
IAEA 安全基準

人と環境を防護するために

放射性廃棄物の地層処分施設

個別安全指針

No. SSG-14

国際原子力機関

2025 年 9 月

原子力規制庁 翻訳

本翻訳版発行に当たっての注記事項

- A : 本翻訳版は非売品である。
- B : 本翻訳版は、**Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste**©, 2011 の日本語訳である。本翻訳版は、原子力規制庁により作成されたものである。本翻訳版に係る IAEA 出版物の正式版は、国際原子力機関（IAEA）又はその正規代理人により配布された英語版である。IAEA は、本翻訳版に係る正確性、品質、信頼性又は仕上がりに関して何らの保証もせず、責任を持つものではない。また、本翻訳版の利用により生じるいかなる損失又は損害に対して、これらが当該利用から直接的又は間接的・結果的に生じたものかを問わず、何らの責任を負うものではない。
- C : 著作権に関する注意：本翻訳版に含まれる情報の複製又は翻訳の許可に関しては、オーストリア国ウィーン市 1400 ウィーン国際センター（私書箱 100）を所在地とする IAEA に書面により連絡を要する。
- D : 本翻訳版は、業務上の必要性に基づき、原子力規制庁が IAEA との合意に基づき発行するものであり、唯一の翻訳版である。
- E : 原子力規制庁は、本翻訳版の正確性を期するものではあるが、本翻訳版に誤記等があった場合には、正誤表と合わせて改訂版を公開する。また、文法的な厳密さを追求することで難解な訳文となるものは、分かりやすさを優先し、本来の意味を損なうことのない範囲での意識を行っている箇所もある。
- なお、本翻訳版の利用により生じるいかなる損失又は損害に対して、これらが当該利用から直接的又は間接的・結果的に生じたものかを問わず、原子力規制庁は何らの責任を負うものではない。

序文

天野之弥事務局長

IAEA 憲章は、「健康を防護するとともに生命及び財産に対する危険を最小化するための安全基準を…確立若しくは採択する」権限を IAEA に授与しており、これらの基準を IAEA は自らの活動において用いなければならない、各国は原子力及び放射線の安全に関する自国の規制上の規定によって適用することができる。IAEA はこれを、国連の所管機関及び関係専門機関との協議の上で行っている。定期的なレビューを受ける一連の包括的な高品質基準は、安定的で持続可能なグローバルな安全体制の重要な要素であり、それらの基準の適用における IAEA の支援もまた然りである。

IAEA は、その安全基準プログラムを 1958 年に開始した。品質、合目的性、そして継続的な改善に重点が置かれたことは、IAEA 基準が世界中で広く用いられることにつながっている。安全基準シリーズには現在、高いレベルの防護及び安全を構成する際の土台となる国際的なコンセンサスを表す一つに統合された基本安全原則が含まれている。安全基準委員会の強力な支援を受けて、IAEA はその基準の世界的な受入れ及び利用を促進することに取り組んでいる。

基準は、それらが実際に適切に適用される場合にのみ効力を有する。IAEA の安全サービスは、設計、立地及び工学上の安全、運転（操業）上の安全、放射線安全、放射性物質の安全輸送及び放射性廃棄物の安全管理並びに政府組織、規制上の事項、そして組織における安全文化を包含している。これらの安全サービスは、基準の適用において加盟国を支援するとともに、貴重な経験及び見識が共有されることを可能にするものである。

安全規制は国の責任であり、多くの国は自国の規制において用いるために IAEA 基準を採用することを決定している。様々な国際安全条約の締約国にとって、IAEA 基準は、これらの条約に基づく義務の有効な履行を確保する、整合性があり信頼できる手段を提供するものである。これらの基準はまた、原子力発電並びに医療、産業、農業及び研究における原子力利用の安全を強化するために、世界中の規制機関及び事業者によって適用されている。

現在も将来も—安全はそれ自体が目的なのではなく、全ての国における人と環境の防護という目的のための必要条件である。電離放射線と関わるリスクは、公平で持続可能な発展に対する原子力の寄与を過度に制限することなしに評価し管理しなければならない。政府、規制機関及び事業者はどの国であっても、核物質及び放射線源が有益に、安全に、そして倫理的に利用されることを確保しなければならない。IAEA 安全基準はこれを促進することが意図されたものであり、私は全ての加盟国がこれらの基準を利用することを奨励する。

IAEA 安全基準

背景

放射能は自然現象であり、自然放射線源は環境の特性である。放射線及び放射性物質には、発電から医療、産業及び農業における利用まで、多くの有益な用途がある。これらの利用から生じ得る作業員及び公衆並びに環境に対する放射線リスクは評価されなければならない、必要ならば管理しなければならない。

したがって、放射線の医療利用、原子力施設の運転、放射性物質の生産、輸送及び利用や放射性廃棄物の管理などの活動には安全基準を適用しなければならない。

安全を規制することは各国の責任である。しかし、放射線リスクは国境を越える場合があり、国際協力は、経験を共有することによって、また、危険性を管理する、事故を防止する、緊急事態に対応する、そしてあらゆる有害な影響を緩和する能力を高めることによって、グローバルな安全体制を促進し強化することに役立つ。

各国には注意及び配慮の義務があり、国内の、また国際的な義務を遂行することが求められる。

国際安全基準は、環境の防護に関するものなど、国際法の一般原則に基づくその義務の遂行において各国に支援を提供するものである。国際安全基準はまた、安全に対する信頼を促進し保証するとともに、国際商業や貿易も容易にする。

グローバルな原子力安全体制は実施されており、常に改善されている。拘束力のある国際的な協定及び国内安全基盤の実施を支える IAEA 安全基準は、このグローバル体制の基礎である。IAEA 安全基準は、これらの国際条約に基づく遂行を締約国が評価するための有用な手段となる。

IAEA 安全基準

IAEA 安全基準の位置づけは IAEA 憲章に由来しており、同憲章は、国連の所管機関及び関係専門機関と協議並びに適切な場合には協力して、健康を防護するとともに生命及び財産に対する危険を最小化するための安全基準を策定又は採用し、それらの適用を規定する権限を IAEA に付与している。

電離放射線の有害な影響からの人と環境の防護を保証するために、IAEA 安全基準は、人の放射線被ばく及び放射性物質の環境への放出を管理し、原子炉炉心、核連鎖反応、放

放射性線源又は他のあらゆる放射線源に対する管理の喪失につながるかもしれない事象の可能性を限定し、そのような事象が仮に起こった場合にはその影響を緩和するための基本的な安全原則、要件及び措置を定めている。これらの基準は、原子力施設、放射線及び放射性線源の利用、放射性物質の輸送や放射性廃棄物の管理など、放射線リスクを生じさせる施設と活動に適用されている。

安全対策とセキュリティ措置¹はともに、人の生命及び健康並びに環境の防護を目的としている。安全対策及びセキュリティ措置は、セキュリティ措置が安全を損なうこと、及び安全対策がセキュリティを損なうことのないように統合的に計画し実施しなければならない。

IAEA 安全基準は、人と環境を電離放射線の有害な影響から防護するうえで高い安全レベルを形成するものに関する国際的なコンセンサスを反映している。これらの基準は、3つのカテゴリーを有する IAEA 安全基準シリーズとして発行されている（図 1 を参照）。

安全原則

安全原則は、基本的な安全目的及び防護と安全の原則を示したものであり、安全要件の基礎となっている。

安全要件

統合されたかつ一貫した一連の安全要件は、現在と将来の両方において人と環境の防護を保証するために満たされなければならない要件を定めたものである。これらの要件は、安全原則の目的及び原則によって決定されている。要件が満たされていない場合、要求される安全水準を達成又は回復するための措置を講じなければならない。これらの要件の形式及び文体は、国内の規制枠組みを調和された方法で確立するために要件を利用することを容易にしている。安全要件は、満たされるべき付随条件の記述とともに「しなければならない（shall）」文を用いている。特定の当事者に向けられていない要件は多くあり、これは、適切な当事者がそれらの要件を充足する責任を負うことを含意する。

¹ IAEA 核セキュリティシリーズとして発行されている刊行物も参照のこと。

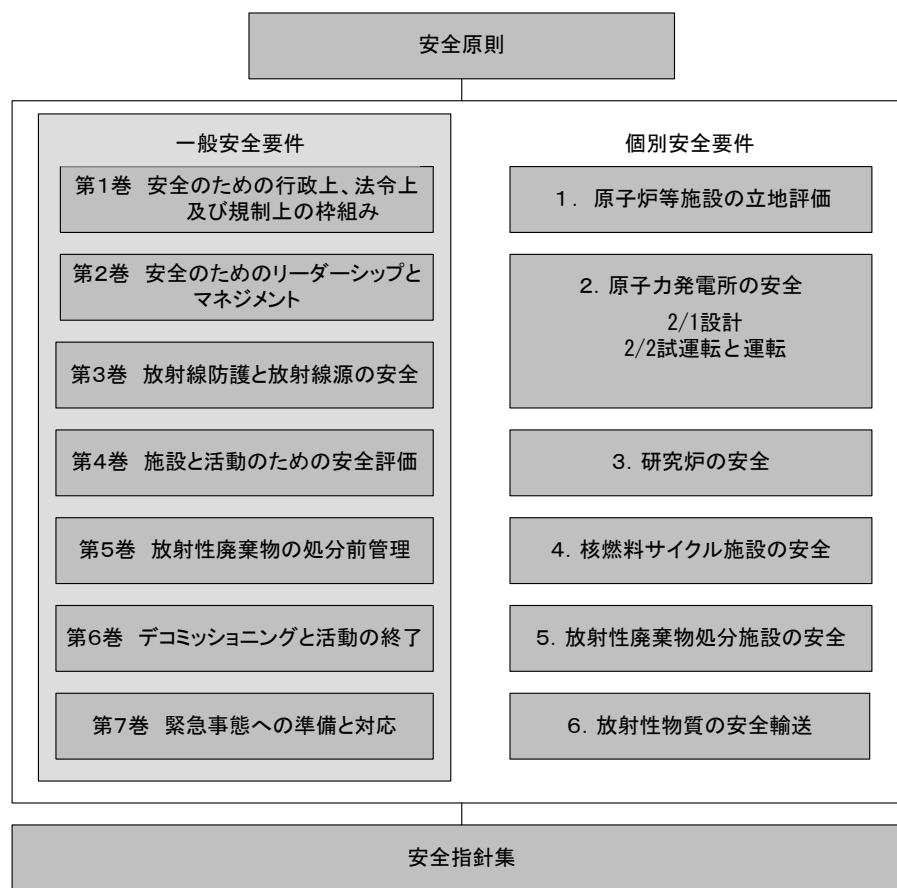


図1 IAEA 安全基準シリーズの長期構造

安全指針

安全指針は、安全要件に従う方法に関する勧告及びガイダンスを提供するものであり、勧告された措置（又は同等の代替措置）を講じることが必要であるという国際的なコンセンサスを示している。安全指針は国際的な良好事例を示したものであり、高い安全レベルの達成に取り組むユーザーを助けるために最善事例をますます反映するようになっている。安全指針に示される勧告は、「すべきである（should）」文として表現されている。

IAEA 安全基準の適用

IAEA 加盟国における安全基準の主たるユーザーは、規制機関及び他の関連する国の当局である。IAEA 安全基準は、共同策定機関によって、また、原子力施設を設計し、建設し運転する多くの組織並びに放射線及び放射性線源の利用に関わる組織によっても利用されている。

IAEA 安全基準は、関連性に応じて、平和目的のために利用される全ての施設及び活動一既存のものと新規のもの一の供用期間全体を通して、また、存在する放射線リスクを低減するための防護措置に対して適用可能である。これらの基準は、施設及び活動に関する国内規制のための参考文献として各国によって利用され得る。

IAEA 憲章によって、安全基準は、IAEA 自身の活動に関して IAEA を、また、IAEA によって支援される活動に関して各国を拘束するものとなっている。

IAEA 安全基準は、IAEA の安全レビューサービスの基礎にもなっており、また、教育カリキュラム及び訓練コースの開発など、能力構築を支援するために IAEA によって利用されている。

国際条約には IAEA 安全基準に含まれるものと同様の要件が含まれており、条約によってこれらの要件は締約国を拘束するものとなっている。国際条約、業界基準及び詳細な国内要件によって補完された IAEA 安全基準は、人と環境を防護するための一貫した基礎を確立するものである。安全には、国レベルで評価することが必要な特別な側面も幾つかあることになる。例えば、IAEA 安全基準の多く、特に計画又は設計における安全の側面を扱ったものは、主として新規の施設及び活動に適用することが意図されている。IAEA 安全基準に定められているこれらの要件は、以前の基準にしたがって建設された一部の既存施設においては完全には満たされないかもしれない。そのような施設に IAEA 安全基準をどのように適用すべきかは、それぞれの国の決定に委ねられる。

IAEA 安全基準の根底にある科学的な考察は、安全に関する決定のための客観的な基礎となる；しかし、意思決定者は、情報に基づく判断も行わなければならない、ある措置又は活動の便益とそれに伴う放射線リスク及びそれが生じさせる他のあらゆる有害な影響の最適なバランスを取る方法を決定しなければならない。

IAEA 安全基準の策定プロセス

安全基準の作成及びレビューには、IAEA 事務局及び4つの分野ごとの安全基準委員会（SSC）すなわち、原子力安全（NUSSC）、放射線安全（RASSC）、放射性廃棄物安全（WASSC）並びに放射性物質安全輸送（TRANSSC）の各分野に関する安全基準委員会、そして IAEA 安全基準プログラムを監督する安全基準委員会（CSS）が関与している（図2を参照のこと）。

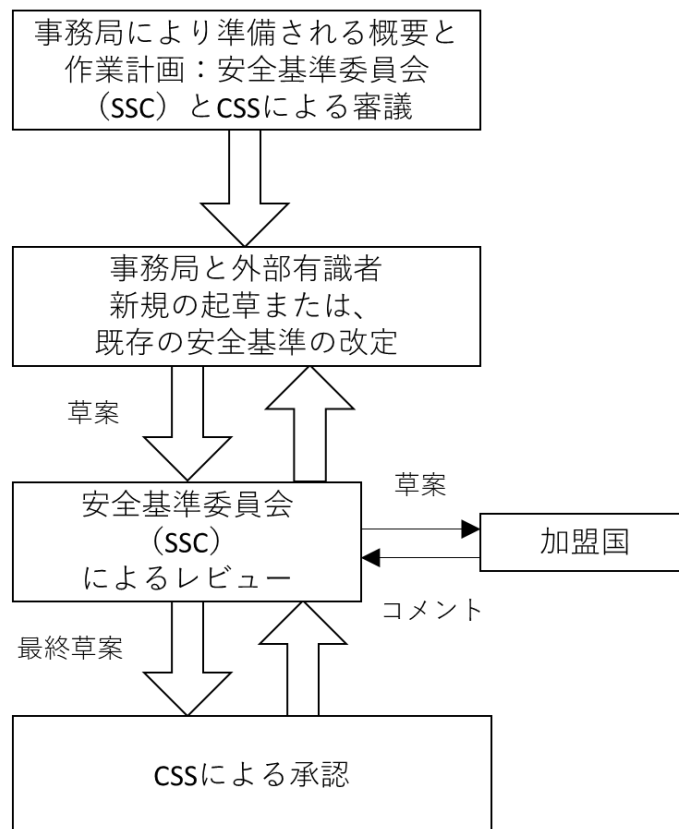


図2 新規の安全基準の策定又は既存の基準の改定のためのプロセス

全ての IAEA 加盟国は、安全基準委員会（SSC）のために専門家を推薦することができ、ドラフト基準に対するコメントを提示することができる。安全基準委員会（CSS）の構成員は、事務局長により任命され、国内基準の規定に責任を有する政府高官を含む。

IAEA 安全基準の計画立案、策定、レビュー、改訂及び確立プロセスのために、マネジメントシステムが構築されている。これは、IAEA の義務、安全基準、政策及び戦略の将来的な適用の展望、そして対応する職務及び責任を表現したものである。

他の国際機関との相互作用

原子放射線の影響に関する国連科学委員会（UNSCEAR）の所見及び国際的な専門家の団体、特に国際放射線防護委員会（ICRP）の勧告は、IAEA 安全基準の策定において考慮されている。幾つかの安全基準は、国連食糧農業機関、国連環境計画、国際労働機関、

OECD 原子力機関、汎米保健機構や世界保健機関など、国連組織内の他の機関若しくはその他の専門機関と協力して策定されている。

文章の解釈

安全関連用語は、IAEA 安全用語集に示された定義に沿って理解されることになる（<https://www.iaea.org/resources/publications/iaea-nuclear-safety-and-security-glossary> を参照）。そこに示されていない語句は、コンサイス・オックスフォード辞書の最新版の中で割り当てられている綴り及び意味で用いられる。安全指針の場合、英語版の文章が正式版である。

IAEA 安全基準シリーズにおける各基準の背景及び前後関係並びにその目的、範囲及び構成は、各出版物の第 1 章「はじめに」のなかで説明されている。

本文中には適切な場所がない資料（例えば、本文の補足である又は本文から独立している、本文における記述を裏付けるために含まれている、若しくは計算の方法、手順又は制限及び条件を説明する資料）は、付録又は添付資料の中に示される場合がある。

付録が含まれている場合、これは安全基準の一部として不可欠な部分を形成するとみなされる。付録に含まれている資料の位置づけは本文と同じであり、IAEA がその著者となる。添付資料及び本文の脚注が含まれている場合、これは実例若しくは追加の情報又は説明を示すために用いられている。添付資料及び脚注は、本文の一部として不可欠な部分ではない。IAEA によって出版された添付資料は、必ずしも IAEA の著作物として発行されているわけではない；他の著者による資料が安全基準の添付資料の中に示される場合もある。添付資料の中に示されている外部の資料は、一般に有用なものとなるように必要に応じて抜粋され改作されている。

目次

1. はじめに	1
背景	1
目的	2
範囲	3
構成	4
2. 地層処分の概要とその実施	4
3. 法的及び組織上の基盤	8
政府の責任	8
規制機関の責任	9
操業者の責任	11
4. 安全アプローチ	12
開発過程における安全の重要性	13
閉込め	14
隔離	15
多重安全機能	16
受動的安全性	18
5. セーフティケースと安全評価	18
セーフティケースと安全評価の準備、承認、及び活用	20
セーフティケースと安全評価の範囲	21
セーフティケースと安全評価の文書化	24
理解と安全の信頼性	27
6. 地層処分施設の開発における段階的アプローチの要素	28
段階的開発と評価.....	28
サイト特性調査	30
設計	36
廃棄物受入れ	39
建設	40
操業	41
閉鎖	43

モニタリング計画.....	44
受動的・安全特質のサーベイランスと管理	45
閉鎖後期間と制度的管理	46
核物質計量管理システムの考慮	47
核セキュリティ措置.....	48
マネジメントシステム	49
既存の処分施設	51
 付録Ⅰ：地層処分施設の立地	 54
 付録Ⅱ：閉鎖後の安全評価	 69
 参考文献	 93

1. はじめに

背景

1.1. 放射性廃棄物は、気体、液体、又は固体状の物質であり、それ以上の利用が見込まれないものである。それは放射性核種を含むか、放射性核種によって汚染されており、規制機関により規定されたクリアランスレベルよりも高い濃度又は放射能を持つ。放射性廃棄物は、原子力発電所及び研究炉の運転、核燃料サイクルの運用、及び放射性物質を使用するその他の活動から発生する。放射性廃棄物は人の健康と環境に害を与える可能性があるため、関連するリスクが許容レベルを超えないように管理^{訳注)}されなければならない。

1.2. 「地層処分」という用語は、廃棄物の長期間の閉込めと接近可能な生物圏からの廃棄物中の放射性核種の隔離をもたらすために、地下の安定した地層中に設けられた処分施設に放射性固体廃棄物を処分することを意味する。処分とは廃棄物を回収する意図がないことを意味するが、その可能性は排除されるものではない。地層処分は、とりわけ、より危険性が高く長期にわたり有意な放射線学的危険性をもたらす種類の放射性廃棄物を処分する方法である。

1.3. この安全指針は、放射性廃棄物の地層処分施設の開発と規制上の管理^{訳注)}に關与する、政策策定者、規制機関、及び操業者のためのガイダンスを提供している。これは、SSR-5 [1]において規定された放射性廃棄物の処分のための安全要件をどのように満たすかについての勧告を提供するものである。本安全指針及び参考文献[1]の双方は、基本安全原則 [2]に定められている全ての放射性廃棄物管理活動に適用される安全原則と、整合するものである。同様の原則は、「使用済核燃料管理及び放射性廃棄物管理の安全に関する条約」[3]の技術的基盤を形成している。関連する放射線防護のための原則及び要件は、基本安全原則[2]及び「放射線防護と放射線源の安全国際基本安全基準(BSS)」[4]にもそれぞれ規定されている。

1.4. 放射性廃棄物の地層処分の研究は数十年にわたって実施されてきた [5]。現在までのところ、地層における放射性廃棄物の処分に関する実際的な経験は限られている。高レベル廃棄物に対して、提案されている地層処分施設のサイト特性調査は多くの国で行われており、二、三の国では地下研究施設や母岩特性調査のための施設の建設も行われた。中レベル廃棄物のための地層処分施設は、ほんの二、三箇所が操業しているに過ぎない。地

^{訳注)} 本指針の原文では、**control** と **management** が使われており、いずれも「管理」の訳が適切であるため、区別のため、前者は斜体文字で表した。

層処分施設の閉鎖の経験は、非常に限られている。

1.5. 深地層への処分は、高レベル及び中レベル廃棄物の長期的な管理の解決方法として、とりわけ提唱されてきた。フィージビリティ調査及びサイト固有のセーフティケース及び操業上の経験は、広く地層処分の安全に対する信頼性を強化してきた。それぞれの国においてこのオプションを採用する決定は、経済的、社会的要因、及び国の放射性廃棄物管理に関する政策、必要性、要件を考慮した上での、国の意思決定者の課題である。

1.6. 上述の通り、地層処分施設の建設と操業の経験は限られており、施設の閉鎖に関する実際的な経験も限られている。それゆえ、本安全指針において提供される勧告は、放射性廃棄物の地層処分についてIAEA[2]とその他の国際機関により規定された安全原則、及びいろいろな国々において得られた実際的な経験に基づいている。本安全指針は、経験の蓄積と地層処分プログラムの成熟に伴って、将来的に改定、拡張される。

1.7. 地層処分施設と原子力施設を、安全へのアプローチについて比較すると、そこには顕著な相違がある。その主な理由は、燃料加工工場、原子力発電所、再処理施設等の原子力施設の主要な目的が運転寿命中に果たされることと、発電をするなどの生産活動を伴っていることである。原子力施設は能動的な安全システムを採用しており、その運転上の制限及び運転条件に依存している。原子力施設とは対照的に、長寿命廃棄物の地層処分施設の主要な目的は、受動的な安全を非常に長期にわたって（数千年以上の単位で）提供することである。安全の確保において運転制限や運転条件といった方法は効果を持たず、またそれらに依存することができないと仮定して全体の安全が評価されるため、地層処分施設では、運転上の制限及び運転条件は異なる重要性を持つ。

目的

1.8. この安全指針の目的は、参考文献[1]において規定された安全要件を満たすために、放射性廃棄物の地層処分施設の開発と規制上の管理に関連したガイダンスと勧告を提供することである。これは、主に地層処分の規制上の管理と実施に関与する人によって使用されることを意図している。廃棄物管理オプションとして地層処分を採用する意思決定につ

いては、本安全指針においては扱わない。

範囲

1. 9. 本安全指針の適用範囲は、坑道を掘削した地下処分施設の安全性の開発についてである。この安全指針は、参考文献[6]において勧告が提供されているボアホール処分施設には適用されない。既存の掘削空洞へ放射性廃棄物を処分することが検討されるかもしれないが、それについても、参考文献[1]において規定された同じ安全要件を満たす必要があるであろう。

1. 10. 本安全指針は、主に立地後の地層処分施設の開発に関連する活動に関するものである。ここで立地は、初期の概念的な設計やサイト選定から処分施設の建設のためのサイトの確認まで広範囲の活動を含んでいることに注意すべきである。本安全指針では、サイト特性調査とサイト確認を扱うが、サイト選定は、それが多くの非技術的及び社会の状況に対する特定の側面を含んでいるため、扱わない。立地の技術・科学的側面に関する一般的な勧告は付録Iに示されている。

1. 11. 本安全指針は、その放射エネルギーのために、埋立て施設あるいは浅地中施設での処分では不適切となる固体廃棄物に対して適用する。ただし、浅地中施設への処分に適した廃棄物を地層処分施設に処分すると決定してもよい（低レベル廃棄物と中レベル廃棄物の同時処分など）。このような一連の措置が採用される場合には、安全要件[1]は適用されるが、この安全指針の一部の側面は適用可能されないかもしれない。BSS[4]に定められているグレーデッドアプローチに従い、廃棄物の閉込め、及び人と環境からの廃棄物の隔離を提供するために選択した処分システムの能力は、廃棄物が持つ潜在的危険性に見合ったものとなるよう要求される。

1. 12. そのような施設への廃棄物輸送における安全については、放射性物質の安全輸送のための規則[7]で取り上げられている。処分施設と同じ場所に配置される場合がある封入施設などのプラントの安全に関するガイダンスは、この安全指針では提供されていない。それらの種類の施設には、原子炉施設以外の施設に対するIAEA安全基準が適用される[8]。

1. 13. 廃棄物の回収を含む可逆性を容易にするために、設計あるいは操業における措置を取り入れる処分施設の開発が（2.6項参照）、幾つかの国のプログラムで検討されている。幾つかの国においては閉鎖後の回収可能性が法定要件とされており、常に処分に対する安全要件を満足しなければならない利用可能なオプションの境界条件を成している。参考文献[1]は、“いかなる安全基準又は要件も、特定の措置により廃棄物の回収が可能である又は促進されるという理由で、緩めることはできない。そのような措置が、処分システムの安全性又は性能に対して受入れられないような不都合な影響を及ぼさないであろうことを確保しなければならないだろう”と述べている。この安全指針は、その設計や操業計画に回収可能性が取り入れられているかどうかに関わらず、あらゆる地層処分施設に適用される。

構成

1. 14. 第2章では、地層処分とその実施、及び地層処分施設開発のグレーデッドアプローチについて、概要を述べる。第3章では、組織の責任についてのガイダンスを提供する。第4章では安全アプローチについて述べ、第5章ではセーフティケースと安全評価の作成に関するガイダンスを提供する。第6章では、地層処分施設の開発における個々の段階についてのガイダンスを示す。付録Iには、地層処分施設の立地についての追加情報及びガイダンス、特にデータの必要性を示し、付録IIには、閉鎖後安全評価に関する追加情報を示す。

1. 15. 参考文献[1]では、放射性廃棄物の地層処分に適用される26の固有の安全要件が規定され、それを支えるために本安全指針における勧告が策定された。便宜上、参考文献[1]の各安全要件の文章を本安全指針に書き写し、その後に関連する勧告を述べる。

2. 地層処分とその実施の概要

2. 1. 地層処分とは、地下の安定な地層内に配置された施設に放射性固体廃棄物を定置することである。地層処分の大きな特長の一つは、部分的には、地層の本質的な特徴である

受動的手段によって、施設の閉鎖後の安全が提供されることである。処分のために個別の施設において選択される深度は、これらだけに限るわけではないが、気候、地下水条件、岩盤の安定性、母岩の組成、及び廃棄物の性質などがある幾つかの因子に依存することになる。

2.2. 廃棄物の閉込め及び生物圏からの廃棄物の隔離は、放射性廃棄物について受け入れられている管理戦略である[1]。閉込めと隔離は、廃棄物フォーム自体、廃棄物容器、埋戻し材、母岩などの、各々異なったタイムスケールで有効性を持つ相補的な一連のバリアを通してもたらすことができる。処分の深さと母岩の地質環境の特徴は、生物圏からの隔離をもたらし、人が意図的でなく又は無認可で侵入する可能性を低減する。さらに、深い位置にある安定な地層内に定置することで、気候やその他の地表における自然現象の影響が有意に低減されるかもしれない。

2.3. 放射線安全との関連で、地層処分施設の開発に関連した3つの大まかな期間を特定することが便利である。

- (1) *操業前の期間*には、処分概念の定義、サイトの調査及び確認、安全評価、サイト選定、設計検討、及び許認可条件を設定し、処分施設の建設と初期操業活動を進める許認可を得るために必要な操業時及び閉鎖後のセーフティケースの安全のための側面の開発などが行われる。操業管理に関する決定への情報提供に必要なモニタリング及び試験プログラムも、この期間に実施される。第6章及び付録Iは、立地に関する更なる勧告を提供する。
- (2) *操業期間*は、廃棄物を施設に最初に受け入れた時に始まる。この時点から廃棄物管理活動の結果として放射線被ばくが発生する可能性があり、放射線防護と安全の要件に従って、それらは*管理*の対象となる。モニタリング、サーベイランス及び試験プログラムが、操業の管理に関する決定への情報を提供し、施設全体又はその一部の閉鎖に関する決定の根拠を提供するために継続される。操業期間及び閉鎖後期間のセーフティケースと安全評価は、実際の経験と蓄積された知識を反映するよう必要に応じて更新される。操業期間中には、建設活動が行われるのと同時に、施設内の幾つかの場所で廃棄物が定置され、他の場所が閉鎖されることもあり得る。この期間には、閉鎖前の廃棄物回収活動（必要であると思われる場合）、廃棄物定置完了後の活動、及び閉鎖も含まれる。

(3) 閉鎖後期間は、工学的閉込めと隔離に関する全ての特質が備えられ、操業建屋と付属設備がデコミッショニングされ、施設がその最終状態になった時点から始まる。例えば、公衆への保証などの目的で閉鎖後モニタリングなどの制度的管理が続けられる場合もあるが、閉鎖後の処分施設の安全は、サイトと施設の特性及び廃棄物パッケージの特性に本質的に備わった受動的手段によって提供される。必要となる技術的、法的及び資金上の要件が満たされた時点で、許認可が終了する。

2.4. 地層処分施設の開発は数十年間にわたって行われることになる。このように時間枠が長く、情報が大量（セーフティケースを支えるサイト特性調査及びその他の活動から得たもの）で多岐にわたっているため、プログラムを通して適切な管理を実施するという全体目的を持って、管理可能なパッケージで作業を実施、審査、評価できるように、プログラムを幾つかの連続した段階に分割することが不可欠である。これが段階的プロセスを形成する。地層処分施設の操業者は、自身のプログラムの中で幾つもの段階を定義することができる。しかしながら、この安全指針で段階的プロセスと言うときは、規制及び政策的な意思決定プロセスによって定められた段階を指すこととする。

2.5. どの処分計画においても、サイト選定後に幅広い分野に分けられる多くの活動が採られるべきである。すなわち、詳細なサイト特性調査及びサイト確認、地層処分場の設計、処分施設の建設、処分施設の操業（すなわち、廃棄物の受入れ及び定置）及び処分施設の閉鎖である。これらの活動はこの順番通りに実施されるとは限らず、またそれぞれが重複する場合もある。このうち最後の3つは、3つの重要な地層処分施設の規制上の承認段階に対応する（図1を参照）。更なる段階を包含するかどうかは、主として国が選択する事項となるだろう。サイト特性調査及び設計活動は、施設の閉鎖時点まで何らかのレベルで継続することが予想されるかもしれない。

2.6. 段階的プロセスは、プログラムが新規の技術情報に適応できるような、柔軟性を提供する。段階的プロセスは、処分施設の開発において可逆性を考慮することを容易にし、それぞれの段階において、次の段階へ進む意思決定を行う、意思決定の前に追加情報を待つ、あるいは意思決定を取り消すことを可能にする。

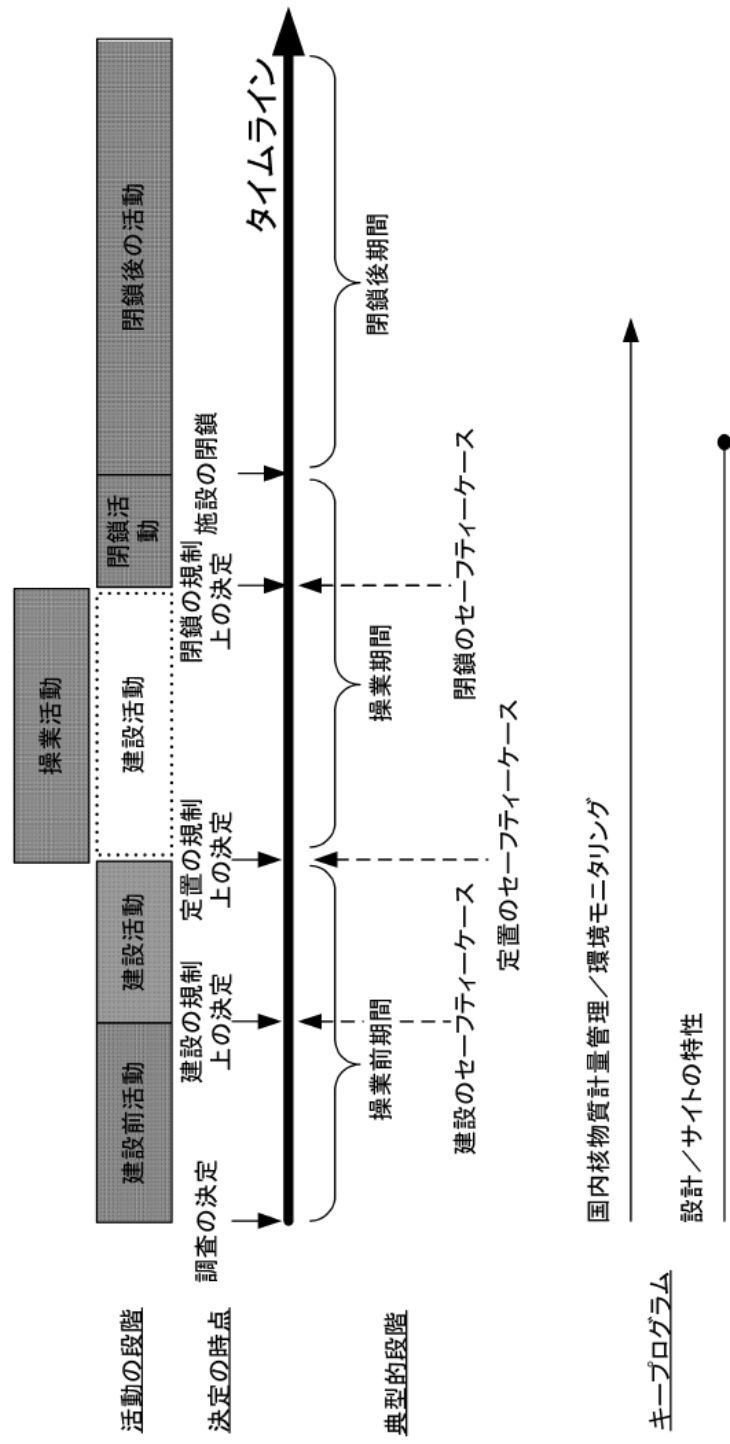


図1 地層処分施設の開発を明示するタイムライン

3. 法的及び組織上の基盤

3.1. 地層処分施設の開発においては、3種類の組織間一国の政府、指定された一つの（あるいは複数の）規制当局、及び施設の操業者に、責任を割り当てる必要がある。これら組織の各々の責任についての勧告を本章において提供する。

政府の責任

3.2. 地層処分は、そのプロジェクトの開発に比較的長期間を必要とすることから、国の法的及び組織上の枠組み[9]内で、特有の考慮が与えられる。

SSR-5の要件1(参考文献 [1]): 政府の責任

政府は、安全のための適切な行政上、法令上及び規制上の枠組みを確立し、維持することが求められ、その枠組みの中で、立地、設計、建設、操業、及び閉鎖される放射性廃棄物の処分施設に対して、明確に責任が、割り当てられなければならない。これには、様々な種類の処分施設に対する国レベルでの必要性の確認、様々な種類の施設の開発と許認可における段階の詳述、及び責任の明確な割当て、資金上やその他の資源の確保、及び計画された処分施設に関連する独立した規制上の機能の整備などが含まれなければならない。

3.3. 地層処分に関する国の法的及び組織上の枠組みは、以下のものなどからなる[1]。

- (a) 異なる種類の放射性廃棄物の長期的管理に関する国の政策を明確にすること
- (b) 地層処分施設の開発に関与することになる組織の明確に定義された法的、技術的、資金上の責任の設定
- (c) 例えば廃棄物所有者に独立した基金の立ち上げを要求することによる、財政上の適正化と安定性の確保
- (d) 各段階での法的及び規制上の要件、並びに意思決定プロセスと利害関係者の関与プロセスなどがある、地層処分施設の開発、操業、閉鎖に関する全体的プロセスを明確にすること
- (e) サイトと施設の開発、規制上のレビュー、及びその他の国のレビュー機能を支えるために必要な科学技術専門知識の確保

- (f) 法的、技術的、資金上の責任を明らかにすること、及び処分された廃棄物の核セキュリティを確保するために要求されるかもしれないモニタリングとその他の措置などがある、閉鎖後に用いることが想定される制度的措置を必要に応じてもたらしこと

地層処分に関する法律と規制が、国の法的基盤と調和していることも確保されるべきである。放射性廃棄物の地層処分に関する意思決定プロセスへの利害関係者の関与の形態は、各国の法律、規制、優先事項によって異なることになる。利害関係者（ステークホルダー）の関与に関する情報は参考文献[10]に示されている。

規制機関の責任

3.4. これらの勧告では、規制機関と単数形で記載しているが、実際には、地層処分施設の安全規制には、原子力、産業、及び鉱山の安全並びに、環境の防護と放射線の防護の併存する活動に対応するために、複数の規制機関が関与する場合があることを認識している。

SSR-5の要件2(参考文献 [1]):規制機関の責任

規制機関は、放射性廃棄物のための様々な種類の処分施設の開発のための規制上の要件を設定し、許認可プロセスの様々な段階の要件を満たすための手順を定めなければならない。また、規制機関は、個々の処分施設の開発、操業、閉鎖の条件を定め、その条件が満たされていることを確保するために必要な活動を実施しなければならない。

3.5. 地層処分施設に関する規則、ガイダンス、及びその他の規制上の規準の策定において、規制機関は、国内の政策との整合を確保すべきであり、参考文献[1]に規定されている要件を定めている目的と規準を十分考慮すべきである。これらの規則とガイダンスには次の項目などがある：

- (a) 操業中及び閉鎖後安全のための、放射線防護規準及び環境防護規準
- (b) 安全評価とマネジメントシステムなどがある処分施設のセーフティケースの内容のための要件
- (c) 処分施設の立地、設計、建設、操業、及び閉鎖のための規準と要件
- (d) 処分される廃棄物、廃棄物フォーム、処分容器、埋戻し材、及び廃棄物パッケージのその他の構成要素に関する規準と要件
- (e) 利害関係者の関与の要件

3.6. 規制機関は、地層処分施設の安全性の評価に使用する手順、及び事業者が、許認可の過程において、また安全要件[1]への準拠を立証する際に、従うべき手順を確立し明文化しなければならない。規制機関によって規定された手順及び規制機関の責任には、次の事柄が含まれるかもしれない。

- (a) 操業者が提出すべき情報の特定
- (b) 必要とされる提出物のレビュー、及び規制要件の遵守に関する評価
- (c) 立法措置及び規制に従った、承認と免許の発行及び条件の設定
- (d) 品質の確保、承認、及び許認可を受けた条件との適合性を確保するために行われる、建設と操業における操業者によるデータ収集、安全評価及び活動に対する、査察と監査
- (e) 承認、許認可及び査察の手順について、それらが引き続き適切であるか、又は修正する必要があるかどうか決定するための、定期的レビュー
- (f) 利害関係者の関与
- (g) 規制上の管理を終了するための要件

3.7. 規制機関は、その規制機能を遂行するために必要に応じて、独立した研究及び評価を用意しなければならない。規制機関はまた、自身の規制、ガイダンスが適正かどうかを、定期的にレビューすべきである。操業者が適切な研究を行っており、それが十分に高い品質で、かつ独立した専門家のレビューを前提にしていることに規制機関が満足している場合は、独立した研究を行う必要がないこともある。

操業者の責任

SSR-5の要件3(参考文献[1]): 操業者の責任

放射性廃棄物の処分施設の操業者は、その安全に責任を負わなければならない。操業者は、安全評価を行い、セーフティケースを開発し、維持しなければならない、サイト選定と評価、設計、建設、操業、閉鎖、及び必要に応じ閉鎖後サーベイランスに必要な全ての活動を、国の戦略に従い、規制上の要件に従い、法令上及び規制上の基盤の範囲内で、実施しなければならない。

3.8. 操業者は、安全な地層処分施設の開発に責任がある。処分施設の設計とセーフティケースを開発する際に、操業者は、処分される放射性廃棄物の特性と量、支配的な地質環境、利用可能な工学及び掘削技術、並びに国の法的基盤と規制要件を考慮しなければならない。

3.9. 計画された技術的な操作が安全に実施可能であることを保証し立証するために必要な研究と開発、及びその地層処分施設が安全であることが依って立つ根拠を、調査、理解、及び支えるために必要な研究を、操業者は実施又は委託しなければならない[1]。これには、適切なセーフティケースの開発に必要となる、サイト、処分施設の設計、及び廃棄物特性の全ての調査などがある。

3.10. 操業者は、規制要件とセーフティケース内に含まれる仮定に従って、地層処分施設が建設、操業、及び閉鎖されることを確実にするために、技術仕様を策定しなければならない。これには廃棄物受入れ規準、及び建設、操業、閉鎖時に適用されるその他の管理や制限などがある。

3.11. 操業者は、操業期間及び閉鎖後期間の安全評価を実施すべきであり、セーフティケースを開発することによって処分施設の適性を立証しなければならない。

3. 12. 要件を満たすために、操業者は、地層処分施設のセーフティケースとその裏付けとなる安全評価に関連した全ての情報、及び規制要件の遵守を立証する記録を、保持する必要がある。そのような情報と記録は、別の組織が施設の責任を負うか、又は責任を負う時が来るまでは、操業者により保持されなければならない、その時に、責任を負うことになる組織へ記録が移されるべきである。

3. 13. 操業者は、長期の安全目標と操業の目標に取り組む活動の間で、利害の衝突が発生しないようにするべきである。つまり、操業に便宜を図ることで長期的な安全が損なわれてはならない。

4. 安全アプローチ

4. 1. 安全アプローチには、地層処分施設の存続期間全体を通して、人と環境の安全を確保するための全ての手段が含まれる。政府と規制機関が、地層処分プログラムの開始時に正式な安全戦略文書で国のアプローチを示し、定期的に更新することが有効であるかもしれない。安全戦略はOECD-NEAより、“…安全処分を達成するために採用された高いレベルの統合されたアプローチ” というように定義されている[11]。それには、サイトを選定するための、並びに処分施設の設計、建設、及び操業のための戦略などがある。さらに、この戦略には、意思決定と規制上の承認手順で使用され得るセーフティケースの準備と維持のための勧告が含まれるかもしれない（第5章参照）。

4. 2. 今のところ、電離放射線の有害な影響からの環境の防護のために特化された国際標準はない。BSS[4]の要件及び国際放射線防護委員会[12]の勧告においては、被ばくする人々のグループが適切に定義されることを前提として、地層処分施設に関連した放射線の危険性に対する人々の防護は環境の防護の原則も満たすと想定されている。電離放射線からの環境の防護に関する主な論点と、それに関する基準の策定については、参考文献[13及び14]で論じられている。

開発過程における安全の重要性

SSR-5の要件4(参考文献[1]): 処分施設の開発及び操業過程における、安全の重要性

放射性廃棄物の処分施設の開発と操業の過程を通して、施設のために利用可能なオプションの安全に対する妥当性と意義の理解が、操業者によって進展されなければならない。これは、操業段階と閉鎖後において最適化されたレベルの安全を備える目的のためである。

4.3. 最適化されたレベルの操業及び閉鎖後の安全を提供するための、地層処分施設の開発には、サイト特性調査と設計の繰返し、及びセーフティケースとそれを裏付ける安全評価の進展などがある（参考文献[1]付録参照）。放射性廃棄物のための地層処分施設は、数年あるいは数十年の期間にわたって開発及び操業されるかもしれない。プロジェクトの進捗に従って、処分施設の概念の選択、サイト選定、及び評価、設計、建設、運転及び閉鎖といった重要な決定がなされると予想される。このプロセスにおいて、それぞれの時点で利用できる定性的及び／又は定量的情報、及びその情報の信頼性に基づいて、意思決定がなされる。施設の開発、操業、及び閉鎖の意思決定は、国の政策や選択などの外部要因によっても影響される。“決定を下す前には、各処分施設の安全性に対する適切なレベルの信頼性が、持たれるようにならなければならない” [1]。

4.4. “各重要な決定ポイントにおいては、処分施設の利用可能な設計オプション及び操業オプションの安全性に対する意味合いが検討され、考慮されなければならない。操業段階及び閉鎖後の双方における安全性の確保は、各決定ポイントで最も重要な事柄である。所要の安全のレベルを実現するために複数のオプションが可能である場合には、他の因子も検討されなければならない。これらの因子には、公衆の受容性、費用、サイトの所有権、既存のインフラ及び輸送経路などがあるであろう。” [1]。

4.5. 求められる機能を発揮できるという信頼性を得るために、標準化され採用されている試験法を使用して、処分システムの重要な構成要素（すなわち、処分施設、及びそれが立地する環境）は適切であり実地的であるという適格性が示されるべきである。新しい技術を使用する場合には、その技術はプロジェクトのスケジュールに従った時間枠の中で開発され、適格性が示されるべきである。

4.6. 操業安全は、能動的及び受動的な安全システムによってもたらされる。能動的な安全システムが、放射性物質の放出に関するモニタリング及び操業上の管理などからなる一方、受動的な安全システムは、遮蔽などの工学的特質などになり得るだろう。適切な場合、原子力施設の操業から得られた操業経験及び技術は、操業上の安全のための安全システムの開発において利用されるべきである（例えば、燃料取扱いの技術）。閉鎖後期間のための安全メカニズムは、操業期間に利用されるものとは異なるため、第4章の残りの部分は地層処分施設の閉鎖後の安全アプローチについての勧告を提供する。

4.7. 放射性廃棄物の地層処分の目的は、廃棄物中の放射性核種を閉じ込め、生物圏から廃棄物中の放射性核種を隔離することにある。地層処分システムの閉込めに寄与する安全特性と隔離に寄与する安全特性を区別するような、一般に受入れられた方法は存在しない。この事柄において閉込めあるいは隔離どちらかの安全特性を区別することは決定的に重大ではなく、これらは必ずしも相互に排他的であるわけでもないが、本安全指針の明快さの目的のために、閉込め及び隔離を区別する表現には以下を想定する。

- (a) 地層処分システムの閉込め特性は、施設の処分区域内に放射性核種がとどまることを確実にすることを目的とする、処分施設と母岩層のプロセス及び特質などからなる。
- (b) 廃棄物の隔離に関連する地層処分システムの隔離特性は、放射性核種が更に広い生物圏から物理的に切り離された地圏の内部にとどまること（すなわち、廃棄物を人間から隔離する特性）あるいは放射線学的に有意ではない量のみしか生物圏へ移行しないことを確実にするような、母岩のプロセス及び特質などからなる。

閉込め

SSR-5の要件8(参考文献 [1]):放射性廃棄物の閉込め

廃棄物に付随する放射性核種の閉込めを備えるように、廃棄物フォームやパッケージングを含む人工バリアが、設計されなければならない、立地環境が選定されなければならない。閉込めは、廃棄物によって引き起こされる危険が放射能の減衰によって十分減じられるまで、備えられなければならない。さらに、熱を生じる廃棄物の場合において、処分システムの性能に対して悪影響を与え得る量の熱エネルギーを廃棄物が生じている

間、閉込めが備えられなければならない。

4.8. 廃棄物の閉込めは、放射性核種の放出を遅らせるあるいは最低限にするための処分施設の設計を意味する。閉込めは、その他の人工バリアと両立する丈夫な廃棄物フォームとパッケージング、及び母岩環境と地層、の双方によって提供されてもよい。特定の廃棄物の種類とサイトに対して、セーフティケースとそれを裏付ける安全評価は、必要とされる処分システムの閉込め能力の立証をもたらすことになる。より低い放射能の長寿命廃棄物に対しては、丈夫な容器による長期の閉込めは、実用性又は必要性がないことがある。

4.9. 使用済核燃料（放射性廃棄物として指定された場合）及び、燃料再処理からのガラス固化体などの最も高度に濃縮された放射性廃棄物に対しては、人工バリアが数百年から数千年の期間にわたって実質的に完全な閉込めを提供する必要がある。これは、寿命のより短い放射性核種の大半がその場で崩壊すること、また顕著な温度勾配が存在する期間における廃棄物フォームの劣化及び放射性核種の移動に関する不確かさが低減されること（すなわち、放射性崩壊により発生する熱が実質的に減少した後にのみ、放射性核種のいかなる放出も生じること）を確実にする。

隔離

SSR-5の要件9(参考文献[1]):放射性廃棄物の隔離

処分施設は、人と接近可能な生物圏から、放射性廃棄物の隔離を図る特質をもたらすように、立地され、設計され、操業されなければならない。特質は、短寿命廃棄物に対して数百年程度(several hundreds of years)、中レベル及び高レベル廃棄物に対しては少なくとも数千年程度(several thousand years)の隔離をもたらすことを目指さなければならない。そのようにすることによって、処分システムの自然の変化と施設の擾乱を引き起こす事象の双方に考慮が払われなければならない。

4.10. 隔離とは、生物圏からの実質的物理的な分離を提供し、特別な技術を有さない人による廃棄物への接近を困難にし、またほとんどの長寿命放射性核種の移動を低減するように、廃棄物を保持して、それに関連する危険が生物圏から離れた処分環境内にある状態を保つことを意味する。放射性廃棄物の地層処分において、隔離は、処分の深度の結果とし

て主に母岩の地層によってもたらされる。

4. 11. 適切な深さの安定した地層内に地層処分施設を設置することにより、侵食や氷河作用などの地形学的プロセスによる破壊的影響からの施設の防護をもたらすべきである。既知の地下鉱物資源、及びその他の価値のある資源の領域から離して設置することによって、意図しない地層処分施設への擾乱の可能性を低減することになる。

4. 12. 地層処分施設に適した深度は、廃棄物の性質と危険性、並びに、水頭勾配と地球化学的及び地質力学的などからなる、局所的な地質学的及び水理地質学的な条件を考慮して、決定すべきである。

多重安全機能

SSR-5の要件7(参考文献 [1]): 多重安全機能

安全が多重安全機能によってもたらされることを確保するように、立地環境は選定されなければならない、処分施設の人工バリアが設計されなければならない、施設が操業されなければならない。廃棄物の閉込めと隔離は、処分システムの多数の物理的バリアによって備えられなければならない。これらの物理的バリアの性能は、様々な操業上の管理とともに種々の物理的、化学的プロセスによって達成されなければならない。個々のバリアと管理の能力は、処分システム全体の能力とともに、セーフティケースで想定された通りに機能することを立証されなければならない。処分システムの全体的な性能は、単一の安全機能に過度に依存してはならない。

4. 13. 多重安全機能は、全般的な地層処分システムの性能が単一の安全機能に過度に依存しないことを確実にすることにより、安全性と安全への信頼性の双方を高める。多重安全機能の存在は、1つの安全の特質が（予想外のプロセスや極めて稀な出来事などによって）完全には期待通りに機能しない場合でも、別の安全機能によって全体としての処分システムの性能が脅かされないことを保証する。

4. 14. 長期的には、人工バリアシステムが徐々に劣化する可能性を排除することはできず、そのために、放射性核種は地質環境に放出されるかもしれない、最終的に生物圏へと移行するかもしれない。処分システムは、容器の健全性を維持すること、放射性核種及び廃棄物フォームの溶解度を制限すること、可能であれば、地下水の流入を最低限にすること、及び／又は処分施設から生物圏への放射性核種の移行時間を長くすることによって、効率的な廃棄物の閉込め及び隔離を支える自然及び人工の特性の組合せを提供するものとすべきである。流入を制限し、長い移行時間に寄与する因子には、地圏の、低透水性の地層、低動水勾配、及び分散特性などがある。生物圏におけるいかなる放射性核種の潜在的な濃度も、人工バリアと母岩による遅延及び沈殿能力によって、更に低減されるだろう。加えて、放射性崩壊は、処分システムに存在する放射性核種の放射能を徐々に減少させる。処分施設の埋戻し又はシーリングに用いられる材料は、地質バリアの安全機能を過度に劣化させることがない特性を持つべきである。

4. 15. 安全機能は、その本質的な性質で放射性核種の移行を妨げ又は制限する特性を持つ、廃棄物フォーム、廃棄物パッケージ、埋戻し材、あるいは母岩地層などの物理的な存在物によってもたらされてもよい。安全機能はまた、溶解度、腐食速度、溶解速度、又は、浸出速度のような、化学的特質又はプロセスによってもたらされてもよい。特定のバリアは、多くの安全機能を発揮するかもしれない。例えば、埋戻し材は、地下水の化学的条件を調整し、さらに放射性核種の保持をもたらすかもしれない。したがって、多重安全機能によって安全性を確保するとする要件は、特に、より低い危険性しかもたらさない廃棄物に対しては、単一のバリアによって与えられる複数の安全機能の考慮を通して達成されてもよい。

4. 16. 地層処分システムの性能は、異なる期間中でその重要性が変化する可能性のある、それぞれ異なる安全機能を持つ、種々の物理的構成要素及びその他の特質に依存する。多重安全機能の要件を満たすため、各物理的構成要素とその他の特質がもたらす機能を説明して正当化することに加えて、それらが機能すると予想される期間を特定することが、セーフティケースに必要である。1つの物理的構成要素又はその他の安全機能が完全には機能しない場合に、効果的となる補完的安全機能を特定することも、セーフティケースに必要である。

受動的安全

SSR-5の要件5(参考文献 [1]):処分施設の安全性のための受動的手段

操業者は、最大限に可能な範囲で受動的手法により安全が確保され、施設の閉鎖後に採られる活動の必要性が最小化されるように、処分施設のサイトの評価を行わなければならない、設計、建設、操業、及び閉鎖しなければならない。

4. 17. 操業期間の間に、パッケージング材料による遮蔽及び閉込めのような受動的特質も、安全をもたらすことができる。しかしながら、操業期間においては“何らかの能動的制御も適用されなければならない” [1]。

4. 18. 閉鎖後の安全は、地質的バリアと人工バリアのような受動的システムによってもたらされる。適切な深度での地層処分は、本質的な安全特質として、隔離をもたらす。モニタリングあるいは制度的管理は、閉鎖後の施設の安全性としては頼られるべきものではない。これは、現在又は将来の世代が閉鎖後モニタリングを行うことを選択したとしても、それは行う必要がないものであるという意味ではない。少なくとも閉鎖直後の一定の期間は、マーカーの活用や土地利用の制限のような受動的な制度的管理が、実施され維持されることになる。地層処分施設の閉鎖後のある期間は、例えば、公衆の懸念、及び許認可要件、あるいは人間侵入に対する防護として扱うため、モニタリングのような能動的な制度的管理も適用されるかもしれない。

5. セーフティケースと安全評価

5. 1. セーフティケースは、サイト上の特定の施設、施設の一部、又は活動が、安全であることを立証する論拠と証拠を集めたものである。セーフティケースは少なくとも、地層処分施設の開発、操業、閉鎖の主要な段階ごとに作成されるべきであり、1つの段階から次の段階へ進む許可を求めるための、規制機関への提出物の一部又は全体を含むかもしれない。セーフティケースは、開発、操業、閉鎖の実施時点で内容が徐々に強化され、そのことによって、安全に関連した全ての出来事や実施した修復措置が記録されるとともに、施設が安全であり今後も長期間にわたって安全が維持されることが予期されることを立証

する1組の最新の文書が常に存在することになる。本章では「操業時セーフティケース」及び「閉鎖後セーフティケース」という用語を使用する。実際には、これらは別々の存在であるかもしれないし、施設に関する1つの全体的セーフティケースの一部をなすかもしれない。

5.2. セーフティケースは、安全評価（下を参照）の結果に、施設、その設計、設計の論理の頑健性と信頼性を裏付ける証拠や推論、安全評価の品質、その基礎となる仮定などからなる付加的な情報を加えたものなどからならなければならない。セーフティケースにはまた、放射性廃棄物の処分に関するもっと一般的な論拠、及び安全評価の結果を大局的に見るための情報も含まれるかもしれない[1]。このような論拠には、予測される放射性核種放出と、自然バックグラウンド濃度による被ばく及び放射線レベルとの比較、並びにナチュラルアナログとの比較などがある。残存する不確かさ及び“施設の開発、操業、又は閉鎖のいかなる段階における未解決の課題も、セーフティケースの中で記載されなければならない”[1]。未解決の課題が安全性の評価に影響を及ぼす場合、それらの課題に取り組むための更なる作業が必要になると思われる。

5.3. 安全評価は、施設に関連したリスク及びサイトと施設の設計が安全要件を満たす能力を、体系的に分析するために使用する適切な手法を用いるプロセスである。地層処分施設の安全評価は、“全体的性能レベルの定量化、関連する不確かさの分析、及び該当する設計要件や安全基準との比較を含まなければならない。示された結果に影響を及ぼすかもしれない科学的理解、データあるいは分析における有意な欠陥もまた、安全評価において特定されなければならない[1]”。〔閉鎖後安全評価に係る付録IIを参照〕

5.4. 研究の課題、サイト特性調査、施設設計、資源の配分、及び廃棄物受入れ規準の策定に関する意思決定のような、“安全評価は、操業者による進行中の意思決定のための入力情報を提供しなければならない”[1]。安全評価は、安全性に関連した主要な不確かさ及びプロセスも特定するための解析を含む。これらの解析は、地層処分施設の性能の理解を深めるのに寄与するものであるべきであり、それゆえ、セーフティケースで示される安全性の議論の基盤に貢献する。

5.5. 操業者が作成したセーフティケースは、操業者が施設開発や操業を次の段階に進むことを可能にするための意思決定プロセスを促進できるように、国や地方自治体などの他の利害関係者にも入手できるようにするべきである。

セーフティケースと安全評価の準備、承認、及び活用

SSR-5の要件12(参考文献[1]): 処分施設のためのセーフティケースと安全評価の準備、承認、及び活用

セーフティケースと裏付けとなる安全評価は、処分施設の開発、操業、及び閉鎖後の各段階において、必要に応じて、操業者によって準備され、更新されなければならない。セーフティケースと裏付けとなる安全評価は、承認のために規制機関に提出されなければならない。セーフティケースと裏付けとなる安全評価は、規制機関に通知するため及び各段階において必要な決定を通知するために、必要となる技術的入力情報を提供するように、十分に詳細で包括的でなければならない。

5.6. 研究開発、サイト特性調査、設計、及び計画立案の活動を導くために、セーフティケースは、地層処分施設の開発の早期に作成されなければならない [1]。安全評価プロセスは、規制上の要件を満たす可能性の観点から提案された概念モデルが頑健であることを評価するための、また更なる知識が必要とされ焦点が置かれるべき放射性核種、経路、及び放出メカニズムを決定するための、計算を含むべきである。見通しを得るための計算はしばしば、文献からの検索、材料仕様、実験室での研究やナチュラルアナログの研究、予備的サイト調査、及び廃棄物の特性調査などから得られる、限定されたデータに基づくものである。データの入手は、処分施設が永久に閉鎖されるまで、あるいは提案された概念が受容できないと確認されるまで、段階的プロセスを通して継続されることになる。

5.7. 地層処分施設の開発の主要な段階である許可申請書に基盤を提供するために、“セーフティケースは、プロジェクトの進行に伴って漸次進展され、詳細にされなければならない” [1] (図1参照)。規制機関は、地層処分施設の開発や操業を次の段階に進める意思決定の前に、セーフティケースの更新又は修正を要求する場合がある。セーフティケースの形式と技術的詳細度は、プロジェクトが発展する段階、権限を持つ決定、対象とされる読者、及び国の具体的な要件に依存することになる。

セーフティケースと安全評価の範囲

SSR-5の要件13(参考文献[1]): セーフティケースと安全評価の範囲

処分施設のセーフティケースは、サイト、施設の設計並びに、運営上の管理策及び規制上の管理の安全に関連する全ての側面を記述しなければならない。セーフティケースとその裏付けとなる安全評価は、もたらされる人と環境の防護のレベルを立証しなければならない、規制機関と他の利害関係者に対し安全要件が満たされることの保証をもたらさなければならない。

5.8. 安全評価の結果は、個々のシステム構成要素の性能を立証するような方法で提示されるべきである。これは、モジュラー化アプローチを用いたモデリングを行うことで容易に実行できるかもしれないので、実施する価値のある課題である。構成要素のそれぞれに期待される動作を立証すること及び構成要素の実効的な性能を確保するために、構成要素の設計あるいは構成要素に期待されるふるまいに関する知識を繰り返し向上させることは、システム全体の性能の信頼性レベルを上げることになる。

5.9. 地層処分施設のセーフティケースは、操業期間と閉鎖後期間の安全評価などからなる。操業期間のためのセーフティケースとその裏付けとなる安全評価においては、施設の安全は能動的及び受動的措置に依存し、その一方で、閉鎖後のセーフティケースと裏付けとなる安全評価においては、施設の安全は専ら受動的バリアに依存する。さらに、操業期間全体において、施設は規制上の検査と放射線モニタリングの対象となる。したがって、安全を立証するために開発される規制上の規準、及びセーフティケースとその裏付けとなる安全評価の双方において、操業期間と閉鎖後期間では相違がある。

5.10. 地層処分施設の操業期間におけるセーフティケースは、廃棄物の収納、定置と埋戻し時に行う地下での建設作業、施設のシーリングと閉鎖などのような、放射線被ばくに関連した操業のあらゆる側面を取り上げるべきである。廃棄物の定置が終了した後も長期間にわたって施設を閉鎖しないでおく場合、操業期間におけるセーフティケースは、操業期間中に必要な機器の改修と交換についての考慮を含まなければならない。施設が閉鎖されていない間は廃棄物を安全に取り出せることも示す必要がある場合もある。

5. 11. “・・・通常の操業及び予期される操業事象に起因する、職業被ばく及び公衆被ばくの双方が考慮されなければならない。発生頻度はより低いが重大な放射線学的影響を伴う事故（すなわち、短い期間に年線量限度を超える放射線量を生じさせ得る可能性のある事故・・・）は、発生の可能性及び考え得る放射線量の大きさの、双方について考慮されなければならない。” [1]。

5. 12. 閉鎖後期間のためのセーフティケースでは、非常に長期にわたる期間中（例えば廃棄物が有害である期間と同程度の期間）に地層処分施設とその広域的地質環境において通常起こる進展について、及び可能性は低いが施設の性能に影響を及ぼすかもしれない事象について取り上げるべきである。地層処分に対して、要件[1]を満たすため、セーフティケースとそれを裏付ける評価は、以下のとおりである必要がある。

- (a) 地層処分システムに有意な影響を与えるかもしれない重要な特質、事象及びプロセスが、可能性のある進展シナリオを適切に作成するのに十分なだけ理解されていることの証拠を提示する。
- (b) 全ての関連する安全要件との適合性に関連する地層処分システムの性能の推定を提供する。
- (c) 関連する不確かさを特定し、その分析を示す。

5. 13. 閉鎖後期間のためのセーフティケースは、定量的解析に基づくべきであり、定性的議論によって更に支えられるべきである。それには、例えばナチュラルアナログ研究や古水理地質学的研究などに基づいた多様な推論の提示があるかもしれない。セーフティケースの主要部分については、全ての重要な不確かさが考慮されていることの立証が示される。

5. 14. 規制機関は、安全評価のための時間スケールを、規定するか、これに関する勧告を行うべきである。放射線量あるいはリスクの計算値と規制要件において特定された線量限度あるいはリスク限度の比較は、少なくとも数千年、又はこれを超えてピーク線量に達する時間スケールで、要求されるかもしれない。しかしながら、それは数千年を超えるようなタイムスケールであり、この期間における将来の地圏及び生物圏の状態の不確かさを考慮すると、処分システムにおいて自然の特性の進展を考慮するとともに、人の行動及び特性に対しては例えばレファレンス生物圏[15]を使用するなどの様式化されたアプローチ（すなわち、ある所定の状況を用いる）を適用するような、適切に単純化した仮定に基づくレファレンス計算で十分な場合もあることが認識されている。

5. 15. 閉鎖後期間に対する安全評価においては、通常予想される変化及びある特定の可能性の低い変化と事象に基づいて、地層処分システムの性能が解析される。幅広い進展と事象の下での地層処分システムとその構成要素の性能を理解するために、感度解析と不確かさ解析を行うべきである。処分システムの頑健性を調べるために、蓋然性は低いが大きな影響を与える可能性のあるシナリオについても考察するべきである。安全評価は、閉鎖された処分施設に人が意図せずに侵入した場合の影響について、幾つかの様式化された計算を含めるべきであり[1]²、同様に生物圏の計算にも様式化されたアプローチを用いることができる（安全評価の開発に関する詳細については、閉鎖後の安全評価に関する付録IIを参照）。

5. 16. 適切であれば、処分システムの閉鎖後の変化において複雑なプロセスを考慮する必要性は、可能な限り低減されるべきである。一方、受動的特質については、必ずしも複雑さが無い必要はないが、サイトと設計特質を選択する際には、複雑なプロセスを可能な限り避けるべきである。複雑なプロセスを避けることは、安全評価で開発されたモデルにおいてプロセスを連成する必要性を低減するかもしれない。さらに、それは、より複雑な周囲の環境条件において、処分システムの変化に影響を及ぼし得ると思われる他の要因の考慮を限定する可能性があるかもしれない。考慮に入れることが必要と思われる特質、事象、及びプロセス[16]の空間的、時間的変動性もまた、複雑なプロセスが避けられるならば、比較的単純な環境におけるものとなるため、より明確に示すことができるだろう。このようにすれば、安全評価に含めるべき重要パラメータの数は減るかもしれない。安全を評価するためにより単純なモデルを利用することができるだろう。単純さは望ましい特質ではあるが、自然の特性によってもたらされるサイトの閉込めと隔離の能力が第一に重要であり、これらがサイトの選択において採用される決定的な規準とすべきではある。

5. 17. 線量及び/又はリスクの計算は、規制要件に規定されている期間と被ばくシナリオについて実施するべきである。規制規準は典型的には線量計算で用いられる被ばく集団あるいは個人の特性を規定する（決定集団、及び決定集団の平均的構成員の概念が、被ばくシナリオを規定する際に、幾つかの国で用いられてきている）。線量予測値が非常に不確かになり得る遠い将来の期間については、例えば天然起源の放射性核種の濃度やフラックスなどを安全指標とするような、補完的な論拠が安全性を説明するために有用になるかもしれない[17]。

² 放射性廃棄物処分の安全評価における人間侵入シナリオの利用についてのIAEA TECDOC は策定中である。

5. 18. セーフティケースは、施設の閉鎖のための計画を含むべきである。これらは、サイト特性調査の間、及び処分施設の建設中と操業中に得られた情報に基づいて、更新し精緻化されるべきである。施設への廃棄物の定置を開始するための認可には、予備的な閉鎖計画の承認が含まれるであろう。その一方、これらの計画が、操業が進むにつれて更新されることになることは認識されている。可能であれば、閉鎖の設計と計画について、施設に関連する条件の下で検証がされるべきである。

5. 19. セーフティケースとその裏付けとなる安全評価は、地層処分施設の開発と操業が進むにつれて、より詳細かつ包括的になるべきである。表1に、セーフティケースとその裏付けとなる安全評価の漸進的な発展について例示する。

セーフティケースと安全評価の文書化

SSR-5の要件14（参考文献[1]）：セーフティケースと安全評価の文書化

処分施設のセーフティケースと裏付けとなる安全評価は、各段階で行われる決定に情報を与え、支援し、セーフティケースと裏付けとなる安全評価の独立したレビューを行うために十分な詳細さと品質レベルで文書化されなければならない。

5. 20. セーフティケースとそれを裏付ける安全評価を扱う文書に必要な適用範囲と構成は、地層処分施設プロジェクトが到達している段階と国による要件に依存する。これには、情報提供のために、様々な利害関係者のニーズの考慮も含まれる。セーフティケースの文書化において重要なこととして考慮すべきであるのは、決定の正当化、理由付けの追跡可能性、及び情報の明確化である。様々な利害関係者のニーズにより、様々な詳細レベル及び異なる形式で、文書が作成される必要があるかもしれない。

表1: 処分施設の供用期間を通してのセーフティケースと評価の特質の解説

施設供用の段階	セーフティケースの特徴 ^a	安全評価のための基盤
初期サイト調査及び予備的施設設計時	操業時セーフティケースの概略。予備的な閉鎖後セーフティケース	初期サイト調査からのデータ；予備的設計検討と閉鎖計画；廃棄物インベントリ、材料の挙動に関するデータの概要；類似したサイトやプロセスからのデータと知見
サイト特性調査及び確認時	建設の決定の根拠とするために十分な詳細度を持った暫定的な、操業時及び閉鎖後セーフティケース	地表と地表下の調査による詳細なサイト調査データ；詳細な施設設計と建設計画；廃棄物インベントリ、サイト固有の材料挙動データ；操業計画及び閉鎖計画。建設のための規制上の決定。
建設時	試験操業、操業の決定の基盤をなすための十分詳細な最終的な操業時セーフティケースと、進歩した閉鎖後セーフティケース	建設中に得られたサイトデータ、竣工設計図；廃棄物インベントリ、あらゆる試験的な廃棄物定置；操業中に検証される予定の閉鎖計画；詳細な操業計画。操業のための規制上の決定。
操業時	試験操業と操業からの経験とデータを生かした操業時セーフティケースの定期的更新が、要求に従って提供されるかもしれない。最終的な閉鎖後セーフティケースが、閉鎖の決定の基盤をなす。	操業時及び閉鎖後安全評価の最新版では、試験操業と操業からの経験とデータを使用する（現場での試験、モニタリング及び実験からの情報並びに、閉鎖計画の試験などからなる）。閉鎖のための規制上の決定。

表1: 処分施設の供用期間を通してのセーフティケースと評価の特質の解説

施設供用の段階	セーフティケースの特徴	安全評価のための基盤
閉鎖後	システムの挙動が予測された通りであるということの継続的な保証を提供する、任意に作成される付加的な閉鎖後セーフティケース	セーフティケースに関連した新しい科学的根拠が現れた場合における閉鎖後安全評価の任意に行われる更新

a 施設開発プログラムにおける各段階で開発されるセーフティケース

5. 21. セーフティケース文書の詳細度のレベルは、議論、論拠、及びその裏付けとなる証拠が、納得できるものであり、透明性とトレーサビリティのある方法で記載されているようにすることである。同様に安全評価に関する文書は、モデル、データ、仮定、及び定性的議論の理解を促進するものであるべきである。

5. 22. 文書が、処分施設の開発、操業、又は規制に直接には関与しない専門家又は専門家以外によってレビューされることが条件とされる場合、透明性が特に重要となる。重要な議論、決定、及び仮定は、少数の高度な専門家の読者を意図したかなり詳細な技術文書だけに示されるよりはむしろ、高いレベルの文書において定められるべきである。

5. 23. トレーサビリティは品質保証のために重要であり、設計、手順、モデル、データ、又は仮定に変更を加える場合には特に重要となる。規制機関や独立したレビュー者などが、議論の説得力や主要データの質を評価するためにも不可欠である。

5. 24. セーフティケース及び安全評価の文書の、数及びそれらの長さは、処分施設のライフタイムを通して増加していくことになる。文書の構成を考案し、文書の準備と保管用のガイドラインを手がける際には、このことを念頭に置くべきである。文書の階層構造を複雑にしたり、簡潔さに対する留意が欠如したりすることは、施設の開発が進むにつれて問題を増大する原因となり得る。

理解と安全の信頼性

SSR-5の要件6(参考文献[1]): 処分施設の理解と安全の信頼性

処分施設の操業者は、その施設の特質とその立地環境、並びに、適切な長い期間にわたってその閉鎖後の安全に影響を与える因子について、安全についての十分なレベルの信頼性が達成され得るように、十分な理解を進展しなければならない。

5. 25. 処分システムの性能、及び施設の内外の特質、事象、プロセスへの依存性に関する理解は、より多くのデータが蓄積され、科学的な知識が進展するにつれて深まっていく。

“概念の開発の初期には、取得したデータと理解のレベルは、更なる調査のため資源を投入することに十分な確信を提供しなければならない” [1] (付録II、II. 61項からII. 71項参

照)。建設を開始する前、定置中、及び施設の閉鎖時に、理解のレベルは、先に進むための意思決定と規制機関の承認を得るためのプロセスを促進することができるセーフティケースを裏付けるのに十分でなければならない。

5. 26. 不確かさの同定と取扱いは、閉鎖後評価の主要な部分である。施設の閉鎖後の性能の不確かさを評価するために、様々な手法を使用すべきである。処分システムの一部や一つ一つの事象とプロセスに関する詳細なモデルが、全体的安全評価においてシステム構成要素や特質、事象、プロセスの挙動を調べ、それらを扱う方法を決定するために使用されるべきである。感度解析、不確かさ解析、境界値を測る計算は、詳細レベルとシステムレベルの両方で使用することができる。確率論的及び決定論的計算は、経時的に変化する状況と定常状態の双方について行うことができる。この目的は、可能な場合は安全に関する不確かさを減らすことであり、それが不可能な場合は定量的又は定性的に不確かさの特徴を調べることである。規準と比較することが意思決定の基礎としては、もはや適切ではないかもしれないほどの不確かさが存在する期間にわたって、規準を適用する際には、注意を払うべきである。

6. 地層処分施設の開発における段階的アプローチの要素

段階的开发と評価

SSR-5の要件11(参考文献 [1]): 処分施設の段階的開発と評価

放射性廃棄物の処分施設は、一連の段階を通じて、開発、操業、及び閉鎖されなければならない。これらの各段階は、サイト、設計、建設、操業、及び管理のオプション並びに、処分システムの性能と安全性の繰返しの評価によって必要に応じて支えられなければならない。

6.1. 地層処分施設の開発には数十年を要することがある。追加の資源を投入する前に、開発過程における重要な決定ポイントで安全性を評価する目的は、プログラムを一連の段階に分割することで実用的なものにすることである。典型的な段階は、地層処分施設の建設（建設）の承認、廃棄物の受入と定置のための承認（操業）、及び施設を永久に閉鎖するための承認（閉鎖）に関する規制機関又は政府の意思決定の時点に設定されるべきである。これらの段階の各々で、セーフティケースは更新される[1]。このようなアプローチは、技術プログラムの質と、意思決定プロセスを裏付けるセーフティケースを評価する複数の機会を提供し、これらに信頼性をもたらす。地層処分施設の安全と実現可能性に対する信頼性は、段階的プロセスを通して、またプロジェクトの進行に伴って成熟する安全研究によって強化される。図1に、決定のポイントの特定と活動の段階などからなる処分施設の開発スケジュールを示す。

6.2. 処分施設の開発では、重要なプログラム（例えば、サイト特性調査、設計活動、保障措置と環境モニタリング、安全評価）が様々な段階にわたって継続されることになる（図1参照）。情報は、セーフティケース、設計、及びサイトの特性調査とともに成熟、進化し、これらの重要なプログラムから得られる情報は、他の関連プログラムと共有されるべきである（例えば、セーフティケースは、サイト特性調査と設計プログラムに関連する不確かさの情報を提供し、性能モニタリングはセーフティケースの際に置いた仮定に信頼性をもたらすために利用されるべきである）。段階的プロセスは、一連の段階にわたって進化するものであり、情報の価値を最大にする繰返しのプロセスである。

6.3. 施設の設計、試操業、廃棄物受入れと操業、及び閉鎖後の各要素のプロジェクト管理を容易にするために、付加的な段階が導入されても良く、セーフティケースあるいは裏付けとなる安全評価をレビューする補足的な機会として提供されても良い。レビューの性質は、それぞれの国の慣行と対象となる施設に依存することになる。

サイト特性調査

SSR-5の要件15(参考文献[1]): 処分施設のためのサイト特性調査

処分施設のサイトは、サイトの特性と時間と共にサイトがどのように変化することになるのかの双方の一般的理解を支えるために十分詳細なレベルで、特性調査されなければならない。これには、その現在の状況、起こり得る自然の変化、起こり得る自然事象、及び関心のある期間で施設の安全に影響するかもしれない周辺における人の計画と活動をも含まなければならない。それはまた、サイトと施設に関連する特質、事象、及びプロセスの安全への影響の個別の理解を含まなければならない。

6.4. 放射性廃棄物処分施設の立地プロセスでは、次の4つの段階が認識されている（図2）：(i) 概念及び計画段階、(ii) エリア調査段階、(iii) サイト調査段階、(iv) 処分施設の建設のためのサイト確認に至る詳細なサイト特性調査段階（最初の3段階に関する情報は付録I参照。付録Iは本章とともに読むべきである）。サイト調査は、初期のエリア調査段階における一般的な研究から始まり、特定の目的への対応と不確かな特質が目標にされるに従って漸進的に詳しくなってゆく特性調査のプログラムへと進む。処分施設建設のためのサイト確認には、詳細なサイト特性調査が必要となり、建設及び操業の段階を通して継続されるかもしれない。

6.5. サイト特性調査は、あるサイトにおいて、（現在、過去、及び潜在的には将来における）自然の特質、事象、及びプロセスを理解し、それらの空間的及び時間的な範囲、並びにそれらの変動性を十分に説明するために行われる活動である。サイト特性調査は、人為的特性（例えば、環境調査のための土地利用や輸送インフラ）に関する情報を含むかもしれない包括的なサイトの記述に寄与する。必要になるサイト特性調査活動の程度及び焦点を適切に定めるためには、サイト特性調査の背景及び目的が明確に理解されるべきである。サイト特性調査は、データの取得（すなわち、測定、サンプリング、及びモニタリング）並びに、情報及び知識を生み出すためのそのデータの解釈から構成されることになる。サイト特性調査は、本来的にあるサイトの調査の最初期段階から開始され、施設の開発プログラムがサイトの確認及び建設の開始を通して進展するのに従って、更に徹底したものになることが予想されるだろう。

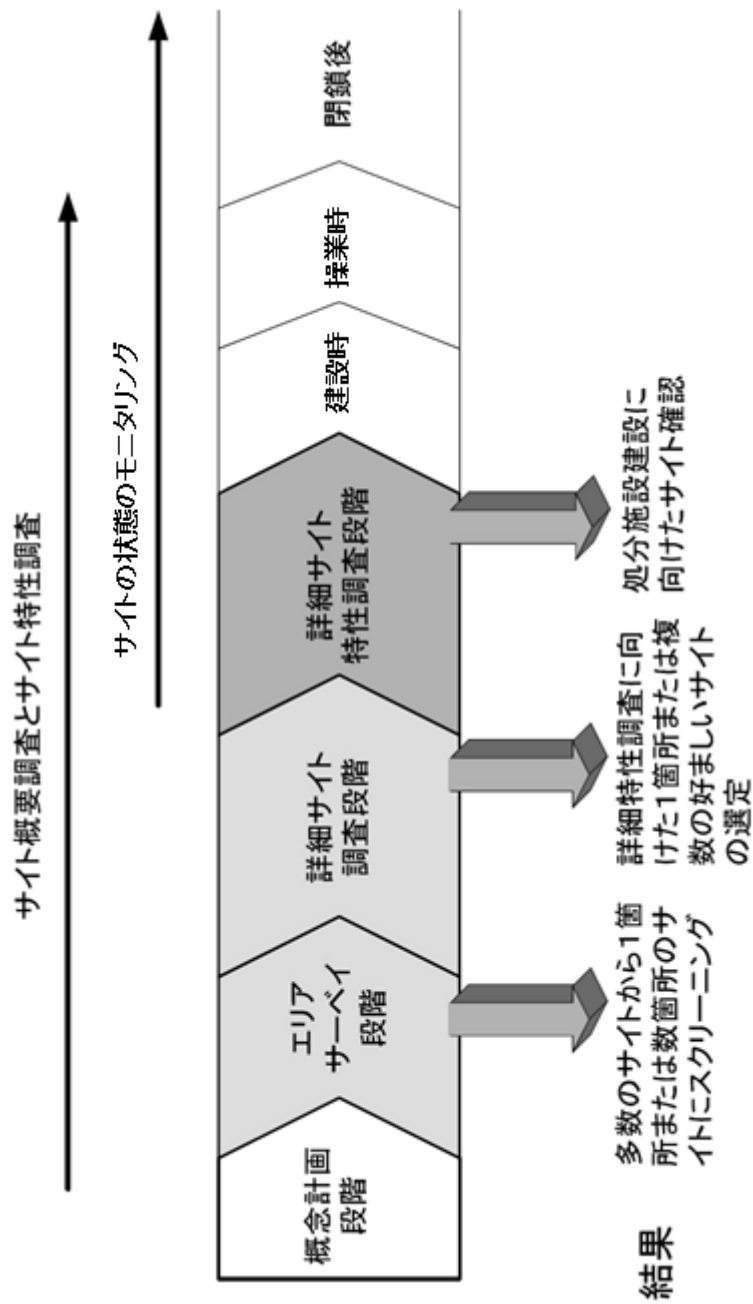


図2 立地プロセスにおける段階

6.6. サイト確認段階へと導く又はこの段階を含む段階にあるサイトの、詳細な調査は、好ましい一つのサイトあるいは複数のサイトにおいて地質学的及び水理地質学的システムを十分詳細に特性評価することを目的として、行われるべきである。

- (a) 好ましい一つのサイト（あるいは複数のサイト）の選定を支える又は確認する。
- (b) 処分施設の詳細な設計、安全評価、環境影響評価、及び許認可のために必要な追加のサイト固有の情報を提供する。

6.7. サイト特性調査は、地表からの調査と地下調査の双方から構成されるべきである。後者は、処分建設を開始するための前段階として着手されるかもしれない、処分サイト候補地で地下研究所あるいは岩盤特性調査施設の中で、特性調査と現位置での実験が実施されるかもしれない。この代わりに地下調査は、処分施設建設と一体化されてその初期部分として実施されてもよく、この場合、建設（操業ではない）の許可は地表からの調査の結果のみに基づくことになる。地表からの調査は、リモートセンシング（例えば、人工衛星によるモニタリング、航空写真、及び地震探査）と空中探査、地質図及び地球化学図の作成、露出した地層でのサンプリング、地表物理探査及びボーリング孔を利用した物理探査、ボーリング孔からの試料採取、検層及び水理地質学的調査などからなるが、それらに限定されるべきではない。

6.8. サイト特性調査プログラムの目的は、どのような情報が必要か、なぜそれが必要か、それがどのように提供されるのかという観点から、セーフティケースとそれを裏付ける安全評価におけるモデリングの開発を通して特定される優先順位に対する理解又は変化が進展するにつれて、詳細な目的とデータの収集の手法及び解釈の方法が変わる場合があることを認識しつつ、開発過程の初期段階で設定すべきである。

6.9. サイト特性調査の詳細なプログラムが、地層処分施設の既に掘削された部分での廃棄物の長期的な隔離と閉込めに関する安全評価の技術的基盤を支えることになるサイトに固有なデータを提供するために実施されるべきである。最終的な使用のために十分に詳細なレベルの定量的データ（空間的及び時間的変動に関する精度、正確さ、及び代表する特性に関する）を取得するべきである。付録I には、サイト調査及び特性調査のプログラムから期待されと思われる情報の種類に関する幾つかの追加的なガイダンスを示してある。ただし、このリストは網羅的でないかもしれないので、サイト固有の状況が、どのような情報がどの程度の詳細さで要求されるのかを最終的に決めることになる。

6. 10. 最終的に、サイト特性調査から得られた知見は、サイトにおける自然特性に関する信頼できる科学的記述及び安全性に重要なプロセス（例えば、地質学、水理学、地球化学、岩盤力学プロセス）に関する理解の立証を提供するために必要となる。この知見は、地層処分システムの安全評価の技術的基盤における信頼性を提供するために必要になる。

6. 11. サイトの特性調査プログラムでは、現在のサイトの特性を示すことに加えて、サイトの過去の変化を説明するモデルを支えるための情報を収集し、解釈すべきである。このプログラムでは、地表での過去における環境及び気候の変動に対する、地圏の長期的な安定性と、断層運動、岩盤の破断、及び火山活動などからなる地殻変動の影響に関して調査すべきである。この点において、古水理地質学的研究が特に適切である。このような変動を考えるための時間スケールは、少なくとも、安全評価における将来に対する時間スケールに匹敵すべきである。将来においてサイトが自然に進展するシナリオと、天然の構成要素と人工の構成要素との間の相互作用などからなる、システムの性能に影響を与え得る特質、事象、及びプロセスの関連性を評価するためのシナリオを支えるために、このような情報が使用されるかもしれない。

6. 12. サイト特性調査のプログラムは、空間的及び時間的スケールで対象となる範囲にわたって、サイトの安全性に影響を与える得る現象を適切に理解し、信頼できる物理的プロセスモデルを開発するために、実施されるべきである。

6. 13. サイト特性調査は、セーフティケースの開発への入力情報を提供するものであると同時に、セーフティケースによって導かれるものでもあるため、安全評価と共に繰り返し実施されるべきである。

6. 14. 詳細なサイト及びその周辺環境の状況は、追加的な、フィールド、研究室、及び地表下での調査の利用を通して得られる。このような調査は、サイト固有のデータに基づき放射性核種移行のモデリングを可能にするものとするべきであり、サイトの詳細な工学的特性を定めるため及び施設の設計の開発に利用される。

6. 15. 処分施設の詳細設計の技術的基盤を支えるために必要な、サイトに固有のデータを提供するために、詳細なプログラムによるサイト特性調査が実施されるべきである。必要とされる情報は、地球科学のパラメータなどからなり、処分施設の設計に関連した流入特性に影響を与える因子についての理解をもたらすことになる。このサイト特性調査により、トンネルと坑道の建設及びそれらの最適レイアウトのため、廃棄物の処分のために利用できる岩盤の量が確認できるようになるべきである。詳細なプログラムによるサイト特性調査は、場合によって要求される可能性のある環境影響評価を支えるために必要なサイトに固有のデータを提供し、また、処分施設の建設と操業に関する規制上の許認可決定への入力情報を提供するものである。

6. 16. サイト特性調査プログラムでは、建設の前、建設、及び操業段階にモニタリングすべきサイトの状態を特定すべきであり、また、将来、サイトモニタリングの結果と比較することによって施設の建設と操業によってもたらされる変化を見極めるため、サイトの自然システムに関する適切なベースラインの記録を確保するために、必要な測定の詳細さのレベル（正確さ、精度等）を確定すべきである。ベースラインのモニタリング情報に含まれるのは、例えば、水圧測定、地下水及び地表水の化学成分、地表水の流れ、自然のバックグラウンド放射能である。サンプリングの時間間隔は、施設の建設と操業によって何らかのサイト状態の著しい変化が生じた時に、それら全てをその初期段階で検知できる間隔とすべきである。建設によって引き起こされる擾乱から得られる情報は、サイトのモデルの試験と開発に使用することも可能である。

6. 17. 例えばサイトの挙動が予測通りであることを立証し保証するなどのために閉鎖後モニタリングが実施される場合、そのための要件は事前に提示されるべきである

6. 18. サイト特性調査のプログラムには、データの入手可能性と共に、データの品質や長期間の有用性を確保するためのマネジメントシステムが含まれるべきである。このマネジメントシステムでは、サイト特性調査データに、空間的に分布する情報と時系列データが含まれていること、また、将来のモニタリングのベースラインの確立を支えるためにそのような情報が必要であることを考慮するべきである。

6. 19. マネジメントシステムは、複数の目的（すなわち、科学、工学、及び安全に関する目的）を支える総合的(multidisciplinary)活動の統合と調整に役立つべきである。サイト特性調査の一部として実施される活動は、長期安全性が損なわれないことを確保するために、可能な限りサイトの自然特性に対するいかなる影響も最小化すべきである。

6. 20. サイト特性調査活動からの情報は、様々な意思決定メカニズムへ情報を与えるために用いられることになるだろう。サイト条件が適合するものであることの確認は、開発プログラムの次の段階、すなわち処分施設の建設及び／又は操業へと進むための規制上の承認を支えるだろう。サイト特性調査は、処分区域の固有の理解のための基礎データを提供するため、掘削活動の継続を支えるため、将来のモニタリングのための適切なベースラインに更に寄与するため、より早い段階で行われた安全評価に用いられた仮定の確認に寄与するため、並びに閉鎖後のセーフティケースを支えるために、操業期間に入った後を含めて必要な限り継続されるべきである。

6. 21. 操業者がサイト特性調査のある段階から次の段階へといつ進むべきか（例えば、地表からの調査から地下調査へと進むこと）、サイトが処分施設の建設又は操業に適すると確認されるのはどのような状況か、また調査が完了したと判断されるのはいつかという事を示し正当化するため、規準が定められるべきである。

6. 22. 意思決定のための重要な要件であり、またおそらく正当化が最も難しいことの一つは、サイト情報の十分性についてである。最終的に、いつサイト特性調査を完了するかは決定には、目的が達成されている（安全評価、処分施設設計、及び環境影響評価を支える観点で、あるいはシステム及びプロセスの理解に対する更なる信頼性を高めるという観点で、必要なデータの量及び品質の点において）という確信に基づく必要がある。サイト調査の一部としては、収集されたいかなる追加データの値も安全に有意な影響を及ぼさないであろうとなった時に、安全評価と閉鎖後セーフティケースを支えるためのデータの量と品質は、十分であると考えられることになる。例えば、感度解析によって、重要なデータについての不確かが管理できる範囲のものであること、計算された線量及びリスクが規制の限度、拘束値、又は目標の範囲内にとどまること、そしていかなる追加データの収集もセーフティケースに対する信頼性をそれ以上向上するとは思われないことが示されるかもしれない。これは、安全評価のためのサイト調査をいつ完了したものと考えられるかに関する決定において、有用な根拠となるかもしれない（とはいえ、モニタリングを継続することが有意義な場合もあることを言及しておく）。

6. 23. サイト確認段階は、一般に、処分施設の実規模建設を開始する前の、好ましいと考えられるサイトの詳細な研究及び調査からなる。設計どおりに建設され操業されれば処分システムが要求どおりに機能するであろうことを確認するために、あらゆる関連規準との入念な比較が行われるべきである。サイトの適性の確認を受けて、施設の建設に対する承認の決定を下すことを可能にする十分な情報を添えて、規制機関に計画案が提出される。この計画案は、サイト調査、特性調査、及び確認活動から得られた結果に基づく安全評価

を含むであろう。サイト確認の検討結果は、あらゆる情報についてレビューした上で、サイトの適性に関する決定をするために、規制機関によってレビューされる。必要な要件が全て満たされている場合、処分施設の建設を開始するための承認（許可証、建設のための認可証、又はその他の許諾の形式によって）を与えてもよい。特性調査活動は、通常、更なるデータを提供しセーフティケースに残るいかなる不確かさも更に低減するために、建設及び操業段階へも継続されることが期待される。

6. 24. 環境影響評価は、適切な国の機関によって求められているように、安全の目的のためのサイト特性調査とともに実施されるべきである。国の関連する法令によっては、環境影響評価は極めて広範に及び、計画された処分施設が公衆の健康と安全及び環境に及ぼす影響の評価を含むかもしれない。環境評価にはまた、当該サイトに処分施設を立地することによる、このような影響及び地元又は地域へのその他の影響の、防止あるいは緩和に関する考察が含まれるかもしれない。

設計

SSR-5の要件16(参考文献 [1]): 処分施設の設計

処分施設とその人工バリアは、危険性を伴う廃棄物を閉じ込め、母岩となる地層及び/又は地表環境と物理的、化学的に適合し、立地環境によってもたらされるそれらの特質を補完する閉鎖後の安全特質をもたらしように設計されなければならない。施設とその人工バリアは、操業期間中の安全をもたらしように設計されなければならない。

6. 25. 施設の設計は、操業期間及び閉鎖後期間双方に対して安全を提供することが求められ、及びモニタリング、核物質計量管理、地下で同時に行われる活動（掘削、廃棄物の定置と、設備の保守、整備(refurbishment)と取替えのような）、廃棄物の回収又は段階の可逆性、のためのあらゆる要件を考慮すべきである。

6. 26. 処分は、回収の意図を持たずに、適切な施設へ廃棄物を定置することと定義されているが、状況によってそれでもなお、閉鎖前のいかなる期間においても廃棄物の回収を可能にすること（廃棄物を安全に取り出すための設計がされていること）が要求されるかもしれない。廃棄物を回収できることが設計要件である場合、閉鎖後の施設の安全を危うくしないような方法で、設計プロセスの可能な限り早期に、それは考慮されるべきである。あらゆる設計要件を満たすのと同様に、最適化されたアプローチは、設計原則と整合して採用されるべきである。

6. 27. 回収は、施設開発の全ての段階に対して想定され得るものであるが、施設の閉鎖後の回収は、例外的状況と考えられる。しかしながら、幾つかの国において、閉鎖後の回収は、法定要件であり、処分のための安全要件を常に満たさなければならない中での、利用可能なオプションについての境界条件を定めるものになる。

6. 28. 施設の設計は、操業中及び閉鎖後の安全評価で設計要件の効果が正しく評価されることを可能にするため、十分に詳細かつ正確であるべきである。施設の設計は施設開発の段階ごとに進化してゆくため、規制上の規準に準拠している上で設計変更の効果が評価できるよう、安全評価が更新される。

6. 29. 閉鎖後期間における安全のための施設の設計は、頑健性、単純さ、技術的な実現可能性、及び受動性といった指針を満たすべきである。第4章に記したとおり、操業中の安全を得るための施設設計には、能動的システムと受動的システムの双方が含まれる。操業期間に関わる地表での活動（廃棄物の取扱いや貯蔵）に対する安全性のための施設設計は、既存の原子力施設と類似した最善の放射線防護及び産業の安全慣行を反映したものであるべきである。地下で並行して行われる可能性のある活動（掘削や廃棄物定置）に対する安全性のための施設設計は、放射線防護、産業、及び土木における最良の安全における慣行の組合せを反映すべきである [2, 4, 18]。

6. 30. 閉鎖後期間の安全のための地層処分施設の設計では、母岩の地質学的環境に本来的に備わっている特質を最適な方法で利用すべきであり、また、天然バリアシステムを補完する人工バリアを含むべきである。高レベル廃棄物又は中レベル廃棄物を対象とする処分施設には、産業において通常想定されるよりもはるかに長期間にわたって性能を発揮することが期待される。類似する天然の物質が自然の地質学的な状況の中でどのように機能してきたか、あるいは、古代の人工遺物や人類学的遺構が長年にわたってどのように機能してきたかについて調査することが、施設の長期性能に関する調査の信頼性に貢献できるこ

ともある。廃棄物容器の製造と人工バリアの建設の双方は、適切なレベルの性能が達成可能である信頼性を得るために実行可能であることを立証することが重要である（例えば、地下研究所によって）。

6. 31. 核分裂性物質が存在する場合、地層処分施設は、稼動期間中においてその物質が未臨界の形状のまま保持されるよう設計されるべきである。閉鎖後期間において起こる可能性のある処分システムの変化の評価はまた、臨界の課題も扱い、未臨界条件が維持されることになるという信頼をもたらすべきである。

6. 32. 操業活動は、予測される放射線被ばくの状態及び汚染の可能性に基づいてクラス分けされるべきである。放射線管理を必要とする、又は汚染の可能性のある部屋は、施設の管理区域内に配置され、適切なアクセス管理ができるようにすべきである。アクセスを管理する操業上の要件に適合するように、必要であれば、より厳しい管理が求められるエリアへ向けて作業を追加する区域分割アプローチを適用することもできる。

6. 33. 操業期間における放射線モニタリングは、予測される操業上の条件及び仮定される事故の双方に考慮した設計がなされるべきである。例えば、外部放射線レベルと必要に応じて大気及び地下水の汚染を測定するために、モニタリングステーションが設置されるべきである。このようなステーションは、サイトの放射線管理区域及びサイト内の非管理区域に設置されるべきであり、またサイト境界の外側の処分施設の近傍に選択的に配置されるべきである。

6. 34. 頑健な安全評価とセーフティケースの保証を維持するために、施設設計プロセスは、構成変更管理のため規定されるマネジメントシステムの中で、実施されるべきである。操業安全³及び閉鎖後の安全を確保するための人工バリアの設計の属性は、設計要件の適用がバリアの安全の重要性に従って等級付けされていることを確実にするために、クラス分けされるべきである。

6. 35. データの完全性のためのマネジメントシステム要件と同様に、安全に関わる施設設計の文書は透明性を持つべきであり、将来世代の利益のためにアーカイブに保管されるべきである。

³ 操業用の人工的なバリアは、しばしば安全性に重要なシステム、構造物、及び構成要素と呼ばれることがある。

廃棄物受入れ

SSR-5の要件20(参考文献 [1]): 処分施設の廃棄物受入れ

処分施設での定置のために受入れられた廃棄物パッケージと非パッケージ廃棄物は、処分施設の操業と閉鎖後のためのセーフティケースと完全に整合がとれ、そのセーフティケースから導出された規準に従わなければならない。

6. 36. 提案された廃棄物インベントリと廃棄物受入れ規準は、セーフティケースの一部として策定し、操業の承認のために規制機関に提出されるべきである。その操業は、廃棄物の安全な取り扱いと、長期的な安全性に対して廃棄物フォームと廃棄物パッケージが安全機能を満たすことを確実にすることになる。

6. 37. 受け入れられ、定置された最終廃棄物のインベントリは、追跡され、施設閉鎖の承認を得るために規制機関に提出され、セーフティケースに含まれるべきである。

6. 38. 操業期間と閉鎖後期間の安全に対して重要である廃棄物の特性は、該当するセーフティケースの一部である。廃棄物受入れ規準は、規制機関、施設の操業者、及び廃棄物発生者の間で反復して行われる対話によってより策定されるかもしれない。この規準は、操業期間と閉鎖後期間の安全に対して重要な廃棄物の特徴が含まれているべきであり、一般に以下のことが特定されているべきである。

- (a) 廃棄物と廃棄物フォームにおいて許容される化学的及び物理的特性の範囲
- (b) 各廃棄物パッケージの許容される寸法、重量、及びその他の製造に関わる仕様
- (c) 各パッケージの放射能の許容レベル
- (d) 各パッケージ内の核分裂性物質の許容量
- (e) 許容される表面線量率と表面汚染
- (f) 添付書類に関する要件
- (g) 各パッケージの許容される崩壊熱生成

廃棄物発生者及び施設の操業者は、処理（treatment）プロセスの間に採用される廃棄物コンディショニング方法やガス発生の可能性（例えば、放射線分解、腐食、又は微生物の影響による）、又は廃棄物の組成（例えば、自由水の存在、空隙容積、有機物含有量など）の様な、追加的な廃棄物受入れ規準の検討を要望するかもしれない。

6. 39. 地層処分対象となる廃棄物は、処分のために受け入れた廃棄物パッケージが廃棄物受入れ規準に即していること、あるいはそうでない場合には、廃棄物発生者又は処分施設の操業者によって是正処置が取られることを確実にするために十分な情報を提供できるように、特性調査されている必要がある[1]。廃棄物パッケージの受入れについての決定は、主に、記録、プレコンディショニング試験、製造、及びコンディショニングプロセスの管理に基づく。廃棄物パッケージからの潜在的に高い線量により、“コンディショニング後の試験と修正措置の必要性は、可能な限り制限されなければならない”[1]。

6. 40. 記録に関するマネジメントシステムは、前項のデータを含む廃棄物の受入れ、廃棄物発生、及び処理記録などに関連した記録を組み込むように構成されるべきである。

6. 41. 処分施設において定置される前に、廃棄物発生サイトにおいて生じた廃棄物の適合性とその安全管理が促進されるために、提案された受入れ規準はできるだけ早い機会に公表されるべきである。

建設

SSR-5の要件17(参考文献[1]): 処分施設の建設

処分施設は、承認されたセーフティケースとその裏付けとなる安全評価に記述されているような設計に従って建設されなければならない。それは、閉鎖後の安全上重要なセーフティケースによって示されている立地環境の安全機能を保持するような方法で建設されなければならない。建設活動は、操業期間中の安全を確保するような方法で実施されなければならない。

6. 42. 地層処分施設の建設は、施設建設に関するセーフティケースが規制機関の要件に従っていると承認された後でのみ開始される。もし岩盤特性調査あるいは実験のための地下施設が処分施設の一部を構成することを提案された場合は、特性調査施設の建設及び操業が、処分施設自体に対する規制要件と一致することを立証するのに十分な文書が入手できるようにされるべきである。

6. 43. 施設の建設は、承認された施設設計と、建設開始後に必要になることがある承認された修正設計に従って進めるべきである。処分施設のレイアウトは、母岩の状態によって制約を受けることになるため、建設の途中で設計の変更が必要になる可能性がある。建設中に母岩の調査を実施して、処分施設のレイアウトが適切であることを検証すべきである。

6. 44. 施設の掘削と建設は、不必要に広範囲にわたる掘削影響領域の進展、母岩への化学的に不利な物質の持込み、母岩内での水理地質学的及び地球化学的な変化の導入などの、地質学的環境の不必要な擾乱を避ける形で実施されなければならない。母岩に本来的に備わっている隔離と閉込めの機能は、可能な限り保たれるべきである。

6. 45. 施設の一部の操業及び廃棄物の定置が開始された後も、地層処分施設の建設は続けられ得るだろう。施設建設に関連した地下での活動の安全性を確保するために、掘削及び廃棄物定置が並行して行われる可能性が考慮される必要があり、また建設は、放射線学、産業、及び土木工学の安全の最善の慣行の組合せを反映するべきである[2, 4, 18]。

6. 46. 地表での施設建設の安全性は、既存の原子力及び産業施設と同様の最新の産業安全慣行に依拠するべきである。

操業

SSR-5の要件18(参考文献[1]): 処分施設の操業

処分施設は、操業期間中の安全を維持するように、また、閉鎖後の安全上重要であるセーフティケースで想定された安全機能が保持されるような方法で、許認可条件及び関連する規制要件に従って操業されなければならない。

6. 47. 操業の承認（許認可）を取得するための1つの要素として、操業者は、正常でない事象や緊急事態時を含めて、廃棄物パッケージを安全に受領、定置、及び必要であれば回収するための、施設の構造、システム、要素、点検、機能、及び手順が適切であることを、放射物質が関与することになる操業の開始に先立って立証することが求められる。試操業期間は、通常の操業の一部として廃棄物を安全に取り扱い、定置し、及び必要な場合には回収するための、操業手順を含めた設計の適切さを評価するために利用されるべきである。

6. 48. 放射性物質が関与する操業の開始のための承認を受けたら、作業員、公衆、環境に十分な放射線防護を提供するための、操業許可条件と該当する規制要件に従って、施設が操業されるべきである。操業は、安全性を提供するための、承認された手順に従って実施されるべきである[4, 18, 19]。

6. 49. 廃棄物が取り扱われ、貯蔵され、又は定置されている領域へのアクセスは、安全と核物質防護の確保のために管理されるべきである。無認可の侵入を検出し、即座に対策をとるための準備が、設けられるべきである（6. 69～6. 74項も参照）。

6. 50. 閉鎖活動は施設の操業期間の一部であるが、規制機関によって別個の承認を受けるべきである。セーフティケースはこれらの閉鎖活動を反映するように定期的に更新されるべきである。処分トンネルなど処分施設の幾つかの部分には、母岩への擾乱を最小限にするため、可能な限り速やかに埋め戻される場合がある。このような段階的な閉鎖作業それぞれは、規制の承認を得るべきである。

6. 51. 建設と廃棄物定置が並行して行われる可能性が考慮されるべきである。これらの活動は、それぞれの操業活動について適切であるように、放射線防護、掘削の安全、及び産業安全の要件に従って実施されるべきである。

6. 52. 地層処分施設は、現在及び将来の発電所の、操業又はデコミッショニングから生じる廃棄物を定置するために、数十年にわたって操業される可能性が高い。操業手順には、操業が行われる長期間にわたって行われる、設備の保守と、場合によっては刷新、あるいは取替えなどが取り扱われるべきである。設備、手順、条件、及び必要がある場合それらのセーフティケースに関連する変更は、明確かつ完全に文書化されるべきである。

6.53. 操業期間における作業者の被ばくと放射性物質の放出（主に大気中への）のモニタリングは、手順の変更を含む設計の変更に情報を与え、放出を最小限にし、被ばくを合理的に達成できる限り低く保つために利用されるべきである。

6.54. 操業段階の安全の立証の一部として、操業者は、処分施設の安全と作業者の安全について、様々な外部事象（例えば、火災、洪水、爆発）の影響を解析すべきである。

6.55. 地層処分プログラムの中には、廃棄物定置が終了した後に、かなり長期にわたって施設を開いたままにしておくことを構想しているものもある。この場合には操業期間が更に延長され、それによって閉鎖後の施設の性能（廃棄物パッケージの腐食、埋戻し材の冠水、水理学的状態の変化など）に関するモニタリングデータの量が増大する。施設の閉鎖後の安全性に対して、延長された操業期間が与える影響について、モニタリングデータを評価するための手順を開発すべきである（例えばモニタリングデータに基づく安全の再評価の実施）。モニタリングデータ、ベースライン条件からの変化、及び必要であれば閉鎖後の安全性に対して延長された操業期間が与える影響について、明確かつ完全に文書化されるべきである。

閉鎖

SSR-5の要件19(参考文献[1]): 処分施設の閉鎖

処分施設は、セーフティケースによって閉鎖後に重要であると示されている安全機能を発揮する方法で閉鎖されなければならない。閉鎖計画は、施設の能動的管理からの移行を含めて、閉鎖が適切な時期に安全に実施されるように明確に定め、実行可能でなければならない。

6.56. 地層処分施設の閉鎖は、処分施設の地下空間の埋戻し及び密閉のような活動などからなる。閉鎖は、可能な限り掘削開始前の母岩の初期の自然の状態に戻すことを意図している。

6.57. 地層処分施設の閉鎖後の性能は、初期設計において、及びその後のセーフティケースの更新において検討されるべきである。施設閉鎖の規制上の承認に先立ち、閉鎖システ

ムの設計が効果的であり閉鎖後の地層処分施設の安全性が規制上の要件に従っているという十分な証拠を提供するために、セーフティケースは更新されるべきである。閉鎖システムの有効性は、原位置試験、データ解析とモデリング、及び適切なナチュラルアナログを使用して、サイトの自然な進化に関する理解を示すことによって、示すことができる。

6. 58. “処分施設は、規制機関によって施設の認可において定められた閉鎖に関する条件に従って、この段階において生じるかもしれない責任のいかなる変更にも特に注意して、閉鎖されなければならない。これと一致して、閉鎖の特質の備え付けは、廃棄物の定置作業と並行して実施されるかもしれない。閉鎖後安全に関連する側面を評価するためのモニタリング又は公衆の受容性と関連する理由を許容することを目的として、廃棄物定置の完了後の一定期間にわたって、埋戻し、密閉、又は覆土が延期される場合があるかもしれない。それらの特質が、廃棄物定置の完了後の一定期間にわたって配置されないことになる場合は、そのことの操業中と閉鎖後の安全に対する意味合いが、セーフティケースの中で考慮されなければならない。” [1]。

6. 59. 地層処分施設の閉鎖は、地表施設のデコミッションングと、必要なあらゆる環境の回復をも含むべきであり、また耐久性のあるマーカーの建設を含むかもしれない。

モニタリング計画

SSR-5の要件21(参考文献[1]): 処分施設のモニタリング計画

モニタリング計画は、処分施設の建設と操業の前とその期間中、セーフティケースの一部であれば閉鎖後に実施されなければならない。この計画は、防護と安全の目的のために、必要な情報を収集し、更新するように設計されなければならない。情報は、施設の操業期間における作業者と公衆の構成員の安全及び環境の防護に必要な条件を確認するために、取得されなければならない。モニタリングは、施設の閉鎖後の安全に影響する可能性がある条件がないことを確認するためにも実施されなければならない。

6. 60. モニタリングとは、放射線学的又はその他のパラメータの、継続的又は定期的な測定、あるいは構造物、設備、又は機器の状態の決定を意味する。“モニタリングは、処分施設の開発と操業のそれぞれの段階において実施されなければならない。” [1]。モニタリングは、安全評価への入力情報を提供し、施設の操業安全性を継続的に保証し、閉鎖後安全性について立てられた仮定と実際の状況が一致していることを確認するものである。

6. 61. モニタリングプログラムは、建設に先立って、そしてセーフティケースの作成とともに定められるべきである。母岩特性などからなるサイトのベースラインの調査を、建設前に実施すべきである。モニタリングプログラムは、建設及び操業中に得られた新しい情報を反映するように、定期的に修正されるべきである。操業前及び操業期間中に実施される可能性があるモニタリング活動に関する解説が、参考文献[20]に提供されている。

6. 62. モニタリングプログラムはセーフティケースの一部として含めるべきであり、セーフティケースの改定版を提出するたびに改善されるべきである。モニタリングプログラムは、操業期間中については、環境の防護及び放射線防護の安全要件[4]の遵守などからなる、規制上の要件や操業のための許認可条件を遵守していることを実証するために使用されるべきである。

6. 63. モニタリングプログラムは、規制機関又はその他の認証された組織による、監査及び独立した検証の対象とするべきである。

6. 64. 閉鎖後期間には地層処分施設は受動的に安全な設計であるべきであり、安全性の保証を提供するためには、閉鎖後モニタリングプログラムを必要とせず、またそれに頼るべきではない。公衆に保証する目的で、政府又は規制機関によって義務付けられている場合は、閉鎖後モニタリングを実施することがあり得るが、それによって受動的に安全な設計を妥協したものにすべきではない。

受動的な安全特質のサーベイランスと管理

SSR-5の要件10(参考文献[1]): 受動的な安全特質のサーベイランスと管理

適切なレベルのサーベイランスと管理は、閉鎖後の安全のためのセーフティケースに指定された機能を果たせるように、これが必要とされる範囲で、受動的な安全特質を防護し、保持するために適用されなければならない。

6. 65. この安全指針において、「サーベイランス」という用語は、受動的な安全特質（バリア）を保護し保全するための処分施設の健全性を検証するため、それを物理的に検査することをいう。サーベイランスでは、種々のバリア性能のうち、その処分システムの重要な安全機能に直接関係する部分に注目すべきである。求められる安全機能を満足するために、“地層処分…の場合、受動的な安全特質（バリア）は、修理又は、改善（upgrading）の必要がないように、十分に頑健でなければならない。” [1]。サーベイランス活動があることによって閉鎖後の施設の安全性を妥協したものにするべきではない。

6. 66. 地層処分施設は受動的に安全であるよう設計され、閉鎖の後では、安全を保証するために、介入、サーベイランス、又は管理に依存すべきではない。

閉鎖後期間と制度的管理

SSR-5の要件22(参考文献[1]):閉鎖後期間と制度的管理

閉鎖後期間に、制度的管理と処分施設に関する情報の入手可能性を維持するための措置を扱うため計画が準備されなければならない。これらの計画は、受動的な安全特質に整合したものでなければならず、施設を閉鎖する認可が与えられることに係るセーフティケースの一部を構成するものでなければならない。

6. 67. 地層処分施設は、閉鎖後期間において受動的に安全であるように（すなわち介入を必要とせずに安全性を確保できるように）設計され、“放射性廃棄物の処分施設の長期安全性は、能動的な制度的管理に依存してはならない。” [1]。

6. 68. 廃棄物に偶発的に干渉し得る、又は地層処分施設の安全特質を劣化し得る意図しない人間活動の可能性を、防ぐ又は低減するために、受動的な制度的管理が規定されるべきである。制度的管理には、耐久性のあるマーカーの建設、将来世代の人々が利用できる国内のアーカイブや国際的アーカイブへの施設記録の登録、施設の責任の後継組織への移転などからなるかもしれない。ある世代から次の世代へ責任を伝えるために、適切な仕組みが開発される必要があるかもしれない。

核物質計量管理システムの考慮

SSR-5の要件23(参考文献[1]):核物質計量管理システムの考慮

核物質計量管理に関する協定に基づく処分施設の設計と操業において、核物質計量管理システムの下で要求される措置により安全が脅かされないことを確保することが、考慮されなければならない[21～23]。

6. 69. 核物質計量管理システムは、潜在的に抽出可能な形の大量の核分裂性物質を含んでいる物質に適用される[21～23]。IAEA核保障措置の目的は、有意量の核物質が平和的原子力活動から、核兵器その他の核爆発装置の製造のため又は不明な目的のために転用されるのを適時に検知すること、及び早期検知の危機を与えることによってこのような転用を抑止することにある。地層処分は、IAEA核保障措置の目的に適合し、長期にわたる受動的な核セキュリティを提供するものである。

6. 70. IAEA 核保障措置要件が適用される場合、それらは、地層処分施設開発の3つの期間全てに適用されることになる(2.3 項参照)。地層処分施設における保障措置の適用に関するIAEA の正式なガイダンスは策定中であるが、そのような施設において考慮しなければならないことになる核物質防護についてのガイドラインはIAEA により発行されている。

6. 71. 安全性に求められる情報の中には、IAEA保障措置の目的にも役立つものがある。相補的な情報や共用される情報は、処分施設開発の初期段階で特定されるべきであり、以下のような情報などがある。

- (a) 後に行われる安全評価に用いられるベースライン情報となるモニタリングデータは、操業安全と施設の性能を保証し、状態が長期的な安全性と整合することを確認するためにも用いられる。
- (b) 使用済核燃料の核種組成に関するIAEA保障措置から得た情報が、未臨界性と発熱を評価するための計算に使用できる。
- (c) 放射性核種の放出量の測定値と環境モニタリングデータが、サイトでの核分裂性物質に関連する未申告の活動が行われていないことを保証するために役立つ。

6. 72. 操業前の期間中は、IAEA保障措置局が、できるだけ乱されていない掘削開始前のサ

イトの初期状態の情報、施設及び操業計画の草案、意図されている地下調査活動の説明、及び地域に関する一般情報（その地域で行われている採鉱活動など）を求めることになる。IAEAが保障措置要件を評価して保障措置をより容易にする設計変更を提案できるように、設計情報と既存/ベースラインデータへ早期にアクセスできるようにする必要がある。この情報は、施設の建設と操業の安全性が損なわれないようにするための保障措置手法を計画することにも使用される。

6.73. 操業期間中、IAEA保障措置は、核分裂性物質に関する知識の連続性を確保し、サイトでそのような物質に関連した未申告の活動がなされないようにすることを目指す。知識の連続性は、国の計量管理システム及びIAEAによって維持される。操業者は、国及びIAEAの要求に応じて記録を十分に保持することが求められる。

6.74. 地層処分施設に関するIAEAの方針は、廃棄物が地層処分施設内に密封された後でも、保障措置要件は存続するというものである。閉鎖後期間に、IAEA核保障措置は、より簡素な管理体制でも十分だろうが、実際には遠隔手段（例えば、人工衛星によるモニタリング、航空写真、及び地震探査）が適用されるかもしれない。“閉鎖後の安全を損なうかもしれない侵入手段は、回避されなければならない” [1]。保障措置手法の適用を継続することは、地層処分施設の意図しない擾乱を防止するための制度的な管理が長く続くことについて信頼を高めることができるだろう。この点において、核保障措置は閉鎖後の安全性の信頼度を高める可能性がある。

核セキュリティ措置

SSR-5の要件24(参考文献[1]):核セキュリティ措置に関する要件

放射性廃棄物の処分において、安全対策と核セキュリティ措置に対する統合されたアプローチを確実にするための措置が、実施されなければならない。

6.75. “核セキュリティ措置が、個人による無許可のアクセスを防ぎ、放射性物質の不法移転を防ぐために必要である場合、安全対策と核セキュリティ措置が、統合されたアプローチにより実施されなければならない” [1, 2, 24]。

6.76. “核セキュリティのレベルは、廃棄物の放射線学的危険性のレベルと性質に見合わなければならない” [1]⁴。セキュリティ要件は、核物質保障措置要件が適用される場合に最も厳格になる（6.69～6.74項も参照）。

マネジメントシステム

SSR-5の要件25(参考文献 [1]): マネジメントシステム

品質を保証するマネジメントシステム⁵は、処分施設の開発と操業の全ての段階を通して、全ての安全関連活動、システム及び構成要素に適用されなければならない。(品質の)各要素に対する保証のレベルは、安全上の重要性に見合っていないなければならない。

6.77. 参考文献[25]は、あらゆる組織においてマネジメントシステムを確立、実施、評価、及び定期的に改善するための要件を規定している。要件を達成するために立案されたマネジメントシステムは、安全、健康、環境、セキュリティ、品質、及び経済的な要素を統合する。安全は、マネジメントシステムが基盤とする基本原則である。マネジメントシステムではプロセスを実行するための組織構造を定義する。また、プロセスの作成、実行、及び評価に関わる様々な人員と組織の責任と権限について定義し、活動を実行する方法についても定義する。マネジメントシステムは、地層処分施設の開発及び操業の全ての段階で、全てのプロセス、活動、システム、及び機器に適用されるべきである。

⁴ 放射性廃棄物の核物質防護についての技術ガイダンスは準備中である。

⁵ マネジメントシステムとは、品質保証（製品の品質に確信を与えるためのシステム）と ‘品質マネジメント’（品質を運営管理するためのシステム）を通して、‘品質管理’（製品の質の管理）の初期概念の全て及びその展開を含み、かつ、反映させることである。

6. 78. 操業者のマネジメントシステムは、マネジメントシステムに関する国の基準に準拠しているべきであり、国際的に認められた規約、規則、基準を可能な限り常に使用するべきである[25－27]。安全、健康、環境、セキュリティ、品質、及び経済的な要素を統合する適切なマネジメントシステムは、サイト特性調査、設計、建設、操業、閉鎖、及び閉鎖後の安全に関連する要件と基準に準拠していることに対する信頼性に貢献する。体系的な安全評価の結果に基づいて、適切な活動、システム、構成要素が特定されるべきであり、安全に対する重要性に従ってマネジメントシステム要件の適用は等級付けされるべきである。

6. 79. 操業者のマネジメントシステムは、規制機関及びその他の指定された認証機関に受け入れられるものであるべきである。マネジメントシステムは、組織を通して完全に実現されていることを確実にする義務を持った操業組織のシニアマネジメントによって承認されるべきである。

6. 80. 操業組織は、適切な外部団体による監査を定期的に受けることで、マネジメントシステムの一部としての品質保証手順への準拠を保証すべきである。

6. 81. 地層処分では天然バリアと人工バリアの両方が利用されるので、天然のシステムには不確かさが内在し長期的な安全評価ではそのような不確かさを系統的に扱う特別な手順が必要とされることもある、という事実に合わせてマネジメントシステムを設計すべきである。

6. 82. 地層処分施設のマネジメントシステムとその統合された品質保証プログラムは、必要な品質目標が達成されたことを示す客観的証拠（例えば、証拠書類と同様に材料のサンプル）を生成、保持、及び保存するために規定するべきである。

6. 83. 将来世代の便益のために、情報が利用できるように維持し適切に保管されていることを確実にするために、記録の物理的形狀と電子的形式に配慮がなされるべきである（6. 68項も参照）⁶。

⁶ このような記録の維持及び保管についての更なる情報を含む安全レポートは準備中である。

6. 84. 開発の全ての段階と活動に対して、操業者は職員の要件を決定し、適した資格を持った人員を採用して訓練し、安全文化を発展させ維持すべきである。処分施設は何十年にもわたって操業する可能性があることを認識し、操業者は訓練、教育、及び知識の伝達を通して技量と安全文化を維持する対策を実施するべきである。

既存の処分施設

SSR-5の要件26(参考文献[1]): 既存の施設

既存の処分施設の安全は、許認可の終了まで定期的に、評価されなければならない。この期間中、安全上有意な変更が計画されるとき、又は認可の条件に関して変更される事象が起きた際には、安全がまた評価されなければならない。この安全要件出版物に規定された何らかの安全要件が満たされていない事象においては、経済的因子と社会的因子を考慮に入れ、施設の安全を向上するための措置が実施されなければならない。

6. 85. 現在までに、高レベル放射性廃棄物を扱う処分施設は存在していない。中レベル廃棄物を扱う地層処分施設については、少数ではあるが存在している。現行の安全規準に則らずに建設された旧式の施設は、参考文献[1]に規定された安全要件に部分的に適合しない恐れがある。

6. 86. 既存の施設について、閉鎖後の安全性に関する現行基準を満たすか否かを決定するために、閉鎖後安全評価が実施されるべきである。操業中の施設の場合の評価は、同施設の継続的操業、最終的な閉鎖、及び閉鎖後の制度的管理のための現在の計画に基づいて、実施されるべきである。

6. 87. 安全評価によってその施設が現在の閉鎖後安全の基準に適合していることが分かれば、それ以上の措置は不要である。現在の基準に適合していない場合に取られる次のステップは、同施設が操業中か否かによって異なる。サイト特性についての追加的な情報の収集が必要となることもある。

6. 88. 基準を満たさない既存施設が、安全な操業を継続し、それに引き続き安全に閉鎖するには、安全性能を適切なレベルまで引き上げるべきである。このため、可能な修復措置、現行の廃棄物受入れ基準に対する変更、操業、及び保守手順、そして閉鎖計画についてのオプションを調査し、それらを比較する必要がある。また、新たにモニタリングとサーベイランスが必要となることもある。

6. 89. 修復措置を実施すべきか否かを判断する必要性が生じる可能性があり、必要であると判断された場合には、どのような措置が最良かを判断する必要性が生じる可能性がある。放射線防護に関する原則には、正当化の原則、そして最適化の原則などがある[4]。正当化には、可能な修復措置と措置を取らない場合との比較、そして次に、どの措置が害ではなく利益をもたらすかの判断などがある。正当化される修復措置のタイプが幾つか特定されたら、その中の好ましい措置を決定するためのインプットを提供するためにそれらを互いに比較すべきである。この比較では、最適な選択肢（すなわち最も利益をもたらすと考えられる修復措置）を特定するために必要な全ての要素を比較すべきである。

6. 90. 操業施設についての修復措置、操業計画、及び手順の変更に関連する決定を行う際に主となる放射線防護原則は、最適化の原則である[4]。意志決定へのインプットは、閉鎖後の人と環境に対する放射線学的影響、人と環境に対する非放射線学的影響、それらの社会的影響、財政的コストやその他の要因に基づいて、様々な提案された措置と変更の比較によって得られるべきである。実行可能性の検討と立証のプログラムは、意思決定プロセスを支えるかもしれない。既存施設について提案された修復措置と操業変更の評価を比較するにおいては、広範囲の課題を考慮する必要があるため、規制機関以外（例えば、地域社会）の利害関係者が関与することに利点がある。

6. 91. 閉鎖された施設（又は地層処分施設内の閉鎖されたエリア）における修復措置の選択肢は、操業中の施設よりも限られる。修復措置を実施するために施設（又は施設の一部）を開くことには、有意な資源を使う責任と作業員に対して有意な放射線被ばく及びリスクを課すであろう。

6. 92. また、修復措置の適切な時期についての問題もある。早期の実施にはメリットとデメリットがある。例えば、廃棄体と廃棄物パッケージの劣化が少ないため、より容易に施設から廃棄物を回収することができるが、減衰が進んでおらず、そのため作業員の放射線被ばく量が高くなる可能性がある。実施時期の問題を扱う方法は、様々な時期に実施される複数の修復措置を個別の選択肢として、最適化の検討を行うことであり、操業施設の場合

合と同様に、閉鎖された施設の場合でも修復措置に関する決定に利害関係者を関与させることには利点がある。

付録 I

地層処分施設の立地

はじめに

I. 1. 立地は、放射性廃棄物の処分にとって根本的に重要な活動である。放射性廃棄物処分施設の立地過程には、次の4つの段階などがある。(i) 概念及び計画段階、(ii) より詳細な調査をするために、一つあるいはそれ以上の数のサイトの選定をもたらす、エリア調査段階、(iii) 詳細なサイト固有の研究とサイト特性調査が行われる、サイト調査段階、(iv) サイト確認段階。サイト選定において、広大な地域の調査、不適当なサイトの棄却、そして残ったサイトのスクリーニング、及び比較の後に1箇所又は複数の好ましい候補サイトが選定される。立地プロセスの開始時点において特定された幾つかの、場合によっては多数の有望サイトから、地質学的環境に基づいて、またその他の要因を考慮して、1箇所又は複数の好ましいサイトが選定される。社会政治的な要因は、いかなるサイト選定プロセスにおいても重要な考慮事項である（例えば、人口統計学的条件、輸送インフラ、及び既存の土地利用）。サイト選定プロセスの間の意思決定は、拒否権行使あるいはボランティアを含む、様々なレベルの公衆と地元地域社会の関与を含むかもしれない。表明される国における優先事項はそれぞれの国によって異なり、したがって地層処分施設の安全のための国際的なガイダンスの中では扱うことができない。サイト選定の初期段階においては、地質学的及び水理地質学的なサイト固有の情報は乏しいか足りない場合がある。それでも、地下の処分サイトの候補として1か所以上の場所を選択するための決定を支えるために、入手可能なデータと専門家の判断が利用されるべきである。見込みのあるサイトは、廃棄予定の廃棄物タイプに適した自然の閉込めと隔離特性があることの証拠を示すべきであり、処分システムから接近可能な環境への放射性核種の移行を防ぐ又は遅延させるために必要な全ての人工バリアを施工できるということを示すべきである。この証拠は、以降の詳細なサイト調査、特性調査、及び関連する安全評価モデリングで確かめられる必要がある。

I. 2. 詳細なサイト調査及び特性調査の実施は、立地プロセスの最終段階（段階iii及びiv）にまで及び、本安全指針の第6章では特に、サイト確認へと至る詳細なサイト特性調査段階のための勧告を提供することに集中している。この付録は、概念段階、計画段階、エリア調査段階、及びサイト調査段階に関する幾つかの重要な点についての簡単な概要を提供する。これに続いて、調査及び特性調査プログラムから期待されるデータの種類について更なるガイダンスを示す。

概念及び計画段階

I. 3. 概念設計及びサイト選定前の計画に関する立地の第一段階として、これらは処分施設開発過程の初期に必ず実施される。概念及び計画段階の目的は、サイト選定プロセス全体の計画を立案し、エリア調査段階のベースとして使用可能な岩石と地層の種類を、入手可能なデータを利用して特定することである。立地プロセスの指針となる原則は、この計画段階の初期に操業者により確立されるべきである。必要となる財源と人的資源、材料、機器、及び時間を実質的な範囲で見積もられるべきであり、立地検討全体の責任を特定すべきである。サイト選定の責任を負う組織は、詳細なサイト特性調査を実施する組織、又は処分施設の建設及び操業を行う組織と同じであり得る。責任の割当のような決定は、国のレベルで行われる。しかし、立地プロセスは、指定された計画に従って進めるべきであり、そのような計画は定期的な更新が必要となることが多く、規制機関との協議の上で策定されるべきである。この計画には以下の事柄などからなる。

- (a) 実施すべき全般的なタスクの仕様と記述
- (b) 様々なタスクのシーケンス図
- (c) サイト特性に採用される指針又は規準
- (d) この指針又は規準を採用するための手順の概要
- (e) 包括的なスケジュール
- (f) 費用見積もり
- (g) 長期的な安全性が、設計の最適化においてどのように考慮されるか
- (h) 提案されたサイトが、棄却される又は棄却されているかに対する理由

I. 4. 概念及び計画段階の開始時には、決定すべき重要な点を、処分施設の必要性和タイミングに基づいて定義すべきである。その処分施設に定置される廃棄物のタイプと量を指定すべきであり、その特性を評価すべきである。排出される廃棄物量を定量化すべきである。この情報を利用して、包括的な処分施設の設計概念を作成すべきである。

I. 5. サイトが適性を持つ可能性に関する判断を支えるために用いられることになる重要な地球科学的規準は、国の規制要件に従って、操業者が策定すべきである。このような規準には、母岩及び周辺の地圏に対する、要件又は好ましいと考えられる条件、例えばテクトニック環境、岩盤特性や地下水特性などがある。これらの規準から、適切なエリアと母

岩を選定するための、そして後に好ましいサイトを選定するためのスクリーニングガイド
ンスが、定められるべきである。規準あるいは規準に対して定められるいかなる制限も、
知識が進展する従って立地プロセスの間に変化する場合があることが認識されている。さ
らに、規準の考慮はシステム全体の予備評価の結果を用いて強化され得ることも認識され
ている。

エリア調査段階

I. 6. エリア調査段階の目的は、前段階で特定された立地要因を考慮した上で、適切なサ
イトを含んでいる可能性のある地域を特定し、徐々にエリアを絞り込むことである。サイ
ト選定におけるこのプロセスでは、対象となる地域を段階的にスクリーニングして、適切
な狭いエリアを特定することで達成されるであろう。可能性のある場所として既に幾つか
の狭いエリアが指定されている場合には、境界条件を更に良好に決定するために地域規模
の情報を収集する研究を、この段階で行うことができる。

I. 7. エリア調査段階には、一般的に次の2つの段階が含まれる。

- (1) 適切である可能性のあるサイトを含むエリアを特定するための、地域的なマッピング
グ又は調査の段階
- (2) 更に詳細な評価を行う対象となる、1箇所又はそれ以上のサイトを選定するための、
スクリーニングの段階

(a) 地域的な範囲に対する、マッピング又は調査の段階

I. 8. 典型的な段階的なスクリーニング手法では、最初に、対象となる地域の選択に使用
する規準を定義する。この規準には、処分概念に有利な地理的、地質学的、及び水理地質
学的属性が含まれる。特定の処分概念の成否について決定的な影響を及ぼす要因が特定さ
れる場合もあるが、一般的には全体的なシステム性能が重要となる。地域的なマッピング
又は調査は、例えば、自然的なまたは政治的な境界によって定義されるような地域全体を
対象とするかもしれず、あるいはある国の主要な廃棄物発生者に隣接する土地に制限され
るかもしれない。その後の活動ではエリアを狭め、より適切なエリアを絞り込むべきであ
る。このプロセスでは1箇所またはそれ以上の候補サイトを選定できるようにすべきであ
る。

I. 9. 地域的なマッピング段階で使用する立地因子の選択は、どのようなタイプの処分場を意図しているのか、単純な指針を適用できるかどうか、また必要なデータが既に入手可能か、ということに基づくべきである。例えば、大規模な地質学的活断層や火成活動の中心との近さについての要件のような、特定の規制上の要件も考慮されるべきである。この段階における検討は、入手可能な情報（それまでの調査で得られた地質学的データ、歴史上の地震データ、リモートセンシングデータなど）に大きく左右される。

(b) サイトスクリーニング段階

I. 10. 次の段階では、適切なエリア内でサイトの候補を特定する。社会政治学的な規準など、地域的なマッピングの段階では考慮しなかった要因があった場合には、サイト候補のスクリーニングにおいてそれを含める。例えば、地域的な検討とその後のサイト候補のスクリーニングでは、多数の国内法や規制を考慮することが必要になる（重要な地下水資源、国立公園、史跡など）。一般的に、これらは明確に定義されているため、特別な規制上の決定は不要になる。

サイト調査段階

I. 11. サイト調査段階には、1か所又は複数のサイトが、様々な面から受入れ可能であるかどうか決定するため、特に安全性の見地から、エリア調査段階において特定されたこれらの潜在的なサイトの詳細な研究を含む。サイト固有の予備的な設計の作成に必要な情報は、この段階で入手すべきである。

I. 12. サイト調査段階では、意図される処分施設サイトのパラメータの特性と範囲を決定するためのサイトに固有の情報を得るために、地域的なマッピング段階よりも詳細な研究が要求される。これには、サイトの実地の地質学的、水理地質学的、及び環境上の条件に関する証拠を得るための現地踏査と調査が要求される。これには、地表及び場合によっては地表下（例えばボーリングによる）の実地調査と、それらを補完する実験室での研究が含まれるだろう。交通アクセス、人口統計、及び社会的に考慮すべき事項など、サイトについてのより広い理解及びサイト記述に関するその他のデータについても収集すべきである。サイト調査は、詳細なサイト特性調査の対象とする1箇所又は複数の好ましいサイトを選定するために、より多くの情報を連続的に入手し解釈することなどからなる多くの段階を踏んで進められるかもしれない。

I. 13. 予備的な安全評価は、そのサイトが処分施設として潜在的に適しているかどうかを示すために、比較的早い段階で実施されるべきである。この予備的な安全評価には、予備的なサイト調査の結果と、使用された意思決定プロセスの記述が含まれるべきである。

I. 14. 複数のサイトが考慮されている場合、全ての安全要件についてそれを満たす能力及び処分施設の建設の受入れ可能性についての判定に基づいて、合理的な比較評価が、サイト間で実施されるかもしれない。

I. 15. このサイト調査段階の最後には、一箇所又は複数の好ましいサイトが特定されることになる。予備的な安全評価などからなる全てのデータと解析作業を文書化し、プロセス全体に関する報告書が作成されるべきである。最終的なサイト選定には、社会経済学的及び政治的な考慮に基づく判断も含まれることが予想される。該当する国の機関が指定する環境影響評価をこの段階で実施する場合もある。また、規制機関が結果を検討し、好ましいとされるサイトが処分施設の建設にふさわしいかどうか、計画されているサイト確認研究で認可を受けることができそうかどうかを判断する、ということも予想される。

サイト調査とサイト特性調査のガイダンスと必要とされるデータ

総則

I. 16. サイトに非常に固有で相互に作用する要因とプロセスが支配的になるため、処分施設を受入れる可能性のあるサイトの適性の決定については、一般的なガイダンスだけが提供され得る。特に、社会政治学的な因子は国ごとによる優先付けと状況に大きく依存しているため、詳細な勧告又はガイダンスを本安全指針では提供しない。

I. 17. サイト調査プロセスと様々な側面の関連性は個々のケースで異なるため、本付録で考慮した主題の順序は、これらの優先順位を示しているものではなく、また全体を包括することを意図するものでもない。このため、これらのガイダンスを実施した立地プロセスにおける補助的な規準を作成する際には、長期的な安全性、技術的な実現可能性、社会的、経済的、及び環境に関する事柄を考慮する必要がある。このように作成された規準は、技術的及び制度的事に重要とした事項が実際的手段ではどうなるのかが分かるものとすべきである。

I. 18. ガイダンスは全体的な意思決定プロセスには有用であるが、厳密な前提条件を設定するための使用が、必ずしも意図されているわけではない。処分システムがそれ自体の性能目標を満たしているかどうかを調査するには、天然及び人工的なバリア設備を全体として考慮しなければならない。処分システムの設計で重要なのは柔軟性であり、1つの機器の性能に不確かな事柄があったとき、別の機器の信頼性を高めることでそれを補償できるようにしておくべきである。

I. 19. I. 21 からI. 52 項では、サイト調査及び特性調査から要求されることになる情報の種類の一例を示す。この情報は、安全評価、処分施設設計研究あるいは環境影響評価を支えるために、あるいは選択された処分オプションに対する更なる信頼性を向上させるために利用することができるだろう。定義上、サイト特性調査は、地質学的、水理地質学的、及びその他の科学的調査の結果として、あるサイトの特性が理解され始めると同時に始まる。あるサイトの特性調査は、少なくとも処分施設の建設まで継続することになり、操業段階へと続く場合もある。データの必要性は、要求される詳細さ及び範囲の点で、立地及び建設プロセスの様々な段階によって異なることになる。当初のエリア調査及び予備調査段階においては、データ及び知識は、立地プロセスにおいて考慮されなければならないことになる様々な立地要因に対して評価されることになる。これらの要因の一部又は全部は、選定についての決定及び判断が行われる際の基礎としてもよい特定の規準へと発展させることができるだろう。以下の項は、情報ニーズの完全なセットを特定することが意図されたものでも、特定のいかなる重みづけと関連するものでもない。これらの情報ニーズの関連性及びそれらの適用の決定において、利用可能なオプション、特定のサイト特性及びそれぞれの国の規制条件の考慮がされるべきである。さらに、このガイダンスに特定されている種々の情報は、個別にではなく、サイト選定及び確認の全体的な最適化のために一体的に利用すべきである。

I. 20. 包括的なサイト記述には、地球科学的及び環境的データに加えて、サイト選定についての決定及びサイト確認を支えるための追加的な情報も含まれる。例えば、土地利用、輸送インフラ、及びサイトに対するその他の人的影響の考慮は全て、これに対する役割を持つ。したがって、これらの問題に関する幾つかの幅広いガイダンスも示すこととする。

地質学的な状況

I. 21. 処分施設の地質学的な状況は総合的な特性調査を受けることができるものであり、処分施設の設置と、対象となる期間中における放射性核種の処分施設から地表環境への移動を禁止するために好ましい幾何学的、物理学的、及び化学的な特性を有するべきである。

I. 22. 母岩の深度と大きさは、処分施設を受け入れるのに十分であるべきである。より容易に特性調査でき、特性がより予測できる可能性があるため、比較的単純な地質学的状況にある均一な岩盤地層が好ましい。同様に、主要な構造的特質が少ない、又は性能への影響を容易に評価できる潜在的移行経路を持つ地層も好ましい。一方、調査と特性調査が進むにつれ、最初に想定された環境が実際には複雑であることが判明する場合があることも認識されている。

I. 23. 母岩の力学的特性は、処分施設の安全な建設、操業、及び閉鎖のために、また処分施設周囲の地質学的バリアの長期安定性を確保するために、有利である。発熱性廃棄物の場合、母岩の熱特性及び熱機械的特性も考慮する必要がある。地質学的バリアの処分に対する適性を評価する際に、処分システムにおいてガス発生可能性がある場合は、そのバリアのガス移行特性も考慮すべきである。

I. 24. 地質学的設定を適切なレベルまで理解するためにまとめるべき情報は、次のものを含む：岩盤、堆積物及び土壌の地域的及び局地的構造と層位のデータと、それらの機械的特性及び該当する場合には熱特性を含む化学的、物理学的特性。

将来の自然に起こる変化

I. 25. 母岩は、将来の地球力学的な現象（気候変動、ネオテクトニクス、地震活動、火山活動、ダイアピル活動）に、処分システム全体の閉込めと隔離能力が受容できないほど損なわれる程度まで影響されるべきではない。

I. 26. 氷期のサイクルに代表される気候変動は、海水面の変動、侵食あるいは堆積プロセス及びその速度の変化、間氷期又は周氷期の状態の変化、また地表と地下の水理的バランスの変動など、地球の水圏に根本的な変化をもたらす恐れがある。地震による地面の揺れ、地盤の沈降と隆起、火山活動とダイアピル活動などの地球力学的活動もまた、地殻の状態とプロセスに対して変化をもたらす恐れがある。両タイプの事象は相互に関連している場

合もあり、双方ともサイトの健全性を阻害し、あるいは地下水の流れと経路に変化をもたらすことで、処分システム全体に影響を与える恐れがある。これらの現象の予測可能性とその影響に関する予備的な評価を、立地プロセスの早い時期に必要な期間行うべきである。これらの地球力学的プロセス又は事象によって受容できないほどの放射性核種の放出を引き起こすことがないと考えられる地質的及び地理的環境内に、サイトは設置されるべきである。

I. 27. 地圏の地表における環境変化に対する応答は、深度が深くなるにつれて減少する傾向にある。地圏の安定性に影響する要因が、評価されるべきである。種々の評価を裏付けるために必要な情報は、次のようなものなどからなる。

- (a) 過去の気候（局地的及び地域的）、地域及びより地球規模において予測される将来の長期的トレンド
- (b) 過去の地殻変動の履歴と、局地的及び地域的規模の地質学的環境の枠組み、過去の地震活動
- (c) 隆起、沈降、傾動、褶曲、及び断層など、活動性の（第四紀及びおそらく第三紀後半における）ネオテクトニクスプロセスの証拠
- (d) 地質学的状況の中における断層の存在（例えば、その位置、長さ、深さ、最も新しく活動した年代に関する情報）
- (e) 原位置の地域的な応力場
- (f) 地震構造を基礎とした、サイトで発生し得る地震の特性及びその最大強度の推定
- (g) 地温勾配の推定と温泉の存在に関する証拠
- (h) 活火山活動（第四紀及びおそらく第三紀後半における）の証拠
- (i) ダイアピル活動の証拠
- (j) 古水理学

これらの情報をエリア調査の段階で得ることは難しいかもしれない。しかし、サイト調査、特性調査、及び確認におけるプログラムにおいては、これらの情報を収集すべきである。

水理地質

I. 28. 水理地質学的特性と地質環境の状況は、処分施設内の地下水の流れを制限して、廃棄物を必要な期間安全に閉込め及び隔離することを、支えるべきである。処分施設環境から移動する恐れのある放射性核種が、連続性が限られていることにより遅延され、あるいは

は地圏内で分散されて、地表での濃度を低下させることにつながる十分な移動期間となるという信頼が得られるよう、地下水系を十分に理解すべきである。

I. 29. 放射性核種の放出は地下水の流れによることが最も多いため、地下水の流れの方向と流量の解析のようなその移動メカニズムの評価は、どのようなサイトでも重要な入力情報となる。廃棄物あるいは処分方法の性質に関係なく、処分施設への、処分施設を通過する、あるいは処分施設からの水の流れを制限できる地質環境は、放射性核種の放出が受容できなくなることを回避するのに役立つ。帯水層や破碎帯などの天然の特質は、放射性核種の放出経路となり得る。地質学的及び人工的バリアシステムの防護機能が両立できるよう、処分施設の母岩内ではこのような経路が制限されるべきである。水理地質学的構造が持つ希釈能力も重要であり、評価されるべきである。処分施設から環境に流れる地下水の経路を長くゆっくりとしたものとするなどの方法で、立地が最適化されるべきである。

I. 30. 放射性廃棄物の処分の過程によってもたらされる可能性のある水理地質への影響（例えば、熱影響、放射線影響、掘削による透水性の増加）は、考慮されるべきである。

I. 31. 水理地質学上で必要とされるデータにはで次のようなものがある。

- (a) 局地的、地域的な地質単位、水理地質学的评价及び帯水層と難透水層の十分に詳細な特性調査と特定
- (b) 地域内の重要な水理地質単位の特定と特性調査（例えば、それらの位置、大きさ、相互関係等）
- (c) 主要な局地的、地域的水理地質単位の内側への及び外側への、涵養と放出（その位置及び水収支）
- (d) 母岩の水理地質特性（例えば、間隙率、透水係数、水頭の勾配などの分布）
- (e) 地質環境内の全ての水理地質単位における地下水の流れ（平均流量と支配的な流向）
- (f) 地質環境内の地下水と母岩の物理的、化学的特性
- (g) サイトの状態の進展に関する、古水理地質学的な調査

地球化学

I. 32. 地質学的及び水理地質学的環境の、物理化学的及び地球化学的特性は、処分施設から接近可能な環境への放射性核種の放出を制限する、あるいは少なくともそれらの移動を抑制することに役立つものであるべきである。

I. 33. 長寿命放射性核種に適した地球化学的特性及び良好な遅延特性を有する、母岩及びその周囲の地質環境を選定することは、地層処分には特に重要である。割れ目及び間隙を通じて地下水が移動する地層では、岩盤マトリクス内と割れ目表面上において鉱物によってもたらされる遅延が、処分システムの長期的な性能を支えるために重要となる。放射性核種の移行の速度と量を決める地球化学的な保持又は遅延プロセスには、拡散、沈殿、収着、イオン交換、及び化学的相互作用などがある。地下水による放射性コロイドの運搬能力が大きい場合もあり、これも考慮すべきである。生物地球化学も特定のサイトでは大きな意味を持ち得る要因の一つである。

I. 34. 接近可能な環境へ放射性核種が移行する可能性を評価する際に必要な情報には、母岩と周囲の、地質学的及び水理地質学的単位、またそれらにおける流動系、地球化学的及び水理地質学的な状態の説明が含まれるべきである。この情報は次の事柄などであるべきである。

- (a) 地質媒体の、鉱物学的及び記載岩石学的組成と、それらの地球化学的特性
- (b) 地下水の化学的特性

I. 35. 廃棄物フォーム、容器、埋戻し材、及び処分施設環境間の、化学的及び物理化学的な相互作用の範囲を評価すべきである。キャニスタの腐食と廃棄物からの放射性核種の浸出、及び岩盤・水・キャニスタ間の相互作用による放射性核種の接近可能な環境への移動を、調査するために、次の事柄に関する情報を収集すべきである。

- (a) 岩石（割れ目充填物を含む）の化学的、放射化学的、及び鉱物学的な組成
- (b) 重要な放射性核種のイオン種に対する鉱物と岩石の収着能
- (c) 地下水の、放射性核種含有量、及びpHとEhなどの化学組成
- (d) 放射線と壊変熱による、岩石と地下水化学への影響
- (e) 有機物、コロイド、及び微生物学的な物質の影響

- (f) 岩石の、空隙構造と鉱物表面の特性（亀裂を含む）
- (g) 岩石内における核種の実効拡散係数
- (h) 放射性核種の溶解度と分種

人の活動の結果として生じる事象

I. 36. 処分施設の立地は、サイト内又はその周辺における、実際の及び潜在的な人の活動を考慮して実施されるべきである。このような活動が、処分システムの閉込めと隔離能力に影響し、受容できない結果をもたらす可能性は、最小限にすべきである。

I. 37. 処分施設に使用する母岩に対する評価では、資源開発又は保存用空洞の建設など、その母岩を用いる価値のある又は潜在的に価値のある他の用途について考慮すべきである。例えばガス、石油、又は貴重な鉱物が存在する可能性がある場合や、地熱エネルギーが大きい可能性がある場合には、これらを考慮して地層処分システムへの人間の立入りを最小限にするようにすべきである。そのような利用のために母岩が調査される可能性が最も低い地域にあるサイトを、優先すべきである。

I. 38. 安全に対して影響を与えるかもしれないので、母岩とそれに水理学的に連続している又は連続している可能性のある周囲の岩盤中の既存のボーリング孔や掘削空洞を特定すべきである。このようなケースでは、ボーリング孔やその他の構造物は、放射性核種の潜在的な移行経路となり得るため、閉塞されるべきである。

I. 39. 既存又は計画中の表層水の貯水池に不具合が生じた場合に処分施設内への出水を起こし得る地表の特性を、慎重に考慮し評価すべきである。地域的な解析では、出水の影響の大きさに基づいてサイト候補を選定することができる。斜面の近くに施設を建設する場合には、森林伐採などの人の活動から生じる恐れのある斜面の不具合や岩崩れを、想定して評価すべきである。

I. 40. 実際の及び潜在的な人間の活動が、処分システムにどのように影響するかを評価するために必要な情報には、次の事柄などがある。

- (a) サイト近隣の、過去及び現在の、ボーリング孔及び鉱山活動の記録
- (b) サイト周辺地域の、エネルギー及び鉱物資源の存在についての情報
- (c) サイトにおける表流水及び地下水の将来における、実際のまた潜在的な使用についての評価
- (d) 既存の及び計画中の、表流水の水域の位置

建設及び工学技術的条件

I. 41. サイトの地表及び地下の特性は、最適化された計画における地上施設、地下作業を可能とし、全ての掘削坑を適用される安全規則に準拠して建設可能とするものであるべきである。

I. 42. 地下構造物の建設に対する国の規制に準拠した上で、同時に進行する建設と廃棄物の定置が互いに干渉しないことを確実にできるように、建設又は掘削の全体戦略が準備され、地下作業の進展に適用されるべきである。掘削作業は、処分施設から生物圏への受容できない優先経路ができるような変化を周囲の岩盤にもたらさないような方法で実施すべきである。立坑掘削、トンネルの掘削、及び掘削する空間から出される残土については、提案されている処分システムの埋戻しに利用できないか、などの観点で評価することができる。これが不可能な場合、自然環境を良くするために、景観用に、残土を用いることに考慮が払われるべきである。建設活動のための骨材や水の適切な産地が近接しているかどうかとも考慮されるかもしれない。

I. 43. 建設及び工学技術条件の評価のため必要なデータは次の事柄などからなる。

- (a) 母岩とそれに上載する地層に関する、詳細な地質学的及び水理地質学的データ
- (b) サイトとその周辺地域の地形
- (c) その地域の過去の洪水の履歴
- (d) 地滑りの恐れがある地域、潜在的に不安定な斜面、耐荷重が低い又は液状化しやすい材質の特定

- (e) 掘削中に潜在的に起こり得る悪条件（高温の岩石、高濃度ガス、強度比に対する高い岩盤応力、既存のせん断帯）
- (f) その地域の過去の地震の履歴
- (g) 母岩の地質工学的及び熱的特性

環境の防護

I. 44. サイトを設置する際には、技術的、経済的、社会的、及び環境に関する因子を考慮して、環境の質が適切に防護され、潜在的な悪影響が受容可能な程度にまで緩和できるようにすべきである。

I. 45. 地層処分施設は、他の主要な産業施設と同様に、環境の防護と保全に関する要件と、放射線に関連しないその他の適用規則に準拠しなければならない。地層処分システムが環境に与える恐れのある悪影響には、次のようなものなどからなる可能性がある。

- (a) 予定エリアにおける掘削、その他の産業活動による環境の悪化。このような環境悪化には、騒音、視覚的效果や、残土からの浸出水などの物理的影響も含まれることがある。
- (b) 公共性の高い地域への影響
- (c) 公共上水道の悪化
- (d) 動植物、特に絶滅の危機に瀕している種への影響

I. 46. 環境への潜在的影響を評価するための情報の種類は、環境影響評価に必要とされるデータに関連するものであり、次の事柄についての考慮を含むべきである。

- (a) 国立公園、野生生物エリア、科学的、又は文化的に特別な地域、及び歴史的な地域
- (b) 既存の表流水と地下水資源
- (c) 既存の陸生及び水生の動植物

土地の利用状況

I. 47. 適切なサイトの選定では、土地の利用状況と所有権について、予定エリアにおける将来可能性のある開発と地域的計画に関連付けて考慮すべきである。ほとんどの国で、そ

の土地に対する管轄権あるいは所有権は、経済及び住民による受入れに関連する重要な因子となる。提案された施設の操業者又は政府が現在その土地を所有している場合には、サイト計画の策定や評価作業が容易になり、土地の転用に関連する問題も少なくなり得る。立地の目的で収集する情報には、土地に存在する資源とその管轄権、予定地域の土地利用計画などがある。

廃棄物輸送

I. 48. 立地の目的では、以下に関する情報を集めるべきである。(a)代替となる輸送方法と廃棄物の移動を支えるインフラ、(b)輸送の代替ルート、及び(c)輸送ルート沿線の人口密度

I. 49. 地層処分施設への放射性廃棄物の輸送は、電離放射線による公衆の被ばくの可能性を伴う。被ばくの可能性は、廃棄物の輸送距離が長くなるにつれて増大する。また処分施設への廃棄物の輸送についての考慮は、処分施設を設置する場所に関する公衆の受入れを得る際の因子となる。

I. 50. 場合によっては、新たなアクセスルートが建設される、又は既存のルートが改良される必要が生じることもある。険しい斜面や天然の障害が存在するなど、地形の状況が不適切である場合には、アクセスルートの建設が困難になり費用も高くなる。このような理由から、より短い輸送距離であり、追加の建設作業量が限られたものであり、アクセスルート上に困難な地形がないサイトを優先するとよい。しかし、新たな道路又は他の輸送インフラを建設すること、例えば居住地帯又は影響を受けやすい地帯を回避することは、それが全部であれ一部であれ、操業者が輸送網を最適化することあるいは地域社会の輸送網の形成を支援することを可能にするかもしれない。

社会的影響

I. 51. 建設作業と、廃棄物容器の取扱い、除染及び再パッケージ化などの、必要に応じて地上で行われる作業は、他の大規模な産業活動と同じように、人口密度の高いエリアで実施されるべきではない。その一方でサイトは、建設作業と操業スタッフなどのプロジェクトに関連する人口の変動を吸収できて、住宅、宿舎、食堂、支援サービス産業、市民文化施設など、必要なサービス需要を満たせる場所に設置すべきである。一般的にサイトとし

て優先されるのは人口密度の高いエリアから離れた場所であるが、予測されるインフラの変化を吸収でき労働力が得られる場所であるべきである。

I. 52. サイトでの処分システム開発による社会的影響を評価するには、次の事柄に関するデータなどからなる情報を収集すべきである。

- (a) 人口の構成、密度、分布、及びそれらのトレンド
- (b) 経済部門の雇用分布とそれらのトレンド
- (c) レクリエーション施設を含むコミュニティのサービスとインフラ
- (d) 住宅の需給
- (e) 地域の基幹産業とその予測
- (f) 地域の基幹農業とその予測

付録II

閉鎖後の安全評価

はじめに

II. 1. 安全評価は、処分システムの性能を評価するものであり、その主要な目的として、人の健康と環境への潜在的な放射線による影響を評価する手順である。処分施設の閉鎖後の潜在的な放射線による影響は、バリアの劣化などにより徐々に発生するプロセスや、廃棄物の閉込め及び隔離に影響するような離散的に発生する事象から起こる場合がある。能動的な制度的管理が完全に有効であると考えられる間は、意図しない人の侵入の潜在性は無視できるが、その後において増大する恐れがある。処分施設を技術的に受け入れられるかどうかは、廃棄物のインベントリ、処分施設の工学技術特質及びサイトの適性により大きく左右される。これは様々な安全評価に基づいて判断されるべきであり、その安全評価では、その処分施設が、設計目的、性能規準、及び規制上の規準を満たすことが、合理的に保証されるべきである。これらの内容は安全要件[1]に示されており、本安全指針で更に記載する。この付録で示す概念の多くは、放射性廃棄物の浅地中処分のための安全評価に対する安全指針から導き出されている[28]。浅地中処分と深地層処分では明らかな相違点があるが、安全評価を策定するための原則の多くは似通っている。例えば、「浅地中処分のための安全評価手法に関するIAEA調整研究プログラム」において記載される安全評価アプローチの要素の多くが、地層処分プログラムにほとんど修正されないで採用されている[29, 30]。

II. 2. この付録では処分施設の安全を評価するに当たって考慮すべき重要な事柄をまとめ、閉鎖後安全評価を実施する際に従うべき段階の推奨を示す。地層処分施設における操業活動については、閉鎖後の安全に対するそれらの潜在的な影響という観点のみから議論する。放射性廃棄物の中には潜在的に危険な非放射性成分が含まれる場合があるが、この付録では廃棄物に関連する放射線学的危険性のみを考慮する。しかしながら、環境への放射性物質の放出の安全評価を実施するための情報のほとんどは、多くの種類の非放射性汚染物質の放出にも適用可能になる。

安全評価のために考慮すべき一般的事項

安全上の課題

II. 3. 地層処分施設の閉鎖後の段階において安全上で重要な点は、遠い将来までの長期間にわたる放射線被ばくと環境影響の可能性である。影響の中には、例えば、放射性核種が地下水へ徐々に浸出し、環境媒体を通してその後移行し、さらに人へ移動することによって発生すると仮定されるものもある。このような評価では、数千年単位、あるいは更に長期にわたるサイトと施設のふるまいを予測する必要がある場合もある。このため閉鎖後の評価では、大地震や気候変動など、極まれにしか発生しないが（数千年に1度など）発生した場合には大きな影響をもたらす恐れのある特定の事象も考慮すべきである。閉鎖後の安全評価の目的は、処分システムの将来の性能を何らかの特定の方法で予測することではなく、処分システムが十分なレベルの安全性を提供するということに対する合理的な保証を得ることである。

II. 4. 処分施設の安全評価で重要なのは、モデリング結果の信頼性が得られるものであるようにすることである。処分施設の概念モデルは、一般的特質の提示と、それらの詳細な特性という観点から描かれる。最も重要な特質の中には、経路と呼ばれる放射性核種が移行する可能性のある経路の相対的な重要度を特定する特質も含まれる。処分施設の長期的な性能特性を表すのに使用される特質、事象、及びプロセスの特定のセットを描写したものを、シナリオと呼ぶ。シナリオには、徐々に進行するプロセス（廃棄物パッケージの腐食、放射性核種の地下水による移動など）と離散的事象（地震活動による廃棄物パッケージの破壊など）がある。処分施設の安全評価は頑健性があるものであるべき、つまり不確かな要素が受入れられるべきである。処分施設の受入れに役立つその他の理由付けと考慮事項を考慮しながら、不確かな要素の特定を含む評価結果は、設計目標及び規制上の規準と比較されるべきである。

安全評価の利用

II. 5. 安全評価は、処分施設開発の異なる段階において異なる目的を果たす。初期の段階では、主要な処分概念の実現可能性を判断するため、サイト調査を導くため、また初期の意思決定を支えるために安全評価を使用すべきである。初期の概念開発とサイト選定に続く段階では、安全評価の利用は更に重要となる。このためこの段階での評価は、代替とな

る、廃棄物パッケージの設計や閉鎖方法といった様々な事項について比較評価を実施して、システムの最適化と施設設計を支えることができるように準備すべきである。安全評価は、処分施設の計画、建設、操業から、閉鎖前までの期間にわたって定期的に実施され、セーフティケースの開発とその漸進的な更新に使用されるべきである。閉鎖後セーフティケースとは、処分施設が閉鎖後も、また同施設の能動的な管理が信頼できる期間を過ぎても安全であるという主張を定量化し立証する証拠、解析結果、及び論拠を集約したものである（第5章及び[11]参照）。

II. 6. 安全評価の完全性と頑健性も、廃棄物の特性調査、サイトでの特性調査、廃棄物パッケージの性能、その他の人工バリアの機能と性能に関連する全ての適切な情報の範囲と質によって左右される。安全評価は必要な研究開発作業を特定し優先順位を決定する貴重な手段であるので、安全評価とそれを支えるデータ収集プログラムは、密接に調整されることが必要である。

II. 7. 安全評価の基本的な機能は、許認可申請と承認プロセスにある。これには放射線学的側面と、環境に関する側面の双方が含まれる。このような規制上の目的のための安全評価は、処分施設の建設、操業、及び閉鎖などからなる許認可プロセスの中の様々な段階で、また処分施設の状態に大きな変化が生じた場合にはいつでも、必要となることがある。このため安全評価は、適切なモデルとデータを使用して、処分施設の開発における全ての適切な段階を通して実行され、更新されるべきである。

II. 8. 安全評価の結果は、受入れ可能なインベントリレベルを確認するための重要な手段であり、処分施設の廃棄物受入れ要件の策定に1つの方法を提供するものである。受入れ可能な廃棄物フォームとパッケージは、放射性核種の環境への放出と、環境経路を通じた環境への移動のシナリオの解析によることが多い。地層処分は大量の長寿命放射性核種の処分に焦点を当てるものであるが、廃棄物の中には大量の高放射能の短寿命放射性核種が存在することがしばしばあり、閉鎖後の発熱に関する安全に懸念を生じさせることもある。また、安全評価は、人工バリアの劣化あるいは放射性核種の溶解度を高めることにつながる廃棄物内の化学物質のレベルを見極める際にも利用すべきである。

II. 9. 安全評価とそれに関連する許認可条件は、処分施設に対する原則となる管理と要件の多くの部分を決定づける。例えば処分施設への廃棄物受入れ要件の作成では、個々のパッケージ及び施設全体について、廃棄物パッケージの要件を決定するために、安全評価が利用され得る。また、潜在的な被ばく経路の評価や、サイト及び周辺エリアの環境モニタリングプログラムの策定と検討にも、安全評価を利用すべきである。安全評価は、処分

施設に実際に使用される又は提案されている設計に基づくべきである。この設計には閉鎖計画も含まれる。

安全評価のガイダンス

総則

II. 10. 安全評価には、サイト特性調査の結果、廃棄物の特性、設計データ、及び数学的モデリングに応じて、質的及び量的双方の論拠を示すことが要求される。評価の結果からは、処分施設の開発を通して行われる決定に必要な入力情報が得られる。安全評価の結果に対する信頼が得られるようにするため、安全評価でベースとする仮定と判断は頑健である必要があり、また広範囲の利害関係者と容易にコミュニケーションできるものである必要がある。

II. 11. 安全評価プロセスは、（規制上の要件を満たす可能性という点において）提案された概念モデルが確固たるものかどうかを判断するための、また、今後更に理解する必要のある関連する放射性核種、経路、及び放出メカニズムに焦点を定めるための見通しを得るために行われる計算を含む。見通しを得るための計算は、ナチュラルアナログに関する論文の検索、材料の仕様、実験室での研究とナチュラルアナログの研究、またサイトと廃棄物の特性に関する予備的な調査から得られたデータなど、限られたデータに基づくことが多い。データの獲得は、処分施設が受け入れられるまで、あるいは検討された概念が受け入れられないと決定されるまで、段階ごとのプロセスを通して継続される。

II. 12. 安全評価のプロセスでは適切なシナリオが特定されるべきである[16, 31]。処分施設の評価に関するそれぞれのシナリオが適切かどうかを判断する際には、支える研究やデータの追加収集が必要となることがあり、また安全評価プロセスを更に繰り返し実施することが要求される場合もある。また、このような研究や解析は、放射性核種の放出と移動につながる事象や現象を定量化する試みにおいて、不確かな事項の削減に役立つこともある。安全評価が頑健なもの、つまり例えば明確に特定された保守的な仮定に基づいて、規制機関に確固たるものであると承認された場合であっても、長期予測には必ず不確かさが伴う。

安全評価の反復アプローチ

II. 13. 安全評価の反復アプローチの概要を図3に示す。このアプローチでは、次の活動を繰り返し、及び／又は重複して行う：

- (a) 評価の目的、安全要件、及び性能規準の定義づけ
- (b) 廃棄物フォーム、サイト特性、及び人工構造物などからなる、処分システムに関する情報の、収集と記述
- (c) 長期的性能に影響を与える恐れのある特質、事象、及びプロセス
- (d) システムとその構成要素の挙動に関する、概念モデル及び数学モデルの、開発と試験
- (e) 適切なシナリオの特定と記述
- (f) 処分施設から人及び環境への、放射性核種の移動につながる恐れのある経路の特定
- (g) 概念モデル及び数学モデルによる、評価の実施
- (h) 評価の頑健性の吟味
- (i) 評価結果と指定された安全要件との比較
- (j) 追加的な考慮事項

II. 14. システムの特性調査と経路の記述には、現地又は実験室での実験によって適切なデータを得ることが必要となる。シナリオの解析では、処分施設からの放射性核種の放出のきっかけとなり、あるいはその放出を強め、人の被ばくにつながる恐れのある現象を特定し定義することが求められる。安全評価の反復プロセスを通して、処分施設の安全性にとって重要であると特定されたパラメータに着目した追加データの収集が必要となることもある。

目的の定義付け

II. 15. 安全評価は、処分施設の開発において中心的な役割を果たし、複数の目的で利用される場合がある。このような様々な使用目的においては、異なるデータの必要性が含まれ詳細さのレベルが異なる解析が要求され、あるいは技術専門家や専門家でない人々といった異なる利害関係者に結果を提示する場合があるため、安全評価の目的は特定の用途に応じて明確に定義すべきである。

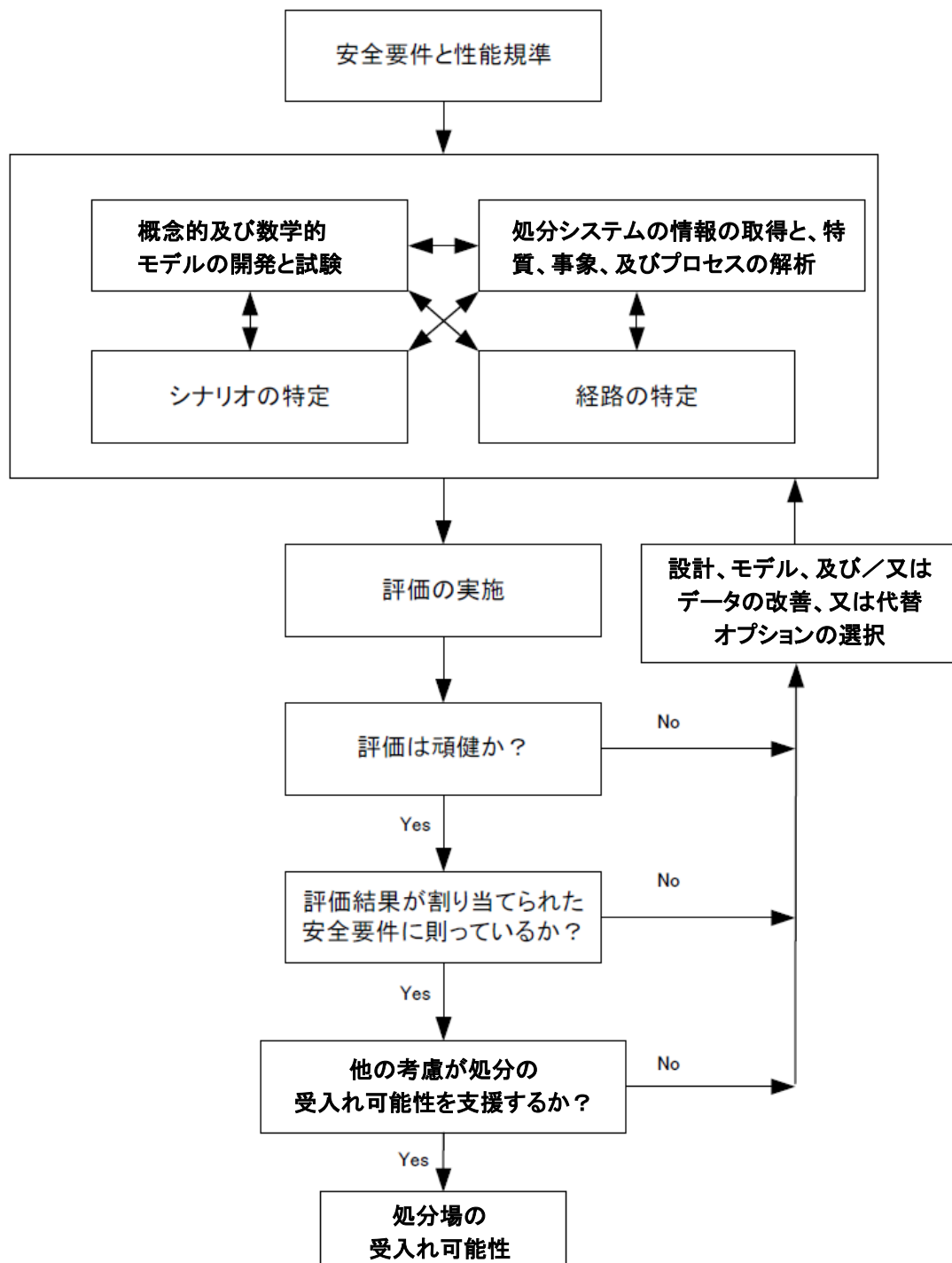


図3： 安全評価の反復アプローチの例

II. 16. 評価の1つの出力情報は、予定されているシステム性能と確立された規準を比較するために用いられる数値結果で構成される。ここでは、全ての重要な特質、事象、及びプロセスを適切に特定し、それらを適切なデータに基づいて徹底的に試験することが必要となる。処分システムの挙動、及びそれと環境との相互作用を理解する際には、一連のモデルが開発されることが役に立つ。定量的評価では、コンピュータコードの使用によって支えられる数学的モデリングが必要となる。多くのモデルは、そのモデルの開発目的に応じた程度まで単純化される。目的によっては、必ずしも最も複雑で詳細なモデルが最良のモデルとはならないため、あるモデルをどの程度まで複雑にするかについては慎重に考慮すべきである。

安全評価のためのデータ要件

II. 17. 必要なデータの量と品質は、評価の目的によって異なる。予備的な評価の場合、おそらく、すぐに入手できるデータを使用した単純なモデルのみが必要となる。通常その結果は、その後の研究の指針として使用されるのみである。この場合には、結果に関する不確かさについては限定的な評価のみが必要とされる。処分施設の設計の最終決定と許認可を求める段階では、サイト、設計、及び廃棄物特性を説明する十分かつ品質保証されたデータに基づく評価によって、申請を支えるものとすべきである。この過程においては、可能な限り早い時点でデータが収集できるようなマネジメントシステムを確立すべき（またこれに従うべき）であるが、処分施設の設計と見通しを得るための計算の初期の段階では、同様の量と質のデータを必要としない場合もあることが認識されている。操業者は、費用対効果の高い方法で目的が達成されるよう、データ収集プログラムを慎重に計画すべきである。

II. 18. 幾つかのソースからのデータが必要となるが、それらデータの詳細さと不確かさのレベルは安全評価の特定の目的によって異なる。通常必要となるのは、次の事柄に関するデータである。

- (a) 廃棄物の特性（時間の関数としての放射性核種の組成、物理的、化学的及び熱的特性、処分条件下における物質移動パラメータ）
- (b) 容器の特性（処分条件下における機械的及び化学的性能）

- (c) 処分施設の特性（寸法、埋戻し／緩衝材、構造材、工学的な特質）
- (d) サイトの特性（地質学的、水理地質学的、地球化学的・気候条件）
- (e) 生物圏の特性（自然環境、大気の状態、水の状態）
- (f) 人口統計学的及び社会経済学的な特性（土地の利用状況、食習慣、人口分布）

II. 19. 初期の見通しを得るための及びスクリーニングのためのデータの必要性は、通常の場合、論文の検索や材料仕様の収集、また非常に限定的なサイト又は設計の特定の調査を通じて満たされる。これらのデータは、予備的な解析の実施、予備的な設計の作成に利用することができる。処分施設の初期の概念モデルは、これらのデータに基づいて開発される。システムが適切に動作するための潜在的な能力をチェックするために、この段階で予備的な安全評価を実施してもよい。この段階での安全評価では、詳細さのレベルが限られた僅かな量のデータしか利用できないのが普通であるため、単純なモデルが適切となる。

II. 20. データ収集活動は、概念的設計、現時点でのサイトに関する知識と、処分施設の予備的な安全評価の結果に基づいて定義され必要とされたデータを対象にして実施すべきである。予備的な設計、サイト特性に関する利用可能なデータ、及び予備的な評価に基づいて、安全性が規制上の要件を満たしていることを保証するベースを提供する際に必要となる詳細データの量を判断する作業が、開始可能となるべきである。データ収集プログラムでは、安全評価とサイト特性データの収集との直接的な関連性を確立すべきである。例えば、地下水の移動予測において割れ目が一定の役割を果たしている場合、透過度、連続性及び方向性など、その割れ目系に関する適切な詳細データが必要となる。

操業前モニタリングデータ

II. 21. 周辺環境条件は、操業中の性能を測るため、またあらゆるモニタリングプログラムのためのベースラインとしてサイト毎に定められるべきである。バックグラウンドの測定は、通常、放射性核種やその他の「指標」パラメータに関して実施される。これらには、地表と地表下の水理学的特性、又は地下水の化学特性に関連するデータなどがある。操業前のモニタリングデータは、モデルをテストする際のベンチマークとして用いることができる。

II. 22. 経時的に変化することが予想されるサイトパラメータ、例えば安全評価に使用する水理学的流動モデルや大気移動モデルを校正する際に使用するパラメータは、変動を評価できるよう定期的に測定すべきである。パラメータによっては、変動範囲の著しい値を

評価することが重要になることがある。地層処分施設には長い期間が関わるため、適切である場合にはこの期間全体にわたって時間と共に変動するパラメータの測定を継続して、利用できる情報の信頼性を高められるよう計画を立てるべきである。

操業時及び閉鎖後のモニタリングデータ

II. 23. 操業時のモニタリングデータは、予測又は仮定された条件と相違を示す場合がある。この相違の理由を特定して、システムの理解向上に利用すべきである。予測された条件との相違が大きい場合には、新しい安全評価を実施して規制基準への適合が有効であるかどうかを確認する必要があるかもしれない。

II. 24. 閉鎖後にモニタリングを実施する場合、そのモニタリングは、受容できない放射性核種の影響がないことを検証するため、また、処分システムのバリアの働きを確認する追加的保証を提供するために使用すべきである。例えば、地下水の化学特性のモニタリングが、廃棄物パッケージの腐食の速度を裏付けるために実施されてもよい。しかし、処分施設の開発には長い時間がかかり、その間にシステムの挙動を確認するためのデータが収集され、また生物圏への将来の放出には非常に長い時間枠（数千年以上など）が予測されるため、一般に国のプログラムでは、確認データを得るために閉鎖後のモニタリングデータを利用するという計画はない。

システムの定義

II. 25. 処分施設の安全評価は、システム定義に対する学際的な手法と、処分システムの性能に影響する恐れのある事象とプロセスの可能なセットの系統的解析に基づく[16]。処分施設の記述には廃棄物の特性、処分施設の設計、及びサイトの特性に関する情報が必要であり、この記述は廃棄物処分システムの概念モデル、その設備の考え得る挙動のシナリオ、及び潜在的放射性核種の移行経路の評価を開発する際の基盤を構成する。

概念モデルの開発

II. 26. 概念モデル開発の最終目標は、処分システム全体の挙動を判断できるようにする枠組みを提供することである。できれば、そのモデルは、システムとその要素の挙動を記述する数学モデルを開発して、そのシステムの長期的な性能評価ができるくらい詳細なものであるべきである。安全評価は繰り返し実施され、最終的に許認可決定につながるものであるので、要求される詳細さのレベルは、様々な段階によって異なる。モデルは可能な限り単純であるべきであるが、安全要件の準拠を確保するという目的に対して、システムの挙動を適切に表せるほど十分に詳細であるべきである。

II. 27. 概念モデルの開発には、次の段階が含まれるべきである。

(a) *インベントリ、廃棄物フォーム及びパッケージに関連する廃棄物の特定と特性調査*

この情報は、放射性核種の放出、つまりソースターム条件を適切にモデル化できるほど十分に詳細であるべきである。最低でも、放出速度が一定あるいは毎年一定の割合で放出されると仮定するなどしたような、単純な放出モデルが正当化されるベースとしての情報を提供すべきである。ソースターム条件の概念モデルは、廃棄物と処分施設に関して得られる情報が多くなるに従って、反復により精度を高めることができる。

(b) *地質学、水理地質学、地球化学、テクトニクス及び地震学、火山活動、地表のプロセス、気象学、生態学、また局地的な人口分布と住民の社会的及び経済的慣行など、必要なパラメータによる処分サイトの特性調査*

このサイト情報は、経路と受容者の定義の際に必要となり、したがってサイトの概念的、物理的、化学的及び生物学的モデルの開発に必要となる。

(c) *施設設計仕様*

評価の開始前に、使用する材料とシステムの構成要素に関する設計を決定すべきである。設計を変更する場合、それが安全評価に基づく変更かそうでないかに拘わらず、安全評価の更新も必要となることがある。

(d) *増大したサイトに関する知識。*

一つ以上の適切な代替概念モデルが存在し、それを考慮する必要があることが分かる場合もある。代替モデルが考慮された場合にはその理由を明確に文書化し、適切である場合には安全評価でその理由を特定すべきである。

数学モデルの開発

II. 28. 概念モデルから数学モデルが開発される段階は、概念モデルが計算モデルの数式によって定量的に表現されるようになるため、重要な段階である。このようなモデルを開発するのに使用する一般的な手順は、広く受け入れられている予測的な数学モデルであり、詳細さと複雑さのレベルがモデルによって異なるが、重要な領域について開発されたものである。これらのモデルを使用して、個々のプロセスとサブシステム、そして全体的なシステム性能を説明すべきである。概念モデルから数学モデルへの移行、また最終的に計算技術を用いた実施への移行の際には、単純化、近似、バイアス、モデルの仮定、又は使用する数学手法によって誤差が入り込むことがある。このため、性能調査で使用されるモデルの試験と更新は、それらのモデルの出力情報と経験から得られたデータの比較に基づいてのみ実施するのではなく、それらモデルの開発過程におけるピアレビュー、コード間の比較、他の性能評価との比較、概念モデル及び数値モデルの特定の面を試験するために実施する実験、また、解析解が存在するケースとの比較にも基づいて実施すべきである。

特質、事象及びプロセスの解析

II. 29. 実際と潜在的な、特質、事象、及びプロセスの系統的な検討は、処分施設の長期的な安全性に影響する恐れのある要因を特定するために使用されるべきであり、このため適切な安全評価モデルの開発に役立つものである[15]。安全評価モデルは、シナリオ解析により、又はパラメータ空間サンプリングなどの代替手法によって作成できる。

II. 30. 数多くの現象の中でどれが安全評価に関連しているかを特定するには、第一段階としてチェックリストを作成すべきである。最近、OECD/NEAの作業グループにより、特質、事象、及びプロセスに関する情報が国際的なレベルでまとめられた[16]。適切なシナリオのリストを作成する際には、天然起源のプロセスと事象、また、廃棄物自体又は処分施設の特質に帰されるプロセスを考慮すべきである。

シナリオ解析

II. 31. シナリオは、環境と処分施設の特性により異なり、また、廃棄物からの放射性核種の最初の放出の原因又はその後の状態に影響する可能性のある事象とプロセス、人と環境に放射性核種を移行させる可能性のある事象とプロセスによっても異なる。適切なシナ

リオとそれに関連する概念モデルの選択には、処分施設のその後の解析に大きな影響を与える可能性があるため、操業者と規制機関の双方が特別な注意を払うべきである。国によっては規制機関がシナリオを指定するが、この場合でも操業者が別のシナリオの考慮を希望することがある。また別の国では、操業者がシナリオを選び、そのシナリオの選択が正しいことを規制機関に示すことが要求されることもある。

II. 32. 通常進展シナリオは、現在の条件を将来に延長することを基として、時間の経過とともに発生すると予想される変化を組み入れるのが普通である。起こり得る変化には一定の範囲がある場合があるため、一連の通常進展シナリオについては、予想される処分施設の変化の合理的な基盤を提供できるよう作成すべきである。発生の恐れが比較的低い事象はシステムに大きな不安を与え、代替シナリオの作成が必要となることがある。これらのシナリオの中には、同じモデルを使用し、パラメータだけを変更することで取り扱うことができるものもある。これ以外のシナリオでは新しいモデルが必要となることがある。おそらく意図される設計は通常進展シナリオに基づくものになるが、より起こりにくい別のシナリオに基づく評価の結果を説明するために、改良が必要となるかもしれない。

II. 33. シナリオの範囲は、システムを可能な限り完全に理解できるように考慮され、文書化されるべきである。ただし幾つかのオプションがある場合には、詳細評価のために、発生の可能性が最も高いシナリオ、あるいは発生の可能性が比較的低い大きな影響をもたらしかねないシナリオを選ぶべきである。詳細評価のためのシナリオ選定は、安全評価の文書化において明確に正当化されるべきであり、適切である場合にはそれを支える証拠を示すべきである。この選定は、大規模な評価作業の効果的な利用を保証するため、また処分施設の設計が人の健康と環境を防護する方法で行われていることを確実にするために実施される。

II. 34. シナリオを作成することで、処分施設の性能に関連する重要な条件及び現象が、安全評価の中で系統的に着目されるようにすべきである。専門家の判断、フォールトツリー及びイベントツリーの解析、プロセス影響図や、その他の手法を利用して、重要なシナリオに着目することが可能である[29]。プロセス、実行する判定及び考慮すべき要因は文書化すべきである。

経路の特定

II. 35. 擾乱のない（通常の）状態と擾乱のある（異常な）状態の双方において、放射性核種が処分施設から環境に放出される重要な経路は、潜在的経路の包括的なセットから特

定すべきである。経験から、処分施設の擾乱のない性能にとって重要となり得る経路は僅かしかない、ということが分かっている。これらの経路に含まれるのは、地下水移行、土壌、陸生植物、陸生動物、表流水、水生動物、及び気体経路である。擾乱された性能（例えば人間侵入シナリオ）の場合には、これらの経路以外にも沈着した放射性物質と直接被ばくが重要な経路となる。

結果解析

モデル計算

II. 36. 安全評価プロセスにおいて全ての適切なシナリオと人への経路が特定されたら、次の段階は結果解析である。結果解析では、移動モデル、被ばくモデルを作成、適用して、処分施設からの放出による人と環境への潜在的影響を評価することである。

II. 37. 人への選定した環境内経路を通した放射性核種の潜在的な放出と移動をモデル化するには、モジュラシステムの使用が非常に有用となる場合がある。これにより、検査において個々のサブモデルが利用できるようになり、予測線量がどのようにして決定されたのかを理解する上で役に立つ。モデルは次のような個別のサブモデルで構成できる：地下水の処分施設への流入、廃棄物パッケージの劣化、処分地域内及び付近のニアフィールド中での移行、地下水の移動、表流水の移動、大気の移動、動植物による摂取、及び人が被ばくする線量。また、モジュラ化手法では柔軟性が得られ、技術的に受容可能な結果を得るために洗練されたモデル化が必要となるシステム内の部分に、努力を集中させることができるようになる。洗練されたモデルを使用して、処分施設が受容可能な様式で動作することを更に確実にする場合には、この手法が大きな利点をもつことになる。

II. 38. モデルに使用するソースタームは、様々な廃棄物フォームからの放射性核種の潜在的な放出を、確認されている範囲の環境条件下で表すものであるべきであり、廃棄物容器や埋戻し材などの人工バリアの劣化が考慮されるべきである。初期のモデルは単純であることが多いが、システムに対する理解が進むにつれて、更に詳細なモデルを使用してシステムが適切に表現されるようにする必要がある場合がある。しかしモデルは、利用可能なデータと矛盾なく釣り合いが取れるよう十分に単純であるべきである。ここでは、単純なモデル及び既存データの使用するものと、すぐには利用できないデータを必要とするより詳細なモデルとの間に適切なバランスが取れるように、専門家の判断を利用すべきである。このことは、関連する現象の理解を向上させるため、システムの一部についてよ

り複雑なモデルを使用することを排除しない。このような洗練されたモデルの例としては、物理的特性又は地下水のモニタリングでより洗練されたレベルで設備の変化を理解する必要があることが示された場合、水理学的境界条件と地下水の化学特性の一時的な変異を評価するために、数値的地下水モデル又は地球化学的スペシエーションモデルを使用することがある。

II. 39. 安全評価のモデル化には、科学的な精査に耐え得る合理的で保守的傾向を当初から組み入れるべきである。単純モデル化のアプローチは、より効率的であり、より容易に理解でき、より容易に正当化しやすくなる。利用可能なデータと、システム又は同様のシステムに関する知識に基づいて仮定を定式化すべきであり、また放射性核種の放出と移動を過小評価する恐れのないように仮定を選定すべきである。評価においては、結果が受け入れられるかどうか最も困難な点となることがあるため、長期的には、受入れを容易にする手法を採用することが有利になる。単純さ、保守性、及び現実性のバランスを取ることが、評価にとって最良の出発点となるであろう。

II. 40. 選定されたモデルは、評価目的と矛盾せず、使用しやすいものであるべきであり（システムの複雑さを考慮して）、またそのためのデータが入手できるものであるべきである。モデルは適用に適したものであるべきであり、アルゴリズムの精度は立証できるものであるべきであり、仮定は合理的であるべきであり、また入力データは代表性があるものであるべきである。

II. 41. 選定されたモデリング手法は、それが進展するにつれて、考慮した問題点と共に完全かつ明確に文書化されるべきである。この文書には、そのモデルの開発と適用の際に行われた全ての仮定と決定を、追跡可能な方法で記録すべきである。これには、そのモデルの開発の過程で考慮された代替モデルについて、それを考慮しないこととした理由も含まれるべきである。

不確かさの要因

II. 42. 安全評価の結果については、モデルへの入力データ、複数のモデルのそれぞれ異なる部分に用いられた仮定、モデルの個々の部分と全体との間のインターフェースにおける仮定、また処分システムの長期的変化に関連する不確かさとの関連を考慮して見る必要がある。これらの不確かさについては全て、感度解析と不確かさ解析を用いて、また信頼性を得るためのその他の手段と、適切である場合には専門家の判断で補足して、調査すべ

きである。

II. 43. どのような安全評価でも、不確かさは内在する。感度解析と不確かさ解析には、安全評価の結果とそれらの不確かさに最も影響するパラメータをよりよく定義することに注意を向けることで、安全評価の結果の中の不確かさを広く理解し、また可能であればそれを低減させるという重要な目標がある。感度と不確かさの解析は密接に関連している。感度解析は、予測される処分施設性能に大きな影響を与えるパラメータ、システム要素あるいはプロセスを特定するために使用すべきである。感度を持つ概念モデルの構成要素及び重要なシナリオの特定は、通常、系統的にパラメータを変動させることでなされる。各シナリオでは、そのシナリオ自体におけるパラメータ分布が必要となることがある。予想されるケースでしばしば境界になる数値が、不確かな事象下でのシステムの挙動を調査するために使用される。予測されるパラメータの変動の全体的な範囲を調査するには、統計学的手法も用いられることがある[32]。

II. 44. おおまかに言うと、安全評価では不確かさの主要な二つの要因を考慮すべきである。一つはモデルがどこまで実際のシステムを表現しているかについてである。この不確かさは、処分システム、サイト特性、処分施設の工学的な特質、及びその特質と環境との相互作用、そしてモデリング自体に関連する、モデルへの入力情報と関連している。もう一つの不確かさの要因は、施設とその環境の変化を長い期間にわたって予測することができないことに関連している。これらの不確かさはそれぞれ程度は異なるが、処分システムにおける変動性及び、システムがどのように機能することになるのかということに関する知識の限界によって影響を受ける。

II. 45. 不確かさの第一の要因については、サイト特性調査と廃棄物データの品質、施設設計の詳細、概念モデル、及びシナリオ選定を向上させることで低減させるべきである。その目標は、その不確かさを評価し、受け入れられると思われるレベルまで、あるいは処分施設の性能に対して重要でないことが示されるレベルまで、それを低減させることとすべきである。不確かさの第二の要因については、将来における潜在的な破壊的事象の発生によって起こる処分施設の性能の潜在的な変化を理解するために調査すべきである。このような調査の結果から、モデルの結果が不確かなものであった場合でも処分システムが安全であると合理的に保証されることがある。このため、感度及び不確かさ解析の、規制上の決定に対する第一の重要性は、不確かさがあっても安全要件に準拠していることを評価するためのツールとしてそれらの解析を使用することにある。明らかに保守的なモデルを使用するなど、他の方法で安全基準への準拠を示すことが可能である場合には、当然ながら、不確かさ解析は不要となることがある。

II. 46. シナリオ開発における不確かさの主要な要因は、重要なシナリオを欠くことが潜在的に起こり得ることから生じる。選定したシナリオのピアレビューはこのような不確かさを低減させるのに役立つため、これを使用すべきである。

II. 47. 同様に、サイトの概念モデルと数値モデルの作成における不確かさも、ピアレビューで評価すべきである。一般的には、説明を容易にしてコンピュータモデル化の効率を上げるため、単純なモデルを使用する傾向がある。単純化と関連し、概念モデルと数値モデルの作成に存在する不確かさは、追加のモデリング研究とデータ収集によって判断されることが多い。ここでも、モジュラ化手法とコンピュータ解析における中間的な出力を慎重に解析することにより、システムを更に詳細に理解できるようになる。これはさらに、モデルの不確かさの全体的な低減にもつながる。

II. 48. 将来の事象を予測しようとする、そこに本質的に存在する不確かさが現れる。このような不確かさの中には、極端なシナリオや境界を示すシナリオの慎重な調査、あるいは確率論に基づく評価の結果によって、無視できることが分かるようになるものもあるが、それは、その不確かさが処分システムの性能にほとんど影響を与えない場合にのみ当てはまることである。他の不確かさ、特に将来の社会経済的状态又は遠い将来における気候状態の大きな変化によって、余儀なくされる人の活動と関連する不確かさは、厳格に定量化した予測に基づく解析ができない。このような状況については、処分施設への潜在的な影響を理解するための、様式化された計算を用いることができる。安全評価は、解析を進めるための枠組みを提供することを主な目的とする概念モデルをベースとする。適切な数学モデルを導き出すことができ、かつデータが存在する場合には、評価を定量的なものとするのが可能となる。そうでない場合には、定性的な評価を実施すべきである。定性的な評価でも評価プロセスが無効になるわけではないが、専門家による、可能な場合には計算によって支援された、定性的な判断への依存度が高まることになる。しかしこの枠組みで行う際には、安全評価の一部として検討できるように、判断基準を慎重に文書化すべきである。また、利用可能な情報の信頼性に対しては、注意を払うべきである。その情報は評価及び結果の解釈に提供される計算詳細のレベルに反映されるものであり、そのため考慮する将来の時間の長さに応じて変化するものである。

感度解析

II. 49. 使用する概念モデル、モデルに適用されるシナリオ、システムを説明するために使用するとしてモデルへの入力としたパラメータの変動によって、予測された処分施設の

挙動がどのように、またどの程度まで左右されるのかを判断するために、システムが解析されるべきである。結果が初期条件及び境界条件に敏感である場合には、更に広範囲なデータを作成しなければならない可能性がある。そのプロセスでは、シナリオの違い、被ばく経路の違いに対するモデルの感度を見るべきである。評価がこれらのパラメータに敏感であることが判断された場合には、それらを更に評価することが検討されるべきである。

II. 50. 安全評価のための感度解析の出発点として、1つのパラメータの変動又は幾つかのパラメータの組合せの変動を考慮すべきである。パラメータの中には、極端な変動であるが合理的な変動を示すものもある。その変動によってそれぞれの経路の相対的な重要度が変化したり、モデルが適用できなくなったりすることがあるため、それらを考慮すべきである。

II. 51. この作業では、異なるパラメータ値に対して異なるモデルを適用することもできるが、コンピュータコードに選定された組合せが物理的に合理的であることを保証できるよう、解析は慎重に構成されるべきである。解析はまた、敏感な組合せの判断と敏感なパラメータの特定に必要な情報が保存されるように構成すべきである。

II. 52. 感度解析は、モデルの定式化の改良、シナリオ開発、及び追加データの収集からなる反復プロセスを、導くものになるべきである。感度解析の結果は、性能を良くするにはどこの設計特質を効果的に向上させるべきかを示すために使用されるべきである。さらに、感度解析による重要なパラメータの特定は、不確かさの低減するための研究の方向性を絞り込むために利用され得る。さらに、感度解析は、安全評価結果に有意に影響を及ぼさずそれらのトピックに関する更なる研究を除いてもよいことになる、プロセス及び関連パラメータを特定するために利用され得る。

不確かさ解析

II. 53. 安全評価において、多様性（例えば、母岩の透水性の分布）並びに将来に起こるかもしれないこと（例えば、地震の場所、時期、及び規模）を理由とする不確かさを表すためにパラメータを利用することができる。不確かさ解析は、安全評価の結果を示す上で重要であることが、感度解析によって示されたパラメータに集中して、実施すべきである。共通して使われている方法は、評価された処分施設性能の境界を定めるという目標を持って、一つの又は複数の変数を変動させるという感度解析手法である。一般に、境界を示すための単純な解析によって、性能の範囲に関する十分に適切な情報が作成されるべきであ

るが、システムが非常に複雑であるため、パラメータごとの極端な数値が必ずしもシステムの境界の挙動を表してはいない、ということに注意すべきである。モンテカルロ法は、入力パラメータの変動に基づいて評価された統計学的解析に基づいて、予測される結果の分布を提示することができる。モンテカルロ法に用いる入力情報の分布とパラメータどうしの相関関係を作成する際には、専門家の判断が必要になるかもしれない、それらは正式かつ記録される方法で導き出されるべきである。さらに、入力パラメータ又はパラメータの組合せに対応する値の範囲を明らかにする際は、リスクの希釈という正当化されないプロセスを導入しないように注意を払うべきである（例えば、入力パラメータに対応する値の範囲を、データによって裏付けられている値を超えて任意に拡大することは、パラメータ範囲を設定するための保守的なアプローチとみなされるかもしれないが、線量見積もりの低減を導く可能性があり、したがってリスクを不適切に低減又は希釈する可能性があるだろう）。

安全評価結果の提示

総論

II. 54. 安全評価結果の提示は、理解を深めるため、また受入れを認められるために重要である。これらの結果は様々な目的で使用される。意思決定プロセスでは、主に規制上の基準との比較でこの結果を使用する。その処分施設が、指定されている廃棄物にとって将来までの長期間安全な処分オプションである、というコンセンサスの形成が必要であるため、安全評価とその結果の提示の重要性は非常に高い。

II. 55. 通常、安全評価の結果は廃棄物の受入れと処分施設の設計に関する要件を設定するための基盤を提供するので、システムの構成要素の性能に関する情報を、特にシステム設計者に、また最終的には規制機関に提示して、処分施設の様々な部分が提供する防護レベルを説明することが重要である。安全評価で使用するモデルの出力情報は、実際の予測ではないが、将来において優勢になるかもしれないある種の条件下で起こり得る事象の指標となるものである。このことと、天然と人工のバリア双方で構成される地層処分施設の複雑さを、安全評価モデルに反映された通りに様々な利害関係者に伝えることは非常に重要である。このため結果の提示は慎重に準備すべきである。

規制上の基準との比較

II. 56. 安全評価結果の最も一般的な使用法は、規制上の要件を満たしていることを示すことである。この場合、安全評価の結果を立証するために次の事柄が必要となる。

- (a) サイト、処分について選択された設計、及び処分する廃棄物のインベントリに関する明確な記述
- (b) 概念モデルとそのモデルの物理的基盤に関する徹底的な議論
- (c) 代替モデルと、それらのモデルが採用されなかった理由についての議論
- (d) シナリオと経路の選定、又は作成のための基盤
- (e) 使用される単純化方法についての仮定と正当化についての文書化
- (f) モデルへの入力情報のまとめ
- (g) 使用される実際のデータ、そのソースと正当化
- (h) 結果の解釈

安全評価結果の文書には、不確かさに関する情報と、感度解析及び不確かさ解析の結論を含むべきである。

システム構成要素の性能

II. 57. 安全評価の結果は、個々のシステム構成要素の性能を立証するような方法で提示すべきである。これは価値のある課題であり、モデリングにモジュラ化手法を採用すれば容易に行える。予想される各構成要素の挙動を示し、また、構成要素の設計又は予想される構成要素の挙動に関する知識を反復して向上させて、構成要素の有効性能を保証するために示すことによって、システム全体の性能に対する信頼性のレベルが向上する。

将来の放射線影響

II. 58. 安全評価の結果は、時間と共に現れる予測される影響の変化を考慮できるような方法で提示すべきである。このアプローチは、予測が示すのは性能だけであるため、特に有用であり、処分施設が時間と共に生じさせる影響の変化を示すことは、安全評価結果の信頼性向上に貢献できる。いずれにせよ、時間と共に放射性壊変の効果が一般的にどのようにして影響の減少につながるのかを示すことは、有用であるかもしれない。例えば長寿命放射性核種の廃棄の影響を相対的に示す場合など、長期的な放射線の影響と自然界の放

射線レベルを比較する際には、このような手法を採るべきである。

プレゼンテーションのレベル

II. 59. 地層処分施設の複雑さを示すためには、複雑なモデルがしばしば必要となる。特に公衆に対して、これらのモデルを示して、説明するのは困難である場合がある。これに加えて、処分施設の許認可が法的措置の基盤となることもある。司法の場では、複雑なモデリングの結果を議論することが非常に困難となることがあるため、洗練されたモデリング手法をより単純なモデルで補足して説明するようにすべきである。

II. 60. 単純化すると詳細が失われることがあるが、システムの安全に係わる重大な因子に関する安全評価に単純化が焦点を当てていると示せば、単純な方法と複雑な方法の結果の整合性を立証することが可能となる場合がある。これは、しばしばシステムの頑健なモデリングと呼ばれる。単純なモデルと最低限のデータを使用してシステムの評価を良好に提示するためには、評価が頑健であることを立証すべきである。一般的に、単純化を満足のゆくものとするには、処分施設とその性能を非常によく理解することが必要となる。この理解が立証できれば、公衆に対する説明では、限られたデータを使用する単純で頑健なモデルと安全評価方法の方が、大量のデータを必要とする複雑なモデルよりも容易となる。

信頼性の構築

II. 61. 廃棄物処分施設を確立するプロセスにおいて、安全評価は理性的で技術的に健全な決定の基盤を提供する。前のパラグラフで説明したように、安全評価はプロセスの様々な段階で役割を果たす。不確かさを特定し、研究の必要性を絞り込むために、サイト選定では予備的な評価が使用できる。安全評価は処分施設の設計に対する入力情報を提供し、処分施設に個々の基礎に基づいて廃棄物受入れの要件を定義できるようにすべきである。最終的に処分施設の許認可は、安全評価の結果に、少なくともその一部に基づくべきである。

II. 62. 科学者、規制機関、意思決定者と、その他の利害関係者は全て、安全評価によって提供される情報、洞察、及び結果に信頼を置くべきである。信頼形成に役立つ活動には次のようなものが含まれる：(i) モデルの検証と校正、また可能であれば確証、(ii) 適切なナチュラルアナログの調査、(iii) 品質保証、(iv) ピアレビュー[33]。

モデルの検証、校正及び確証

II. 63. 安全評価は、処分施設のモデルと周囲の自然環境のモデルに基づいている。これらのモデルは、システムの変化をシミュレートするため、また多数のシナリオの結果を示すために使用される。モデリングの作業は、概念モデルと数学モデルの作成と、対応するコンピュータコード又はその他の方法による計算で構成される。モデリング結果の信頼性は、次の2つの質問に対する答えによる。第一に、その計算方法で、そのモデルを構成する数式を正確に解けるか。この質問に答える際には検証のプロセスが使用される。第二に、そのモデルは、実地調査及び／又は実験の結果を十分正確に再現しているか。この質問に答える際には、異なるデータセットによる校正と確証が使用される。

検証

II. 64. 計算の方法は、数学モデルの数式が満足のゆく方法で解かれていることを示すために作成されたテストプログラムを解くことで検証される。試験問題の使用と、その方法の多様な使用からのフィードバックを通して、数学的手法が正確であるということと、数式が正しく符号化され解かれていることについての高い信頼を得ることができるようになる。同じ入力パラメータを使用して異なる方法で同一の問題を解き、その結果を比較するのも効果的である。このように、計算方法の検証は可能であり、それを安全評価に対する信頼性の構築に用いるべきである。

校正

II. 65. 校正の目的は、概念モデル数値モデルとパラメータの不確かさを削減することであり、校正は、モデル又はサブモデルによる予測と、実地観察及び実験的測定とを比較することで実行される。このため校正はサイトにそれぞれ固有の手順であり、また校正では、予測とそのサイトにおける観察値を比較するために、一連のサイトに固有の入力データを使用する。実際には、サイトに固有の様々な条件に合わせてモデルを校正できた場合には、そのモデルが、システムのふるまいを表現できる能力に対する信頼が高まり、そのため効果を測定できない状況で影響を評価する能力に対する信頼も高まる。しかし、校正のプロセスでは、幾つかの異なる概念モデルと、それらに関連する入力データのセットが、観察データと良好に一致する結果を導き出すという困難にしばしば遭遇する。この場合、達成可能な不確かさの削減が限定される。

確証

II. 66. 可能な限り、モデリングの出力情報が妥当であること、つまり実際の状況で得られた経験上のデータと一致することを示すべきである。サイトごとの固有性がより高いモデル調整プロセスである校正とは対照的に、確証では、様々なサイトであるいは様々な条件下で、信頼できる結果を作成する必要がある。特定のサイトの長期的変化を示すためのモデルの確証は、適用される時間のスケールでは不可能であるが、限定された確証であれば、ナチュラルアナログの研究又は類似した気候条件から得られたデータを使用することで可能になる場合がある。また、原位置の実験又はサイト特性調査中及び操業段階で実施される測定で得られたデータセットなど、処分システムのある構成要素の挙動に関する観察値と、モデルの出力情報を比較することも役立つであろう。

ナチュラルアナログ

II. 67. 自然観察の結果と、処分システムに起こると予想される構成要素の性能、又は処分システムに起こると予想されるプロセスとを比較できるようにするために、ナチュラルアナログが研究されてきている[34]。自然に発生するプロセスは、ほとんどの場合最終結果しか観察できず、初期の状態や時間経過と共に起こる変化には大きな不確かさがあるため、ナチュラルアナログと廃棄物処分施設との間の類似性は完璧ではない。

II. 68. ナチュラルアナログの研究を定量的な方法で使用して、モデルの校正／確証を行うこと、あるいはこれらのモデルで使用するパラメータの値を提供することは、困難であることがこれまでに証明されている。しかし、パッケージ材料の劣化、地下水による放射性核種の移動、あるいは土壌から生物相への元素の移動など、幾つかの関連するプロセスは、適切な詳細さのレベルで、またある種のモデル試験を可能にするために境界状態の十分な管理を行うことで、適切なナチュラルアナログを用いて調査することが可能である。このため、幾つかの留保条件はあるものの、処分システムに使用する様々なプロセスや物質に対する信頼を構築する際には、ナチュラルアナログを使用すべきである。ナチュラルアナログの研究から得られた情報を使用することは、意思決定者と公衆からの評価に対する信頼を高めるために特に有用である。

マネジメントシステム

II. 69. マネジメントシステムは、あるプロセス内の様々な段階を文書化するため、また、そのプロセスの結果が良好な品質であるという信頼性を提供するために計画された系統的な手順のセットを提供する。これらの手順は、これまで、また現在も、放射性廃棄物管理の多くの分野に導入されている[27]。安全評価の結果に信頼性を持たせる必要があることから、評価の様々な要素に、特にデータ収集、設計活動、計算のモデルと方法の開発に、最初期段階から手順を適用することが求められる。マネジメントシステムは、安全評価活動を実施し記録して、手順への準拠の証拠となる枠組みを提供する。このような方法により、信頼でき追跡可能な情報ソースが使用されたことを示すことが可能になる。この結果、安全評価の結果に対する信頼性が高まる。

安全評価のピアレビュー

II. 70. 科学活動において、結果の妥当性に対する信頼性はピアレビュープロセスの成果に大きく左右される。安全評価に関連する科学的な作業と結果は、同じ分野で活動する他の専門家や、この問題に関心を寄せるあらゆる人が詳細な精査を実施する際に利用できるよう、公開文書で発表すべきである。

II. 71. 安全評価の基盤を構成するピアレビュープロセスには、科学的出版物やプログラム結果に典型的なピアレビュー以外の形式も含まれるべきである。国の放射性廃棄物の管理計画では、重要な活動についての技術的レビューに対する準備を行うべきである。規制機関は、安全評価を検討するための独立した能力を開発すべきである。場合によっては、処分施設の操業者又は適切な当局が、独立した組織によるクリティカルレビューを組織化すべきである。このようなレビューは、自然科学者及び社会科学者の専門知識を追加的に利用できるようにし、評価の信頼性レベルの向上に有効となるものである。

追加的に考慮すべき事項

II. 72. 地層処分施設の安全評価には仮定に基づく将来の事象とそれらの影響が含まれるため、特定の予測が現実になるとは予想されるものではない。現実的な唯一の目的は、処分施設が受容可能な範囲内で動作するという適切な全ての証拠の、専門家の判断と数学的モデリングを含めた評価に基づいて、安全を合理的な程度保証することである。

II. 73. 地層処分施設の計画が実施できるかどうかは、その安全性を確信している科学者、規制機関及び意思決定者ばかりでなく、公衆の受入れによっても左右されることを心に留めるべきである。公衆からの信頼を得る目的のため、廃棄物処分施設の開発プロセスには公開性、公衆の関与、また効果的で広範囲にわたる情報の普及を提供するための多数の特質が取り込まれるべきである。単純で頑健な性能評価手法を用い適切なよりどころを持つ概念モデルに適用された良好に設計された安全評価は、地層処分施設に対する公衆による理解と受入れの促進に資することがある。国際的な相互比較とピアレビューは、公衆の受入れを得る上で重要な助けとなる。

参考文献

- [1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Disposal of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No. SSR-5, IAEA, Vienna (2010).
- [2] EUROPEAN ATOMIC ENERGY COMMUNITY, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION, INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION, OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION, UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, WORLD HEALTH ORGANIZATION, Fundamental Safety Principles, IAEA Safety Standards Series No. SF-1, IAEA, Vienna (2006).
- [3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, IAEA International Law Series No. 1, IAEA, Vienna (2006).
- [4] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR ORGANISATION, OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION, WORLD HEALTH ORGANIZATION, International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No. 115, IAEA, Vienna (1996) (under revision).
- [5] OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, Engineered Barrier Systems (EBS) in the Safety Case: Design Confirmation and Demonstration, Workshop Proceedings, Tokyo, Japan, 12–15 September 2006, OECD, Paris (2007).
- [6] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Borehole Disposal Facilities for Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No. SSG-1, IAEA, Vienna (2009).
- [7] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, 2009 Edition, IAEA Safety Standards Series No. TS-R-1, IAEA, Vienna (2009).
- [8] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety of Nuclear Fuel Cycle Facilities, IAEA Safety Standards Series No. NS-R-5, IAEA, Vienna (2008).
- [9] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Governmental, Legal and Regulatory Framework for Safety, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 1, IAEA, Vienna (2010).
- [10] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Stakeholder Involvement in Nuclear Issues, INSAG-20, IAEA, Vienna (2006).
- [11] OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, Post-Closure Safety Case for Geological Repositories,

- Nature and Purpose, OECD, Paris (2004).
- [12] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, 1990
Recommendations of the International Committee on Radiological Protection, ICRP
Publication 60, Pergamon Press, Oxford and New York (1991).
 - [13] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Framework for
Assessing the Impact of Ionising Radiation on Non-Human Species, ICRP Publication 91
Oxford University Press (2003).
 - [14] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, The 2007
Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Publication 103,
Elsevier, Amsterdam (2007).
 - [15] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, “Reference Biospheres” for Solid
Radioactive Waste Disposal, IAEA-BIOMASS-6, IAEA, Vienna (2003).
 - [16] OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, Features, Events and Processes (FEPs) for Geologic
Disposal of Radioactive Waste, An International Database, OECD, Paris (2000).
 - [17] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety Indicators for the Safety
Assessment of Radioactive Waste Disposal, IAEA-TECDOC-1372, IAEA, Vienna (2003).
 - [18] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR OFFICE,
Occupational Radiation Protection, IAEA Safety Standards Series No. RS-G-1.1, IAEA,
Vienna (1999).
 - [19] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS,
INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR
ORGANIZATION, OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, PAN AMERICAN HEALTH
ORGANIZATION, UNITED NATIONS OFFICE FOR THE CO-ORDINATION OF
HUMANITARIAN AFFAIRS, WORLD HEALTH ORGANIZATION, Preparedness and
Response for a Nuclear or Radiological Emergency, IAEA Safety Standards Series No. GS-R-2,
IAEA, Vienna (2002).
 - [20] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Monitoring of Geological Repositories for
High Level Radioactive Waste, IAEA-TECDOC-1208, IAEA, Vienna (2001).
 - [21] The Agency’s Safeguards System, INFCIRC/66/Rev.2, IAEA, Vienna (1968).
 - [22] Model Protocol Additional to the Agreement(s) Between State(s) and the International Atomic
Energy Agency for the Application of Safeguards, INFCIRC/540(Corrected), IAEA, Vienna
(1997).
 - [23] The Structure and Content of Agreements between the Agency and States Required in
Connection with the Treaty on the Non-proliferation of Nuclear Weapons,
INFCIRC/153(Corrected), IAEA, Vienna (1972).

- [24] The Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities, INFCIRC/225/Rev. 4(Corrected) (1999).
- [25] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Management System for Facilities and Activities, IAEA Safety Standards Series No. GS-R-3, IAEA, Vienna (2006).
- [26] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Application of the Management System for Facilities and Activities, IAEA Safety Standards Series No. GS-G-3.1, IAEA, Vienna (2006).
- [27] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Management System for the Disposal of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No. GS-G-3.4, IAEA, Vienna (2008).
- [28] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety Assessment for Near Surface Disposal of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No. WS-G-1.1, IAEA, Vienna (1999).
- [29] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety Assessment Methodologies for Near Surface Disposal Facilities, Vol. 1: Review and enhancement of safety assessment approaches and tools, IAEA, Vienna (2004).
- [30] OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, Disposal of Radioactive Waste: Review of Safety Assessment Methods, OECD, Paris (1991).
- [31] OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, Systematic Approaches to Scenario Development, A Report of the NEA Working Group on the Identification and Selection of Scenarios for Performance Assessment of Radioactive Waste Disposal, OECD, Paris (1992).
- [32] OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, Management of Uncertainty in Safety Cases and the Role of Risk, (Proc. Workshop, Stockholm, 2004), OECD, Paris (2005).
- [33] OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, Confidence in the Long-term Safety of Deep Geological Repositories, its Development and Communication, OECD, Paris (1999).
- [34] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Use of Natural Analogues to Support Radionuclide Transport Models for Deep Geological Repositories for Long Lived Radioactive Wastes, IAEA-TECDOC-1109, IAEA, Vienna (1999).