

廃止措置で発生する低レベル放射性物質／放射性廃棄物 管理の最適化～ OECD/NEA の取り組み～

田中 健一（原子力技術センター
参事）



1. はじめに

経済協力開発機構／原子力機関（OECD/NEA）に廃止措置作業部会（WPDD：Work Party of Decommissioning and Dismantling）がある。その傘下に設置された TGOM（Task Group of Optimizing Management）が約3年の活動を経て、2020年11月、廃止措置で発生する低レベル放射性物質管理の最適化に関するレポート“Optimising Management of Low-level Radiation Materials and Waste from Decommissioning”（廃止措置で発生する低レベル放射性物質／放射性廃棄物管理の最適化）を発表した⁽¹⁾。筆者はこの TGOM に、プロジェ

クトの開始を宣言するキックオフミーティングから参加し、欧米の技術者たちとの議論と作業を通して多くの知見を得た。

本稿では、このレポートの概要紹介に加え、筆者が得た知見について紹介する。

2. レポートの概要

（1）“Introduction” について

図1にレポートの表紙と目次を示す。第1章“Introduction”では、レポートの目的と適用範囲が示されている。レポートの目的は、放射性廃棄物管理の最適化を実現するために必要な政策、規制の枠組みおよびそれを実施

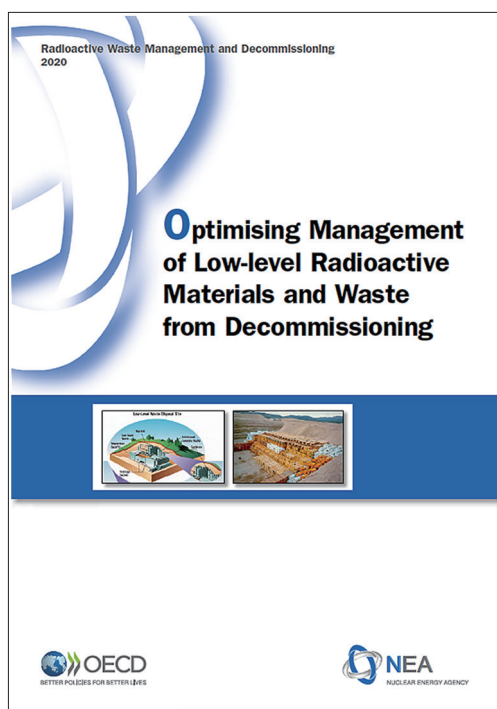


TABLE OF CONTENTS	
Table of contents	
List of abbreviations and acronyms	7
Chapter 1. Introduction	9
1.1. Objectives	10
1.2. Scope	10
1.3. Organisation of the report	11
Chapter 2. Background	13
2.1. (V)LLW generation during decommissioning	14
2.2. (V)LLW management	17
2.3. The optimisation context	19
2.4. Lessons learnt/success factors and barriers	21
Chapter 3. Drivers for optimisation	23
3.1. Safety and environment	23
3.2. Characterisation	31
3.3. Enabling infrastructure	40
3.4. Stakeholder involvement	47
3.5. Economic and financial aspects of (V)LLW management	51
Chapter 4. Conclusions	55
Chapter 5. Potential future work	59
References and recommended reading	61
List of appendices	
A: Country information	63
B: Case studies	100
List of figures	
1-1: Factors influencing radioactive waste management	12
2-1: Graphs of the different aspects of decommissioning waste created during the phases of a project	14
2-2: Simplified decommissioning radioactive waste management process flow diagram	15
OPTIMISING MANAGEMENT OF LOW-LEVEL RADIOACTIVE MATERIALS AND WASTE FROM DECOMMISSIONING, NEA No. 745, © OECD 2020	
5	

図1 レポートの表紙と目次⁽¹⁾

していくための戦略の決定を行うための高次の判断に係るガイダンスを与えるものであり、単に放射性廃棄物管理の最適化を実現するために現場で用いられる技術を紹介するものではない。ここでいう「最適化」とは、放射性廃棄物の管理における環境条件／リソースを最大限に、かつ、最も効果的に利用することである。最適管理の対象は、図2に示す国際原子力機関（IAEA）の分類における低レベル放射性廃棄物（Low Level waste (LLW)）と Very Low Level Waste (VLLW) である。低レベル放射性廃棄物の分類および分類毎の取扱いは国ごとに違いがある。このレポートは、その違いを踏まえ、各国間で共通に参照できる低レベル放射性廃棄物の考え方を示すものである。

（２）“Background” について

第2章は“Background”である。ここでは「背景」として、廃止措置で発生する放射性廃棄物管理の最適化を行っていくための前提、

知っておくべき知識／知見についての説明がなされている。すなわち、最適化を進めていこうとする者が、その人の“Background”として有しているべき知識／知見について解説している。

① 廃止措置期間中の放射性廃棄物の発生について

第2章では、最初に、廃止措置を成功裡に終了するために必要となる放射性廃棄物の管理とそれを実現するための要件が示されている。次に、廃止措置期間に、LLW と VLLW が廃止措置の進捗に従いどのように発生してくるのかについて紹介されている。また、管理の最適化の前提として、廃止措置の進捗、進捗に伴って行う廃棄物の管理、そしてクリアランス物の管理について概説している。第2章では、IEAE が提唱する3つの廃止措置の戦略が廃棄物の発生時期と発生量に与える影響が示されている。（現在IAEAは、廃止措置として選択する戦略から“Entombment”

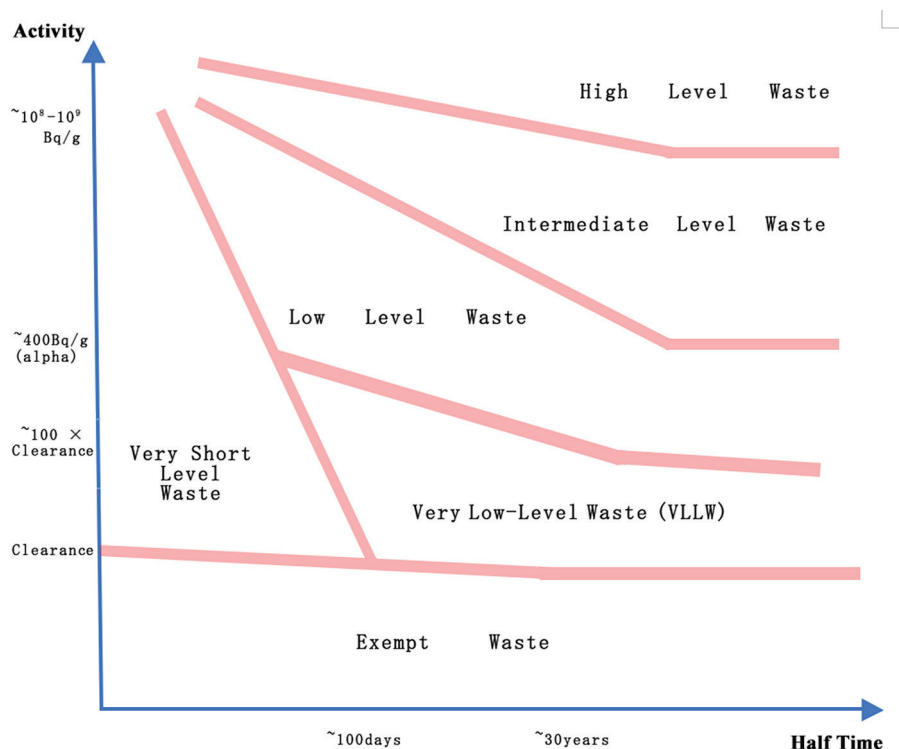


図2 IAEAが提唱する放射性廃棄物の分類⁽²⁾

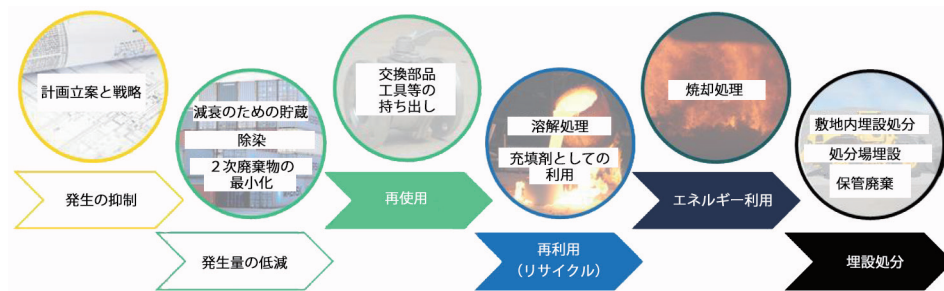


図3 最適化における最も好ましい選択（左端）から最も有利でない選択（右端）⁽¹⁾

を除外し、選択すべき戦略を“Immediate”と“Deferred”の2つとしているが、NEAの加盟国の中には“Entombment”を採用している国もあるので、ここでは「3つ」としている。）

② LLW および VLLW の管理について

放射性廃棄物管理の最適化を行う際に行うべきことが段階的に示されている。このレポートでは、図3に示すように、これを“Waste hierarchy from the most to least favourable option”（最適化における最も好ましい選択から最も有利でない選択）と呼んでいる。

放射性廃棄物管理の最適化において最初に行うべきことは、発生量の抑制を可能とする計画の立案および戦略の策定である。このレポートでは、放射性廃棄物管理の計画は、廃止措置対象施設の特性（施設内に残存する放射性物質の種類、性状および物量）を反映したものであり、その計画を支え実現していくための戦略を立てることが必須であるとしている。このような計画および戦略の下で段階的に行っていくべきことが、次のような順序で示されている。

- **発生量の低減**：廃止措置対象施設に残存する放射性物質が減衰することを利用して放射性廃棄物として扱う物量を低減すること、除染により物量を低減することおよび廃止措置工事の実施によって新たに発生する2次廃棄物の発生防止を行うこと
- **再使用**：廃止措置対象施設の中にある交換部品や工具などで再使用が可能なものを施設外に持ち出して再使用していくこと。施設内で使用したことで放射性物

質による汚染の恐れがあるものであっても、除染など適切な処理を行うことで再使用を可能にし、発生する廃棄物の物量を低減していくこと。

- **再利用**：再使用ができないものまたは施設の解体によって発生したものを、例えば金属であれば溶解して再利用していくこと、若しくは、より高いレベルの放射性廃棄物の廃棄のために作成される廃棄体などの詰め物として利用することなど資源としての再利用を図ること
- **エネルギー利用**：再使用または再利用ができないもので可燃性のものは焼却し、その熱を利用するもの。また、焼却することで廃棄物の減容も実現できる。
- **埋設処分**：上記「発生量の低減」から「エネルギー利用」の処置をしてもなお放射性廃棄物として残るものについて埋設処分を行うこと。ここでいう埋設処分には、施設内埋設と処分場埋設に加え廃棄保管も選択肢に含まれる。

ここに示される「最も好ましい選択から最も有利でない選択」という段階の設定は、レポートの中で明示されている訳ではないが、放射性廃棄物であっても、再使用および再利用を促進し、循環型社会における「捨てるもの」を可能な限り低減していくという考え方を根底にしている。そして、このような段階的な取り組みは各国間で共有され実施されていくべきもので、国際的な標準化と協調が重要であるとしている。

③最適化を進めることに影響を及ぼすもの（外的要因）

廃止措置で発生する放射性廃棄物の管理の最適化に影響を及ぼす外的な要因として、次の3つが挙げられている。

- **安全**：安全は原子力利用における基本である。安全に関わることもおよび放射線防護に関わることを確実にすることは、廃止措置および放射性廃棄物管理においても基本であることは変わらない。
- **原子力施設の利用世代への期待**：原子力施設の利用世代とは、原子力施設が存在したことによる恩恵を得た世代のことを指す。この世代は、廃止措置で必要となる財政的、技術的および科学的資源が利用を通して、長期にわたる廃止措置および放射性廃棄物管理の期間にわたり放射性廃棄物が安全に管理されることを保証する義務を果たしていくことが期待されている。これは、この世代に対して“将来世代に過度の負担を強いることがあってはならない”ということを確認していくことを期待されていることを指している。
- **持続可能性**：廃止措置および放射性廃棄物管理の期間が長期にわたることから、持続可能性の概念は最適化の柱である。

これら3つの外的な要因は、放射性廃棄物の発生から最終処分に至る管理の最適化において常に意識されるべきものとされている。

④ 良好事例 / 成功要因および成功の阻害要因

良好事例とはいふものの、個別具体的な事例が示されている訳ではない。ここでは放射性廃棄物管理の最適化を成功させる要因とそれを阻害する要因に関わる事項が順不同で示されている。このうちの主なものは次の通りである。

- 戦略的な放射性廃棄物管理の計画が、廃止措置のプロジェクトのライフサイクルの全てを通して適用されるべきである。ここでいう戦略的な放射性廃棄物管理の計画とは、廃止措置のプロジェクトの全ての段階において、廃止措置の進め方およびそれに伴い発生する放射性廃棄物の発生と管理について確固たる計画がなされているものをいう。このプロジェクトでは、適切なロジスティックとデータ管理が実現されていなければならない。
- 廃止措置の開始時点における施設の特性の把握 (characterization: 特性評価) が重要である。廃止措置で発生する放射性廃棄物の分類を可能とするために、効果的な特性評価を適切な時期に、適切な範囲に対して実施しなくてはならない。
- 理想的な終了の状態ならびにそれを実現するための計画立案および意思決定の過程では、ステークホル

ダーの関与がなされていなければならない。

- 放射性廃棄物管理の最適化を行う際に段階的に行うべきことの適用は、施設の特性調査の結果に基づくものでなければならない。また、再使用や再利用などの適用では、その実現に最も効果的な技術を用いることを可能とする分析や評価がなされていなければならない。
- 放射性廃棄物管理の最適化において安全を確実にするためには、柔軟で、いくつかの異なる管理のあり方の選択肢を想定しておかなければならない。
- 適正な政策、明確な規制の枠組みおよび事業者の戦略は、放射性廃棄物管理の最適化における重要要因である。
- ステークホルダーは、プロジェクトの初期から関与すべきである。ステークホルダーとの強固な良好関係は放射性廃棄物管理の最適化における重要要因である。

(3) 最適化の原動力

第3章は“Drivers for optimization” (最適化の原動力) である。本稿で“Drivers”を「原動力」と訳した理由は、この章で挙げられている5つの事項を実施していくことが放射性廃棄物管理の最適化を推進することだからである。

原動力として挙げられている事項は、図4の通りである。5つの事項は計画と戦略によって統治され、相互に調整されるものである。

① 安全と環境保護

(a) 安全について

廃止措置で発生する放射性廃棄物管理の最適化を進めていく状況下の安全では、放射線被ばくハザードおよび労働災害のハザードの両面に対する配慮が求められる。また、このような管理は、包括的な安全の枠組みの中で行われることが必要であり、以下の事項を考慮する。

- 廃棄物管理・処理処分に関連する法令の枠組み
- 持続可能性
- 廃棄物管理・処理処分を最適化するために不可欠な費用

上記3つの事項それぞれに対し、最適化に関連する実際的な課題を考慮せねばならない。

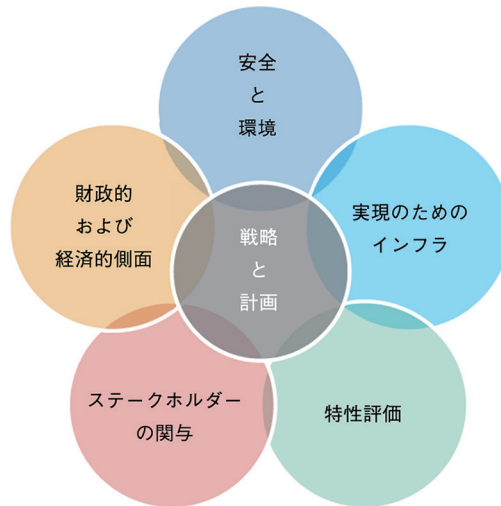


図4 最適化の原動力⁽¹⁾

また、廃棄物、再使用／再利用を想定する資材を搬出するための全ての活動は、廃棄物管理の枠組みの下で行われる。この枠組みは、施設内での活動および施設外（オフサイト）での活動を網羅するものである。なお、この活動には、廃棄物、資材の再使用／再利用または埋設処分のいずれもが含まれる。

(b) 環境保護について

廃止措置対象施設から環境に放射性廃棄物を持ち出した場合に想定される被ばくの経路としては次がある。

- 放射性物質の大気、若しくは、河川または海洋への放出
- 敷地内または敷地外での保管／貯蔵
- 浅地中埋設処分および地層埋設処分
- 廃棄物の輸送
- その他

このような被ばくの経路を踏まえ、環境保護はセーフティケース（ESC：Environment Safety Case）を用いて達成していく。このような ESC では、放射性廃棄物の取扱いの最適化が達成できるような枠組みが提供されるものでなければならない。この ESC には、次の事項が含まれなければならない。

- 保護すべき対象となる環境が特定されていること

- 放射性廃棄物の取扱いの最適化が達成できる枠組みとなっていること
- 放射性廃棄物を敷地内に埋設する場合、それが安全に実施できる（できている）ことを実証すること
- 埋設施設にいかなる残留する汚染が存在するとしても、安全であることを示すこと
- 施設内に埋設する場合における廃棄物の受け入れ条件（WAC：Waste Acceptance Criteria）を整備すること
- 汚染された土壌や敷地（埋設地）内の構造物を清浄化する目標が定められていること
- 放射性廃棄物の取扱いの最適化において、敷地（埋設地）の全体における環境保護に関連する事項が考慮されていること
- 将来のある時点において、その敷地（埋設地）が規制上の管理から解放される可能性があることを示すこと

② 特性評価

特性評価（characterization）の目的は、廃止措置対象施設および管理すべき放射性廃棄物に係る事実を把握することである。評価結果は、放射性廃棄物の処理／分類（区分）を検討する際に必須な情報となる。

廃止措置対象施設および放射性廃棄物の特性評価では、以下の事項を明確にする。

- 物理的な特性および性状
- 化学的な特性および性状
- 放射性物質としての特性および性状

これらの特性および性状が安定であるかどうかは、放射性廃棄物の取扱い（解体、構内移動、仮置きなど）、処理（貯蔵／保管または埋設のための容器への封入など）、貯蔵または保管および埋設を検討する際に必須な情報である。

また、原子力施設のライフサイクル全般にわたり、どのような目的で特性評価を実施するのか、および、そのためにどのようなタイミングで行うかということを検討しておく必要がある。特性評価を行うタイミングとしては、設計、建設、運転／供用および廃止措置への移行期間が該当する。

③ 実現のためのインフラ

廃止措置対象施設で利用可能なインフラは、廃止措置で発生する放射性廃棄物管理の最適化に大きな影響を及ぼすものである。すなわち、利用可能なインフラは、廃止措置の期間に実施される放射性廃棄物管理の進め方とそれを行うことによる成果を最適化していくため重要要因なのである。

放射性廃棄物管理のライフサイクルの中で利用可能となるインフラには次がある。

- **計画と準備**：廃棄物管理の戦略策定、廃棄物管理の計画立案および特性評価を効果的および効率的に実施可能とする情報管理システム（データベースなど）
- **廃棄物処理と容器封入**：解体によって発生した撤去物の分類および分離を行う施設、減容施設、除染設備、熱的、化学的および物理的処理施設、安定化装置および容器封入施設
- **貯蔵**：処理前の解体撤去物の貯蔵施設、分別された廃棄物の貯蔵施設、中間貯蔵施設および放射能減衰のための貯蔵施設
- **埋設**：埋め立て施設、敷地内埋設施設、浅地中および中深度埋設施設および地層埋設施設

④ ステークホルダーの関与

ステークホルダーの関与（良好な関係の構築）は、効果的かつ効率的な廃止措置の実施、および廃止措置によって発生する放射性物質で汚染した撤去物の管理の最適化を実現して

原動力の1つと言える。事業者、規制当局および政府は、法令の枠組みを含め、ステークホルダーの関与において要求される事柄について誠実に対応していくことが求められる。また、廃止措置、廃棄物管理の計画および個別の作業の責任者には、ステークホルダーとの関係維持は十分な配慮が求められる。

ステークホルダーの関与として目指すべきものは、廃止措置および放射性廃棄物管理における協働であり、これらの事業に関するパートナーシップの実現である。

ステークホルダーとの関係の維持の第一義の責任は事業者にあるが、政府は政策という面で、規制当局は効果的な規制の枠組みの構築と規制の実行という面で事業者の後押しをしていくものである。

⑤ 経済的および資金的側面

廃止措置や放射性廃棄物管理の事業は利得を得るものではない。これらの事業は、事業に要した費用を回収することはできない、すなわち、事業者が準備した資金は、事業の進捗に伴い減額していくだけということである。このような事業の特徴を踏まえると、事業者は廃止措置および廃棄物処理処分のライフサイクルを通じた資金の確保をしておかなければならない。事業における支出予測のプロファイル、支出の監察および見積りからの大幅な逸脱に対する是正措置の策定をしておかなければならない。また、経済状況の変動に伴い将来に必要となる費用の上昇を引き起こす可能性のある廃棄物の大量な貯蔵／保管を計画することは避けるべきである。

3. まとめ

筆者は、本稿の冒頭に述べたように、このレポートを作成するタスクチームに参加した。最後に、このチームでの議論や作業を通して得られた知見に基づき日本の実情について考察する。

国内においては、原子力施設から発生する放射性廃棄物は、いわゆる「核のゴミ」という言い方に象徴されるように、他の産業から発生してくる廃棄物とは全く異なる扱いとなっているという事実がある。高レベル放射性廃棄物（High Level Waste: HLW）や中深度処分相当の低レベル放射性廃棄物（Intermediate Level Waste: ILW, L1）が人と環境に与える影響は、他の産業から発生する廃棄物の物とは全く異なるレベルの有害さであることから、それに応じた科学的かつ工学的な取扱いが必須であることは言うまでもない。一方、ピット処分相当（Low Level Radioactive Waste: LLW, L2）またはトレンチ処分相当（Very Low Level Radioactive Waste: VLLW, L3）の低レベル放射性廃棄物についての取扱いは、その有害さに応じたものとすべきである。放射性廃棄物が人や環境に有害な影響を与えるのは事実であるが、他の産業で発生する有害な廃棄物と同様に、人と環境に与える影響の程度に応じて適切に扱われるべきである。

チームのメンバーとの議論を通して得られたことの1つとして、欧米の人たちは、低レベル放射性廃棄物の有害な影響は、他の産業で発生している産業廃棄物に含まれる有害物と同じような扱いをすべきであると考えているということがある。低レベル放射性廃棄物に分類される程度の放射性物質は、例えばアスベストや有機鉛など同じ有害物の1つとして見ている。そうあれば、敢えて特別扱いをするのではなく、有害な影響の程度に応じた処理処分が合理的であり、かえって安全性を向上することにもなると言える。

放射性物質の特徴の1つとして、放射性物質毎に固有の半減期があり、それに従って放射能が減衰していくことがある。すなわち、放射性物質の有害な影響も経年で低減していく。IAEAの提唱する放射性廃棄物の分類では、図2で示したように、放射能の大きさと半減期によって廃棄物のレベルが定まる。放

射性物質の特徴を考えれば、有害な影響を放射能の大きさだけでなく、影響を与える期間を含め判定するIAEAのような分類法は合理的であり、最適化には不可欠な考え方であると言える。

また、原子力施設の廃止措置で発生する廃棄物を特別扱いしていることで、再使用／再利用の促進を妨げているとも言える。このレポートは、「最も好ましい選択から最も有利でない選択」を通して「捨てるものを最小化する施策」が国際的にも共通的に取り組まれているとしているが、国内ではこのようなことが活発に行われていると言える状況にはない。例えば、クリアランス制度は導入されて10年程度が経過しているが、この制度が広く普及しているとは言えない。

このような状況となっている原因の1つに「特別扱い」があると言える。この「特別扱い」の背景には、原子力、放射線利用に係る世論の厳しさがあるのではないだろうか。このレポートでは、「ステークホルダーとの良好な関係が最適化の原動力である」と言っている。原子力施設の利用世代として、事業者がステークホルダーと協働しパートナーシップを結んでいくような努力を払っていかなければならない。クリアランス制度の広い普及には、信頼の醸成が不可欠である。また、廃止措置および放射性廃棄物管理の計画の信頼性の向上もステークホルダーの信頼の醸成と強く結びついている。そこでは、科学的、工学的な信頼性に基づく合理的で説明性の高い特性評価の実施が重要であろう。信頼性の高い事実の提示こそが信頼醸成の第一歩である。そして、事実に基づいて安全が確保され、合理的な廃止措置と放射性廃棄物管理、すなわち、最適化を行うことをきちんとステークホルダーに説明していくべきである。

国内では、原子力発電所だけでなくその他の多くの原子力施設の廃止措置に取り組んでいかなければならない。そのような状況下では大量の放射性廃棄物が発生してくる。筆者

は、このレポートが、放射性廃棄物の管理の最適化、それによる安全で効率的かつ効果的な廃止措置の推進の一助となることを期待している。

最後に、筆者が TGOM 活動に参加した当時 OECD/NEA に出向され現地で勤務されていた舟木健太郎氏（現資源エネルギー庁）および大塚伊知郎氏（現原子力規制庁）には、現地で大変お世話になりました。特に、欧米のメンバーの考え方に係る示唆は、彼らの言動を理解する上で大変有用なものでした。この場を借りてお二人に改めて感謝いたします。

参考文献

- (1) "Optimising Management of Low-level Radiation Materials and Waste from Decommissioning, OECD, NEA No.7425, 2020," https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_47447/optimising-management-of-low-level-radioactive-materials-and-waste-from-decommissioning
- (2) Hartwig Freieslebe, "Final disposal of radioactive waste," The European Physical Journal Conference 53:01006-10.1051/epjconf/20135401006, 2013