

# 放射性廃棄物処分における可逆性と回収可能性

## パート1

決定を覆したり廃棄物を回収したりできることは、いくつかの国で開発中またはすでに実施中の処分場計画の意思決定過程に直接関係するので、可逆性と回収可能性の問題は最近注目を集めている。

### 責任のある廃棄物管理

放射性廃棄物は、現在および将来にわたり、公衆の安全、環境保護、および不正な介入に対する強固な防護を保証するように、責任をもって管理する必要がある。難しい課題の1つは、何万年あるいは何十万年にわたって人間環境から隔離すべき長寿命放射性廃棄物の管理である。

関連の技術分野では、そのような廃棄物の長期管理のために、工学的地層処分が安全かつ倫理的方法であるというコンセンサスがある。またこの方法は、長寿命放射性廃棄物に対処する有望または適切

な方法として、いくつかの国の政策において採用されている。

工学的地層処分とは、適切な深地層中に建設した処分場に廃棄物を定置することを意味する。これにより、廃棄物が閉じ込められ、多数の安全機能を持つ受動的バリアによって安全が保証されるので、将来世代が追加の措置を講じる必要はない。

工学的地層処分概念の基本原則は、最終的な長期安全性について高い信頼性がある場合にのみ廃棄物を処分場に定置すること、また、長期安全性は処分場閉鎖後の措置に頼ってはならないことである。ただし、措置を講じることができないことを意味するわけではない。ほとんどの処分場開発計画は、閉鎖後の保安と監視のための活動の可能性を含めている。

多くの放射性廃棄物処分機関は、それぞれの計画において、可逆性と回収可能性の概念を組み込む可能性について検討している。これは、計画の柔軟性を高めて、技術情報と政策の変更に対応できるようにするのが目的である。また、工学的地層処分のオプションについてより広い社会的信任を得るために、倫理的問題を認識することも重要と考えられる。

可逆性と回収可能性は、新しい問題ではない。こ

本記事は、経済協力開発機構 (OECD) の原子力機関 (NEA) が発表した「放射性廃棄物の地層処分における可逆性と回収可能性：国際レベルの考察」を改作したものであり、NEAの厚意による許可を得て再掲するものである。パート1は、概念と用語法を中心に記し、処分計画において可逆性と回収可能性が考慮されるかもしれない理由を述べる。実際的な問題と影響について述べたパート2は、本誌の2003年1/2月号に掲載の予定である。

OECD/NEAの全文は、インターネット・サイト「[www.nea.fr](http://www.nea.fr)」から入手できる。

れらは、一部の国家計画において初期段階から検討されてきた。決定を覆したり廃棄物を回収したりできることは、いくつかの国で開発中またはすでに実施中の処分場計画の意思決定過程に直接関係するので、可逆性と回収可能性の問題は最近注目を集めている。これらの概念は、技術、政策、および倫理の問題にわたる。その価値と意義について、広く理解することが重要である。

本記事は、使用済み核燃料、その再処理によって発生するガラス固化高レベル放射性廃棄物、および他の長寿命放射性廃棄物のための工学的地層処分場の立案と開発に適用されるかもしれない可逆性と回収可能性の概念のレビューである（本記事は、貯蔵ではなく最終処分を目的とする施設として、一般に地表下200～1,000メートルに計画・開発される工学的地層処分場を対象とする。地表から掘削した非常に深いまたは長いボーリング孔中の処分など、回収可能性に適さない廃棄物処分概念は考慮しない）。本記事は、NEAの放射性廃棄物管理委員会を構成する、広範囲にわたる運転、規制、政策立案、および研究開発機関の見解に基づくものである。

## 概念と用語法

地層処分場の計画と開発は、段階的に徐々に進められるのが通例である。各段階で、技術的要因と社会・政治的な受容性に基づいて、先に進むかどうか決定される。段階的な方式により社会・政治的な見直しの機会が与えられ、情報と経験の蓄積に伴って、施設の実行可能性と安全性に関する信頼性が徐々に高まる。

処分とは、アクセスや回収の意図を持たずに放射性廃棄物を処分場に定置することである。一方、貯蔵とは、回収を意図して閉じ込めを提供する施設内に放射性廃棄物を保管することである。処分は、受動的な固有安全の概念に基づくが、貯蔵は、安全を保証するために能動的な管理が必要である。回収を意図しない場合でも、処分を目的とする施設からの廃棄物の回収が可能かもしれない。処分場や廃棄物容器の意図的な設計により、また、埋め戻し、坑道閉鎖、立坑密閉など、廃棄物へのアクセスを制限する手段（処分場の閉鎖）を延期することにより、実際に回収可能性を提供できるかもしれない。ただし、回収可能性を提供することにより、処分場の長期受動的な安全が損なわれることがあってはならない。可逆性および回収可能性という用語は、諸機関によって用法が異なる。本記事では、以下のように定義することとした。

可逆性とは、計画のいずれかの段階で、処分場の立案または開発における1つまたは一連の段階を逆

に戻す可能性である。これは、以前の決定を見直して、必要であれば再評価し、段階を戻すための技術・財務などの手段を講じることを意味する。可逆性は、段階の後退が、処分政策と実際の技術計画に組み込まれることを意味する。可逆性は、計画において細かい段階と頻繁な見直しを採用し、工学的手段を組み込むことなどによって実現しやすくなる。計画の初期段階では、サイトの選択や特定の設計法の採用に関する決定を撤回することが考えられる。後の段階での撤回としては、建設・操業中や廃棄物定置後の施設構成要素の変更や、施設からの廃棄物容器の回収さえも考えられる。

回収可能性とは、廃棄物定置の措置を逆に戻す可能性である。したがって、可逆性の特殊な場合である。回収は、廃棄物または廃棄物容器を取り戻す措置である。回収可能性は、最終的な密閉・閉鎖後を含め、定置後のさまざまな段階で考える必要がある。回収可能性と回収について論じるうえで、何を回収するか明確にすることが重要である。これは、実施と技術的な実行可能性に影響するからである。例えば、回収可能性として下記の場合が考えられる。(a) 不良または損傷と判定された個別の廃棄物容器が回収され、その他の容器の定置は続けられる。(b) 定置後のある時点で、一部またはすべての廃棄物容器を回収する。(c) 容器の健全性が損なわれた場合に、廃棄物を回収する。回収可能性は、処分場設計と操業戦略によって容易になるかもしれない。例えば、地下アクセス道と定置・回収システムを後の段階まで利用できるように残し、耐久性のある容器と掘削が容易な埋め戻し材を開発・使用することが考えられる。

## 処分計画における可逆性と回収可能性の位置づけ

### 柔軟性の必要性

工学的地層処分は段階的に実施され、明確に定義された段階の間に決定場面を設けることにより、技術、規制、政策上の、また場合によっては公衆による見直しの機会が与えられる。ほとんどの計画において設けられる段階には、概念の開発、サイトの選択、処分場の建設、性能確認（実証段階）、廃棄物の定置、および処分場の埋め戻しと密閉がある。さらに、各計画特有の多くの下位段階が定義されるかもしれない。

処分場の立案・開発計画の各段階を経るごとに、利用できる技術情報が増え、技術的信頼性の水準が変化する。例えば、サイトが特性づけられるにつれ、処分場の安全論拠が進展し、設計が練り直され、処分場の性能に関わる特徴、事象、および過程に關す

る理解が深まる。非技術的な要因と外因的な制約および機会も変化する。処分場計画は、下記のような事象に対して柔軟に対応する必要がある。

- サイトと設計に関する新たな技術情報
- 核廃棄物管理に関連する新しい技術の開発
- 社会・政治的条件および受容性の変化
- 規制指針とその解釈、また場合によっては基本安全基準の変化

このような情報と条件の変化は、現行の決定に影響するだけではなく、以前の決定の再評価にもつながる可能性がある。例えば、処分場の建設・操業許可（放射性廃棄物容器の定置のため）は、処分場の長期安全性を適切に保証するために、指定された間隔で見直される。

意思決定に柔軟性を与えることは、各開発段階で、処分場と廃棄物管理の将来の展開について選択肢を保つことを意味する。例として、複数種類の母岩の特性調査（実行可能な国において）、複数の処分場候補サイト、代案設計や変化型設計の開発（代案となる廃棄物容器や埋め戻し材の検討など）が挙げられる。

重要な段階のタイミングに関するオプションも、別の自由度として可能かもしれない。中間貯蔵施設を建設すれば、最終処分施設の開発のタイミングに柔軟性が与えられるかもしれない。地下で長期にわたって良好な条件を保証するような設計があれば、処分場の埋め戻しと密閉を遅らせたり、廃棄物の監視付き地下貯蔵期間を延ばしたりできる。

廃棄物を回収するオプションを含めた設計、サイト、および処分場管理に関するいくつかのオプションを長期にわたって保つことが望ましいかもしれない。しかし、複数のオプションを保つことは、技術的、財務的、そしておそらくは政策的な影響があると思われる。長期にわたる受動的な安全を提供する最終目標を満たすには、ある開発段階から次の段階に進む際に、より確定的な決定を下す必要があるため、いかなる場合でも、開発過程全体を通じて完全な柔軟性を保つことはできない。

柔軟性は、目的ではなく良好な慣行を意味する。柔軟性は、廃棄物を安全に管理する能力について技術的信頼性を与えるとともに、撤回できない決定がなされていないということで大衆に信頼感を与える。柔軟性を与えることは、処分の最終的な安全性に対する自信の欠如ではなく、利用可能な廃棄物管理オプションと設計代案を最適に利用する試みと見なすべきである。

#### 柔軟な意思決定方式における可逆性

柔軟な意思決定方式には、処分場の立案と実施に関する決定を撤回しやすくするための手段が含まれ

る。したがって、処分場の立案または開発において、すでに下された決定や予定された決定の撤回しやすさについて議論するのは、有益な慣行である。

決定の可逆性を考慮した地層処分概念には、倫理的な要求事項を満たす狙いもある。すなわち、原子力の恩恵を受けた世代は、その結果発生した廃棄物の安全で恒久的な処分手段を提供しつつ、望まなければその実施を変更したり撤回したりする可能性を将来世代に残すということである。可逆性は、将来世代の必要性和希望を、独自の決定を行う自由を含めて尊重すべきという倫理的原則と一致するが、このことと、将来世代に過度の負担を課すべきではないという相補的な原則との間でバランスをとる必要がある。将来世代の負担には、適切な専門技術と管理・意思決定能力を維持するために、処分場を監視する要件が含まれるかもしれない。

より一般的には、責任のある意思決定において、安全な廃棄物管理慣行の枠内で、いくつかの倫理的原則間でバランスをとることになるかもしれない。

いかなる場合でも、1つまたは一連の立案・開発段階を逆戻りさせる決定は、慎重に検討する必要がある。例えば、確立された技術的計画からあまりよく調べられていないオプションへ方向転換する場合、新しいオプションに未知の大きな問題があるかもしれないことを考慮すべきである。すでに投入された物資と新しい方法の信頼性を評価する必要がある。これには、社会・政治的な影響と信頼性、技術的信頼性、および財務コストの評価が含まれる。

#### 決定の可逆性としての回収可能性

廃棄物の定置に可逆性を与えることは、処分場開発における決定撤回の可能性を高め、柔軟性を高めることになる。この柔軟度を与えることにより、次のような結果がもたらされるかもしれない。

- 進行中の処分場開発において、新たな技術情報や政策に対応できるようにする。
  - より望ましい条件での技術的制御を可能にする。
  - 望ましくない状況を是正できるようにする。
  - 長期的に、現世代が実施した技術的な決定や解決策を、将来世代が再検討しやすくする。これは、上述の倫理的問題である。
- 定置後の各段階での廃棄物回収の可能性を宣言および実証することは、撤回できない決定を下さなければならないという懸念を解消する点で、公的および政治的信頼性の恩恵もある。ただし、検討を要する技術、政策、および保安上の欠点があるかもしれない。
- 廃棄物を「回収可能」とする処分場に対する核物質保障措置の適用は、まだ議論されていない問題なので、留意が必要である。

●地層処分の主目的は、恒久的な安全を提供し、廃棄物や処分場内物質を回収する無責任な試みを阻止することであるが、回収可能性はそれに反するという議論がある。

関連の技術分野では、現在、回収可能性は地層処分計画において考慮できるが、安全にとって不可欠なものではないというコンセンサスがある。回収可能性を組み込むのであれば、長期受動的安全を損なわず、将来世代に過度な負担を課さず、適切な保安を確保する場合にのみ、長期的な安全性と保安を適切に提供するという主目的に矛盾しないと考えられる。

## 回収可能性への賛成・反対意見

原則として、後の段階で回収しやすいように廃棄物を定置すれば、柔軟性が高まり、意思決定において有益だが、回収可能性を提供することへの賛成・反対意見を調べておくことは有用である。それによって、回収可能性を高めることの利点と欠点を把握できる。

### 廃棄物を回収可能にするための賛成要因

#### 技術的な安全懸念または安全規格の変更

予期せぬ技術的な安全懸念があった場合に、廃棄物を回収できるようにすることは、その必要が生じる可能性が非常に低くても、幅広い信頼を得る観点から、回収可能性を高めることのもっとも重要な理由かもしれない。処分場の安全論拠は、十分に堅牢であるはずなので、廃棄物の定置後に得られたサイトに関する新たな技術情報や設計によって損なわれてはならない。サイトの包括的調査と重要な安全事項の試験に基づいて堅牢な安全論拠が提示されないかぎり、廃棄物は定置されない。長期安全性の信頼度が低いことを理由に、回収可能性を組み込むではない。

しかし、サイトや処分場の監視などによって新たな情報が得られたり、科学的な理解が深まることにより、処分場の長期安全性にとって望ましくない予期せぬ特徴や現象が明らかになるかもしれない。新たな情報や科学的理解の進歩によって、以前の許認可取得段階の裏付けとなった長期安全性に関する議論が部分的または完全に無効になれば規制上の懸念となる。新たな知見により、廃棄物は撤去されるかもしれないし、されないかもしれない。特に、閉じ込めが失われる危険があるために、廃棄物を緊急に回収したり、廃棄物またはその容器の少なからぬ部分を回収したりする必要がある事態は、非常に起こりにくいと考えられる。むしろ、既存の処分システ

ム内で人工バリアを改良したり、代替の処分経路を用意したりしてから、廃棄物を除去することが考えられる。

将来、技術的な安全規格の変更により、処分場の性能に対する要求度が上下に変化するかもしれない。既存の処分施設が新しい基準を満たさなくなる状況が起こりうる。この場合、順守を遡及的に達成すべきか、それが可能か、またその価値があるかについて決定を下す必要がある。前述のように、廃棄物の回収は、より受け入れられる廃棄物管理の解決策が代案として利用できる場合にのみ行うべきである。

#### 資源としての意義

エネルギー戦略が変わった場合の使用済み燃料の資源としての価値は、この物質を回収可能な状態に保つ理由としてしばしばとり上げられる。すなわち、使用済み燃料は常に廃棄物と見なされるとは限らない。ガラス固化高レベル廃棄物や他の長寿命廃棄物が、いつの日か現実的なエネルギー資源になることは考えにくい。別の可能性は、天然において希少なまたは存在しない元素を回収して、将来の技術のために利用することである。そのような元素は、原理的には使用済み燃料やガラス固化高レベル廃棄物から回収できるかもしれないが、経済的な採算性を実証する必要があるだろう。

廃棄物コンテナを金属資源として回収する可能性はあるが、現在の基準では非経済的で無責任と見なされるであろう。一般に、廃棄物と他の処分場内物質の資源としての可能性は、処分場開発の意思決定において考慮する必要がある。核廃棄物処分場を立地する際に、天然資源の存在と土地の快適性価値は重要な検討事項である。以前は知られていなかった資源が処分場で発見されたり、地表の開発状況の変化などで土地に新たな快適性価値が付与されたりした場合に、回収を検討する必要があるかもしれない。この場合、実際の安全上の懸念から、または廃棄物の存在が資源や快適性の利用と矛盾するという考えから、廃棄物を除去する必要があるかもしれない。

#### 新たな廃棄物処理・処分技術の利用性

分離・消滅技術について研究が続けられている。この技術は、地層処分の現実的な代案にはならないと理解されているが、将来、処分する廃棄物を減容してその性質を変えるために、廃棄物管理戦略に組み込まれるかもしれない。それが事実としても、定置された廃棄物を回収することは、それを考慮して特別の設計がなされないかぎり、安全の観点から受け入れられるものではない。このような状況下で、政策決定に合わせて廃棄物が回収されるかもしれない

い。

これ以外に、斬新な廃棄物管理・処分法が開発されるかもしれない。ただし、地層処分が問題なく実施されれば、そのような手法を開発する動機は弱まると思われる。定置された廃棄物の回収に対する賛成・反対意見は、核種分離・消滅技術について述べたことに類似する。

### 社会的受容性とリスクの認知

現在、いくつかの国で、廃棄物処分計画に回収可能性を含めることが、倫理的理由と公衆の信頼性の観点から政策として採用されている。たとえ起きそうにない事故であっても、事故時になすべきことを知っていることにより、人々は技術について安心感を持つ。廃棄物の回収は、予期せぬ事象が起きた場合にとるべき最後の手段と見なすことができる。

地層処分概念が実証されれば、そのパブリック・アクセプタンスは高まるという見解が一部にある。しかし、パブリック・アクセプタンス、リスク認知、および容認される安全水準は、将来変わるかもしれない。回収が常にオプションとしてあることにより、地層処分に関する公衆の懸念を緩和できるかもしれない。

### 廃棄物を回収可能にするための反対要因

#### 操業時および長期の安全性へのマイナス効果に関する不確実性

処分場の開放期間を長くするための手段や、関連する監視や保守によって、潜在的にマイナスの効果を持つ過程が導入されるかもしれない。例えば、地下アクセス道の開放期間を長引かせることにより、処分場内物質やニアフィールドの岩石条件が劣化するかもしれない。そのような効果があればそれを評価し、有害な影響によって長期安全性が顕著に低下しないことを保証する必要がある。軽微な害は、引き延ばされた閉鎖前期間中に収集される追加データによる閉鎖後性能の不確実性の低下により、相殺できるかもしれない。しかし、その効果は小さいかもしれない。

回収可能性の導入によって、長期安全性が損なわれてはならない。例えば、回収を容易にするために、長期安全性の観点で十分に深くない位置に処分場を建設することは、受け入れられないと考えられる（そのような施設は、中間貯蔵施設としては受け入れられないかもしれない）。

回収可能性のために、廃棄物の定置後に長い閉鎖前期間を導入した場合でも、処分場設計と操業において、適切な安全性を保証しなければならない。作業員の被ばく線量と非放射線リスクは、許容される

目標値以内に保つ必要があるが、回収可能性を保証するために必要な保守と監視によって、線量が増え、通常事故や坑内事故の危険期間が長引くかもしれない。処分区域へのアクセス期間が大幅に長引くことに伴い、本格的な地下改修計画が必要になる可能性があり、廃棄物と回収可能性の概念によっては、廃棄物の再梱包さえ必要かもしれない。そのような場合、長期的な被ばく線量の低減または長期安全性の信頼性増大の観点から、作業員の線量増加が正当化されるか検討する必要がある。

### 最終的な閉鎖と密閉に関する不確実性

回収可能性に関連する、例えば100年以上の延長操業期間に伴って、処分場が適切に閉鎖・密閉されないかもしれないリスクが想定される。これは、組織または財務体制の崩壊や技術力の喪失によって起こりうる。その結果、保守や密閉が不十分な状態で、処分場へのアクセス道が開放されたままになるかもしれない。この場合、崩壊した開放アクセス道や完全に埋め戻されていないアクセス道は、地下水、気体、および汚染物質の移行経路となり、また処分場への不慮のまたは無責任な介入を容易にする。

### 処分場への無責任な侵入や介入の機会増加

政府と規制当局は、長期的に頼るべきではない。これは、地層処分概念が提案・開発された主要な理由の1つである。すなわち、処分場を維持管理する負担から、将来世代を解放することである。数十年の期間であっても、経済状態が変化したり、政治的混乱や戦争が起きた場合に、社会における法律や規制への順守度が低下することがある。廃棄物の回収可能性を組み込んだ処分場は、そうでない処分場に比べて、混乱時に、廃棄物や人工バリア材の無責任な回収や悪意のある損壊の標的にされやすいかもしれない。

### より強力な保障措置の必要性

主として使用済み燃料の処分場における、廃棄物の回収可能性を高めるためのあらゆる措置は、核物質の軍事目的での転用をできるだけ難しくするという目的に反する。核拡散防止条約の下では、原料物質または特殊核分裂性物質の管理に国際原子力機関（IAEA）との協議に基づく保障措置を適用し、それらが兵器に利用されることを防ぐ必要がある。同条約に準じて条約加盟国とIAEAの間で交わされた合意事項は、核物質が「实际的に回収不能」とIAEAが判断する場合にのみ撤回できる。回収可能性を提供することにより、核物質が回収されやすくなるので、保障措置と監督を強化する必要があるかもしれない。例えば、処分場の引き延ばされた開放

期間中は、最終閉鎖後よりずっと高度の保障措置が要求される可能性が高い。同様に、閉鎖後も廃棄物を回収しやすく設計された処分場は、そうでない処分場より注意深い監視が必要になり、将来世代に望ましくない負担をかける可能性が高い。

## 適切な安全性と保安

処分場設計に回収可能性を組み込むかどうかという決定は、潜在的な欠点と利点の比較に基づく必要がある。この種の決定は、処分場全般についてではなく、特定の処分場計画についてのみ下すべきである。回収可能性を組み込むことにより、可能だが予期せぬ将来の条件への対処に柔軟性が与えられる。例えば次のような状況が考えられる。(a) 廃棄物の定置後に初めて技術的な安全懸念が認識された場合や、受容される安全規格が変更された場合。(b) 処分場から資源を回収したい場合や、サイトで新たな資源や快適性価値が認識または開発された場合。(c) 将来開発されるかもしれない代替の廃棄物処理・処分法を利用したい場合。(d) 社会的受容性、リスク認知、政策要件などが変化した場合。

回収可能性を組み込まない理由として、次の事項が挙げられる。(a) 延長操業や関連する監視に従事する作業員の通常の安全性や放射線被ばくなどにおけるマイナス効果や、軽微な利点に関する不確実性。(b) 回収可能性に適するように長期化または複雑化した操業計画を採用することにより、処分場を適切に密閉できなくなる可能性。(c) 政治・社会的動乱時に廃棄物の無責任な回収や介入が試みられる可能性の増大。(d) より強力な核物質保障措置が必要になる可能性。

処分場の最終目標は、長期受動的安全に基づく廃棄物の隔離であり、回収可能性は副次目標もしくは選択肢にすぎないことを常に念頭に置くべきである。回収可能性は、処分場の操業中とその後の長期間において、適切な安全性と保安を保つように提供すべきであり、廃棄物を緊急に回収する必要があるような状況は特定されていない。将来、回収が望ましいオプションになったとしても、賢明な方式で回収を実施するための時間が必ずある。すなわち、回収された廃棄物を収容する代替の貯蔵・処分施設を準備することである。これにより、廃棄物の貯蔵や代替の処分経路のために冗長なシステムを待機させる必要性が軽減される。

最後に、可逆性は柔軟性を与える操業概念である。それは、廃棄物を安全に管理する能力に技術的な信頼性を与えるとともに、撤回できない決定がなされていないということで大衆に信頼感を与える。可逆性は、廃棄物管理オプションの最終的な安全性に対

する自信の欠如ではなく、利用可能な廃棄物管理オプションと設計代案を最適に利用する試みと見なすべきである。これは、目的に達するための手段である。すべてのオプションを常時選択可能にできないことを、当初から明確に認識する必要がある。むしろ、思慮深い方法でオプションを狭めていく方法である。実際、処分場開発の各段階で過程を逆に戻す必要性が適切な利害関係者によって注意深く評価されれば、閉鎖が決定される時点では高い信頼性が得られ、廃棄物を回収する技術的・社会的な理由はなくなっているであろう。