

## 第 3 章

### 安全確保構想



## 第3章 目次

第3章 安全確保構想	3-1
3.1 安全確保の目標	3-2
3.1.1 安全確保の考え方と目標設定	3-2
3.1.2 閉鎖後長期の安全確保	3-3
3.1.2.1 適切なサイト選定と確認	3-4
3.1.2.2 処分場の設計・施工などの適切な工学的対策	3-4
3.1.2.3 地層処分システムの長期安全性の評価	3-5
3.1.3 事業期間中の安全確保	3-8
3.1.3.1 放射線安全の確保	3-9
3.1.3.2 一般労働安全の確保	3-9
3.1.3.3 周辺環境の保全	3-9
3.1.4 閉鎖後長期と事業期間中の安全確保の両立	3-10
3.2 安全確保に向けた NUMO の方針	3-12
3.2.1 目標を達成するための方針策定	3-12
3.2.2 方針1「安全性の繰り返し確認に基づく段階的かつ柔軟な事業推進」	3-13
3.2.2.1 方針1に関する基本的考え方	3-13
3.2.2.2 方策1：事業全体を俯瞰した計画の策定	3-14
3.2.2.3 方策2：閉鎖後長期の安全性の繰り返し確認	3-16
(1) 安全性の繰り返し確認	3-16
(2) セーフティケース	3-18
(3) 不確実性の取り扱い	3-21
3.2.2.4 方策3：事業期間中の安全対策と環境保全策	3-25
(1) 事業期間中の安全対策	3-25
(2) 環境保全策	3-27
3.2.3 方針2「信頼性の高い技術を用いた事業推進」	3-29
3.2.3.1 方針2に関する基本的考え方	3-29
3.2.3.2 方策1：計画的な技術の整備	3-30
(1) 技術開発の基本方針	3-30
(2) 技術開発課題の体系的な整理	3-32
(3) 技術開発成果の評価と事業への適用	3-33
(4) 技術開発ロードマップ	3-36
3.2.3.3 方策2：技術に関する品質保証の的確な実施	3-37
(1) 地層処分における品質保証の考え方	3-37
(2) 品質保証への取り組み	3-38
3.2.3.4 方策3：NUMO の組織および国内外協力体制の整備	3-40
(1) 人材の確保・育成・技術継承	3-40
(2) 国内外の関係機関との協力体制の整備と技術移転	3-41
3.2.4 方針3「安全性への信頼感醸成へ向けた技術的な取り組み」	3-43

3.2.4.1 方針3に関する基本的な考え方 .....	3-43
3.2.4.2 方策1：事業の各段階における意思決定にかかわる情報提供.....	3-44
3.2.4.3 方策2：安全性や技術の信頼性にかかわる日常的な情報提供と対話活動.....	3-45
(1) 技術情報の提供 .....	3-45
(2) 地層処分の安全性への理解醸成支援策.....	3-46
3.2.4.4 方策3：将来世代が適切な判断を行うための環境整備.....	3-49
3.3 地層処分事業にかかわる個別課題に対する NUMO の考え方 .....	3-51
3.3.1 地層処分事業におけるリスクマネジメント.....	3-51
3.3.2 モニタリング .....	3-53
3.3.3 可逆性と回収可能性 .....	3-55
3.3.4 処分場の閉鎖 .....	3-59
参考文献 .....	3-62

### 第3章 安全確保構想

本章では、安全な地層処分を実現するために NUMO が設定した安全確保にかかわる方針・方策について記述する（図 3-1 参照）。

まず、3.1 に安全確保の目標を提示する。NUMO は、地層処分の安全性は以下の二つを確保することによって達成できると考え、これらを安全確保の目標として設定し、その達成に向けて事業を計画・実施する。

- ・ 閉鎖後長期の安全確保
- ・ 事業期間中の安全確保

閉鎖後長期の安全性は、以下の三つの安全確保策を確実に実施することで確保する。

- ・ 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

事業期間中の安全確保は、以下の三つの安全確保策を確実に実施することで確保する。

- ・ 放射線安全の確保
- ・ 一般労働安全の確保
- ・ 周辺環境の保全

次に、3.2 に安全な地層処分を実現するための方針・方策について記述する。安全確保の二つの目標を 100 年程度にわたる長期の事業期間の中で確実に達成するために NUMO は安全確保に向けて以下の三つを方針として設定し、これに従って事業を推進する。

- ・ 方針 1：安全性の繰り返し確認に基づく段階的かつ柔軟な事業推進
- ・ 方針 2：信頼性の高い技術を用いた事業推進
- ・ 方針 3：安全性への信頼感醸成へ向けた技術的な取り組み

さらに、3.3 に以下に示す地層処分固有の課題に対して、現時点における NUMO の考え方を提示する。

- ・ 地層処分事業におけるリスクマネジメント
- ・ モニタリング
- ・ 可逆性と回収可能性
- ・ 処分場の閉鎖

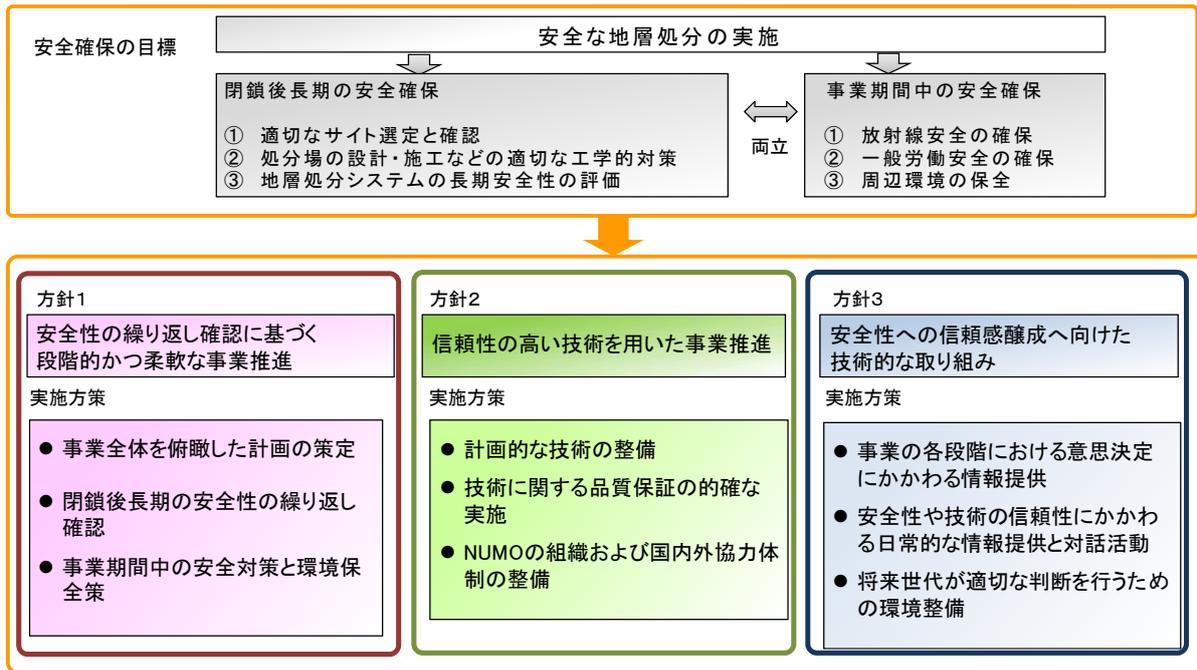


図 3-1 安全確保構想の全体構成

### 3.1 安全確保の目標

#### 3.1.1 安全確保の考え方と目標設定

地層処分の安全確保の目標は、放射性廃棄物が処分場閉鎖後の遠い将来にわたって人間とその生活環境に影響を及ぼさないようにすることであり、また、事業廃止までの事業期間中において地域住民や作業従事者の安全を確保することである。すなわち、NUMOが進める地層処分事業における安全確保とは、「閉鎖後長期の安全確保」と「事業期間中の安全確保」の二つの目標を達成することである。

また、NUMOは、国の最終処分計画などに基づき、安全上の法令や規制の要件に従って、サイト選定と評価、設計、建設、操業、閉鎖および廃止措置を実施していくこと、そして、地層処分システムの安全性が確保され、処分施設の閉鎖後に人為的管理が不要となるように、事業を進めていく。

「閉鎖後長期の安全確保」については、安全性が多重の安全機能によって確保されるように、段階的な調査を通じて適切な地質環境を有する処分施設建設地を選定し、処分施設を設計し、建設、操業、閉鎖および廃止措置を実施する。地層処分システムは、放射性物質を地下深部に閉じ込め、それらを生物圏から隔離する機能を有する必要がある。これらの多重の安全機能を人工的に設ける障壁（人工バリア）と天然の地層（天然バリア）を組み合わせた多重バリアシステムにより担保する。また、安全評価手法を用いて、構築した地層処分システムの妥当性を評価し、最終的にはあらかじめ定められた放射線防護上の要件を満足することを示すことによりその安全性を確認する。併せて、安全評価にかかわる不確実性を低減することにより、その信頼性を高めていく。

一方、「事業期間中の安全確保」については、放射性廃棄物からの放射線や建設・操業時の事故などにより地域住民や作業従事者の安全が損なわれないように対策を講じる。

なお、事業期間中の安全確保のために講じるさまざまな対策（例えば、建設段階での止水対策など）は、長期的な安全確保策との両立性を図ることが必要である。すなわち、事業期間中の安全確

保のために講じる対策により、閉鎖後長期の安全機能を有意に損なうことがないように十分配慮する必要がある（NUMO, 2004c）。

### 3.1.2 閉鎖後長期の安全確保

放射性廃棄物が処分場閉鎖後の将来にわたって人間とその生活環境に影響を及ぼさないようにするという地層処分目標を達成するために、廃棄物を地下深部に閉じ込め、人間の生活環境から隔離することを基本概念として地層処分システムを構築する。具体的には対象廃棄物を安定な地下深部に埋設し、人工バリアと天然バリアから構成される多重バリアシステムによってその機能を担保する。

閉じ込めとは、「廃棄物からの放射性物質の浸出を抑制することで、地下水への放出率を低下させること」（放射性物質の浸出抑制）と、「浸出した放射性物質の移行を抑制することにより、放射性物質移行率を低下させること」（放射性物質の移行抑制）である。

隔離とは、「生活環境から十分離れた安定な地下深部に廃棄物を埋設し、侵食のような地形の変化から防護すること」（地質の長期的な変動からの防護）と、「偶発的な人の接近の可能性を低減するため、人が特殊な技術を用いることなしには廃棄物に接近することが困難であること」（人の接近の抑制）である（6.2.2 参照）。

処分場閉鎖後の潜在的な危険性としては、以下が考えられる。

- (a) 火山・火成活動や地震・断層活動による処分施設の直接的破壊や隆起・侵食による処分施設の地表への接近などの自然現象の著しい影響に起因する被ばく。
- (b) 地下水を介した放射性物質の移行による被ばく。
- (c) 偶発的な人間活動（処分場への侵入など）による被ばく。

地層処分の安全性を長期にわたって確保するために、以下の対策を実施する。

上記の (a) に対しては、適切なサイトを選定（深さも含む）することにより、処分施設が破壊されたり、隆起・侵食により処分施設が地表へ接近するなど、地層処分システムの性能を著しく低下させるような自然現象の影響を回避する。このため、サイト選定段階においてサイト調査を段階的に実施し、不確実性を低減することにより、安定したサイトを適切に選定する。

上記の (b) に対しては、選定したサイト固有の条件や安全を確保するために施される工学的対策などを踏まえ、人の健康に影響を及ぼす可能性のある現象を考慮した適切なシナリオを設定して安全性を評価するための解析（以下、安全解析という）を行い、その結果があらかじめ基準値として定められた放射線防護レベルを超えていないことを確認する。また、各バリアが個々に期待されている機能を発揮するように対策を講じることで、特定のバリアへの依存を回避し、安全性を確保する。

上記の (c) に対しては、人間侵入が起こる可能性の低いサイトの選定（例えば鉱物資源が存在する地域の排除）や処分施設の設計（深さも含む）を行うなどによって安全性を確保する。

このような閉鎖後長期の安全確保は、以下の三つの安全確保策により達成できることが第2次取りまとめで示されており、その妥当性が原子力委員会の評価（原子力委員会, 2000）によって確認されている。この考え方は原子力安全委員会が示した次の安全確保原則（原子力安全委員会, 2000）

とも整合している。

- 1) 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）。
- 2) 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）。
- 3) 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）。

これらの安全確保策を施すことで、地層処分システムが長期にわたって安全性を確保することができることを示す論拠を取りまとめることが、近年国際的に幅広く受け入れられているセーフティケースの概念である（3.2.2.3 参照）。

以下に上記の 1), 2), 3) の安全確保策について詳述する。

### 3.1.2.1 適切なサイト選定と確認

多重バリアシステムが、長期にわたって所期の性能を発揮できるように、適切な地質環境を有し安定性のある処分地を選定することが重要である。

わが国は変動帯に位置していることから、地層処分システムを成立させるための前提条件として、将来にわたり地震・断層活動、火山・火成活動、隆起・侵食などの自然現象の著しい影響を回避する必要がある。その上で、地層処分システムの場合となる地質環境の特性を把握し、その長期的な変遷を理解することにより、処分場として技術的な観点から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。

- ・ 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ことも必要である。

このようなサイト選定における基本的考え方は、すでに公募関係資料（NUMO, 2009a, 2009b）や概要調査地区選定上の考慮事項の技術的背景（NUMO, 2004b）などで述べている。さらに、建設段階以降も、閉鎖後長期の安全確保の観点から重要と考えられる地質環境特性について調査し、データの取得を行い、その時点で得られる最新の知見に基づいて適宜安全性を確認していく。

### 3.1.2.2 処分場の設計・施工などの適切な工学的対策

選定されるサイトの地質環境特性や放射性廃棄物の特性に応じて、人工バリアおよび処分施設などの工学的対策を適切に講じることにより、閉鎖後長期の安全性を確保する。

具体的には、バリアを構成する要素のそれぞれに、廃棄物と地下水との接触抑制、放射性物質の浸出抑制や移行抑制など安全確保にかかわる重要な安全機能を割り当て、それらに十分な安全裕度

を持たせることにより、頑健な処分施設を設計する。この際、頑健性確保の観点から、一つのバリア要素の安全機能に過度に期待することがないように留意し、一つのバリア要素の安全機能が期待されたとおり有効に働かない場合でも、ほかのバリア要素の安全機能により相互に補完されることで十分な安全性が保てるように設計する。なお、ここで述べた安全機能は地層処分システムの長期安全性の評価においても、重要な視点となる。

人工バリアの構成と各構成要素に持たせるべき安全機能の設定に当たっては、サイトの地質環境特性や対象廃棄物の特性を十分に考慮するとともに、調査の進展とともに情報の詳細さが増す地質環境特性に応じて、多重バリアシステムの安全機能が有効に発揮されるように設定することが重要である。

NUMO では、高レベル放射性廃棄物と地層処分低レベル放射性廃棄物の処分施設を併置することも選択肢としているが、その場合は、施設全体の安全機能が単独の処分の場合に比べて有意な影響を受けることのないように、個々の施設の設計および全体の設計を適切に行う必要がある。

地層処分低レベル放射性廃棄物は、高レベル放射性廃棄物に比べて放射能レベルや発熱量が十分低いことから、基本的には高レベル放射性廃棄物処分の技術を応用することで安全な処分は可能と考えられる。ただし、対象となる廃棄物の種類が多様であるため、廃棄物に含まれる物質などの影響を詳細に検討し、安全性を確保する必要がある。

また、国の「TRU 廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体基本計画」（資源エネルギー庁・JAEA, 2006）において、より幅広い地質環境に柔軟に対応するための代替技術が示されており、今後のサイト調査により得られる地質環境特性によっては、それら代替技術を適用することも視野に入れた検討により、頑健な処分場を構築する。

### 3.1.2.3 地層処分システムの長期安全性の評価

2000年にまとめられた原子力安全委員会報告（第1次報告）には、長期安全性の評価においては、地層処分の安全性に影響を及ぼす可能性のある種々の現象を考慮したシナリオに対して、適切なモデルとパラメータによる解析を行い、その一般公衆に対する評価線量が最大となる時期においても、あらかじめ基準値として定められた放射線防護レベルを超えていないことなどを確認することがその基本であるとされている（原子力安全委員会、2000）。

一方、IAEAなどの国際機関では、以下のような認識が示されている。

- ・ 地層処分では、多重バリアシステムによって長期にわたり放射性核種を閉じ込め・隔離するため、一般公衆に対する評価線量が最大となるまでの、極めて長い期間の安全性を評価する必要がある。このような時間スケールにおいては、線量の推定に伴う不確実性が大きくなりすぎ、そのような基準は意思決定の合理的な基盤として役割を果たさなくなる（IAEA, 2010; ICRP, 1999ほか）。
- ・ 評価期間が長くなれば将来における不確実性が増大し、線量の予測に対する信頼性は低下することから、遠い将来に対しては線量を補完するそのほかの指標がより有意義であるという考え方もある（IAEA, 2003）。

地層処分においては、その影響が顕在化する可能性を考慮しなければならないのは、処分場が閉鎖されてから非常に長い時間を経た遠い将来であり、その影響の程度を事業期間中に検証すること

ができない。従って、予測的な手法に基づく安全評価によって長期的な影響の程度を確認する必要があり、この点がほかの原子力施設の安全評価とは異なる。予測的な手法に基づく安全評価では、まず地層処分システムの状態を理解し、これをもとに将来の地層処分システムがどのように変遷していくかを描いたシナリオを構築する。続いてそのシナリオを表現する数学モデルやデータを用いて、放射性廃棄物に含まれる放射性物質が環境に移行していく様子を解析し、その結果を人の被ばく線量に置き換え基準値と比較することによって、閉鎖後の安全性が長期にわたって確保できることを確認する。

なお、安全評価では、極めて長い時間スケールを考慮しなければならないこと、および天然の地層という不均質で大きな空間領域を対象とすることに起因する不確実性が含まれる。このような不確実性は、サイトの地質環境情報を段階的に取得することで、可能な限り低減する。さらには、残された不確実性を勘案して処分場の設計を保守的に行うことにより、不確実性の影響を可能な限り低減する。これらの安全確保対策によって、不確実性をできる限り小さなものとする。

しかし、不確実性を完全に排除することはできないため、地層処分の安全評価では、なお残された不確実性を、シナリオ、モデル、データの不確実性として考慮した上で、地層処分システムの安全性を示す。このような安全評価は、安全性を包括的に論証するセーフティケース（3.2.2.3 参照）において、処分場の長期の安全性を示す主要な構成要素のひとつとなる。安全評価に基づく安全性の確認は、安全解析の結果と基準値との比較のみではなく、補完的安全指標の適用や自然界や考古学分野における類似事例（ナチュラルアナログ事例）との比較など、より多面的な視点を含めて示すものである。これにより、安全性に対する信頼性をより一層向上させる（例えば、NUMO, 2004a）。

原子力安全委員会においては、上述のような避けることができない不確実性を考慮して安全評価を行うためには、シナリオの発生の可能性とその影響を組み合わせたりリスク論的考え方の適用が有効としている。また、評価期間の設定に関連して、比較的信頼性の高い評価が可能な期間を相対的に重視し、その期間における実体的防護機能をできるだけ高めておくことにより、それ以降の長期的な防護性能の頑健性を確保するという、いわば技術的に最善の手段を講ずるとの考え方の有効性の検討も提案されている（原子力安全委員会、2004）。

また放射線審議会は、放射性廃棄物処分に係る潜在被ばくについては、自然過程における通常の被ばく状況と偶然の人間侵入における被ばく状況に分けて、それぞれの放射線防護上の基準として、前者に対しては線量拘束値を適用し、後者については ICRP の考え方を参考に 20mSv/年を上限とする値を適用することが妥当との考え方を示している（ICRP, 1999；放射線審議会、2010）。

以上のような背景を踏まえ、NUMO としては、以下の考え方で長期の安全評価を行うことにしている。

#### (a) 安全評価の考え方

原子力安全委員会が策定した「第二種廃棄物埋設の事業に関する安全審査の基本的考え方」（原子力安全委員会、2010）の解説には、原子炉等規制法に示される第二種廃棄物埋設の事業は、段階的な管理を経た後、最終的には、管理を必要としないような状況へ移行可能か否かについてあらかじめ審査を行い、このことについて見通しを得ておく必要があると記述されている。この際の「管理を必要としない」とは、事業者あるいは国の管理は一切見込まないということであり、基本的には事業者が管理期間において安全確保策を確実に実施することで、結果として管理期間終了後の安全も確保できるという考え方に基づいている。

一方、地層処分においては、対象とする廃棄物に長半減期の放射性物質が有意に含まれるため、放射能の減衰に応じた数100年程度の段階的な管理を行うことで安全が確保できるわけではない。すなわち、地層処分の概念は、前述の第二種廃棄物埋設のように、一定期間、人間の管理によって安全を確保するという概念とは異なり、地層の有する隔離・閉じ込め機能に委ねるというものである。具体的には、地質学的に安定な地層深くに廃棄物を隔離し、放射性物質を閉じ込めることによって人間の積極的な関与を期待することなく安全を確保しようというものである。なお、地層つまり天然のバリアによる安全確保に加えて、国による記録の保存や事業者からの申請に応じて国が行う保護区域の設定が可能な制度となっている。

地層処分の安全評価の方法を検討するに当たっては、以上のような第二種廃棄物埋設の事業との違いを念頭において検討していくことが重要である。

地層処分の安全審査における安全評価シナリオなどの具体化については、今後、原子力安全委員会などにおいて検討されることになるが、本報告書では、当面の考え方として、原子力安全委員会報告（原子力安全委員会、2004）および放射線審議会基本部会報告（放射線審議会、2010）の考え方に沿って以下のように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する考え方を示す。

#### (b) 自然過程を介するシナリオ（自然過程における通常の被ばく状況を評価するシナリオ）

本シナリオを設定する際に重要となるのは、将来の地質環境の変遷や、火山・火成活動、地震・断層活動、隆起・侵食といった自然現象の影響を、どのように評価シナリオに取り込むのかということである。

自然現象の将来予測については、外挿法を中心として、これまで種々の検討がなされており、わが国では、「過去数10万年程度の地質学的記録を基に、将来10万年程度の推論は可能である」との合意が得られている（土木学会、2006）。しかし、地層処分では、その安全評価において最大線量が現れる時期が、10万年を大きく超える場合もあり、また、10万年を超える将来の地質環境の変遷や自然現象の発生に係る予測の精度については、現象ごと、地域ごとに異なると考えられることから、より長期の将来予測をどのように行うべきか検討する必要がある。

一方、この問題に対処するため、1999年にJNCが取りまとめた第2次取りまとめでは、超長期の将来の地質環境の変遷や自然現象の発生予測については、厳密に行うのではなく、種々の不確実性を取り込んだ様式化されたモデルを設定している（JNC、1999）。

このような背景を踏まえ、NUMOにおいては将来の地質環境の変遷や自然現象の予測期間を以下のように区分した。

期間A：過去～現在のデータが十分にあり、外挿法などによる将来予測が可能な期間。外挿法では、予測期間に対して十分長い期間の地形地質情報（変動傾向、メカニズム、駆動力）に基づき将来を予測する。過去の変動傾向について、複数の仮説があったとしても、将来予測をする上でそれらの違いがもたらす差が小さいと判断できる期間。

期間B：不確実性は大きくなるが、外挿法などにより将来予測が可能な期間。外挿法では、外挿を否定する積極的なデータがないことを前提に、予測期間よりも短い過去の期間の地形地質情報（変動傾向、メカニズム、駆動力）に基づき将来を予測する。このため、過去～現在のデータが少ない、あるいはばらつきがあることなどに起因し、過去の変動傾向

について複数の仮説が考えられ、それらの間の差を考慮する期間。

期間C：外挿法による将来予測が難しい期間。過去～現在のデータからでは変動傾向が得られないか、または、過去～現在の変動傾向、その要因が継続するのかがわからないか、継続しないことが想定される期間。

安全評価においては、一般公衆に対する評価線量が最大となる時期においてもあらかじめ基準値として定められた放射線防護レベルを超えていないことなどを確認することがその基本であるが（原子力安全委員会、2000）、超長期の放射線防護基準については、天然の放射能濃度との相対的比較などの補完的指標を考慮することも考えられる（原子力安全委員会、2004）。

これらを踏まえ、閉鎖後長期の安全評価においては、最大の線量が出現する時期まで評価することを基本とするが、上記のように将来予測の信頼性が期間により異なることから以下のようなシナリオ設定を行う。

期間A+期間Bの期間内では、地質環境の変遷や自然現象の予測を行うとともに、さまざまな不確実性の影響を線量評価シナリオに反映し、そのシナリオによって計算された線量と基準値とを比較することをもって、地層処分システムが閉鎖後長期間にわたって安全に構築されていることを確認する。

また、期間Aにおいては予測の不確実性は比較的小さいことから、最新の知見に照らして科学的に確からしいと予見される標準的なシナリオを策定することが可能と考えられる。このため、このようなシナリオを用いて線量評価することによって、安全性に対する裕度を事業者が自主的に確認することが可能となり、評価された被ばく線量が基準値を下回る場合でも、防護の一層の最適化の観点から、当該被ばく線量を合理的に達成可能な限り低く抑えるよう努力していることを示すことが可能になる。

期間Cにおける影響評価は不確実性が大きすぎ、必ずしも将来の人間環境における放射線レベルへの影響を評価するための論拠とはならないことから、線量評価の結果を基準値と比較しても意味を持たない。従って、考慮する地質環境の変遷や自然現象を様式化して評価モデルに取り込み、天然の放射能濃度との相対的な比較を行うなどの補完的な評価方法についても検討を行う。

### (c) 人為過程を介するシナリオ（偶然の人間侵入における被ばく状況を評価するシナリオ）

地層処分では、人間の侵入をより難しくする地下深部へ処分施設を設置すること、さらに、国による処分の記録の永久保存や保護区域の設定による土地利用制限を行うこと、有用な鉱物資源の存在記録がない場所を処分場として選定するなどの措置を行うことにより、処分施設と人間との接触の可能性を小さくすることが可能となっている。人為過程を介するシナリオについては、これらの安全確保上の措置が講じられていることを考慮して設定する。

意図的な行為については、諸外国でも安全評価の対象とはしていないことから（OECD/NEA, 1995 : Nagra, 2002 : SKB, 2006など）、処分施設を認知しない偶発的な行為のみを評価の対象とする。

### 3.1.3 事業期間中の安全確保

NUMOは、サイト選定から事業廃止までの事業の各段階において、地域住民や作業従事者に対して放射線安全および一般労働安全の確保を徹底する。安全確保のための対策をより適切に実施する

ためには、事業期間中におけるさまざまなリスクを分析し、施設設計や調査・工事計画さらには保安規定などに反映し、適切な対策を講じることが重要である。

さらに、地層処分事業においては、坑道の掘削、掘削土の仮置きなど、大規模な土木工事を伴うため、周辺環境へのさまざまな影響を回避・低減することも重要である。

以上のことを考慮して、事業の各段階における安全確保策について、基本的な対策を述べる。

### 3.1.3.1 放射線安全の確保

放射線安全の確保については、原子炉等規制法などの関連する法律などを遵守し、地層処分施設に起因する放射線被ばくから一般公衆および作業従事者などを防護するため、十分な対策を講じる。この際、ALARA<sup>31</sup>の考え方に基づいて、放射線影響の低減に努める。

処分施設の設計では、地層処分施設に起因する一般公衆が受ける線量および作業従事者が受ける線量を合理的に達成可能な限り低く抑えるよう配慮し、遮へい設備、放射線管理設備など必要な設備を設ける。また、管理区域や周辺監視区域などの区域管理を適正に行う。

また操業においても、原子力関連施設における安全確保策をもとに対策を講じる。例えば、ガラス固化体の受入、検査、封入のプロセスにおいては、中間貯蔵施設における遠隔操作などの技術を適用することができる。また、火災や地震などの事象に対しては、二次的な事象として設備の破損などによる放射性物質の漏えいの可能性が考えられる。火災に関しては発生防止策や影響緩和策、地震に関しては耐震設計と地震に伴う事象（津波、大規模な斜面崩壊など）が発生した場合の対策などの検討などを行う。

### 3.1.3.2 一般労働安全の確保

一般労働安全とは、放射線影響以外の災害に関して安全を確保するものである。現地で地質調査などを開始する精密調査地区選定段階から事業の廃止に至るまでの期間が一般労働安全を確保する対象期間である。

一般労働安全に関しては、建設工事における従来の考え方を適用し、土木工事（トンネル工事など）や鉱山の操業などの安全対策の事例をもとに対策を検討して安全を確保する（NUMO, 2004a）。

例えば、坑道内の落盤、水没などの事象については、トンネル工事などにおける対策が有効である。また、敷地外においても、資材搬入車両による交通災害などの防止を徹底する。なお、地下施設における火災や爆発などの事象に関しても、坑道が長大であることなどに留意して既設の長大トンネルや鉱山の例を参考に適切な対策を講じる。

### 3.1.3.3 周辺環境の保全

わが国では、1993年に制定された「環境基本法」とこれを受けて1997年に制定された「環境影響評価法」により、環境への影響の評価に関する具体的な手続きなどが示されている。環境影響評価法における「環境影響評価」とは、ある事業の実施による環境への影響について、環境の構成要素にかかわる項目ごとに調査、予測および評価を行うとともに、これらを行う過程において環境保

<sup>31</sup> ALARAとは国際放射線防護委員会が1977年勧告で示した放射線防護の基本的考え方を示す概念であり、「as low as reasonably achievable」の略語である。放射線防護の最適化として「すべての被ばくは社会的、経済的要因を考慮に入れながら合理的に達成可能な限り低く抑えるべきである」という基本精神にのっとり被ばく線量を制限することを意味する。この精神は原子力発電所周辺の住民が極力放射線被ばくを受けない事を合理的に達成することを意図している。

全のための措置（保全措置）を検討し、その措置を講じた場合の環境影響を総合的に評価することと定義されている。

現時点においては、地層処分事業は環境影響評価法で定める対象事業種に該当していないが、「今後の環境影響評価制度の在り方について（中央環境審議会，2010）では、「将来的に実施が見込まれる事業のうち、規模が大きく環境影響の程度が著しいと考えられる事業」として放射性廃棄物処分場の建設事業が挙げられ、「国の関与のもとに、何らかの形で環境影響評価を行う仕組みの検討が必要である」と述べられている。

NUMO は、地層処分事業の環境影響評価法の対象事業種への指定の有無にかかわらず、事業の進展に際しては、上記の考え方で地層処分事業を進めるとともに、将来、環境影響評価法での地層処分事業の位置付けが明らかになれば、それにのっとった適切な手続きを実施する。

#### 3.1.4 閉鎖後長期と事業期間中の安全確保の両立

地層処分の安全確保の目標は、放射性廃棄物が処分場閉鎖後の遠い将来にわたって人間とその生活環境に影響を及ぼさないようにすることであるが、閉鎖完了までの事業期間中において地域住民や作業従事者の安全を確保することも重要である。すなわち、NUMO が進める地層処分事業における安全確保とは、「閉鎖後長期の安全確保」と「事業期間中の安全確保」の二つの目標を達成することであり、もしこれらの中で対立する要件が存在する場合には、さまざまな施策を導入することによりこれらを両立させる必要がある。ただし、ここで考慮する事業期間中の安全確保は、作業従事者の安全を確保するといったいわゆる労働安全にとどまらず、建設や操業を効率的に実施するために必要な措置なども含んでいる。

「閉鎖後長期の安全確保」と「事業期間中の安全確保」のそれぞれの要件に基づいて処分場建設の計画・設計を行った場合、特別な措置なしでは各要件が両立しない場合もある。例としては、処分場を建設・操業するために設置・使用する機材などの残置物が処分場の閉鎖後にも残るために、処分場の閉鎖後長期の安全性に有意な影響を及ぼす可能性があるというケースや、操業中に地下空洞を開けた状態で長期間にわたって換気や排水を行うことにより母岩が影響を受け、母岩の特性が変化するというケースがある。このようなケースに対しては、科学的な対処と工学的な対処の二種類の対処により要件の両立を図る。図 3.1.4-1 に、閉鎖後長期の安全確保の要件と安全かつ効率的な処分場の操業からの要件の対立という問題を、科学的小よび工学的な対処を施すことにより要件を両立させる考え方を示す。

「閉鎖後長期の安全確保」と「事業期間中の安全確保」の要件を両立させるための方策の一つ目として科学的な対処により、残置物の及ぼす影響や操業期間中に地下環境が受ける擾乱の度合いを評価するという方法がある。この例としては、建設・操業中に設置された支保工（コンクリート、鋼材、有機系材料）が、人工バリアの変質による水理学的特性の変化や、人工バリア・天然バリアによる核種の遅延効果などに及ぼす影響を各種試験やシミュレーションなどにより科学的に評価するという方法が考えられる。

工学的な対処は、設計変更により残置物そのものをなくす方法や、代替材料を用いることによりその影響を低減するという対処方法である。例えば、残置物を処分場の閉鎖前に全部あるいは部分的に撤去することにより閉鎖後長期への影響を緩和する方法がある。あるいは、問題となる残置物の材料を異なった材料に変更することにより影響を回避するという方法もある。後者の例としては、コンクリートに由来する高アルカリ地下水が緩衝材や母岩に及ぼす影響を低減するために、低アル

カリ性セメントを開発・適用するといった対処がある。また、操業期間中の坑道の換気や排水が母岩に及ぼす影響を低減することを目的として、坑道の掘削から廃棄物の定置・坑道の埋め戻しまでの時間を短くするという方法も考えられる。スイスの Nagra は高レベル放射性廃棄物の処分のためにオパリナス粘土層を母岩として検討を進めているが (Nagra, 2002), 空洞を空けておく期間をできるだけ少なくすることにより岩盤の力学的影響を低減するために、トンネルの掘削と廃棄体の定置を並行して実施するという方法を検討しており、これは建設・操業中の影響を緩和するための工学的な対処の一例である。

わが国では、現状では対象とする母岩や処分場の設計が確定していないため、さまざまなケースを想定し、上記の対処により要件が両立するよう、科学的知見を拡充すると同時に工学的な対処法に関する検討も進めている。

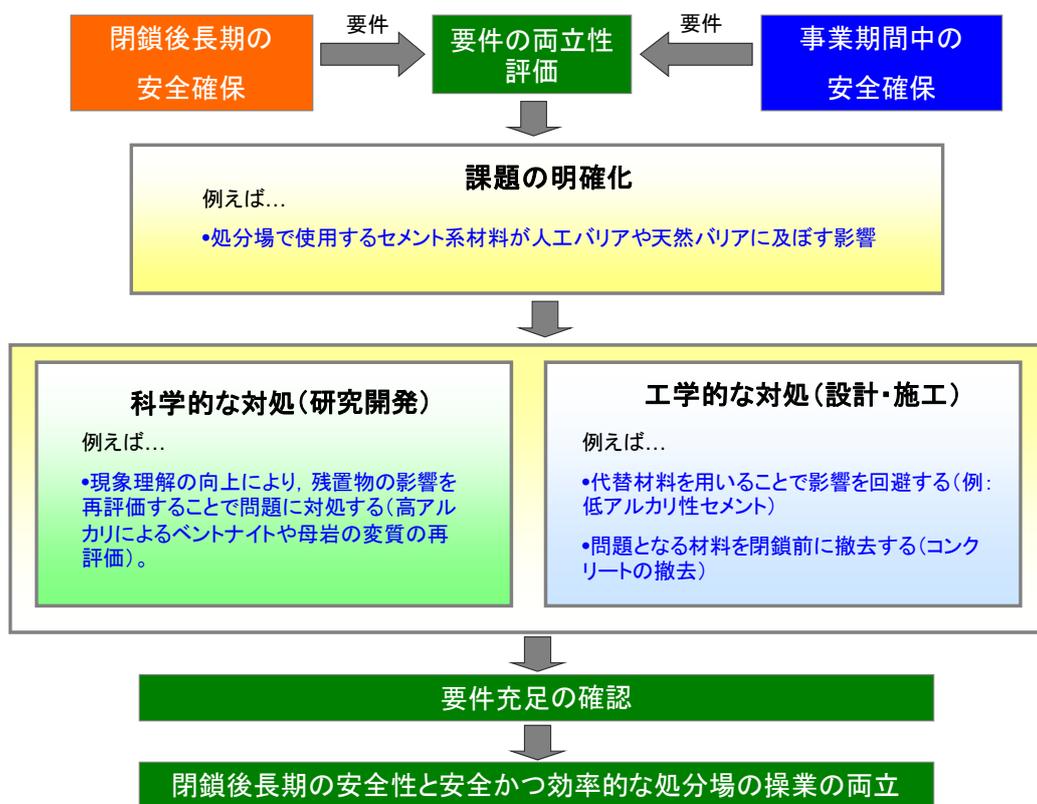


図 3.1.4-1 閉鎖後長期の安全確保と事業期間中の安全確保の要件両立の考え方

## 3.2 安全確保に向けた NUMO の方針

### 3.2.1 目標を達成するための方針策定

前節で述べた安全確保の二つの目標を達成するためには、地層処分が有する課題やわが国固有の前提条件を十分に考慮して事業を進める必要がある。

地層処分の閉鎖後長期の安全性については、安全確保のために考慮すべき時間が長く、不均質かつ広大な地下環境を活用するため、避け難い不確実性を伴う。そのため、念入りな調査や評価を行い、不確実性をできるだけ低減しながら安全性に関する信頼性を向上させていく必要がある。また、施設が安全に機能することを直接実証することができないので、社会的合意形成を図るためにも、不確実性の管理に重点を置いたセーフティケースの概念を適用することが有効である。セーフティケースは、安全性にかかわるさまざまな論拠に基づき、安全性とその信頼性に関する情報を総合的に取りまとめたものであり、地層処分の安全性を示すための根拠としての役割を有する。また、地層処分は、サイトの選定から処分場閉鎖に至るまでの間に 100 年程度の長い時間を要するため、この間に事業を取り巻く社会環境条件が変化することもあり得る。

このように複雑で長期的な事業を着実に遂行するためには、全体を俯瞰しつつ、事業を段階的かつ柔軟に進めることが肝要である。これにより、安全性にかかわる論拠を段階的に拡充することができるとともに、社会環境の変化にも適切に対応し、事業への信頼性を段階的に高めていくことができる。特に安全性に関しては、事業の各段階ごとに、それぞれの段階で得られる情報に基づいて安全評価を繰り返し実施し、結果を公表していくことで、国民や地域住民の理解を段階的に深めていくことにつながる。

以上により、NUMO は、

#### **「安全性の繰り返し確認に基づく段階的かつ柔軟な事業推進」**

を安全確保に向けた事業方針とする。

また、上述のように数万年以上にわたる閉鎖後長期の安全性については、従来の実証的な手法で確認できないため、科学技術などの知見を集約してモデリングを図り、現実的なデータに基づく予測的手法を採用して評価を実施することになる。このような予測的な評価の信頼性を極力高めるために、その評価の前提となるサイト調査や工学的対策においては、信頼性の高い技術を用いることが不可欠である。また、安全評価の手法やそのもととなる科学技術などについては、それぞれの時点において可能な限り信頼性の高い手法を用いることが必要である。

このように、技術的に最善の手段を講じるということは、遠い将来の世代の健康と環境を守るための合理的な対策であり、現世代が果たすべき責務である。

以上により、NUMO は、

#### **「信頼性の高い技術を用いた事業推進」**

を安全確保に向けた事業方針とする。

地層処分事業においては、技術的な検討により示された安全性をいかに地域住民や国民の安心感につなげ、事業を受け入れてもらえるかということが、事業を実現させるための重要な要件である。そのため、信頼感醸成は地層処分事業においては欠くことのできない重要な視点であり、そのためにはさまざまな関係者を対象とした広範な理解活動・対話活動を行う必要がある。そのような活動のために技術面においても計画的な取り組みを実施していく必要がある。

以上により、NUMOは、

**「安全性への信頼感醸成へ向けた技術的な取り組み」**

を安全確保に向けた事業方針とする。

### 3.2.2 方針1「安全性の繰り返し確認に基づく段階的かつ柔軟な事業推進」

#### 3.2.2.1 方針1に関する基本的考え方

地層処分事業では、地下の地質環境を利用して放射性廃棄物を人間の生活環境から隔離し、処分場の閉鎖後長期間にわたり安全性を確保することが重要である。

地層処分システムの長期安全性の評価においては、評価期間の長期性や地質環境の不均質性に起因する時間的、空間的な不確実性に適切に対処していく必要がある。そのためには、三段階のサイト選定プロセスを通して、安全確保上重要な不確実性を特定して段階的に関連するサイトの地質環境の情報を蓄積・詳細化するとともに、地下における施設の建設や操業時においても同様に地質環境の情報を更新し、上記の不確実性を徐々に低減していくことが有効である。さらに、科学技術の最新知見を適切に取り込みつつ段階ごとに更新、拡充される地質環境の情報に基づき、処分場設計の最適化と安全評価を繰り返し実施することで、地層処分システムの長期安全性と技術的信頼性を向上・強化していく（安全性の繰り返し確認）。

各段階の節目や途中で安全性の確認を繰り返すことにより、安全確保の目標を達成しているかどうか、その時点で優先的に取り組むべき課題が何かを抽出する。これにより、次段階以降の適切な技術開発計画の策定などにもその結果を反映することが可能となる。ただし、地層処分の安全性は数万年以上の長期間を対象とした評価を行う必要があるが、実証することはできないため、安全性に関するさまざまな証拠や論拠の集合体であるセーフティケースを構築することにより各事業段階で安全性を示すことが地層処分の安全確保のために有効であると考えられる。なお、セーフティケースは各事業段階で得られる情報に基づいて構築されることになるため、段階的に更新されていくものである（段階的な事業推進）。

また、長い事業期間の中では、2.2.1に述べたように社会的な環境が変化するなど、事業を取り巻く環境・条件などが変化することも予想され、事業開始時点で策定した計画を、安全性を確保しつつ柔軟に変更していくことも重要である。このため、あらかじめ事業全体を俯瞰した計画を策定して着手し、事業の進展とともに各段階で得られる情報を活用して変化に柔軟に対応するとともに、その都度安全性の確認を行い信頼性を高めていく必要がある（柔軟な事業推進）。

以上より、事業の安全確保のための一連の検討に当たっては、3.1.2に述べた三つの安全確保策（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）の連携の仕組みを整えるとともに、事業全体を俯瞰した安全確保の目標を達成するための事業推進計画を策定し、3.1で述べた閉鎖後長期の安全確保および事業期間中の安全確保をこの計画に従って実現する。具体的には、以下の三つを方針1の具体的実施方策とする。

- 1) 事業全体を俯瞰した計画の策定
- 2) 閉鎖後長期の安全性の繰り返し確認
- 3) 事業期間中の安全対策と環境保全策

以下に、上記の実施方策について具体的に記述する。

### 3.2.2.2 方策1：事業全体を俯瞰した計画の策定

長期間にわたる事業を円滑に推進し、安全を確保していくためには、あらかじめ事業全体を俯瞰して計画を策定した上で、段階的かつ柔軟に進めることが肝要である。それにより、安全性を段階的に強化することができるとともに、社会環境の変化にも適切に対応でき、事業への信頼性を段階的に高めていくことができる。

NUMO は、事業全体を俯瞰した計画を策定するために、「安全確保ロードマップ」を作成した。安全確保ロードマップは、文献調査の開始から事業の廃止に至るまでを10の段階に分け、各段階における事業目標、安全確保にかかわる目標、目標達成にかかわる要件、各分野における実施事項を各段階について記述したものであり、具体的には第4章で紹介する。安全確保ロードマップは、事業の進展とともに、それまでの技術の進展や新たな状況変化を反映しつつ詳細な内容に改訂していく。なお、後述する方策2、方策3に関するロードマップもそれぞれ技術開発ロードマップ、信頼感醸成ロードマップとして作成しており、これらも第4章で紹介する。

このように段階的に推進する事業の中で意思決定を行う際の基準として、国が設定する基準（法規制）と、法的には規制されていないが事業者（民間）が自主的に設定する基準の二種類が考えられる。事業者が自主的に設定する基準は、国が設定する基準を事業者の立場から具体化するために設定するものに加えて、事業の運営管理にかかわるものも含んでおり、それらを自主基準として設定する。

100年程度にわたる長期の事業期間においては、社会的、制度的、技術的な変化が起こり得ることから、そうした変化に柔軟に対応していくためには、さまざまな事態を想定し、必要な技術オプションを検討、準備しておくことが大切である。

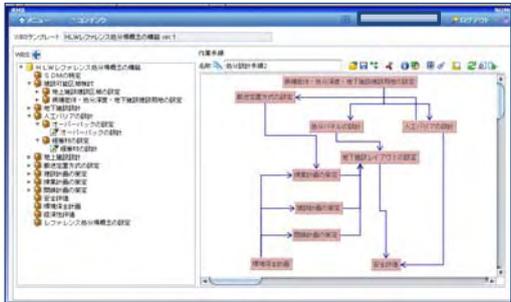
また、想定外の事態にも柔軟に対応できる体制や仕組みも整備しておく必要がある。さらに、技術的に安全性を担保することが困難な状況が生じた場合には、事業の推進を止めたり、あるいは逆戻りさせる場合もあり得るため、組織として柔軟な対応ができるようにしておくことが必要である。このような重大な意思決定を行う場合には、NUMO 単独ではなく、地域住民、規制関係機関、国の政策決定機関、廃棄物発生者などと十分協議の上で意思決定する必要性も生じ得る。

このような柔軟な対応を可能とするため、技術の開発・整備においては必要に応じ複数のオプションを用意することに努める。なお、事業を遂行する上でのさまざまなリスクへの対応（リスクマネジメント）については、現状での基本的考え方を3.3.1に示す。

外的状況の大きな変化に迅速かつ的確に対応するためには、過去の意思決定や技術判断の経緯や根拠に立ち返る必要が生じることもあることから、意思決定や技術判断にかかわる情報を体系的に記録・管理し、必要時に速やかに利用できる準備を進めておくことが重要である。NUMO では、事業の推進に当たって考慮すべき広範な要件とそれらを前提とした意思決定を一括管理する「要件管理システム」の開発を進めてきた（NUMO, 2009d）。このシステムでは、事業にかかわる要件（法的な要件、技術的な要件など）、意思決定項目やその付帯情報をデータベース化することにより、さまざまな意思決定を支援し、それらの結果を体系的に記録し、検索することができる（図 3.2.2-1）。

**要件管理業務**  
 •法的な要件, 技術的な要件, 設計要件, 地質環境条件など  
 •主要意思決定事項, 処分場概念の構築などの作業項目

電子データベース化



**技術業務の支援**  
 •要件の体系化  
 •技術業務の要件, 関連情報の閲覧および効率的な収集  
 •過去の意思決定・技術業務の追跡性の確保

電子データベース化



図 3.2.2-1 要件管理システム

((a) 原環センター, 2004 を編集, 一部加筆 (b) 原環センター, 2008 を編集)

一方, 基盤研究開発機関でも地層処分に関する研究開発成果の管理を実施するための基盤的技術の整備が進められてきており, これらも NUMO が事業の全体を俯瞰しつつ柔軟な運営を進める上での支援ツールとして活用していく予定である。

その一例は, JAEA が開発・整備を進めている知識マネジメントシステム (KMS) である。KMS は, 100 年程度にわたる事業の長期性と安全確保の超長期性という地層処分固有の特徴を踏まえ, 時間とともに累積的に増加する膨大な情報を有機的な知識として利用することを支援するシステムで, 研究開発成果や関連する国内外の知見を体系化して管理, 伝承していくための知識ベースとその知識の活用を支援する知識マネジメントからなる (JAEA, 2010) (図 3.2.2-2)。NUMO では, KMS に蓄積された情報を有効に活用することで, 事業に必要な情報や知見を効率的に収集・活用する予定である。また, 必要に応じて KMS とデータを共有することも検討していく。

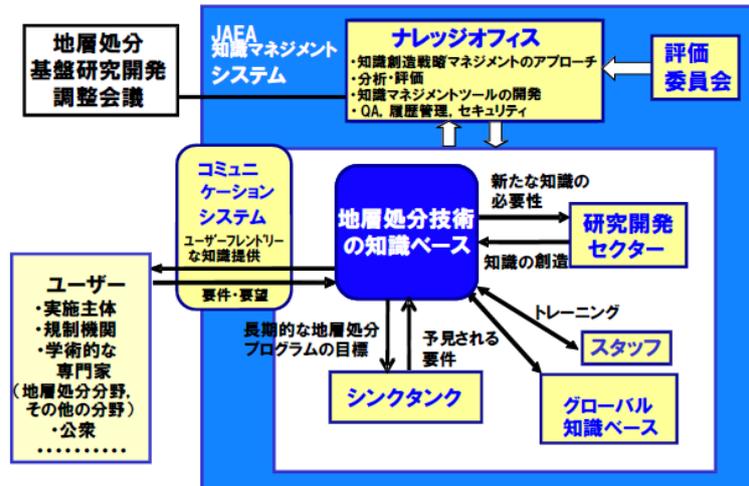


図 3.2.2-2 知識マネジメントシステム概念  
(出典：JAEA, 2010)

### 3.2.2.3 方策2：閉鎖後長期の安全性の繰り返し確認

地層処分における安全確保を図るために、事業の各段階でそれぞれの安全確保のために施した対策の妥当性について確認することが必要であり、処分場の閉鎖後には人間の関与に頼らない受動的な安全性を確保できる地層処分システムを構築することが求められる。3.1.2.3 で述べたように、地層処分システムで長期にわたって安全性を確保できることを示すためには、安全評価によって得られた線量があらかじめ定められた放射線防護基準を超えることがないことを確認する。放射線防護基準は、安全規制の枠組みの中で明確に示されるべきものであるが、それが定められていない現段階では、諸外国の防護基準やわが国の放射線審議会での検討結果（放射線審議会，2010）などを評価の参考にする。

一方、安全確保に向けて地層処分システムを構築していく際には、放射線防護基準を満足するかどうかという視点に加えて、安全確保のための基本概念である「隔離機能」と「閉じ込め機能」を確保できるように、自然現象の著しい影響を回避した上で、地層処分に適したサイトや母岩を選定し、適切な工学的対策を施すことにより安全性を確保するという考え方が重要であり、そのような対策の妥当性の検討も含めて安全性を確認していくことを基本とする。

ここでは、安全性の確認をどのような考え方に従って繰り返し実施していくのかについて述べ、安全性の確認において重要な役割を果たすセーフティケースについて記述し、セーフティケースの信頼性において重要な意味を持つ不確実性について、NUMO の考え方を提示する。

#### (1) 安全性の繰り返し確認

NUMO は、閉鎖後長期の安全性を確保するために三つの安全確保策（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）を緊密に連携させ、得られた情報を統合しながら、地層処分システムの安全性を各段階の節目や途中で繰り返し確認することにより、その信頼性を継続的に向上させていく。地層処分の安全性を示すには、地層処分システムに必要とされる安全機能を示し、その機能が損なわれる可能性のある要因を明確化し、その要因が適切に取り扱われていることを示す必要がある。さらには、地層処分システムの安全機能にかかわる不確実性が適切に扱われていることが重要である。

不確実性に対して保守的なモデルやデータセットを安全評価上用いる場合には、十分な安全裕度を有しているとの主張が可能である。一方、現実的なモデルやデータセットを用いる場合には、その信頼性を確保するために、不確実性の影響を過小評価していないことを示す十分な根拠を準備する必要がある。ただし、過度に保守的なモデルやデータセットを採用することは、有望なサイトの排除や極端に保守的な設計に陥る可能性があり、事業を合理的に進めるという観点で好ましいことではない。このため、モデルやデータセットの選択に際しては、関連する知識に含まれる不確実性の大きさ、モデルやデータセットの保守性の程度、モデルやデータセットの妥当性を示す根拠の充実度という三者を十分考慮して適切なものとするのが重要である。

地層処分を実施する過程では、段階的なサイト調査による地質環境条件の理解や研究開発による現象理解などが進展することによって知見が拡充され、より定量的な検討が可能となる。このように事業の進展とともに情報を拡充することにより、安全性に対する信頼性を向上させる。同時にモデルやデータセットについての過度の保守性があればそれらを低減する。また、安全評価においては、サイト調査や処分場設計などの工学的対策と連携し、過度の保守性を低減しつつ、安全評価の信頼性を向上させることが重要である。従って、以下の三つの考え方に基づいて安全性を示していく。

- ・ サイトの地質環境の理解の深化と不確実性の低減
- ・ サイトの地質環境に応じた処分場概念の具体化
- ・ 安全評価の精度と信頼性の向上

まず、感度解析や不確実性解析などにより安全確保のために重要な不確実性要因とその感度の情報を把握して、安全確保戦略の策定、見直しを行う。また、この戦略をもとに、前段階までに得られた情報や知識に基づいて、サイト調査・評価や技術開発を実施することにより、対象とする地層処分システムの理解を深める。それに引き続いて、安全評価シナリオの構築（見直し）、モデル・データセットの作成（更新）を経て安全解析を行う。安全解析の結果およびその評価・分析に基づいて、安全確保の信頼性を向上させるために次段階で行うべき調査ターゲットを具体化するための情報をサイト調査・評価に対して提供する。また、処分場設計や建設・操業・閉鎖計画立案に対しては、不確実性の取り扱いに起因する過度の保守性の合理化を行うための情報あるいは設計オプションの違いが安全性に及ぼす定量的な差異の比較結果などの情報を適宜提供することが重要となる。

ただし、サイト調査の初期段階においては、厳密な安全評価を行うための地質環境特性などに関する情報が必ずしも十分に得られていない場合も想定される。その場合には、適切なサイト選定と確認に関する重要な情報は何か、処分場の設計・施工などの適切な工学的対策が施されることによって期待する安全機能（6.2.2.1 および 6.2.2.2 参照）がいかにかに発現されるかといった観点から、その段階で重要な不確実性を考慮に入れた安全確保のための条件の検討を行う。その際、地層処分システムに含まれる不確実性の中で安全性に影響の大きい要因をさまざまな解析的検討などを通じて特定する。それらの検討から、その段階での不確実性を反映した幅を持った概略的な線量評価結果とともに、次段階での不確実性の低減策とその実現性、妥当性の分析も含めて安全確保策の見通しを示す。

概要調査地区選定段階（文献調査の段階）では、法定要件を満足しているかどうか为主要な検討事項となり、火山・火成活動、地震・断層活動、隆起・侵食といった自然現象が処分施設に著しい

影響を及ぼす場所を避けることが重要である。法定要件を満足しない場合は次段階には進まないが、情報源が文献に限られるため、相当程度の不確実性が残る場合もあり、そのような場合には次段階以降の調査によって必要な情報を拡充する。

次の精密調査地区選定段階（概要調査の段階）では、前段階で文献情報に基づいて検討した当該地区への自然現象の著しい影響の有無を、現地で直接取得する情報を用いて評価・確認するとともに、当該サイトの地質環境が地層処分を実施するのに適しているか否かについて調査・検討を行う。処分施設建設選定段階（精密調査の段階）では地下調査施設の建設に多くの時間と費用を費やすことになるため、精密調査地区の選定はわが国の地層処分事業にとって重要な意思決定である。

処分施設建設地選定段階（精密調査の段階）の前半では、前段階で実施した調査を補完するために、地上からの調査を実施する。この調査結果に基づき、地質環境モデルを更新し、処分場の基本レイアウトを決定し、処分施設の基本設計を行う。また、基本レイアウトおよび基本設計に基づいて処分場の安全性について検討を行う。これらの情報に基づいて、地下調査施設の設計を行う。処分施設建設地選定段階（精密調査の段階）の後半では対象とする母岩中に地下調査施設を設置し、地質環境条件の調査、人工バリアシステムの実証を行い、処分施設の安全性を包括的に検討することで事業許可申請に必要な情報を整備する。

国の安全審査の段階では、安全審査指針の定めに従って安全評価を行い、放射線防護基準などとの比較において地層処分システムの安全性を確認するとともに国の審査を受ける。このとき、安全評価の結果を裏付けるさまざまな証拠や論拠をセーフティケースとして取りまとめ、このセーフティケースに基づいて地層処分システムの安全性を提示する。

事業許可以降の建設から事業廃止までの段階では、新たに得られた知見に基づき安全確保策の妥当性の確認や安全評価を行って安全性の確認を行い、安全レビュー報告書として取りまとめて国に提出する。

## (2) セーフティケース<sup>32</sup>

地層処分では安全性を確保しなければならない期間が非常に長く、その安全性を実証により示すことができない。そのため、予測的な手法に基づく方法によって長期的な安全性を検討することになり、さまざまな観点から地層処分システムの安全性を確認することを通じて、安全性に対する確信を得るという方法が取られる。近年では、このような地層処分システムの安全性を提示する方策として、安全性を幅広い観点から論ずるセーフティケースを事業者が構築し、安全性を提示することが重要であるということが国際的に共通の認識になってきている。これは、地層処分の安全性に関する信頼性構築が安全評価の結果によってのみ行われるのではなく、サイト調査・評価や処分場の設計・施工などのより幅広い要因によって多様な側面から論じられるべきであるという国際的な認識に基づくものである。

3.1.2にも述べたように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が確保できることを多面的なさまざまな証拠や論拠とともに示すものである。安全性

<sup>32</sup> OECD/NEA では、セーフティケースは、「A safety case is the synthesis of evidence, analyses and arguments that quantify and substantiate a claim that the repository will be safe after closure and beyond the time when active control of the facility can be relied on. (セーフティケースは閉鎖された後の制度的な管理の維持が保証できないような時間枠においても、処分場が安全であり続けるとする主張を定量化し立証するための証拠、解析さらには論拠の統合体である)」と定義されている (OECD/NEA, 2004)。なお、セーフティケースは、操業期間中の作業員の安全など、事業各段階の安全性についても含まれる場合がある (IAEA, 2011)。

の提示に当たっては安全評価という解析的な手法を用いるが、安全評価で用いるモデルやパラメータの設定の根拠となるサイト調査・評価や処分場の設計・施工などの情報を併せて構成するという考え方がセーフティケースの概念である。また、事業の進展とともに安全性を裏付ける情報を拡充し、セーフティケースの信頼性を向上させていくためには、段階的な事業推進の中で、地層処分の長期安全性を支持するようなさまざまな論証を、拡充していく必要がある。換言すれば、安全性を脅かす可能性のある事象について安全評価の中で十分な検討が行われ、サイトの選定や工学的対策の中で必要な対策が施されており、またその時点で存在する不確実性についても十分な考慮がなされているため、これらの事象が地層処分システム全体の安全性を脅かすことがないということを示す科学技術的な拠り所となるものである。

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、心配事項に適切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。ここでいうステークホルダーには、地層処分にかかわるすべての関係者、例えば安全性を審査する国の規制機関をはじめ、地域住民や国民、大学や研究機関の研究者といった人々が含まれる。

また、セーフティケースは、ある段階で得られている根拠に基づいて、ある特定の地層処分システムにより安全性が担保できることを示すと同時に、セーフティケースをさらに頑健なものとするために、どのような情報をさらに取得する必要があるかを明示することで、次段階以降のサイト調査や技術開発の方向性を提示する役割がある。また、地層処分システムが安全であるとの確信が幅広いステークホルダーにより共有されるよう配慮して構成する必要がある。

このようなセーフティケースの考え方は国際的にも議論されており、さまざまな検討がなされている（例えば、OECD/NEA, 2004, OECD/NEA, 2009）。そのような検討をベースに構成したセーフティケースの全体像を示したものが、図 3.2.2-3 である。わが国では法律により三段階のサイト選定を経て最終処分施設建設地を選定する手順が規定されており、その後は事業許可を得て建設、操業、閉鎖へと事業が進むことになる。この図は、地層処分システムが三つのサイト調査段階から事業許可を経て建設、操業、閉鎖段階に至るまでの間にセーフティケースが徐々に更新・精緻化されていく様子と、広範なステークホルダーから出される安全性に関する懸念や質問に対して、セーフティケースに基づいて安全性の論拠の提示がなされるという役割を模式的に示している。

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」、「地層処分システムの長期安全性の評価」、「安全性にかかわる論拠の提示」からなる。

「安全確保構想」は、あるサイトにおいて与条件や満足すべき要件などを考慮して、どのような戦略で安全性を確保していくかという考え方を示すものである。

「適切なサイト選定と確認」では、地震・断層活動、火山・火成活動、隆起・侵食などの自然現象の著しい影響が回避されており、その上で地層処分に適した地質環境をいかに調査・選定したのかという論拠を取りまとめる。

「適切な工学的対策」とは、安全確保構想で明示された人工バリアに要求される安全機能が工学的対策を施す中でどのように確保されたのかを示すものである。また、事業期間中の安全性が確保された上で、処分場の操業に必要な地上、地下施設をどのように構築し、どのように運転するのかについても包括的に記述する。

「地層処分システムの長期安全性の評価」では、安全解析においてどのようなモデルやデータセットを用いたのかを提示し、解析結果と規制基準値を比較することにより安全性の評価を行う。

「安全性にかかわる論拠の提示」は、セーフティケースにおいて最も重要な構成要素である。こ

ここでは、「地層処分システムの長期安全性の評価」に用いられたモデルやパラメータが、「適切なサイト選定と確認」や「適切な工学的対策」で取得された情報に基づいた論拠のもとに構成されているのかを示す。また、その時点でのセーフティケースの中にどのような不確実性が存在しており、それらの不確実性がどのように扱われているのかという点もセーフティケースの信頼性という観点で重要な点である。さらに、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にはどのような取り組みが必要かについても提示されている必要がある。

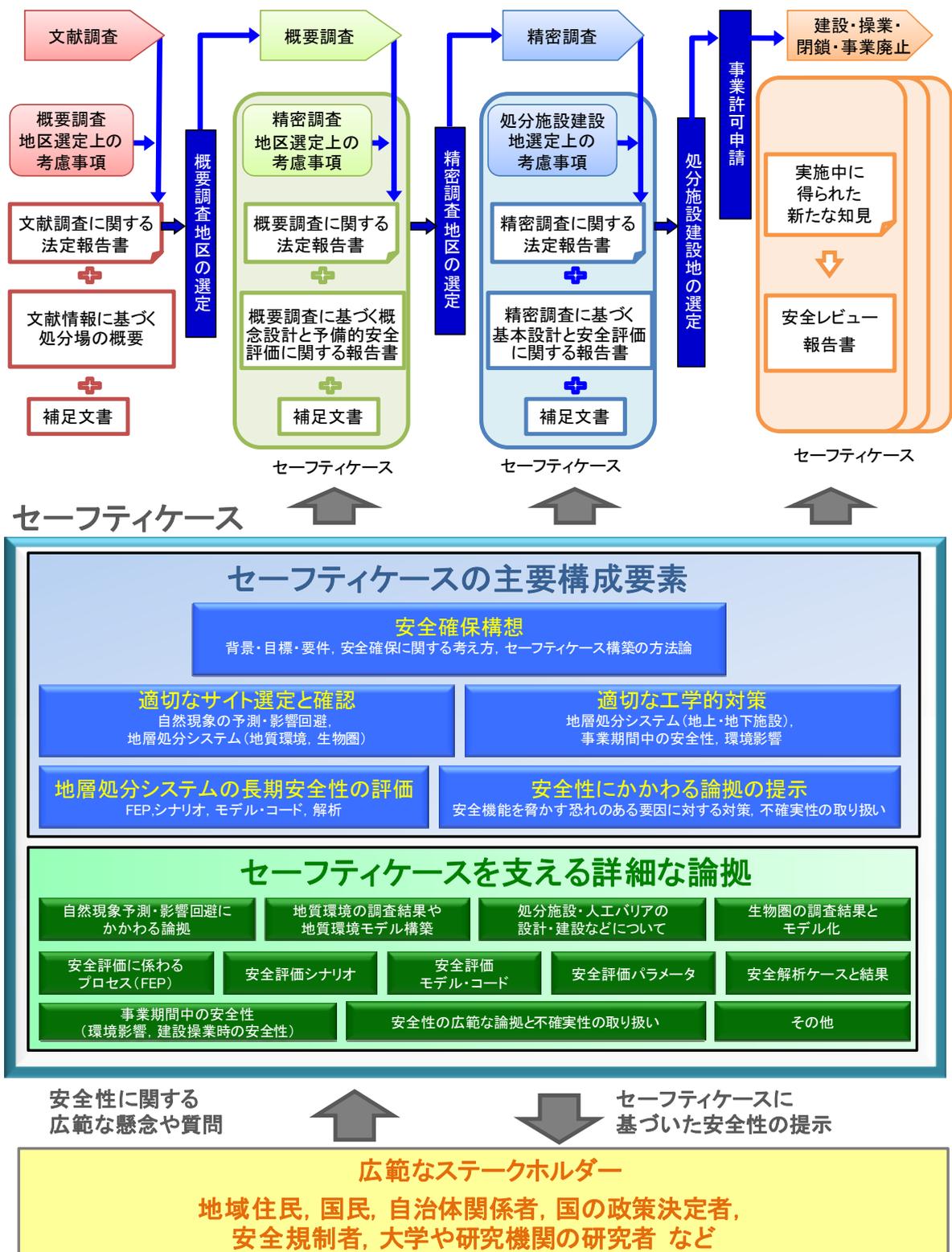


図 3.2.2-3 セーフティケースの構成要素と役割

(3) 不確実性の取り扱い

NUMO が提示する三つの安全確保策（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）を実施していく上では、地質環境の不均質

性や考慮する評価期間の超長期性に起因するさまざまな不確実性を考慮する必要がある。

NUMOにおける不確実性の取り扱いは、地層処分システムの安全性にかかわる重要な不確実性を特定し、三つの安全確保策の実施プロセスを通じてそれらをできるだけ回避または低減させるような対策を講じるが、それでも残存する不確実性に関してはそれらを考慮した安全評価を行い、最終的に安全性が確保できるシステムの構築を目指すことを基本とする。不確実性の取り扱いは、NUMOの安全確保策のすべての実施プロセスに関連し、セーフティケースの中でも重要な内容となるので、不確実性をどのように取り扱ったのかという点がセーフティケースの信頼性を左右する。

図 3.2.2-4 は、サイト調査段階におけるセーフティケースの構築に向けて、サイト調査・評価、工学的対策、安全評価を実施していく流れを示す。その上で、それぞれどのような不確実性が生じ、それらをどのように取り扱うのかについて記述する。

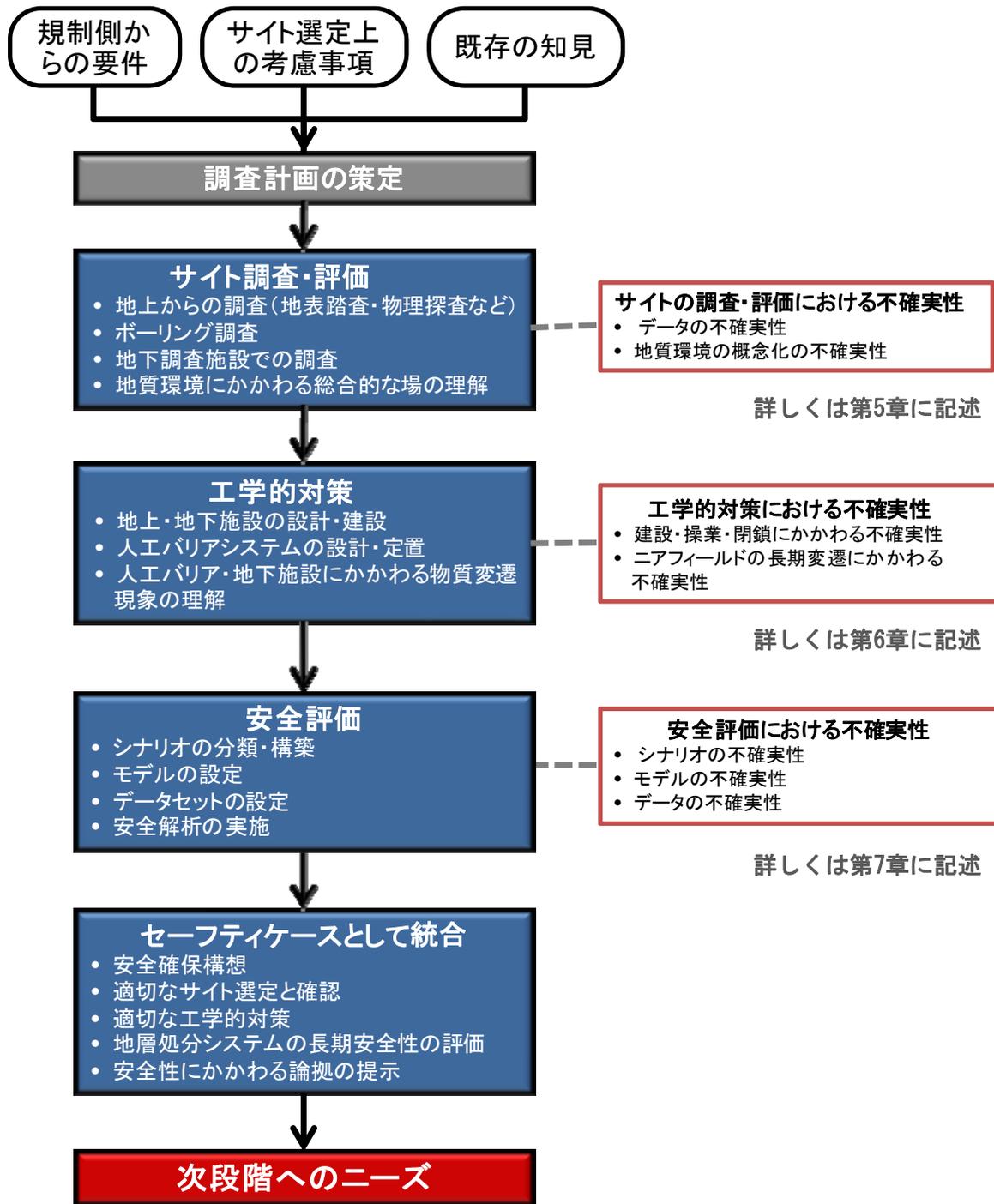


図 3.2.2-4 セーフティケース構築に向けて三つの安全確保策を実施する過程で生じる不確実性

(i) サイト調査・評価における不確実性

サイト調査・評価を実施する際には、工学的検討や安全評価を実施するために必要な地質環境情報に対するニーズを反映して、不確実性の低減に向けて計画を策定・実施することが基本である。ただし、地層処分では不均質かつ広大な地下空間を対象とするため、サイト調査・評価を実施する過程で何らかの不確実性が介在することは避けられない。そのような不確実性は、その特徴からデータの不確実性と地質環境の概念化の不確実性の二つに分類できる。

### ①データの不確実性

データに含まれる不確実性は、各種の調査により取得されるデータや、複数のデータを統合した情報（例えば、地質環境モデルのデータセット）などに含まれる不確実性である。これらは、測定誤差、測定精度（空間分解能、計測密度）など、複数の要因によって生じる。

### ②地質環境の概念化の不確実性

地質環境の概念化の不確実性は、データの解釈に起因するもので、自然現象の将来予測や当該サイトで生じている現象の理解において不可避な時間的・空間的な不確実性である。時間的な不確実性は、例えば、過去から現在までの変動・変遷の法則性や地質構造発達モデルといった、将来予測に用いる仮説（モデル）が複数の解釈に基づき複数存在するなど、現象の理解に内包される不確実性である。空間的な不確実性は、情報量の不足により個々の現象や複数の現象間の相互作用に関する理解が十分でないことなどに起因する。また、当該サイトが元来有している地質環境のさまざまな特性のばらつきや、データの代表性などにより、地質環境そのものの解釈・推定に伴う不確実性が含まれる。

#### (ii) 工学的対策における不確実性

工学的対策では、地質環境特性に含まれる不確実性を考慮して設計を行う必要がある。すなわち、地質環境特性が合理的に想定し得る範囲で変化したとしても適切に工学的な対策を施すことによって、安全性を担保する。一方、工学的対策そのものにおいても、建設・操業・閉鎖といった地層処分システムの構築にかかわる不確実性と、地層処分システムの長期変遷にかかわる不確実性が含まれている点は考慮する必要がある。

#### ①建設・操業・閉鎖にかかわる不確実性

地層処分システムの閉鎖後長期の安全を確保するために工学的対策を施す過程において、坑道の掘削、人工バリア材料の製造や原位置での定置の過程で施工誤差や品質のばらつきなどが生じることが想定され、長期的な不確実性につながることも考えられる。これらについては、品質保証により要求品質を満足するよう管理を徹底することを基本とするが、安全評価においてはこれらを不確実性要因として安全性に及ぼす影響度について検討を要する場合もあるため、工学的対策を実施する中でどの程度の不確実性が含まれているのかについて明らかにする必要がある。

#### ②ニアフィールドの長期変遷にかかわる不確実性

長期安全性問題におけるニアフィールドの長期変遷にかかわる不確実性は、対象とする期間が数万年を超える長期にわたり、現状の科学技術的な知見では正確に将来予測をすることができないことに起因して発生する。これについては、安全評価上での取り扱いに際して、科学技術的に想定可能でなおかつ合理的な範囲について検討を行う必要がある。

#### (iii) 安全評価における不確実性

安全評価では、サイト調査・評価、工学的対策で生じたさまざまな不確実性を考慮した上で地層処分システムを設計し、地層処分システムの安全性を検討する必要がある。さらに、安全評価を実施する作業において不確実性が介在する余地があり、それらも含めて安全評価で取り扱う不確実性

は、シナリオの不確実性、モデルの不確実性、データの不確実性の三つに分類して取り扱うことができる (OECD/NEA, 1991)。ここでは、安全評価で扱う三つの不確実性について述べた上で、これらを適切に取り扱うことによって、すべての不確実性をどのように安全評価に取り込むのかという点について概説する。

#### ①シナリオの不確実性

シナリオの不確実性は、地層処分システムにおいて緩慢に進行する人工バリア材の劣化や地下水による放射性核種の移行などの現象の時間的推移に関する不確実性、地質環境の安定性にとって重要な自然現象の発生時期や頻度に関する不確実性など、地層処分システムにかかわる現象やプロセスに関する理解や知識の不足に起因してシナリオ設定時に生じる。

#### ②モデルの不確実性

モデルには、場や現象を概念化した表現 (概念モデル)、その数学的な表現 (数学モデル)、数学モデルの計算コード上での表現 (解析コード) がある。モデルの不確実性には、概念モデルとしての表現手法が複数存在すること、数学モデル作成の際の簡略化が適切に行われないこと、数学モデルに対応する解析コードを誤って作成することから生じるものなどがある。

#### ③データの不確実性

データの不確実性は、データの測定誤差、地質環境の不均質性を取り扱うためのデータが十分でないことから生じる。また、ナチュラルアナログなどで得られているデータを、処分環境の条件や処分対象とする時間スケールに適用する際に生じる不確実性も存在する。

#### (iv) セーフティケース構築における不確実性の取り扱い

不確実性の取り扱いでは、地質環境の調査・評価および処分場の設計から得られる情報を安全評価に反映する際に、不確実性を認識し、その影響を低減・緩和するとともに、残された不確実性の影響を安全評価に適切に反映することが重要である。また、不確実性には、影響の大きさや確からしさの異なる多様なものが含まれる。このため、多様な不確実性を合理的に取り扱うため、安全評価への影響が無視できるものを除外するとともに、不確実性が安全解析の結果に与える定量的な影響や包絡性 (ある事象の影響が別の事象の影響に包含されること) を考慮して、重要度分類を行う。重要度の高い不確実性に関しては、その低減に向けた取り組みを実施する。このような取り組みを段階的に実施していくことで、不確実性を確実に低減し、それでも残留する不確実性に対しては、それらを選択肢とした安全評価を行い、安全性を確認することによってセーフティケースの信頼性を高める (7.1.2.2 参照)。

### 3.2.2.4 方策3：事業期間中の安全対策と環境保全策

#### (1) 事業期間中の安全対策

事業期間中には、一般労働安全と放射線安全を確保することを目的として対策を施すが、それらの対策が地層処分システムのバリア機能に与える影響を常に評価し、事業期間中の安全と閉鎖後長期の安全性の両者が確実に確保できるように対策を講じていく。

サイト選定段階と建設段階では、放射性廃棄物の持ち込みはなく、主として一般労働安全を確保

するための対策を実施する。そのために必要な地質環境情報は、サイト調査時の地質環境特性に係る調査、および処分施設建設時に行われる調査により取得する。この段階の安全対策としては、一般の地下土木工事などの安全対策を適用できるが、事例の少ない地下深部での大規模な工事であることから、その時点で利用可能な信頼性の高い技術を用いる。地下深部に大規模構造物を建設するという経験は、国内外の地下研究所の建設、地下発電所の建設、先行している諸外国における処分施設の建設（例えば米国の廃棄物隔離パイロットプラント（WIPP）など）において経験が蓄積されてきており、NUMOとしてはこれらの経験を事業に反映し、最新のIT技術による情報化施工なども活用しつつ安全の確保を図る。

地下での坑道掘削時には切羽の不安定現象、山はね対策、湧水対策、ガス対策などの安全対策を施しながら作業を進める。その場合の安全対策として、ロックボルトにより坑道の力学安定性を図ったり、セメント系材料を注入して湧水を抑えたりするなどの対策が考えられる。これらの安全対策で必要となる部材や材料を閉鎖後も岩盤中などに残置する場合には、閉鎖後長期の安全機能を有意に損なう恐れがないことを確認した上でそれらの材料を採用する（3.1.4参照）。

地下空間での作業安全という観点で問題となるガスとしては、岩盤中に残存するガスのほかに、内燃機関などを使用する場合に発生する有毒ガス、発破を用いる場合に発生する後ガスなどが考えられる。これらに対しては坑内環境をモニタリングし、換気による除去または希釈を行い、坑内作業従事者に新鮮な空気を供給する。さらに、使用する建設機械についても、電動式あるいは今後開発が進むと思われる燃料電池方式の積極的な導入を図るなどの対策を適用する。

また、地下施設において緊急事態が発生した場合を想定して、作業従事者の安全を確保するための緊急退避所や緊急避難経路を確保しておく。特に処分場の地下施設は多数の坑道群が建設され、坑道の掘削や廃棄体の定置のために場所を移動しながらの作業が長期間にわたって行われることから、常に避難経路が確保された状態のもとで作業を行うことができるよう、計画段階から十分な検討を行い、安全確保を最優先とする地下施設全体の作業計画を立てておく。

操業段階から閉鎖段階では、放射性廃棄物の搬入を伴うため、上記対策に加えて、放射線安全を確保するための対策を実施する。この対策は、特に、これまでに例のない地下深部の環境下において放射性物質を取り扱う作業を伴うため、その特殊性を考慮して、その段階で利用可能な信頼性の高い技術で設備の設計、建設を行うとともに、必要な技術開発を進め、安全操業に万全を尽くす。例えば、遠隔操作技術を用いて廃棄体を搬送、定置する技術に関しては、再処理施設やガラス固化体貯蔵施設の操業で蓄積された知見を活用するが、通常の上地施設では考慮する必要がない高温、高湿度、湧水など地下環境特有の条件下における人工バリア材の取り扱いなどに対する課題に対しては技術開発を計画的に実施していく。

NUMOは、サイトの地質環境特性なども勘案し、地上施設および地下施設の設計段階において安全対策に関する詳細検討を行い、各設備の安全設計や運転・保守マニュアルなどに反映する。操業中においては、設備などの定期点検を実施して、損傷などの早期発見、性能確認などを行う。点検頻度については、対象に応じて日常点検、月例点検、年次点検などを設定する。

事故発生の防止と事故時の影響緩和の観点から、安全上重要な設備・機器について、安全機能の多重化が求められる。多重化の程度は、事故の影響の重大性に応じて検討を行い、対策に反映する。例えば、廃棄体を立坑のエレベータを用いて搬入する場合、エレベータのロープは十分な安全率を有するよう設計されるが、万一に備えて落下防止用把持装置を装備し、さらに立坑下部に緩衝装置を設けて衝突力を低減するといった対策が考えられる。

実際の地下施設は分割された複数の埋設区域からなり、それらの坑道の建設は、一区域ずつ順次進め、それに従い廃棄体の埋設作業も完成した区域から順次進める。このため、操業段階では建設が完成した区域における廃棄体の搬送・定置作業と、次の区域の坑道建設作業を並行して進めることとなるが、この段階では放射線管理を要する作業区域と、それを要しない作業区域を極力分離できるような計画とし、適切な管理を行う必要がある。こうした管理を確実にを行うため、坑内の状況（環境、人、機械、廃棄体などの状態、異常発生など）をリアルタイムで一元管理するシステムや坑内に入坑している人と効率的な連絡通信が行えるシステムの構築も行う。

また、わが国において自然災害の代表例として「地震」、「津波」、「台風」が挙げられる。「地震」に対しては「安全上の重要性に応じて想定すべき地震力に対して、必要な期間、安全上要求される機能を失わないように、十分な耐震力を持たせる」（適切な耐震設計）ことが基本的な考え方である。また、地震によって引き起こされる可能性のある地すべりや土石流に対しても幅広く影響を想定し、事前に対策を講じておく必要がある。沿岸部では、地震とともに発生すると想定される「津波」に対しては地上施設用地の高さを想定される津波遡上高より裕度をもって高くするなど、津波の遡上により地下施設が冠水しないよう配慮した設計を行う。また、「台風」による被害は、風による施設の倒壊、雨による施設の冠水や土砂崩れ、波浪による港湾施設の破損が想定されるが、それぞれ、実績のある耐風設計法、雨水排水設計法、耐波浪設計法が準備されており、サイトの地質環境の条件に応じて設計することが可能と考える。

## (2) 環境保全策

NUMO はこれまで、「放射性廃棄物の地層処分事業について（公募関係資料）」（NUMO, 2009a, 2009b, 2009c）や「高レベル放射性廃棄物地層処分の技術と安全性」（NUMO, 2004a）において、環境への影響や保全に関し、以下の考えや姿勢を示してきた。

[放射性廃棄物の地層処分事業について（公募関係資料）]

- ・ 分冊-2 概要調査地区選定上の考慮事項（NUMO, 2009b）：処分施設建設地の選定過程や建設・操業の各段階においては、自然環境の保護や開発行為にかかわる規制など、最終処分法以外の関連法令も遵守。
- ・ 分冊-3 地域共生への取り組み（NUMO, 2009c）：共生への取り組み方策について、「特に留意すべき重要事項」の三点目に「環境保全などへの配慮」を列挙。

[高レベル放射性廃棄物地層処分の技術と安全性]（NUMO, 2004a）

- ・ 法定の環境影響評価の適用の有無にかかわらず、事業の各段階を通じて処分場を建設する地域の環境に十分配慮。
- ・ 事業の各段階で生じる環境への影響について、それぞれの段階の前段階で調査、予測および評価を行い、環境に与える影響をできる限り回避、低減するとともに、必要に応じて代償措置（復元、創出）を採ることを含めた適切な保全措置を講ずることができるようあらかじめ準備。
- ・ 各段階において実際にモニタリングなどを行ってその効果を確認し、必要があれば保全措置の改善もしくは追加の措置を講ずるといった計画的かつ柔軟な対応。

以上の事項を、事業の各段階において計画的かつ着実に実施することが、「周辺環境の保全」を達成することにつながると考える。

地層処分は100年程度にわたる長期事業であるため、NUMOは、持続可能な社会形成の観点および地域共生の観点から、地域の環境を保全し、将来世代に対して良好な環境を引き継いでいくために必要な環境影響評価を実施し、長期的な視点に立って環境保全の取り組みを進めていく。このようなNUMOが自ら取り組む環境保全に関する行為を、ここでは「環境配慮」と総称する。

環境配慮の検討は、地域とのコミュニケーションを踏まえて進めることが重要であり、文献調査や概要調査などの結果を地域住民へ説明する機会に併せ、環境への影響や保全に関する考え方を示し、地域住民の意見を求めながら検討を進めていく予定である。

#### (i) 早期段階からの環境配慮の取り組み

NUMOは、より効果的に環境配慮を行う観点から、事業の初期段階、すなわち文献調査の段階から環境配慮の取り組みを進めていく。これは「戦略的環境アセスメント」(SEA: Strategic Environmental Assessment)の考え方と調和的である。

SEAとは、政策(policy)・計画(plan)・プログラム(program)を対象とする環境影響評価の手続きであり、事業の初期段階において政策・計画・プログラムの立案に環境配慮を組み込むことにより、環境配慮をより効果的に進めることができるという特徴を有する。

近年、国内外においてSEAの取り組みが進められており、国内では国のガイドラインの制定(戦略的環境アセスメント総合研究会, 2007; 国土交通省, 2008)や地方自治体におけるSEA制度導入が挙げられる。一方海外では、米国, カナダ, EU諸国<sup>33</sup>, 中国, 韓国など、先進国を中心にSEA制度が導入されており(戦略的環境アセスメント総合研究会, 2007), 地層処分事業においては、スイスや英国においてSEAを実施することが計画されている(BFE, 2008; Defra et al., 2008; NDA, 2009a, 2009b)。

#### (ii) 取り組みの手順

NUMOは、三段階のサイト選定に応じて環境への影響に配慮しつつ事業を適切に管理していく方法について検討を進めており、サイト選定の初期の段階における環境配慮の考え方を整理した(高橋ほか, 2006)。

サイト選定の各段階において、次の段階以降における環境配慮を適切に行うために、必要な調査・予測・評価を行い、関連する法規制や条例なども踏まえ、適切な環境保全措置を検討することを基本とする。概要調査地区選定段階(文献調査の段階)においては、文献情報を用いて地域の環境面の特性を概略把握し、次段階以降の事業において必要とされる環境保全措置を検討する。精密調査地区選定段階(概要調査)および処分施設建設地選定段階(精密調査の段階)では、「事業特性・地域特性の把握→評価項目および手法の選定→現況の把握(調査)→環境影響の予測・評価→環境保全措置の立案・実施→環境保全措置の効果確認(モニタリング)→環境保全措置の改善」という基本的な流れで取り組みを進めていく(図 3.2.2-5)。

<sup>33</sup> EUのSEA指令(2001/32/EC)に基づき、2007年1月時点で27か国中25か国でSEA制度が導入されている(戦略的環境アセスメント総合研究会, 2007)。

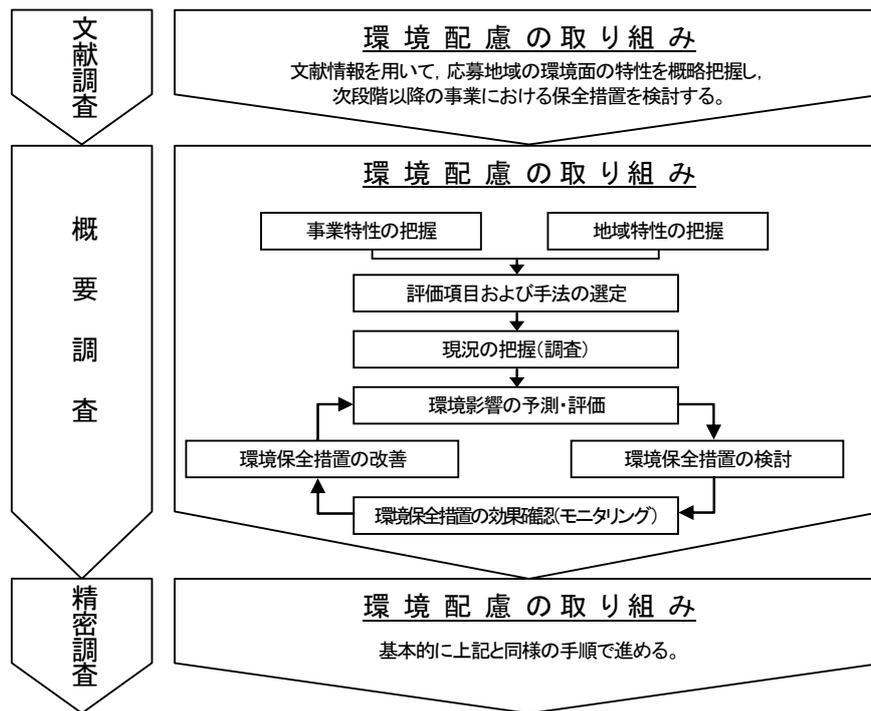


図 3.2.2-5 三段階の調査と平行した環境配慮の取り組みの手順

三段階の調査の進展に伴い、次段階以降の調査内容や処分施設の建設・操業に関する事業計画の詳細度が高まっていくが、これに応じて、環境への影響に関する予測の精度を高め、それに伴い環境保全措置を見直していくこととする。

### 3.2.3 方針2「信頼性の高い技術を用いた事業推進」

#### 3.2.3.1 方針2に関する基本的考え方

NUMOは、十分な信頼度を持って安全確保策を実施していくために、最新の知見を踏まえ、その時点で利用可能な最適で信頼性の高い技術を用いて事業を推進する。信頼性の高い技術<sup>34</sup>については、他分野での既往の使用実績や事業を効率的に進める観点での経済性を満足した上で、適切なレベルで品質を保証できるものであることが重要である。

地層処分事業で用いる技術の多くは、一般産業分野や原子力分野で使用実績があるものを用いるが、地層処分事業に固有の技術もあり、そうした技術は計画的に整備を行い、適用性を確認しておく必要がある。そのため、NUMOでは計画的に技術の整備を進めてきている。まず、概要調査地区選定段階（文献調査の段階）のための技術の整備を進め、2002年末までに必要な技術の準備が整ったと判断し、全国の市町村から「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（応募区域）」の公募を開始した。その後は、精密調査地区選定段階（概要調査の段階）を中心に、それ以降の段階で必要となる技術について技術開発を進めてきており、現時点においては、精密調査地区選定段階（概要調査の段階）で必要な技術も整備できたと考えている。

2.2.4.4で述べたように地層処分に関する技術開発は、JAEAなどの基盤研究開発機関とNUMOが

<sup>34</sup> ここでいう技術とは、技術的な知見（知識）や使用する技術を含む。

役割分担して実施しているが、技術の整備を効率的に進めるためには、両者間で密接な連携を取りつつ技術開発を進める必要がある。基盤研究開発機関は、NUMOの事業や実務的な技術開発に先行して研究開発を行うことにより、次段階以降でNUMOが必要とする技術や知識の基盤を提供する。基盤研究開発機関によって開発された技術は、NUMOが技術評価を行い、必要に応じて、効率化、最適化、合理化、実用化、体系化などの観点から、さらなる整備を行い事業に活用する。

JAEAは、深地層の研究施設の建設と研究開発を推進している。わが国では、地下深部における地層処分固有の課題に関する経験は限られており、予期せぬトラブル経験も含め事前に地下研究所でさまざまな経験を積み、得られた知見をNUMOに移転していくことは事業を安全かつ効率的に実施していく上で極めて重要である。

また、NUMOは、組織・体制作りや人材育成に努め、国内外の協力体制を整備することで、信頼性の高い事業を推進できる環境を構築する必要がある。

以上のように、「信頼性の高い技術を用いた事業推進」を実現するための実施方策として以下の三つに取り組んでいる。

- 1) 計画的な技術の整備
- 2) 技術に関する品質保証の的確な実施
- 3) NUMOの組織および国内外協力体制の整備

以下に、それぞれの方策の背景や考え方について述べる。

### 3.2.3.2 方策1：計画的な技術の整備

原子力政策大綱（原子力委員会、2005）では、NUMOは地層処分の安全な実施と経済性および効率性の向上を目的とした技術開発を進め、一方で、基盤研究開発機関は深地層の研究施設などを活用して、深地層の科学的研究や、地層処分技術の信頼性向上、安全評価手法の高度化などの基盤的研究を実施することとされており、NUMOでは、この方針に基づいて技術開発を実施してきた。

また、基盤研究開発機関が実施主体であるNUMOと規制機関の必要とする技術を把握し基盤研究開発に適切に反映されるよう、調整会議という枠組みが国により構築されている（資源エネルギー庁・JAEA、2010）。NUMOは、調整会議のメンバーとしてこの枠組みに積極的に参加し、基盤研究開発の成果が有効に地層処分事業に役立つよう、ニーズ提示と成果の評価・確認を実施してきた（NUMO、2010）。

#### (1) 技術開発の基本方針

図3.2.3-1は、地層処分事業における主要なマイルストーンと、それらに向けた技術の開発・整備や必要な基盤研究開発の関係を示したものである。NUMOは、「事業の各段階で安全確保のために必要な技術は何か」、「技術の目標到達レベルは何か」、「現時点において得られている技術のレベルはどの程度か」などを明確にし、計画的に技術の整備を行う。

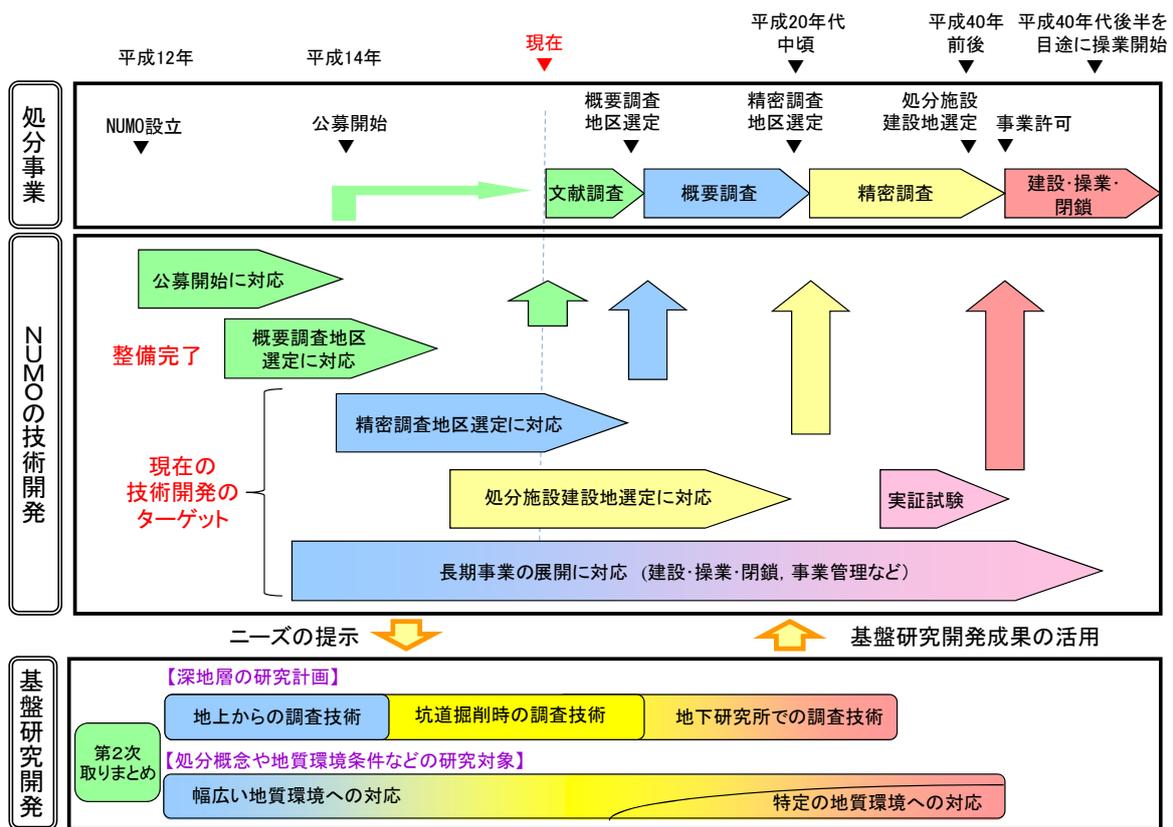


図 3.2.3-1 技術開発スケジュールと基盤研究開発との関連

NUMOでは、基盤研究開発として実施される研究開発の進捗状況を把握すると同時に、事業の進展とともに変化していくことが予想される NUMO のニーズが適切に反映されたものになっているかどうかの確認を行う。また、基盤研究開発の成果については、NUMO がその技術的信頼性や事業への適用可能性の評価を行い、必要に応じて追加検討を行うなどして事業への適用を図る。

整備された技術が事業に適用できることを示すためには、技術の実証<sup>35</sup>による確認が有効な手段である。特に、廃棄体の遠隔定置技術などの地層処分に特有な技術については、実証試験によりその適用性・信頼性を確認するとともに、適宜改良を加え、事業への適用性を向上させる。また、ボーリング調査技術や廃棄体の搬送技術のような他分野ですでに実績のある技術であっても、地層処分事業に特有な制約条件下における適用性を評価し、必要に応じて実証試験などによりその信頼性を向上させる。

なお、閉鎖後長期の安全性の評価に関する技術については、実証試験によってその妥当性や信頼性を直接確認することができないため、評価に用いるシナリオやモデル、解析コード、データなどについて、評価期間の一部を対象とした実証的検証に加え、比較解析やナチュラルアナログ事例との比較、専門家によるレビューなどのさまざまな方法を組み合わせることにより、その信頼性を高めていく。

NUMO は上記の点を考慮し、事業期間全体を通して地層処分に必要な技術開発をどのように実施

<sup>35</sup> ここでいう技術の実証とは、対象とする技術の全部あるいは一部を、実際の条件を模擬して試行することにより、その技術の妥当性や適用性を検証することである。また、その検証を通じて対象技術の問題点を解決し、技術の適用性や信頼性を向上させることも含むほか、技術を実演することで信頼性を提示することも含む。

していくのかを取りまとめた技術開発ロードマップを作成し、事業期間全体を通じた技術開発への取り組みを提示した（4.1.3.2 参照）。

## （2）技術開発課題の体系的な整理

第2次取りまとめ以降、NUMOでは、第2次取りまとめおよび高レベル放射性廃棄物地層処分の事業化技術（電中研・電事連、1999）で得られた知見や情報を出発点として、基盤研究開発機関と協力しながら技術開発を進めてきた。技術開発テーマを策定する際には、図 3.2.3-2 に示す手順によって技術開発課題を明らかにし、見出された開発課題は、基盤研究開発機関で実施するものとNUMOが自ら実施するものに分類して取り組んできている。図 3.2.3-3 に、NUMOが実施する技術開発と国の基盤研究開発機関が実施する研究開発の相互補完的な関係を示す。

NUMOは「地層処分技術開発ニーズの整理—精密調査地区選定に向けて—」（NUMO、2010）の中で精密調査地区選定段階で必要とする技術を提示しており、これらの技術ニーズは資源エネルギー庁と基盤研究開発機関が策定した「地層処分基盤研究開発に関する全体計画」（資源エネルギー庁・JAEA、2010）に反映されている。

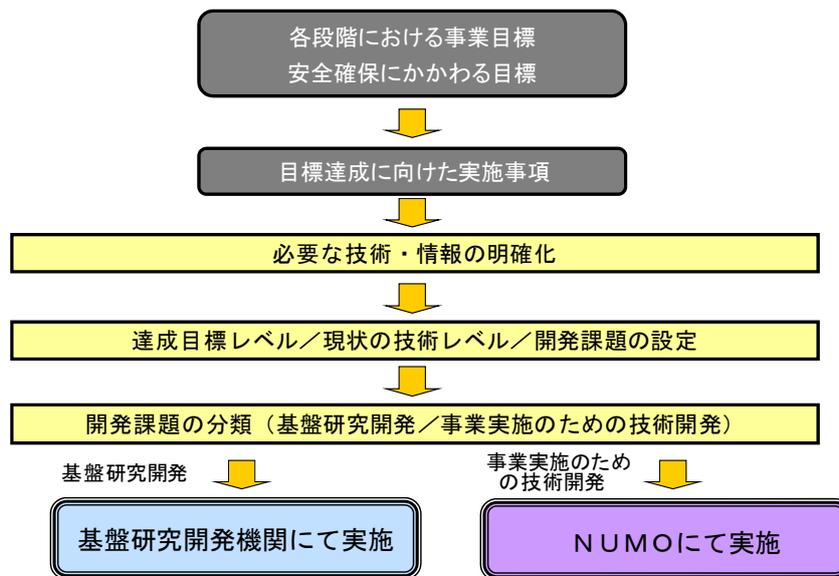


図 3.2.3-2 技術開発課題の体系的整理

図 3.2.3-2 の技術開発課題の体系的整理に当たっては、事業全体を俯瞰した安全確保ロードマップの中で各段階における事業目標と安全確保にかかわる目標を定め、目標達成に向けた実施事項を明らかにした上で、これらの実施事項を遂行するに当たって必要な技術や情報を明確化し、達成目標レベル、現状の技術レベルの検討を行う。設定した達成目標レベルに対して現状の技術レベルが十分ではない場合には、技術開発などによって技術レベルの向上を行うことが必要となるため、目標を達成するために必要な開発課題を設定する。これらの開発課題を、基盤研究開発機関が基盤研究開発として実施すべきものと、NUMOが事業実施のための技術開発として取り組むべきものに分類して推進する。明確化された必要な技術や情報を事業期間を通してどのように段階的に開発、取得するのかという枠組みを示したものが第4章で提示する技術開発ロードマップであり、これにはNUMOが自ら実施する技術開発と基盤研究開発として取り組むことが想定されるものの両方が含

まれている。

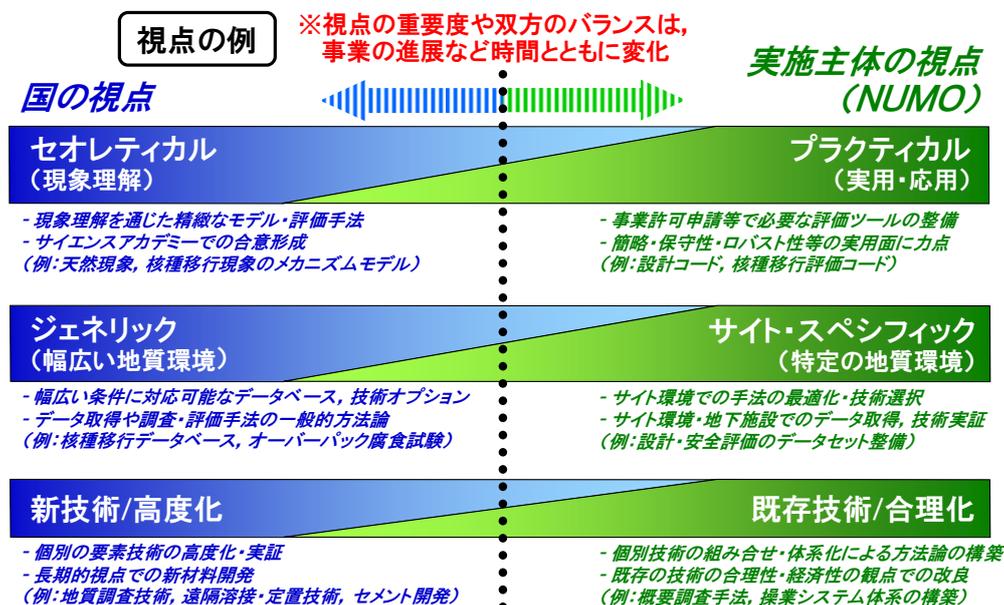


図 3.2.3-3 NUMO の技術開発と基盤研究開発機関における相互補完的な分担  
(出典：資源エネルギー庁・JAEA, 2010)

### (3) 技術開発成果の評価と事業への適用

前項で抽出された技術開発課題のうち、NUMO が実施する課題については、自ら開発計画を策定し計画的に技術開発を進める。一方、基盤研究開発として実施する課題については、調整会議の場を活用して、NUMO が事業を実施するという観点からの技術開発ニーズを提示している（図 3.2.3-4）。基盤研究開発として実施される技術開発は、専門機関でそれぞれ分担し計画的に実施される。技術開発成果については、最終的なユーザである NUMO との間で、技術開発テーマごとに設置される委員会や協力協定に基づく運営会議など、さまざまな場で意見交換が行われている。ただし、基盤研究開発機関と NUMO の情報共有はさらに強化する必要がある。例えば、NUMO が基盤研究開発機関から定期的に研究開発成果の報告を受け、NUMO からは事業的なニーズを伝えるような場をテーマごとに設けるといった方法も考えられる。具体的な方法については今後、関係者で協議していく予定である。

研究開発成果は、開発された技術の信頼性や事業への適用可能性について NUMO が十分に評価し、必要に応じて実証などにより追加確認作業を行うために十分な時間的余裕をもって提供される必要がある。そこで、NUMO は事業計画や技術開発計画などを定期的に提供し、基盤研究開発との調整を図っていく。

以上述べたように、NUMO は技術開発全体を事業者の立場から総合的にマネジメントしていく。基盤研究開発機関などが実施する技術開発の成果は、技術のユーザとして NUMO が事業への適用性や信頼性、経済性などの観点から評価を行い、地層処分技術として体系的に整備するなどの取り組みを行う。また、技術開発計画や NUMO も含めた技術開発成果の評価を行うに当たっては、有識者の助言を得ながら進める予定である。

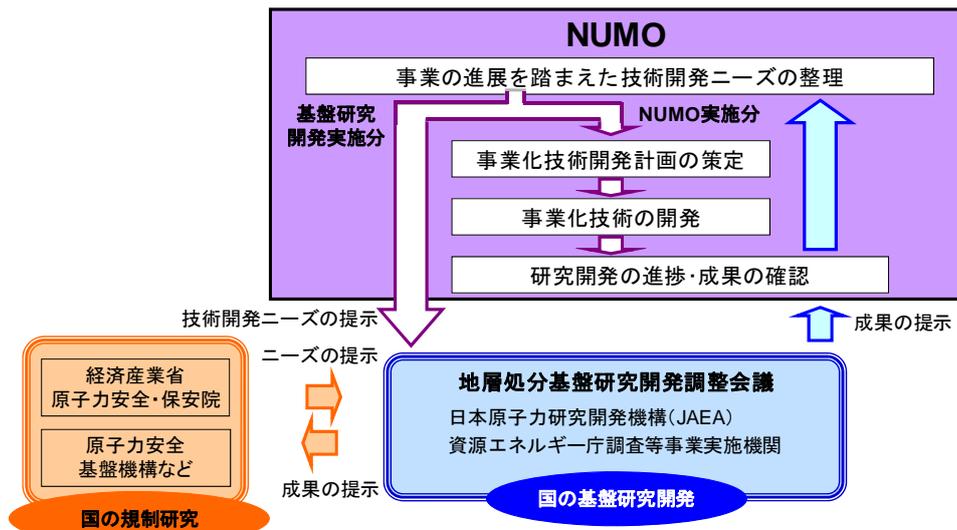


図 3.2.3-4 基盤研究開発機関と緊密に連携した技術開発の取り組み

### (i) 技術開発成果の評価

前項ではNUMOが地層処分事業を実施するために必要な技術開発課題を整理し、NUMOが自ら技術開発を実施するものと、基盤研究開発機関へニーズを提示することで事業と基盤研究開発を連携させることを述べた。NUMO自らが開発する技術は元々事業への適用を意図して開発されるため、事業ニーズに沿ったものである。一方、NUMOが提示した技術開発ニーズに沿って実施された基盤研究開発により得られた成果をNUMOが事業に適用していく際には、その信頼性や適用性を評価し、必要に応じて追加検討を実施するなどして事業への適用性を確認する必要がある場合も想定される。ここでは、基盤研究開発により得られた成果をNUMOがどのように評価し、事業へ適用していくのかという基本的な考え方を示す。

基盤研究開発の成果は、報告書、データベース、経験や知見を有する人員、資機材などといったさまざまな形態でNUMOに提供される。それらは情報や知識といったいわゆるソフト的な成果と、開発した資機材といったハードに属するものがある。NUMOでは、ハード的な技術の多くは他産業で実績のあるものを中心に活用し、地層処分固有の技術を中心に研究・技術開発を行うという進め方を考えているため、研究開発成果の多くはソフト的な成果に属するものになる。以下では、ソフト的な成果、ハード的な成果についてそれぞれをどのように評価し、どのように事業に適用していくかについて記述する。

ソフト的な成果は、報告書、データベース、経験や知見を有する人材などの形態でNUMOに提供される。こういった成果を入手した後は、対象となる分野の外部専門家の協力を得ながら、その信頼性、事業への適用性、NUMOによる追加検討の必要性などの評価を行う。評価の結果、何らかの追加検討が必要と判断された場合は、NUMO自らが主体となって適切な措置を取る場合もあるが、基盤研究開発機関に追加ニーズを提示することにより事業への適用性の向上を図る場合も考えられる。

一例を挙げると、安全評価を実施する上で重要な役割を果たす熱力学データや収着・拡散など核種移行に係るデータベース(7.3.4.1参照)はJAEAが中心となって開発を進めているが、事業に適用するには、NUMOが対象とするサイトの地質環境や人工バリア構成などを考慮した上で、個々の核種について、外部専門家の協力を得て適用性の検討を実施する。その結果、何らかの追加検討

が必要と判断された場合には追加試験を実施するなどにより追加データの取得を行うが、その際には十分な知見を有する信頼性の高い機関に依頼することを基本とし、当該分野における知見を有する国内外の幅広い機関を対象として追加検討の依頼を行う。

一方、ハード的な技術にかかわる成果に関しては、対象とする技術分野の外部専門家の意見を聞きながら、基盤研究開発として実施された内容の信頼性評価を行い、また NUMO が対象とするサイト環境や処分場設計に対してどの程度適用性があるのかを評価する。その上で、必要な追加検討や実証の必要性について検討を行う。

### (ii) NUMO による技術の実証

すでに述べたように、地層処分事業の実施に必要な技術は、必要となる段階までに確実に整備し、重要な技術についてはその信頼性や適用性などを実証によって確認する必要がある。実証は、①実サイトでの適用に先立ち、あるいは並行して国外の地下研究所や地上の研究施設などを利用して実施するもの（オフサイトで実施する実証）と、②実サイトの実際の地質環境下において当該技術の適用性や信頼性を確認するもの（実サイトで実施する実証）という二つを段階的に行うことを基本とする（表 3.2.3-1）。

基盤研究開発機関が実施する研究開発は、主として地層処分を対象とする地質環境が確定していない段階において、多様な地質環境や幅広い処分場概念を想定して進められる。また、実サイトでのサイト調査などが開始された後でも、基盤的な技術の実証などが、必要に応じて基盤研究開発機関が有する施設で行われる場合もある。

一方、NUMO はサイト固有の地質環境や処分場概念などに基づき、より絞り込んだ技術の実証を行う。これらは、事業目標の達成に向けて、実際のサイトで使用する技術の適用性を確認すること、各事業段階で行う技術的な判断の妥当性や信頼性について確認すること、具体的な品質保証項目を検討する基礎情報とすることなどを目的として実施する。

表 3.2.3-1 実証プログラムの分類とその特徴

分類	オフサイトで実施する実証	実サイトで実施する実証
目的	<ul style="list-style-type: none"> <li>整備された技術を体系化し、実サイトでの適用前に、その実用性を確認する</li> <li>各事業段階を的確に進めるために用いる技術そのものに関する知見や技術的な判断にかかわるノウハウを得る</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実際のサイトにおいて、使用する技術の適用性確認を行う</li> <li>各事業段階で行う技術的な判断の妥当性や信頼性について確認する</li> <li>事業の品質保証の一つの方策とする</li> </ul>
実施場所	<ul style="list-style-type: none"> <li>既存の地下空間</li> <li>国外の地下研究所</li> <li>地上の研究施設など</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実際のサイトの地上施設、地下施設</li> </ul>
備考	<ul style="list-style-type: none"> <li>電中研横須賀地区にてサイト調査・評価技術の実証を実施中</li> </ul>	—

精密調査地区選定段階（概要調査の段階）および処分施設建設地選定段階（精密調査の段階）の前半（地上からの調査の段階）では、地質環境の調査・評価技術に着目した実証を展開する。これ

らの段階での実証の主な目的は、信頼性の高い地質環境モデルの構築を指向したものであり、処分場概念の構築や安全評価に提供する情報として、地質環境をどこまで理解できているかを段階的に確認していくことである。そのためには、信頼性の高い調査技術と、さまざまなデータを解釈・統合化して地質環境モデルを構築する技術が必要であり、これらを実サイトでの作業に先立って実証しておく必要がある。選定されるサイトの地質環境は空間的な不均質性を有しており、それはサイト固有であることから、評価の空間スケールや時間軸を設定した上で、それらを適切に考慮するためになされるさまざまな「技術的な判断」の信頼性についても、併せて確認していくことが重要である。

NUMO と電中研の共同研究として実施してきた「実証研究」（近藤ほか，2011）は、NUMO がこれまで概要調査の実施に向けて整備してきた体系的な調査・評価技術の適用性を確認すること、そしてサイト調査を実施するための管理技術の整備を図ることを目的としている。ここでは、電中研横須賀地区の研究所敷地内におけるボーリング調査を中心に、文献調査、地表踏査、地上物理探査などを実施してきた。この実証研究を通して、サイトの地質環境などの条件を考慮して、すでに整備された多数の技術の中から最適な概要調査技術を選定・適用していくための「技術的な知見」や、概要調査を推進する上で必要となる「技術的な判断にかかわるノウハウ」を蓄積することができた。また、今後は、概要調査を的確に計画・推進するための技術的な知見（知識）などの蓄積を目的として、国外の地下研究所などで行われる原位置試験に参画していく予定である。

処分施設建設地選定段階（精密調査の段階）の後半（地下調査施設での調査の段階）では、地下調査施設の建設を通して、処分場地下施設の施工にかかわる実証を展開する。また、完成した地下調査施設では、人工バリアの搬送・定置などの工学技術の実証を行い、模擬廃棄体を用いた再取り出しの技術実証などについても、必要に応じて実施する。これらの工学技術の実証の主な目的は、設計要件を満足する人工バリアシステムなどが十分な品質を持って構築できることを確認することであり、また搬送や定置に用いる設備や作業手順などの実用上の問題点を明らかにし、それを設計や運用方法の改良に反映することである。これら工学技術の実証の成果は、事業許可申請に用いる技術情報の信頼性向上にも役立てることができる。

人工バリアの搬送・定置技術の実証は、事業許可以降、操業段階の開始前まで適宜繰り返し実施し、技術の改善に反映するとともに、運転員の訓練にも役立てる。また、閉鎖段階の開始前までに地下施設の埋め戻し技術の実証を適宜実施し、その信頼性を高める。

#### （4） 技術開発ロードマップ

3.2.2.2 に述べた安全確保ロードマップで規定した各段階の目標達成に必要なとされる技術のうち、既存の技術レベルを分析し、「技術の開発や実証」が今後求められる項目を対象に、必要とされる段階までにどのように準備していくかに関して「技術開発ロードマップ」として取りまとめ第4章に示した。技術開発ロードマップは、開発が必要とされる技術分野を、①適切なサイト選定と確認、②適切な工学的対策、③地層処分システムの安全評価、④事業期間中の各段階の安全性の四分野に分けて示しており、さらにそれら全体をまとめたものを「技術開発ロードマップ概要版」として示している。

### 3.2.3.3 方策2：技術に関する品質保証の的確な実施

#### (1) 地層処分における品質保証の考え方

品質保証は、品質に関するマネジメント規格として一般的な JIS Q 9000:2006 (ISO9000:2005) では次のように定義されている。品質保証 (quality assurance) とは「品質要求事項が満たされるという確信を与えることに焦点を合わせた品質マネジメントの一部」であり、品質管理 (quality control) とは、「品質要求事項を満たすことに焦点を合わせた品質マネジメントの一部」、さらに品質マネジメントとは、「品質に関して組織を指揮し、管理するための調整された活動」とされている。さらに、その注記においては、「品質に関する指揮および管理には、通常、品質方針、品質目標、品質計画、品質管理、品質保証および品質改善が含まれる」とされている。

この定義によると、品質保証とは、顧客の持っているニーズや期待に応え、顧客に信頼感を与える製品およびサービスを提供していくための一連の活動とされている。

原子力施設に関連する品質保証の規定には、IAEA GS-R-3 (安全要件) (IAEA, 2006b)、社団法人日本電気協会の技術規程「原子力発電所における安全のための品質保証規程」JEAC4111-2009 (民間規格) (日本電気協会, 2009) などがある。また、最近、放射性廃棄物の処分に関する品質マネジメントシステムの指針として、IAEA より GS-G-3.4 (安全指針) (IAEA, 2008) が発行されているが、いずれも ISO9000 シリーズとの関係を明確にしている。

地層処分事業における IAEA の安全基準では、品質マネジメントへの主要な要求事項として、次のような事項が記載されている。

■ 実施主体に事業の各段階でのセーフティケースを構築すること。

(例) 各段階でのセーフティケースには、次のようなものが求められる

- ① サイト特性と処分概念固有の安全性の確認
- ② サイト特性を考慮した処分場オプションの選定
- ③ サイトの適格性判断への支援
- ④ 許認可申請への透明性・追跡性の確保

■ 処分場を要求された品質で構築するだけでなく、閉鎖後の長期の安全性も考慮した品質の確保を要求すること (安全と品質を統合したマネジメント)。

■ 個々の作業の特徴と相互の関連を考慮すること。

■ モデルやデータベースを検証したり、確認するプロセスを含めること。

■ サイト調査の追跡性の確保と性能評価、安全評価など作業プロセスにおいて認識できるように不確実性を文書化すること。

地層処分事業の品質マネジメントに関する法的な事項では、「核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物の第一種廃棄物埋設の事業に関する規則」の第 46 条から第 52 条に品質保証への要求事項が規定されている。この要求事項を満たす民間規格として、JEAC4111 がある。JEAC4111 は、日本国内の原子力分野における最も知られている品質マネジメントの民間規格であり、原子力安全・保安院は、この規格が「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」第 7 条の 3 から第 7 条の 3 の 7、および「研究開発段階にある発電の用に供する原子炉の設置、運転等に関する規制」第 26 条の 2 から第 26 条の 2 の 7 にそれぞれに規定する要求事項 (品質保証計画・組織を定め、計画、実施、評価、改善を継続して行うこと) を満たす規格であることを明確にしている。また、第

二種廃棄物埋設事業に係る品質保証に対しても、JEAC4111 に基づく品質マネジメントシステムを事業所の実態に即して構築し、これを定めた品質保証計画を保安規定の一部として記載することを求めている。この JEAC4111 は、ISO9001 を基本として原子力発電所への適用を考慮して修正したものであり、IAEA の改訂版 GS-R-3 との比較も行っており、その類似性も示されている。

地層処分事業の品質保証に関しては、事業許可取得の建設・操業の段階から JEAC4111 が適用されることになるが、サイト選定段階から JEAC4111 を準用することが適切と考える。

## (2) 品質保証への取り組み

NUMO では ISO9001:2000 に準じて、初期の段階の主要業務である技術文書の作成（各種技術報告書の作成）に対して品質マネジメントシステム（以下、QMS という）を構築し運用している。この品質マネジメントは、各種技術文書とそれらに含まれる情報が、統一的な考え方にに基づき各々の情報の重要度に応じて、適切な品質レベルを満足して作成・維持されることを管理することに重点を置いている。

現時点では、事業実施に向けた技術開発が主体であるため ISO9001 に準じた品質マネジメントシステムとしているが、事業の実施段階ではほかの原子力施設で使用実績が豊富な JEAC4111 に準拠したシステムに移行し、運用していく予定である。

現在の NUMO の品質保証システムでは、技術文書の管理に関して、文書の種類と重要度に応じたランクを三分類に分け、管理すべき文書などを明確にしている。特に重要な技術文書に対しては、主に次の内容が記載された「品質計画書」を作成し、完成までのプロセスを管理する（図 3.2.3-5）。

- ・ 成果品の品質目標，要求事項
- ・ 業務の実施体制
- ・ 実施手順，実施工程
- ・ レビュー者，レビュー方法および時期
- ・ 外部レビューの必要性
- ・ 不具合発生時の対応方法

NUMO では、科学的知見の最新性や技術的な判断の客観性を確保するために、外部専門家によるレビューを重視している。現在、NUMO が設置しているレビューの組織として、国内外の専門家による委員会（技術アドバイザー国内委員会（以下、DTAC という）、技術アドバイザー国際委員会（以下、ITAC という）など）があり、年数回実施し、技術業務のレビューを受けるとともに、重要な技術資料についても審査を受けている。このほかにも、対象とするテーマに応じてアドホックな専門レビューチームを構成してレビューを受けている。また、各種学会への論文投稿、技術報告会や国際専門家会議などの開催、国内外関係機関との技術協力、国際共同研究への参画などを通じた情報収集・発信活動や国内外の専門家との意見交換などにより、知識や判断の客観性を高めるよう努めている（Chapman et al., 2009）。

IAEA 安全指針 GS-G-3.4（IAEA, 2008）においても、地層処分のように長期にわたる事業期間中に技術開発による知識の拡充が行われ、それが順次事業に反映されていくような活動における品質マネジメントでは専門家によるレビュー（ピアレビュー）が有効な方法であることが示されている。

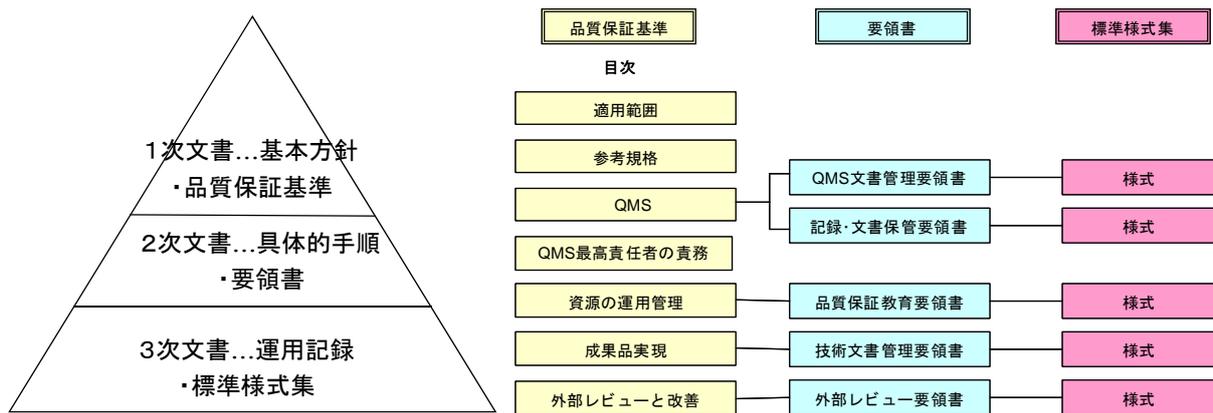


図 3.2.3-5 QMS 文書の階層構造および基準、要領書および標準様式集の構成

NUMO は、文献調査の実施に当たっては、以下の点に留意して品質マネジメントを行う。

- ・ 文献調査の開始前に調査計画書を策定する。
- ・ 概要調査地区選定の判断は、信頼性の観点から十分に品質が確保された文献情報に基づいて行う。
- ・ 文献情報の品質を判断する基準を規定する。
- ・ 品質マネジメントを支援するツールを整備する。

品質マネジメントを支援するツールの例としては、文献情報の整理を目的としたデータベースである地質環境データ管理システムや、文献情報から判断に用いる情報を整理する際の情報の追跡性を確保するためのシステムである文献調査システムフローが挙げられる。また、要件管理システムにより、法定要件への適格性の判断や付加的考慮事項に基づく総合評価結果を踏まえた、概要調査地区の選定にかかわる意思決定の記録と追跡性を確保する。

NUMO の掲げる段階的かつ柔軟な事業推進の考え方に基づいて、品質マネジメントにかかわるシステムも、技術の進展や法定要件、社会環境などの変化に応じて、業務体制を含めて段階的に改善を図りつつ、整備拡充を進めていく。当面、精密調査地区選定段階（概要調査の段階）に向けては、JEAC4111 の準用を意識したシステムの構築を進める。こうしたシステム作りにおいては、

- ・ 安全評価に用いるシナリオやモデル、データの検証にかかわる品質保証
- ・ サイト調査・施設設計・安全評価の統合化における作業の連携に関する品質保証
- ・ 他機関の研究開発成果の取り込みに関する品質保証

などに特に留意して整備作業を進める。

今後、段階的に整備拡充していく品質マネジメントの適切な運用を図るためには、個々の技術者を育成するとともに、業務体制を整えることが不可欠である。とりわけ内部監査やレビューなどは、第三者の視点を確保することが重要であり、実施部門から独立性を有する部門で実施できる体制を整えていくことも視野に入れて検討していく。

#### 3.2.3.4 方策3：NUMOの組織および国内外協力体制の整備

NUMOは、わが国の地層処分事業を安全かつ着実に遂行していくために必要な要員を計画的に確保・育成する。NUMOが実施主体として社会的信頼を獲得していくためには、技術的にも高い信用度を得ることが肝要であり、モラルの高い技術集団を形成していく必要がある。

また、地層処分事業は幅広い分野の専門知識を必要とする事業であり、JAEAなどの基盤研究開発機関とは技術移転も含め、緊密に連携しながら事業を推進していく。

地層処分は原子力を利用している多くの国に共通の課題であり、国際的に協力して課題解決に取り組んでいる。そのため、NUMOは協力協定などを通じて必要な技術情報の交換や共同研究などを通じて技術レベルの向上に努めると同時に、わが国で得られた知見の積極的な公開などを通して国際的にも貢献するよう努める。

以下にNUMO自体の組織や人材の確保・育成に加え、国内外の関係機関との協力体制について述べる。

##### (1) 人材の確保・育成・技術継承

地層処分事業は約100年程度にわたる長期事業であり、その組織の整備においては、長期的な視点から事業を支える人材を確保・育成していく必要がある。事業の最盛期には100名を超える技術者が必要と見込まれ、地質学、土木工学、原子力工学など広範な専門分野の知識が必要であるが、事業各段階の業務の内容や量、必要とする技術的専門性などを見積もり、将来の技術業務の実施体制を検討している。

NUMOは、2000年に設立されて以来、地層処分事業の分野や発電所の建設などの大型プロジェクトの経験を有する出向社員を中心に業務を実施してきたが、事業の継続性を考慮して、2007年から職員の中途採用を開始した。また、2010年からは新卒採用も開始し、事業の進展に伴い順次プロパー職員の割合を増加させていく計画である(図3.2.3-6)。なお、中途採用者は、一般企業や研究機関において地層処分に関連する知見や業務経験を有し、即戦力となる人材を中心に採用してきている。

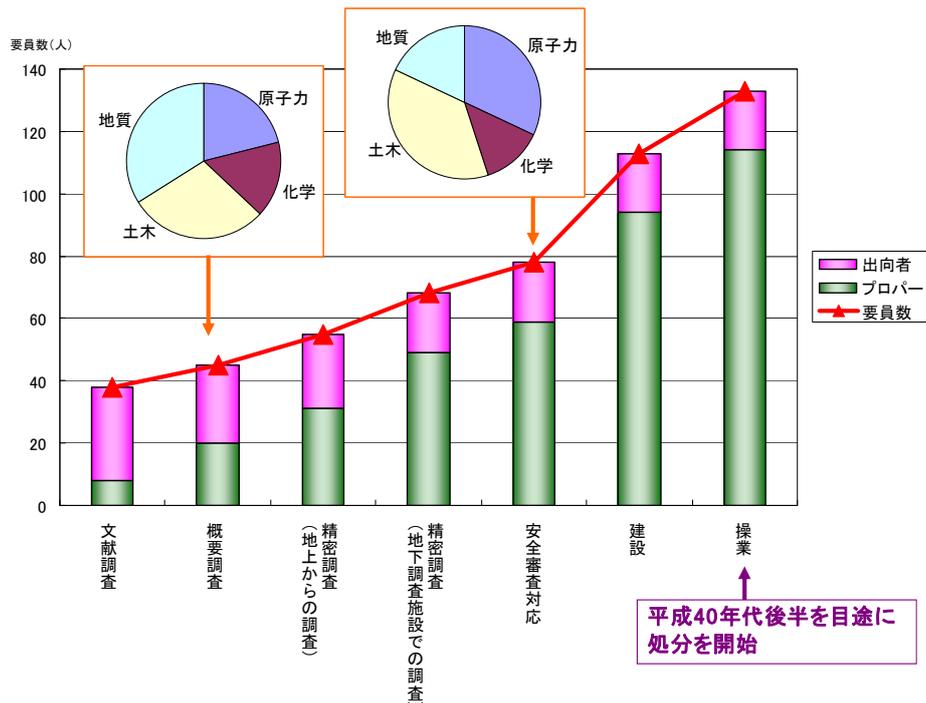


図 3.2.3-6 事業期間中の技術要員見通し

人材の育成に関しては、新卒で採用された職員には、地層処分の専門技術者として、それぞれの専攻・専門分野に関連が深い専門知識・技能の修得させることを考えている。また、専門分野以外の技術分野についても知識を修得する機会を積極的に設け、広範な知識を持たせるようにし、併せて、事業の推進に必要なプロジェクト管理技術の修得やコミュニケーション能力にも重点を置き育成する。このため、講義形式の座学のみならず、設計・性能評価演習や地質巡検、基盤研究開発機関などへの出向により専門知識・技能の向上を図ることも計画している。地層処分事業では国際的な協力関係も重要であることから、ITC (School of Underground Waste Storage and Disposal) などの海外の研修機関における研修を実施しているほか、海外実施主体への派遣や共同研究などを通じた人材交流も計画しており、国際的にも活躍できる人材の育成にも努める。

長期間の事業を実施する間には、数回の世代交代があると見込まれるため、世代間での技術継承についても検討が必要である。そこで、人から人への技術継承を円滑に行うために、組織の年代構成の適正化にも配慮するとともに、技術継承に有効な支援ツールの整備にも取り組んでいる。支援ツールとして、将来世代が過去の重要な技術・情報や意思決定の経緯などの情報を追跡できるような機能を、要件管理システムに搭載しているほか、設計図書などの技術情報のデータベース化と管理システムの導入も検討している。

## (2) 国内外の関係機関との協力体制の整備と技術移転

地層処分の実施には、多岐にわたる科学技術分野の知見が必要とされるため、NUMO がすべての知見を独自で保有するのではなく、国内の関係機関と協力して、適切な役割分担のもとに事業を進めることとしている。具体的には、3.2.3.2 に述べたように、NUMO が自ら実施する技術開発以外に地層処分に必要な技術開発ニーズを地層処分基盤研究開発調整会議に提示し、国内の関係機関と連携して効率的に技術の整備を進めている。また、NUMO は JAEA および電中研とは個別に技術協力

協定を締結しており、情報交換や共同研究を実施している。

これらの技術協力協定の枠組みの整備だけでなく、基盤的な技術開発が終了したものについては、基盤研究開発機関などから NUMO に速やかに技術移転を図り、事業に反映する。例えば、技術情報については、技術報告書や学术论文などの文献、さまざまな材料特性データベース、解析コードなどの譲渡などが挙げられる。最近では、JAEA を始めとする基盤研究開発機関が協力して、これまでの基盤研究開発の成果やデータベースを統合化するためのプラットフォームとして、知識マネジメントシステムの開発を進めている（梅木、2006）。このような取り組みは、技術移転の円滑な促進に資するものと期待できる。

技術者の長年の経験などに裏付けられた技術ノウハウに関しては、完全な文書化が容易ではなく、このような無形の技術的ノウハウをいかに移転するかも課題とされている。その一部については、知識マネジメントシステムなどに採録されると期待されるが、同時に NUMO としては、技術は人を介して組織に蓄積されていくとの基本的考えに立ち、基盤研究開発機関において性能評価や地質環境調査評価技術などの開発や計画管理に携わってきた研究者や技術者などの NUMO への長期出向や転籍により人材確保に努めている。また、前述のように、NUMO の技術者を基盤研究開発機関などに派遣することで技術移転を促進することも計画している。

また、実務的な分野において多くの経験を有している民間企業の知見も有効に活用することを考えており、民間企業が地層処分分野における固有のノウハウを蓄積・維持できるよう協力体制を構築していくことが重要である。そのためには、民間企業がそれぞれの得意分野での知見を維持し、長期にわたる事業期間中にわたって事業を支えていける環境を構築していくことも重要である。

例えば、スイスの実施主体 Nagra、スウェーデンの実施主体 SKB、フィンランドの実施主体 POSIVA などでは、事業に必要な知見を有する企業を地下研究所における活動や、サイト調査などを通して戦略的に育成してきており、事業の実施主体の技術力を支える柱として機能させている。NUMO においても、技術的なサポートを提供する民間企業が専門分野を強化することができる環境を作り出すことが重要であり、委託の発注方法について、具体的な方策を国や電気事業者と調整しながら検討していく必要があると考える。

放射性廃棄物の処分は、国際的に連携して取り組むべき課題でもあることから、海外の実施主体との協力体制の構築も重要である。NUMO は、11 カ国・12 機関から構成される EDRAM (International Association for Environmentally Safe Disposal of Radioactive Materials, 放射性物質環境安全処分国際協会) に加盟し、地層処分事業に関する情報交換を行ってきているほか、これまで、各国の実施主体である POSIVA (フィンランド)、Nagra (スイス)、SKB (スウェーデン)、U.S.DOE (アメリカ)、ANDRA (フランス)、NDA (イギリス) と、技術協力協定を締結している（図 3.2.3-7）。U.S.DOE、Nagra、SKB、POSIVA とは、すでに個別の地質調査や工学技術の分野で共同研究を実施しているが、今後、処分施設建設地選定段階に実証試験を実施することなどを見据えて、スウェーデンのエスポ岩盤研究所を活用した国際共同研究プロジェクトにも参画する予定である。また NUMO の運営方針にのっとり、IAEA や OECD/NEA といった国際機関の活動にも積極的に参加してきている。

### EDRAM（放射性物質環境安全処分国際協会）加盟機関

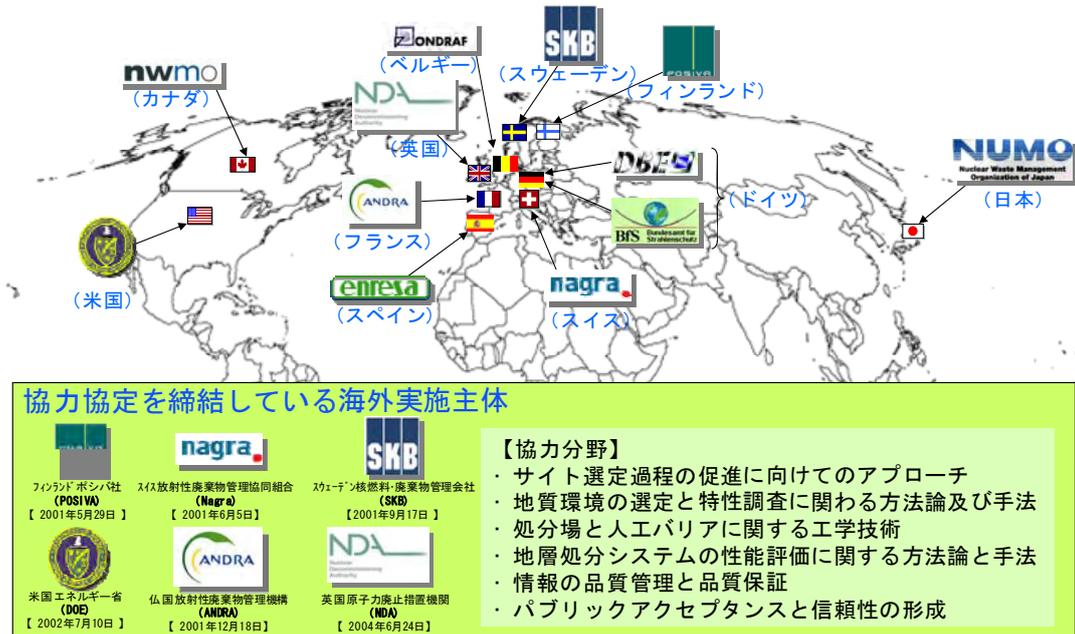


図 3.2.3-7 地層処分事業の国際的な協力

これらの共同研究を通じて、海外の地質調査や地下研究所などで培われた技術などを修得するだけでなく、職員自身も海外の処分事業の進め方、事業を取り巻く環境の相違、処分施設建設地選定までの経緯などを海外の技術者などから直接学ぶことにより、国内業務では得られない経験と知識を得ることが期待できる。

また、原子力をすでに導入していたり、現在原子力の導入を検討・予定しているが、まだ十分に放射性廃棄物の処理・処分について検討を実施していない国々に対して技術支援を実施することも検討していく。このような活動により、海外でわが国の原子力関連技術の幅広さを認知してもらうとともに、海外での技術支援活動が、わが国の地層処分技術の信頼性を国内で向上させることにもつながると考える。

以上のように、国内外の機関との協力体制を最大限に生かして、事業の推進や技術移転、職員の育成に役立てると同時に、わが国で蓄積された技術を用いて原子力分野において後発の各国の原子力事業にも貢献していくことを検討する。

### 3.2.4 方針3「安全性への信頼感醸成へ向けた技術的な取り組み」

#### 3.2.4.1 方針3に関する基本的な考え方

地層処分事業は、安全上考慮すべき期間が極めて長期にわたることなどから、世代間倫理の問題なども絡んだ、社会的にこれまで経験したことのない事業である。このため、事業を実施するに当たっては、サイト選定から処分場閉鎖後の事業廃止に至るまでを段階に分け、それぞれの段階の節目ごとに地域住民の理解を得ながら、一歩ずつ前に進めていくことが重要である。

段階的に地層処分事業を進めていく過程において、事業を次の段階へ進めるとの意思決定はサイトを有する地域の自主的な判断を尊重し理解を得た上で行う。段階的に事業を進める上でそのような意思決定を行うためには、技術的に信頼性の高い判断材料を適時、地域住民や国民に情報提供して

いくことが重要であり、常にそのような情報公開を行っていくことは組織としての信頼性向上にも繋がると考えている。処分場計画の説明において、安全性の説明は地域住民にとって最も関心のあ  
る事項であると考えられることから、技術情報を提供したり、地域住民が不安に感じている事項に  
応えるような技術的活動を行うなどの取り組みによって安全な地層処分が実現可能であることを示  
していくことが重要である。安全性の提示に当たっては、①国や NUMO の安全確保の計画が妥当  
なものか、②事業を次段階に進める上での安全性に係る意思決定の根拠は妥当か、③その根拠のベ  
ースとなっている技術の信頼性は十分なものか、④そのような技術的作業と判断を行う組織・マネ  
ジメント体制（NUMO およびその支援体制）は確立しているか、⑤それを審査する国や規制上の法  
律や仕組みは整っているか、などの情報を積極的かつ透明性をもって提供していく。

情報提供に当たっては一方的な説明に陥ることなく、対話活動や意識調査などにより相手の求め  
ている情報を把握し、文書以外のさまざまな方法も活用して情報提供を行っていくことが重要であ  
り、このような取り組みが安全性への信頼感醸成へ向けた活動の第一歩である。

長期的な安全性に関しては、有識者や規制者を対象にした説明とは異なり、安全解析手法や詳細  
な結果などの専門的な説明ではなく、地層処分システムの安全機能について、天然バリアや人工バ  
リアの閉じ込め性能を各自が身近な経験から感覚的に理解できるような説明を実施したり、天然の  
類似現象（ナチュラルアナログ研究）からの情報との対比で説明するなど、日常生活への近接性に  
配慮して説明を行っていく。また、地域住民への説明においては、長期的な安全性の説明もさるこ  
とながら、日常生活面への影響などに配慮した説明が必要と考える。

また、規制者や中立的な有識者の判断が住民理解の参考となる場合も考えられるので、そのよ  
うな有識者への情報提供も視野に入れて検討する。

このように、信頼感の醸成のための技術的説明の役割は、①双方向の対話活動を通じて、さまざ  
まな側面からの地域住民の関心が高い事項（安全性）に答える、②次段階へ進むための意思決定に  
係る十分な技術情報を提供し、説明する、③組織や体制、法的な枠組みに関する整備情報を合せて  
提供することによって、事業者が考える事業の技術的实施内容に対する地元自治体や地域住民の理  
解を得ることである。

ここでは、地域住民や国民への技術的な情報提供や対話活動の取り組みに関する方策を三つに分  
けて説明する。

- 1) 事業の各段階における意思決定にかかわる情報提供
- 2) 安全性や技術の信頼性にかかわる日常的な情報提供と対話活動
- 3) 将来世代が適切な判断を行うための環境整備

これら三つの方策について、ロードマップを作成し第4章に示した。地層処分の安全性や技術に  
対する信頼感醸成を行うためにはさまざまな活動を実施していく必要があるが、本報告書では技術  
的な視点から、どのような取り組みを行い、どのような情報を提示するかについて記述した。

以下に、それぞれの方策の背景や今後の取り組み方について述べる。

### 3.2.4.2 方策1：事業の各段階における意思決定にかかわる情報提供

地層処分事業においては、サイト選定段階から事業の廃止に至る間に、いくつもの重要な意思決  
定が行われる。こうした重要な意思決定を行い事業を円滑に進めていくためには、それぞれの段階

の意思決定に必要な情報を関係者に的確に提示し、理解を求めていくことが重要である。

サイト選定段階においては、最終処分法で求められている「法定報告書」を縦覧し、説明会を開催する。報告書に対する地域住民などからの意見については、NUMO はこれを意見書として受け、関係都道府県知事や市町村長に対し、意見の概要およびその意見についての見解を取りまとめて送付する。また、国は関係都道府県知事や市町村長の意見を聴取し、これを十分に尊重して地層処分事業を進めていくことになっており、その仕組みはすでに最終処分法で制度化されている。

このように、サイト選定段階における意思決定に、関係する自治体や地域住民の意見が反映される仕組みになっているが、意思決定を円滑に進めるためには、そのための判断材料となる情報を的確に関係者に提供していく必要がある。NUMO は、2002 年の公募開始時と 2007 年の最終処分法改正後に、地層処分事業の概要紹介や文献調査への応募手続きなどを周知するための「公募関係資料」を全国の市町村および都道府県に送付した。文献調査に基づく概要調査地区選定のための基準としては、最終処分法で規定されている条件のほか、原子力安全委員会から「概要調査地区選定時に考慮すべき環境要件」がすでに示されている。NUMO は、これらを元に事業者としての視点から自主基準として「概要調査地区選定上の考慮事項」を作成し「公募関係資料」の一部として公表しており、さらにその技術的根拠を取りまとめた技術報告書も公表している (NUMO, 2004b)。このような事業者としての自主基準については、その後の段階の調査に関しても、調査開始に先立って順次公表していく。

サイト選定段階において意思決定を行う際に、地層処分の安全性に対する信頼性は、大きな影響因子である。公募開始に当たって NUMO は、「処分場の概要」を「公募関係資料」の一部として提示し、その背景となる情報を詳述した技術報告書も公表した (NUMO, 2004a)。NUMO は、上述した法定報告書の作成の際には、その段階で得られた情報に基づく処分場の設計や安全評価に関する情報をまとめ、それらを安全規制当局に提示していくとともに、関係する自治体や地域住民にもできるだけ分かりやすい形で提示する。

### 3.2.4.3 方策 2 : 安全性や技術の信頼性にかかわる日常的な情報提供と対話活動

地層処分の安全性や技術の信頼性について関係者の理解を深めることは、3.2.4.2 に述べた意思決定を円滑に進める上で不可欠であり、特に関係する自治体や地域住民に対し、日ごろからの確でわかりやすい情報の提供と対話活動を進めていくことが重要である。そのために、事業期間中に NUMO が実施する技術的取り組みから得られる情報を提供し、対話活動などを通して、地層処分事業に対する理解を促進する必要がある。一方、地層処分の安全性への地域住民や国民の不安や疑問については、心配要因の調査・分析を行い、それに基づいた信頼感醸成活動を続けていくことが重要である。また、そのような活動結果を社会科学的な手法で分析し、信頼感醸成活動にフィードバックしていく仕組み作りを行う。

#### (1) 技術情報の提供

NUMO は地層処分の安全確保に向けてサイト調査・評価、工学的対策、安全評価といった対策を段階的に実施していくが、その過程で得られる技術情報を地域住民や国民にタイムリーに提供していく。例えば、概要調査地区選定段階（文献調査の段階）では文献リストや調査結果などを公表する。精密調査地区選定段階（概要調査の段階）では物理探査やボーリング調査などの実施状況を地域住民などに公開するとともに、現場で得られた情報をホームページや地元説明会などを通して適

宜紹介していく。処分施設建設地選定段階（精密調査の段階）の後半では、地下調査施設を建設し、処分対象の母岩の中で地質環境の調査や実証試験などを実施していくが、これらの実施状況や得られた成果を公開することで、地層処分事業に関する理解増進に役立てる。また、事業許可取得後、処分施設の建設段階や操業段階では、安全や工程管理上で問題にならない範囲で、現場を公開し、得られた情報は適宜ホームページなどを用いて公開していく。

これらの日常的な情報提供活動には NUMO の技術系職員が直接携わることが重要であり、そのために日ごろから技術的な内容を一般の方々に説明する訓練やコミュニケーション能力の向上に努める必要がある。また、一般の方々と直接対話を行うことは、NUMO の技術者にとっても、一般の方々が地層処分についてどのような不安を感じているかということを知る良い機会になると考える。

## (2) 地層処分の安全性への理解醸成支援策

一般の方々にとって地層処分の安全性を理解することは容易でないという基本的な認識があり、そうした中で信頼感醸成活動を進めるためには、さまざまな工夫をする必要がある。そこで、NUMO は、以下の方策によって信頼感を醸成していく。

### (i) 安全性に関する心配要因の分析

NUMO は、高レベル放射性廃棄物に対して不安を感じる項目と、不安の程度について調査を 2005 年に実施し、地層処分に関する一般の方々の認識の分析を行った。その結果を図 3.2.4-1 に示す。不安の程度が大きい項目として「誰が責任を持つのか」、「埋めた土地の管理」など、地層処分の管理面に関するものが挙がっている。これらの心配要因を解消するには、単に技術的な安全性を訴えるだけでは不十分であり、管理体系や制度面で地域が安心できる体制がどこまで整っているかも丁寧に説明していく必要があることを示唆している。

NUMO は、今後も地層処分にかかわる一般の方々の関心事項、不安・懸念事項、理解の進展度合いなどについて、社会科学的な手法も取り入れた調査・分析を適宜行い、学際的な知識や経験を活用して信頼感醸成に有効な技術的取り組みとしてどのようなことをなすべきかについて検討を進めていく。また、実際にサイト調査などの現地での活動の開始後も、地域住民が地層処分事業の何に対して、不安に思っているのかを適切に把握し、不安解消に向けて真摯に対応していく。

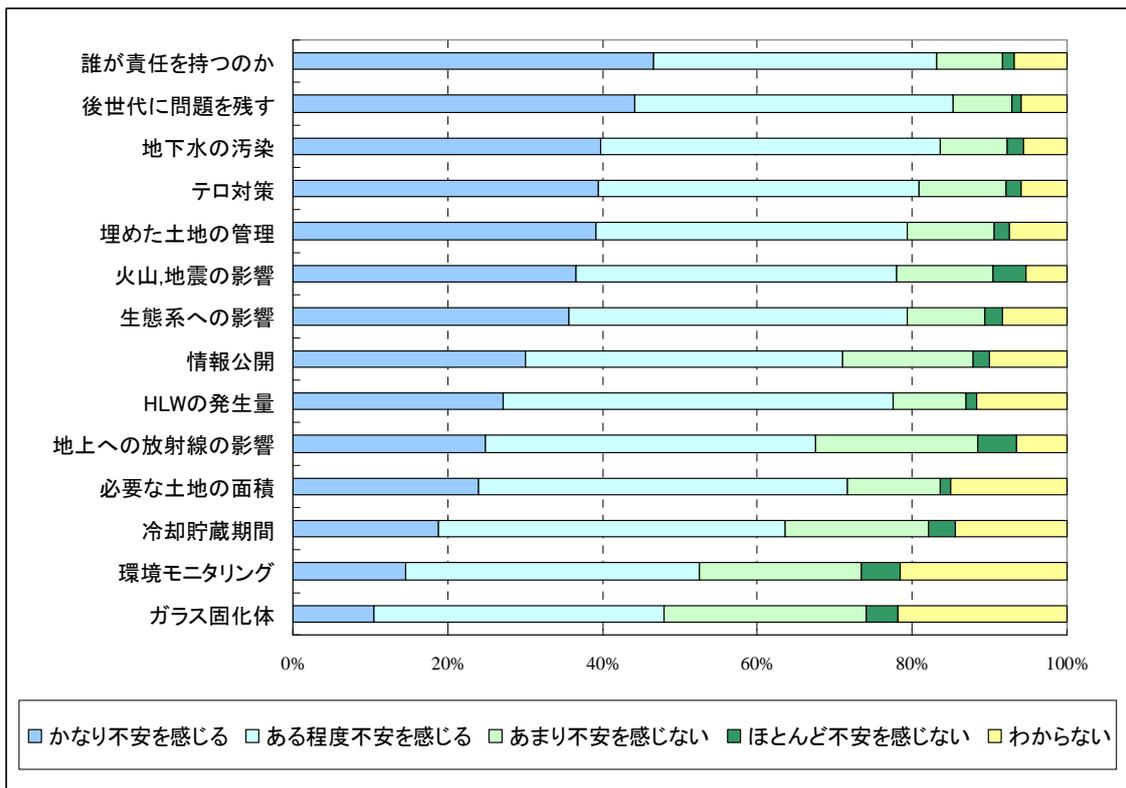


図 3.2.4-1 高レベル放射性廃棄物についての不安（一般の方々，回答者数約1,400名）

### (ii) ナチュラルアナログの活用

地層処分想定される現象と類似した自然または考古学的な現象，すなわちナチュラルアナログの活用は，地層処分にかかわる種々の現象の理解を助ける手段として有効である。例えば，人類初の飛行が鳥の飛翔に学んで実現したように，自然から多くを学び，さまざまな自然現象のプロセス解明により技術的な問題に対する解決策を見出すことによって技術は発展してきた。地層処分もまた，放射性廃棄物を長期的に閉じ込め隔離する方法として人類が自然から学んだ解決策の一つとすることができる。

地球上には，アフリカのガボン共和国オクロ鉱床やカナダのシガーレイクウラン鉱床など，地層が10数億年もの長い間，放射性元素を閉じ込めてきた例が存在する（Miller et al., 2000）。また日本にも，東濃鉱山ウラン鉱床（岐阜県土岐市）や，約100万年前に堆積した泥質岩層の中に埋まった火山噴出物に含まれた「火山ガラス」など，地層処分想定する数十万年以上の間大きな変化が生じなかった事例が存在する（PNC, 1998）。これらの例に共通しているのは，母岩を中心とした地質や地質構造が長期的に安定で，地下深部の地下水の流れが遅く，還元的な環境が安定的に維持されてきた場所であるということである。こうした環境であれば，物質は極めて長期にわたり，安定的に保持されるという実例を自然界が示している。

一方，人工バリアシステムも，1900年以上前の古代ローマ時代の釘や，弥生時代に作られたと考えられる吉野ヶ里遺跡で発見されたガラスの管玉などがそのままの姿で出土したことを做ったものである。

こうしたナチュラルアナログは，地層処分期待する各バリアの安全機能の長期成立性を説明する論拠として利用することが可能で，NUMOでも，広報誌やホームページで，いくつかのナチュラル

ルアナログの事例を紹介してきた。長期的に安定した地層を選び、天然に存在する安定した材料で工学的なバリアを構築する地層処分とは、端的に言えばナチュラルアナログと同じ状況を作ろうとするものであるということができる。

また、ナチュラルアナログの活用の仕方についても、それを単に漠然とした安全性の例証として利用するだけでなく、そこで観察される現象の条件や範囲を明確にした上で、安全機能に関連する現象と科学的に結び付けた説明を行っていくことが重要である。

文献調査への応募があった場合または国による申し入れを受諾した場合、調査対象となる地域の地質環境が処分施設建設地として適するのかどうかという点が中心的な課題となる。その地域の代表的な地形や地質、出土品などに関して観察される現象の中には、長期の地質安定性や物質保持能力の直観的な理解に役立つ可能性があるものもあるので、ナチュラルアナログ事例の収集、整理に取り組むことも大切である。

### (iii) 実証試験などの公開

処分技術を体感できるような実証試験や疑似体験設備の積極的な公開は、地層処分技術への信頼感醸成の面で、有益と考えられる。

こうした観点から、国やJAEAを中心に、「実規模設備」(原環センター, 2009, 2010) や「バーチャル処分場」(三菱総合研究所, 2009, 2010) など、国民が地層処分事業の概念や安全性を体感できるような設備やIT技術を駆使したシステムの整備が進められている。NUMOは、国やJAEAなどと協力し、こうした設備の見学などにより相互理解活動を推進していく。そのほかに、NUMOや基盤研究開発機関が地上の研究施設で各種工学実証試験などを行う場合にも、それらを適宜公開し、信頼感醸成に役立てる。

地下研究所やそこで行われる調査・研究の公開は、地層処分事業への体感的理解を深め、地層処分への信頼感を醸成する上で効果的であり、先行する諸外国の実施主体もそのような活動に力を入れている。わが国ではJAEAが岐阜県の瑞浪市と北海道の幌延町で深地層の研究施設の建設を進めており、一般にも公開している。NUMOはJAEAと協力し、メディアや地層処分に関心を持つ一般の方々を対象に、これら地下施設の見学会などを通じて、地層処分事業への理解拡大に努めていく。またNUMOは、国外の地下研究所を活用して、工学技術の原位置試験などを行うことも検討中であり、それらが実現すれば、実施状況や成果を広く公開していく予定である。

処分施設建設地選定段階(精密調査の段階)では、NUMO自らが地下調査施設の建設・運用していくことになるが、安全性に十分配慮した上で可能な限り、一般に地下施設やそこでの調査状況を公開する。また、地下調査施設完成後は、その一部を活用した模擬廃棄体を用いた搬送・定置などの実証試験が行われることになるが、それらの状況なども一般に公開し、多重バリアシステムなどの理解促進に活用することを検討している。

長期安全性の理解のための一方策として、地層処分システムの各バリアに期待する安全機能が実際に見て確認できるような実験や、人工バリアの変質や核種の移行の予測結果を示す動画の公開なども検討していく。図 3.2.4.2 にそのようなPR施設のイメージ図を示す。

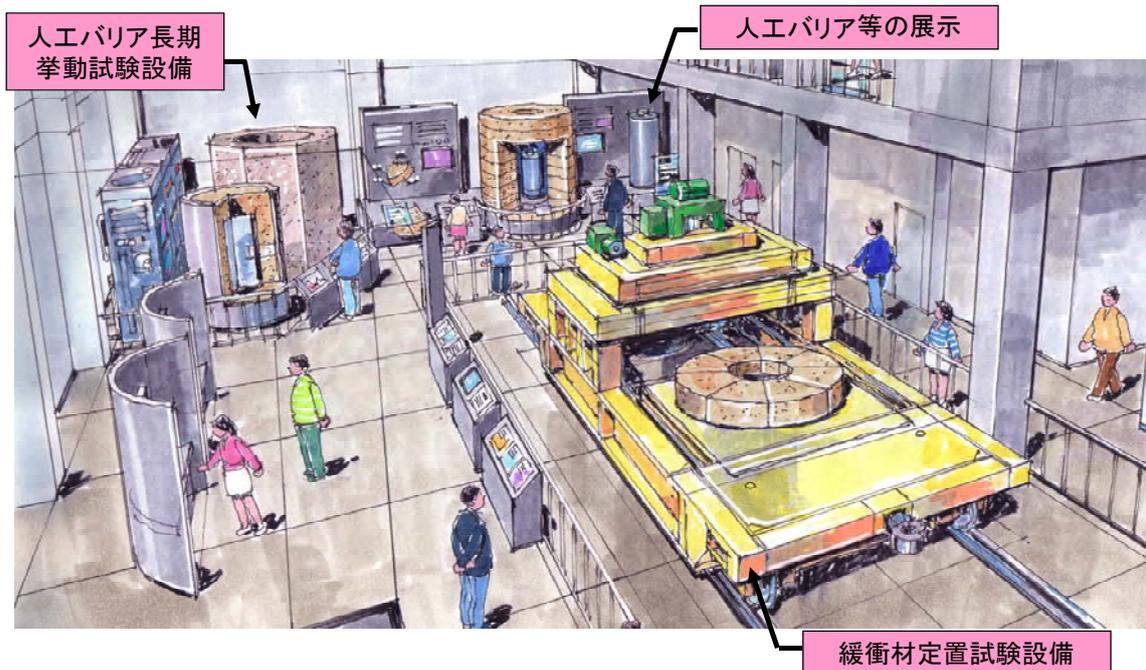


図 3.2.4-2 地層処分の概念や安全性を体感できる施設  
(出典：原環センター，2009)

#### 3.2.4.4 方策3：将来世代が適切な判断を行うための環境整備

地層処分事業においては、現世代が今の時点で、100年近い将来の事業の在り方を固定的に決めてしまうのではなく、将来世代がその時点における諸条件の中で一定の決定をする余地を残しておくことも重要である。

将来世代が行うことになる最も重要な意思決定は、処分場の閉鎖に関する決定である。地層処分は、可能な限り受動的な手段により安全を確保することを目標としており、NUMOは、処分場閉鎖に至るまでの間に、基本的にはその後の人間の能動的管理の必要性をなくすことを目指して、安全確保上必要なすべての対策を講じていく。しかしながら、すべての廃棄物の埋設が終了した後、いつの時点でどのような条件が整えば処分場の閉鎖を判断するのか、閉鎖後に何らかの管理を残すのか否か、残すとすればどのような管理をいつまで残すのか、といったことは、NUMOや国のみならず、関係自治体や地域住民にとっても重要な事項である。

閉鎖の可否を判断する上で、操業前から閉鎖完了に至るまでの間の継続的なモニタリングデータの収集と公開は、多重バリアシステムが期待する機能を果たしていることへの信頼感を得る有力な手立てとなり得る。そのようなモニタリングを継続しつつ、NUMOは処分場閉鎖に至るまでの間、廃棄体の回収可能性を維持する（モニタリングと回収可能性については3.3参照）。閉鎖措置計画の認可申請時点で、NUMOは、操業中に蓄積した記録や情報、閉鎖措置の具体的条件などを取り込んだ、より包括的なセーフティケースを構築し、モニタリングなど能動的管理に頼ることなく閉鎖後の長期安全性が担保できることを示す。一方、閉鎖後のモニタリングや回収可能性維持の要否についても、国際的な動向を含むさまざまな視点からの検討を続けることは、将来世代が適切な判断を行うための環境整備として重要である。

処分場閉鎖に向けて将来世代が適切な意思決定を行うためには、上述のような技術的な準備を着実に進めるとともに、NUMO自身が関係自治体や地域住民との間で相互に強い信頼関係を築いてい

く必要があり，そのためにも前述した日常的な情報提供や対話活動を重要視していく。

### 3.3 地層処分事業にかかわる個別課題に対する NUMO の考え方

地層処分は、天然の地層という不均質で大きな空間領域を利用し、事業期間が 100 年程度といった長期にわたるため、技術的、社会的な不確実性が大きく、事業を取り巻く環境が変化する可能性がある。これらに適切に対応していくためには、事業全体を俯瞰しつつ、状況に応じて柔軟に課題に対応する必要がある。そのような考え方を、安全確保に向けた三つの方針の中で述べてきたが、さまざまな不確実性への対応を体系的に行うためには、リスクマネジメント的手法を取り込んだ事業運営が有効であると考えられる。

また、地層処分は、多重バリアによる受動的安全性を担保できる地層処分システムを構築することを目指しているため、人の管理による安全確保から、多重バリアシステムによる受動的な安全確保に移行するという意思決定が重要である。受動的な安全確保に移行するという意思決定とは、処分場の閉鎖措置の開始を判断するということであり、その時点でサイト調査から建設、操業の段階で得られた情報のすべてを総合的に判断し、受動的な安全性を十分担保するための要件が充足されたとの判断を行うことになる。そのような判断を行うに当たっては、処分場のモニタリング、可逆性や回収可能性、処分場の閉鎖措置といった課題をどのように考えるのが重要である。

本節では、以下の課題についての現在の NUMO の考え方や取り組みを紹介する。ただし、これらは、今後のわが国における地層処分の制度化や国際的な議論の動向を勘案しつつ対応をさらに具体化していく必要がある。

- ・ 地層処分事業におけるリスクマネジメント
- ・ モニタリング
- ・ 可逆性と回収可能性
- ・ 処分場の閉鎖

#### 3.3.1 地層処分事業におけるリスクマネジメント

地層処分事業は 100 年程度にわたる長期の事業であり、事業期間中の技術面、社会面におけるさまざまな不確実性に適切に対応していくことが求められる。安全性を確保するには、安全性を損ねるようなさまざまな状態を想定し、そのような状態に陥ることを未然に防止し、万一そのような状態になった場合の影響を許容範囲内に抑える手立てを講じておく必要がある。そのような取り組みは、リスクを特定、分析、評価して、対応策を策定するというリスクマネジメントの考え方と共通する。

一般的にリスクマネジメントは、①組織が置かれている外部状況および内部状況の確定、②リスクアセスメントとして、リスク特定、リスク分析、リスク評価の実施、③リスク対応の実施、④ステークホルダーとのコミュニケーション・協議の実施とモニタリング・レビューによる改善、というプロセスで行われる。また、こうしたプロセスを効果的に運用するための組織の運用管理体系を設定することも必要であり、①リスクを運用管理するための枠組みの設計、②リスクマネジメントの実践、③枠組みのモニタリングおよびレビュー、④枠組みの継続的改善、などの要素から構成される。

リスクマネジメントの国際規格 ISO31000 (Risk management—Principles and guidelines) は 2009 年 11 月に発行された。ISO31000 ではリスクの定義を「目的に対する不確かさの影響」と定め、特定分野に特化することなく、一般的な概念が示されている。ISO31000 の特徴は、リスクマネジメント

のための汎用的なプロセスと、そのプロセスを効果的に運用するための枠組み、それらを継続的に改善していく体系が示されていることである（図 3.3.1-1）。

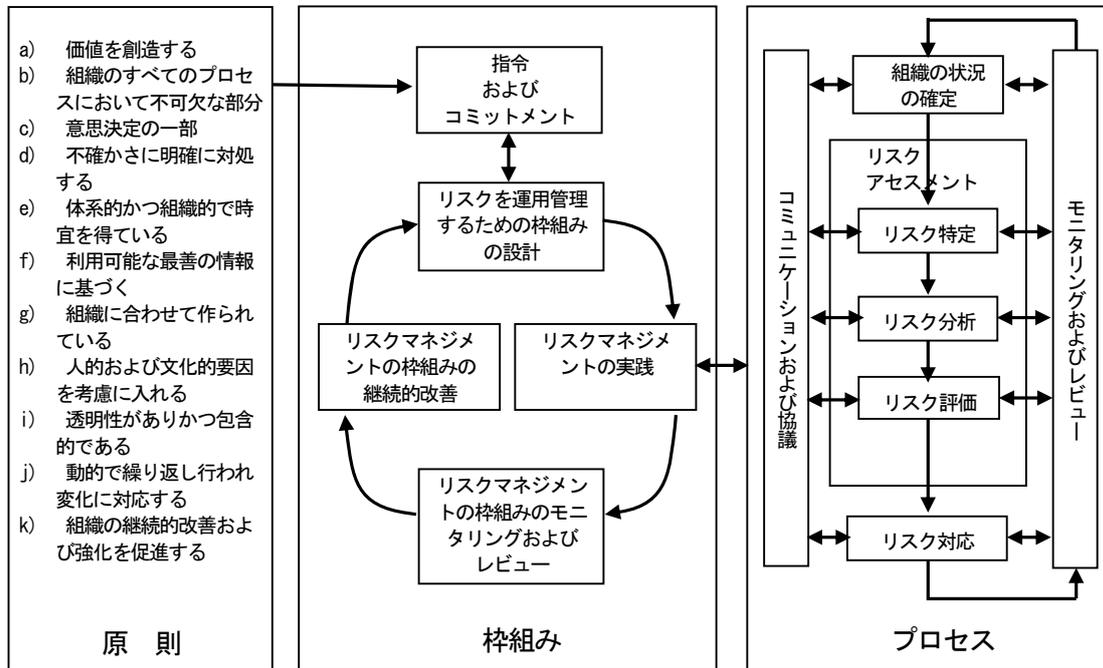


図 3.3.1-1 ISO31000 におけるリスクマネジメントの原則、枠組み、プロセスの関係  
(日本規格協会, 2009 を一部修正)

NUMO では、閉鎖後長期の安全確保、事業期間中の安全確保を目標として地層処分事業を推進していく。これらの安全確保を脅かす要因に対するリスクマネジメントは、地層処分事業におけるリスクマネジメントの重要な要素である。また、100 年程度にわたる事業期間中には技術面、制度面、社会面においてさまざまな変化が起こることが予想され、さまざまな事業的なリスクも存在する。以下に、現時点で NUMO が考えている地層処分におけるリスクマネジメントに対する考え方を述べる。

閉鎖後長期の安全性の確保は、サイト調査や工学設計などにより状態を設定し（状況の確定）、FEP（Feature Event Process）に基づいてシナリオの構築を行い（リスク特定）、数学モデルやデータを用いた安全解析を実施し（リスク分析）、安全基準と比較し（リスク評価）、サイト調査を実施したり、工学的対策を再度検討する（リスク対応）、というプロセスを繰り返し実施することで達成される。この手法は ISO31000 で規定されているリスクマネジメントのプロセスと対応しているため、従来の安全確保策を的確に実施することにより、リスクマネジメント的な考え方も包含した取り組みが実施可能と考える。

事業期間中の安全に関しては、調査や建設などに伴う労働災害や火災、操業・閉鎖時の廃棄体の損傷による作業従事者の被ばく事故など、さまざまなリスクを抽出し、それらの発生頻度や影響度の評価を踏まえ、設計の改良や保安管理体制の改善を進めることになる。そうした活動のベースとして ISO31000 に基づいたリスクマネジメントの考え方を適用していく。

地層処分事業は、社会的にも技術的にも不確実性を含む事業であり、外部条件の変化に対して適

切にリスクマネジメントを実施していく必要がある。事業期間中の災害や想定外の事象による安全性の低下は実施主体である NUMO の信頼を著しく低下させ、事業の継続に大きな支障をもたらすことになる。NUMO として事業運営をどこまで ISO31000 に基づいたリスクマネジメント管理体系として整備していくかは、今後検討すべき重要課題である。

### 3.3.2 モニタリング

地層処分事業では、調査段階から閉鎖確認までの期間、安全確保や環境保全などの観点から、それぞれの段階においてさまざまな種類のモニタリングを実施する。モニタリングは、事業が正常に行われていることを確認する重要な手段であると同時に、その情報を国民や地域住民に公開することは、事業に対する信頼性を高めていく上で不可欠の事項である。なお、処分場の閉鎖は、安全面からはモニタリングなどの能動的管理を必要としない、受動的に安全な状態を実現することが前提条件となるが、閉鎖確認から事業廃止までの期間については必要に応じてモニタリングを継続する。NUMO が行うモニタリングはその目的に基づき、以下の四つに分類される（操上ほか、2010）。

- ・ 閉鎖後長期の安全確保に関するモニタリング
- ・ 放射線安全の確保に関するモニタリング
- ・ 一般労働安全の確保に関するモニタリング
- ・ 周辺環境の保全に関するモニタリング

表 3.3.2-1 に各モニタリングの概要を示す。

表 3.3.2-1 モニタリングの分類とその概要

目的		モニタリングの分類	概要
閉鎖後長期の安全確保		閉鎖後長期の安全確保に関するモニタリング	事業許可申請、事業許可以降の安全レビュー、閉鎖措置計画の認可申請、閉鎖措置の確認などにおいて、閉鎖後の長期的な安全性が担保できることを示すために実施するモニタリングである。閉鎖後長期の安全性を直接モニタリングにより示すことはできないため、安全評価で仮定された現象などが仮定どおり起こっていることを事業期間中のモニタリングにより確認することを基本とする。ベースライン状態を把握するためにサイト調査段階から行う必要がある。
事業期間中の安全確保	放射線安全の確保	放射線安全の確保に関するモニタリング	保安のための一環として放射線防護の確認のために行う放射線モニタリングであり、環境放射線モニタリング指針に基づいて実施する。また、管理区域におけるモニタリングは、現行の原子力施設周辺において実施されている放射線モニタリングを参考にして実施することができるが、地層処分事業では、管理区域が事業の進展とともに順次移動していくことを考慮して計画、実施する必要がある。
	一般労働安全の確保	一般労働安全の確保に関するモニタリング	坑道内の作業安全や良好な作業環境を確保するために、温度、湿度、酸素量、ガス、粉塵などを継続的に測定する。土木、鉱山、原子力などの分野における現行の法規制あるいは基準類などに準拠して実施可能である。
	周辺環境の保全	周辺環境の保全に関するモニタリング	周辺環境の保全の一環として行うモニタリング。事業の実施による周辺環境への影響を予測、評価するため、大気質（粉塵）、気象、騒音・振動、河川・地下水の水圧・水質、動植物などの項目について継続的に測定する。保全措置の効果を適宜評価し、必要があれば保全措置の改善もしくは追加措置の検討に資する。

このうち、地層処分事業固有のモニタリングは、閉鎖後長期の安全確保に関するモニタリングである。「高レベル放射性廃棄物等の地層処分にかかわる安全規制について（報告書）」（総合資源エネルギー調査会、2008）では、事業許可以降20年を超えない期間ごとに行う定期的な評価（安全レビュー）において長期的な安全性が担保される見通しであることを確認するために、モニタリングに一定の役割を期待している。

しかし、モニタリングによって事業許可申請時の安全評価で仮定されるシナリオ全体の確かさを直接的に確認することはできない。従って、モニタリングでは、安全評価で仮定された個別の現象のいくつか（例えば緩衝材の飽和現象）について、それが実際に起こっていることを確認したり、地質環境モデルに含まれる特定の現象（例えば地下水位の遷移状況）の予測の妥当性を確認することなどによって、補完的に安全評価の妥当性を示すことが検討されている（操上ほか、2010）。

地下水シナリオ（JNC、1999）においては、地質環境（天然バリア）中の核種移行に関するパラメータとして、移行距離、亀裂の開口幅分布、亀裂密度（亀裂性媒体の場合）、母岩の透水性、有効間隙率、動水勾配、実効拡散係数、分配係数などが挙げられている。これらのパラメータの多くは地下施設の掘削などの影響をほとんど受けないと考えられ、調査段階における地質環境調査などで得られた情報を地質環境モデルとして固定的に設定する。一方、動水勾配など一部の水理的条件は地下調査施設や地下施設などの建設により影響を受けるが、地下施設の閉鎖以降には掘削前の状態に徐々に近づくと考えられる。そのため、モニタリングによって安全評価において仮定している将来的な水理的条件に近づくことを確認することは、安全評価の妥当性を示す上で重要である。水質などの地化学的な条件についても、建設・操業時に外気が地下施設に持ち込まれることにより処分場近傍の母岩が酸化条件になることが予想されるが、地下施設閉鎖後に徐々に還元環境に戻ることが安全評価で仮定されている。このような観点から代表的な地下水水質についてもモニタリングによりその変遷を確認することが重要である。

地層処分事業で実施するモニタリング項目は、サイト条件が定まった段階でサイト固有の特性や安全評価からのニーズなどを考慮して決定する予定である。その際には、安全性に係る重要な現象やパラメータを抽出し、サイト調査で取得するか、あるいはモニタリングで状態の変遷を確認する必要があるかなどを整理して検討する必要がある。また、計測機器の耐久性や精度などに対する技術的実現性（既存技術および開発中であるが実用の見込みがある技術）、ステークホルダーからの要望、モニタリングを実施することによる環境・バリア性能への影響、経済性などを考慮することが重要である。

モニタリングは地下環境などの時間的変遷に関する情報を取得する行為であり、変化を把握するためにはIAEA（2006a）が推奨するように、基準となる状態（ベースライン）を把握しておくことが重要である。そのため、地下調査施設の建設による擾乱を受ける前の地質環境、周辺環境、放射線の状態を「初期ベースライン」と定義し、初期ベースラインを把握するために、地下調査施設の建設前からモニタリングを開始することとする（操上ほか、2010）。なお、サイト調査段階においては、サイト調査とモニタリングを統合的に計画、実施、評価する必要がある。

モニタリングは、事業の開始から閉鎖措置の確認まで（必要性が認められれば事業廃止まで）の長期間にわたって実施されるものであるが、その間、モニタリングに対する要件の変化やモニタリング技術の進展が考えられる。従って、IAEA（2006a）が推奨しているように、モニタリングプログラムは将来の要件の変化や技術の進展に対応できるよう、定期的あるいは適切な時期に見直されることが、柔軟な事業の推進において重要である。また、適切なメンテナンス、情報・品質管理、

異常が検出された場合の適切な対応、情報公開を行うことが重要である。

閉鎖後の安全性はモニタリングを含む閉鎖後の能動的な制度的管理に依存してはならないということが地層処分の基本原則の一つであるが、一方で社会的要請などによりそのような制度的管理がある一定期間適用される可能性もある（IAEA, 2011）。

NUMO としては、処分施設の安全性が十分に示され、人間が関与した安全確保から受動的安全性に移行してよいという判断がなされた段階で閉鎖後長期の安全確保に関するモニタリングは技術的役割を終えると考えている。ただし、閉鎖措置実施中は、閉鎖に係るモニタリングを実施することを考えている。一方、閉鎖後のモニタリングの在り方については、将来閉鎖の時点で、社会的要請などを考慮して、将来世代が判断すべき課題と考えており、事業期間中に将来世代が検討・判断するために必要な記録を残していくことが重要である。

### 3.3.3 可逆性と回収可能性

可逆性は事業の段階を実施してきた方向とは逆の方向に戻すことの可能性という意味で用いられている言葉であり、回収可能性は廃棄物の回収という可逆性を具体化する方策の一つと位置付けられる。

地層処分では、数万年以上という長い期間を対象として放射性廃棄物を隔離、閉じ込める必要があり、一定期間人間が関与した状態で安全性を担保し、最終的には地層の持つ機能を生かして受動的安全性に移行するという考え方が取られている。ただし、地層処分事業の実施には 100 年程度といった期間が必要で、さらに処分場の閉鎖後の期間まで考慮すると、多くの世代間にまたがる倫理問題などを考慮する必要があり、地層処分の在り方について考える際には、事業の可逆性と廃棄体の回収可能性をどこまで担保すべきかということが一つの重要な論点となる。

こうした議論は、深地層に放射性廃棄物を処分する方策が選ばれた 1970 年代にすでに行われており（OECD/NEA, 1977）、地中に埋設した廃棄物は技術的には回収することは可能であるとの基本的な認識が共有されている。なお、制度的には廃棄物の回収可能性については、米国の規制主体である U.S.NRC が、ユッカマウンテンにおける処分事業に対する規制文書である 10CFR Part63 の中で、廃棄物定置後の性能確認とその結果の U.S.NRC による評価が完了するまでの間の回収可能性の維持を義務付け、その期間は別途 U.S.NRC が指定しない限り廃棄物定置開始から 50 年と定めたのが最初である（U.S.NRC, 2001）。

事業の可逆性に関する議論は、IAEA において倫理的な課題として行われた（IAEA, 1995）。そこでの議論では、「放射性廃棄物の処分については、われわれの世代の責任としてその解決策を示さねばならないが、処分事業を段階的に進めるための意思決定では、将来世代の意思が反映できるように準備しておくことが重要である」とされた。この議論を受け、1999 年に米国で行われた可逆性を含めた処分事業の進め方の議論では、「Adaptive Staging Approach: 処分を取り巻く環境の変化に適用できる段階的な進め方」が推奨された。この考え方では、将来の社会構造や住民意識および技術革新を含めた環境の変化に柔軟に対応できる事業の進め方からさらに一歩進めて、さまざまな選択肢を準備することで、変化に対応するための方策を求めている。その中で、廃棄物の回収可能性も可逆性を具体化する一つの技術的な対応策として位置付けられている。地層処分の可逆性、回収可能性にかかわる最新の動きとしては、OECD/NEA 主催の国際共同研究である R&R プロジェクトが実施され、諸外国の実施主体、規制主体、学識経験者といった幅広いメンバーで議論が行われた。

わが国では回収可能性に関して、国の報告書に以下の記述があり、NUMO が回収可能性に関する

基本的考え方を検討する際の基礎となっている。

- ・ 「処分場の閉鎖に際しては、建設段階及び操業段階に得られたデータを追加し、安全評価の結果が妥当であることの確認を行う。また、その妥当性を確認するまでの期間は、高レベル放射性廃棄物の回収の可能性を維持することが重要である。」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，2000）。
- ・ 「処分場閉鎖までの間は、不測の事態への適切な対応等のために、廃棄体の回収可能性を維持することが必要と考えられ、事業実施主体の計画においてもこの点を考慮する必要がある。」放射性廃棄物の地層処分に係る安全規制制度の在り方について（総合資源エネルギー調査会，2006）。
- ・ 「国は、事業許可申請に対する安全審査を行い、許可後は基本設計ないし基本的設計方針が適切に反映され維持されていることを確認することから、基本的に廃棄体を回収するような事態が生じることはないと考えられる。＜中略＞埋設事業において、閉鎖までの間は、基本的に廃棄体を回収することは可能と考えられるが、これを安全かつ効率的に実施するために、回収可能性に配慮した設計の採用や具体的な回収手段を検討しておくことが重要と考えられる。」高レベル放射性廃棄物等の地層処分に係る安全規制について（総合資源エネルギー調査会，2008）。

NUMOは、受動的安全性が確保された地層処分システムを構築するために、サイト調査段階で得られた情報を統合し、安全性が担保できるという確信を持って事業許可の申請を行う。国による事業許可を得た後は、処分場の建設、操業を行い、地層処分施設の構築を行う。処分場の閉鎖に際しては、建設段階および操業段階に得られたデータを追加し、安全評価の結果が妥当であることの確認を行い、閉鎖の判断を行う。閉鎖の判断は、地層処分システムが十分な信頼性を持って構築されたということが確認されたということであり、人間が関与した処分場の管理から受動的な安全性の担保に移行しても良いという重要な判断である。わが国の場合、閉鎖の判断は国によって閉鎖措置計画が認可されるという手続きで行われるが、その際には地域住民を含む幅広いステークホルダーの理解を得た上で閉鎖の判断を行うことが重要であると認識している。

NUMOは、閉鎖措置計画が認可されるまでの間、すなわち地層処分システムが十分な信頼性を持って構築されたということが確認されるまでは、上述の報告書の趣旨に従い廃棄体の回収可能性を維持し、閉鎖措置計画が認可されたのち、計画に基づいて閉鎖措置を行う。この段階では、図 3.3.3-1 に示すように廃棄体を定置した処分坑道はすでに埋め戻されており、処分坑道の端部には処分坑道内に定置したバリア材を保持する目的でプラグが設置された状態である。従って、閉鎖措置とは地下のアクセス坑道や立坑、斜坑など地下空洞をすべて埋め戻し、必要に応じてプラグを設置する作業を意味する。

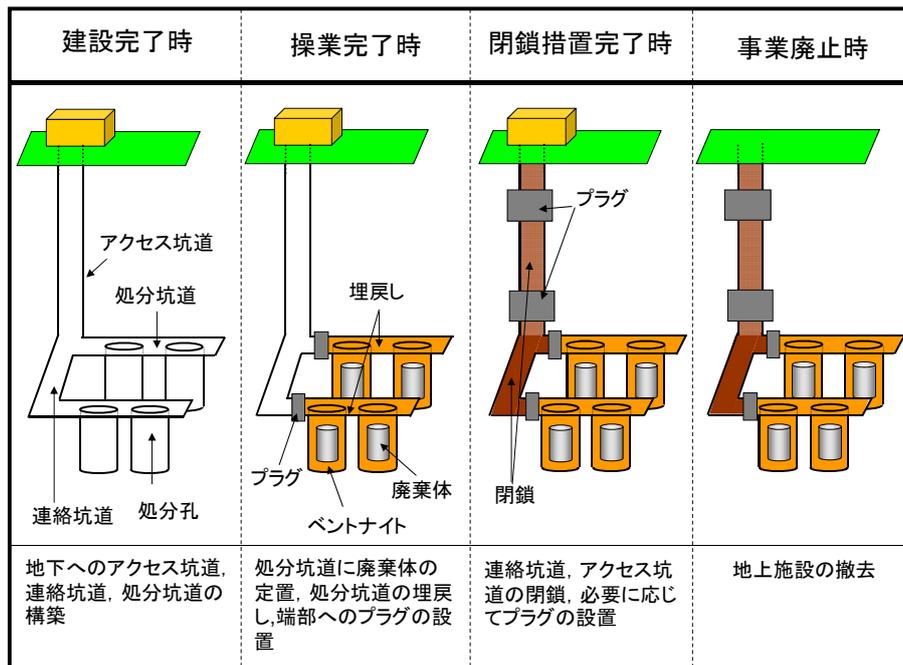


図 3.3.3-1 処分場の建設、作業、閉鎖措置の区分概念図

図 3.3.3-2 に回収可能性とモニタリングに関する NUMO の基本的考え方を示す。閉鎖措置計画認可申請までの期間は、閉鎖の判断を行うために必要なモニタリングを継続し、得られた結果は閉鎖の判断、つまり閉鎖措置計画の認可申請に適用する。閉鎖の判断がなされた段階で、処分場の受動的安全性が担保できるという判断がなされていることになり、閉鎖措置計画の認可以降は閉鎖後長期の安全確保という観点では、モニタリングや回収可能性を維持する必要性はなくなると考えている。ただし、その時点では処分場の閉鎖措置がまだ実施されておらず、受動的安全性を担保するために確実に閉鎖措置を行う必要があり、そのために必要なモニタリングは実施する。万一、閉鎖措置を実施するに当たって安全確保上の問題が生じた場合は、閉鎖措置の一部または全部をやり直す可能性がある。閉鎖措置が完了し、閉鎖確認が行われた後は、安全確保という観点ではモニタリングを継続する合理的な理由はなくなる。ただし、地層処分システムへの信頼感の向上という観点で必要に応じてモニタリングを実施する。

すなわち、NUMO としては、閉鎖措置計画が認可された段階で回収可能性を維持する必要はなくなると考えている。ただし、処分場の安全性以外の何らかの理由により回収の議論がなされた場合には、その時点で検討を行い廃棄体の回収を実施するか否かの判断が行われるべきである。その場合の廃棄物の回収は、鉱山技術などを応用することにより技術的には可能である。

NUMO は、そうした場合にも備え、事業期間中に蓄積した記録や情報などを保存し、将来世代が適切な判断を行うための環境整備に努める。

廃棄体の回収という可逆性に関しては、事業段階の進捗とともに困難になっていくということが OECD/NEA 主催の R&R プロジェクトでも共通の認識となっている (OECD/NEA, 2011)。R&R プロジェクトではそのような考え方を分かりやすく説明するために、図 3.3.3-3 に示す廃棄体の回収にかかわるリーフレットを作成し、事業段階の進行とともに人間が関与した安全確保から受動的な安全確保へと移行していき、同時に廃棄体の回収はより難しくなっていく、回収に要する費用も増大していくという考え方を示している。NUMO としては、このような点を認識し、事業の後戻りを

余儀なくされるような事態にならないよう慎重に事業を推進する。

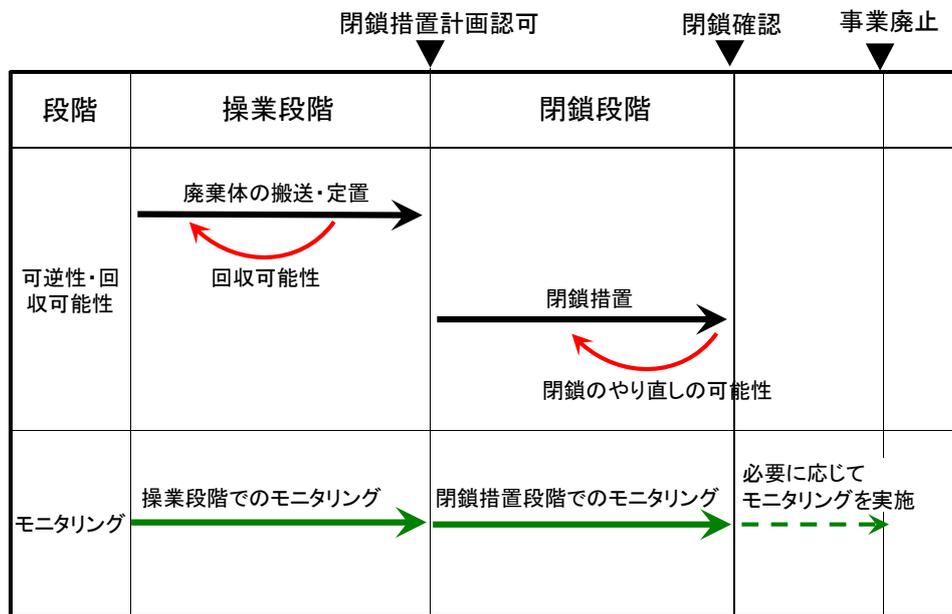


図 3.3.3-2 回収可能性に関する NUMO の基本的考え方

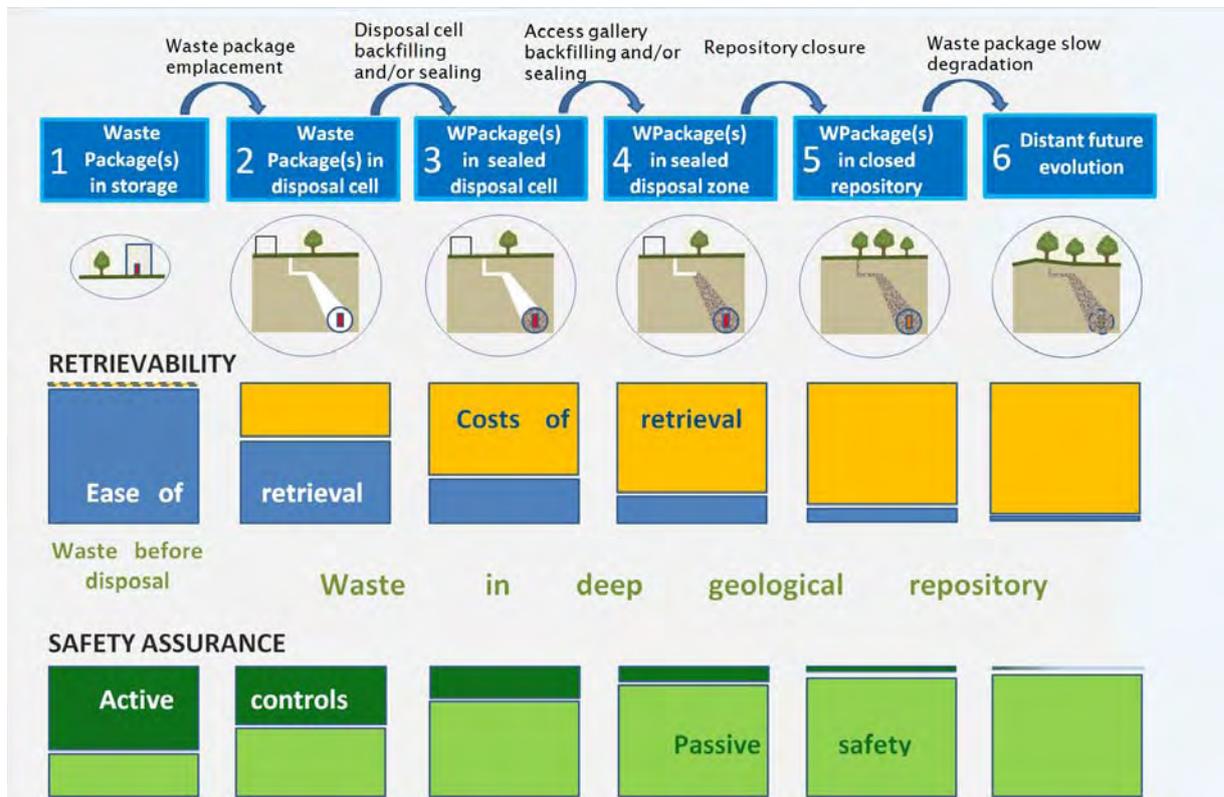


図 3.3.3-3 廃棄体の回収にかかわる R スケール  
(出典：OECD/NEA, 2011)

### 3.3.4 処分場の閉鎖

「処分場の閉鎖」とは、事業期間中の人的な管理に依存した安全性確保から、管理に依存しない受動的な安全性（IAEA, 2006a）に移行する行為であり、長期の安全確保を保証する地層処分システムの完成を意味する。

2007年（平成19年）に改正された原子炉等規制法では、第一種廃棄物埋設事業に関する一連の許認可と検査などの手続きにおいて、実施主体は「閉鎖措置計画」を定め、認可を受けるとともに閉鎖措置終了後は国の確認が必要であると規定されている。処分場の閉鎖とは、認可された基本設計どおりの廃棄物埋設施設の完成、埋設事業の実質的な終了という重要な側面を有している。いったん処分場を閉鎖すると廃棄物の回収には多くの労力や時間が必要となるため、閉鎖措置計画の認可を申請するに当たって、実施主体は、閉鎖後における廃棄物埋設施設の安全性の見通しについて、操業中に実施する安全確認のレビュー結果とともに国内外の最新の知見を集約して安全レビューを行うことが必要である。なお、安全レビューとは、事業の進展に伴い得られるデータや最新知見を踏まえてもなお、廃棄物埋設施設の操業中のみならず閉鎖後も含めた長期的な安全性が担保される見通しがあることを確認することとされている（総合資源エネルギー調査会, 2008）。

また、国は安全レビュー結果をもとに、閉鎖後長期の安全が確保されていることを改めて確認することとなっている（閉鎖措置計画の認可）。NUMOは、このような地層処分の安全確保の特徴を踏まえ、閉鎖措置を事業の進め方の重要な目標として検討し、必要な事項は現段階から準備するという姿勢で取り組んでいくこととする。

処分場の閉鎖措置の具体的な作業は、連絡坑道、アクセス坑道を埋め戻し、必要に応じて坑道が地下水流の短絡流路となることを防止するためのプラグを施工し、関連する諸設備を解体・撤去することである。処分場の建設段階、操業段階、閉鎖段階の区分は図 3.3.4-1 に示したとおりである。建設段階では、地下へのアクセス坑道、連絡坑道、処分坑道の構築を行う。操業段階では処分坑道に廃棄体を定置し、処分坑道の端部にプラグを設置する。実際の処分場の操業時には、パネルごとに建設と操業が並行して実施されることもあり得る（図 3.3.4-1）。すべての廃棄体が処分坑道内に定置され、閉鎖措置計画の認可が得られた後に、前述の閉鎖措置を開始する。

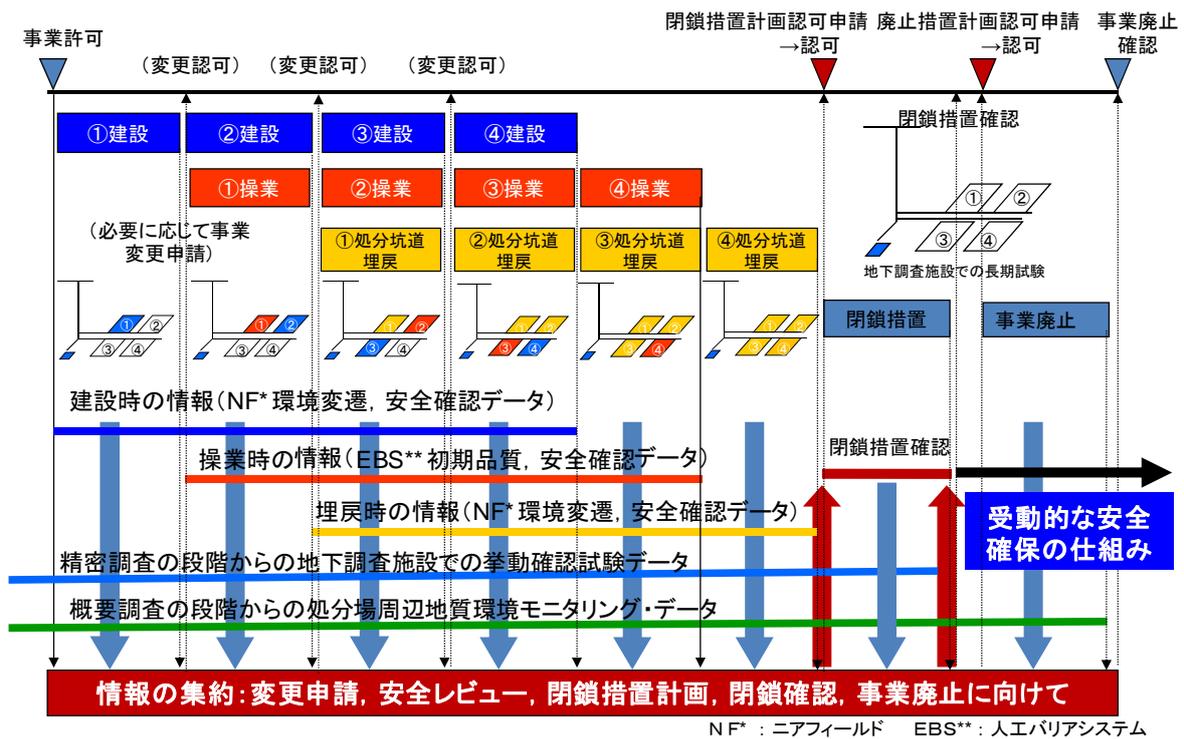


図 3.3.4-1 処分場の閉鎖に向けた技術的な情報の集約

3.3.3 で述べたように、地層処分における閉鎖という行為は人間が管理する状態から、受動的安全性へ移行する段階であるため、閉鎖の判断は、地層処分事業にとって極めて重要である。処分施設は、建設・操業中に実施する定期的な評価によって、閉鎖後に重要となる安全機能を発揮する方法で閉鎖を実施する。また、閉鎖措置は、適切な時期に安全に実施できる計画であることが確認された後でなければ実施しない。閉鎖措置に向けての取り組みとして、NUMO は以下のことを行う。

- ① 閉鎖後長期の安全確保について、三つの安全確保策である、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、そして地層処分システムの長期安全性の評価が確実に実施されていることを確認する。
  - ・ 地質環境の変遷状況が把握できていること：閉鎖措置計画の認可申請において、事業許可申請時に提示した地質環境をそれ以降に蓄積される情報やデータによって確認、あるいは必要に応じて更新する。モニタリングは、信頼性を向上するためのデータを提供する重要な手法の一つであり、適切な運用、情報・品質管理と情報公開を行いながら実施する。また、建設・操業を通じて変動した処分場周辺の地質環境が、閉鎖に伴い安全設計で設定した状態に移行しつつあることを把握する。
  - ・ 建設・操業における工学的対策が技術基準に適合していることを確認すること：安全審査の段階で設定した工学的対策による所定の品質（ここでは、人工バリアの定置品質とその周辺環境の把握）が、操業中の保安検査、施設確認を通じて保証されていることを示す。
  - ・ 最新の知見に基づく安全評価の結果が、放射線防護上の基準値と比較して、問題となる値でないこと：安全評価結果の確からしさは、段階的に取得される情報に基づき準備していくセーフティケースに多面的なエビデンスと安全論拠を集約する。

- ② 廃棄物埋設施設を完成させるために必要な閉鎖のための埋め戻し方法や必要な技術を示す。
- ・ 事業許可申請書に記述された閉鎖措置方法について、閉鎖を申請する段階で十分に信頼性のある技術および計画が準備できている必要がある。そのためには、閉鎖にかかわる技術が、あらかじめ実証などにより実現性が確認されている必要がある。閉鎖にかかわる技術の実証は、処分施設建設地選定段階（精密調査の段階）で、技術的な実現性の確認を行い事業許可申請書の作成に資するとともに、操業段階の後半の閉鎖措置計画を策定する段階においてより詳細な実証を行うことにより、さらに技術的信頼性を向上させる。また、閉鎖措置にかかわる品質保証活動についても準備を行う。

## 参考文献

- BFE (2008) : Sachplan geologische Tiefenlager, Konzeptteil (Sectoral Plan for deep geological storage, Concept Part), Bern.
- Chapman, N., Apted, M., Beavan, J., Berryman, K., Cloos, M., Connor, C., Connor, L., Ellis, S., Jaquet, O., Kiyosugi, K., Litchfield, N., Mhony, S., Smith, W., Sparks, S., Stirling, M., Villamor, P., Wallace, L., Goto, J., Miwa, T., Tsuchi, H. and Kitayama, K.(2009) : Development of Methodologies for the Identification of Volcanic and Tectonic Hazards to Potential HLW Repository Sites in Japan, -Summary Report-, NUMO-TR-09-03.
- 中央環境審議会 (2010) : 今後の環境影響評価制度の在り方について (答申).
- Defra, BERR, Welsh Assembly Government and Department of the Environment Northern Ireland (2008) : Managing Radioactive Waste Safely: A Framework for Implementing Geological Disposal, Cm 7386. ISBN 0101738625.
- 電中研 (電力中央研究所)・電事連 (電気事業連合会) (1999) : 高レベル放射性廃棄物地層処分の事業化技術.
- 土木学会 (2006) : 精密調査地区選定段階における地質環境調査と評価の基本的考え方, 土木学会原子力土木委員会地下環境部会.
- 原子力安全委員会 (2000) : 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 (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.
- 原子力安全委員会 (2010) : 第二種廃棄物埋設の事業に関する安全審査の基本的考え方.
- 原環センター (原子力環境整備促進・資金管理センター) (2004) : 平成 15 年度地層処分技術調査等遠隔操作技術高度化調査報告書 (2/2), 経済産業省資源エネルギー庁委託事業報告.
- 原環センター (原子力環境整備促進・資金管理センター) (2008) : 平成 19 年度地層処分技術調査等委託費高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発報告書 (第 1 分冊)ー遠隔操作技術高度化開発ー (1/2), 経済産業省資源エネルギー庁委託事業報告.
- 原環センター (原子力発電環境整備促進・資金管理センター) (2009) : 平成 20 年度核燃料サイクル関係推進調整等委託費 (地層処分実規模設備整備事業).
- 原環センター (原子力発電環境整備促進・資金管理センター) (2010) : 平成 21 年度核燃料サイクル関係推進調整等委託費 (地層処分実規模設備整備事業).
- 原子力委員会 (2000) : 我が国における高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術的信頼性の評価, 原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会.
- 原子力委員会 (2005) : 原子力政策大綱, 平成 17 年 10 月 11 日 原子力委員会決定.
- 放射線審議会 (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, 放射線審議会基本部会.
- IAEA (1995) : The Principles of Radioactive Waste Management, IAEA, Safety Series No. 111-F, International Atomic Energy Agency.
- IAEA (2003) : Safety indicators for the safety assessment of radioactive waste disposal, IAEA-TECDOC-1372, International Atomic Energy Agency.

- IAEA (2006a) : Geological Disposal of Radioactive Waste, Safety Requirements, IAEA Safety Standard Series No. WS-R-4, International Atomic Energy Agency.
- IAEA (2006b) : The Management System for Facilities and Activities, IAEA Safety Standards Series No. GS-R-3, International Atomic Energy Agency.
- IAEA (2008) : The Management System for the Disposal of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No. GS-G-3.4, International Atomic Energy Agency.
- IAEA (2010) : Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste, Draft Safety Guide DS334, International Atomic Energy Agency.
- IAEA (2011) : Disposal of Radioactive Waste, SSR-5, International Atomic Energy Agency.
- ICRP (1999) : Radiation Protection Recommendations as Applied to the Disposal of Long-lived Solid Radioactive Waste, ICRP Publ.81.
- JAEA (日本原子力研究開発機構) (2010) : 平成 21 年度研究開発・評価報告書評価課題「地層処分技術に関する研究開発」(中間評価), JAEA Evaluation 2010-001.
- JNC (核燃料サイクル開発機構) (1999) : わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分研究開発第 2 次取りまとめ－, 総論レポート, JNC TN1400 99-020.
- 国土交通省 (2008) : 公共事業の構想段階における計画策定プロセスガイドライン, 15p.
- 近藤浩文, 木方建造, 五嶋慶一郎, 長谷川琢磨, 濱田崇臣, 大山隆弘, 鈴木浩一, 後藤和幸, 末永弘, 中田弘太郎, 田中姿郎, 長岡亨, 窪田健二, 土宏之, 三和公, 村元茂則, 河野一輝, 伊藤久敏 (2011) : 高レベル放射性廃棄物等の処分地選定のための概要調査技術に係わる実証研究－地質環境条件に応じた掘削・孔内調査・試験手法の適用性と課題－, 電力中央研究所報告, N15.
- 操上広志, 高橋美昭, 吉澤勇二, 三和公, 赤村重紀, 河野一輝 (2010) : 放射性廃棄物の地層処分におけるモニタリングと初期ベースラインに関する検討, NUMO-TR-10-01.
- Miller, W. M., Alexander, W. R., Chapman, N. A., McKinley, I. G. and Smellie J. A. T. (2000) : Geological disposal of radioactive wastes and natural analogues. Waste management series, vol. 2, Pergamon, Amsterdam, The Netherlands.
- 三菱総合研究所 (2009) : 平成 20 年度核燃料サイクル関係推進調整等委託費 (地層処分概念理解促進事業) 成果報告書.
- 三菱総合研究所 (2010) : 平成 21 年度核燃料サイクル関係推進調整等委託費 (地層処分概念理解促進事業) 報告書.
- Nagra (2002) : Project Opalinus Clay: Safety Report, Nagra Technical Report 02-05, Nagra, Wetingen, Switzerland.
- NDA (2009a) : Geological Disposal－ A Public and Stakeholder Engagement and Communications Strategy.
- NDA (2009b) : Geological Disposal: A Strategy for Sustainability Appraisal and Environmental Assessment, NDA/RWMD/014.
- 日本電気協会 (2009) : 原子力発電所における安全のための品質管理保障規程, JEAC4111-2009.
- 日本規格協会 (2009) : JIS Q 31000:2009 リスクマネジメント - 原則及び指針.
- 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」の説明資料一, NUMO-TR-04-02.

NUMO (原子力発電環境整備機構) (2004c) : Proceedings of the International Workshop on Bentonite Cement Interaction in Repository Environments, NUMO-TR-04-05.

NUMO (原子力発電環境整備機構) (2009a) : 公募関係資料 放射性廃棄物の地層処分事業について～公募のご案内～.

NUMO (原子力発電環境整備機構) (2009b) : 公募関係資料 概要調査地区選定上の考慮事項 分冊一2.

NUMO (原子力発電環境整備機構) (2009c) : 公募関係資料 地域共生への取り組み～地域と事業を結ぶために～ 分冊一3.

NUMO (原子力発電環境整備機構) (2009d) : Study on strategy and methodology for repository concept development for the Japanese geological disposal project, NUMO-TR-09-04.

NUMO (原子力発電環境整備機構) (2010) : 地層処分技術開発ニーズの整理, ～精密調査地区選定に向けて～, NUMO-TR-10-02.

OECD/NEA (1977) : Objectives, Concepts and Strategies for the Management of Radioactive Waste Arising from Nuclear Power Programmes, Report by an NEA group of Experts, OECD/Nuclear Energy Agency.

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

OECD/NEA (1995) : Future Human Actions at Disposal Sites, Safety Assessment of Radioactive Waste Repositories, A Report of the NEA Working Group on Future Human Actions at Radioactive Waste Disposal Sites, OECD/Nuclear Energy Agency.

OECD/NEA (2004) : Post-closure Safety Case for Geological Repositories-Nature and Purpose-, OECD/Nuclear Energy Agency.

OECD/NEA (2009) : International Experience in Safety Cases for Geological Repositories (INSTEC) – Outcomes of the INTESC Project-, OECD/Nuclear Energy Agency.

OECD/NEA (2011) : International understanding of reversibility of decisions and retrievability of waste in geological disposal, OECD/Nuclear Energy Agency.

PNC (動力炉・核燃料開発事業団) (1998) : Fact4, 地層処分研究開発 4.

資源エネルギー庁・JAEA (日本原子力研究開発機構) (2006) : TRU 廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体基本計画.

資源エネルギー庁・JAEA (日本原子力研究開発機構) (2010) : 高レベル放射性廃棄物及び TRU 廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計画.

戦略的環境アセスメント総合研究会 (2007) : 戦略的環境アセスメント総合研究会報告書, 19+61+3pp.

SKB (2006) : Long-term safety for KBS-3 repositories at Forsmark and Laxemar- a first evaluation, Main Report of the SR-Can project, SKB TR-06-09.

総合資源エネルギー調査会 (2006) : 放射性廃棄物の地層処分に係る安全規制制度のあり方について, 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会廃棄物安全小委員会.

総合エネルギー調査会 (2008) : 高レベル放射性廃棄物等の地層処分に係る安全規制について, 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会廃棄物安全小委員会.

高橋美昭, 北山一美, 竹内光男, 稲継成文, 嘉代東一, 石橋陽一郎, 石黒純一 (2006) : 高レベル放射性廃棄物地層処分事業の概要調査地区選定段階における環境配慮の一考察, 環境アセスメント学会 2006 年度研究発表会要旨集, pp.187-192.

U.S.NRC (2001) : PART-63-DISPOSAL OF HIGH-LEVEL RADIOACTIVE WASTES IN A GEOLOGIC REPOSITORY AT YUCCA MOUNTAIN, NEVADA.

梅木博之, 大澤英昭, 内藤守正, 中野勝志, 牧野仁史 (2006) : 地層処分技術に関する知識管理システムの基本的概念, JAEA-Research 2006-078.