

## 地層処分における可逆性の決定および廃棄物の回収可能性に関する国際理解

各国で、現世代や将来世代そして環境を守るための解決策として、長寿命放射性廃棄物の適切な地層への処分のために、研究開発および実証が実施されている。一部の国では、数年後には地層処分プロジェクトを実施する予定となっている。また、処分計画に可逆性（reversibility）や回収可能性（retrievability）の考え方の導入について検討している国もある。

「可逆性」とは、処分を段階的に進める中で段階毎に選択の自由を確保し、長期間にわたり柔軟性を持った処分場の管理を可能にすることを意味している。「回収可能性」とは、廃棄物定置の段階を後戻りさせることが可能であるという意味である。

各国において、処分計画における可逆性および回収可能性の意義と役割を明確にすること、および長期安全性を最優先にすることの重要性は認識されている。このリーフレットは、NEAのプロジェクト（<http://www.nea.fr/rwm/rr>）で得られた、可逆性および回収可能性に関する現時点での認識を取りまとめたもので、多くの国の処分計画に適用可能な一般的な回収可能性の考え方を示す尺度（Retrievability Scale）が含まれている。これはステークホルダーとの対話支援ツールとして活用可能と考える。

### 処分場の目的および主な事業段階

地層処分場の目的は、有害な放射性廃棄物から人と環境を長期にわたって守ることである。廃棄物定置後は、再び廃棄物を取り出す意図はない。最終的に人工バリアおよび母岩により安全性を確保し、計画に基づき処分場を閉鎖しなければならない。そのため、廃棄物パッケージ以外の物質を処分してはならない。また、廃棄物の貯蔵とは、処分の代替的手段ではなく、最終処分に至る廃棄物管理計画の一つの段階である。

地層処分事業は、主に三段階に分かれる（図1）。各段階の期間の長さは、各国の処分計画および意思決定の方法によって異なる。

§ 操業前段階は、処分場の設計、処分サイトの立地選定と調査、人工材料の試験、工学技術の実証、処分場の建設・操業の許認可、処分場建設の開始、環境条件のベースラインの調査を実施する期間である。

§ 操業段階は、3つの期間に分けられる。

- (a) 定置段階：この段階では、廃棄物パッケージを処分場へ定置する。また、環境条件を継続的にモニタリングし、ベースラインデータと比較する。技術開発を継続するとともに、規制機関は、操業安全性について定期的に監督し、長期的なセーフティケースの評価を行う。地下坑道を新設し、一部の坑道および処分エリアの埋戻しおよび閉塞を実施する。

- (b) 監視段階：すべての廃棄物パッケージを定置後、処分場のモニタリングを部分的に実施し、追加の性能確認を行うために廃棄物パッケージ部分へのアクセスを維持することもあり得る。

- (c) 閉鎖段階：処分場の埋戻しおよび閉塞を実施し、地上から地下施設へのアクセスを終了する。地上施設を解体する。

§ 操業後段階は、2つの期間に分けられる。

- (a) 間接的監視段階：処分場閉鎖後は、人に頼らない管理で安全性を確保する。しかし、環境条件のベースラインモニタリングの継続や遠隔モニタリングが行われることもあり得る。関係する国際保障措置管理を継続する。廃棄物パッケージおよび処分場の技術データや形態に関する記録を保存し、同時に、マーカー等で処分場の存在を将来世代に伝承する。

- (b) 監視なしの段階：数百年、数千年後には、徐々に、あるいは戦争や記録喪失等の予測不可能な事象により、処分場の監視が行われなくなったり、処分場が存在したこと自体が忘れられることが想定される。

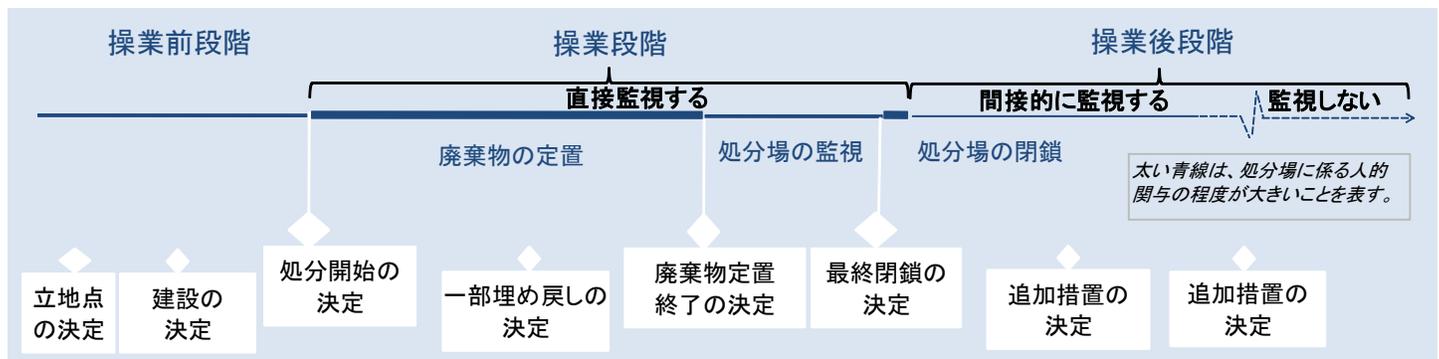


図1 処分場の事業段階および関連する意思決定の例

## 可逆性および回収可能性とは

**可逆性**とは、事業実施期間におけるひとつの意思決定である。事業の実施プロセスおよび技術に関する柔軟性を確保することにより、どの事業段階でも、必要があればそれまでの決定を覆す、あるいは修正することを可能にするものである。例えば、部分的な埋戻しの実施は、可逆性が考慮された一例であると言える。処分事業を実施する際の主な決定(図1)は、予定通りに事業プロセスが継続可能か、あるいは可逆性を選択すべきか(図2)、についての評価と捉えることができる。可逆性は、過去の決定を疑う意思があること、およびそのような疑問を持つ姿勢を奨励する文化があること、また同時に、ある程度の廃棄物の回収可能性があることも示唆するものである。

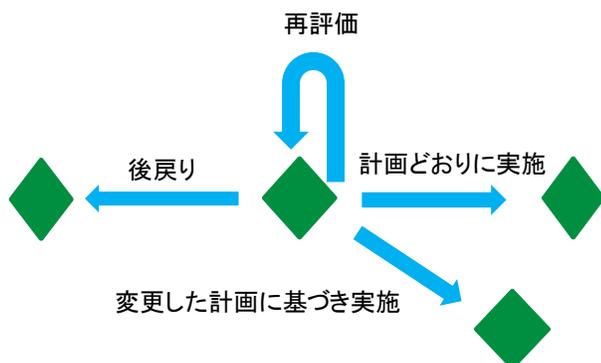


図2 オプションを評価した結果として考えられる道筋(後戻りを含む)

**回収可能性**とは、定置された廃棄物あるいは廃棄物を含むすべてのパッケージを回収する可能性である。回収可能性は、本来貯蔵概念の一部であり、処分場の基本的な長期安全性の概念の一部ではない。もし回収可能性に依存しなければ、セーフティケースが頑健ではないというのであれば、廃棄物を処分場に定置してはならない。しかし、回収可能性は安全性への信頼を助長するとともに、回収することが安全面以外の理由から望ましいということになる可能性もある。回収可能性の措置を講じることで、処分場の操業期間中の柔軟性が増す可能性もある。

廃棄物パッケージが劣化した場合でも、適切な技術を活用することで廃棄物を回収することが可能である。廃棄物が最初の定置場所から移行している場合には、廃棄物を回収するため、鉦石の採掘に使用されるような技術が必要となる場合がある。

安全面以外の理由により、廃棄物回収が要求されるケースとして、廃棄物が資源として扱われる場合がある。しか

## ステークホルダーとの対話における回収可能性スケールの活用

放射性廃棄物の地層処分の実施を考慮する上で、ステークホルダーが懸念する問題の一つに、処分場から廃棄物を容易に回収できるかという点がある。その容易性は、処分事業の各段階において廃棄物への接近がどの程度容易かにより異なる。回収可能性の一般的な尺度(スケール)が、処分場へ廃棄物を定置する前後の廃棄物のライフサイクル

し、処分場のセーフティケースは、受動的安全性の考え方に基づくものであり、回収可能性には依存しない。

処分場の操業段階において、可逆性および回収可能性は、廃棄物処分への予防措置となる。閉鎖後段階では、回収可能性は、処分場の閉じ込めおよび封じ込め設計により可能になる。遠い将来でも廃棄物の回収は可能であるが、時間の経過が長くなる程、回収することは困難になるとともに、コストも大きくなる。したがって、廃棄物を回収する能力は、それが可能であるか否かというよりも、可能性の程度の問題であるといえる。また、研究開発により、回収の難しさが低減する可能性もある(図3)。

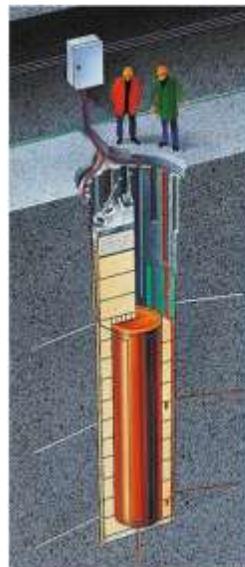


図3a: スウェーデンで実施された廃棄物パッケージの回収を目的としたベントナイトリングの撤去(Äspö HRL, 2006)



図3b: フランスで実施された模擬処分坑道を使用した高レベル廃棄物の回収試験(ESDRED programme, 2008)



における各段階に応じて、回収に必要な作業の程度や種類について定性的に説明するために開発された(表1および図4)。この尺度は、廃棄物の回収に必要な作業と、処分場の能動的管理および受動的安全性の間のバランスとの関係を表しており、回収が困難になる程、コストが高くなることが示されている。

## 廃棄物のライフサイクルにおける各段階および回収可能性（テキスト説明版）

説明のために廃棄物パッケージ<sup>1</sup>のライフサイクルを6段階に分類し（表1）、各段階の受動的安全性および能動的管理の主要要素、回収作業の程度と種類を示している。

**第1段階：**中間貯蔵施設における廃棄物パッケージの貯蔵。

**第2段階：**中間貯蔵施設から数百メートル以深の処分場への廃棄物パッケージの移送。追加的な容器への封入が必要となる場合がある。

**第3段階：**廃棄物パッケージの処分坑道へのバリアの設置、埋戻し（一般的な岩盤挙動への対策）、閉塞（水やガス移動への対策）。処分坑道へのアクセス坑道については、換気等の能動的なメンテナンスが必要。

**第4段階：**坑道の埋戻し・閉塞。すべての処分領域あるいはすべての地下施設の閉鎖を同時に実施する可能性がある。この段階では、処分領域あるいは地下施設全体のメンテナンスは必要ないが、遠隔モニタリングを実施する可能性がある。

**第5段階：**処分場の閉鎖。地上からのアクセスを閉塞し、地上施設を解体する。

**第6段階：**処分プロセスの最終段階。廃棄物パッケージの健全性は保証できないが、廃棄物パッケージは、処分施設に閉じ込められた状態に保たれている。この時点までに、放射能レベルは大幅に低下している。安全性は、メンテナンスやモニタリングに依存しない。処分場に関する知識や記録の保存を確保する措置を継続的に講じる可能性がある。

<sup>1</sup> 廃棄物パッケージの種類には、鋼製ドラム缶、コンクリート製容器、コンクリート製あるいは鋼製容器中に一次鋼製容器を入れる等の選択肢がある。

表1 廃棄物のライフサイクル段階、回収の容易さ、受動的安全性および能動的管理の要素

段階と廃棄物の場所*	回収の容易さ	受動的安全性の要素	能動的管理の要素
1 貯蔵施設内の廃棄物パッケージ	設計により回収が可能	廃棄体と貯蔵容器	セキュリティ管理区域を含む貯蔵施設の能動的管理
2 処分セル**内の廃棄物パッケージ	定置作業を逆行を行うことによって回収が可能	廃棄体と処分容器 数百メートルの岩盤 人工バリアを施した処分セル	処分セルおよび処分施設の能動的管理(モニタリングを含む) セキュリティ管理区域
3 閉塞された処分セル内の廃棄物パッケージ	地下での準備作業後、回収が可能	前段階の要素に加えて、処分セルの埋戻しと閉塞	処分坑道のモニタリングが可能 処分セルの閉塞部へのアクセス経路の能動的管理 セキュリティ管理区域
4 閉塞された処分エリア内の廃棄物パッケージ	坑道を再掘削した後、回収が可能	前段階の要素に加えて、処分セルへのアクセスができる地下坑道の埋戻しおよび閉塞	処分セルのモニタリングが潜在的に可能 セキュリティ管理区域 一定期間の詳細な記録と制度的管理（国際保障措置を含む）
5 閉鎖された処分場内の廃棄物パッケージ	地表から新規アクセス坑道を掘削した後、回収が可能 回収を支援するための仮施設設置	前段階の要素に加えて、廃棄物を地下施設内に長期間閉じ込めるようにするための立坑およびアクセス坑道の閉塞	記録の維持管理 可能な限り日常的に監視（環境モニタリング、遠隔モニタリング、セキュリティ管理、国際保障措置等）
6 遠い将来の変化	時間の経過による廃棄体の劣化 最終的には採掘のみによって回収可能	地質および人工バリア 放射能レベルの低下	長期的な記録保存のための特別な措置（サイトマーカー等）

\* 作業段階中は、施設内にあるすべての廃棄体と同じ事業段階にあるわけではない。

\*\* 国の計画や廃棄物の種類によって、処分セルは、空洞であったり、小空間であったり、区間であったりする。ここでいう「セル」はすべてを含む。

## 廃棄物のライフサイクルにおける各段階および回収可能性（図解説明版）

放射性廃棄物のライフサイクルにおける回収可能性および受動的安全性の関係は、図4に示すとおりである。これは一般化された内容であり、各国の様々な処分計画に適用することが可能である。

廃棄物および処分場に関する各段階の期間の長さは、各国の計画に依存する。100年に及ぶ可能性のある処分

実施期間における各意思決定のポイントにおいては、廃棄物パッケージ回収の容易性、能動的管理の必要性、長期安全性に影響する変化、回収に伴う費用、および被ばく線量や危険性など、様々な要因を考慮しなければならない。



図4 廃棄物のライフサイクル段階、深地層処分における回収可能性の程度、受動的安全性か能動的な管理か、回収コストの変化を図示したもの。操業段階の間は、処分施設内にあるすべての廃棄物パッケージが、ライフサイクルの同じ段階にあるとは限らない。注意：図示された四角形の正確な比率は、処分場の設計によって変わる。

長寿命放射性廃棄物の地層処分場の操業段階に適用される可逆性および回収可能性は、処分に対する柔軟性のある予防的措置となる。回収可能性は、それが可能であるか否かということより、その程度が問題である。回収可能性は廃棄物処分の長期安全性確保の一部ではないが、多大な労力とコストをかければ廃棄物の継続的な回収が可能である。今後の技術開発により、将来的には廃棄物回収に伴う困難さを軽減する方法が示される可能性がある。