

## 六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センターにおける 浅地中処分の長期放射線安全の確保

佐々木泰\*1

日本原燃では、1号2号および3号廃棄物埋設施設において、原子力発電所の運転に伴い発生する低レベル放射性廃棄物のうち、放射能レベルの比較的低い放射性廃棄物を対象に浅地中処分を実施している。

本稿では、六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センターにおける、浅地中処分の長期放射線安全の確保や最適化の考え方について紹介する。

**Keywords:** 浅地中処分, 長期の放射性安全, 最適化

### 1 埋設センターの概要

六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センター（埋設センター）は、本州の北部太平洋側の青森県上北郡六ヶ所村の日本原燃株式会社濃縮埋設事業所内にある。事業所には一部建設中含め、1号、2号、3号の埋設施設および、低レベル放射性廃棄物管理建屋（管理建屋）がある。現在操業している施設は浅地中のコンクリート構造の埋設設備に埋設する形態であり、覆土後300年間管理する計画である。事業所の写真を Fig.1 に示す。



Fig.1 Rokkasho LLW Disposal Center

埋設センターの歴史を、Fig.2 に示す。1985年に、日本原燃株式会社の前身である日本原燃産業株式会社は、青森県および六ヶ所村と、施設の立地に関する協定を結び、立地が決定した。

1号埋設施設は、1990年に事業許可を得て1992年から

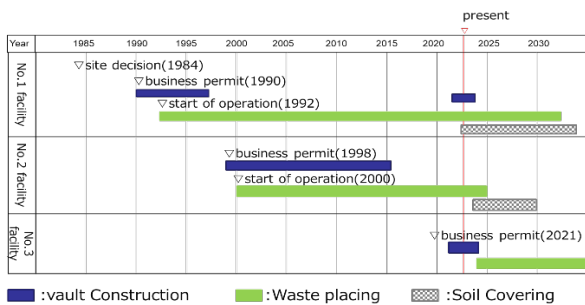


Fig.2 History of LLW disposal business

操業を実施している。2号埋設施設は、1998年に事業変更許可を得て2000年から操業を実施している。また、3号埋設施設は、2021年に事業変更許可を得て現在建設中である。埋設が終了した設備に順次覆土を行うための準備を2023年から開始している。

### 2 廃棄体

埋設を行っている放射性廃棄物は、実用発電用原子炉の運転に伴い発生する放射性廃棄物及び埋設センターの操業に伴って付随的に発生する放射性廃棄物で、200リットルのドラム缶容器に固型化したもの（廃棄体）である。なお、埋設センターの操業に伴って付随的に発生する廃棄物としては、モニタリングで採水した水に放射性物質が有意に含まれていた場合などが考えられるが、今まで、そのような廃棄物は発生していない。

廃棄体には大きく分けて次の2種類がある。一つは、廃液、使用済樹脂、スラッジ、焼却灰又はこれらをペレット化したものをセメント、アスファルト又は不飽和ポリエステルで固型化したもの（均質・均一固化体）であり、1号埋設設備に埋設される。もう一つは、固体状の放射性廃棄物を、セメント系充填材が容器の内部に充填され易くなるように分別し、必要に応じて、廃棄物の切断、圧縮、小型混練固化、高圧圧縮または熔融処理したものをセメント系充填材で一体となるように固型化したもの（充填固化体）であり1号、2号、3号の埋設設備に埋設される。廃棄体の概要を Fig.3 に示す[1]。

| Facility               | No.1                                | No.1, No.2, No.3            |                  |
|------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|------------------|
| Type of waste          | Homogeneously-solidified waste      | Solidified dry active waste |                  |
| Image of waste package |                                     |                             |                  |
| Target waste           | Condensed liquid, spent resin, etc. | Dry active waste            | Dry active waste |
| Solidified material    | Mortar, asphalt or plastic          | Mortar                      | Mortar           |

Fig.3 Waste

### 3 操業

廃棄体は、全国の発電所から船により埋設センター近く

Ensuring long-term radiological safety in near-surface disposal for Rokkasho Low-level Radioactive Waste Disposal Center by Tai SASAKI (tai.sasaki@jfnl.co.jp)

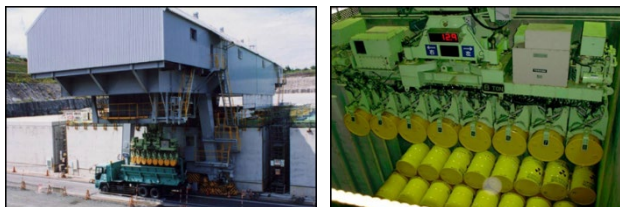
\*1 日本原燃株式会社 埋設事業部

Radioactive Waste Disposal Business Division, Japan Nuclear Fuel Limited

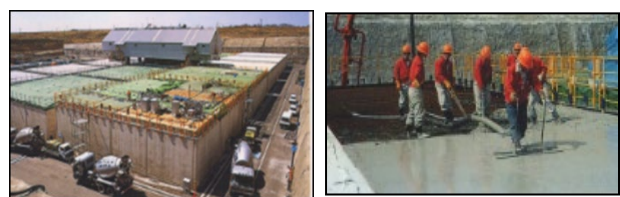
〒039-3212 青森県上北郡六ヶ所村大字尾駈字野附 504 番地 22

本稿は、2023年11月11日に開催された ICRP2023 サテライトイベントにおける講演内容に加筆したものである。

の港まで運ばれ、港から管理建屋に運搬し一時貯蔵する。その後廃棄物埋設地に運搬する。廃棄体は、埋設設備の区画内に、専用の吊具を取り付けた埋設クレーンにより、8本を取扱単位として positioning する。Fig.4 に操業の概要を示す。定置は、廃棄体を横に倒して積み重ねる。覆土完了後、点検路等は埋め戻し、放射能が減衰するまで、埋設地の掘削を禁止するなどの管理を300年間行う。



Waste packages are stacked inside the disposal facility



Mortar is poured in the spaces between the waste packages

A reinforced-concrete lid is placed atop the disposal facility

Fig.4 Process of Disposing of Waste Packages

事業を開始した日以降 10 年を超えない期間ごとに、廃棄物埋設地について、最新の技術的知見を踏まえて放射線の被ばく管理に関する評価を行う（定期的評価）。定期的な評価等に必要なデータを取得するため、人工および天然のバリア（放射性物質の移動等を抑制する機能を持った部材等）の漏出防止機能および移動抑制機能ならびにこれらの機能に影響を及ぼす廃棄物埋設地とその周囲の状況を監視測定する。

埋設センターの廃棄体受入れ実績を、Fig.5 に示す[2]。1992 年 12 月に操業を開始し、当初は 1 号埋設設備で均質・均一固化体を年間約 2 万本を受入れ、2000 年の 2 号操業開始以降は、充填固化体を主体に年間約 1~1.5 万本受入れている。均質・均一固化体は発電所での廃棄物の減容が進んだため、当初計画よりも廃棄物の発生が少なくなり、1 号は現在も操業を継続している。

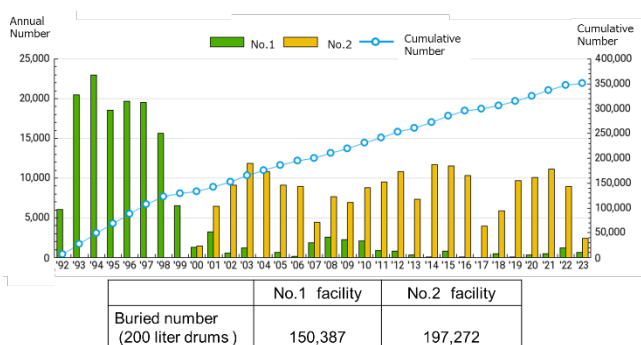


Fig.5 Number of wastes accepted (until Sep 2023)

#### 4 設計の概要

下部覆土の上限面が岩盤の中に収まる深度まで地盤を掘削し、鉄筋コンクリート造の外周仕切り設備からなる埋設設備を構築する。埋設設備は内部仕切り壁で区画しており、区画内に廃棄体を定置した後、区画内にモルタルを充填する。その後覆いのコンクリートを打設し、覆土で覆う。覆土は埋設設備の側部及び上面の 2 m の難透水性覆土（透水係数  $1 \times 10^{-10}$  m/s）、岩盤上限面までの下部覆土（透水係数  $1 \times 10^{-8}$  m/s）その上部の上部覆土の 3 層からなる。覆土が完成するまでの間は、廃棄体への水の接触を防止するために、埋設設備内に排水監視設備や、排水を回収するための点検路等を設置する。

1 号、2 号、3 号で埋設設備の大きさは少しずつ異なるが、設計の基本的考え方は同じである。一例として、1 号埋設設備の概要を Fig.6 に示す。内部仕切り設備により区画される 1 区画は、標準的な 1 日の廃棄体定置単位であり、1 号は 8 行、5 列、8 段積みの計 330 本の廃棄体が 1 区画に定置できる。廃棄体総受入れ容量は 1 号が 204,800 本、2 号が 207,360 本、3 号が 211,200 本である[1,3]。

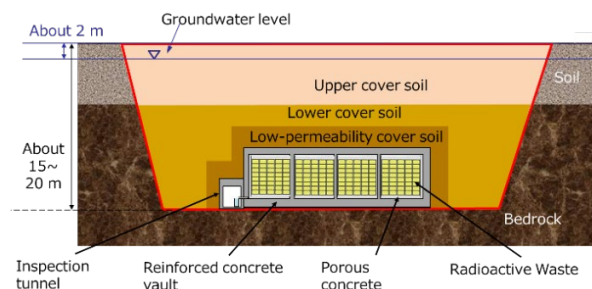


Fig.6 Disposal Facility (Rokkasho No.1)

#### 5 長期の放射線安全の考え方

放射性廃棄物埋設施設設計の特徴は管理期間終了までの 300 年間に加えて、管理期間後の長期の放射線安全確保の見通しを事業許可の時点で得ておくことである。長期には、埋設地が受ける地震、侵食、気候変動などの様々な外部事象及び、埋設地における廃棄体、埋設設備、覆土などの変質を、出来るだけ科学的に想定した状態設定に基づき評価している。

管理期間終了後のシナリオとしては、自然事象シナリオと人為事象シナリオの検討を行なっている。自然事象シナリオは、自然現象による放射性物質の廃棄物埋設地からの漏出、天然バリア中の移動、河川等への移動及び現在の廃

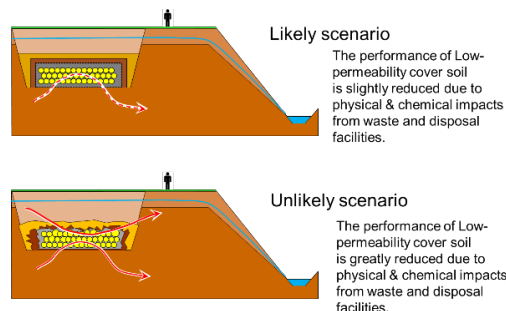


Fig.7 Expected evolution Scenario

棄物埋設地周辺の人の生活様式等を考慮したシナリオで、規則では、最も厳しいシナリオによる評価において  $300 \mu\text{Sv/y}$  を超えず、最も可能性が高いシナリオによる評価において  $10 \mu\text{Sv/y}$  を超えないことを要求している (Fig.7).

また、人為事象シナリオは、管理期間終了直後における廃棄物埋設地の掘削を伴う土地利用を考慮したシナリオで、 $1 \text{mSv/y}$  を超えないことを規則で要求している (Fig.8).

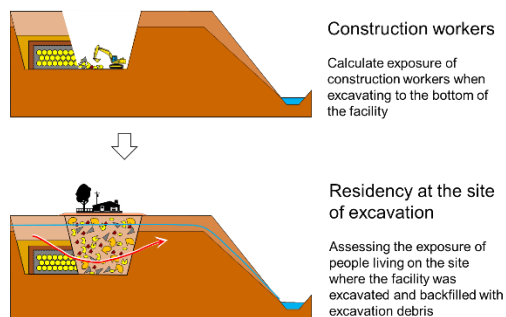


Fig.8 Human Intrusion Scenario

埋設センターの長期放射線安全の確保の考え方は、立地地点の地質、地下水、気象、社会環境（就労形態、食品摂取状況、土地・水利用状況など）を踏まえ、適切な設計となるよう検討しており、主なものとして次のものがある。

①浅地中のため、天然バリアによる長期の移動抑制への期待が容易でないことから、線量評価結果のピークが概ね1000年以内にかかるように埋設する放射性物質の種類、濃度を制限する、②地震（活断層）、火山、地すべり、侵食などの影響を受けない地点を選定する、③放射能が減衰するまでの覆土後300年は掘削禁止などの制度的管理を実施する、④施設を岩盤内に施設を設置することで侵食抵抗性を高めるとともに、廃棄物を掘り返すなどの人為事象の可能性を低減する、⑤低透水の難透水性覆土で施設の上と側

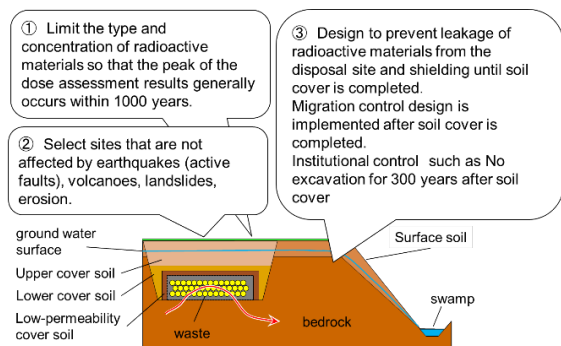


Fig.9 Safety Concept (1)

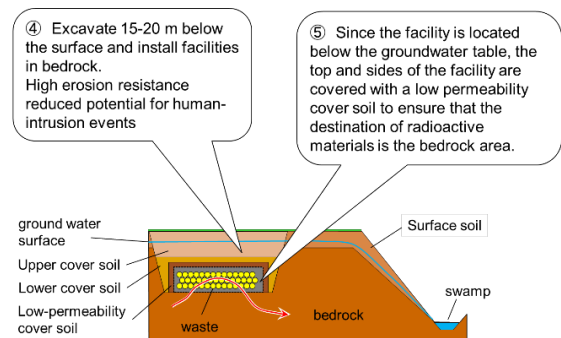


Fig.10 Safety Concept (2)

面を覆うことで、放射性物質の主な移動先を地表面ではなく底部の岩盤部分とする。安全の基本的考え方を Fig.9, Fig.10 に示す。

## 6 不確実性

状態設定では様々な不確かさを考慮し、1000年後の状態が覆土完了直後から生じているという保守的な状態を設定する。処分施設とその周辺の状態の変化はとても緩慢であり、線量評価結果のピークが概ね1000年以内にかかるように設計していることから、1000年後は同じ状態が継続すると仮定する。

人工バリアに関しては、埋設設備に用いる鉄筋や、廃棄体のドラム缶、金属廃棄物は、長期的に腐食膨張する可能性がある。一方で、廃棄物の中には長期的に地下水に溶出するものがあり、埋設設備が収縮する可能性もある。

このような長期の埋設設備の変質を、化学的、力学的相互作用を考慮して状態設定している。セメント系材料は、ひび割れにより透水性能は低下するので、長期的には吸着性能を期待する。覆土材料は、変形しても透水性能への影響は小さいことから、長期の透水性能を期待する。Fig.11に難透水性覆土の透水性の設定に用いた力学影響評価の一例を示す[3]。力学的影響に化学的影響を重畳させ、埋設設備を通過する流量を求めるために用いる覆土の透水係数を設定している。

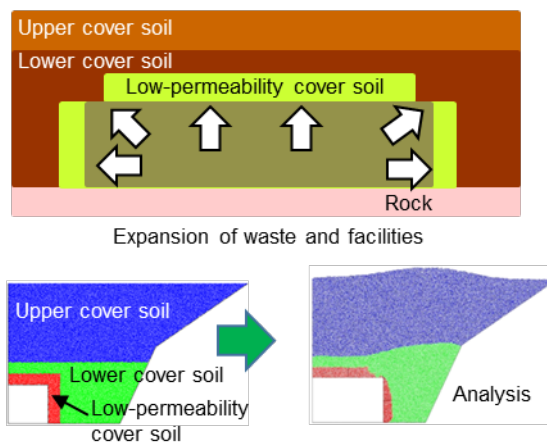


Fig.11 Condition setting of permeability of cover soil

## 7 線量評価結果

Table 1 に、管理期間終了後の線量評価結果を Fig.12 に、3号廃棄物埋設地の線量の経時変化を示す[1,3]。

約300年後の線量の最大値は  $0.088 \mu\text{Sv/年}$  で、その支配核種である C-14 の初期の総放射能量は、 $2.0 \times 10^{12} \text{Bq}$  である。放射性物質の環境への影響が基準を満たす設計となっており、覆土完了後300年で、廃棄物埋設地の保全に関する措置を必要としない状態に移行できる見通しである。



Table 1 Dose Assessment Results

| dose              |                           | No.1<br>( $\mu\text{Sv/y}$ ) | No.2<br>( $\mu\text{Sv/y}$ ) | No.3<br>( $\mu\text{Sv/y}$ ) | splendid<br>( $\mu\text{Sv/y}$ ) | Criteria                          |
|-------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Likely scenario   | inhabitants <sup>*1</sup> | 0.20                         | 0.18                         | 0.088                        | 0.46                             | 10 $\mu\text{Sv/y}$               |
| Unlikely scenario | fisherman <sup>*1</sup>   | 3.3                          | 4.0                          | 3.8                          | 11                               | 300 $\mu\text{Sv/y}$              |
| Human intrusion   | Construction worker       | 5.9                          | 5.8                          | 2.5                          |                                  | 1000 $\mu\text{Sv/y}$<br>(1mSv/y) |
|                   | inhabitants               | 42                           | 31                           | 16                           |                                  |                                   |

\*1 : individuals to be evaluated for the highest dose

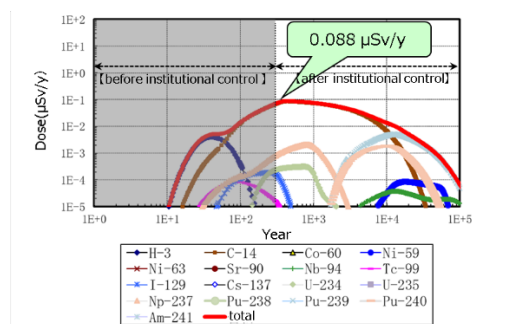


Fig.12 Dose Assessment Results (Rokkasho No.3)

## 8 最適化

長期放射線安全は、長期に由来する不確実性があるため、設計の最適化のために、①放射線学的最適化を図ること、②合理的かつ利用可能な最善の建設・施工技術によること、③地元の自治体等のステークホルダーとのコミュニケーションを図ること、④頑健性のある設計とすること、⑤受動的な安全対策で対応することとしている。

管理終了直後の300年後に、廃棄物を掘り返したと仮定した場合でも10 $\mu\text{Sv/y}$ を大きく超えないことが分かっており、頑健性のある設計となっている。

また、侵食抵抗性のある岩盤内に施設を設置し、施設の変形に追随する低透水性の覆土で覆うことで、受動的な安全対策が採られている。

## 9 まとめ

埋設センターは、原子力発電所から発生する低レベル放射性廃棄物のピット処分の施設として、30年以上安全、安定に操業してきた。

敷地内外のモニタリングでも放射線の増加や放射性物質の移動は確認されておらず、漏出防止機能は保たれている。

引き続きリスクに応じた適切な管理を行い安全を確保する。

## 参考文献

- [1] 日本原燃株式会社：廃棄物埋設事業変更許可申請書、(2021).
- [2] 日本原燃ホームページ, <http://www.jnfl.co.jp/> (accessed 2023-10-20).
- [3] 日本原燃株式会社：廃棄物埋設施設における許可基準規則への適合性について、(2021).