

## なぜ、地層処分なのか？－セーフティケースの役割

草野由貴子\*1

長寿命放射性廃棄物の処分方法として、国際的に最も有望とされている方法が地層処分である。地下深部の環境が放射性廃棄物の隔離・閉じ込めに適した環境を有していることが着目され、地層処分の基本的な処分概念が構築されて以降、1970年代よりその実現に向けた技術開発と科学技術的な基盤の整備が進められてきた。このような科学技術的な実現可能性の検討と並行して、将来世代も含めたステークホルダーにとって地層処分が受け入れられやすい事業となるよう、社会的・倫理的観点での取り組みも進められてきた。事業の進展に対してステークホルダーが関与することもそのような観点で取り入れられている仕組みであり、地層処分の安全性に関する情報が集約されるセーフティケースは、事業者が地層処分事業を次の段階に進めようとするときに、ステークホルダーがその是非を判断する際の重要な拠り所の一つとなるものである。セーフティケースは事業者が地層処分の安全性を社会に対して事業の各段階で繰り返し説明するための手段であり、その時点で地層処分の安全性について最善を尽くして作成されていることが理解されるようなものとなっていることが重要である。

**Keywords: 地層処分, ステークホルダー, 安全コミュニケーション, セーフティケース**

### 1 はじめに

長寿命放射性廃棄物の処分方法として、現状で国際的に最も有望とされている方法が地層処分である。地層処分が社会に受け入れられるためには、様々なステークホルダーとのコミュニケーションによって、なぜ地層処分なのか、地層処分によってどのように安全が確保されるのかが明確に伝わり納得できるものとなる必要がある。

日本原子力学会 2021 年秋の大会では、そうしたステークホルダーとのコミュニケーションにおける課題や留意点について、認識を共有し議論する場として、テーマを「地層処分における安全コミュニケーション」としたバックエンド部会企画セッションが開催された。講演 1 では、著者より「なぜ、地層処分なのか－セーフティケースの役割」として、地層処分が選択されてきた経緯や、実現に向けた倫理的側面への配慮、安全性への信頼構築に向けた取り組みなどについての講演を行った。講演 2 では「セーフティケースへの情報統合の例－包括的技術報告書を例として」という題目で、NUMO が 2021 年 2 月に公表した包括的技術報告書[1]を例として、安全性に関する情報がどのように統合されているかが例示されるとともに、特に専門家とのコミュニケーションにおいて認識している課題と留意点について紹介された。その後、パネルディスカッションでは、NUMO 包括的技術報告書レビュー特別専門委員会[2]に参画した委員をメンバーに迎え、地層処分の安全性に関するステークホルダーコミュニケーションにおける留意点について議論が行われた。

以下では、講演 1 に関する講演再録として、そもそもなぜ地層処分が選ばれているのかについて、安全確保の考え方や、それが国際的に確立されてきた経緯、さらには事業者が地層処分の安全性を社会に説明する際の拠り所の一つとなるセーフティケースの役割について説明する。

### 2 放射性廃棄物の発生とその特徴

エネルギー資源の乏しい日本では、原子力発電所で使用した使用済燃料を再処理してウランとプルトニウムを取り出し、再利用する方針としている。この再処理の過程で非常に高い放射能を持った廃液が残る。この廃液は、安定した固体の状態とするために、ガラス原料と溶かし合わせて、それをステンレス製容器（キャニスタ）に流しこんで冷やし固め、「ガラス固化体」とする。日本では、このガラス固化体を高レベル放射性廃棄物と呼んでいる。なお、原子力発電を行っている諸外国の中では、使用済燃料を再処理しない政策をとっている国もあり、その場合は使用済燃料がそのまま高レベル放射性廃棄物となる。

ガラス固化体と使用済燃料を比較すると、ウランやプルトニウムが取り除かれているガラス固化体のほうが放射能はやや低くなるが、いずれも廃棄物として発生した直後の放射能レベルは人間が近づくことができないほど非常に高い[1]。その後、放射性崩壊によって放射能レベルは低減していくが、数万年程度が経過しても、何の対策もなく人間の生活環境に放置しておいてよい程度にまでは低下しない。

このような、非常に長期間にわたって放射能が残存するという特徴を考慮して、その放射能が長期間にわたって人間の生活環境に影響を及ぼさないように、高レベル放射性廃棄物を取り扱う必要がある。なお、廃棄物からの放射線を人工的に遮蔽し、人間が近づかないよう安全に管理することは可能だが、これを将来数万年以上という長期間にわたって管理し続けるためには、そうした期間にわたって人間社会が存続することが必要となる。しかし、それを保証する科学的根拠はないため、不確実性を伴う将来の人間社会の仕組みに変わる何らかの方法での処分が必要になる。

### 3 高レベル放射性廃棄物処分の考え方と地層処分の基本概念

高レベル放射性廃棄物の処分方法として、国際的に最も有望とされる方法が地層処分である。なぜ地層処分がそのように判断されているのか、その理由を以下に説明する。

地層処分が検討され始めたきっかけとなったのは、米国における第 2 次世界大戦以降の核兵器開発に伴い発生した

Why geological disposal? - the role of a safety case by Yukiko KUSANO, (ykusano@numo.or.jp)

\*1 原子力発電環境整備機構

Nuclear Waste Management Organization of Japan

〒108-1104 東京都港区芝 4 丁目 1-23

本稿は、日本原子力学会 2021 年秋の大会企画セッション「地層処分に関する安全コミュニケーション」における講演内容に加筆したものである。

高レベル放射性廃液の漏洩事故である。1950年代、このような事故が頻発し、人間による長期的な放射性廃棄物の管理への信頼性に疑問が投げかけられた[3]。この問題に対し、高レベル放射性廃棄物の実現可能な処分方法について検討がなされた結果、長期間にわたって高レベル放射性廃棄物を人間の生活環境から隔離して閉じ込めておくためには、岩塩層への処分が有望であることが提案された[4]。これは、岩塩層が物理化学的に安定であり、地下水の流れもほとんどなく、放射性物質を長期間にわたって閉じ込めておくのに好ましい特徴を有していると考えられたためである。

これを発端に、人間の管理に依存せずに、地下深部の岩盤が持つ、長期的な隔離・閉じ込めの機能による処分方法の実現に関する具体的な検討が開始され、1970年代には、原子力発電により発生した高レベル放射性廃棄物の処分方法に見直しをつけることが不可欠という国際的な世論の高まりに伴い、各国で地層処分の研究が本格化した。

こうした動向を受け、OECD/NEAは1977年に報告書[5]を取りまとめている。その中では、岩塩層に限定しなくとも、地下深部の岩盤が本来有しているイオン交換や過、表面吸着などの性能により、地下水による放射性物質の移動が抑制されるというような、放射性物質の閉じ込め機能に重要な物理化学的特性を地下深部の地質環境が有していることや、放射性物質をガラスなどで固化し、金属製の容器に封入することで地質環境中への放射性物質の放出を遅延させ、放射能を減衰させることができるという人工的なバリア機能（以下、人工バリア）の有効性について指摘されている。日本においても1976年に原子力委員会により、地層処分にに関する研究開発を開始することが決定されている。

その後、1980年代から1990年代にかけて、各国において、地層処分に適した地質環境かどうかを調査・評価する技術、長期間にわたって放射性物質を安全に隔離し、閉じ込めることが可能な多重バリア（人工バリア+天然バリア）からなる地層処分システム的设计、設計した地層処分システムが将来にわたって人間の生活環境に影響を与えないか否かを確認するための安全評価技術など、安全な地層処分の実現に向けた技術開発が進められ、こうした技術を適用することにより、地層処分システムの長期的な安全性を判断するための科学技術的基盤が整えられた[6]。こうした科学技術的基盤は国際的に合意され、IAEAやOECD/NEAといった国際機関により指針や勧告として文書化されている。

#### 4 地層処分以外の処分方法、長期的管理（保管）の検討

1977年のOECD/NEAの報告書[5]では、地層処分を最も有望な高レベル放射性廃棄物の処分方法として取り上げる一方で、それ以外の方法として、海洋底処分・海洋底下処分、氷床処分、宇宙処分、核種分離変換などの可能性についても検討されている。しかし、海洋底処分・海洋底下処分、氷床処分は、いずれも国際条約（それぞれ、廃棄物その他の投棄に係る海洋汚染防止に関する条約、南極条約）によって禁止されている。宇宙処分はロケット発射技術の信頼性への疑問や経済性の面で課題があるが検討を継続す

べきとされたものの、現在までその処分方法の利用に至る動きはない。核種分離変換技術は現在でも研究が継続されているが、実用化の目途が立っておらず、また長半減期の放射性核種をすべて変換することは不可能であると考えられているため、いずれにせよ地層処分が必要な廃棄物が残ることとなる。そのため、地層処分の代替手段とは位置付けられていない。結論として、地下の安定した岩盤中に放射性廃棄物を隔離し、閉じ込めるという地層処分が最も優れた処分方法であるとされた。その後も、上記以外の様々な処分方法も含め、それらとの比較・検討がなされたが、科学技術的な面での実現可能性、および国際ルールに即した自国での責任ある処分が可能といった倫理的な観点からも、地層処分が最も有望と判断された結論は現在でも変わっていない。

上述したように、放射性廃棄物の放射能は、時間の経過に伴って減衰しつつも数万年以上という長期間にわたってその放射能が残存するため、それを人間の手で管理し続けることを保証することはできず、地上保管は放射性廃棄物問題の最終的な解決策とはならない。一方で、地層処分やほかの処分方法の実現可能性について科学技術的な確信が得られ、社会に受け入れられるまでは、放射性廃棄物を地上管理し続けるべきとの考えもある。実際に、これまでも各国において固形化された廃棄物や使用済燃料は数十年間にわたって安全に地上施設で管理されてきた実績があり、今後さらに数十年程度の一定期間については定期的な施設改修などにより地上管理を実施することが可能とされている[7]。

地上施設での管理について、地層処分にに関する合意形成までの一定期間における対処方法として期待している例もある。例えば原子力発電の利用規模が小さいオランダでは、少量の廃棄物のために地層処分の研究から処分場の建設・操業までを行うことは経済的に合理的でないとの考えから、他国との共同処分も視野に入れつつ、少なくとも100年間は地上施設での廃棄物の管理を行う方針としている[7]。また、日本においても、地層処分の安全性を確認するための研究開発や国民の理解と合意形成を図るための期間の確保として、原則50年間の地上施設での廃棄物の暫定保管が日本学術会議において提言されている[8]。このように、地上施設での管理は放射性廃棄物対策の全体としてみれば、一定の役割を果たすことが期待されているものの、最終的な解決策にはならず、実現可能性の高いと考えられる地層処分計画を進めるための努力を停止させる理由にはならない。地上施設での管理は、地下に処分した場合と比較して、地上は自然災害や人的事象などの影響を受ける可能性が相対的に高いことに留意する必要がある。また、原子力発電によって恩恵を受けた世代の責任として将来世代への負担をできるだけ小さくするという倫理的観点からも、放射性廃棄物問題を先送りにせず最終的な処分に向けた道筋をつけるため、地層処分を前提に最大限の取り組みを進めるべきというのが国際的な共通認識となっている。

## 5 地層処分を社会に受け入れてもらうための取り組み

地層処分は、放射性廃棄物を地下深部の岩盤中に隔離し、数万年以上の長期間にわたって人間の生活環境に影響を与えないように処分するという人類初のプロジェクトである。そのため OECD/NEA などの国際機関では、実現可能性の科学技術的な裏付けは当然のことながら、現代や将来世代にわたってもこのプロジェクトが社会から受け入れ可能であることが必要であるとしており[6]、そのような観点での取り組みも進められている。

地層処分は、事前の調査、処分場の建設・操業、閉鎖までの事業期間が 100 年程度にも及ぶ事業であるため、今後の科学技術の進歩や社会の考え方が変化する可能性なども考慮し、将来世代の選択と意思決定の自由を残しておくために、「可逆性と回収可能性」[9]、「段階的アプローチ」[10]という考え方が提唱されている。

「可逆性」とは一度決定したことを元に戻す能力であり、「回収可能性」とは一度埋設した廃棄物を回収する能力のことである。何らかの理由により、将来世代が地層処分以外の意思決定をする可能性も考慮し、事業期間中の可逆性や回収可能性を担保しておくことの必要性が国際的にも認識されている。「段階的アプローチ」とは、事業を期間やステージで区切って、その時点での最新の科学的知見を踏まえて地層処分の安全性を確認し、次の段階に進めてよいか、進め方に修正の必要がないかを判断しながら、段階的に事業を進めていく考え方である。これは、安全確保の観点から、計画を柔軟に見直す余地を残しておくために必要と考えられている。このように将来世代の選択枝を確保したうえで事業を進めていくという考え方・方法は、社会において地層処分に関する合意を得るためのプロセスとして有効と考えられている。

また、科学技術的な実現可能性の観点からのみで事業を進めるのではなく、地域住民を始めとした様々なステークホルダーとの対話を通じてコミュニケーションを図り、地層処分への不安や疑問を解消し、安全性への信頼を得たうえで、事業の進展について合意形成を図っていくプロセスが国際的にも重視されている。

地層処分の研究開発が進められた当初は、専門家が地層処分の科学技術的な実現可能性を検討し、それを国民や地域住民に宣言して、あとはひたすら理解を求めるといったアプローチが中心となっていた。しかし、地域住民やステークホルダーにとっては、自分たちの意思決定への関与がないまま地層処分を進められることは受け入れがたく、また地域住民の合意なくして事業を進めることが困難であることは、各国が経験してきている。

1) OECD/NEA は、放射性廃棄物処分におけるステークホルダーを「放射性廃棄物管理プロセスに利害または役割を持つあらゆる関係機関、団体、または個人」と定義している[11]。地層処分事業のステークホルダーとしては、規制機関、国、処分場を受け入れる市町村、国民、地域住民、議員、地域の団体、廃棄物発生者（電力会社など）、関係研究機関、専門家、協力業者などが挙げられるが、事業への関与の程度や関わり方などは各国の状況や事業の段階などによって異なる。

こうした経験を経て、地域住民や様々なステークホルダーとの対話を通じて、地層処分への信頼を得ながら、地層処分の事業を進めていく過程で意思決定へのステークホルダーの関与を図ることで、社会的・倫理的観点にも配慮して地層処分が進められている。

## 6 地層処分の安全性を説明するためのセーフティケース

地層処分は事業期間が 100 年程度にわたり、さらにその後の数万年以上という長期間の安全性の確保が必要とされることから、将来の科学技術の進歩や様々な不確実性を考慮に入れ、事業を進めていくなかでその安全性を繰り返し確認していく必要がある。「段階的アプローチ」という考え方のもとで、事業のステージを区切り、その時点の最新の知見等を踏まえて、どのように処分場の安全性を確保するのか、なぜそれが信頼に足るといえるのかを論拠を持って繰り返しステークホルダーに提示し、合意を得て行くことが重要である。事業者は、このような処分場の安全性を示す論拠を説明する責任を有し、これを「セーフティケース (Safety case)」として文書にまとめることが求められる。

セーフティケースには、安全な処分場と判断するために、調査に基づいてどのように適切なサイトを選定し、その場所に対してどのように処分場の設計や安全評価を行い、その結果として人間が受ける放射線影響が安全基準を満たしていること（許容できること）を、総合的に説明したものとなっており、その説明・判断の根拠となる情報やデータにまで追跡可能なように情報が集約されている。さらには、数万年以上という長期間に起こる事象の不確実性をより低減するために、事業者は「ここまで検討を行えば十分」というような考え方を持たず、どのような不確実性が残っているのかを把握し、その不確実性を低減するためには次の段階で何を行うべきかについてもセーフティケースのなかで明確にしたうえで、その後の調査研究や技術開発を行っていく。セーフティケース作成の目的やその構成については、国際的な議論を経て一般的に受け入れられている考え方や指針が示されている[12]。

地層処分の安全性に関する情報が集約されているセーフティケースは、事業者が地層処分事業を次の段階に進めようとするときに、ステークホルダーがその是非を判断する際の重要な拠り所の一つとなるものである。事業者は、セーフティケースをステークホルダーに提示し、ステークホルダーがそれを確認して、信頼に足るものと判断されて初めて事業を次の段階に進めることができる。このようにセーフティケースを拠り所として、事業の各ステップで地層処分の安全性を確認し、段階的に事業を進めるといった考え方が国際的にも採用されている。セーフティケースは事業者が地層処分の安全性を社会に対して事業の各段階で繰り返し説明するための手段であり、その時点で地層処分の安全性について最善を尽くして作成されていることが理解されるようなものとなっていることが重要である。

## 7 まとめ

高レベル放射性廃棄物の処分方法として地層処分が国際的にも選択されている理由としては、その実現可能性について科学技術的な裏付けに基づいた説明が可能であるということ、自国での処分が可能であることに加え、何らかの理由で地層処分を中断する場合にも廃棄体の回収が可能であり、将来世代に選択肢を残すという倫理面にも配慮した事業の進め方を取り入れることが可能である、といったことが挙げられる。

地層処分事業を進めるためには、それがステークホルダーに受け入れられることが必要である。このため、事業者はステークホルダーに対して事業の段階ごとに繰り返し安全性を説明し、それをステークホルダーが確認して事業の進展についての意思決定をするというプロセスをとることが不可欠である。セーフティケースはその意思決定の判断材料となる重要な役割を担っているため、将来に想定される様々な不確実性をどのように取り扱っているか、また、今後不確実性を低減するためには何が必要かといったことも含め、事業者が安全性について論を尽くした説明となるよう、その時点で利用可能な信頼性のある科学的知識や情報・データが包括的に取りまとめられたものとなっていることが必要である。

## 参考文献

- [1] 原子力発電環境整備機構: 包括的技術報告: わが国における安全な地層処分の実現—適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築—. NUMO-TR-20-03 (2021).
- [2] 日本原子力学会「NUMO 包括的技術報告書レビュー」特別専門委員会: 「NUMO 包括的技術報告書」レビュー報告書. (2019).
- [3] OECD/NEA: Considering timescales in the post-closure safety of geological disposal of radioactive waste. NEA No.6424 (2009).
- [4] National Academy of Sciences: The disposal of radioactive waste on land. Report of the Committee on Waste Disposal of the Division of Earth Sciences. *National Academy of Sciences* (1957).
- [5] OECD/NEA: Objectives, concepts and strategies for the management of radioactive waste arising from nuclear power programmes. (1977).
- [6] OECD/NEA: Management and disposal of high level radioactive waste: Global Progress and Solutions. NEA No.7532 (2020).
- [7] OECD/NEA: The roles of storage in the management of long-lived radioactive waste. NEA No.6043 (2006).
- [8] 日本学術会議: 提言 高レベル放射性廃棄物の処分に 関する政策提言—国民的合意形成に向けた暫定保管. 平成 27 年 4 月 24 日 (2015).
- [9] OECD/NEA: Reversibility and retrievability in geologic disposal of radioactive waste, Reflections at the international level. (2001).
- [10] OECD/NEA: Stepwise approach to decision making for long-term radioactive waste management, Experience, issues and guiding principles. NEA No.4429 (2004).
- [11] OECD/NEA: Stakeholder confidence in radioactive waste management: An annotated glossary of key terms. NEA No.6988 (2013).
- [12] OECD/NEA: The nature and purpose of the post-closure safety cases for geological repositories. (2013).