

高レベル放射性廃棄物 および使用済燃料の 深地層処分のための 可逆性と回収可能性 (R&R)

NEA R&R プロジェクト
(2007年～2011年)
最終報告書



©OECD2012

この”高レベル放射性廃棄物および使用済燃料の深地層処分のための可逆性と回収可能性”の日本語訳はOECDの公式的な翻訳ではありません。そのため、OECDはその正確性を保証するものではなく、またその解釈や使用がもたらすいかなる結果についても、一切責任を負いません。

This Japanese translation of “Reversibility and Retrievability (R&R) for the Deep Disposal of High-level Radioactive Waste and Spent Fuel” is not an official OECD translation; hence, the Organisation does not guarantee its accuracy and accepts no responsibility for any consequences of its interpretation or use.

放射性廃棄物管理委員会

高レベル放射性廃棄物および使用済燃料の深地層処分のための可逆性と回収可能性 (R&R)

NEA R&R プロジェクト(2007年～2011年)最終報告書

2011年12月

本報告書は、2007年に OECD/NEA 放射性廃棄物管理委員会が始めた可逆性と回収可能性 (R&R) に関する 4 年間にわたる国際プロジェクトの最終的な詳細報告書である。本プロジェクトの主要なマイルストーンは、文献調査を行うこと、NEA 加盟諸国の R&R に対する考え方を調査すること、および広範な関係者グループ内で議論することであった。この議論は、フランスのランスでの国際会議・意見交換会(2010年12月)で完了した。本報告書は、過去数十年にわたって可逆性と回収可能性に関して表明された意見を経験に基づいて調査し、それをもとにこれまでの経緯と時間的な変遷を整理したものである。また、R&R が適用される可能性のある様々な条件を考慮し、またその把握に努めながら、R&R がいかんにして各国のプログラムに、あるいは廃棄物処分に関する様々な利害関係者の考え方に組み込まれたのか(組み込まれなかったのか)についても調査した。R&R 作業グループは多くの国からのメンバーで構成されており、本報告書はそのグループで構築した相互理解を反映した定義と結論を提案するものである。

本文書に関し疑問がある場合は claudio.pescatore@oecd.org まで問合せをお願いします。

序 文

高レベル放射性廃棄物の管理で最も広く採用されている政策は、廃棄物を深地層処分場に定置し、その安全性を人の能動的な関与に頼らないようにすることである。処分場は、非常に幅広い事象に対して頑健で、かつ、能動的な管理や監視を必要とせずに、人および生物圏にとって有害な量の放射性物質の放出を防止するよう設計される。

廃棄物を処分場に定置し、閉じ込めるという広く受け入れられている政策は、現実的には、廃棄物を将来回収する可能性を残している。そこで、処分場の設計に際してどの程度まで回収を容易にできるか、あるいは容易にすべきか、また、その場合、その時間スケールはどうすべきなのかが、OECD/NEA 加盟諸国が継続的に関心を寄せている問題である。本報告書の目的は、各国での検討に資するために、廃棄物管理に携わる関係者や利害関係者の専門家、オピニオンリーダー、技術系・社会科学系の研究者の現時点での理解および見解に基づいて、関連する問題を中立的に概説すること、および OECD 諸国における見解を示すことである。

本書は、2007年に OECD/NEA 放射性廃棄物管理委員会 (RWMC) が開始した4年間のプロジェクトの成果をまとめた詳細報告書である。RWMC は各国の放射性廃棄物管理の分野の事業者、規制機関、政策決定機関、研究開発機関の上級代表者から成る議論の場である。RWMC は、放射性廃棄物の短期的、長期的な管理の安全性を推進すると共に、利害関係者の信頼についての検討を含め、放射性廃棄物問題を解決するための指針を示すことによって、NEA 加盟各国、さらにはもっと広く OECD 諸国を支援している。

可逆性(Reversibility)と回収可能性(Retrievability) (R&R) プロジェクトは、その概念に関する問題の範囲と考え方について、RWMC のメンバーの間での認識を高めることを目的として実施した。プロジェクトの目標は、ある特定の手法を推奨することや、特定の結論に導くことではなく、R&R への様々な取り組み方法を認識するとともに、検討のための基礎情報を提供することである。作業は、15カ国と2つの国際機関が参加する R&R ワーキンググループが実施した。プロジェクトの主要マイルストーンは、文献調査の実施、NEA 諸国の R&R に対する考え方の調査、広範な関係者グループ内での議論である。この議論は2010年12月にランス(フランス)で開催された国際会議・意見交換会(International Conference and Dialogue)で完了した。プロジェクトの記録は、www.oecd-nea.org/rwm/rr/に掲載されている。

本報告書で対象としている読者は、高レベル放射性廃棄物あるいは使用済燃料の処分場の計画立案や設計を行っている人々であって、廃棄物を回収することそのものについて検討している人々ではない。議論の一部は、低レベルおよび中レベル廃棄物の処分場の計画立案など、関連した状況にも適用できる。本書はワーキンググループによる成果の詳細報告書であり、要点をまとめたパンフレットも NEA が発行しており [Ref. 1] 入手可能である。

本報告書では、国際的な取り組みの過程で到達した相互理解を反映した定義を示している。本報告書は、過去数十年にわたって可逆性と回収可能性に関して出された意見を調査し、それをもとにこれまでの経緯と時間的な変遷を整理したものである。また、R&R が適用される様々な条件を考慮し、またその把握に努めながら、R&R がいかにして各国のプログラムに、あるいは廃棄物処分に関する様々な利害関係者の考え方に組み込まれたのか（組み込まれなかったのか）についても調査した。また、放射性廃棄物の長期安全性の分野における記録保存の例と現時点での知見もまとめている。

謝辞

本報告書は、R&R に関する RWMC のワーキンググループによる成果を取りまとめたものである。ワーキンググループの人数は、協力の呼びかけや意見聴取の過程を経て、プロジェクト開始時点の 15 名からプロジェクトの終了時には約 50 名に増加した。直接にご参加いただいた方や、プロジェクトのアンケートへの回答、報告書の草稿へのコメントの形で貢献して下さった多くの方々に対し、ここに感謝したい。

本プロジェクトの作業に対する資金面のご協力を、ベルギー (ONDRAF/NIRAS)、カナダ (NWMO)、フランス (Andra)、ドイツ (GRS)、日本 (NUMO)、スペイン (CSN および ENRESA)、スイス (Nagra) から頂いた。プロジェクトへの参加者はこれらの国々のみならず、オーストリア、チェコ共和国、フィンランド、ハンガリー、韓国、スウェーデン、イギリス、米国、欧州委員会、国際原子力機関にも及んでいる。

プロジェクトのコーディネーターは NEA の Claudio Pescatore が、その補佐をコンサルタントの Richard Ferch が務めた。

要 旨

はじめに

高レベル放射性廃棄物と使用済燃料の地層処分における可逆性と回収可能性（R&R）への関心は、1970年代以来着実に高まってきた。2008年、OECD/NEA諸国からの規制、産業、研究開発および政策に関する専門家で構成された国際的グループである放射性廃棄物管理委員会（RWMC）は、「可逆性と回収可能性が各国でどのような意味を持ち、どのような役割を果たすのかを明確にすることが重要であること、および可逆性と回収可能性の措置が長期安全性を阻害することがあってはならないこと、が一般に認識されている」と結論付けている。

本報告書は、それに続くものとして、2007年～2011年に行われたNEA RWMC主導の検討会の結果をまとめたもので、その目標は、OECD諸国における考え方を中立的に概観することである。R&Rプロジェクトは、15カ国と国際原子力機関（IAEA）、欧州委員会（EC）の他、RWMCの他の作業グループである利害関係者の信頼に関するフォーラム（FSC）、セーフティケース統合グループ（IGSC）、RWMC規制者フォーラムからの有益な貢献を受けた。5回のプロジェクト会合を開き、延べ約50人が参加した。また、大きな国際会議・意見交換会が1回開催され、180人以上の参加を得た。R&Rプロジェクトでは、廃棄物管理機関、規制機関、政策立案機関、社会学者と地域のリーダーを含む一般社会からも意見をもらい、また、彼らの間での意見交換も実施した。

用語の定義

R&Rと地層処分場概念を議論するときには、用語の明確化が非常に重要である。このため、プロジェクトでは主要な用語について独自の定義を行った。

可逆性(Reversibility)とは、原則として、処分システムを実現していく間に行われる決定を元に戻す、あるいは検討し直す能力を意味する。**後戻り(reversal)**とは、決定を覆し、以前の状態に戻す行為である。

回収可能性(Retrievability)とは、原則として、処分場に定置された廃棄物あるいは廃棄物パッケージ全体を取り出す能力を意味する。**回収(retrieval)**とは、廃棄物を取り出す行為である。回収可能性があるということは、回収が必要となった場合に

回収ができるようにするための対策を講じることを意味している。

可逆性に関する考え方

可逆性においては、必要であれば、処分場に関する計画や開発に関する以前の決定を過大な労力をかけることなく、後戻りあるいは修正できるように、できる限りの柔軟性を有する方法で処分の実施プロセスや技術を管理することが求められる。可逆性を持たせるということは、以前行われた決定に疑問を呈することを厭わず、また、そのような疑問を抱く姿勢を奨励する文化を示唆するものである。可逆性は、段階的意思決定プロセスに組みこむことが最善の方法である。そのようなプロセスをとることで、安全要件への適合を常に確保しつつ、計画を遂行している間に得られる情報を勘案して、計画の方向性をその新しい情報に適応させたり、変更したりすることができるようになる。

段階的な規制および政策決定が信頼できるものであるためには、それらの決定に可逆性があるか、あるいは少なくとも新しい情報に照らして、現実的な範囲で修正ができるものでなければならない。決定事項の可逆性については事前に議論しておくべきである。意思決定者が一つのオプション以外のすべてを排除することを意図したとしても、以前の決定は、不測の事態により修正される可能性が常に存在する。問題は、緊急事態への対応準備の場合と同様に、規定された意思決定プロセスの中に不測の事態に対する計画を組み込むのか、あるいは、この可能性を無視するのかどうかである。後者の場合、予想外の後戻りが起こったときに、見通しやプログラムに対する信頼を失う可能性がある。さらに、決定が当局によりその場その場で覆されると、その決定は思いつきと受け取られ、不信を生むことになるかもしれない。このことから、可逆性については、透明性が求められ、事前に明確にしたプロセスで枠組みを決めておく必要があると結論できる。

段階的意思決定においては、意思決定者は、通常、以前の決定を後戻りさせるかどうかを検討するホールドポイントを設け、その結果として出てきた判断を記録として残すという事を行う。この判断の基準については、事前に合意を得ておく必要がある。可逆性を廃棄物管理の仕組みに導入する社会的な理由は、後戻りさせることによる損失をないものにし、安易な後戻りを可能にするためでなく、「仮に後戻りさせるとの決定がなされた場合、その後戻りが必要となる労力も含めて合理的なものとなるようにするためである」とすべきである。同様に、処分の実施機関に対する意思決定の可逆性とは、回収に対して不必要な障害が生じないように回収可能性の措置を予め組み込むことを意味する。

可逆性は、処分プログラムの柔軟性を高める大きな要素であり、継続的な意見交換、

調整、協同での意思決定を行う機会も提供する。しかし、可逆性により得られる柔軟性は時間の経過と共に低下することを認識しなければならない。透明性の観点からは、このことを利害関係者に伝えなければならない。

回収可能性に関する考え方

国の処分プログラムの中で処分を実施する際の回収可能性について明言している場合に、回収可能性の目標は、将来の回収を容易にすることやコストがかからないようにすることではなく、将来社会が、廃棄物の回収を実施する、あるいは回収したい意思を持つ（例えば、回収が経済的に実現可能であると判断している）ことを想定して、回収の実現可能性を保証することである。回収可能性を取り入れたプログラムでは、以下の三つを、その主な理由としてあげている：(a)将来に対する謙虚な態度あるいは新しい考えや提言を受け入れる姿勢を持つこと、(b)安全性にさらなる保証を与えること、(c)「不可逆的な」状況に縛られたくないという公衆の希望に留意すること、である。

一部の国の処分プログラムでは、操業安全のために閉鎖前の回収可能性が求められているが、廃棄物処分の基本的安全特性として閉鎖後の回収可能性を求めている処分プログラムはない。従って、これらの処分プログラムにおける規制は、回収可能性を実証することまでは求めている。規制が求めているのは、原理的に回収を実施できるようにしておく、ということだけである。

処分場の操業段階では、可逆性と回収可能性を確保することは、廃棄物処分に対して慎重な対応を行うことと言える（すなわち、処分事業の推進の適性に関する不確実性に対応することである）。処分場の全ての事業段階で、廃棄物を限られた範囲に封じ込め（分散させず）、閉じ込めることができさえすれば廃棄物の回収が容易になる。これは、どのような深地層処分場でもそのように設定されている。遠い将来においても廃棄物は回収可能であるが、時間の経過とともに作業量と費用は大きくなる。このように、回収可能性は程度の問題であり、廃棄物を回収することが可能かどうかという問題ではない。回収する能力を高めるために、現時点においても回収を可能にする（回収可能性）ことができるかもしれない、また研究開発によって、将来、回収可能性が向上し、回収を容易にする方法が見出されるかもしれない。

技術的なレベルでは、どのような回収可能性の対策をとるかは、母岩、人工バリアの概念、および回収可能性を維持すべき処分場の事業段階によって変わってくる。回収可能性を処分場の設計段階で考慮する場合には、計画されているバリアや建設材料・配置が回収に対して必要以上の障害とならないように注意すべきである（材料によって

回収しやすいものと、そうでないものがあるのは事実である)。同時に、選択したものが施設の健全性を損なう恐れのないものでなければならない。回収可能性を高める措置の例としては、できるだけ耐久性の高い廃棄体と廃棄物容器を使用すること、坑道と処分場を閉鎖する前の期間をできるだけ長くすること、取り除くのが容易な緩衝材、埋戻し材を使用すること、などがある。

長期的なセーフティケースは操業期間後の制度的監視がなくても成立するものでなければならない(すなわち、受動的安全性を確保しなければならない)が、モニタリングや記録保存などの特定の監視措置を行うことは可能である。これらの措置は、操業後の回収に関する意思決定に、また、将来世代に選択の自由を与えることに貢献する。

回収可能性と処分場の各開発段階の関係について検討されており、またいくつかの国のプログラムで分析されている。この「R スケール (Retrievability scale)」が、処分場の開発段階を図で表したもので、段階の進展に応じて、回収の容易さ、受動的安全性、能動的管理がどのように変化するかを示している。R スケールは、いくつかの国の処分プログラムに適用したところ、有用なコミュニケーションツールとなることが確認されている。

数個以上の廃棄物パッケージの回収を1日で行うとなると、これは大きな決定である。処分プログラムが進んだ段階でそのような決定が行われると、回収作業のコストが増大し、安全上の問題も生じると考えられる。また、回収した廃棄物の取り扱いにより、作業員が放射線障害を受けないよう、廃棄物を安全に閉じ込め、処理できるように新規施設を建設しなければならない。回収は、新たな規制対象作業になる可能性があり、廃棄物を処分場に定置することを許可するのと同程度の厳しい社会的監視と承認が必要になると考えられる。他の放射線障害を伴う活動と同様に、このような作業を行う正当な理由と最適化が必要である。回収可能性の措置に関する決定を行うときには、これらの点についてコミュニケーションがなされてなければならない、そして考慮がなされなければならない。

プロジェクトの主要な活動

R&R プロジェクトの中で、二つの広報的な活動を行った。具体的には、2008年にプロジェクトを開始した時にNEA加盟各国に質問書を送付した。また2010年12月のプロジェクトの終わり近くにランス国際会議・意見交換会を開催した。

これらの二つの活動の間には多くの会合を開き、作業グループメンバーに加えて専門

家を招聘し、関係する用語を定義し、可逆性と回収可能性に関係する様々なトピックスについて議論を行った。その結果については、本報告書で詳細に紹介している。また、別途作成した資料集も取りまとめた[Ref.2]。並行して、処分場開発を図で示した「Rスケール」を記載したリーフレットについても議論し、様々な国の利害関係者と検討を重ねた。4ページのリーフレットである「国際的回収可能性スケール」の翻訳作業がいくつかの国で進められている（英語版を本報告書の付録に示す）。プロジェクト資料（質問に対する回答書をまとめたもの[Ref.3]とランス国際会議の資料[Ref.4]）は、それぞれ www.oecd-nea.org/rwm/rr/ から入手可能である。

R&Rに関する質問書

2007年に送付した質問書への回答により、可逆性や回収可能性を法律で求めている国もあれば、それについて正式には述べていない国もある、といったように、各国の政策や法律におけるR&Rへの取り組みが多様であることが明らかとなった。また、R&Rが法律や政策に正式に記されていない国でも、これらが重要な問題となる可能性があることは認識されている。国による差異には、母岩となる地層の違いやレファレンスとする処分場の設計の違いといった技術的なものがある（例えば、定置後に長期間にわたって坑道を開放したままにすることができるといった違いである）。さらに重要な点としては、各国がそれぞれ異なった処分場開発の歴史を持っていることに加えて、それぞれ社会的、文化的、法的な環境が各国特有のものであることが挙げられる。これらの根本的な違いが存在することを前提とすると、R&Rへの取り組みに多様性があることは予想できる。その一方で、質問書や議論を分析した結果、政策レベルにおいて、様々なプログラムや国間で共通的に一致しているのは、以下のことを保証する政策と規制が存在する場合にのみ廃棄物を処分場に定置できるということである：

- ・ 「廃棄物」は、まさしく廃棄物であり、潜在的な資源ではない。定義上、「処分」とは、回収の意図がないことを意味する。回収する意図が少しでもあれば、その状況は中間貯蔵と呼び、最終処分とは呼ばない。処分プログラムでは、回収は不測の事態であり、回収可能性はその不測の事態を計画に組み込むための手段である。
- ・ 人と環境の防護に関する規制は遵守されなければならない。これは、最終的な形態あるいは閉鎖された処分場での処分区画が、回収可能性を考慮しなくても安全であるとして許可を受けなければならないことを意味している。回収する能力があるからといって、受動的安全性が確信を持って実証されていない場合には、処分プロジェクトを進めることはできない。
- ・ 利害関係者が適切に関与している。

上記用語の一部は、処分プログラムによって必ずしも同じ意味を持つわけではない。

従って、上記の項目を処分プログラムに係わる文書の中で明確に規定し、いつも同じ意味で使用するよう留意しなければならない。特に、回収する能力（回収可能性）を備えることを実際の回収作業と混同しないようにすべきである。本プロジェクトで明確化した用語について本レポートで議論する。

ランス国際会議・意見交換会

「可逆性と回収可能性に関する国際会議・意見交換会」（2010年12月、於フランス・ランス）には、14カ国から180人以上の参加者があった。参加者は、廃棄物処分の実施機関に加えて、規制機関、政策立案者、社会科学の専門家、市民団体代表、利害関係者グループであった。これらの多様な関係団体が集まったことで、理論的、実際的な課題に関する様々な意見を集めることができた。会議での議論は、プロジェクトの成果を幅広い聴衆に伝えるとともに、R&R作業グループにとって新しい理解を得るのに役立った。特に、意見交換により、可逆性が決定そのものを後戻りさせるのではなく、意思決定への継続した参加を保証することであるとの理解を深めることができた。ランス会議では、社会科学の専門家を処分場開発、研究開発および意思決定プロセスに参加させることの重要性も明らかになった。会議の成果の精神は以下の声明に現れている：「R&Rは到達点ではなく、一緒に歩むべき道筋である」。

最初に出した質問書と同様、国際会議・意見交換会でも、各国の処分プログラム間で、また所属する機関ごとに、用語の理解に差異があることが明らかになった。可逆性、回収可能性、回収の概念を明確に区別することと、これらの概念について共通の理解を深めることの重要性が改めて示された。

全体的な結論

多くの国において、法律や政策レベルで、可逆性と回収可能性の要件が導入されている。これらの要件を設定するに至る社会的な要請は、容易に回収できるようにすることを求めるというよりは、後戻りできない段階を避ける、あるいは将来の意思決定に参加できるようにしておく、という方向であったといえる。将来、価値が出てくるかもしれない物質にアクセスできることと処分場の状態を直接的にモニタリングし続けることができる能力が、主要な社会の要求である。回収をさらに容易にする措置に対する要求が出されるのは、処分技術のことをよく知らない（あるいは処分技術の成熟度に信頼がない）ため、監視や能動的管理のない完全な受動的安全の概念に不安を感じているため、あるいは現在決定して将来の様々な行為を妨げるようなことになるのを避けたがっているためである。これら要因の多くは、時間と共に処分プログラムへの理解度と信頼度

が上がり、実際の性能と試験によって処分システムへの信頼が高まるにつれて緩和されてくると思われる。管理期間を長くすることによっても、受動的な安全あるいは本質的な安全に関する理解が深まり、それを受け容れる気持ちが高まってくることがあり得る。

この意味で、意思決定を行う上で、回収可能性を導入し、可逆性を適用することが、処分場プロジェクトがそれ以上進まず、廃棄物が長期間にわたって防護できない状態に置いておかれるというリスクを軽減するということができる。

地層処分は、全ての国のプログラムで想定されているように、原理的には常に可逆性を有する。長期的な制度的監視が終わった後でも、また、廃棄物容器の健全性が期待できる時間を超えた後でも、廃棄物の回収は可能と考えられる。ただし、回収作業は工学的に大がかりな作業となり、それを行うには強い決意と、人的／経済的資源、技術が必要と考えられる。

回収可能性を処分プログラムに取り入れることを検討するとき、処分プログラムの段階が進み、処分場が最終的な形態、機能を備えるに従って、回収が次第に難しくなっていくと考えられる。特に、安全上の配慮に加えて、核物質の物理的な防護と安全保障に関連した責任が、回収可能性の措置を処分プログラムにどの程度組み込むかを考える上での制約となる。

各国の処分プログラムにおいて、可逆性や回収可能性が政策や法律上の側面から重要であるとする国が増加しているが、可逆性や回収可能性に対するアプローチには様々なものがある。実際、これに関しては同じアプローチをしている処分プログラムは二つとないように思われる。処分プログラムが置かれている社会的、法的、技術的環境は、場所により、また時間の経過と共に変化する。全ての状況に適用できる「万能型」のアプローチがないことは明らかである。それでも、全ての処分プログラムではないにしても、多くのプログラムに共通する要素と側面もある。

現在支配的となっている考え方は、「意思決定の可逆性と廃棄物の回収可能性は、この概念の限界が理解されていれば、どの地層処分プログラムにとっても有益な特性である」というものである。多くの国の処分プログラムでは、技術的な観点からは、処分計画の遂行に柔軟性を持たせるための管理アプローチであり、プロセスを最適化するための手段である、と考えられている。可逆性は、この柔軟性に大きく寄与する可能性がある。

総合的には、処分実施のプロセスと意思決定の性質は極めて重要と考えられる。高レ

ベル放射性廃棄物や使用済燃料の処分のような長期にわたるプロジェクトでは、処分プログラムの段階が進展する間に様々な理由で変更が行われるという点を考慮すると、処分プログラムの最終結果が、当初の計画とは異なったものになることがありえる。常に研究心を持ち、かつ新しい知見への適応性も持たなければならない。途中段階での意思決定が信頼されるものであるためには、ある程度後戻りができる、あるいは変更ができるものでなければならない。この状況に対する実際的なアプローチは、学習、試験、疑問、遂行、更なる疑問という段階的なプロセスを採ることである。可逆性は、このプロセスの本質的な部分であり、回収可能性は可逆性を達成するための技術的手段である。

放射性廃棄物の深地層処分場は、人の能動的な関与を必要としない長期安全性に基づいて、設計され、許可が出される。意思決定の後戻りと廃棄物の回収は設計の目標ではない。しかしながら、可逆性と回収可能性は、安全で、社会的に受け入れられる地層処分という最終的な目標に向けた長い工程を円滑に進めることのできる意思決定と設計プロセスに役立つものである。以上、可逆性と回収可能性に関する文献のレビュー、およびこれらの概念が各国の廃棄物管理プログラムとの関連でどのように議論され、その処分プログラムに導入されたかの検討を通じて、各国は可逆性と回収可能性に関する見解を有するべきであると結論づけることができる。

目次

序文	5
要旨	7
1. はじめに	17
1.1 背景	17
1.2 本報告書の構成	19
2. これまでの経緯と用語	21
2.1 過去 30 年間の進展の概要	21
2.2 基本的原則	27
2.3 用語の問題	30
3. 可逆性と意思決定	39
3.1 段階的意思決定	40
3.2 可逆性と処分場開発の認可	41
3.3 処分場の事業段階と可逆性	45
3.4 回収の意思決定	50
3.5 R&R に関する情報伝達	51
4. 回収可能性：回収作業と課題	55
4.1 回収可能性と可逆性に関する処分場の設計および構成要素	56
4.2 技術的要素と課題	60
4.3 他の要素と課題	69
4.4 可逆性と回収可能性を促進する、あるいは難しくする技術要因	76
5. R&R プロジェクト作業グループから見た各国の状態および関連する考え方	79
5.1 各国の要件の現状	79
5.2 可逆性および回収可能性に関する 2010 年国際会議と意見交換会	81
5.3 R&R プロジェクト作業グループ内で到達した主な結論と集約意見	83
6. 結論	87
社会政策問題	88
技術的な問題と安全問題	90
全体的な所見	92
参考資料	95
付録 – R スケール (国際的に合意された回収可能性に関する段階的区分) のリーフレット	101

ボックス一覧

ボックス 1 : NEA の R&R プロジェクト.....	18
ボックス 2 : 回収可能性の措置を行うことが有利に働く因子および不利に働くと思われる因子 [Ref. 20]	24
ボックス 3 : スイスにおける放射性廃棄物の処分についての EKRA-2000 の重要性と目的およびそれらの評価 [Ref. 21].....	29
ボックス 4 : 本報告書で採用している主な定義.....	37
ボックス 5 : 各国の可逆性と回収可能性の要件[Ref.3]	80
ボックス 6 : ランス会議に関し作業グループが到達した結論.....	83

図一覧

図 1 : 決定の可逆性 : 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)	35
図 2 : 処分場の事業段階および関連する意思決定の例	46
図 3 : 「R スケール」の図示	54
図 4 : 関連する現象が作用する時間スケール ([Ref.57]より)	57

表一覧

表 3.1 : 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	52
表 4.1 : 回収可能性の管理戦略と操業前の段階に考慮すべき要因.....	61
表 4.2 : 回収可能性の管理戦略と操業段階に考慮すべき要因.....	62
表 4.3 : 回収可能性の管理戦略と操業後の段階に考慮すべき要因.....	63
表 4.4 : 回収作業に伴う技術上の課題.....	64
表 4.5 : 操業前段階における可逆性と回収可能性に関連した研究開発活動および関連する課題	66
表 4.6 : 操業中および操業後の段階における可逆性と回収可能性に関連した研究開発活動および関連する課題	67
表 4.7 : 処分戦略の構築中に回収可能性の措置を採用するメリットとデメリット.....	77

1. はじめに

1.1 背景

可逆性と回収可能性（R&R）は、下記のように、放射性廃棄物管理において長年にわたり検討されている概念である。

- 1969年、全米科学アカデミーは、議会への報告書、『技術：評価と選択のプロセス（Technology: Processes of Assessment and Choice）』の中で、「他の条件が同じであれば、将来の方針転換の余地を最大限残す技術プロジェクトや開発が支持されるべきである。従って、活動に可逆性があるということは大きな利点と見なし、可逆性がないということは大きな欠点と見なすべきである」と述べている [Ref. 5]。
- 米国原子力規制委員会への説明のためにタスクグループが作成した1978年付のNUREG-0300の文書「放射性廃棄物管理の目標（案）」 [Ref. 6] では、その目標の一つとして、「廃棄物を地球上で処分するのであれば、（技術が現在と同じ程度の水準であると想定して）廃棄物の回収可能性を残すことを排除すべきではない」としている。
- 中低レベル長寿命放射性廃棄物を対象としたWIPP処分施設は、廃棄物が原則として、処分場閉鎖後数世紀にわたって回収可能であることを前提として認可されている [Ref. 7]。
- 一部の国では、低レベル短寿命放射性廃棄物処分施設が回収可能性の概念に基づいて操業されている。規制機関が特定の設計対応を要求している国（スペイン）もある。

高レベル放射性廃棄物および使用済燃料の可逆性と回収可能性への関心が、1970年代後半から着実に高まっている。このことは、R&Rプロジェクトの間に作成された資料集 [Ref. 2] からも、また本書からも明らかである。それでも、未解決の問題がまだ残っている。2008年、NEAのRWMCは、『放射性廃棄物の地層処分の推進（Moving Forward with Geological Disposal of Radioactive Waste）』 [Ref. 8] という意見集約文書の中で、「可逆性と回収可能性が各国にとってどのような意味を持ち、どのような役

割を果たすのかを明確にすることが重要であること、また、可逆性と回収可能性のための対策を講じることによって長期安全性が脅かされてはならないということが、一般に認知されている」と結論付けている。

本報告書は、高レベル放射性廃棄物および使用済燃料の深地層処分に対する可逆性と回収可能性の概念について検討するものであり、2007年にNEAが開始した取り組み（ボックス1）の成果を文書化したものである。この取り組みの目標は、関連する問題を中立的に概説することおよびOECD諸国の考え方を示すことであり、廃棄物管理分野の技術的な専門家、その他の利害関係者、オピニオンリーダー、理工学系および社会科学系の研究者が彼らの現在の理解および見解を示したものとなっている。本報告書は、これらの議論のすべてを詳細に示すのではなく、最も重要な問題およびいくつかの成果に焦点を当てて紹介するものである。

本報告書の中で、廃棄物の回収を実際に計画する時に直面すると考えられる課題の一部に触れているが、本報告書で対象としている考え方は、高レベル放射性廃棄物、使用済燃料の処分場の計画立案や設計を行っている人々を対象としており、実際に回収を行う人々ではない。議論の一部は、低中レベル廃棄物の処分場の計画立案など、関連した状況にも適用できる。

ボックス 1：NEAのR&Rプロジェクト

本報告書の元となったNEAのR&Rプロジェクトの内容は、www.oecd-nea.org/rwm/rr/にまとめられている。このプロジェクトでは、参加する関係者および考え方の範囲を次第に広げていながら成果を継続的に改良していくという手法がとられている。

プロジェクトは、複数の段階で実施された。

- 第1段階（2007～2008年）：可逆性と回収可能性をテーマとした文献集の作成 [Ref. 2]。この文献集は2010年まで更新が続けられた。
- 第2段階：NEA加盟国における処分プログラムの現状についてアンケートを実施し、処分プログラムにおける可逆性と回収可能性の役割に関するデータを収集した [Ref. 3]。アンケートは2008年5月に発送した。作業グループを立ち上げ、一連の会議を開催して、アンケートの回答について分析が行われた。その後、その分析から生じた様々な検討テーマについて、テーマ別の会議を開催した。

- 第3段階（2010年12月14～17日）：フランスのランスでの国際会議（International Conference and Dialogue）の準備および開催 [Ref. 4]。R&Rに関する本報告書およびリーフレット（付属書類参照）のドラフト版がこの会議の検討用の資料として使用された。
- 第4段階（2011年後半）：プロジェクトの完了とその文書化。その結果、本書が発行され、その主旨をまとめたNEAパンフレットが発行された [Ref. 1]。

1.2 本報告書の構成

本報告書の構成は、以下の通り。

第1章では、本報告書の紹介、および背景を説明する。

第2章では、1970年代後半以降、回収可能性および可逆性の概念がどのように変化したかについて概説する。R&Rが将来世代にオプションを残すという基本理念と関係していることについて議論する。この章では、可逆性と回収可能性の議論が困難となっている重要な理由の一つが、重要な基本用語および概念が利害関係者によって異なって理解されていること、あるいは国によって異なって使用されていることにあることを示す。この章では、本報告書で使用する用語の定義も行う。

第3章では、処分場開発の意思決定という観点から、可逆性に関連した主要な検討事項のいくつかについて議論する。処分における意思決定は連続的に行なわれ、見直され、時には規制機関や安全当局による審議の対象となる。従って、この章では、規制に係わる課題に注目する。また、コミュニケーションについても取り上げ、ジェネリックかつ国際的な「回収可能性スケール（R スケール）」を提示する。これは、廃棄物の管理および処分の主要な段階において回収可能性がどのように変化するか、そしてその後の処分場の状態がどのようになるかを示すものである。

第4章では、処分場が様々な事業段階にある場合の回収可能性に関連する重要な検討事項について概説する。廃棄物の回収可能性や可逆性に影響する決定要因を明確化する。この章では、技術的課題、技術以外の側面、関係するコストおよび保障措置問題について議論する。また、回収可能性や可逆性の利点と欠点を整理する。

第5章では、NEA 各国で考えている可逆性と回収可能性の類似点と相違点、それについての R&R 作業グループメンバーの意見をまとめる。R&R というテーマの取り扱いは、国によって異なる。可逆性と回収可能性の原則については相当程度一致しているが、これらの原則を処分プログラムで実現できるかどうか、またどのように実現するかについては差異がある。これらの処分プログラムが置かれている文化的および歴史的な背景が異なっているためである。この章では、2010年12月にフランスのランスで開催された「可逆性と回収可能性に関する国際会議・意見交換会 (International Conference and Dialogue on Reversibility and Retrievability)」 [Ref. 4] の主要成果についてもまとめる。

第6章では、本報告書の主要な成果と結論を示す。

2. これまでの経緯と用語

第 1.1 節で見てきたように、概念としての可逆性と回収可能性 (R&R) は、放射性廃棄物管理において長年にわたって検討されてきたものである。R&R は、将来世代に一定レベルの選択の自由を残すという基本理念に対応したものである。この基本理念は、いくつかの技術文書に見られ、社会からのフィードバックを反映して登場したものであり、放射性廃棄物の処分に適用される国際的な指針 (Guidance) に示されている他の原則と合わせて考慮しなければならないものである。

処分場概念と R&R を議論する時には、用語が極めて重要である。重要な用語と概念の使用方法が異なったり、混同したりする可能性を無くすために、本章では、本報告書で使用する用語を定義する。このテーマについて意見交換するときには、関係者が基本的な用語と概念を理解していることが重要である。また、国際的な比較研究を行うときには、国ごとの用語の違いを認識し、その違いを考慮することが極めて重要である。

2.1 過去 30 年間の進展の概要

1970 年代後半以降、ほとんどすべての国の処分プログラムにおいて、R&R に関する議論が行われ、R&R に対する考え方が提示されてきた。

1980 年代の例としては、KBS-3 の処分研究報告書がある [Ref. 9]。この報告書では次のように述べられている：「将来世代は自らの意思に基づく行動に対して責任を負うことになると考えなければならない。ここで重要なことは、彼らの意思決定の基礎となるように、できる限りの情報を彼らに提供すること、すなわち、最終処分場の位置、設計、機能に関する情報をしっかりと記録・保存することである。将来のいずれかの時点で、人々が最終処分場に存在する銅や使用済燃料の回収を希望する場合、彼らは放射能のリスクを認識し、それに対処することができるはずである。」1980 年代に遡ると、米国内のあらゆる使用済燃料、高レベル放射性廃棄物、超ウラン廃棄物の処分施設に適用される米国環境保護庁 (EPA) の一般的な規制の考え方が示され、これには次のように述べられている：「処分システムは、処分後の合理的な期間、大部分の廃棄物を撤去することができるように選定しなければならない」 [Ref. 10]

- 1983 年の KBS の研究において廃棄物の回収について述べられている内容が、安全上の理由からではなく、有用物質の回収に関する選択の自由を将来世代に残すことが理由になっていることは興味深い。回収可能性は、特別な技術的措置を必要とするものとしてではなく、処分場の事業段階の全てにおいて本質的に存在す

- る機能であり、情報保存措置によって支援する必要のある特性として示されている。
- EPA の規則では、規則で規定された閉じ込め要件への適合の信頼性を高めるために回収可能性が必須であると説明している。つまり、廃棄物が一定の期間、回収可能な状態にあれば、そのこと自体により廃棄物が自然界に分散していないことも意味しているというのである。この意味において、回収可能性は、安全性を確保するための単なる要件ではなく、安全性の保証レベルを高めていることになる。規制に回収可能性を含めることについては、安全上の理由を含めて、将来世代に選択の自由を与えるものとして次のように追記されている：「本規定 (191.14(f)) の趣旨は、廃棄物の回収を簡単に行えるようにしたり、安価に行えるようにしたりすることではなく、単に、将来、新しい発見があったり、廃棄物の移動が必要になったときに、これを可能とするだけのことである。」この文脈で、回収可能性は、信頼性を高めるための万一の役割を果たすことが目的とされているために、EPA は、回収が実現可能である必要はあるものの、回収の準備をする必要はない、として次のように述べている：「この保証要件を満たすためには、かなりのコストがかかり、職業上のリスクはあるとしても、閉鎖された処分場を掘削して廃棄物を回収することが可能であることが、(現在の技術レベルを想定して) 技術的に可能でありさえすればよい。」その後、WIPP 処分場が上記の要件に従って 1988 年に操業が認可された¹。

1990 年代には、回収可能性をめぐる議論は、回収を不必要に妨げないという論点から、回収を容易にする（例えば、特別な設計上の措置および適応性のある意思決定によって）という論点に移っていった。このように変化した理由は、将来世代の選択の自由をさらに高めるため、また、時間の経過と共に安全上の問題が生じるのではないかとこの懸念に対応するためだけでなく、一部の社会階層からの要求に応えるためでもあった。

- 1991 年、フランス放射性廃棄物法は、深地層処分場の実現可能性に関する研究を、可逆性の措置がある場合、ない場合について行うことを求めている。地下研究施設 (URL) の立地選定段階 (1992～1998 年) では、可逆性が社会の受容性および意思決定者にとって重要な問題であると見なされ、処分システムの開発に当たっては「可逆性の論理」に従うことが政府から要求された [Ref. 11]。

¹ 1996 年、EPA は WIPP サイトを対象とした規則を出した (40 CFR 194)。この規則によれば、既存の技術を用いて廃棄物の取り出しが実現可能であることを証明しなければならず、かつ、許可申請書には、万一 EPA が認証を取り消した場合の取り出し計画を含めなければならなかった。

- もう一つの例は、シーボーン環境評価小委員会がカナダの当初の処分場概念について出した 1998 年報告書の結論である [Ref. 12]。同小委員会は、処分概念の検討を進めていくことに対してまだ十分な社会的合意が得られていないと表明した。社会的合意が不足しているとする理由の中でもとりわけ大きいのが、モニタリング、回収、再利用、新技術の出現を処分概念にもっとうまく取り込んで欲しいという、多くの利害関係者側の要望があることである。
- 1999 年に発表された NEA の調査 [Ref. 13]では、次のように述べている：「実施事業者および規制機関は、処分施設の安全を損なうものでない限り、公衆の要請を聞き入れることにかつてないほど前向きである。ある共通的な要望は、長期的なモニタリングを可能とし、可逆性と回収可能性を有する方策および手順に係わるものである。多くの処分プログラムにおいて現在、これらの課題が明示的に考慮されている」
- 2000 年 6 月、ドイツ政府は、HLW および使用済燃料を処分するためのゴアレーベンサイトの開発凍結を宣言した [Ref. 14]。示された理由の一つは、回収可能性の分野でのさらなる開発を待つ必要があるというものであった。

回収可能性に関する技術的な面についての関心は、この期間においてもずっと存在した。国際的な技術ワークショップが、例えば、1997 年には Nagra 主催で、1998 年には Andra 主催で開催された。回収に関する試験が SKB [Ref. 15] および Nirex [Ref. 16] によって実施された。スウェーデンの規制機関は、スウェーデンの開発状況について次のように肯定的に述べている：「最終的に最終処分段階になって回収計画を立案する（すなわち、処分場を中間貯蔵施設として見なす）ことはあり得ないとしても、SKB は回収方法を開発しなければならない、というのが SKI の見解である。SKI の見解では、詳細な調査を開始する決定を行う前に、回収方法を開発し、実規模で実証しなければならない。したがって、SKB が回収技術の研究を開始していることに肯定的であり、SKI は、計画されている Äspö 硬岩研究所での回収試験の結果を期待している」 [Ref. 17]。

回収可能性だけを扱った最初の主要な国際的出版物は、1999年にスウェーデンで開催されたセミナーの会議録である [Ref. 18]。発表された論文には、回収可能性に関する広範なテーマが取り上げられ、この議事録は、(R&Rプロジェクトによって組織された2010年の国際会議の議事録 [Ref. 4] が発表されるまでは) 参照すべき回収可能性に関する最も包括的かつ詳細な国際的資料と見なすことができる。ほぼ同時期に、欧州委員会 (EC) が「深地層処分場内の長寿命放射性廃棄物の回収可能性に関する協調行動

(*Concerted Action on the Retrievability of Long Lived Radioactive Waste in Deep Underground Repositories*)」[Ref. 19] という研究を支援している。この研究に参加した数名が、スウェーデンでの会議において論文を発表している。これと並行して、NEAが概要報告書「放射性廃棄物の地層処分における可逆性と回収可能性：各国の考え方 (*Reversibility and Retrievability in Geologic Disposal of Radioactive Waste – Reflections at the International Level*)」[Ref. 20] を発表した。下記のボックス2に挙げた要因は、回収可能性に有利に働く、あるいは不利に働くと見られる要因であり、NEAの概要報告書に挙げられたものである。

ボックス 2：回収可能性の措置を行うことが有利に働く因子および不利に働くと見られる因子 [Ref. 20]

回収可能性を設計概念に盛り込むことが有利に働く因子：

- ・ 廃棄物を定置した後や、許容可能な安全性基準を変更した後で初めて分かる安全性に対する技術的懸念事項
- ・ 処分場から資源（例えば、廃棄物自体の成分）を回収したいという欲求、またはサイトで新たな資源が見つかった場合や生活に役立つ価値が見出された場合
- ・ 将来開発されるかもしれない別の廃棄物処理技術や処分方法を使用したいという要望
- ・ 社会的受容およびリスク認識の変化または政策上の要件の変更に対応したいという要望

回収可能性が不利に働く可能性のある因子：

- ・ 回収可能性が及ぼす悪影響（長期化した操業や関連するモニタリングに従事する作業者の一般安全、放射線被ばく）に関する不確実性、あるいは、そのようなリスクに対する利点が限定的であるという理解
- ・ 回収可能性をやりやすくするために操業計画が長期化したり、より複雑にしたりすることによって、処分場の適切な閉鎖に問題が発生する可能性
- ・ 政変や社会的混乱で保障措置（セーフガード）およびモニタリングが行われなくなったときに、廃棄物を回収または害をあたえようとする無責任な行為から保護する必要性
- ・ 核物質の保障措置を強化する必要性

NEA 報告書 [Ref. 20] は、可逆性を回収可能性とは別の概念として導入している。この発想の起源は、スイスの現行原子力法の一部で取り入れられている EKRA-I 研究

[Ref. 21] と、スウェーデンの事業者 (SKB) の T. Papp による寄稿論文 [Ref. 22] である。この論文の中で、「後戻り」の概念、すなわち「処理、処分、埋戻し、閉鎖という段階的な一連の流れのどの段階でも撤回する能力」という概念が導入された。現実問題としては、後戻り可能なアプローチを採用している場合には、重要な意思決定の度に廃棄物を回収するかどうかを詳しく検討することが可能である。回収する安全上の理由がないことを確認する決定を共同で行うことを各段階で続けることにより、計画を前に進め、最終的には施設を閉鎖するとの決定が容易になると思われる。

2003 年に英国で、高レベル放射性廃棄物を安全に管理するためのオプションを検討し、長期的解決策に関する勧告を出すために、放射性廃棄物管理委員会 (CoRWM) が設置された。廃棄物の回収可能性は、CoRWM が検討した課題の一つであった。CoRWM はその報告書 [Ref. 23] の中で、即時処分と段階的処分の両方について検討した。段階的処分では柔軟性をもたせるために埋戻しと閉鎖が先送りされることになる。

スウェーデンの Äspö 地下研究施設での大規模な実験には、キャニスターの回収に関する試験 [Ref. 15] だけでなく、プロトタイプ処分場の解体 [Ref. 24] も含まれている。このプロトタイプ処分場の解体により、閉鎖後の回収技術に関連する情報が得られると期待されている。

各国の処分プログラムにおける様々な開発に加えて、国際機関からこのテーマに深く関わる報告書が2件、出版されている。その一つは、NEAの報告書「放射性廃棄物の長期的管理のための意思決定への段階的アプローチ：経験、課題、基本理念 (*Stepwise Approach to Decision Making for Long-term Radioactive Waste Management - Experience, Issues and Guiding Principles*)」 [Ref. 25] で、これには可逆性を含めた適応性のある段階的的意思決定に関連したテーマが取り上げられている。もう一つは、IAEA報告書「放射性廃棄物の処分：回収可能性の技術的意味合い (*Disposal of Radioactive Waste: Technological Implications for Retrievability*)」 [Ref. 26] であり、この報告書では回収可能性に関連した技術的課題に焦点が当てられている。

技術面では、欧州委員会が後援した ESDRED プロジェクトで、2 件のケーススタディが行われている。研究の対象となっているのは、フランス (Andra) の処分場概念 (粘土質の岩盤に処分坑を水平に掘削したもの) とドイツ (DBE-TEC) の処分場概念 (岩塩に処分孔を縦に掘削したもの) である。これらのケーススタディ (オランダの NRG が実施) では、いずれも廃棄物キャニスターが回収可能であることが確認されている [Ref. 27]。

2009年11月には、ECの支援により「地層処分の計画の遂行：技術基盤（IGD-TP）」プロジェクトが、SecIGDを事務局として始まった [Ref. 28]。SecIGDは、「開発計画」の一環としてそれ以降の計画実施に向けた「戦略的研究計画（Strategic Research Agenda-SRA）」の開発を推進している。回収可能性はSRAの中心テーマの一つと見なされている。

21世紀の最初の10年間にも、回収可能性に関連した重要な出来事が2件あった。その一つは、(a) WIPPの廃棄物が、品質保証上の懸念から実際に二度、回収されたことである。最初の回収は環境規制機関からの要請によるもので、2回目は実施事業者が自発的に行ったものだった [Ref. 29、30]。もう一つの出来事は、(b) アッセ鉱山に定置されている廃棄物の回収について熱心な検討が行われたことである [Ref. 31]。アッセでの廃棄物の回収は、将来の高レベル放射性廃棄物の処分場で予想される事態の成り行きを示すものとは考えられていないが、それでもその経緯と遭遇した困難さは、本件の観点からも参考になる。

2010年3月、米国エネルギー省（DOE）は、ユッカマウンテンの高レベル放射性廃棄物処分場の許可申請をNRCの規制プロセスから取り下げる申立てを行った。原子力安全・許認可委員会（ASLB）（NRCの許認可案件を聴聞する独立の審判機関）は、検討を重ね、利害関係者からの証言を得た後に、DOEの申立てを拒否した。その理由は、1982年放射性廃棄物政策法では、許可申請書が審査のために一旦、NRCによって受理されると、許可申請書の是非に関して決定する以外のことを想定していないというものだった。本報告書を作成した時点では、NRCはASLBの決定の評価をまだ完了していなかった [Ref. 32]。ユッカマウンテンの許可申請を取り下げ、それに引き続いてユッカマウンテンを米国での処分場の検討対象から外すというDOEの要請は、可逆性という問題の重要性と複雑さをも表している。

その後、回収可能性は、「米国の原子力の将来に関するブルーリボン委員会」の廃棄物処分の手法およびオプションに関するヒアリングで議論するテーマの一つとなった [Ref. 33]。ブルーリボン委員会は、エネルギー省長官宛の報告書の草稿の中で、可逆性と回収可能性の役割を検討し、米国では可逆性のある、段階的、かつ適応性のあるプロセスを採用することを推奨した [Ref. 34]。回収可能性が将来の米国の計画および要件に最終的に組み込まれることになるか否かにかかわらず、回収可能性がこれらの計画および要件につながる議論で重要な位置を占めることは明らかである。

ごく最近、欧州理事会は、使用済燃料と放射性廃棄物の管理に関する2011年指令の

序文で、可逆性と回収可能性を処分システムの操業・設計基準として組み込む可能性があることを認めた [Ref. 35]。

R&R のテーマで現在、どういう点に関心が集まっているかについては、2011 年にまとめた本報告書に記載している。本報告書は、最近 (2007~2010 年) 行った R&R の分野での NEA プロジェクトの成果をまとめたものである。このプロジェクトの具体的な目標は、(i) 規制、政策および事業間の考え方の橋渡しをすること、(ii) これまでの成果と各国の考え方をレビューするために専門家と専門外の人とを呼び集めること、(iii) 問題となっている課題をより包括的に理解してもらうこと、(iv) これらの成果を文書化することである。

2.2 基本的原則

「1995 年放射性廃棄物管理の原則に関する IAEA 安全原則 (1995 IAEA Safety Fundamentals on Principles of Radioactive Waste Management)」 [Ref. 36] は、廃棄物処分の指針として下記の二つの原則を示している。

- ・ **将来世代の防護**：放射性廃棄物は、予測される将来世代の健康への影響が、現在容認できる影響レベルを上回ることはないように管理する。
- ・ **将来世代への負担**：放射性廃棄物は、将来世代に過剰な負担を負わせないように管理する。

この 1995 年の文書は、その後、上記の二つの原則を下記の一つの基本原則にまとめた新しい (2006 年) 安全原則の文書 [Ref. 37] に更新されている。

- ・ **現世代および将来世代の防護**：現在および将来の人と環境を放射線リスクから防護しなければならない。

この防護の基本原則の説明文では、以下に示すように、以前の二つの原則がいずれもこの基本原則に盛り込まれていることが明確に示されている。

「影響が数世代におよぶ可能性がある場合、将来世代が大がかりな防護措置を講じる必要がないように十分防護しなければならない」

「放射性廃棄物は、将来世代に過剰な負担を負わせないように管理しなければな

らない。つまり、廃棄物を排出する世代は、その長期的管理のために安全かつ実施可能で環境面で受け容れられる解決策を模索し、適用しなければならない」 [Ref. 37]

廃棄物処分に関する文献には、これらの他に第3の基本理念、すなわち、将来世代にオプションを残すこと、が頻繁に言及されている。初期の表現 [Ref. 36] は次のようになっており、これは現在も有効である。

- ・ **将来世代にオプションを残すこと**：時間と共に知識が増えていく、また、価値判断が変化する場合には、安全のため、および長期的防護のために資源を利用することを自分の意思で決定する自由を、将来世代に与えるものとする。さらに、処分場は、廃棄物の回収、モニタリング、処分場の補修といった将来の活動を不必要に阻害しないように設計しなければならない。

この基本理念が認識されている例は、初期の研究や規則に見ることができる [Ref. 6、9、10]。2010年に、ベルギーとカナダのプログラムで報告された考え方も、この基本理念に則したものである [Ref. 3]。この基本理念をより一般的な形にしたのが、米国科学アカデミーの予防原則の表現である。

- ・ **技術のオプションを選定する際の予防原則**：「他の条件が等しければ、将来の方針転換の余地を最大限残す技術的計画や開発が支持されるべきである。従って、活動に可逆性があることは大きな利点とみなし、可逆性がないことは大きな欠点とみなすべきである」 [Ref. 6]

スイスの「監視付き長期地層処分」の概念がよりどころとしている EKRA-2000 論文 [Ref. 21] は、後者の基本理念の応用と考えることができる。同論文は、ボックス3に示されている重要性の階層に基づいて様々なオプションを検討した後、次のように結論付けている：「具体的なプロジェクトの一環として徹底的な調査を行った結果、監視付き長期地層処分の概念が地層処分に匹敵するレベルの安全性を提供できることが証明された場合には、監視付き長期地層処分の方が回収が容易なことを考えると、監視付き長期地層処分を望ましいオプションとすべきである」

EKRA と KASAM の研究は、いずれも基準となる基本理念の策定に当たって倫理学者が関与している。Andra の意見では、上記のすべての原則に共通しているのは「穏健かつ謙虚な」姿勢であり、その姿勢がその時々科学的知識のレベルを考慮した賢明なアプローチを促す、としている [Ref. 39 の section 2、Ref. 40]

ボックス 3: スイスにおける放射性廃棄物の処分についての EKRA-2000 の重要性と目的およびそれらの評価 [Ref. 21]

EKRA は、放射性廃棄物処分の重要性および目的を定義し、それらを階層的に体系付け、評価する。最優先するのは、安全である。

- 人と環境の安全
- すべての世代の自由、社会・集団間および世代間の公平性
- 「発生者支払」原則の遵守
- 受容性

回収可能性をめぐる議論の多くは、将来世代への過剰な負担を軽減するという基本理念と、彼らにオプションを残すという基本理念との間の矛盾に起因する。将来のオプションを残すことによって、将来世代が新たな情報と変化するニーズに照らして自らの意思で決定することができる一方、オプションを残すこと自体が必然的に負担となる。つまり最低限として意思決定プロセスをとらなければならないという負担を残すことになる。もっと分かりやすい負担もある。将来世代にオプションを残す際、内容物の回収を容易にするために処分場を開放したままにするという決定が行われた場合には、(i) 操業による被ばく、(ii) 偶発的な放出に関するリスクの継続、(iii) 操業コストを賄うための財政措置、(iv) 制度的管理の信頼性維持をサポートする必要性等が出てくる可能性がある。可逆性のない選択を回避または制限する米国科学アカデミーの基本理念は、これらの他の 2 つの原則を調和させる、またはバランスさせる一つの方法である。

最近の NEA の研究 [Ref. 41] では、各国が何を「過剰な負担」と見なしているかが調査されている。「過剰な負担」という用語を、金銭的負担と解釈していると回答した国もあれば、放射線被ばくを受ける可能性と解釈していると回答した国もあった。NEA の R&R 作業グループ内での議論をはじめとするその後の議論で、現世代が開始した処分プロジェクトを完了する任務をすぐ後の世代に負担させることについても議論された。その研究は、「過剰な負担」といった用語とその解釈に関する議論を続けることが有益であろうと結論付けている。

オプションを残すという基本理念から二つの重要な疑問が生まれる。すなわち、1. 「オプションをどのように残すべきか」と、2. 「これらのオプションを残す期間はどれ位が妥当または望ましいと思われるか」ということである。これらの疑問に対する回答は、技術的、政治的、社会的要因に左右され、従って国によって異なってくる。技術的

な変動要因としては、廃棄物の性質（エネルギー資源と分かっているものを含んだ使用済燃料か、含んでいない高レベル放射性廃棄物か）、地質環境（これは放射性物質が環境に到達する可能性とその影響の両方、ならびに回収の容易さに影響する）等がある。社会的変動要因としては、選択の自由か安全性の確保かという点に関する考え方、将来の技術的發展をどの程度見込むか等がある。これらの相反する要因のバランスをどこでとるかは国によって異なり、一国の中でも時期によって異なるを考えるのが妥当である。例えば、最近のスウェーデンの研究 [Ref. 42] では、回収可能性は約 10 年前に終了したと考えられていた問題だが、多くの利害関係者が関心を表明していることから、また再開する必要があるかもしれないと述べている。

原則間のバランスに関して、公正性（インフォームド・コンセント）などの他の原則が安全に優先するという状況が存在する可能性があるため、「安全第一」を無条件に最優先の要件であると先走ってみなすべきではなく、むしろ十分に検討された結果とみなすべきである。リスクが負わされたものなのか、自らが受け容れたものなのかの問題や、社会のニーズと個人のニーズとのバランスの問題も、意思決定に関わってくる。さらに、世代間の公平さと現在社会のコストとの間でとるべきバランス（例えば、作業者の安全と将来の公衆の安全のバランスをとること）がある。計画遂行プロセスは何世代も続く可能性があるため、後続の世代間でリスクと利益のバランスをとる必要性は操業中でもあるといえる。

R&R の概念は、選択の自由と安全性が関係する問題であるため、社会的および技術的な考察が必要である。このような議論に公衆と社会全般が関わる場合には、R&R の概念は「処分」に関する議論の中心になる傾向があり、今後も継続した関心が寄せられると考えられる。

2.3 用語の問題

廃棄物の地層処分に関する用語は、各国の廃棄物処分プログラムによって異なる。例えば、国際的なガイダンスで定義されている「セーフティケース」という用語が、言語の相違により、また行政上および歴史的な理由から、一部の国の処分プログラムでは使用されていない。

「廃棄物」「処分」「貯蔵」「過剰な負担」といった特定の用語が持つニュアンスが、違う国の人々がそれらの用語を使用している時に同じことを話しているかどうかを確信しづらくしているといえる。恐らくそれよりもっと重大なことは、同じ国のプログラムでも参加している利害関係者の間でも用語の意味が異なっているかもしれないこと

である。このような用語の相違を指摘した事例は資料[Ref. 41] だけでなく、NEA-6869 「目に見える現実以上のもの：放射性廃棄物管理の象徴的側面 (*More Than Just Concrete Realities: The Symbolic Dimension of Radioactive Waste Management*)」 [Ref. 43] でも指摘されている。この報告書は次のように述べている：「利害関係者の信頼性に関する公開討論会で分かったことは、・・・(中略)・・・放射性廃棄物管理 (RWM) の主要な概念 (安全性、リスク、可逆性、回収可能性など) が、技術者の世界と技術者以外の利害関係者の世界とで異なる意味合いを持っているということである。また、価値観を大いに反映する社会経済概念 (福利厚生、地域社会、景観など) が、社会集団によって異なる解釈がなされていることや、意見や態度が意思決定、実際の事象、伝達されるメッセージを単に忠実に反映しただけのものではないことも分かっている。事象や物の感じ方、解釈の仕方もその一端を担っている。深く根ざした価値観と規範、知識と信念、グループの識別、文化的伝統、自己の利益等が、感じ方と解釈の仕方を形作る要素の例である。」

参加者が同じ用語を異なる意味で使用したり、議論で使用される重要な用語に異なる意味と言外の意味を付加していたりするときには、可逆性と回収可能性に関する声明について合意に達することは、国内でも国際的にも困難であることは明らかである。

本書における議論およびそれが呼び起こす意見を明確にするために、関連するいくつかの用語を以下で定義する。(互いに異なる、または曖昧な定義の例も記載する。) 用語の意味を選択するに当たり、可能な範囲で、大部分のOECD諸国で承認されている「使用済燃料管理および放射性廃棄物管理の安全に関する条約 (*Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management* : 廃棄物等安全条約)」 [Ref. 44] で使用されている用語に従った。これらの定義は、必ずしもNEA諸国で公式に採用されているものではない。

専門用語の解説の後のボックス 4 に、本報告書で採用している主要な定義を整理した。

廃棄物 (Waste)

廃棄物等安全条約 [Ref. 44] によれば、「放射性廃棄物とは、・・・中略・・・今後の使用が見込まれない放射性物質」とされている。

- すべての処分プログラムが「廃棄物」という用語を使用しているわけではない。この用語は否定的な意味合いを持ち、汚いものや拒絶すべきものを暗示する。したがって、放射性廃棄物管理 (RWM) 機関が公式の文書や情報伝達にこの用語

を使用することを避けている国もある。もっと中立的な用語や技術的な用語、例えば、イタリア語では「rifiuti (ごみ)」の代わりに「scorie (副産物)」を使う方が好まれている [Ref. 43]。

- 国によっては、所有者が欲しいと思わない、または必要とされなくなったらすぐに、(処分するためにパッケージ化される前にでも) 廃棄物と見なされる場所もあれば、処分場に定置されてはじめて廃棄物と見なされる場所もある。また、処分場が密封され、閉鎖されるまでは廃棄物と見なされない国もある。このような相違が、回収可能性の概念に対して、何が回収対象であるかについて差異をもたらすことは明らかである。
- 最終廃棄物という概念についても検討されている。例えば、フランスの2006年放射性廃棄物管理計画法によれば、「最終放射性廃棄物には、現在の技術および経済状況の下で、例えば回収可能なわずかな部分を抽出したり、汚染あるいは障害を起こす特性を低下させたりして、それ以上の加工ができないあらゆる放射性廃棄物を含むものとする」とされている [Ref. 45]。

本報告書では、**廃棄物**を、その所有者が深地層処分場に定置すると決定した物質と定義する。使用済燃料を潜在的な資源とみなさず、最終的には処分場に定置するようになっているプログラムでは、「廃棄物」という用語に使用済燃料を含むとみなされることになる。

その物質を利用可能な資源とみなすという決定がその後行われると、それがその物質を回収することを決める理由の一つとなる可能性がある。そのような将来の資源の回収がほとんどありえないとは言い切れない場合は、安全性以外の理由による回収可能性を処分場の特徴の一つとしなければならないことは明らかである。

処分 (Disposal) と貯蔵 (Storage)

廃棄物等安全条約によれば、**処分**とは、放射性廃棄物を回収する意図を持たずに処分場に定置することを意味し、**貯蔵**とは、後でそれを回収するという**明確な意図**をもって放射性廃棄物を貯蔵施設に保持することを意味する。

- 貯蔵と処分の区別は、回収可能性について考える際に重要な問題である。原則として、貯蔵は、一時的な措置にすぎない。その理由は、貯蔵が能動的な管理、保守、および容器と貯蔵施設自体の定期的な更新に依存するためである。無期限の

貯蔵は、放射性廃棄物を長期的に管理するための実行可能な方策とはみなされていない [Ref. 47]。

- 「貯蔵」と「処分」という用語の区別があいまいな言語が多い。両者の間に明確な法律上の区別をつけるべきであり、区別がつけられている場合もある。その場合、「貯蔵」は施設が一時的であることを意味し、「処分」の場合には施設が最終的なものである。曖昧になる可能性がある例を挙げると、フランスでは、処分を表す法的用語と、同じ用語に付されている日常的な意味の間に違いが存在する。議会は、法律で処分に対する標準的な用語（「stockage」）を正式に定めている。対照的に、フランス語での「stockage」の文字通りの意味は一時的貯蔵を表す。一部の国（フランス、スペインなど）では、放射性廃棄物管理（特に低レベル廃棄物および中レベル廃棄物）施設は、廃棄物を回収する意図がなくても「貯蔵センター」と呼ばれている。
- 「最終処分」という用語は、廃棄物を処分して、そのまま放っておくことができるという意図を言外に含んで用いられることが多い。この用語は、回収可能性やモニタリングといった活動を排除するものとみなされないようにするために、最近はこの用語を「深地層施設」に変更している国もある。フィンランドでも、同じような理由から用語が「最終処分場」から「処分場」へと変更された。同じことがスウェーデンでも起こっている。スイスでは、処分の概念は、「最終的な長期監視付き処分」と呼ぶことによって、「最終処分」の意図を表しながらも、廃棄物のモニタリング期間およびアクセス可能な期間の終了時期を不確定としている。
- カナダのプログラムのように、処分という用語が全く使用されていないものもある²。
- 国によっては、深地層施設は、施設を閉塞し、閉鎖するという最終決定がなされるまでは貯蔵施設に過ぎず、その最終決定がなされた時に初めて処分施設となるとしている場合がある。実際、閉鎖の決定が行われる時点まで、施設の目的（貯

² カナダでは、社会の期待に応じて知識の進展を反映するために、「長期廃棄物管理」という用語が核燃料廃棄物管理機関（NWMO）によって使用されている。「廃棄物処分」が「廃棄物管理」という用語へ代わったのは、工学的（処分場を設計し、建設する）プロジェクトから、持続的な社会事業（処分場の設計・建設は、実施プロセスの単なる一つの要素として含まれる）へと焦点が移ったことを反映している。

蔵か最終処分か) は決定されないままになっているか、または少なくとも変更される可能性が残されている³。

- 別の国では、最終的な目的が永久処分となっている施設は、その施設が建設されたらすぐに処分施設と見なせるとしている。例えばイギリスでは、政府も環境機関も地層処分施設内への廃棄物の定置を処分と見なし、後でその廃棄物を回収する意図の有無に基づいて貯蔵と処分を区別している。この区別には重要な意味がある。主な意味合いは、規制責任を関連機関に割り当てる上でのものであり、事業者に対して回収のための管理の仕組みを実証することを要求する上でのものでもある。

本報告書では、様々な国での類似した状況を比較できるようにするために、一つの解釈だけを使用することとする。すなわち、それぞれの国で使用されている用語にかかわらず、深地層処分場は、その寿命の最初から**処分施設**とみなし、処分場に定置された廃棄物は処分されたものとみなす。処分施設においては、設計に回収可能性が組み込まれているか否かを問わず、廃棄物を定置するという決定が行われると、その後回収する意図はないとみなす。本報告書においては、**貯蔵**とは、処分の代替的手段とはみなさず、最終処分につながる管理方策の一つの段階である。

可逆性(Reversibility)と回収可能性(Retrievability)

可逆性とは、処分システムの構築を実施していく間になされる決定を、**原則**として修正または後戻りできることを意味する。可逆性を実現するためには、処分場を計画または開発する際に、必要に応じて1つ以上前の決定を覆すまたは修正することが、過度の努力なしで実現できるよう、可能な限り柔軟性の高い方法で実施プロセスおよび技術について計画・管理する必要がある。可逆性のある意思決定手法を採用するには、過去の決定を、新たな情報に照らして疑い、場合によってはそれらを覆すまたは修正する意思があること、およびそのような疑問を持つ姿勢を奨励する文化が求められる。

- 「可逆性」の概念は、これまでも議論を呼んできた概念である。可逆性を、潜在的に存在する誤りの修正を、将来、容易に行えるようにするための方法と解釈している人たちもいる。これは、廃棄物管理施設の長期安全性に関する不確実性に対処することを示唆していると考えられる。しかし、可逆性は、柔軟性と将来

³ 例えばフランスでは、2006年6月28日の法律 (art. L.542-1-1) [Ref. 46] で、処分とは、放射性廃棄物を特別に建設された施設に定置して、「最終的となる可能性のある」方法で「保存する」ことであると定義している。

世代に選択の自由を与えるという肯定的な言外の意味をもたらすと主張している人たちもいる。この解釈によれば、可逆性は、世代間の公平性と民主主義という価値観を護るということになる [Ref. 41]。

- ・ 「後戻り (Reversal)」とは、過去の決定について、方針を変更することによって、あるいは場合によってはその決定前の状態に戻すことによって、これを覆す (変更する) 行為である (図 1 参照)。決定の重要性にもよるが、後戻りには、多かれ少なかれ、まず規制機関およびその他の利害関係者といった関係者との調整が必要となる。実際、規制機関が技術的決定の後戻りを義務付けている場合がある。

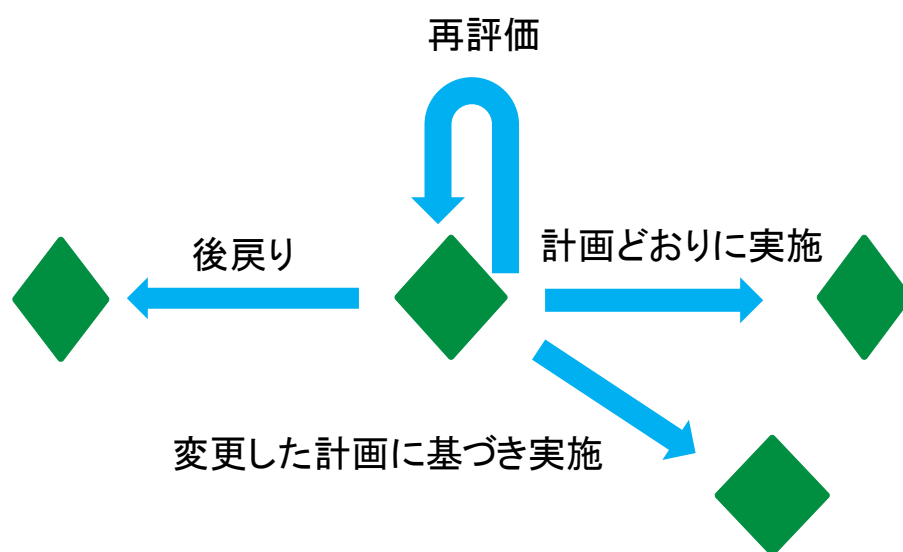


図 1: 決定の可逆性: オプションを評価した結果として考えられる道筋 (後戻りを含む)

回収可能性とは、廃棄物処分では、処分場に定置された廃棄物または廃棄体全体を原則的に回収できることである。回収可能性は、可逆性の戦略が全面的に適用された場合の最終的な要素である。

回収は、廃棄物を回収するという実際の行為であり、回収可能性はそのような回収が可能なことをいう。回収可能性を残すための措置は、処分場の建設・操業許可に従って実施される活動の一部である。他方、実際の回収は、多くの場合、それを実施できるようにするために別の許認可が必要な新たな行為とみなされる。

最後の重要な概念は、**閉鎖 (Closure)** の概念である。この概念もやや変化に富んでいる。坑道や定置空洞で構成される施設では、一部の坑道では廃棄物の定置が完了して、埋戻し・閉塞ができる状態になっているが、別の坑道はまだ建設中という場合がある。すべての坑道が埋戻し・閉塞された後、アクセス坑道をしばらくの間、開放しておく場

合もある。アクセス坑道が埋戻し・閉塞された後でも、サーベイランス (Surveillance) と制度的管理 (Institutional control) が継続している間は正式には閉鎖されたとはみなされず、サーベイランスと制度的管理対策が終了したときに初めて閉鎖されたとみなされる場合もある。本報告書では、最後のアクセス坑道が閉塞された時点で閉鎖されたとみなす。しかし、まだ閉塞されていない処分場が、操業が活発に行われている間に、完全には開放されておらず部分的閉鎖の状態にある場合がある。

監視 (Oversight) と管理 (Control)

管理は人に依存しない対策によっても実施することができる。例えば、放射性廃棄物処分場を構成するバリアは、処分場の閉鎖後もずっと何らかの管理機能を果たしている。例えば、地下水流入の抑制、ニアフィールド温度の管理、放射性核種の放出の抑制などである。これらは受動的管理の形態である。能動的管理は、それとは異なり、例えば検査、記録の検証、品質保証手順の検証、保障措置の検証といった形で、規制機関やその他の監視を行う機関が必要である。監視は、技術システムや、計画・決定事項の遂行に対して社会が「目を光らせる」ことを指す、より一般的な用語である。モニタリングは、規制機関が使用する場合には、規則が順守されているかどうかをチェックするための能動的管理とみなすことができる。社会が使用する場合には、環境条件が低下していないかどうかをチェックするための能動的管理措置であるが、規制体系の下でというよりも監視のために行われる管理である。この意味では、「能動的監視」措置ということができる。

閉鎖後の期間で、規制機関の存在または役割が保証されていない期間については、本報告書では、一貫して「制度的管理」ではなく、より一般的な「制度的監視」という用語を使用する (第 4.1 節の図 4 は、対象となる非常に長期の時間スケールを示す)。これは、閉鎖後には規則により要求されるという面が、それまでの期間よりも弱くなる可能性があるという事実を反映させるためである。この制度的監視は、閉鎖前の直接的監視に対して間接的監視ともみなすことができる。この時期には地下施設へのアクセス坑道がないためである。

ボックス 4：本報告書で採用している主な定義

本報告書では、**廃棄物 (Waste)** は、その所有者が深地層処分場に定置すると決定した物質と定義する。「廃棄物」という用語は、使用済燃料を潜在的資源とみなさず、最終的に処分場に定置することになっている処分プログラムでは、使用済燃料を含むと見なされることになる。

深地層処分場は、その寿命の最初から**処分 (Disposal)** 施設と見なされ、処分場に定置された廃棄物は処分されたものとみなされる。処分施設内においては、設計に回収可能性が組み込まれているか否かを問わず、廃棄物を定置すると決定されると、その後に回収する意図はないと考える。本報告書においては、**貯蔵 (Storage)** は、処分の代替的手段とはみなさず、最終処分につながる管理方策の一つの段階と考える。

可逆性 (Reversibility) とは、処分システムを徐々に実現していく間になされる決定を、**原則**として修正または後戻りさせることができることを表す。可逆性を実現するためには、処分場を計画または開発する際に、必要に応じて1つ以上前の決定を覆すまたは修正することが過度の努力なく実現できるよう、可能な限り柔軟な方法で実行プロセスおよび技術を計画し、管理する必要がある。可逆性の意思決定アプローチをとるということは、過去の決定を新たな情報に照らして疑い、場合によってはそれらを覆すまたは修正する意思があること、およびそのような疑問を持つ姿勢を奨励する意思決定文化があることを意味する。**後戻り (Reversal)** とは、過去の決定を覆す（変更する）行為である。

廃棄物処分における**回収可能性 (Retrievability)** とは、処分場に定置された廃棄物または廃棄物パッケージ全体を**原則的に**回収できることである。回収可能性は、可逆性の方策が全面的に適用された場合における最終要素である。**回収 (Retrieval)** は、廃棄物を回収するという実際の行為である。

3. 可逆性と意思決定

本報告書で使用しているように、「可逆性」は、技術的概念というよりは、主に管理や意思決定の概念である。より技術的な観点では、可逆性を持たせるということは、後になって不適切であることが判明した、あるいは不適切と考えられる措置や決定を特定し、修正する意思があることを示唆している。可逆性を持たせるということは、社会的な意味としては、社会の選択に適応させる意思があることも示している。事実、ある処分プログラムに可逆性を採用することを要求した動機の一つが、プロジェクトが続いている間、参加型の意思決定が続くようにしたいという要望であるといえる。可逆性は、決定が体系的に覆されることを保証するものではないが、ある決定が後に誤りである、または疑問が残ると分かった場合に、その決定を調整できる可能性を与えるものである。

回収可能性は、課題の多くが本質的に技術的なものであり、物理科学や工学の分野の専門家によって議論されることが多いのに対して、可逆性に関する議論は、思想家や倫理学者から社会学者や経済学者まで、様々な社会科学系の専門家の参加が有効といえる。これまで、可逆性と回収可能性の議論への社会科学者の参加は比較的少なかったが、R&R 作業グループの会合、特に 2010 年のランスでのプロジェクト会議の経験は、学際的な意見交換がこの問題の理解を深める上で非常に有効であることを示唆している。この方向に向けた重要な段階の一つが、Andra から出版されたフランスの廃棄物処分プログラムの可逆性および管理方式に関する書籍 [Ref. 47] である。この作業に貢献したのは社会科学者（社会学者）と技術専門家であり、この学際的な意見交換は今後も引き続き活発に実施されることが予測される。

可逆性と段階的意思決定の概念の間には、密接な関係がある。NEA の報告書[Ref. 25]で指摘されているように、段階的意思決定の概念が持つ重要な特徴は、実施可能な範囲で後戻り可能な段階的な手順を踏んで進められる計画になっているということである。本報告書のこの章では、まず可逆性と段階的意思決定との関連について説明する。

本章では、段階的意思決定と可逆性との関係、特に可逆性と規制機関の意思決定プロセスとの関係について議論する。次に、何が可逆性に有利に働き、何が不利に働くのかを理解するために、処分場計画遂行を処分場の様々な事業段階を通して見ていく。可逆性は意思決定への公衆の参加と関係しているため、可逆性についての情報伝達と意見交換についてもこの章で取り上げ、情報伝達ツールとして提案している「R スケール」を本章の最後で説明する。

3.1 段階的意思決定

長期的な放射性廃棄物管理において、公衆が開発の評価と計画立案に参加する「段階的意思決定」、「適応性のある段階設定」などの概念がますます考慮されるようになってきている。これらの概念の重要な特徴は、現実的な範囲で後戻り可能な段階に分けて進展させることである。その目的は、それまでの経験から決定事項が悪影響または好ましくない影響を及ぼすことが分かった場合には決定を覆すことができるという安心感を与えることにある。但し、段階的あるいは適応性のあるプロセスは、意思決定を遅らせるための口実として使用しないことが重要である。そのような遅延が将来の安全に悪影響を与える可能性があるときは、特に重要である。

段階的な手順をとった場合、各段階の大きさとタイミングについて決定するときに、持続可能性と短期的効率とが相容れないことがしばしばある。多くの場合、個々の段階が小さいほど、社会に受け容れられる可能性は高くなる。社会は複雑なシステムでありその構成要素の間に多くの未知の関係が存在するため、段階を小さくすれば、影響を受ける構成要素の数も、影響の規模も小さくなるので、予測できない対応が必要となる可能性は低くなる。各段階の後に十分な時間をとり、システムが介入やその影響に反応できるようにすることも重要である。しかし、段階の数が増え、段階と段階の合間が長くなると、意思決定プロセスの期間とコストも増大し、場合によっては、段階と段階の間に新たなリスクが出てくる可能性がある。段階的プロセスを設計するに当たっては、意思決定プロセスの社会的持続可能性と短期的効率とのトレードオフを慎重に評価しなければならない。

処分場開発は、開発に要する時間尺度が長いので、処分プログラムと立地地域の地域社会との間で持続可能な関係を築くことが必要である。処分プログラム開発の道筋には、多くの意思決定ポイントがある。段階的プロセスでは、各段階で行われる意思決定の特徴の一つが、前の小さな段階を確認して次の段階に進むかどうかを検討し直すことである。各段階でこれらの決定を適切な利害関係者と協力して行うことが、処分プログラムと地域社会との間で持続的な関係を構築するのに役立つ。繰り返し見直し、再確認することを通して過去の決定を「記憶に留めておく」ことによって、各段階で次の決定を行うプロセスが手に負えないほど大変なことではなくなる [Ref 25]。

作業グループがアンケートの回答を分析した際、多くの処分プログラムでまだ段階的意思決定の詳細なプロセスがまだないこと、また段階的手法が国の政策になっている場合でも、段階的意思決定および関係する一般公衆との議論の方法、原則の概略も決まっていなかったことが分かった。これは必ずしも否定的な結果ではないと考えられる。すなわ

ち、詳細なプロセスを設計するのがそのプロセスが使用される時期よりもあまりにも早過ぎるのは、おそらくは適切ではないということなのであろう。但し、一般原則は最初から明確にしておくべきである。

実施事業者の意思決定、規制機関の意思決定、社会の意思決定という三つ意思決定の間の関係は関心が高い。規制プロセスの基本となるものは、柔軟性のある段階的意思決定プロセスの基本となるものとは必ずしも同じではない。一般的な許認可プロセスの段階は非常に幅広いため、計画実施中に実現できる段階が制限される場合がある。例えば、ごく一部の廃棄物を処分し、数十年待ってから残りの廃棄物の処分に進むという案は、通常の一連の許認可の決定にそぐわない可能性がある。他方、規制機関の監視には許認可より多くの段階があること、ならびに規制機関の日常的な監視プロセスは小さな段階が多数ある柔軟性のあるプロセスに適合しうるものであることを認識しなければならない。

多くの国で複数の規制機関や意思決定機関が存在していることも、意思決定のプロセスを複雑にしている原因である。意見交換と交渉を常にすべての当事者に開かれたものにするのと、意思決定のための固定された枠組みにとらわれ過ぎないようにすることが重要である。しかし、これは、各規制機関の独立性の必要性を尊重した形で実施しなければならない。「集団思考」を避けることと、全体目標である公衆安全を常に念頭に置き、また第三者の利益がプロセスにおいて配慮されるようにすることも重要である。

3.2 可逆性と処分場開発の認可

かつて処分は、一世代の時間枠で完了する比較的短期間の活動であるかのように取り扱われることが多く、その目標は、将来世代がさらに活動したり介入したりしなくても安全に放射性廃棄物を維持できる施設を提供することであった。次第に、処分プログラムの遂行は、一連の連続した段階に分けて徐々に進めるプロセスで、完了するのに数十年かかるとみなされるようになった。このような視点の変化によって、将来世代の防護という考え方に加えて、後続世代がプロセスに参加することの想定や、後続世代の選択権を可能な限り残す必要性とが組み込まれるようになった。このように変化した結果として、今ではモニタリングとサーベイランスが施設を閉鎖した後の活動として検討されている。

地層処分における段階的意思決定は、様々な言い方がある。例えば、適応性のある段階的管理 (adaptive phased management や adaptive staged management)、段階的な地層処分(phased geological disposal)、可逆的な処分など(reversible disposal)などで

ある。これは、一世代あるいはもっと多くの世代にわたって、能動的な安全確保（中間貯蔵）から受動的な安全（廃棄物を回収する必要のない最終処分）へと、次第に移行させる方法である。段階的意思決定プロセスの一環として、例えば知識の獲得や能力の変化に照らして、過去に行われた個々の決定の後戻りまたは修正があるはずと考えることができる。従って、段階的意思決定は、最終的閉鎖の時点は超えなくても少なくとも最終的閉鎖の時点までは、回収可能性を含めたある程度の可逆性の必要性を生じさせる可能性がある。段階的意思決定は、可逆性に関する研究において重要な位置を占めているとともに、回収可能性という方策で具体化される。

可逆性を持つとは、計画の様々な段階で一つまたは一連の段階を検討し直すことができることを指す。この見直しでは、適切な利害関係者と一緒に過去の決定の見直しが行われる。そのためには、段階を後戻りさせるために必要な手段が利用できるようになっていなければならない。可逆性は、長期的な廃棄物管理政策と実際の技術計画の両方に、万が一の場合のオプションを組み込むことも（それが実際的であれば）、意味している。但し、必ずしもすべての段階または決定が完全に後戻りできる必要はなく、また事実上不可能な場合もある。ある特定の決定を、意思決定プロセスにおいて処分プログラムを見直し、確認するためのホールドポイントとして使用することができる。従って、可逆性は、適切な時期に判断をする必要性は尊重しつつ、熟慮を重ねながらオプションをつぶしていく方法とみなすことができる [Ref. 25]。施設開発の連続した段階のそれぞれで、道筋を後戻りまたは修正する必要性について適切な利害関係者と一緒に慎重に評価するとともに、最終決定を遅らせる必要性や、その時点もしくはその後廃棄物を回収する理由が、技術的にも社会的にもないことを確認すれば最終閉鎖の決定が下されるまでに、より高い信頼を得ることができるようになる。しかし、廃棄物処分において可逆性の論理をうまく使用するためには、各段階での意思決定を検討する必要があることを、プロセスを不必要に遅延させる口実として用いられないようにすることが重要である。また、そのような意思決定段階において従うべき原則または価値判断、ならびにそれぞれの相対的な重要性も、事前に明確化しておくといよい。

規制機関による監督（承認）

廃棄物管理の規制に関する NEA 論文 [Ref. 48] に記載されているように、放射性廃棄物管理の規制管理プロセスには、原子力安全規制機関や環境安全規制機関が正式に規制するプロセスだけでなく、広義には廃棄物管理の戦略およびプロジェクトに関する政治的、社会的な意思決定に関連したプロセスも含まれる。このプロセスは、多くの場合、政策の策定から始まる。放射性廃棄物管理においては、その最終的な目的が公衆と環境の安全を維持することであるため、通常、放射線防護がその政策の主要要素となる。政

策が確立された後は法律の制定になる。法律を制定する際には、法律の詳細を示すために基準と指針が発表されることがある。例を示すと、ドイツ、米国、ハンガリーといった国の法律は、幅広い政策課題と細かい規制細目の両方が示されている。一方、放射性廃棄物管理の技術基準が法律自体の中ではなく、法律の施行および執行の責を担う専門当局によって定められている国もある [Ref. 48]。

閉鎖前の処分場の開発に関わる活動については、放射性物質を取り扱う他の活動と同様に、法律および規則の範囲内で行動することに対する同意が、一般的には、認可、許可や承認といった正式な法的手段によって行なわれる。このような文書には、通常、詳細な条件が記載され、その文書が規制対象のプロセスまたは活動の主体として法的に認められた個人または会社に発行される。場合によっては、一つの許認可が、初期の計画立案、開発から、労働者の職業安全衛生、事故防止などの事項、さらには最終的な処分行為まで、対象プロセスに関係する規制のすべての面を対象としている場合もある。また、そのような文書は、これらの側面に別々に対応している場合もあるが、相互作用については考慮される。許可の条件に適合しているかどうかは、事業者の活動を検査し、モニタリングすることによってチェックされる。適合していない場合には、その旨が事業者へ通知される、または事業者へ要件が課されることが多い。必要があれば、不適合に対して何らかの形の強制措置を受ける。規制システムが全体としてうまく機能して政策目的を満たしているかどうかを評価するために、再評価が頻繁に行われ、必要に応じて、許認可段階にある間に是正措置が取られて、許可の条件が変更されることもある。ほとんどの規制システムは、安全性能が実際に達成されるようにするために、このような是正措置に加えて許可の発給を追跡調査する機能を有している。また、必要に応じて改善措置が取られる。

法律の施行および執行の仕組みは国によって異なる。ベルギーやフィンランドなどの国では、サイト内の職業安全衛生と廃棄物処分の許認可、検査、取り締まりを取り扱う専門部局と処分施設の立地の決定および開発を取り扱う専門部局とが別になっている。他の、例えば、ドイツ、米国といった国では、連邦政府が独自の責任を負っている。例えば、州の許認可機関は免許を発行するが、処分場を監督する役割は担わない。このような相違はあっても、これらの技術的な当局は、決定を下す前に、関連する利害または責任について他の関係者との協議をしばしば行う。許認可については、他の機関と協議または問い合わせなければならないという条件が通常、定められている。多くの場合、許認可プロセスの間に国民の意見を聴取するシステムが法律で定められており、決定するときにはその意見聴取で集められた意見が考慮される。

全体的にみて、一般市民に対して開かれた政策をとることは、現代の規制の枠組みの

基本的特徴である。その政策を遂行することが、近年ますます重要な任務となっており、規制機関の考え方および役割の変化が顕著になっている [Ref. 49]。

立地選定、建設、操業、閉鎖などの各段階には正式な許認可行為があるが、他の様々な時点、例えば、部分的定置、埋戻しの時点には必ずしも正式な許認可行為があるとは限らない。にもかかわらず、これらの作業が許可付与の条件とされたり、許認可による決定が求められる「重要な変更」とみなされることによって、規制機関の審査を受けなければならないキーポイントとなる場合がある。段階的意思決定の結果として、重大な変更がある場合、例えば、回収がより困難になる埋戻しを決定する場合には、規制機関の関与が必要になると考えられる。つまり、たとえ許認可プロセスが明確には段階的になっていなくても、段階的なプロセスには段階的な承認が必要になると考えられる。例えば、米国では、閉鎖前の廃棄物の回収可能性に大きな影響を与える状態が発生したような場合には、認可の変更が必要となる。

閉鎖前には、操業安全の確保を目的として、何か問題が発生した場合には安全な状態に戻せるように常に備えておくことを、規制機関が要求する場合がある。これは事実上、定置段階には廃棄物の回収可能性を備えることが操業要件であることを意味する。他方、国際的に受け入れられている安全原則では、最終処分場は回収可能性を含めて社会による管理を必要としてはならないと定められている。従って、規制機関が閉鎖前を対象として回収可能性を要求することは予測されるが、閉鎖後の回収可能性が法的要件ではない限り、規制機関が閉鎖後の回収可能性を要求することはないであろう。回収可能性が要件になっていない処分プログラムにおいても、必ずしも回収可能性の要求が阻害される必要はない。閉鎖は、処分が適切な選択であって安全が保証されることを規制機関が確信するまで承認されることはないが、閉鎖後には、回収可能性の論理から、不必要に回収を困難にする設計とすべきではない。

興味深いのは、閉鎖の遅延にかかわる点である。意思決定および回収可能性の要件によって坑道の閉塞や埋戻しの遅延が引き起こされた場合には、安全性に影響する可能性がある。従って、規制機関は、そのような決定に関与する必要がある。できれば、開発プロセスの一環として、そのような遅延が検討または計画される初期の段階から関与する必要がある（例えば、「柔軟な」または「適応性のある」段階的プロセスにおいて）。

意思決定プロセス全体を通して、各段階で次の段階に進むという決定をすることは、それ以前の決定を再確認することも意味している。可逆性のある意思決定プロセスにおいては、この再確認が、程度の差こそあれ、明確化されているといえる。すなわち、可逆的プロセスにおいて次の段階に進むと決定することは、実質的には一つ以上前の段階

に後戻りしないと決定することであるということである。例えば、規制機関が許認可を決定するには、通常、以前の許可条件への適合性を審査し、以前の条件が満たされているという結論が出された後に初めて、次の段階に進むという決定が行われる。この段階の許認可の決定を意味あるものにするためには、少なくとも、可能性として次の段階に進めるのではなく、後退して前の段階で発生した問題を是正するという決定を下すことができなければならないということも指摘されている [Ref. 11、Ref. 50]。このように、暗示的か明示的かを問わず、後戻りしないと決定は、以前の決定を再確認する効果を有しており、各段階で行われたこれらの決定および再確認されたことについて記録を残しておくことは、閉鎖についての最終決定を含めて、その後の決定を正当化し、促進するのに役立つ。

3.3 処分場の事業段階と可逆性

地層処分場の計画立案と事業実施は、通常、段階的に実施される。承認も許認可プロセスの中における個々の決定を介して付与される傾向にある。そのような手法をとった場合、各段階において、次の段階に進むか、それとも設計やプロセスを変更するかという決定が、技術的要因や社会的・政治的要因、さらには許認可条件に照らして行なわれる。段階的アプローチは、そのような過程を通して情報と経験が得られ、決定が民主的に行なわれることから、技術的、社会的、政治的な見直しの機会を与えると共に、原理的には、施設の実現可能性と安全性に対する共通の信頼を醸成することができる。また、段階的アプローチをとることによって、意思決定プロセスおよびその決定の際に、モニタリングから得られるデータが情報として徐々に提供される。建設から閉鎖に至るこのような段階的なプロセスの間に関係すると思われるモニタリングについては、EC が後援する FP7 「MoDeRn」 プロジェクト（安全な処分場の操業および段階的閉鎖のためのモニタリングの開発） [Ref. 51] の中で検討が行われている。

許可条件が完全に満たされているかどうかを各段階でチェックするためには、必要に応じて許可を変更したり、無効にしたりすることができなければならない。フランス政府は「決定が受け容れられるための条件は可逆性があることである」と述べている [Ref. 11]。同様に、R&R 作業グループ会議の参加者は、規制機関の決定がすべての利害関係者の目に信頼し得ると映るようにするためには、原則として可逆性が存在しなければならない（少なくとも次の段階に進まないという決定がなされる可能性があるという意味において）と指摘している [Ref. 37]。

可逆性が処分プログラムの一つの特性として位置付けられている場合には、処分施設の計画立案、設計、事業実施において回収可能性に関する戦略を立てておくことも必要

である。特に、処分プログラムの様々な段階でどのような回収作業が必要となるかを検討しておくことが重要である。

処分プログラムの初期段階では、サイト選定や特定の設計オプションの採用に関する決定の後戻りが検討されるかもしれない。もっと後の段階になると、すなわち、建設や操業中、または廃棄体の定置後では、決定を後戻りさせると施設の一つ以上の構成要素の変更や、施設の複数の場所から廃棄体を回収することさえ必要となる可能性がある。しかし、処分場開発が進み、最終的な閉鎖に近づくにつれて、処分場の事業段階の前の方に戻ることは、ますます複雑になると考えられる。すべての場合において、その回収作業を実施するためのセーフティケースを提出して、事前に原子力規制機関から認可を得る必要がある。他方、前段階において、後戻りについて検討したものの、その行為に至らなかった場合には、それらの経験を踏まえ、次段階において回収可能性を低くするような対策を容易に施すことが可能である。

すべての地層処分プログラムには、主要な事業段階が三つある。すなわち、(i) 操業前段階（廃棄物を最初に定置する前の最初の建設を含む）、(ii) 操業段階（廃棄物の定置、閉鎖前のモニタリング・性能確認期間（該当する場合）、施設の最終的閉鎖を含む）、(iii) 操業後段階（おそらく閉鎖後の制度的監視および記録保存の期間、ならびに監視や記録保存終了後の遠い将来を含む）、である。ある段階から次の段階に移行する際には、それぞれ固有の意思決定によって判断が行われる。図 2 は、処分場の事業段階全体の概要を示したもので、放射性廃棄物管理の主要な段階を示している。

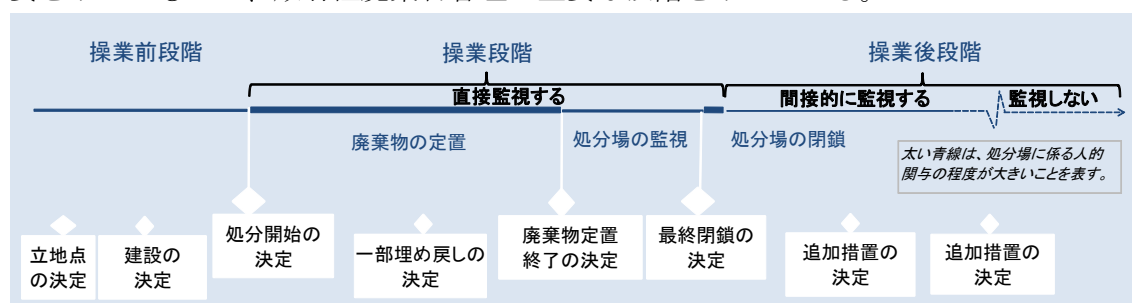


図 2：処分場の事業段階および関連する意思決定の例

3.3.1 操業前段階

操業前段階では、サイトの立地選定と特性調査、処分場の設計、人工材料の試験、工学技術の実証、関連施設の建設、処分場の建設・操業の許認可の申請と取得が行われ、建設が始まる。環境条件の基準も整備される。

操業前に行う作業の大部分は、重大な不可逆的行為ではない。操業前段階で行なわれ

る決定には時間と費用の両方がかかるが、これらは一般的には後の段階での後戻りや回収に比べれば少ない。この段階に行われる可逆性と回収可能性に関連した最も重要な決定は、処分場構築の後の段階で可逆性や回収可能性を実現させる作業を容易にするために可逆性や回収可能性を持たせるための措置を設計に組み込むかどうかに関するものである。

以降の段階での決定の後戻りは、この段階で意思決定に段階的アプローチを採用することによって容易にすることができる。

3.3.2 操業段階

操業段階は、三つの主な段階から成る。すなわち、(i) 処分坑道の建設と廃棄物定置の段階、(ii) 観察段階、(iii) 施設閉鎖である。興味深いことに、処分場の部分によって、同じ時期でも段階が異なる場合がある。例えば、新たな処分施設の建設と並行して、別の場所で定置や定置後の監視・モニタリング活動が行なわれていることがある。

廃棄物の定置段階では、廃棄体は人工バリア内に定置される。廃棄物と母岩の特性によって、バリアを設置する時期には様々なオプションがある。廃棄物の回収可能性の要件がある場合には、これもオプションに影響を与えることがある。廃棄物定置の段階では、操業時の安全性を確保するために処分場のモニタリングが行われる。廃棄体の定置が完了して観察段階になっても、処分場のモニタリングは行われるものと考えられる。モニタリング結果を基準データと比較して、定置が要件に従って実施されたかどうかを確認し、可能な限り、処分場が設計通りに機能していることを確認する。研究開発が継続して行われ、規制機関は長期的セーフティケースのレビューを定期的を実施する。

閉鎖する前は、回収可能性が操業上の課題または特性とみなされて、回収可能性が性能確認プロセスの一環として求められることがある。処分場操業段階の定置段階にある間は、不完全な、損傷した、または品質が保証されていない廃棄体の回収能力が、操業安全性と長期的安全性の確保の両方に寄与する特性の一つとみなすことができる。長期的安全性については、長期的セーフティケースの基礎となっている前提条件を検証し確認することで、その能力の発揮を確実なものとする。定置段階で回収が行われることは稀であり、(仮に回収が行われることがあったとしても) 少数の容器が操業上の理由から回収されるだけと考えられる。

廃棄物定置の初期の段階では、回収は、決定を覆すことができるようにするための手段の一つといえる。操業段階の後半、すなわち、多くの廃棄体が定置されているが、処

分坑道の埋戻し・閉塞がまだ実施されていないときには、回収はまだ比較的容易であり、必要なことは定置プロセスを逆に行う程度のことだけである。しかし、操業期間においてそれより後になると、回収は次第に困難かつ費用がかかるようになる。その理由は、単に後戻りのために必要となる作業（埋戻し材料の除去など）がますます多くなるからだけでなく、設備の老朽化と周囲の地質物質の好ましくない変化（例えば、クリープ）が生じるからでもある。

処分場の設計にもよるが、回収可能性の要件があることによって、処分場を開放したままにしておく期間が、回収可能性の要件がない場合に必要な開放期間よりも長くなることがある。このように閉鎖時期を遅らせることが必要と考えられる理由は様々である。例えば、規制の遵守、廃棄物が出す熱の管理、性能確認計画（廃棄物が設計要件に従って定置されていることを確認するためのモニタリング計画）を完了できるようにすること、実施された処分方法に対するさらなる社会的信頼構築の機会を与えることなどである。

閉鎖期間中は、立坑を含むすべてのアクセス坑道が埋め戻され、閉塞されて、処分場が隔離される。処分場を閉鎖するという決定に影響を及ぼす要素としては、技術的問題点、社会の選択、処分場を開放し続けることの安全上および保障措置上の問題などがある。

例えば、アクセス立坑の最終的な埋戻しを延期するなどにより閉鎖を延期することはまったく価値がなく、処分場が受動的に安全であるという好ましい状況を達成するのが最終的に遅れることになる。規制機関はこのことを特に考慮に入れる必要がある。長期的性能を損なうことなく処分場閉鎖を延期できる期間は、母岩の相違および処分場の建設方法の相違によって異なってくるといえる。

操業中に、特定の建設方法、例えば、坑道掘削にトンネル掘削機を使用すると、閉鎖後の回収可能性が容易になることも指摘されている（[Ref. 52] など）。建設方法の費用対効果を分析するときには、その建設方法が将来の回収可能性および将来の保障措置などの問題に与える影響についても考慮すべきである。

3.3.3 操業後の段階

処分場を閉鎖した後は、廃棄物の回収が以前よりも著しく困難になる。廃棄物容器を回収したり、あるいは廃棄物容器が機械的健全性を失ったりした場合には、廃棄物を回

収めるために、何らかの掘り出し作業が必要になる。

操業後の期間は、正式な制度化された間接的な監視の期間から始まる。モニタリングとサーベイランスは、社会がそれを有益と見なす限り維持されると考えるのが妥当である。ただし、安全確保を閉鎖後のモニタリングに依存しないことが地層処分の特徴であり、また、規制機関が閉鎖の許可を出す根拠の一部にもなる。他方、対象となるすべての利害関係者が閉鎖後段階への移行に同意したという事実（手続きが議会承認を受けている国もある）は、安全確認のために必要な原位置データがそれ以上必要ないことと同義であるべきである。そうでなければ、閉鎖後段階への移行が時期尚早であったという主張が出てくる可能性がある。処分プログラムによっては、処分場の一部だけを部分的に閉鎖することによって、処分場全体を正式に閉鎖する前に、閉鎖後期間の初期の状況のモニタリングを実施する場合がある。

将来世代が閉鎖後にモニタリングを実施することを決定する場合、そのモニタリングは、バリアの性能に対し、ひいては処分場の長期安全性に対して重大な悪影響がないように設計されなければならないことにも留意すべきである。従って、モニタリングに期待されていることと技術的に実現可能なこととのバランスをとることに十分、配慮しなければならない。閉鎖後でも原位置データを入手することが可能かもしれないが、そのようなモニタリングは、データ収集の量と期間に限界があるといった制約を受ける。しかし、閉鎖された処分場のマクロな変化のデータを提供する地表におけるモニタリング技術と、深いボーリング孔での継続的モニタリングは、閉鎖のプロセスによって技術的に影響を受けることがないので、維持可能である。

保障措置のための管理は引き続き適用されるであろう。社会的記憶は引き継がれるであろうし、公文書やマーカー（標識）によって処分場の詳細を記録したり、将来世代に処分場の存在を気付かせたりすることができる [Ref. 53]。さらに長期になると、管理と社会的記憶の喪失が、例えば、戦争や政治的混乱状況に陥ることによって、あるいは大きな気候変動などの自然事象（氷河作用など）の結果として、最終的には起こるかもしれない。

処分場を閉鎖した後、そして閉鎖後の回収可能性が要求される期間を終了した後でも、容器をすべて回収することがまだ可能かもしれない（特に容器がまだ健全である場合には）。社会制度が現在のものと同様のものである限り、（回収することが決定された場合）回収作業は、放射線作業であり、回収された廃棄物を受け入れるために必要な処理・貯蔵施設と同様に、原子力安全当局からの許可が必要となる。また、承認を得る前には、実現可能性の研究開発と実証も必要である。特に、回収する作業が定置作業を単に逆に

行うだけでない場合には、そのための新しい技術が必要となる。過去との連続的なつながりが存在し、かつ処分場がどのように設計され、建設されたかに関する情報が保存されていれば、回収の能力（回収可能性）は高められると考えられる。

容器の健全性が信頼できなくなった場合でも、鉱山で使用されている技術と同様の技術で物質を回収することができる可能性がある。当初の設計の記録が制度的に維持されていれば、掘り出しによる回収を容易にする。

現在の社会制度がもはや存続していないときには、回収や回収した廃棄物の管理・貯蔵は大がかりになるが、工学的措置としては可能である。それらの作業は、社会の継続性が維持されている間（制度的記録保存が失われる前の期間）よりも困難にはなると考えられる。それらの作業には、決断力、資源、技術を要し、恐らくは大規模な工学的な作業になると考えられる。古代遺跡（ファラオの時代に遡るアブシンベル神殿など）の保存を行うとして、計画を立てるときにも、同様の課題に直面してきた。さらに処分場から放射性物質や有害物質を回収する場合の追加的な課題として、回収した物質を安全に管理するための施設を建設・運営する必要があるということが挙げられる。

3.4 回収の意思決定

これらの容器が閉塞された処分空洞内に既に定置されている場合には、回収の意思決定は複雑なプロセスになる可能性が高い。ドイツのアッセサイトの例 [Ref. 31]では、操業安全性、環境への影響、長期安全性、実現可能性、コスト、時間的要件、新たな中間貯蔵・管理施設に関連した要件、回収中および回収した物質の処理中に発生する廃棄物のために新たに設置される可能性がある処分場、廃棄する物質の輸送といった様々な事項に対する判断基準が必要になることを示している。回収する容器の数が増えるとともに困難さは増し、また容器が既に閉塞された処分空洞の中にある場合にも困難さは増してくる。回収を行うための基準に何らかの形で重み付けを行うことが必要となり、その重み付けは、回収する時点での安全に対する基準や考え方に依存する可能性が高いが、もちろん廃棄物を定置する時点でそれを予測することは不可能である。これまでの経験から、回収の費用は、処分費用に匹敵するか、それを超えることさえある。

閉鎖後の回収は新たな放射線作業となり、新たな許可が必要になると考えられている。国によっては、閉鎖後の物質所有権の問題について解決する必要がある。これに関連する問題として、物理的閉鎖（最後のアクセス用立坑の閉塞）と規制が終了する時期との間に相違が生じる可能性がある。規制が終了するのは、事業者が責任を負っている期間の中に閉鎖後のサーベイランス期間を含めるため、物理的な閉鎖の時期よりも少し後に

なると考えられる。このようなサーベイランス期間として想定される期間が非常に長い場合、国に責任を移管するための何らかの方法を整備する必要がある。その理由は、廃棄物の発生責任を当初負っていた組織が存続していない可能性があるからである。特に、国内での原子力発電が終了した後では、その可能性が高くなる。たとえ閉鎖後の回収可能性が国の基準や政策であったとしても、回収作業は簡単には実施できないと考えられる。

3.5 R&R に関する情報伝達

一部の国では、可逆性を求める社会的圧力は可逆性の容易さを求める方向ではなく、不可逆的な段階を避ける方向に向けられる傾向にある。このような社会的圧力は、将来の様々な行為を排除する可能性がある決定を現時点で行うことを避けたいという要望と解釈できる。可逆性を求める強い社会的動機としては、この他に、資源に将来アクセスできるようにしておきたいという要望、および閉鎖の前に処分場の性能を可能な範囲内で確認または実証したいという要望があるように思われる。これらの関心と同時に、技術に関する理解度が十分でないこと（または技術の成熟度に対する信頼がないこと）と、管理を行わない受動的な安全性の概念への不安からくる動機もあるといえる。可逆性への要求は、継続的なモニタリングや管理を閉鎖後までも継続する必要があるとの認識からの論理的帰着とも考えられる。利害関係者と一般公衆は、後戻りと回収が可能なオプションを残すことに、ますます関心が高まっているようである。コストがかかることは確かだが、希望すれば回収が実現可能であることを実証できる研究についても同様である[Ref. 54]。

処分問題についての情報伝達が難しい理由は、地質学的な時間尺度と人や社会の時間尺度との間に大きな乖離があることと、遠い将来に起こるかもしれない影響には不確実性が存在することとに起因するためである。また、多くの技術系でない利害関係者は、明確なイエスかノーの答えを期待し、発生可能性の低い影響に関する説明を理解するのが困難な傾向がある。これは、ほとんどの国で間違いなく展開される話題である。

R (回収可能性) スケール

地層処分施設の受け入れを検討している地元の利害関係者が主に問題とするのは、廃棄物を容易に回収できるかということである。廃棄物の回収に必要な作業の程度や種類について、処分場に廃棄物を定置する前後で、すなわち処分場の全事業段階で回収可能性がどのように変化するかを定性的に説明するためのスケールを開発した。このスケールで検討した処分場の事業段階を表 3.1 に示す。この表には、廃棄物の回収に必要な作

業とそれに対応する処分場の受動的安全性の程度の間に関連関係も示している。これらの段階は、継続期間が長いものもあれば短いものもあり、一つの段階から次の段階への移行の決定は、個々の処分プログラムによって異なるが、ほぼ一定の形式に基づいて行われ、多かれ少なかれ一般公衆からの意見が反映される。この表には、段階毎に、受動的安全性と能動的管理の主要要素ならびに回収作業の程度と種類が示されている。回収可能性スケールを図で示したのが図3である。

表 3.1 : 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り回収が可能	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設施設の設置	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)

* 操業段階中は、施設内にあるすべての廃棄体が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。

表 3.1 を基準にして、廃棄物のライフサイクルをいくつかの段階に分けることができる。

第 1 段階では、廃棄物の処理、容器への封入が行われ、中間貯蔵施設に貯蔵される。第 2 段階では、廃棄物が中間貯蔵施設から地下数百メートルの地下処分施設に移される。さらに別の容器に封入することが必要となる場合がある。廃棄物を定置する処分セルには能動的モニタリングが必要である。第 3 段階では、廃棄物を定置した処分セル周囲の受動的安全性を確保するための要素である埋戻し（岩盤の擾乱への対策）や閉塞（水の循環への対策）が行われる。処分セルへのアクセス坑道には、まだ能動的モニタリングと換気などの維持管理が必要である。第 4 段階では、アクセス坑道が埋戻し・閉塞される。このアクセス坑道の埋戻し・閉塞は、アクセス坑道があるすべての処分エリアあるいは処分施設全体の閉鎖と同時に実施する場合もある。第 5 段階では、処分場を閉鎖する。地上からのアクセス坑道は密閉されており、地上施設は解体されている。第 4 段階、第 5 段階では、処分エリア（あるいは地下施設全体）のモニタリングや維持管理はもはや必要ないが、施設の遠隔モニタリングを実施する可能性がある。第 6 段階は最終的に処分された状態である。廃棄物の健全性は保証できないが、廃棄物は処分場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。安全性は維持管理やモニタリングに依存しない。但し、処分場に関する記録の保存を確保する措置を継続的に講じる可能性はある。



図 3: 「R スケール」: 廃棄物の事業段階、深地層処分場の回収可能性の程度、受動的な管理か能動的な管理か、回収コストの変化を図示したもの。作業段階の間は、処分施設内にあるすべての廃棄物パッケージが、事業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。

この R スケールを説明するリーフレットは、フランスおよびスコットランドで開催された利害関係者との会議で、またスコットランド政府が発行した協議文書 [Ref. 55] で使用し、検討が行われた。また、スウェーデン全国評議会の 2010 年報告書 [Ref. 42] でも参照されている。「国際回収可能性スケール」のリーフレットを付録に転載した。このスケールが、他の国の処分プログラムにおいても、処分場開発中の回収可能性の推移を示すのに役立つことを希望する。

4. 回収可能性：回収作業と課題

地層処分の役割は、放射性廃棄物が長期間に亘って及ぼす障害から、能動的管理および介入を必要とすることなしに、人と環境を防護することである。使用済燃料管理及び放射性廃棄物管理の安全に関する条約の廃棄物と処分の定義によれば、廃棄物が一旦最終処分場に定置されれば、それを取り出す意図はないとされている。また、長期安全性が目的であるので、全ての廃棄物が定置された後でどのように処分場を閉鎖するのかに関する計画を策定しなければならない。処分場における最終的な許可は、原則として、人と環境を防護するために能動的管理や介入が原則的に必要ないとの判断に対して初めて与えられる。

回収可能性は、そのことが処分場の設計と実施計画に明示的に示されていれば、それは将来、方針を変更する可能性を排除しないという意味を反映しているのであって、そのような方針の変更が生じるということを必ずしも期待しているわけではない。同様の考え方は、プロジェクト管理における可逆性にも当てはまる。

回収能力は、長期性能に影響する可能性のある想定外の状況に対処する上で、最も重要なことであろう。そのような状況が起こり得ると考えられる理由はいくつもある。また、そのような状況は、事業者や規制当局が最善の努力をしたとしても起こる可能性がある。利害関係者は、そのような状況に対処するために適切な対策が講じられると期待しているかもしれない。そのような対策を講じることができる能力は、長期的セーフティケースの一部を成すものではないが、想定外の不測の事態が起こった場合には、その有効性が理解されるかもしれない。

そのような事態が起こった場合には、状況分析を行うことよって、処分システムが規定された安全基準に沿って機能しており、長期的にもその機能が維持される可能性の高いことが明らかになるかもしれない。そのような場合には、廃棄物を回収する必要はない。処分場をそのままにしておくことに比べて、回収作業は作業者に大きなリスクをもたらすといえる。もし、回収が決定されるようなことがあった場合は、回収した廃棄物を管理するための適切な代替方法、例えば、定置のやり直し、中間貯蔵施設への保管、別の処分場での定置なども必要になる。利害関係者は、不測の事態に対する計画を全く持たないよりは、これらのことを計画されたプロセスの結論として理解し、受け入れる可能性が高いと考えられる。このことは、事業者は規制当局と協議した上で、一部あるいは全ての廃棄物の回収をできるようにするには何が必要なのかを、たとえ、法的な要件や規制上の要件がなくても、設計の早い段階に検討する必要があることを示唆してい

る。そのような検討は、少なくとも、起こりえないような事象が起こって回収が必要となった場合の出発点になると考えられる。

回収可能性が他の問題、例えば、核燃料サイクルオプションなどの問題に関する意思決定にも貢献する場合がある（例えば、[Ref.56]参照）。しかしながら、回収可能性を処分プログラムに組み込むことを決定する前に、回収する作業には技術的制約などからくる制限事項と課題があることを理解しておくことが重要である。

本章では、処分場の主な構成要素と設計内容を概観し、どのような措置が回収可能性に有利に働くか、あるいは妨げとなるのかを検討する。同様に、何が回収可能性をやりやすくし、何が難しくするのかを理解するために、処分場の計画遂行をその様々な事業段階を通してたどってみる。最後に、技術的要素、技術以外の要素、それに回収可能性と可逆性を実施する上での課題を評価する。

4.1 回収可能性と可逆性に関する処分場の設計および構成要素

地層処分場の長期安全性は、天然バリアと人工バリアの多重バリアによる長寿命廃棄物の閉じ込めと封じ込めの概念が基本となっている。これにより、非常に長期間にわたって廃棄物へのアクセスと回収が可能となる。一つの例が、Nagra の行ったセーフティケース解析であり（[Ref.57]）、放射性物質の完全な閉じ込めは10,000年以上の期間にわたって期待できると報告されている（図4参照）。放射性物質は、ずっと後の段階になってもそのほとんどが定置された元の場所のごく近傍に留まる。同様の結論が他の地層処分場設計にも当てはまる。

地層処分場の設計内容は国により異なるかもしれないが、長寿命廃棄物のための地層処分場は、通常、廃棄体、収納容器、定置セル（緩衝材がある場合とない場合がある）、処分場へのアクセス用斜坑あるいは立坑、それに周辺の母岩で構成される。配置は水平あるいはほぼ水平なものが一般に採用されている。処分場の方向と配置を決定する際は、岩盤応力の方向と大きさを考慮しなければならない。

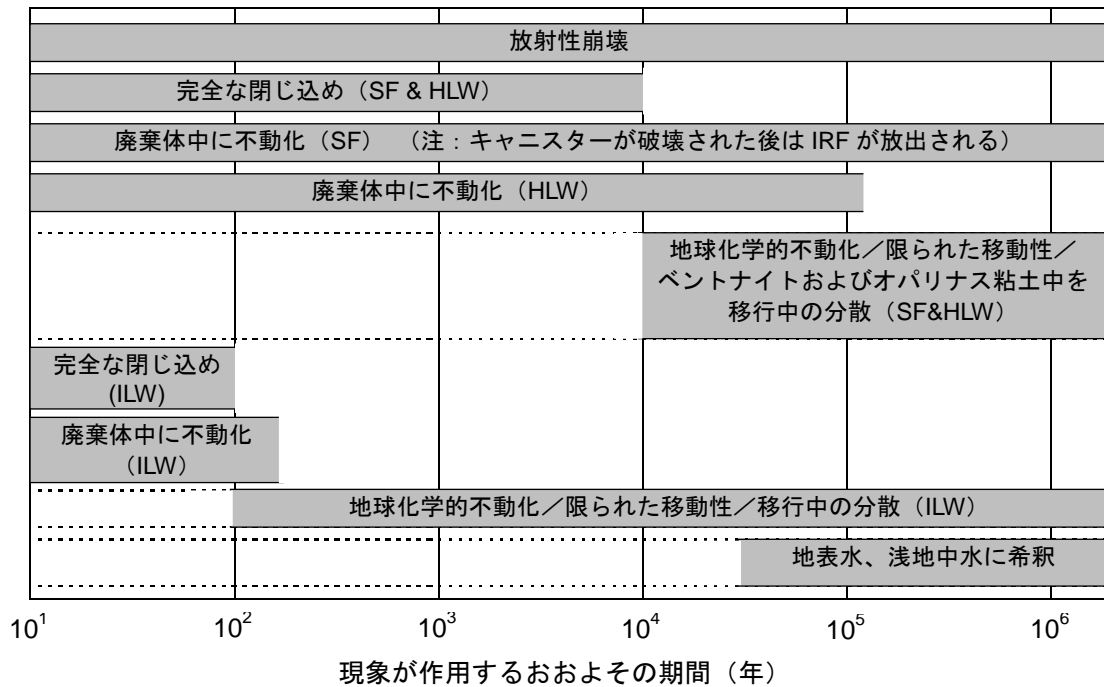


図 4：関連する現象が作用する時間スケール ([Ref.57]より)

以下では各処分場構成要素についての簡単な説明と、廃棄物の回収可能性がそれらに及ぼす影響、およびその逆の影響を示す。

4.1.1 廃棄体

廃棄体自体が放射性核種や他の有害物質の漏出を防止するためのバリアと言える。廃棄体の頑健性によるが、回収作業が行われる場合には、その間の廃棄体の状態が一つの課題となるかもしれない。例えば、使用済燃料が直接処分されている場合、燃料被覆管が放射性核種の使用済燃料からの放出に対するバリアのひとつである。他のことが全て同じとすると、このバリアを回収が完了するまで保つことが好ましいと考えられる。さもないと、燃料粒子が燃料棒から収納容器に放出され、回収中の放射線障害による危険性が高まるかもしれない。これが、最終的な回収プロセスに対する制約となり、回収可能性を持たせるための設計に影響する可能性がある。一部の種類の燃料では、回収可能性がオプションとして予見される場合には、そのための配慮が廃棄物容器の設計に影響する可能性がある。回収した廃棄物の中間貯蔵（再び定置したり、処理をやり直したり、さらに加工したりする前に）の問題も、廃棄物収納容器を処分場の地表施設の外に輸送するためのものにするのか、輸送前に解体するためのものにするのかの検討が必要になるかもしれない。

4.1.2 廃棄物容器

廃棄物容器は、人工バリアとして機能し、一定の設計寿命の間、廃棄物を安全に閉じ込めるように設計されている。廃棄物容器の物理的形狀は、処分場概念により変わってくる。しかし、容器を設計する際に検討する必要がある主なパラメータは、(i)廃棄体自体、(ii)母岩に適合した容器材料、(iii)材料の機械的強度と容器の重量、(iv)放射線防護、(v)発熱量、である。

検討が必要な別のパラメータとして、回収の容易さがあるかもしれない。回収可能性に関しては、長寿命廃棄物の容器は、長期間その健全性を維持するという点で廃棄物の回収にとって都合が良いことは明らかである。容器の寿命を長くするのは、多くの場合、容器の材料と肉厚の選定ならびに定置セルの環境を規定の設計寿命に耐えうるように管理することにより実現される。容器の健全性に加えて、容器外側のハンドリング特性も回収可能性が維持されている期間（設定されている場合）、維持されるように設計する必要がある。これに関しては、長期間腐食に耐えうる材料を使用することが好ましい。廃棄物容器の頑健性については、回収の準備プロセスがある場合にはその間、構造健全性を維持するのに十分な頑健性を備えることが必要になる。ガスによる加圧を防ぐためにベント（ガス抜き）を行う場合もある。容器のガス抜きを行うと、気体状の放射性核種がガス抜きを通して出ていき、埋戻し材を汚染させる可能性がある。これが、回収作業に影響するかもしれない。廃棄物容器の大きさや重さも、廃棄物を回収するとき重要な要素である。大きな容器の方がハンドリングは難しくなり、求められる遮蔽性もより高くなる可能性があるが、小さい容器では回収するパッケージの数が多くなる。

4.1.3 定置セル

定置セルは空洞、部屋、孔（縦か横）の場合があり、処分場の設計により変わる。定置セルを設計する際に考慮する必要のある項目は、(i)定置セルの大きさと収容能力、すなわち、廃棄物容器の数、(ii)廃棄物容器とセル側壁の間に緩衝材を使用するかどうか、(iii)定置セル内での廃棄物容器の向き、(iv)岩盤支保/ライニングの必要性、(v)支配的な岩盤応力に対する定置セルの方向、である。廃棄物の隔離と処分場の閉鎖を容易にするために、定置セルは、多くの場合、止水材で埋め戻す。代表的な止水材としては、ベントナイトのような膨潤性の粘土や、粘土と砂の混合物がある。定置セルを低透水性の材料で閉塞する目的は、汚染物質の移行速度を制限することと、アクセス用の空洞を安定させることでもある。廃棄物容器と同じように、一部のプログラムでは、回収の容易さが設計で考慮すべき要素として追加されている。

定置セルの大きさは、回収可能性にとっても重要である。セルが短いほど、廃棄物パッケージの定置と回収のための機械装置の複雑さは少なくなる。しかし、セルの長さは処分場の容量、面積とバランスをとる必要がある。回収目的で定置セルに使用される材料も、容器材料と化学的に反応しないように設計する必要があり、また、止水材や母岩の擾乱を引き起こさないようにする必要もある。

4.1.4 処分場アクセスと処分場配置

処分場の配置とアクセスも回収可能性と関連している。例えば、深いボーリング孔では定置した廃棄物へのアクセスが難しくなる。実際、このことが一部の国では(例えば、スウェーデン[Ref.42]) ボーリング孔への処分を拒否し、通常の処分場を選定する理由となっている。

地表から処分場深さへのアクセスは通常、立坑やアクセス用斜坑を使って行われる。この設計は処分場の配置、廃棄物定置プロセス、母岩の種類により変わってくる。アクセス用の空洞は、多くの場合、定置セルを閉塞するために、また、誤って侵入することを制限するためにも埋戻し材で止水される。帯水層や亀裂帯を通過して掘削されているアクセス用の立坑や斜坑については、地下水の浸入を防ぐ、あるいはできるだけ少なくするためのバリアが必要であり、アクセス用立坑が開放されている期間だけそのバリアを長く維持しなければならない。もし、廃棄物の回収可能性を維持する期間が、社会的、政治的な理由などから求められており、アクセス用立坑が回収概念の一部となっている場合には、使用されている岩盤支保、アクセス坑道、立坑ライニングは全て、その期間、十分な健全性を維持するように設計されなければならない。

さらに一般的に言うと、処分場へのアクセスと処分場配置は、処分プロセスの間に行われる決定の可逆性(柔軟性)に影響する。これは、処分場へのアクセスの設計が廃棄物容器の搬送に使用される輸送容器の大きさに関係するためである。もし、輸送容器の大きさにそのような変更があるということが作業段階に予見されるのであれば、例えば、放射線防護基準や廃棄物パッケージの大きさの変更になるので、この変更が地表からの既存の廃棄物搬送専用アクセスルートと両立するものでなければならない。

4.1.5 母岩

多重バリアで構成された地層処分システムでは、母岩は、廃棄物を長期間隔離し、処分場を破壊的事象と人の侵入から防護するのに好ましい水理地質学的、化学的条件を維持するための天然バリアとして機能する。母岩の具体的な特性は処分場に選定されたサ

イト固有の地質により変わってくる。

母岩は、回収可能性の観点からも密接な関わりがある。例えば、強度のある岩盤（結晶質岩、凝灰岩など）は自立できるものであり、定置セルで岩盤壁の損傷を防ぐために必要な人工的な支保と維持管理は最小限なもので済む。そのような状況では、廃棄物パッケージは、処分場建設の間に新たな工学的な措置を大々的に講じなくても回収のためにアクセスできる状態に維持されることが期待できる。一方、フランス、カナダ、スイスで考えられている堆積岩（それぞれ、Callovo-Oxfordian、Ordovician argillite、Opalinus Clay）は、固結した堆積物である。これらのような堆積岩では、岩盤特性によっては、処分場で掘削部の周りに掘削損傷領域(EDZ)を生じる場合がある。回収可能性を維持するためには機械的安定性を長期間持たせるために、鋼アーチ支保工、金網、吹き付けコンクリートやコンクリート坑道ライニングとロックボルトを組み合わせた岩盤支保が必要かもしれない。岩塩層は、流動性があり、容器周辺の隙間を閉じる傾向があり、容器が発熱するときには特にその傾向が強いために、坑道を支えるための大きな構造的な対策を講じない限り、回収可能性にはなじまない。

4.2 技術的要素と課題

4.2.1 回収可能性の計画を立てる際の要因

廃棄物を回収しようとする場合、回収を容易にするための労力に影響する因子は、(i) 処分場概念、バリア、および場所、(ii) 回収可能性が求められているとすると、その時間スケール、(iii) 廃棄物の回収が行われるときに処分場がどの程度変化しているか、である。そのような回収が実際にできるかどうかについては、作業者の安全性、費用の最小化、他の技術的要件を考慮しなければならない。原則として、処分場が廃棄物回収のための特別な措置を講じられているかどうかにかかわらず、廃棄物を特殊な採掘技術を用いて閉鎖した地層処分場から取り出すことは可能と考えられる。回収可能性の管理戦略は、回収可能性の程度をどのレベルにするか、いろいろと考えることが可能である。そのような戦略を立てる際、様々な事業段階に対して考慮すべき幾つかの検討事項を表4.1、4.2、4.3に示す。

表 4.1 : 回収可能性の管理戦略と操業前の段階に考慮すべき要因

回収可能性の管理戦略	考慮すべき要因
<p><u>回収計画の作成</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 良く検討されている回収計画は、設計で回収可能性を反映させる際に役に立つ。計画では、放射線安全および環境保全、ならびに回収の実現可能性に影響する可能性のある重要な要因を全て検討しなければならない。回収計画を作成するに当たり、政策の変更、緊急事態、プロセスデータの更新などにより変更が生じる場合がある。 ・ 計画は、操業段階の間あるいは閉鎖後に起こる回収状況を選んで作成すればよい。これは、廃棄物の回収は処分場設計者が意図しているのではない。回収作業を実施するには、回収できるようにしている設計の有効性を評価するために具体的な回収状況を示唆する必要があることを意味しているのである。 ・ 現世代は将来世代が行う決定をコントロールできないことを考えると、閉鎖後の回収が最終的に決定された場合の人々へのリスクをできるだけ小さくするために閉鎖後の状況を示唆することもある。 <p><u>設計での回収可能性の実現</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 回収計画で求められた基準を満たすために、処分場構成要素の設計に回収の機能が取り入れられる。 ・ 前の段階（フィージビリティスタディや予備設計）の結果が分かるまで計画の遂行を先に進めないというホールドポイントがあっても良い。これらのケースでは、新しい決定や状況を取り入れることができるような柔軟な回収計画としておくことによって、回収作業がうまくいく機会が増えると考えられる。回収戦略を進行中のあるいは段階的に進める作業に基づいて定期的に見直すことも作業の信頼性を高めることになると考えられる。 <p><u>回収可能性の実証</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 設計を進める過程で、回収可能性の機能を果たしている構成要素とサブシステムの試験が行われる。これらは、要素技術や回収プロセスの実現可能性を確認するプロセスの最初に行われる予備的な試験であり、操業前段階の終わりにはより包括的な試験が行われる。 	<p>回収計画で考慮すべき重要な要因は、コスト、時間スケール、リスクの低減、障害の特定と軽減、経年した廃棄物と廃棄物パッケージの複雑さ、インベントリーに関する知識の程度、作業量（回収する廃棄物の量）、必要となる下流側プロセス（再パッケージ化、調整、処理、最終的な廃棄物の処分）である。操業前段階の回収戦略を作成する際に特に関心が集まるのは、母岩の特性と処分場設計の固有の内容、例えば、処分場空洞ならびに処分場と地表との連絡坑道の埋戻しと閉塞の程度である。さらに、回収のタイミング、廃棄物を定置してからその回収までの時間遅れ、その回収も回収の実現可能性と実際に行われるのかどうかに影響する。</p> <p>処分場概念、サイト固有の環境とその後の劣化プロセスに依存するが、廃棄物容器は、特別な設計要件が、例えば、余分に長い設計寿命、安全な回収を確保するための頑健な容器設計、容器に吊り上げ／ハンドリング装置を付けるなどの特別な設計要件が課される場合がある。これに関しては、選定された材料は十分な腐食代を持たせて長期間にわたって耐食性がなければならない。また、容器の頑健性は回収の準備プロセスがある場合（緩衝材の除去、掃除など、定置セルの準備プロセス）には健全性を継続して維持できるようにする必要があり、また、取り付けられたハンドリング装置は、回収可能性のある期間、機能を残さなければならない。</p>

表 4.2 : 回収可能性の管理戦略と操業段階に考慮すべき要因

回収可能性の管理戦略	考慮すべき要因
<p><u>処分場閉鎖の延期あるいは廃棄物定置後の部分的埋戻し</u></p> <ul style="list-style-type: none"> 閉鎖を遅延させる戦略を採用する場合、処分場の埋戻しは直ぐには実施されないため、廃棄物パッケージは処分場を閉鎖するとの決定が行われるまで回収が容易にできる状態にある。 この戦略を少し変えたものが、廃棄物の定置が完了した後の一部だけ処分場を埋め戻すというものである。この方法では、人工バリアを一部だけ定置する。定置される人工バリアは、通常は、大きな困難なく取り除くことができるタイプ、例えば、満杯になった定置セルの埋戻しなどである。そのような場合、部分的埋戻しの決定がなされた時に、廃棄物を元に戻せることを実証することが求められるかもしれない。 この戦略により、閉鎖前の長期間にわたって処分場サイト近辺の地方の雇用を促進し、研究開発に多くの時間をかけることができるとともに、また、定置された廃棄物の管理をより高度に行うことができるというメリットを生む可能性がある。一方で、処分場を閉鎖する前の期間中には、追加のモニタリング、保障措置要件、制度的管理が必要になるという負の影響があることも無視できない。 <p><u>短期的回収可能性、長期的回収可能性の再評価</u></p> <ul style="list-style-type: none"> 定置セルと廃棄物パッケージが定置後に実際に変化し、回収が決定されたとしても、その回収の困難度が高くなる場合がある。操業段階が数十年続くようであれば、処分場の建設および廃棄物定置のための技術が、操業段階の開始時点と終了時点で全く同じではないと考えられる。従って、ある時間の後、あるいは定期的に廃棄物パッケージを回収する機能の有効性を再評価することが有益かもしれない。このことは、操業中に回収する能力と閉鎖後に後になって回収する（この可能性が見える場合には）能力のどちらにも当てはまる。 	<p>このように閉鎖までの期間を長くするという戦略が、安全上どのような意味を持つかを注意深く評価しなければならない。公衆と環境への影響は、施設をもっと早く閉鎖した場合よりも低いと主張できるかもしれない。それは、廃棄物の放射能が最も高いときには施設が能動的管理下にあるためである。一方、人工バリアが全く、あるいは一部しか設置されていないので人と生物（植物と動物）への放射線影響は閉鎖した処分場から受けるものより高いかもしれない。</p> <p>作業者の一般安全（すなわち、地下で事故が起こる可能性）、有毒物質の環境への放出、土地の要件（すなわち、処分場があるために他の目的に使用できない場所）も、この戦略を評価する上で重要な要素である。</p> <p>これは、処分場における観測測定ならびに技術の進化と科学の進歩を前提としている。</p>

表 4.3 : 回収可能性の管理戦略と操業後の段階に考慮すべき要因

回収可能性の管理戦略	考慮すべき要因
<p><u>処分場や廃棄物に関する知識を維持し拡充する</u></p> <ul style="list-style-type: none"> 閉鎖後の回収を容易にするための主要な要因は、処分場と廃棄物に関する知識の維持である。廃棄物が定置された正確な位置、廃棄物の性質に関する知識、廃棄物容器の健全性、定置セルの壁、ライナーに関する情報などは、回収技術とプロセスを決定する際の重要な入力情報である。 関連情報が、将来世代が使用できる形式で維持されるようにすることも重要である。 このためには、過去の記憶を受動的なものだけに依存するのではなく、処分場サイト周辺の住民に知識と技能を維持することにも依存する必要があるのかもしれない。 閉鎖後の遠隔モニタリングを継続することもこれらの目的に貢献するかもしれない。 	<p>残しておくべき廃棄物、容器、定置セルの特性を明確にする。</p> <p>世代を超えて伝達するための適切なデータ保存材料、言語を明確にする。</p> <p>利用できる技術を考慮しながらモニターするデータを明確にする。</p>
<p><u>将来の回収作業のために有能な人材を維持する</u></p> <ul style="list-style-type: none"> 回収作業の実施や回収機器の操作には、必要な技能と専門知識を持った有能な人材が必要と考えられる。状況によっては、将来世代に必要な専門知識を残すほかに、掘削し直すことによって新しいアクセスルートを作るオプションも検討する価値があるかもしれない。 	<p>様々な掘削技術の適用を制限するかもしれない特定のサイトの地質特性を検討する。</p>

4.2.2 回収を実施する上での技術的課題

廃棄物パッケージ全体を回収するための能力（回収可能性）を確保する措置を講じようとする、処分場とその関連インフラの設計の観点から、避けることのできない技術的な課題が幾つかもたらされる。これらの課題の重要性は、処分場概念と処分場の場所により幾分変わってくる。共通的な技術上の課題を幾つか、表 4.4 で議論する。

表 4.4 : 回収作業に伴う技術上の課題

<p>操業段階の期間</p> <ul style="list-style-type: none"> 定置セルがまだ閉塞されておらず、容器に直接アクセスできる段階での廃棄物の回収。遭遇する可能性のある技術的な課題は、ほとんどが工学的な計画と設計を工夫することによって解決できる可能性がある。その理由は、定置段階の操作を逆行を行うことによって、廃棄物パッケージの定置に使用する機器が廃棄物パッケージ回収にも使用できるためである。従って、廃棄物の回収がうまくいくかどうかは、安全な処分場の操業ができるような対策を設計で行っているかどうかにかかっている。処分場での操業安全について検討する際、廃棄物パッケージの回収には廃棄物ハンドリング作業が加わり、その作業はもともとの定置作業より多かれ少なかれ危険性があることを理解しなければならない。適切な放射線の遮蔽を施して回収作業を行うことは重要なことと考えられる。また、操業のどの期間でも、故障状態（例えば、電源喪失、洪水、落盤など）に伴うリスクがあり、そのような状態では一般災害や放射線災害がさらに加わるかもしれない。いずれの場合でも、マニュアルで運転する必要性を減らすような対策はメリットが多いといえる。作業者の被ばく時間が減るように複数のパッケージを扱う頑健な装置を利用したり、遠隔操作機器を使用したり、また作業環境をモニターするためにセンサーを使用したりといった対策が、回収作業を行っている間の処分場での操業安全性を支える一助になるかもしれない。
<p>操業後の段階の期間</p> <ul style="list-style-type: none"> 多くの国の処分プログラムが、処分場を閉鎖している間および閉鎖した後の回収が可能であることを示してきた。ただし、そのプロセスは、早い時期に比べると著しく難しいかもしれない。閉鎖した後に廃棄物パッケージあるいは廃棄物を回収するためにはある種の採掘作業が必要である。閉鎖後の段階では、著しい変化と劣化が生じており、それが作業中に別の不確実な状況を作り出すので、回収は更に困難になると考えられる。特に定置して回収するまでの間に長い期間が経過しているような場合には、容器や定置セルの著しい劣化が起こっている可能性があり、また、回収に新しい装置が必要かもしれない（定置に使用されているような様々な装置）。さらに、回収作業者に対するリスクと装置運転員の安全性を、回収の前に評価する必要があると考えられる。採掘して中に入っていく方法をとることが必要になる可能性があり、通常の採掘活動に伴う危険性に対処する必要がある。 それでも、万一回収が必要になった場合には、ある種のコア掘削とオーバートンネリングなどの採掘技術が適用できる可能性がある。この段階で採用する回収方法は、サイトの地質特性と回収した廃棄物を管理するための措置によりほぼ決まると考えられる。 閉鎖した処分場から廃棄物を回収することが決定された場合には、廃棄物パッケージへのアクセスを復旧するために、新しい装置と回収方法が必要になる可能性がある。必要な装置の種類は処分場の概念と処分場用に選定された材料によって変わる。回収作業を行うために、また回収装置を運転するためにも、必要な技能と専門知識を持った人材が必要である。状況によっては、採掘をやり直して新しいアクセスルートを掘削することを検討した方がよいかもしれない。確実に廃棄物の回収ができ、かつ望ましくない人の侵入が起こらないようにするために、必要な専門知識を維持するようにすることが課題となるかもしれない。 長期間経った後に回収する場合、別の更に具体的な技術上の課題として、劣化した廃棄物パッケージを収納している地質環境の物理的状態が未知なことがある。生物圏とニアフィールド地質環境の状態は、連続的な気候変動によって生じる著しい変化を受けているかもしれない。初期の段階に行う回収の場合と同様に、廃棄物の回収を行うかどうか判断する前に、公衆の安全に対するリスクを評価しなければならないし、また、廃棄物の回収を実施する前には規制要件と安全要件に適合しなければならない。

4.2.3 回収可能性と可逆性に関連した研究開発課題

放射性廃棄物の地層処分施設の開発と実施を支援するためには、新しい知識を取得し、また、取得した知識を処分場システムおよびその構成要素の設計の向上および開発に適用するためにも、研究開発作業が欠かせない。地層処分の計画実施は長期的なプロジェクトで幾つかの重要な段階で構成されているため、計画遂行の段階全体を通じて様々な種類の研究開発が必要になる。研究開発戦略を立案する際に同じく注意しておかなければならないことは、地層処分プロジェクトのニーズがプロジェクトの計画遂行段階の進展にしたがって変化し、研究開発活動はそのニーズに対応する必要があるということである。研究開発活動は、主として、処分場の長期安全性を実証することに力点が置かれている。また、設計の柔軟性には、廃棄物を安全に定置するために、処分プロセスにおける回収するという意思決定が必要以上に難しくならないようにすることが、期待されている。回収可能性が処分場の持つ可能性のある特性の一つであれば、研究開発の成果の一部を回収可能性に適用しても良いと思われる。研究開発活動の一部を以下の表 4.5 に示す。廃棄物管理に関する研究開発は、可逆性に信頼性を持たせるためにも継続することが必要と考えられる。

技術的な研究開発ニーズと同様に、社会科学的研究も、立地プロセスを進めている間に利害関係者（社会全般と地方共同体を含む）が効果的に、また持続的に関与できるようにするために重要である。放射性廃棄物の地層処分場を国内の特定の場所に建設することは国民の問題として考えるべきであり、したがって、そのようなプロジェクトの頑健性は技術的および社会的に評価されることになる。安全解析、性能評価と並んで懸念事項となる可能性があるのが、地方の土地使用計画の立案、環境保全、技術経済的最適化、科学と技術の進展の統合、社会的受容性である。

さらに、**R&R** 活動（社会の期待と密接に関連している）を支援するために、社会科学（社会学、経済学、政治科学、歴史など）の役割と研究開発への組み込みが特に重要になるといえる。一定の期間、将来世代が介入できるようにし、そうすることによって中間的な操業段階を選択できるようにしておくには、技術的な専門知識以上のことが求められる。技術だけでなく、社会、政治などの複数の視点を維持し、関係する全ての機関との話し合いを継続する制度をプロジェクトの設計に含めなければならない。社会的、技術的な進展を意思決定プロセスに関連させる研究開発活動と社会科学的研究は、この複雑さを扱うのに非常に有効といえる。この点について表 4.5 および 4.6 で議論する。

表 4.5 : 操業前段階における可逆性と回収可能性に関連した研究開発活動および関連する課題

可逆性と回収可能性に関連した研究開発活動	関連する課題
<ul style="list-style-type: none"> • 操業前の最初の時期でサイトの選定と特性評価が行われる期間では、準備作業とサイト調査段階を支援するための研究開発において、一連の可能性のある地層について概念設計と関連する安全評価を行うために必要なデータを提供し、プロセスを理解することに焦点が当てられる。 • 廃棄物の回収に関しては予備的な研究開発活動であり、廃棄物回収が実現可能なことを実証するためのツールと技術を開発することなどが行われる。具体的な設計（例えば、回収可能性を設計上の機能として持った定置装置、アクセスできるようにバリアを回収、撤去する作業が容易にできる定置空間の配置）を予備的な研究開発プログラムで評価するとよい。研究開発活動は、定置した廃棄物を様々な事業段階で回収できるようにする方法/プロセスに重点を置くことになる。一方で、そのような具体的な回収可能性への備えが処分場の性能を損なうことがないことを実証するための研究開発も必要かもしれない。 • この最初の時期に研究開発を行う目的は、頑健な解決策の開発を技術的、社会的な観点から支援することにある。安全評価以外には、土地使用計画の立案、環境保全、技術経済的最適化、科学と技術の進展の統合、社会的受容性が関心事となる。 • サイト調査に必要な予備的研究開発（サイト固有の情報を評価するためのツールと技術など）がこの段階に行われる。候補サイトを評価するためにサイト固有の調査を行う際は、人工バリアの性能を決定するあるいは流体と放射性核種の動きをコントロールするプロセスが研究開発活動の中心になる。この最初の時期に研究開発を行う目的は、サイトに存在する母岩と地下水システムの物理的、化学的特性を考慮した工学設計と安全評価を支援することにある。 • プロジェクトが建設段階に進むに従って、選定された母岩に対する地下調査によって施設の建設に必要なサイト固有の地質情報が与えられるようになる。この分野での研究開発の目的は、操業段階に生じる廃棄物インベントリーや処分速度の変化などに対応できるように最大限の柔軟性を残しつつ、操業段階の初期のための処分場の工学技術を明確にすることである。この段階での研究開発は、後の段階で施設を安全に閉鎖するために必要となる埋戻しと閉塞システムの設計の開発を支援することも期待されている。具体的な回収可能性に対する措置と施工された人工バリアのより詳細な評価（例えば、埋戻し材の撤去）について、さらに研究、試験が行われると考えられる。 	<ul style="list-style-type: none"> • 最初の段階に、詳細なサイト固有の地質情報なしで予備的研究開発作業を行う際、特に問題となるのは研究開発作業プログラムが、母岩が有する潜在的な物理的、化学的特性とバリアの劣化メカニズムを考慮して計画されるようにすることである。 • 回収が実施できる時間スケール（技術的な根拠に基づいた）は長くとも数百年程度なので、実際の回収作業に影響する技術の進展を考慮することが、研究開発作業計画を策定する上で新たな課題になると考えられる。情報の保管およびこれらの時間スケールでの回収に関する研究開発も必要と言える。 • この問題の多面性を考慮して頑健性のある廃棄物管理策を作り上げる。

表 4.6: 操業中および操業後の段階における可逆性と回収可能性に関連した研究開発活動および関連する課題

可逆性と回収可能性に関連した研究開発活動	関連する課題
操業段階	
<ul style="list-style-type: none"> • 処分場が操業を開始すると、研究開発活動は操業の経験をフィードバックさせることが中心になると予想される。処分場システムでの人工バリアと天然バリアの挙動をモニタリングした結果が予測モデリングの結果との比較に使用される。この段階では廃棄物の回収に関する研究開発が大々的に行われるとは予想されないが、回収作業を容易にする改善策の評価が行われるかもしれない（例えば、定置空間/アクセス用立坑の埋戻しと閉塞の時間スケール）。新しい技術の評価は、廃棄物の回収が必要となったときに最も効果的に行えるように継続される。 • 放射性廃棄物管理と廃棄物の回収に関する公衆の意見が世代によって変わるかもしれない。技術的な研究とは別に、公衆が原子力活動や定置した廃棄物の将来の利用をどのように考えているかを本当に理解していることを検証するために、社会科学に関する研究開発も重要である。この段階での技術的研究開発と社会的な研究開発は、いずれも施設の一部あるいは全体を閉塞し、閉鎖する時間スケールに関する意思決定を支援することになると考えられる。この段階の主な目的は、処分場設計や操業の様々な面においてどのような改善ができるかを明らかにし、実行することである。この段階での研究開発は、施設の一部、そして最終的には施設全体を埋め戻し、閉鎖する時間スケールに関する意思決定を支援することにもなる。 	<ul style="list-style-type: none"> • 幾つかの研究開発活動は社会の指導者と公衆の懸念に対応することを目的としたものである一方、社会科学研究から得られる新しい知識は既に研究された回収可能性オプションを複雑にするかもしれない。これによるデメリットの一つは、回収可能性を促進するために行われる研究開発作業が増えると、回収が必要であるとの認識を強めてしまう危険性が大きくなるということである。
操業後の段階	
<ul style="list-style-type: none"> • 処分場が閉鎖段階に達したとき、施設は受動的な安全性が確保された状態になっている時期であるといえる。この時期においても、支援するための開発作業は、規制当局と立地自治体が定めた要件を満たすためのモニタリング措置を支援することに重点を置いて継続されると考えられる。研究開発の主な目標は、処分場が設計通りの性能を示し、長期安全性が達成できるという信頼を持たせることである。実現性のある回収作業計画は既にできているので、この段階で行われる廃棄物の回収に関する技術的な研究開発は最小限のものになるであろう。しかし、新しい技術は依然として現れるので、この段階での研究開発の中心は、最新の技術を回収の安全性を高めるために適用することである（例えば、場所が動いたあるいは劣化した容器の位置を特定する装置や技術）。 • その時点での一般的な社会的、政治的環境によるが、利害関係者の支持を維持するためには、一定の社会科学研究作業は維持する必要があるといえる。 • 知識の移転、アーカイブの耐久性、受動的マーカーなどの記録保存に関連した側面についても研究が継続されるかもしれない。 	<ul style="list-style-type: none"> • 上述の通り、バランスの取れた、かつ効率的に計画された社会科学研究プログラムを行うことは容易ではないだろう。

4.2.4 研究開発の特定、スケジュール作成、優先順位付け

研究開発は情報のギャップ（我々が現在持っている知識と処分場開発を支援するために取得する必要のある知識とのギャップ）を埋めるプロセスの一部である。上述の研究開発活動に示したように、研究開発作業を実施する全体的な目標は、意思決定プロセス全体に亘って我々の知識を向上させ、地層処分場の設計と安全な操業に信頼が得られるようにすることである。研究開発テーマに挙げた研究は多くの場合、処分場の複数の構成要素や処分場システムに影響するかもしれないことに留意する必要がある。例えば、閉塞しているシステムの力学的特性と化学的特性は容器の安全な隔離に直接的な影響を及ぼすだけではないかもしれない。これらは周辺の微生物が生存し、その成長する割合にも影響し、それが定置された容器の回収可能性に影響するかもしれない。研究開発作業についての計画を立案する際、研究開発テーマの全体的な影響とその研究開発作業が全体的な成果に影響する時間枠の影響を考慮する必要がある。長期実証試験は数十年に及ぶことがあるので、時間を研究開発計画立案プロセスの要素として組み込むことが、特に重要である。研究開発作業の優先順位を付ける際、情報ギャップ、特に、設計の結果と処分場の安全な操業に関するギャップの大きさの重要性や潜在的な影響を評価することが重要である。安全な地層処分施設を実現する時期に大きな影響を及ぼす可能性のある課題、特に我々が既に持っている知識と理解に大きな情報ギャップがある分野には、最も高い優先順位を与えるべきである。大きな資源や定評のある技術を必要とする研究開発分野については、他の国内の放射性廃棄物管理機関と協力することで、利用できる最善の技術や資源を効率的に使用できるようになる場合がある。そのように知識を共有することで、研究結果の独立した検証が促進されるだけでなく、更なる研究の優先順位付けと戦略の方向性を見つけるために必要なシナジー効果が生み出されることにもなる。研究開発項目で最も優先順位の低いのは、処分システムの実現に大きな影響のない課題に関係するものに加えて、通常、情報ギャップの比較的小さい分野のものである。新しい技術は継続的に開発されるので、既存の知識が最新のものであり、新たな不確実性が見出されていないかを確認するために、研究開発プログラムを定期的に見直すことで、資源、予算を効果的に利用できる。

各処分プログラムで解決すべき重要な課題は、開発の様々な段階で可逆性と回収可能性に関する研究開発に振り向けるべき資源のレベルに関係する。回収可能性が求められている処分プログラムでは、回収可能性がオプションとなっている処分プログラムとは異なったニーズがある。

研究プログラムに対する動機についても考慮しなければならない。研究は受容性を向上させるために行うのか、処分場の操業を支援するために行うのか、または処分プログ

ラムに柔軟性を持たせるために行うのか？研究は常に安全を支えるものであるべきであり、単に利害関係者の受容性を向上させるためだけに行われるものではないことが望ましい。一方、利害関係者の要望がきっかけとなっている研究開発は開発者の全体プログラムに組みこむべきであり、単なる追加物として取り扱うことのないようにすべきである。

回収可能性は、全体設計と開発プロセスのごく一部でしかないという点も認識しておく必要がある。処分場開発を進める中で、回収可能性に関する戦略的な意思決定を行う必要がある。つまり、処分場の設計は変更せずに回収方法の開発に重点をおくのか、あるいは回収を容易にするために設計変更重点を置くのかという点である。

どのような研究をどの程度実施するのかという点に関する意思決定は、段階的意思決定プロセスとも関係している。対象としている段階により、研究開発のニーズは異なってくる。

4.3 他の要素と課題

4.3.1 保障措置－核物質防護

核兵器不拡散条約は、処分場に処分された使用済燃料や他の核物質に、その核物質が現実的に回収できなくなるまで、保障措置対策を施すことを求めている[Ref.58]。核物質防護条約は、条約加盟国に対して、侵入による妨害破壊行為や核物質の違法な輸送に繋がる恐れがある限り、核物質に対して許可なくアクセスしたり、除去されたりすることを防ぐことを求めている[Ref.59]。回収可能性の措置によって核物質がアクセスできる状態にある期間が延長されており、これらの条約が有効である限り、回収可能性を維持するという措置は将来世代が管理を維持し、許可なしでのアクセスを防ぐための核物質防護対策に責任を持つ期間も延長されることになる[Ref.60]。

閉鎖前には、例え回収可能性の要件がなくても、他の原子力施設の場合と同等の能動的な保障措置と核物質防護対策（関連する核物質防護システムと核物質の計量管理など）が必要になる。保障措置の持続を考慮した材料と設計に対する要件は、回収可能性を持続させるためにも役立つ。その意味で、回収可能性と保障措置に対する記録保存要件は補完的となっていると考えられる。埋戻し・閉鎖をした後でも、国が核物質不拡散と核物質防護を確保できなければならないとの要件を継続していると、制度的管理のためのモニタリングと廃棄物回収の必要性が出てくる可能性がある。これらの記録保存要件は、閉鎖後も回収可能性を継続して維持することを支えるモニタリングと制度管理対

策を補完することができる。それでも、閉鎖後の保障措置と核物質防護の最終的な目標は、核物質を回収するためではなく、核物質を人のアクセスや接触と環境から継続して隔離することである。このことは、処分の最終目標と一致しているが、回収可能性の概念とは相反している。

定置作業後に回収可能性を維持する期間を設けるには、保障措置と核物質防護の対策がその期間、地表施設と地下施設に継続的に維持されていることが必要になる。通常、必要な保障措置のレベルは核物質へのアクセスの容易さと回収の容易さにより変化し、一方、必要な核物質防護のレベルは中間貯蔵施設や浅地中施設で必要とされるレベルと同等で良いと考えられる。廃棄物の回収を設計するために、以下の側面について検討する必要がある。

- ・ 回収を容易にするために開放したままにしている処分場は、施設および核物質を防護し、保障措置検査を実施する期間が延長されることになる。地下の検査体制、保障措置検査プログラム、地下のモニタリングシステムを維持するために必要な労力は、相当大きくなる可能性がある。処分場での検査期間が長くなると、保障措置の検査官の地下での従事時間が長くなり、それにより検査官と処分場作業員の放射線被ばくが追加されることにもなる。
- ・ 核物質防護と制度的管理が維持されていなければ、処分場が開放されたままである限り核拡散の可能性が大きくなる。従って、回収のために時間が延長されることは、廃棄物の定置後直ぐに閉鎖された場合に比べ、保障措置と核物質防護の有効性は低下すると言える。
- ・ 保障措置対策には十分に柔軟性を持たせ、技術開発の変化と現世代および将来世代のニーズの変化に対応できるようにしなければならない。保障措置を有効に適用すると、知識の継続性が確保され、処分場に存在する核物質が目的の分からない用途に転用されないようになる。

将来世代が回収するとの意思決定をするかどうか予測することはできないが、処分場の設計と建設・操業の間に将来の回収を容易にする、少なくとも回収を不必要に難しくすることを避けるような対策をとることは可能である。通常、これらの対策は、閉鎖前の観察段階を短くしたり長くしたりすること、閉鎖後のモニタリング、監視、記録保存、あるいは廃棄物を定置した後の容器の寿命を長くすることなどである。これらは、現世代が将来世代に現世代と異なる意思決定を選択する自由を与える倫理的な責任を尊重する手段とみなすことができる。しかし、この責任は、現世代と将来世代の両方の健康と安全を守る倫理的な責任を果たすことを犠牲にして果たされるものであってはならない。また、核物質防護と保障措置のために同意されている対策を遵守する能力を妨げ

たり、阻害したりしてはならない。これら二つの基本理念の間の均衡を解決するのに影響する要因は沢山ある。すなわち、一つの「最適な」方法はないということである。これら二つの責任の相対的な優先順位を明確にすることが重要である。

4.3.2 コスト

処分場から廃棄物を回収できるようにすることに伴うコストは以下のように分けることができる。

- 廃棄物の回収を容易にするために必要になる可能性のある処分場構成要素の品質を上げるためのコスト。これには、改良型容器、定置空間／セル／空洞の設計、回収可能期間の長期安定性を確保するための地下施設の補強などが含まれる。
- 操業が延長された期間、安全を確保するために行うモニタリングと保守のためのコスト。これには、機器/車両の保守、補修、地下水の管理、緊急時対応準備など異常状態に対する準備、安全状態を維持するために必要な要員の確保、処分場の保安、保障措置対策（第4.4節で議論したとおり）などが含まれる
- 廃棄物の回収が行われる場合には、その回収コスト。これには、回収装置と操作員のコスト、回収作業中の放射線管理、汚染管理の追加コスト、回収した廃棄物の中間貯蔵施設と処理エリアの運転コストなどが含まれる。また、廃棄物の回収が行われる段階によっては、処分場から水を抜いたり、二次廃棄物を管理したりするための追加コストがかかるかもしれない（注意：二次廃棄物には、飽和した閉塞材、放射性核種を含んだ地下水が含まれる）
- 二次廃棄物を管理（残留汚染と修復措置）するためのコスト。これらには、二次廃棄物を管理するために必要となる貯蔵、処理スペース、回収プロセスの間に掘削された物質、環境影響の修復などが含まれる

回収作業に伴うコストには、二次廃棄物の管理と追加の処理施設、貯蔵施設に関連したコストも含む必要がある。処分場の開発と回収可能性の確保に伴うコストを「まとめる」と、回収可能性のために必要なコストを特定することが難しくなる可能性がある。回収可能性のコストに影響する要素は多く存在する。例えば、処分場の設計、廃棄物の量、回収可能性が求められる時間スケールなどである。廃棄物を回収することだけでなく、回収した廃棄物と廃棄物パッケージを処理する新しい原子力施設のコスト、代わりに廃棄物処分場のコストも考慮することが重要と考えられている。回収のコストは、処分場の建設および操業のコストと同等レベルになりそうである。

コストを誰が負担するかの問題も重要である。元々の発生者が負担するコストと、最終的に廃棄物を回収する者が負担するコストを区別する必要がある。一般的に言えば、

セーフティケースを支えるコストは元々の発生者の負担と考えられ、安全性とは無関係の単に回収可能性だけに係るコストは議論のあるところである。たとえ回収可能性がない場合においても、実施された工学的措置に対して回収の可能性のためだけに生じたコストの間のどこに線を引くかを決定するのは難しい。回収可能性が処分プログラムを社会が受け入れるための前提条件であれば、回収可能性に係るコスト（回収自体のコストと区別）は処分場計画の全体コストに組み入れられるべきだが、このことについてははっきりと情報共有しておく必要がある。

閉鎖後の回収可能性を要件とすべきかどうかを考えると、回収のコストだけでなく、回収した物質を処理するための新しい施設の建設、運転のコスト（処分のやり直しも含める可能性がある）についても認識しておくことが重要である。回収は最終地点ではないことを理解しておかなければならない。同じく念頭に置かなければならないのは、回収は元々の処分のコストを上回ることはないにしても、それと同程度はかかりそうだという事実と、そのコストを直接的に誰が負担するかにかかわらず、結局のところ、これらのコストを最終的に負担するのは（原子力エネルギーの消費者としてあるいは納税者として）一般公衆になることである。この観点から、処分場開発中に要する回収可能性のためのコストは、将来回収が決定された場合に発生するコストの節減と比較評価されなければならない。

回収可能性を実行するためのコストは、処分場の設計、処分対象の（回収対象の）廃棄物の量および廃棄物を回収する能力が必要な時間スケールによって変わってくる。特に、処分場の操業延長期間が廃棄物定置に要する時間スケールに比べて長くなった場合には、処分場に要する全費用が大きく増加する可能性がある。最後に、回収可能性のための措置は、設計において最初から考慮された場合に比べて、後になって行う方がコストが増加する可能性が高い。

4.3.3 制度的監視とモニタリング

閉鎖後に回収可能性を維持する必要性の一つとして、制度的監視を処分場あるいは処分場の一部へのアクセスが行われる期間より長く続けることに対応するということが挙げられる。このような必要性が生じるのは、一つには処分場が計画通りに操業されていることをさらに確認するためと、もう一つは、監視を必須の要素とする安全の考え方があるためといえる。この考え方は、安全性の確認を予測により示すだけでなく、継続した監視とモニタリングによっても示すというものである。この考え方によれば、閉鎖後の安全評価では監視とモニタリングがなくても安全であることを実証することが必要であるが、総合的な安全対策には、処分場の閉鎖後期間における制度的監視、モニタ

リング、そしておそらく回収可能性の計画が含まれることになる。

制度的管理は、プロジェクト終了後に廃棄物管理サイトの規制を維持したり情報を維持したりするため、また現世代および将来世代に危険性とリスクを知らせるために実施する対策、制度、準備により構成される。閉鎖後の廃棄物の回収に関する議論では、回収するとの決定の前に、既に実施されている制度的管理に関する考察が行われる可能性が高い。通常、管理は以下のように区分できる。

- 構造的な管理。これには、アクセスを規制するために建設された設備（例：フェンス、門、人工的な覆土）と物理的装置（例：危険性や制限を警告する標識とモニュメント）が含まれる。
- 非構造的な管理。これには、法律と行政による指導に依存する制度が含まれる（例：保安、予防保全、検査、植物緩衝ゾーン、物質へのラベル付与、物質取り扱いの改善、許認可や許可の取得、放射線安全の訓練、最良管理行為）。

これに代わる区分方法として、管理の物理的性質に基づくのではなく、行われる活動に基づく区分がある。

- 能動的な監視。これは、保障措置と保守の責任を果たすために数多くの人を配置することによるもの（例：サイトへのアクセスをモニターし、管理するための警備員、空域の制限、汚染物質の移動をモニターするための環境サンプリング、サイトの検査、保守）。
- 受動的な管理。将来世代にサイトの危険性に関する特性と場所について人手を掛けずに警告し、知らせるように設計されるもの（例：永久的なマーカーとモニュメント、土製の犬走りなどのバリア、公共の記録とアーカイブの保存、土地や資源の使用制限などの監視方法）。

将来的な回収の可能性に備えるための計画の立案には、将来の意思決定を支援する制度的監視の計画が含まれる。制度的監視を計画するときは、重要度別アプローチ、あるいはサイトの状況に合わせた管理を適用することで具体的なサイト要素（例えば、サイトの歴史、その場所あるいは地域の文化的特徴、利害関係者の意見など）を考慮することができ、そうすることで実際に適用する管理をサイトに固有の特徴に柔軟に対応させることができる。これらの有効性を確保するために、制度的監視の対策を時間的な変化に適応するように設計して、管理とその保守が将来も維持できるようにする必要がある。

制度的監視の方法である知識管理や記録の保存は制度的管理の重要な要素であり、閉鎖後の回収可能性を助けるものでもある。様々な要因によって記録が失われる恐れがある点は認識しておく必要がある。NEAの支援によるプロジェクトの中で、これらの課

題が理解されてきた [Ref.53]。近年、制度的管理の失敗につながる可能性があるものとして、制度の継続性が崩壊した例がある（例えば、ソ連の崩壊）。

制度的管理が最も重要視されているのは、偶発的な侵入の可能性を減らすことと、核不拡散の保障措置を支援することである。最終的には記録が喪失される可能性があるために、偶発的な侵入は通常セーフティケースで取り扱われるシナリオの一つになっている。回収可能性の措置が意図するのは、廃棄物を回収するための意図的な侵入を容易にし、偶発的な侵入の可能性を高めることではない。制度的管理は、この二つの役割を達成する際に機能すると思われる。

土地使用記録、アーカイブ、およびマーカーに依存する能動的な記録保持は、モニタリングに依存するものではないが、記録の保存は処分場に関する現在の情報を利用できるようにすることが求められている場合もある。その場合、そのような情報をどのように提供するかという難しい問題が生じる。閉鎖後の回収可能性を採用した処分プログラムでは、遠隔モニタリング技術の開発を継続的に支援する必要があるかもしれない。

制度的管理を選択する上では、コストが重要な要素となる。制度的管理のコストの見積りはサイトによって異なり、また、以下の要素によっても影響される；(i) 使用する制度的管理の種類、(ii) サイトの特性、(iii) 検査と保守の必要性および頻度、(iv) 制度的管理の有効性が必要とされる期間の長さ、(v) 他の政府機関（例：地元警察）との協力のレベル。モニタリングと監視の技術的、社会的価値の両方を勘案してバランスをとる必要がある。何をモニターし、どのようにモニタリングを行い、どれくらいの期間それ続けるのかを決定する必要があり、それらをどうするかによってコストが変わってくる。

制度的管理の厳格さは、関連する危険性に見合ったものにする必要がある。制度的管理は、多くの場合、その有効性と失敗の影響度に応じて優先順位がつけられる。このように、制度的管理で一番高い優先順位が付けられるものは、一次的な防護を提供する機能の管理に使用されるものであり、次は、一次防護が損傷した場合にバックアップとして防護するものである。制度的管理が失敗した場合の影響が小さいと予想される状況では、冗長な管理は最小限に抑えることができる。

最終的に、管理を交換、変更、あるいは終了することが必要になるかもしれない。制度的管理の変更や停止を行う際には、その正当な理由が認められたときにどのように実施するのかについて手順を決めておくべきである。手順の中では以下の点を明示すべきである。(i) 既存の制度的管理を変更したり、強化したりする必要がある、あるいは制度

的管理がもはや必要でなく、停止することができることと決定した根拠、(ii)どのように変更あるいは強化し、これらの変更が人の健康と環境の保護にどのように役立つのか。

モニタリング

モニタリングは、閉鎖前、処分場を開発している間に行われる段階的意思決定を支援する上で重要であるだけでなく、閉鎖後にも重要である。このテーマについては、ECが財政支援したFP7プロジェクト、「MoDeRn」(Monitoring Development for safe Repository operation and staged closure: 安全な処分場の操業および段階的閉鎖のためのモニタリング開発[Ref.51])で現在、検討が進められている。このプロジェクトの内容は、モニタリングに対してプログラム上および社会的に何を期待し、どのような付加価値が得られるかを検討することと、技術的な実現可能性と限界を検討することである。閉鎖前においては、モニタリングは工学的開発プロセスで通常に行われるものであり、また、期待される部分でもある。その際、処分プログラムに可逆性と回収可能性を取り入れているかどうかは関係ない。どのようなプロジェクトでも期待されているモニタリングに加えて、モニタリングは処分場に対する性能確認要件を満たすためにも行われる。閉鎖前のモニタリングから得られる情報に対する公共機関の関心は非常に高い。そのような情報には、原位置のデータに基づいた透明性と追跡性のある情報を得たいという一般公衆の関心から来るものに加えて、性能確認への直接的な関心から来る情報と「直感的な認識に関わる」関心から来るもの(例：処分場および地表環境での放射性核種濃度のモニタリング)がある。

閉鎖後のセーフティケースは制度的管理なしでも安全が確保されることを示さなければならないので、閉鎖後のモニタリングは閉鎖後の安全評価の一部ではない。しかし、閉鎖後のモニタリングは、処分場システムおよび計画への信頼、並びに信頼感醸成の重要な要素といえる。公衆のモニタリングへの関心は、閉鎖後の段階でも関連あるものとして継続する可能性がある。モニタリングと制度的管理なしでも安全であることを示すセーフティケースと、閉鎖後にモニタリングと制度的管理を止めるか、あるいはそれらを一定の期間または無期限で継続するかに関して社会が意思決定することとの違いについて伝えることは重要である。

閉鎖前のモニタリングによって得られるデータは実に多様であり、その技術開発は継続的に実施される。モニタリング技術に関する研究開発により計測機器の頑健性と寿命が向上し、重要なパラメータを測定する機能が向上する可能性がある。このような取り組みは、可逆性が要求されているかどうかにかかわらず、全ての処分プログラムにおいて

行われることが期待される。

もし閉鎖後の回収可能性が要件として考えられているのであれば、回収すべきか否かの意思決定を支援するために必要な情報がモニタリングによりどれだけ得られるかという重要な課題があり、それに答えなければならない。環境モニタリングは、安全性の受容と信頼のために必要となる可能性が高いが、現実的にモニタリングが実施される期間に、環境の遠隔モニタリングによって深地層処分場の変遷に関する有益な情報が得られる可能性は少ない。

閉鎖後のモニタリングと制度的監視は、廃棄物および安全性に対する責任とも関係している。これに関しては、通常、規制当局の責任は施設が許認可の対象でなくなった時点で（あるいは許認可を得る必要がなくなった時点で）終了することに留意する必要がある。このタイミングは、多くの場合、閉鎖のタイミングである。処分場閉鎖後の責任が正式に、あるいは法的に規定されている国がある（例：スペインでは、法的には、一旦閉鎖された処分場の責任は政府が持つ）一方で、この点については未定のままの国もある。

モニタリングと制度的監視は、継続的に開発が行われることが期待されるテーマである。これらのテーマについては、社会的側面が強い。

4.4 可逆性と回収可能性を促進する、あるいは難しくする技術要因

地層処分の目的は、放射性廃棄物の永続的に安全な長期的管理のための解決策を提供することである。処分場は安全が将来世代の回収能力に依存しないように設計され、また、「廃棄物」と宣言されているものだけが処分される、ということが広く認識されている。

表 4.7 は、放射性廃棄物の地層処分において、回収可能性のメリットとデメリットをまとめたものである。ここで示されている回収可能性のメリットとデメリットは包括的なものではない。各メリットやデメリットが当てはまるかどうかは処分場概念によって異なる。廃棄物管理プログラムの具体的な課題が異なるため、それらの経済的、技術的、倫理的、あるいは社会政策的性質も、処分場概念によって異なる。メリットとデメリットは、回収可能性の措置を採用する前に、処分戦略を構築している間に評価しなければならない。

表 4.7 処分戦略の構築中に回収可能性の措置を採用するメリットとデメリット

メリット	デメリット
操業前段階について	
<ul style="list-style-type: none"> 回収可能性を持った一部の処分場の概念では、廃棄物を回収する機能が公衆の受容性を得るために大きな役割を果たしている場合がある。このように廃棄物の回収可能性は、措置や決定が再考され、後戻りもできるようになっているという点に関して良い側面とみなされている。回収可能性は、管理の継続を保証する手段であり、安全性の理解と計画されている処分プログラムの受容性とに寄与するとみなすことができる。 	<ul style="list-style-type: none"> 回収可能性は、処分場の立地にとって、また公衆および政治的受容性において重要な要素ではあるが、廃棄物回収の対策を講じることにより、さらに遅れが増し、追加のコストが生じる場合がある。また、保障措置上および環境安全上の配慮を評価し、公衆の受容性のメリットとバランスをとらなければならない。放射性廃棄物の回収可能性を高めることで処分場の長期環境安全を損なってはならないし、長期安全性の保証を過度に遅らせてはならない。状況によっては、回収可能性を安全にとって有害とみなす利害関係者もいるかもしれない。
操業段階について	
<ul style="list-style-type: none"> 操業段階では、廃棄物を回収できることは、廃棄物の定置における予防措置を可能にすることができる。廃棄物の回収可能性があると、処分場システムの性能が満足できない場合、あるいは間違った意思決定を行ったと考えられる場合に、是正措置をとることができる。その上、廃棄物回収の措置がとられると段階的意思決定プロセスに技術的な柔軟性を持たせることができる。このことは複雑な意思決定をする際に重要である。廃棄物の回収可能性は、将来世代が廃棄物の管理方法を定めることができるという点で良い側面を持つ。特に、公衆の間では、科学の進展が使用済燃料中のプルトニウムやウランのような資源として認識されているものを将来利用する可能性を高めるかもしれないと考える人が多い。 	<ul style="list-style-type: none"> 逆に、使用済燃料中にプルトニウムが存在するために保障措置を考慮する際、廃棄物の回収可能性は負の側面となる。それは、核兵器材料を求めて処分場を採掘することが容易になるためである。処分場が廃棄物の回収を容易にするために操業期間を延長している状況では、閉鎖のタイミングに関して不確実性があるために、セーフティケースの作成を難しくするかもしれない。人工バリアが劣化することにより長期安全性に影響を受けるかもしれない。操業延長に関連したコストと作業者のリスクも増加する。放射性廃棄物管理の倫理的な配慮において、長期的な監視の必要があるということは将来世代にかけられる負担が追加されることになる。不安定な社会経済情勢と政治情勢（これらは多くの場合、予測不能）によって閉鎖の前に施設が放棄されてしまうかもしれない。これは長期安全性の点で負の意味合いがある。
操業後の段階について	
<ul style="list-style-type: none"> 地層処分場は、例えば長期間閉塞されているとしても、大量のプルトニウムと銅や鉄といった他の潜在的に価値のある元素の資源となり得る。科学の進展と社会ニーズの変化によって、エネルギーの生成や他の鉱物資源として使用済燃料を回収する動機が生じるかもしれない。 	<ul style="list-style-type: none"> これらの資源に潜在的な用途があるとしても、廃棄物を発生させた現世代は、放射性廃棄物の安全な管理を確保し、将来世代への負担を制限し、放射性核種が環境に入ることによる深刻な影響がないようにしなければならない。

5. R&R プロジェクト作業グループから見た各国の状態および関連する考え方

R&R プロジェクトでは、国別の情報を詳細に取りまとめた[Ref.3]。その結果から、本報告書の最初の部分での議論で述べたように、可逆性と回収可能性の基礎となっている原理の多くにはかなりの共通点がある一方で、これらの原理が処分プログラムで実行されているかどうか、また実行されている場合にはどのように実行されるのかについては一致するところが少ないことが分かる。処分場の設計に回収可能性の措置を含めるかどうかについては潜在的なメリットと起こり得るデメリットを秤にかけなければならない。これらの決定は、具体的な処分プログラムの状況に応じて決める必要があり、全ての処分場において一般化して行うことはできない。

5.1 各国の要件の現状

可逆性と回収可能性の要件を NEA 加盟国について簡単にまとめたのがボックス 5 である。このまとめは、本プロジェクトの開始時点に NEA 加盟国に配布した質問状への回答に基づいて作成したものである[Ref.3]。

一部の国、特に、フランス、スイス、米国では、処分場の操業期間中は回収可能性を維持することが法律で要求されている。ドイツでは、そのことが「発熱性放射性廃棄物の最終処分に対する安全要件」で定められた要件となっている[Ref.61]。また、別の国（例：カナダと日本）では、回収可能性は法律では要求されていないが、国の政策として実施期間中は回収可能性が求められている。フィンランドでは、回収可能性は法律でも政府の原則決定でも明示的には要求されていない。スウェーデンでは、回収可能性は法律でも政府からも明示的には要求されていないが、事業者は設計にそれを組み込んでおり、操業段階および操業後段階に適用している。カナダでは、事業者が回収可能性を設計にも組み込んでおり、閉鎖前および閉鎖後の段階に適用されると考えられる。他のほとんどの国では、可逆性と回収可能性は国内の議論で現時点では話題になっていないものの、専門家の間では重要になる可能性のある課題として認識されている。

比較的進んだプログラムを持った国の間でも、長期および短期の安全性を確保しつつ、選択の自由にどのように対処するかについては技術面での相違がある。例えば、定置が完了したら個々の坑道を直ちに埋め戻すことになっている処分プログラムがあれば、全ての坑道を開放していて安全である間は開放しておくことになっている処分プログラムもある。これらの相違が回収可能性に影響している。同様に、閉鎖前のモニタリングの設計と程度も処分プログラムによって異なっている。

見出された相違の多くは、国により処分プログラム進展の歴史に違いがあることに根ざしたものである。この違いがプロセスの様々な段階で異なる課題を浮かび上がらせたのである。これがまた、要件の違いとこれらの要件の表現方法の相違になっている。国によって社会的、文化的、法的環境が異なることもまた、可逆性と回収可能性に対する考え方の相違に繋がっている可能性がある。

ボックス 5 : 各国の可逆性と回収可能性の要件[Ref.3]

オーストリア：回答なし

ベルギー：回収可能性に対する法的な要件はない。現在の政策では、回収を妨げる措置をとることは避けることとなっているが、回収可能性を要求しているわけではない。回収可能性の措置は長期安全性に悪影響を及ぼしてはならない。

カナダ：法的な要件はない。しかし、使用済燃料の回収可能性は承認された適応性のある段階的管理アプローチの基本的な特性である。

チェコ共和国：回収可能性に対する法的な要件はない。可逆性の概念は、段階的処分場開発アプローチに必然的に含まれる。その間、各意思決定段階で、以降の段階について幾つかのオプションが議論されることになる。

フィンランド：キャニスターの回収可能性は法的な要件となっている。KBS-3 設計概念は特別な対策をとらなくてもこの要件に合致していると考えられている。

フランス：可逆性は、少なくとも最初の 100 年間について、法律で求められている。可逆性を実施する具体的な要件は、今後作成されることになっている。

ドイツ：現在は、回収可能性が操業段階での要件となっている。

ハンガリー：回収可能性が閉鎖前段階にのみ要求されている。

日本：回収可能性は要件にはなっていないが、現在作成中の安全基準では閉鎖前の回収可能性が義務化される可能性が高い。

韓国：回収可能性に対する要件は制定されていない。現時点では、また、現行の設計では、処分坑道を埋め戻す前であれば処分用キャニスターを処分孔に定置している間、可逆性は可能と考えられている。

スペイン：HLW の回収可能性については法的な要件はないが、回収可能性の措置は許認可の間、国内の LLW 処分場の設計に組み込まれている。

スウェーデン：回収可能性に対する法的な要件はない。回収可能性の措置は、例え採用されたとしても、安全性を損なってはならない。

スイス：回収可能性はスイスの法律で規定されている。廃棄物の回収は、処分場を閉鎖

するまでは「多大な労力をかけずに」できるべきである。閉鎖の前には長期間のモニタリングが行われる。

英国（スコットランドを除く）：独立した規制機関と地方自治体との議論で、後日に意思決定することができる。計画立案、設計、建設は回収可能性のオプションを除外した形で行うことができる。

スコットランド：深地層処分の計画はない。スコットランドで発生する高放射能の廃棄物は、廃棄物のモニタリングができ、回収できるように浅地中の施設で管理することが要求されている。

米国：ユッカマウンテンに対しては、閉鎖前の回収可能性が要求されている。この法律は、建設承認プロセスの一環で、DOE が回収可能性を維持する期間を適切に規定し、それを NRC が承認すると定めている。WIPP については、EPA から出された適合認証には、要求があれば処分システムに定置されたどの廃棄物においても、できるだけ早く、また、実際にできる範囲で回収することを DOE に求める条件が含まれている。

回収そのものの話になると、回収するかどうかに関する決定に至る重要な要因の多くは、状況がどの程度、危機的な状態にあるのかに依存する。例えば、課題や要件の多くは、回収した物質の使用目的または処分方法によって、あるいは提案されている回収をどう動機付けるのかによっても変わってくる。この点から、回収可能性に影響する一部の要因（すなわち、回収を促進するまたは回収できるようにすることを目的としたプログラム措置）が想定されている具体的な回収シナリオによっても変わってくることもありうる。様々な技術的および社会的理由から、回収可能性に関連した決定の結果も変わってくる可能性がある。

5.2 可逆性および回収可能性に関する 2010 年国際会議と意見交換会

2010 年 12 月、NEA は、「地層処分場を計画する際の可逆性と回収可能性に関する国際会議・意見交換会」を開催した [Ref.4]。この会議には、14 カ国の OECD 加盟国と二つの国際機関から、政策立案者、政治リーダー、国際組織、地方の利害関係者、技術および社会科学の専門家が参加した。参加者は意見交換において、各国の廃棄物管理プログラムの共通点、相違点を調査し、また、様々な利害関係者が何を期待しているかについても議論を行った。会議は、Andra の主催でフランスのランスで開催され、フランス議会の議員である Claude Birraux 氏が議長を務めた。会議は国際原子力機関、欧州委員会エネルギー理事会、および放射性物質環境安全国際委員会（EDRAM）の共催で行われた。

この国際会議は、このテーマについて 10 年ぶりに開催された会議であり、このような幅広い利害関係者の間での意見交換を提唱した初めての会議であった。この会議で明らかになった重要な点を挙げると以下の通りである。

- 放射性廃棄物の地層処分場の開発には何十年もの時間がかかり、科学と技術の進展、変化する社会の要求、計画遂行の誤りの修復に門戸を開いておくべきである。これに関して、実際に可逆性のある技術を選定することは賢明なアプローチである。廃棄物の定置の期間、あるいは処分場を閉鎖した後の一定の期間において、廃棄物の回収が可能であることを示すことについて、多くの国が関心を持っている。
- 処分場の閉鎖前あるいは閉鎖後の回収に関する研究計画は国によって異なるが、NEA R&R グループが開発した R スケール（付録を参照）は意見交換に役に立つツールであるといえる。このスケールは、たとえ地層処分が本質的に可逆性のある技術であったとしても、処分場計画実施中の様々な段階での回収のしやすさとは、程度の差の問題でしかないことを示している。
- 意思決定の可逆性や廃棄物の回収可能性には、社会の強い関心があり、このことは色々な背景で作られた法律の規定にも表れている。（例えば、フランスでは、可逆性が、段階的廃棄物管理プロセスで規定された現在の技術的、社会的議論の中心となっている。）しかし、R&R の措置が長期安全性に干渉してはならないということには普遍的な合意がある。R&R は受動的な安全性に依存した最終的な管理の解決策の価値を高めるだけである。
- 意思決定の可逆性と廃棄物の回収可能性は、安全性の問題や社会的な問題と切り離して考えることのできない、中身の濃い複雑なテーマである。検討と意見交換を重ねて、特に、用語と、「処分」、「貯蔵」、「廃棄物」、および「閉鎖」といった重要な言葉の意味を共有することが必要である。しかし、一つで全てに通じるというものはないので、各概念を各国の状況に適応させることが必要である。

会議での議論は、R&R プロジェクトの作業グループが考慮に入れて本報告書の結果に反映されている。この会議に関し作業グループが到達した結論の一部をボックス 6 に挙げた。

ボックス6：ランス会議に関し作業グループが到達した結論

会議には多様な参加者が集まった。この会議は、この問題についての考え方を意見交換するのに大きな価値があった。幅広い議論を持つことで、作業グループの中に新しい理解がもたらされ、グループの成果をより広い聴衆に伝えるのに役立った。

会議は、事業者以外のグループが可逆性と回収可能性に関する議論にこれまで以上に大きく関与する良い機会となった。参加したグループは、規制当局、社会科学の専門家、市民団体の代表者、利害関係者グループなどである。

会議での議論は、可逆性の重要性を再度、強調するものだった。会議での議論を通して得られた成果は、可逆性とは意思決定そのものを元に戻すことではなく、むしろ処分プログラムの全ての段階を通じて意思決定への継続した参加を確保することである、と明確に認識されたことである。

会議では社会科学の経験を処分場開発、研究開発、意思決定プロセスに組み込むことの重要性も浮かび上がらせた。社会科学には多様性があるということ、また、非常に様々な分野が貢献できることに留意する必要がある。経済学や政治科学の分野からのこの技術的議論への貢献があると（これまではその貢献が比較的少なかった）、このテーマについて重要な新しい視点が得られるかもしれない。

会議での議論では、事業関係者と住民との間で用語に違いがあることが再度、明らかになった。関係する多様な関係グループの間での意見交換を促進するためには、たとえ用語の標準化ができなくても、共通の理解を進めることが重要である。

議論ではまた、これらのテーマについて意見交換することによって、可逆性、回収可能性、および実際の回収のプロセスを明確に区別することの重要性が明らかになった。

5.3 R&R プロジェクト作業グループ内で到達した主な結論と集約意見

各国の考え方は様々であるが、重要な一致点がいくつか R&R プロジェクトの作業グループで明らかとなった。

一般的な合意が得られているのは、長期時間軸において今日の社会制度が期待できなくなっても、継続した保守やモニタリングなしに、有害な廃棄物から将来世代の健康と安全を防護するように処分しなければならない、ということである。また、廃棄物を最終処分場に定置しなければならないのは、処分する物質が実際に廃棄物であり、予測可能な近い将来に使用される資源はでないことを確認する政治的決定があった場合だけであることにも一般的合意がある。その物質をいつか資源として取り出す明確な意思がある場合には、貯蔵するのが適切なオプションである。これは、処分に進む前に決定すべき各国の政治の問題である。

人と環境を防護するための安全規則は、処分場開発を進める前と進めている間、遵守されなければならない。回収可能性の措置が処分プログラムの一つの特徴として存在することを、セーフティケースが不十分なまま処分プロジェクトを進める言い訳としてはならない。

人と環境を防護するための安全規則を能動的管理なしで満たすという要件は、「使用済燃料管理及び放射性廃棄物管理の安全に関する条約（放射性廃棄物等安全条約）」に加盟しているいずれの国も満たさなければならない。これには、大きな原子力発電事業を有する全ての国が含まれる。

処分場の建設開始許可が出る以前から、処分プログラムのすべての段階において、利害関係者と協議を行わなければならないことについても合意がある。公衆の参加は、民主的な意思決定プロセスの中で欠くことのできない要素であり、さらに、国際条約、特にオーフス条約（環境に関する、情報へのアクセス、意思決定における市民参加、司法へのアクセスに関する条約）[Ref.62]で求められていることでもある。

操業期間中に廃棄物に再びアクセスして取り出す機能や可能性は、処分場の操業安全の考え方の一部といえる。回収可能性のための措置は、例えば、操業中の予想外の状況を管理するための柔軟性を高める可能性がある。操業上の理由で廃棄物を回収する行為は、必ずしも施設の安全に疑問を生じさせるような行為ではなく、実際は、安全性を高めるものといえる。操業期間中は、廃棄物の回収が容器の保守と補修のために行われる可能性があり、あるいは廃棄物の特性をもっとよく知るため、あるいは処理をし直してそれを処分場に再び定置することを目的としていることもあり得る。

回収可能性は、長期安全性の概念の一部ではないが、そうであっても、標準設計が適切に施設に反映されているようにすること、改良が操業期間中に効果を発揮できるようにすることを支援することによって、長期安全性の確保に貢献するといえる。

回収可能性は、廃棄物の最終的な回収が必要となって、回収が行われる場合に、その技術的な根拠を与えるのにも役立つ。

可逆性と回収可能性に対する社会的圧力は、具体的に回収の用意をすることを特に求めるというよりはむしろ、可逆性のない段階を避け、公衆参加型の意思決定プロセスを継続することを積極的に維持しようとする方向性を有している、という意見があった。さらに、そのような社会的圧力に対する動機付けとなっているのは、資源にアクセスすることと処分場の状態の直接的なモニタリングを継続する機能を持つことの他に、処分

技術のことをよく知らない（あるいは、成熟していないと理解している）こと、および監視手段や能動的管理手段のない純粋な受動的安全性の概念への不安、並びに、将来における様々な行為を妨げるかもしれない意思決定を現時点で行うことを避けたいという要望が含まれる。これらの動機の数も時間が経過し、プログラムの信頼性のレベルが高まるに従っていずれ減ってくるかもしれない。また、長期間の管理も受動的安全性／固有安全性を受け入れる親しみやすさや意欲を高めるかもしれない。この意味で、回収可能性の措置を受け入れることは、処分場プロジェクトがそれ以上進まず、廃棄物が長期間にわたって防護できない状態で置いておかれるというリスクを含め、不確実性に関連したリスクを軽減するとみなすことができる。

場所と状況が異なると考え方もまた変わるかもしれない。スウェーデンでは、例えば、様々な関係者（非政府組織）が回収可能性について望ましいかどうか対立する意見を持っている。将来の選択の自由度が高まるので、回収はできるだけ容易にしておくべきという意見があれば、一方で、安全のため、すなわち、将来世代が廃棄物に接触する可能性をできるだけ抑制するため、回収はできるだけ難しくすべきであるという意見もある。

回収可能性をとるか、安全をとるかの問題がある場合、一般には、まず安全を優先させるということに合意がある。非常に長期的にみると、処分場を必要以上に長期間、開放したままにしておくことで回収可能性を高めようとする、安全性を低下させる可能性がある（例：適切に閉塞し、閉鎖したときの状態が安全であるように設計された施設は、閉塞・閉鎖されずに放棄される場合において安全ではないといえる。そして、長期間、処分場を開放したままにしておく、これが発生するリスクを高めることになる。）

6. 結論

高レベル放射性廃棄物の最終管理の政策として最も広く採用されているのは、深地層処分場に定置することである。深地層処分場は、幅広い事象に対して健全であるようにそして、廃棄物に含まれている放射性物質を人や生物圏に有害となる量、放出するのを防ぐように設計される。処分場の最終的な許認可は、原則として、人と環境を長期的な防護を保証するために、能動的な監視や介入が必要ないことを明確に判断した上で出される。

処分プロジェクトは、一連の連続した段階が少しずつ進められるプロセスを経て実施され、恐らく完了するには数十年の時間を要するとの考え方が増えてきた。将来世代を受動的に防護するという元々の概念に加えて、このような考え方の変化には、後続世代が意思決定プロセスに参加するという想定と、その選択を実行する彼らの能力を可能な限り多く維持する必要性とが含まれている。このような考え方の変化の結果として、意思決定の可逆性と廃棄物の回収可能性が、多くの国にとって取り組むべき、また、精緻化すべき重要な概念として注目されるようになった。選択を実行する可能性を後世代に残すという原則は、文献で様々に認められるが、この原則は、能動的な安全性から受動的な安全性に突然移行するのではなく、次第に移行することを意味していると解釈できる。実際問題として、可逆性と回収可能性（R&R）は、計画遂行の間には、優先度や目的が変化することがあり、また、ミスは起こり得るという事実を認識させる。このようにR&Rは、熟慮の上で、廃棄物の管理が人間の手から離れるプロセスを支援するものである。

放射性廃棄物を最終処分場に集め、閉じ込めるという政策は、たとえ大きな労力と費用がかかろうとも、事実上、廃棄物は非常に長い期間（1000年以上）にわたって廃棄物を取り出しうる状態にすることでもある。回収を行いやすくすることを目的とした措置が処分場の設計に取り込まれている場合であっても、すなわち、廃棄物の回収可能性が高められている場合であっても、そのような措置は長期安全性を実証するためにとられるのではなく、また、そのような措置はその廃棄物を将来回収することを明確に意図しているわけでもない。意図していることは、将来社会が何らかの理由で廃棄物を回収することを決定するような場合に、その回収を不必要に難しくすることを避けることだけである。

本報告書で使用されているように、可逆性とは、原則として、処分システムを少しずつ実現していく間に行われる決定を元に戻す、あるいは再検討できるようにすることを

意味する。可逆性は、処分場開発の最初から最終的な閉鎖（すなわち、処分場への全てのアクセスを閉じることについて規制当局の最終的な承認を得ることによって廃棄物を回収する必要性が残っていないことが確認されるまでの期間）までの処分場開発のプロセス全体に影響する。閉鎖前の処分場計画を遂行している間においては、可逆性は柔軟性を持たせる手段とみなすことができる。処分場開発に可逆性のあるアプローチをとることを、処分場の最終的な安全性に自信がないことを意味していると受け取ってはならない。プログラムが進行している期間における、利用できるオプションと設計の代替案を最適化する道筋と考えるべきである。意思決定の可逆性は、意思決定プロセスへの信頼性にも貢献する可能性がある。場合によっては、これらの意思決定の受け入れの前提条件になることもある。しかし、元に戻すことは気まぐれで行ってはならないし、考え抜かれた、透明性のあるプロセスの一部とすべきである。

可逆性と回収可能性を国内であるいは国際的に議論することが難しい理由の一つは、関連する基本的な用語、例えば、処分（Disposal）という言葉が、国内の利害関係者が異なった理解をしていたり、国によって違った使い方をしていたりすることである。各国のプログラムの当初から、何を廃棄物（回収の意図がない）と考え、何を潜在的な資源（将来使用されるとの予測に基づいて貯蔵される）と考えるかを明確にすることが重要である。明確化のためには、「処分場」を最終的な施設とし、そこにあるものを廃棄物とすることが重要である。回収可能性が基本政策事項として選択されておらず、最終的なものであると明確に指定されていない場合でも、回収可能性は閉鎖前の処分場が貯蔵施設と最終処分施設のハイブリッドと見なされる限りにおいては必要である、と一部では考えられている。

社会政策問題

意思決定と意思決定プロセスは、かつて処分に関する議論で支配的だった科学分野と工学分野からかけ離れた研究および能力の分野の助けが必要である。これらの複雑なプロジェクトの意思決定プロセスに関与するためには、社会科学の幾つかの分野の専門知識も持ち込む必要があることがますます明らかになっている。

それらは、選択の自由ならびにその選択の安全性との関係について言及されるため、R&R の概念では、社会的配慮と技術的配慮を併せて考慮する必要がある。また、技術者以外に公衆と社会全般が関わっているときには、「処分」に関する議論で中心的な問題となる。そのため、これらのテーマへの関心が継続される傾向にある。可逆性と回収可能性を求める社会的な圧力は、具体的に回収の用意をするということを特に求めるといよりはむしろ、可逆性のない段階を避け、公衆参加型の意思決定プロセスを継続す

ることを積極的に維持しようとする方向性を有しているのかもしれない。そのような社会的圧力の動機付けとなっているのは、将来有用となるかもしれない物質にアクセスする能力と処分場の状態を直接的なモニタリングを継続する機能を持つことの他に、処分技術のことをよく知らない（あるいは、成熟していないと理解している）こと、および監視手段や能動的管理手段のない純粋な受動的安全性の概念への不安、並びに、将来における様々な行為を妨げるかもしれない意思決定を現時点で行うことを避けたいという要望が含まれる。これらの動機の一部は時間が経過し、プログラムの信頼性のレベルが高まるに従って減ってくる、あるいは変わってくるかもしれない。また、長期間の管理によって、受動的安全性／固有安全性を進んで受け入れようとする意思が助長されるかもしれない。この意味で、可逆性と回収可能性の措置を国のプログラムに取り入れることは、リスクの軽減、すなわち、処分場プロジェクトがそれ以上進まず、廃棄物が長期間にわたって防護できない状態で置いておかれるというリスクを軽減するとみなすことができる。

将来世代にオプションを残すという基本理念に対応するために可逆性と回収可能性の政策を検討する際、二つの関連する疑問が生じる：「オプションはどのようにして残すのか」と「これらのオプションを残す期間はどのくらいの長さとするのが合理的ないし望ましいのか」である。これらの疑問に対する答えは、技術的、政治的、社会的要因により変わってくるものであり、そのために国によって異なる。考慮する必要のある得失を挙げると以下の通りである。

- 受容性が向上し、受容性の欠如によりプロジェクトが失敗するリスクが低下する一方、回収可能性を取り入れた結果として遅延する、コストがかかる、処分が不十分と認識されるリスクがある。
- 作業上の欠陥を修正することができる能力がある一方、安全性に影響する可能性があり、閉鎖や埋戻しを遅らせることによるコストが増加する。
- 戦略を適宜変更することができる一方、継続的な管理を積極的に果たす必要性が増加する
- 容器と地下構造物の頑健性を高めるコストが増加する一方、安全性や回収可能性が高まる。
- 回収可能性を支援するための研究開発コストが増加し、問題があると認識することのリスクが高まる一方、知識が向上する。
- 保障措置の難しさが高まる一方、回収可能性の恩恵を享受できる。
- 将来のある時点で有用となるかもしれない物質にアクセスできる一方、直接監視とは異なる方法で安全を確保する必要がある。

処分する物質の性質（エネルギー資源として既知のものを含む使用済燃料か、HLWか）や地質環境（放射性物質が環境に到達する可能性とその影響ならびに回収の容易さに影響）のような技術的な要因の他に、社会的な要因もあり、これらが意思決定に大きく影響する（例：社会の考え方が選択の自由に向いているのか、安全性の確保に向いているのか、将来の技術開発への楽観の程度など）に大きく影響する社会的要因もある。これらの競合する要素の間のどこでバランスをとるかは国によって異なり、また同じ国でも時期によって異なると予想することは合理性がある。そのため、可逆性と回収可能性へのアプローチが国によって異なると考えられる。

技術的な問題と安全問題

回収可能性の技術的課題についてみると、閉鎖の前でも後でも廃棄物処分のセーフティケースに必要な要素として回収可能性を要求しているプログラムを持っている国はどこにもない。回収可能性について述べている国のプログラムは、三つの理由を挙げている：(a)将来に対する謙虚な態度、(b)安全に対する保証を付加する、(c)廃棄物を定置した瞬間から「後戻りのできない」決定をしてそれに縛られるのを避けたいという公衆と政治リーダーの欲求に留意。これらのプログラムに対する規制は、回収を実際に実証することを求めているわけではない。これらは、せいぜい、回収しようと思えばできる証拠を示すことを求めているだけである。しかし、規制とは別に、処分場に処分された容器を効率的に取り出す可能性を実験的に確認する傾向がある。それは、そのような確認が回収可能性を確保するとの約束の信頼性に貢献するためである。複数の試験が計画され、成功裏に行われており、R&Rは幾つかの国で進められている。

廃棄物回収の可能性を高める手段が存在する。例えば、耐久性の高い容器と廃棄物を使用することによって、あるいは、埋戻し材の定置や坑道あるいは処分場全体を閉塞する前の観測期間をもっと長く設定することによって、回収可能性を高める方法である。しかし、検討すべき微妙なバランスがある。すなわち、回収可能性を高めることが、安全性および／あるいは核物質を継続して防護することを継続的に保証する能力を、現在および将来の状況に対して、損うのか、損なわないのかである。耐久性のある容器は高価になり、施設を開放したままにしておく、あるいは保障措置と核物質防護対策を強化することはコストの上昇を意味することから、コストも一つの要因である。一方、廃棄物を回収する能力が向上することで、最終的な安全な状態に近づけることを保証するとみなすことができる。この場合には、操業段階で問題を補正するための介入が可能であり、閉鎖後では、必要性が生じた場合、あるいは安全以外の理由で廃棄物にアクセスすることが決定された場合に、より安全に廃棄物に到達できる。

回収可能性を未完成のプログラムを実行する言い逃れとして使用することに関心を持っているものは誰もいない。例え部分的な閉鎖であっても、閉鎖された後に廃棄物を回収するという決定が大きな取組み事項であることを理解しなければならない。回収はコストの掛かるものであり、安全上の問題も生じさせると考えられる。回収のコストはシステムが最終的な形状に近づくにつれて次第に増加する可能性が高い。将来の基準が現在と同様のものであれば、その基準を意思決定で想定しなければならないので、回収は規制を受ける活動になると考えられる。廃棄物を取り出すことに対して規制の承認を得るには、回収した廃棄物を安全に受け入れ、管理する施設が存在することが必要になる。回収可能性を最終処分場を実現する際の特性として明確に宣言している国のプログラムでは、その最終的な目標は、将来の回収を容易にすることでも、コストが掛からないようにすることでもない。単に、回収を行う意思を持ち、また、行う能力のある将来社会を想定して、回収が実現可能なようにする、すなわち、回収を不当に難しくしないことである。

回収可能性が処分プログラムの前提条件となっている場合には、処分場の許可には決められた期間、例えば、定置段階や閉鎖前の段階に適用される回収可能性の条件を含めることができる。定置段階において個々のパッケージを操業上の理由から回収することは、多くの場合、操業のあり方として優れていると考えられており、基本プログラムの一部として資金確保されることになるであろう。別の理由で処分した廃棄物の一部あるいは全部を回収することは、一般に、新しい活動として取り扱われ、新しい許可が必要となり、回収が決定されたときにしか資金は用意されないであろう。

操業段階では、処分場の一部の埋戻し、閉塞が行われ、別の部分はまだ開放されていない場合がある。処分場でまだ開放されている部分については、操業上のセーフティケースは、例えば、計画遂行中に生じる問題の是正ができるようにするために、回収可能性に依存する場合がある。しかし、処分場の閉鎖した部分のセーフティケースは、操業後段階のセーフティケースのように、処分場自体で安全を確保できなければならない。すなわち、安全の確保を回収可能性に依存することなく確保できなければならない。実際、定置段階では、処分場概念あるいはその実現に深刻な問題がない限り、回収は減多に起こることのない事象であり、起こるとしても少数の容器に対してだけであり、それも、操業上の理由からしか起こらない可能性が高い。定置した後に回収が行われる可能性はさらに低いと考えられる。

長期的なセーフティケースは、回収可能性がなくても処分場が成立するものでなければならないが、具体的な操業後の制度的監視措置、例えば、モニタリング、記録や記録保存などを行うことは、決定しても良い。もし決定した場合は、これらは閉鎖後の回収

に関する意思決定に、また、将来世代に提供される選択の自由に貢献できる。

全体的な所見

NEA の R&R プロジェクトは、可逆性と回収可能性に関連した問題の多くに取り組み、それを解決してきたが、それをこのテーマに関する最終的な解決策と考えることはできない。本プロジェクトの終わりに当たって、これらのテーマおよび関連するテーマの検討が今後も継続することは明らかである。将来の議論がどこに導かれるのかを憶測することはリスクが高いが、作業グループ会合と 2010 年ランス国際会議・意見交換会の間に議論したテーマを見てみると、多くの可能性が示唆される。今後の議論の見通しとして挙げられるのは、以下の通りである：政治科学や、決定科学のような分野からの専門知識の助けを得た意思決定についての継続的な検討と、このテーマについてのより具体的な議論への動き；コストについてもっと具体的な、恐らく、経済学（例えば、”リアルオプション理論”）の論理からの情報を入れた検討；規制当局と意思決定者の従来より大きな関与；議論に対する市民社会の利害関係者のより直接的な参加；回収可能性と「グリーン」指向の社会的傾向（参加型の意思決定、更新とリサイクルの強調）との関係についての更なる検討；処分プログラムにふさわしい管理および統治文化に関する研究；可逆性と回収可能性が処分システムの最適化と処分場の変遷に関係しているかどうか、またどのように関係するかを継続的研究；回収可能性と保障措置および核物質防護の要件との関係についての更なる研究。

可逆性と回収可能性について文献を調べて、これらの概念が各国の廃棄物管理プログラムとの関連でどのように議論され、導入されたかをよく考えた上での結論として、各国は、これらの概念に関する考え方を明確にすべきであるということが出来る。また、意思決定の可逆性と廃棄物の回収可能性は、この概念の限界を理解していれば、深地層処分プログラムにとってメリットのある特性となりうるというのが、現在の支配的な意見であるとの結論にも達している。多くの国のプログラムの考え方は、技術的観点から、処分場の計画遂行に柔軟性を持たせることは一つの管理手法として認知されており、プロセスを最適化する一つ的手段である、というものである。可逆性には、この柔軟性に大きく寄与できる可能性がある。

可逆性と回収可能性は、処分場の責任ある開発に貢献できる手段であり、また、よく考えられ調整されたプロセスをとることによって、最終的な安全目標を達成するのに役立つことができる手段である。工学レベルでは、これらは処分する廃棄物の最終配置を達成するのに役立つことができるが、長期安全性は回収が可能なることに左右されるわけではない。プロジェクトレベルでは、回収可能性は、特定の設計内容を検証して、

それらが万一の場合のオプションを不必要に阻害したり、妨げたりしないようにする、思慮深いアプローチに関連付けられている可能性がある。政治レベルでは、回収可能性は、主要な意思決定が妥当であるかもしくは後戻りすべきかを、次の段階に進む前に議論することを求めることによって、段階的意思決定の文化と関連付けることができる。可逆性は、一部のプログラムで利害関係者から要求されているものであると同時に、これらのグループの間で調整し、共同決定する機会を提供するものでもある。回収すべき安全上の理由がないことを確認する共同決定を、段階ごとに繰り返していくことで、前に進めていくための決定が容易になり、最終的には施設を閉鎖するための決定が容易になる。

可逆性と回収可能性は、設計上の目標ではない。これらは、意思決定と設計プロセスに本来的に備わっている特性であり、最終目的地である“安全で、社会的に受け入れられる地層処分”への旅を手助けしてくれるものである。

參考資料

1. OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, “Reversibility of Decisions and Retrievability of Waste; Considerations for National Geological Disposal Programmes”, Paris, 2011
2. OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, “Selected International Bibliography on Reversibility and Retrievability to Support the Current NEA Project”, NEA/RWM(2010)11, Paris, 2010
3. OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY “Summarized Responses to Retrievability and Reversibility (R&R) questionnaire issued to NEA member countries in May 2008”, (NEA/RWM(2010)14, Paris, 2010
4. OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY “Reversibility and Retrievability in Planning for Geological Disposal of Radioactive Waste. Proceedings of an International Conference and Dialogue, Reims, France, 14-17 December 2010”, Paris 2012 (in press)
5. UNITED STATES NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, “Technology: Processes of Assessment and Choice”, Washington, July 1969
6. UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, “Proposed Goals for Radioactive Waste Management”, NUREG-0300, Washington, 1978
7. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, “Removal of Waste”, Waste Isolation Pilot Plant Compliance Application Review Document no.46, Washington, May 1998
8. OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, “Moving Forward with Geological Disposal of Radioactive Waste: A Collective Statement by the NEA Radioactive Waste Management Committee (RWMC)”, NEA-6433, Paris, 2008
9. SWEDISH NUCLEAR FUEL AND WASTE MANAGEMENT COMPANY (SKB), “Final Storage of Spent Nuclear Fuel – KBS-3, Summary”, Stockholm, 1983
10. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, “Code of Federal Regulations, Title 40 Part 191.14(f)”, Washington, 1983
11. FRENCH DIRECTORATE OF LEGAL AND ADMINISTRATIVE INFORMATION, “Conclusions de la réunion interministérielle du 9 décembre 1998 sur les questions nucléaires”, Paris, December 1998

12. CANADIAN ENVIRONMENTAL ASSESSMENT AGENCY, "Report of the Nuclear Fuel Waste Disposal and Management Concept Environmental Assessment Panel", Ottawa, March 1998
13. OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, "Geological Disposal of Radioactive Waste: Review of Developments in the Last Decade", NEA/RWM(99)6, Paris, 1999
14. GERMAN FEDERAL MINISTRY FOR ECONOMICS AND TECHNOLOGY, "Vereinbarung zwischen der Bundesregierung und den Energieversorgungsunternehmen vom 14. Juni 2000", Berlin, June 2000
15. SWEDISH NUCLEAR FUEL AND WASTE MANAGEMENT COMPANY (SKB), "Äspö Hard Rock Laboratory Annual Report 1998", SKB Report TR-99-10, Stockholm, 1999
16. NATIONAL NUCLEAR CORPORATION LTD., "Nirex Demonstration of Waste Package Retrieval", NNC Rep. PRSU.2524 to Nirex, 1997
17. SWEDISH NUCLEAR POWER INSPECTORATE, "The Swedish Nuclear Power Inspectorate's Evaluation of SKB's RD&D Programme 98", SKI Report 99:30, Stockholm, 1999
18. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, "Retrievability of High Level Waste and Spent Nuclear Fuel - Proceedings of an International Seminar Organized by the Swedish National Council for Nuclear Waste in Co-operation with the International Atomic Energy Agency, Saltsjöbaden, Sweden, 24-27 October 1999", IAEA-TECDOC-1187, December 2000
19. EUROPEAN COMMISSION, "Concerted Action on the Retrievability of Long-lived Radioactive Waste in Deep Underground Repositories", EUR 19145 EN, Brussels, 2000
20. OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, "Reversibility and Retrievability in Geologic Disposal of Radioactive Waste – Reflections at the International Level", NEA-3140, Paris, November 2001
21. SWISS EXPERT GROUP ON DISPOSAL CONCEPTS FOR RADIOACTIVE WASTE (EKRA), "Disposal Concepts for Radioactive Waste, Final Report", Bern, January 2000
22. Papp, T., "SKB Disposal Concept and Retrievability", Proceedings of an International

Workshop on Reversibility, Andra, Paris, November 25-27, 1998

23. COMMITTEE ON RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT, “Managing Our Radioactive Waste Safely – CoRWM’s Recommendations to Government”, CoRWM Document 700, 2006
24. Ohlsson, M., “Äspö Hard Rock Laboratory - Large Scale Experiments”, presented at the conference “HADES, 30 years of underground research laboratory”, Antwerp, 23-25 May 2011
25. OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, “Stepwise Approach to Decision Making for Longterm Radioactive Waste Management - Experience, Issues and Guiding Principles”, NEA-4429, Paris, 2004
26. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, “Geological Disposal of Radioactive Waste: Technological Implications for Retrievability”, IAEA NW-T-1.19, Vienna, January 2009
27. EUROPEAN COMMISSION, “ESDRED Final Summary Report and Global Evaluation of the Project”, Mod6-WP4-D6, Brussels, January 2009
28. EUROPEAN COMMISSION, “Implementing Geological Disposal of Radioactive Waste Technology Platform”, EUR 24160 EN, Brussels, November 2009
29. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, “Idaho National Laboratory TRU Waste Shipments Temporarily Suspended” at <http://www.epa.gov/radiation/news/wipp-news.html>, Washington, 2007
30. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, “Los Alamos National Laboratory TRU Waste Shipments Suspension Lifted”. Online: <http://www.epa.gov/radiation/news/wipp-news.html>, Washington, 2008 [consulted 21 Nov. 2011]
31. GERMAN FEDERAL OFFICE FOR RADIATION PROTECTION (BfS), “Optionenvergleich Asse: Fachliche Bewertung der Stilllegungsoptionen für die Schachtanlage Asse II”, Salzgitter, January 2010
32. CONGRESSIONAL RESEARCH SERVICE, “Closing Yucca Mountain: Litigation Associated with Attempts to Abandon the Planned Nuclear Waste Repository”, CRS 7-5700 (T. Garvey, July 5, 2011), Washington, D.C., 2011

33. BLUE RIBBON COMMISSION ON AMERICA'S NUCLEAR FUTURE, DISPOSAL SUBCOMMITTEE. Hearings of 1 September 2010. Online: <http://brc.gov/sites/default/files/meetings/transcripts/0901musc.pdf> [consulted 21 Nov. 2011]
34. BLUE RIBBON COMMISSION ON AMERICA'S NUCLEAR FUTURE, "Draft Report to the Secretary of Energy", Washington, 29 July 2011
35. COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION, "Council Directive 2011/70/Euratom Establishing a Community Framework for the Responsible and Safe Management of Spent Fuel and Radioactive Waste", Brussels, 19 July 2011
36. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, "The Principles of Radioactive Waste Management", Safety Fundamentals No. 111-F, Vienna, 1995
37. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, "Fundamental Safety Principles", Safety Fundamentals No. SF-1, Vienna, 2006
38. SWEDISH NATIONAL BOARD FOR SPENT NUCLEAR FUEL (SKN), "Ethical Aspects of Nuclear Waste, Some Salient Points Discussed at a Seminar on Ethical Action in the Face of Uncertainty in Stockholm, Sweden", SKN Report 29, Stockholm 1987
39. FRENCH NATIONAL AGENCY FOR RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT (Andra), "Dossier 2005 Argile, Synthesis", Paris, December 2005
40. OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, "Minutes of the RWMC Reversibility and Retrievability Project Meeting, June 21-23 2010", NEA/RWM(2010)13, Paris, 2010
41. OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, "Towards Transparent, Proportionate and Deliverable Regulation for Geologic Disposal: Main Findings from the RWMC Regulators' Forum Workshop, Tokyo, 20-22 January 2009", NEA/RWM/RF(2009)1, Paris, 2009
42. SWEDISH NATIONAL COUNCIL FOR NUCLEAR WASTE, "Nuclear Waste State-of-the-Art Report 2010 – challenges for the final repository programme", SOU 2010:6, Stockholm 2010
43. OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, "More Than Just Concrete Realities: The Symbolic Dimension of Radioactive Waste Management", NEA-6869, Paris, 2009
44. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, "Joint Convention on the Safety of

- Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management”, INFCIRC/546, Vienna, December 1997
45. GOVERNMENT OF FRANCE, “Planning Act on Radioactive Waste Management”, Paris, 28 June 2006
 46. NUCLEAR ENERGY AGENCY, “The Roles of Storage in the Management of Long-lived Radioactive Waste”, NEA-6043, Paris, 2006
 47. ANDRA, “Making Nuclear Waste Governable: Deep Underground Disposal and the Challenge of Reversibility”, ed. Luis Aparicio, Paris, 2010
 48. OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, “The Regulatory Function and Radioactive Waste Management – International Overview”, NEA-6041, Paris, 2005
 49. OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, “The Regulator’s Evolving Role and Image in Radioactive Waste Management”, NEA-4428, Paris, 2003 (updated version to be published in 2012)
 50. OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, “Summary Record of the Reversibility and Retrievability Project Meeting”, Washington D.C., United States, 2-4 December 2009, NEA/RWM/M(2009)2, Paris, 2010
 51. EUROPEAN COMMISSION, “Project Presentation – Monitoring Developments for Safe Repository Operation and Staged Closure: MoDeRn”, Euratom contract 232598, Brussels, September 2009
 52. Swahn, J., “The Importance of the Retrievability of Nuclear Waste for the Implementation of Safeguard Regimes for Geologic Repositories”, in Proceedings, IAEA Symposium on International Safeguards, Vienna, 13-17 October 1997
 53. OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, “Vision for the RWMC Project on ‘Preservation of RK&M Across Generations’”, NEA/RWM(2011)6, Paris, March 2011
 54. OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, “R&R Project Status Report following the Toronto Meeting of October 2008”, NEA/RWM(2008)9, Paris, 2010
 55. SCOTTISH GOVERNMENT WASTE AND POLLUTION REDUCTION DIVISION, “Scotland’s Higher Activity Radioactive Waste Policy Consultation 2010”, Edinburgh 2010
 56. MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY, “The Future of the Nuclear Fuel

- Cycle: An Interdisciplinary MIT Study”, Cambridge Massachusetts, 2010
57. SWISS NATIONAL COOPERATIVE FOR THE DISPOSAL OF RADIOACTIVE WASTE (Nagra), “Project Opalinus Clay Safety Report”, Nagra Technical Report 02-05, Wettingen, December 2002
 58. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, “Structure and Contents of Agreements between the Agency and States Required in Connection with the Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons”, INFCIRC/153 (corrected), Vienna, 1972
 59. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, “The Convention on the Physical Protection of Nuclear Material”, INFCIRC/274/Rev. 1, Vienna, May 1980
 60. Cramér, P., “Responsibility for Non-proliferation and Final Disposal of Spent Nuclear Fuel – A Never Ending Story”, Stockholm Spring Talks for Better Global Nuclear Waste Management, Stockholm 2011
 61. BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU), “Safety Requirements Governing the Final Disposal of Heat-Generating Radioactive Waste”, Berlin 2010
 62. UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE, “Convention on Access to Information, Public Participation in Decision Making and Access to Justice in Environmental Matters”, Aarhus, June 1998

付録 ーR スケール (国際的に合意された回収可能性に関する段階的区分) のリーフレット

ここに再掲した 4 ページのリーフレット、「R スケール」は、印刷に適した単独の資料として、NEA のホームページ <http://www.oecd-nea.org/rwm/rr/> から入手可能です。これは、幾つかの言語のものが利用可能です。NEA は、要請があればプロの印刷用に高解像度の pdf を、また、各国のプログラムで別の言語に翻訳して出版されることを促進するために InDesign ファイルを提供致します。

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。

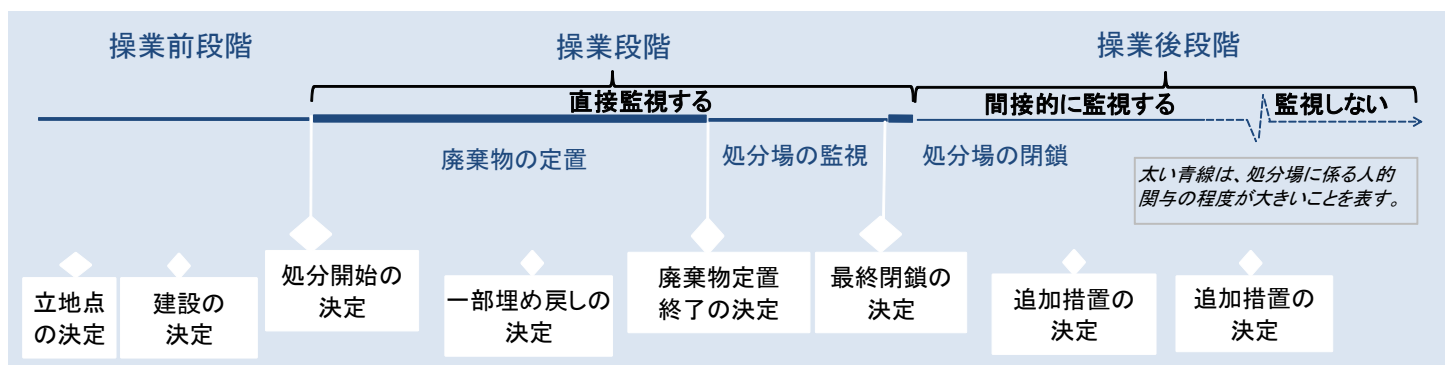


図1 処分場の事業段階および関連する意思決定の例

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。

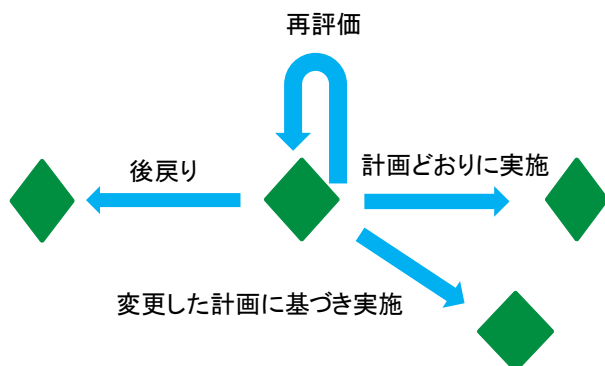


図2 オプションを評価した結果として考えられる道筋(後戻りを含む)

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)。

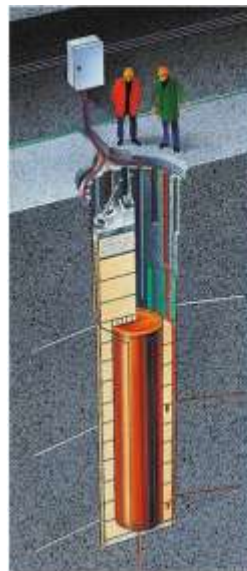


図3a: スウェーデンで実施された廃棄物パッケージの回収を目的としたベントナイトリングの撤去(Äspö HRL, 2006)

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¹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。

¹ 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。

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。

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。