え方については，実際の調査計画を進めるまでに得られている情報の質や量に基づいて，必要な調査項目を加えるなど柔軟に適用する。

8.4　まとめ

本章では，概要調査地区選定段階（文献調査の段階）および精密調査地区選定段階（概要調査の段階）における以下の三つの事項について述べ，この段階の実施に向けた技術的な準備が整っていることを示した。

- 文献調査および概要調査を実施するための目標や実施事項を明確化していること
- 地質環境の調査・評価技術，処分場の設計・建設・操業・閉鎖技術，地層処分システムの長期安全性評価技術を連携し，概要調査地区および精密調査地区を選定するための基本的な実施手順を準備していること
- 各段階の実施手順に従って，第 5 章から第 7 章に示した技術の適用性を検討していること

まず，安全確保の基本的な考え方として，地層処分に適した地質環境の選定の考え方と多重バリアシステムによる安全確保の考え方を述べた。その上で，処分場概念の構築とセーフティケースの作成についてその概要を示した。これらの考え方に基づいて，文献調査および概要調査において，適切なサイト選定と確認，処分場の設計・施工などの適切な工学的対策，地層処分システムの長期安全性の評価の三つの安全確保策を連携させながら，事業を推進するための手順とその実施内容を提示した。

(1)　概要調査地区選定段階の目標と実施事項

概要調査地区選定段階においては, NUMO が行う公募から概要調査地区の選定までの実施事項を,国および地域との関係を考慮した手順に沿って述べた。この段階は，安全性の確認として，自然現象の著しい影響が明確な地域を除外するために，文献調査に基づいて火山・火成活動，地震・断層活動，隆起・侵食などの影響の評価，ならびに第四紀の未固結堆積物と鉱物資源に関する評価結果を法定報告書として取りまとめ公表する。また，処分場の設計と安全性についても概略的に検討して，次段階の調査計画に反映するとともに処分場の概要として公表する。

(2)　精密調査地区選定段階の目標と実施事項

精密調査地区選定段階においては，地表調査（地表踏査やトレンチ調査，物理探査など）およびボーリング調査の結果に基づいて，自然現象の著しい影響が回避されていること，地質環境が処分場の設置に適していること，天然バリアの放射性物質の移行遅延などの機能を確認する。また，処分場の設計の妥当性の確認，予備的な安全評価を行い安全確保の見通しを得る。これらの結果は法定報告書などとして取りまとめ公表するとともに，安全性に関する論拠や論証を取りまとめセーフティケースとする。このセーフティケースに基づいて，ステークホルダーに安全性を提示する。

以上のように，NUMO は，概要調査地区選定および精密調査地区選定の実施に向け，各段階における安全確保の目標，事業を進めるための基本的な手順を設定し，各実施項目を支える技術の適用性の検討を進めており，文献調査および概要調査の実施に向けた技術的な準備が整ったと判断している。また，処分施設建設地選定の実施や処分場の建設・操業・閉鎖の実施に必要な技術についても，先行する国の基盤研究開発機関や海外実施主体の技術開発に基づいて，精密調査の実施や，処分場の設計，安全性の評価，さらには，処分場の建設・操業・閉鎖に至る地層処分事業の全体に関

して，技術的な実現性の見通しがあると判断できる。

今後，三つの安全確保策を連携させて事業を進めるとともに，計画的な技術開発を着実に実施して地層処分の安全の確保と実現性に対する信頼性をさらに向上させる。

参考資料　概要調査地区選定段階および精密調査地区選定段階の実施項目と関連する技術および検討事項の関係

第8章に記述した概要調査地区選定段階（文献調査の段階）および精密調査地区選定段階（概要調査の段階）の実施項目と第3章から第7章までに示した関連する技術の関係を取りまとめた。矢印（→）は，技術および検討事項の詳細を記述した第3章から第7章の該当個所を示している。

参考表 1　概要調査地区選定段階の実施項目と関連する技術の関係

実施項目	実施内容	関連する技術など
8.2.2 文献調査計画の立案	・文献調査計画書の作成	・事前確認のための地質的な条件（→ 4.2.1.1） ・概要調査地区選定上の考慮事項（→ 5.2.2.1） ・文献調査マニュアル（→ 5.2.2.2）
8.2.3 文献調査の実施（文献調査の収集）	・文献情報の収集・整理 ・品質管理	・自然現象および地質環境特性にかかわる全国規模および地域ごとのデータベース，図幅，観測網など(→ 5.2.2.3) ・空中写真判読（→ 5.2.2.3) ・衛星画像解析（リモートセンシング）(→ 5.2.2.3) ・地形判読（数値標高モデルなど）(→ 5.2.2.3) ・測地データ解析（→ 5.2.2.3) ・地球物理データ解析（地震波トモグラフィなど）(→ 5.2.2.3) ・地震観測データ解析（→ 5.2.2.3) ・文献調査マニュアル（→ 5.2.2.2) ・NUMO 地理情報システム（→ 5.2.2.2) ・文献調査システム・フロー（→ 5.2.4.2) ・地質環境データ管理システム（→ 5.2.4.2)
8.2.4 自然現象の影響にかかわる調査・評価	・火山・火成活動の著しい影響が明確な地域の除外 ・活断層，断層破砕帯と変形帯に含まれる範囲，活断層の分岐などの発生可能性が高い範囲，顕著な活動を継続している活褶曲，活撓曲の分布範囲に位置することが明確な地域の除外 ・過去 10 万年間の隆起の総量が 300m を超えることが明確な地域の除外	・火山・火成活動の調査・評価の体系（火山活動履歴，新規火山の発生，深部熱源，深部構造，確率論的評価など）(→ 5.3.1.1) ・地震・断層活動の調査・評価の体系（活断層の存在，変形帯，影響範囲，再活動性，確率論的評価など）(→ 5.3.1.2) ・隆起・侵食の調査・評価の体系（段丘対比・編年，河成段丘による隆起量の見積もり，隆起・沈降運動の復元など）(→ 5.3.1.3)
8.2.5 第四紀の未固結堆積物ならびに鉱物資源の調査・評価	・処分施設を設置しようとする地層が第四紀の未固結堆積物である地域，その採掘が経済的に価値の高い鉱物資源が存在する地域の除外	・地質環境特性の調査・評価の体系（→ 5.3.2.1)
8.2.6 概要調査地区の選定	・概要調査地区選定上の考慮事項への適格性の確認 ・概要調査地区の選定 ・調査・評価のプロセスや結果に対する国内外の専門家委員会による評価 ・文献調査に関する法定報告書の作成	・概要調査地区選定上の考慮事項（→ 5.2.2.1)
8.2.7 地質環境特性の調査・評価	・地質環境モデル（地質構造モデル，水理地質構造モデル，地下水化学モデル，岩盤特性モデル）の構築 ・地質環境特性の長期変遷の評価 ・処分場の概略検討，概略的な安全性の検討に用いる情報の整理	・地質環境特性の調査・評価の体系（→ 5.3.2.1) ・特性評価のための解析手法（地下水流動解析，地下水形成モデルなど）(→ 5.4.1.2) ・地質環境モデルの構築手法（→ 5.2.1.2(2))
8.2.8 処分場の概略検討	・すでに公表している人工バリアや地下施設の適用性の概略的な検討 ・必要に応じた新たな工学的対策の追加検討 ・処分場概念に対する工学的成立性，経済性や建設工程などを含めた総合的な評価	・地下施設と人工バリアの仕様例（→ 6.3.2，6.3.3) ・岩盤の種類に応じた簡易的な坑道の力学的安定性評価（→ 6.3.3.2) ・多重バリアシステムの安全機能（→ 6.2.2.1(1))
8.2.9 処分場の安全性の概略検討	・多重バリアシステムの各構成要素の割り当ての見通しの検討	・多重バリアシステムの安全機能（→ 6.2.2.1(1)，7.2.1) ・既存の安全評価シナリオやモデル，パラメータ（JNC，1999c など） ・不確実性の取り扱い（→ 7.1.6.1)
8.2.10 次段階の準備	・処分施設建設地選定上の考慮事項の策定 ・地質環境の調査・評価，処分場の設計・施工の概略検討，処分場の安全性の概略検討における課題（不確実性など）の抽出と重要度の分析 ・概要調査の実施項目の設定 ・補足的に調査する範囲の設定 ・概要調査計画書の作成	・概要調査計画立案マニュアル（→ 5.2.3.2) ・統合化データフローダイアグラム（→ 5.2.1.5) ・概要調査技術の確認（→ 5.4.2)

参考表 2 精密調査地区選定段階の実施項目と関連する技術の関係 (1/2)

実施項目	実施内容	関連する技術など
8.3.2 概要調査の実施	・地表調査のフェーズ：地表踏査，物理探査など ・次フェーズの調査計画更新 ・ボーリング調査のフェーズ：ボーリング調査など ・品質管理	・火山・火成活動の調査手法：地表踏査，年代測定，化学分析，空中磁気・電磁探査，微小地震観測，地震波トモグラフィ，電磁探査，重力探査，GPS 観測，温泉・地下水等調査，ボーリング調査など（→ 表 5.3.1-1，表 5.3.1-2，表 5.4.1-1，表 5.4.1-2） ・地震・断層活動の調査手法：地表踏査，トレンチ調査，短尺ボーリング調査，年代測定，地震探査，電磁探査，重力探査，GPS 観測，微小地震観測，地化学調査，海底地形測量，海底試料採取，音波探査など（→ 表 5.3.1-3，表 5.3.1-4，表 5.4.1-3，表 5.4.1-4） ・隆起・侵食の調査手法：地形測量・解析，測地（GPS，水準，潮位，合成開口レーダー），地表踏査，年代測定，物理探査，短尺ボーリング調査，堆積砂量調査など（→ 表 5.3.1-5，表 5.3.1-6，表 5.4.1-5） ・地質環境特性の調査手法：地表踏査，物理探査（空中，地上，海上），ボーリング調査（コア観察，孔壁観察，物理検層，水理試験，地下水分析，室内試験）など（→ 表 5.4.1-6，表 5.4.1-7，表 5.4.1-8） ・概要調査に関するマニュアル類（→ 5.2.3.2）
8.3.3 自然現象の影響にかかわる調査・評価	・火山・火成活動，地震・断層活動，隆起・侵食による地層の著しい変動が長期間生じていないことの確認 ・将来のマグマの貫入・噴出の可能性・範囲，熱・熱水の影響範囲に関する評価（文献調査で応募区域近傍に第四紀火山，マグマ供給系，熱水活動の存在可能性が認められた場合） ・文献・資料に記載されていない活断層の有無の確認，概要調査地区周辺の活断層を含めた活断層の分布・活動性，幅およびその外側の変形帯の範囲，分岐の可能性・範囲の評価 ・著しい隆起や侵食が生じる可能性の評価，ならびに，海水準変動に伴う地形変化を考慮に入れた地下施設の酸化的な雰囲気への接近可能性の評価	・火山・火成活動の調査・評価の体系（火山活動履歴，新規火山の発生，深部熱源，深部構造，確率論的評価など）（→ 5.3.1.1） ・地震・断層活動の調査・評価の体系（活断層の存在，変形帯，影響範囲，再活動性，確率論的評価など）（→ 5.3.1.2） ・隆起・侵食の調査・評価の体系（段丘対比・編年，河成段丘による隆起量の見積もり，隆起・沈降運動の復元など）（→ 5.3.1.3）
8.3.4 地質環境特性の調査・評価	・坑道掘削への支障および地下水の水流による地下施設への影響の観点からの地層処分事業の成立性の評価 ・地質環境特性にかかわる情報の解析および取りまとめ 　・地質・地質構造：未固結堆積物の分布，岩体および断層などの不連続構造の形状・規模，岩盤の割れ目，風化・変質の状況など 　・地下水流動特性：涵養域および流出域の特定，降水量，河川流量・地下水位，地下水の流量・流速・動水勾配，間隙水圧分布，塩淡境界の形状など 　・地下水化学特性：水温，pH，電気伝導度，酸化還元電位，水質など 　・岩盤特性：岩盤強度，初期地圧，地温勾配，岩石の熱特性など 　・物質移行特性：分散・希釈・収着・マトリクス拡散特性など ・段階的な地質環境モデルの更新，より詳細なスケールの地質環境モデルの構築 　・地質環境特性の長期変遷の評価	・地質環境特性の調査・評価の体系（→ 5.3.2.1） ・特性評価のための解析手法（地下水流動解析，地下水形成モデルなど）（→ 5.4.1.2） ・地質環境モデルの構築手法（→ 5.2.1.2(2)） ・日本を代表する結晶質岩・淡水系地下水および堆積岩・塩水系地下水を対象とした段階的な調査および地質構造モデル構築の事例（→ 5.4.1.3(1)，(2)） ・沿岸域を対象とした調査・評価技術（→ 5.4.1.3(3)） ・地質環境特性の長期変遷の評価手法（地形変化を考慮した地下水流動解析など）（→ 5.4.1.2(2)）
8.3.5 候補母岩の選定	・地質環境モデルや地質環境の長期変遷に関する情報に基づいて，候補母岩の適性（熱環境，力学場，水理場，化学環境，母岩の広がり，工程・経済性など）を評価し，選定	・地質環境モデルの構築手法（→ 5.2.1.2(2)） ・熱環境：廃棄体占有面積の評価（→ 6.3.3.1，8.3.5.1） ・力学場：坑道の力学的安定性の評価（→ 6.3.3.1，8.3.5.2） ・水理場：地下水流動解析（→ 6.3.3.1，8.3.5.3） ・化学環境：塩淡境界の評価（→ 6.3.3.1，8.3.5.4）

参考表 2　精密調査地区選定段階の実施項目と関連する技術の関係（2/2）

実施項目	実施内容	関連する技術など
8.3.6 処分場の概念設計	・人工バリアの仕様　，地上・地下施設の仕様・配置などの設定 ・次段階に実施する技術実証試験の計画策定を目的とした技術オプション絞り込み	・サイトに適した処分場の概念設計 　・処分場の安全機能と技術要件（→ 6.2） 　・人工バリア材料の基本特性と長期挙動の理解（→ 6.6.2） 　・人工バリアの設計技術（→ 6.3.1，6.5.1） 　・坑道の設計技術（支保工の設計，坑道の力学的安定性評価，耐震性評価技術など）（→ 6.3.3.2，6.5.1，6.6.3） 　・地上・地下施設の設計技術（→ 6.3.3.1~4，6.3.4.1~4） ・処分概念・技術オプションの絞り込み（→ 6.5.2） 　・オーバーパックの遠隔溶接技術（→ 6.6.4.2） 　・人工バリア搬送・定置技術（ブロック施工方式，PEM，吹付ベントナイト，ペレットなど）（→ 6.6.4.3）
8.3.7 予備的な安全評価	・処分場の設計の妥当性の確認とフィードバック ・精密調査計画，次段階の実施事項への反映 ・安全性に対する段階的な信頼性の提示	・シナリオの作成・分類 　・体系的なシナリオ構築手法（→ 7.2.1） 　・FEP 情報の整備（→ 7.3.2.4） 　・地質環境の長期変遷のシナリオ化（→ 7.3.2.1，7.3.2.2） 　・自然現象の影響の評価手法（→ 7.3.2.3） ・モデルの開発 　・母岩の不均質性，設計オプションの影響解析手法（→ 7.3.3.2） 　・地質環境の長期変遷の影響解析手法（→ 7.3.3.1） 　・解析コードの改良（→ 7.3.3.2，7.3.3.3，第 7 章の参考資料 3） ・データセットの整備 　・データベースや知見の整備（収着，拡散，溶解度など）（→ 7.3.4.1） 　・データセットの設定手法（→ 7.3.4.2） ・安全解析（→ 7.3.3.3）
8.3.8 レファレンス処分場概念の構築とセーフティケースの作成	・地質環境の調査・評価，処分場の設計，安全評価のそれぞれの結果を集約し，処分場概念として統合化 ・閉鎖後長期，事業期間中の安全確保，工学的成立性，経済性などの観点から処分場概念を評価し，サイトに適した処分場概念（レファレンス処分場概念）として設定 ・レファレンス処分場概念に含まれる情報のうち，安全評価のシナリオの設定や，モデル，データの設定，安全解析の結果とそれらの設定の論拠に関連する情報を集約してセーフティケースを作成 ・セーフティケースは，「概要調査に関する法定報告書」，「概要調査に基づく概念設計と予備的安全評価に関する報告書」とそれらの補充文書で構成する計画	・処分場概念の考え方，構築と評価の方法論（→ 8.1.1.3） ・セーフティケース構築の考え方（→ 3.2.2.3，7.1.1）
8.3.9 精密調査地区の選定	・精密調査地区選定上の考慮事項への適格性の確認 ・精密調査地区の範囲などの設定 ・調査・評価のプロセスや結果に対する国内外の専門家委員会による評価 ・精密調査に関する法定報告書の作成	・精密調査地区選定上の考慮事項（→ 5.2.3.1）
8.3.10 次段階の準備	・処分施設建設地選定上の考慮事項の策定 ・地質環境の調査・評価，処分場の概念設計，予備的な安全評価における課題（不確実性など）の抽出と重要度の分析 ・精密調査の実施項目の設定（実証試験計画，精密調査の環境保全対策を含む） ・補足的に調査する範囲の設定（必要に応じて） ・精密調査計画書の作成	

参 考 文 献

電事連 (電気事業連合会)・JNC (核燃料サイクル開発機構) (2005)：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.

原環センター (原子力環境整備促進・資金管理センター) (2007)：平成 18 年度地層処分技術調査等地質環境評価技術高度化調査.

原子力安全委員会 (2004)：放射性廃棄物処分の安全規制における共通的な重要事項について.

放射線審議会基本部会 (2010) : 放射性固体廃棄物埋設処分及びクリアランスに係る放射線防護に関する基本的考え方について.

岩月輝希, 豊嶋賢治, 吉田英一 (1998) : 深地層を対象とした地下水の地球化学調査の現状, バックエンド研究, vol. 4., No.2, pp.73-81.

JNC (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－ 分冊 1 わが国の地質環境, JNC TN1400 99-021.

JNC (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, JNC TN1400 99-022.

JNC (核燃料サイクル開発機構) (1999c)：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, JNC TN1400 99-023.

Jonkman, R.M., Bos, C. F. M., Breunese, J. N., Morgan, D. T. K., Spencer, J. A. and Sondena, E. (2002)：Best Practices and Methods in Hydrocarbon Resource Estimations, Production and Emission Forecasting, Uncertainty Evaluation, and Decision Making, SPE Reservoir Evaluation & engineering, Vol. 5, No. 2, pp.146-153.

Littleboy, A.K., Degnan, P.J., Mcleod, R.S. and Norris, S. (1998) : Site Characterisation Strategy and Its Role in Post Closure Performance Assessment, Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 506, pp.719-730.

NUMO (原子力発電環境整備機構) (2004a) : 高レベル放射性廃棄物地層処分の技術と安全性－「処分場の概要」の説明資料－, NUMO-TR-04-01.

NUMO (原子力発電環境整備機構) (2004b)：概要調査地区選定上の考慮事項の背景と技術的根拠,－「概要調査地区選定上の考慮事項」の説明資料－, NUMO-TR-04-02.

NUMO (原子力発電環境整備機構) (2004c) : Development of Repository Concepts for Volunteer Siting Environments, NUMO-TR-04-03.

NUMO (原子力発電環境整備機構) (2009)：概要調査地区選定上の考慮事項, 放射性廃棄物の地層処分事業について 分冊－2.

NUMO (原子力発電環境整備機構) (2011a)：概要調査計画立案の基本的考え方, NUMO-TR-10-08.

NUMO (原子力発電環境整備機構) (2011b) : 地層処分低レベル放射性廃棄物に関わる処分の技術と安全性,「処分場の概要」の説明資料, NUMO-TR-10-03.

OECD/NEA (1991)：Review of Safety Assessment Methods, Disposal of Radioactive Waste, A Report of the Performance Assessment, Advisory Group of the Radioactive WasteManagement Committee, OECD Nuclear Energy Agency.

OECD/NEA (2002)：Establishing and Communicating Confidence in Safety Case of Deep Geologic Disposal:

Approaches and Arguments, OECD Nuclear Energy Agency.

尾上博則, 三枝博光, 大山卓也, 遠藤令誕 (2007) : 繰り返しアプローチに基づくサイトスケールの水理地質構造のモデル化・地下水流動解析 (ステップ４), JAEA Research 2007-034.

太田久仁雄, 阿部寛信, 山口雄大, 國丸貴紀, 石井英一, 操上広志, 戸村豪治, 柴野一則, 濱克宏,松井裕哉, 新里忠史,高 橋一晴, 丹生屋純夫, 大原英史, 浅森浩一, 森岡宏之, 舟木泰智, 茂田直孝, 福島龍朗 (2007) : 幌延深地層研究計画における地上からの調査研究段階 (第１段階)研究成果報告書, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Research 2007-044.

Ota, K., Amano, K., Niizato, T., Alexander, W.R. and Yamanaka, Y. (2010) : Development of comprehensive techniques for coastal site characterisation: Part1－Strategic overview, Proc. 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM2010), Tsukuba, Japan, 3-7 Oct. 2010.

POSIVA (2007) : Modelling of Hydro-Zones for Layout Planning and Numerical Flow Model in 2006, Working Report 2007-01.

三枝博光, 瀬野康弘, 中間茂雄, 鶴田忠彦, 岩月輝希, 天野健治, 竹内竜史, 松岡稔幸, 尾上博則, 水野崇, 大山卓也, 濱克宏, 佐藤稔紀, 久慈雅栄, 黒田英高, 仙波毅, 内田雅大, 杉原弘造, 坂巻昌工 (2007) : 超深地層研究所計画における地表からの調査予測研究段階 (第１段階)研究成果報告書, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Research 2007-043.

総合資源エネルギー調査会(2007) : 放射性廃棄物小委員会報告書中間とりまとめ ～最終処分事業を推進するための取組の強化策について～, 総合資源エネルギー調査会電気事業分科会原子力部会放射性廃棄物小委員会.

SKB (2006) : Final repository for spent nuclear fuel, Underground design Forsmark, Layout D1 SKB R-06-34.

SKB (2008) : Underground design Forsmark, Layout D2, SKB R-08-116.