

廃棄物管理のバリデーション・性能担保の考え方 (2) 中深度処分の規制基準の考え方

青木広臣^{*1}

日本原子力学会 2023 年秋の大会において、バックエンド部会セッション「廃棄物管理のバリデーション・性能担保の考え方」が企画された。同セッションは、原子力発電所と比較して長期間にわたる埋設事業に対し、時間スケールに対応したシステムのバリデーション（妥当性確認）の困難さに着目しているものと理解する。本講演では、まず、IAEA が示す validation の定義として、計算コード等の妥当性確認という定義に加え、IAEA Safety Requirements や国内規制要求に対する確認という定義があること示した。それを踏まえ、現行の「第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」等における「監視測定設備」、「断層」及び「定期的な評価」の要求の考え方を例に挙げ、埋設事業の事業許可申請書に記載された事項を建設・施工時及び施工後において行う「確認」について情報提供した。

Keywords: バックエンド部会セッション, 廃棄物管理, 中深度処分

Division of Nuclear Fuel Cycle and Environment (NUCE) of the Atomic Energy Society of Japan (AESJ) hold a planned session titled “Validation and Performance Assurance Approach to Waste Management” in AESJ 2023 Fall Meeting. Author understood that this session focused on the difficulties of validation of waste disposal facilities which need long-time-safety longer than the nuclear power plant operating time. Author described, at first, the IAEA definitions of the “validation” which has two meanings: process of simulation validation, and confirmation of requirements. Based on the IAEA definition, author presented the regulatory “confirmation” of safety structures promised in the license application of waste disposal facilities in the stages of disposal life; construction, emplacement of waste packages, and after completemet of engineered barrier.

Keywords: AESJ, NUCE, radioactive waste management, validation, intermediate depth disposal

1 はじめに

本企画セッションは、原子力発電所と比較して長期間にわたる埋設事業に対し、時間スケールに対応したシステムの妥当性確認の困難さに着目しているものと理解する。本講演では、埋設事業の事業許可申請書に記載された事項を建設・施工時及び施工後にどのように妥当性を確認していくのかという課題について、現行の「第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」（以下「許可基準規則」という。）及びその解釈並びに「核燃料物質又は核燃料物質によつて汚染された物の第二種廃棄物埋設の事業に関する規則」（以下「事業規則」という。）におけるいくつかの要求の考え方を例に、情報提供する。

1.1 放射性廃棄物の処分概念

放射性廃棄物処分の概念を Fig.1 に示す[1]。中深度処分は所謂「低レベル放射性廃棄物」の処分方法の一つであり、現在、青森県六ヶ所村において操業中のピット処分施設において埋設している放射性廃棄物の放射能濃度と比べてより高い放射能濃度を有するものを埋設する方法を指す。なお、ここに示した放射性廃棄物の処分概念のうち、唯一事業者が決まっていないのは中深度処分である。

1.2 中深度処分施設

中深度処分について、その基本的な構造等を Fig.2(a) に示す[2]。中深度処分は、地下 70 m より深い位置に、トンネル構造の埋設施設を設置することが検討されている。



Fig.1 放射性廃棄物の処分概念[1]

のトンネル構造の施設の断面は、放射性廃棄物である廃棄体を中心に、コンクリートやベントナイトといった人工構築物（人工バリア）で覆われ、埋設空洞は最終的に充てん材によって埋め戻される。

中深度処分の廃棄体は、Fig.2(b) に示す箱形の鉄製容器を用いて廃棄物を切断して封入し埋設されることが検討されている。

同図から分かるように、人工バリアにおいて動的な機器というのは見当たらない。操業中では、地上施設や地下施設において工事や廃棄体の運搬に動的機器が使用されることが想像されるが、長期の安全性を確保するための人工バリアに関しては、動的な機器類ではなく、静的な構造物で構成されている。

また、埋設施設の周囲は岩盤で覆われており、天然バリアと呼ばれ、自然事象（断層、侵食、火山活動等）による急激な変化がない限り、人工バリアと同様に静的なものであるといえる。

Validation and Performance Assurance Approach to Waste Management. (2) Case of regulatory requirements of intermediate depth disposal by Hiromi AOKI (aoki_hiroomi_en2@nra.go.jp)

*1 原子力規制庁

Secretariat of the Nuclear Regulation Authority

〒106-8450 東京都港区六本木 1-9-9 六本木ファーストビル
本稿は、日本原子力学会 2023 年秋の大会予稿[2E_PL02]に、講演内容を基に大幅に加筆したものである。なお、本稿及び本講演は、著者個人の意見を述べたものであり、所属する組織の見解を示すものではない。

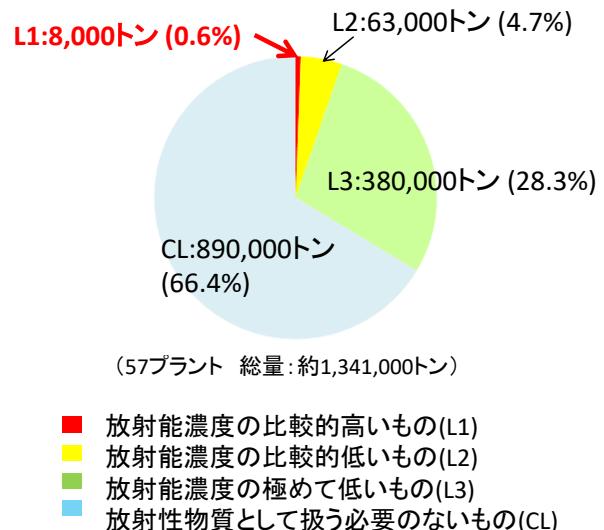
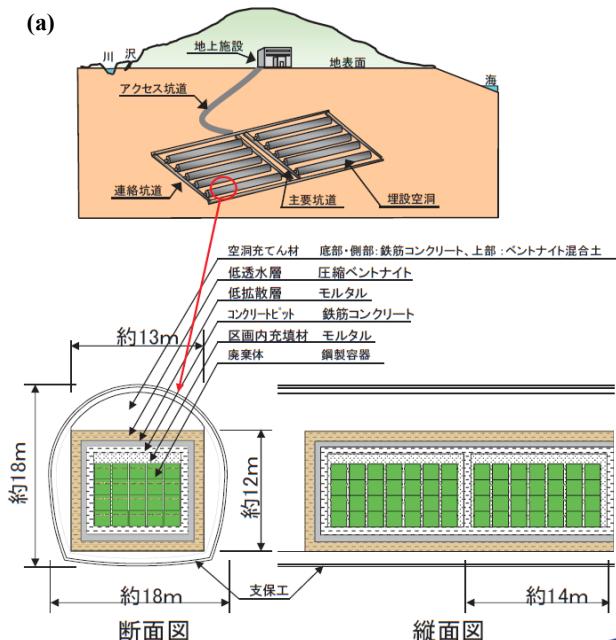


Fig.3 発電用原子炉施設の廃止措置に伴い発生する放射性廃棄物の推定量[3]

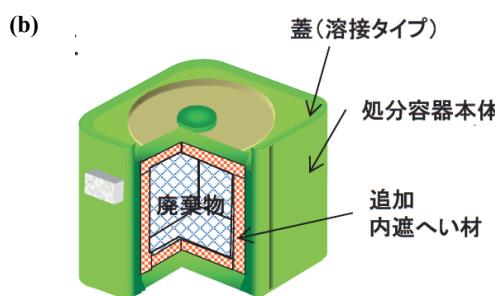


Fig.2 (a) 中深度処分施設及び(b) 廃棄体のイメージ
第2回廃炉等に伴う放射性廃棄物の規制に関する検討チーム会合、資料2-1(電気事業連合会)[2]より引用・一部編集

1.3 中深度処分の対象廃棄物

中深度処分の対象となる廃棄物は、原子力発電所の運転や廃止措置に伴って生じる、所謂「炉内等構造物」と呼ばれるものである。BWRを例に挙げると、上部格子板やシャウドなどが対象廃棄物となる。Fig.3に示すように、廃止

措置に伴って発生する放射性廃棄物のうち、約0.6%がこの中深度処分の対象となるとされている[3]。

中深度処分の対象廃棄物等の放射能濃度の時系列をFig.4に示す。中深度処分の対象廃棄物（炉内等廃棄物）の特徴としては、日本原燃が六ヶ所村で操業しているピット処分の対象廃棄物と比べ放射能濃度が高いこと及びその減衰に長期間を要すると言える。一方、地層処分の対象廃棄物である高レベル放射性廃棄物と比べると放射能濃度が低いことは見て取れる。

また、中深度処分対象廃棄物とピット処分対象廃棄物の放射性核種の種類は非常に良く似ていることが同図から分かる。放射能濃度の差はあるものの同じ放射性核種が示されていることが分かる。一方、地層処分の対象廃棄物である高レベル放射性廃棄物は放射性核種の種類が大きく異なる。それぞれの放射性廃棄物の発生の過程を考えたとき、高レベル放射性廃棄物の発生由来は照射された原子燃料であるが、中深度処分及びピット処分の対象廃棄物は燃料由来で汚染されたものではなく、金属等の放射化由来であるためと言える。なお、燃料破損を起こした原子炉では、中

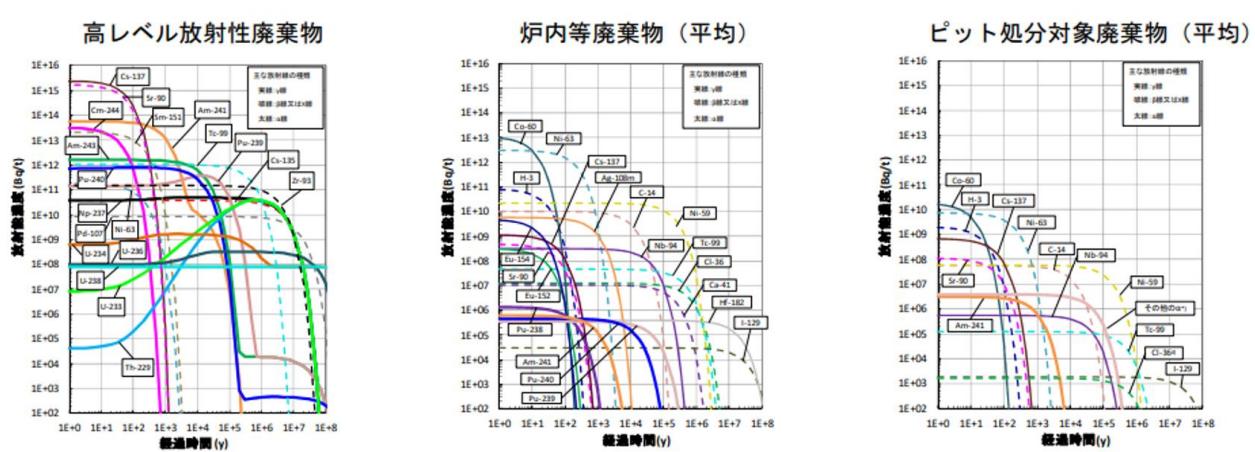


Fig.4 中深度処分の対象廃棄物（炉内等廃棄物）等の放射能濃度[3]

深度処分の対象廃棄物にも燃料由来の放射性核種が一定程度含まれることは否定できない。

2 Validation の定義

本企画セッションの主題である validation について、まずその定義について共通的な認識を得る必要がある。IAEA の Nuclear Safety and Security Glossary[4]では validation について次のように定義している。なお、一部を抜粋して示すため、全文を原著にて確認頂きたい。

validation

1. The process of determining whether a product or service is adequate to perform its intended function satisfactorily. (略)

model validation. (略)

system code validation. (略)

2. Confirmation by examination and by means of objective evidence that specified objectives have been met and specified requirements for a specific intended purpose and use or application have been fulfilled. (略)

system validation. (略)

3. A means of multilateral approval of a transport package design or shipment, whereby an endorsement on the original certificate or the issuance of a separate endorsement, annex, supplement, etc., is produced by the competent authority of the country through or into which the shipment is made.

1 つ目の定義は、プロダクトやサービスが意図した機能を十分に満足して発揮するかどうかを確かめるプロセスとされており、ここでいうプロダクト・サービスの代表が計算モデルや計算コードであり、この定義が工学的に一般に用いられる validation であると考える。

2 つ目の定義は、特定の目標 (specified objectives) が達成されていること、並びに、特定の目的や利用する・応用するための要求 (requirement) を満たしていることを試験や実証的なエビデンスによって確認 (confirm) することとされている。ここで、requirement も同 Glossary[4]において定義されており、国際的には IAEA Safety Requirements 等を指し、国内的には法規制による要求事項を指すものと定義されている。規制制度の視点からはこの 2 つ目の定義が重要であり、特に廃棄物埋設の規制制度では「確認」という行為によって事業開始後の設備等が許可を受けた通りに施工されていることを確認している。

著者は、上記 2 つの定義の間に明確な線が引けるとは考えていない。また、どちらか一方が他方に完全に包含されるものでもないと考えている。シミュレーションコードの信頼性確保が重要であること[5]は、原子力分野の共通理解であると考える。

3 つ目の定義は国際輸送に関する定義であるため、本稿とは関係が薄いため割愛する。

なお、ここで紹介した定義は、飽くまで IAEA の定義であることを強調する。

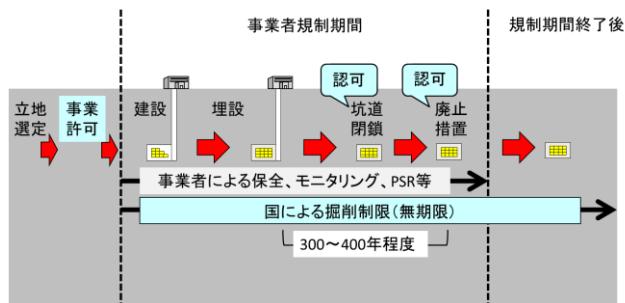


Fig.5 中深度処分の事業の段階

3 第二種廃棄物埋設の許可基準規則とその解釈

中深度処分の事業の段階について Fig.5 に簡潔に示す。中深度処分の事業の段階は、「事業許可」のあと、「建設」、「埋設」と進み、「埋設が終了した後」には「坑道の閉鎖」及び「廃止措置」と進むことが想定されている。

原子炉等規制法において、原子炉等を設置する際には設計及び工事の認可（以下「設工認」という。）という手続きが規定されており、この認可通りに原子炉等を設置することが求められる。他方、廃棄物埋設事業の廃棄物埋設地に対してこの設工認という手続きは規定されていない。廃棄物埋設の事業許可の段階では、埋設地を設置する地下空間すべてを掘削して情報を得ているとは限らない。つまり、事業許可申請の段階では調査や研究によって得られた限られた情報に基づき、実際の埋設地の地質構造等を推定することになり、事業の進展に伴い情報が増えていく（アップデートされていく）ことが想定される。また、事業許可申請書に記載されたとおりに「建設」及び「埋設」されていることを規制機関は「確認」していくことになるが、事業許可申請書に記載された情報と実際の地下の状況との間に少なからず乖離が生じることも考えられる。

このような理由から、地下の状況については事業の進展に伴い得られる情報が多いことを前提に、許可基準規則及びその解釈では、特に地下の状況について、建設・施工時における妥当性確認を重視した規制基準となっている。以下に関連する規制要求とその考え方を例示する。

3.1 監視測定設備

許可基準規則解釈第 15 条では、中深度処分に対して、地下水の水位その他廃棄物埋設地及びその周囲の状況と監視する「監視測定設備」の設置を要求している。その解釈では、次のように記載している。

「地下水の水位その他の廃棄物埋設地及びその周囲の状況」を監視し、及び測定できる設備は、事業規則第 19 条の 2 に規定する定期的な評価等に必要なデータを取得するため、人工バリア及び天然バリアの機能並びにこれらに影響を及ぼす地下水の状況等の監視及び測定の項目を選定し、埋設する放射性廃棄物の受け入れの開始から廃止措置の開始までの間において、監視及び測定できる設計であること。ただし、実際の環境と類似した環境下での原位置試験等の間接的な方法により人工バリア及び天然バリアの機能並びにこれらに影響を及ぼす地下水の状況等のデータを取得得

きる場合は、当該方法によることができる。

これは、廃棄物埋設地の埋戻し終了後における人工バリアや天然バリアが設計を逸脱することなく性能を発揮しつつあることを事業者が確認し、定期的な評価等に必要なデータを取得するため、廃止措置の開始までの間において、廃棄物埋設地及びその周辺の地質環境に係る物理的・化学的特性、人工バリア及び天然バリアの性能・機能に関係する地下水の状態等の確認のためのデータ取得を行うことを要求したもの[3]である。

3.2 断層等

許可基準規則解釈第12条では、中深度処分の廃棄物埋設地は断層運動により人工バリアの著しい損傷が生じるおそれがないものであることを要求している。その解釈では、次のように記載している。

人工バリアは、廃棄物埋設地の建設・施工時において(略)断層等が発見された場合には、当該断層等を避けて設置するとの方針としていること。

これは、断層については、立地段階のみではなく、事業許可後の建設段階においても確認することを要求し、建設段階において将来活動が想定される断層が確認された場合は、廃棄物埋設地の設計を変更する等の対応を要求したものである[3]。

3.3 定期的な評価等

事業規則第19条の2では、規制期間内において10年を超えない期間ごとに、地下水や人工バリアの状態について取得したデータ等の最新の科学的知見を踏まえて、(1)自然事象シナリオの評価を始めとする被ばく管理に関する評価を行うこと、及び(2)その結果を踏まえて廃棄物埋設施設の保全のために必要な措置を講ずることを要求している。

4 おわりに

中深度処分の規制基準では、「バリデーション」「性能担保」という用語は用いられていないが、長期的な線量評価に関する人工バリアや天然バリア等の設計の妥当性については事業許可段階のみでなく、その後の施設の建設・施工段階、廃棄物の埋設段階、坑道の閉鎖段階、閉鎖からと廃止措置までの段階においても最新知見を踏まえた評価を行うことを求めている。特に地下の状況については事業の進展に伴い得られる情報が多いことから、例えば地上からの探査では見つけにくい小規模の断層等については、事業許可段階よりもむしろ建設・施工時における妥当性確認を重視した規制基準となっている。

さらに、地下水や人工バリアの状態について取得したデータ等の最新の科学的知見を踏まえ、10年を超えない期間ごとに、自然事象シナリオの評価を始めとする被ばく管理に関する評価を行うこと及びその結果を踏まえて廃棄物埋設施設の保全のために必要な措置を講ずることを求めていく。

Validationに関して、原子力発電所と廃棄物埋設施設を比較する場合、安全性を担保する期間の差違だけではなく、

両者の構造や設備の特色を把握した上で比較することが肝要である。前者は主に動的な機器・設備で構成されているのに対し、後者は主に静的な構造物で構成されている。動的な機器・設備の validation と静的な構造物の validation とが異なることは容易に想像がつく。これらを単純に比較するのではなく、例えば、原子力発電所の格納容器のような静的な構造物の validation と、廃棄物埋設のコンクリートピットといった比較的構造が類似したものの validation とを比較し、両者の安全上の位置づけや機能を理解した上で考察することは、両施設の安全性向上と信頼性確保に役立つものと考える。

謝辞

本講演にあたっては、日本原子力研究開発機構の前田敏克氏に予稿作成の段階から多くのご助言を頂いた。また、本企画セッションを通じて、座長の小畠政道氏、講演者の小澤孝氏、梅木博之氏及び糸井達哉氏、並びに原子力安全部会の中村秀夫氏らとは、原子炉及び廃棄物埋設に係る validation に関して非常に有意義な議論ができた。この場を借りて深謝申し上げる。

参考文献

- [1] 原子力規制委員会ホームページ:
https://www.nra.go.jp/activity/regulation/nuclearfuel/haiki/haikijigyoseido_kakokento.html (accessed: 2023-09-12).
- [2] 電気事業連合会: 原子力発電所等の廃止措置及び運転に伴い発生する放射性廃棄物の処分について。原子力規制委員会 第2回廃炉等に伴う放射性廃棄物の規制に関する検討チーム会合, 資料2-1, 平成27年2月12日 (2015).
- [3] 原子力規制委員会: 炉内等廃棄物の埋設に係る規制の考え方について. 平成28年8月 (2016).
- [4] International Atomic Energy Agency: IAEA Nuclear Safety and Security Glossary, 2022 (Interim) Edition, IAEA, Vienna (2022).
- [5] 一般社団法人日本原子力学会: 日本原子力学会標準シミュレーションの信頼性確保に関するガイドライン: 2015. AESJ-SC-A008:2015 (2015).