

ウラン廃棄物の処分および クリアランスに関する海外の状況

平成 26 年 6 月

独立行政法人日本原子力研究開発機構
電気事業連合会
日本原燃株式会社
株式会社グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン
三菱原子燃料株式会社
原子燃料工業株式会社
株式会社ジェー・シー・オー

本報告書は、国会図書館に納本した報告書に、同じく納本した正誤表の内容を反映している。

【はじめに】

原子力施設の運転に使用されるウラン燃料は、その原料となるウラン鉱石から、製錬、転換、濃縮、再転換、成型加工などの工程を経て製造される。これらの各工程や、施設の廃止措置からウランに汚染された放射性廃棄物（以下「ウラン廃棄物」という）が発生する。また、ウランを使用する研究施設等からもウラン廃棄物は発生する。これらのウラン廃棄物は、現在各発生事業者で安全に保管されているものの、保管能力や将来の廃止措置等の関係から、適切な時期にクリアランス・処分する必要がある。

これまでに、クリアランスに関しては、金属状のウラン廃棄物に限定した法制度が整備された（製錬事業者等における工場等において用いた資材その他の物に含まれる放射性物質の放射能濃度についての確認等に関する規則および試験研究の用に供する原子炉等に係る放射能濃度についての確認に関する規則）ものの、埋設処分に関しては、未整備の状態であり、早期の制度化が望まれている。

今後、制度化の検討を進めるにあたっては、諸外国における処分の実態を十分調査把握し、参考とすることが必要である。

なお、諸外国においては、ウランを含有する放射性廃棄物の処分実績はあるものの、「ウラン廃棄物」という廃棄物の分類（定義）はないため、ウラン廃棄物に特化した濃度上限値等の規制・基準がないことに留意が必要である。

このような背景の下、国際機関および各国のウラン廃棄物に係る処分に係る規制、処分の実態について調査したものが本報告である。わが国におけるウラン廃棄物の処分に関する規制・制度のあり方を議論する際の参考として活用されることが望まれる。

情報の確認や整理にあたっては、公開されている文献や各機関のホームページなどを参考にし、事実関係を重視してそのまま整理、記載することに心がけた。本書の構成は以下のとおりである。

第Ⅰ章では、各国際機関の勧告等および各国の処分場の現状について整理した。

第Ⅱ章では、第Ⅰ章で収集・整理した事実に基づき、ウラン廃棄物処分の課題について各機関、各国処分場の状況を横断的に分析した。第Ⅰ章と第Ⅱ章は、縦串（機関、処分施設毎）と横串（調査項目毎）の関係であると理解していただきたい。

なお、最新情報に基づく検討の重要性から、本報告書の内容については、今後適宜見直しが必要と考えている。

2014年6月

独立行政法人 日本原子力研究開発機構
電気事業連合会
日本原燃 株式会社
株式会社 グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン
三菱原子燃料 株式会社
原子燃料工業 株式会社
株式会社 ジェー・シー・オー

目次

I. 国際機関・諸外国の基準、規制状況および処分場における処分状況	9
1. 国際機関の基準の概要	9
1.1 ICRP	9
(1) Publication-46 放射性固体廃棄物処分に関する放射線防護の諸原則	9
(2) Publication-60 国際放射線防護委員会の1990年勧告	9
(3) Publication-65 家庭と職場におけるラドン-222に対する防護	9
(4) Publication-77 放射性廃棄物の処分に対する放射線防護の方策	10
(5) Publication-81 長寿命放射性固体廃棄物の処分に適用する放射線防護勧告	10
(6) Publication-82 長期放射線被ばく状況における公衆の防護	11
(7) Publication-103 国際放射線防護委員会の2007年勧告	11
(8) Publication-104 放射線防護の管理方策の適用範囲	12
(9) Publication-115 ラドンと子孫核種の肺がんリスクとラドンについての宣言	12
1.2 IAEA	13
(1) General Safety Requirements Part3 (GSR Part3 (Interim))	13
(2) RS-G-1.7 (2004) 「規制除外、規制免除およびクリアランスの概念の適用」	13
(3) GSG-1 (2009) 「放射性廃棄物の分類」	14
(4) WS-G-1.2 (2002) 「鉱石の採鉱および粗製錬から発生する放射性廃棄物の管理」	14
(5) SSR-5 (2011) 「放射性廃棄物の処分」	14
(6) SSG-23 (2012) 「放射性廃棄物処分施設のセーフティケースと安全評価」	15
(7) SSG-29 (2014) 「放射性廃棄物の浅地中処分施設」	15
(8) DS-421 (2011 (ドラフト)) 「居室内のラドンと天然起源の被ばくに対する防護」	17
1.3 EU	17
(1) EU-BSS	17
a. Council Directive 96/29/EURATOM (1996) 「電離放射線からの作業者と一般公衆の健康を防護するための安全基本原則 (Basic Safety Standard) の制定」	17
b. Council Directive 2013/59/EURATOM (2013) 「電離放射線からの被ばくを防護するための安全基本原則 (Basic Safety Standard) の制定」	18
(2) RP-65 (1993) 「EU 指定書における免除レベル (放射能濃度と放射能) の原則とその方法」	18
(3) RP-89 (1998) 「原子力施設の廃止措置から発生した再利用金属に関する推奨する放射線防護基準」	19
(4) RP-113 (2000) 「原子力施設の廃止措置から発生する建物と建物のコンクリートからのクリアランスの推奨する放射線防護基準」	20
(5) RP-122 「クリアランスおよび規制免除の概念の実践的な使用」	20
a. RP-122 part I (2000) 「行為に対する一般クリアランスレベルに関するガイダンス」	20
b. RP-122 part II (2001) 「規制免除とクリアランスの概念の自然放射線源への適用」	21

2. 各国の規制・基準の概要 (規制当局)	22
2.1 米国 (NRC/EPA/州政府)	22
(1) 10CFR61 「放射性廃棄物の浅地中処分のための許可要件」 (NRC)	22
(2) 10CFR61 改定案 (NRC-2011-0012-0045 の記載事項に準拠)	24
(3) TAC 「テキサス州行政規則」 (TCEQ 「テキサス州環境品質委員会」)	25
(4) UAC 「ユタ州行政規則」 (UDEQ 「ユタ州環境品質局」)	26
(5) 40CFR192 「ウランおよびトリウム鉱さいからの健康および環境の防護」 (EPA)	27
(6) DOE M 435.1-1 「放射性廃棄物管理マニュアル」 (DOE)	27
2.2 カナダ (CNSC カナダ原子力安全委員会)	28
(1) P-290 「放射性廃棄物管理に係る規制政策」 (CNSC) (2004)	28
(2) G-320 「放射性廃棄物管理の長期安全性評価に係る規制指針」 (CNSC) (2006)	29
2.3 英国 (SEPA/EA) (スコットランド環境保全庁、イングランド環境省)	29
(1) GRA2009 固体放射性廃棄物の浅地中処分に関する認可の要求に関する ガイダンス (SEPA, EA)	29
(2) SC030162/SR1 (2006) 最初に行う放射線評価手法 第一部 ユーザー報告 (EA)	30
(3) Project UKRSR03 (改訂 2010) 管理型処分場で固体放射性廃棄物を受け入れる妥当性を 評価するフレームワークの開発: 技術基準マニュアル (通称 Sniffer Manual)	30
(4) EPR2010 環境許可規則 (イングランド環境省、ウェールズ環境省)	30
2.4 フランス	31
(1) RFS I-2 (1984) 安全基本原則 短・中寿命かつ低・中レベル放射性廃棄物の 地表処分に関する安全目標および基本設計規則	31
(2) RFS I-2 (Ref No. 4) (1984) 地表処分場から生じ得る様々な放射線学的影響の研究	31
2.5 ドイツ (BfS 連邦放射線防護局)	31
(1) StrlSchV (2012) ドイツ放射線防護令	31
2.6 スウェーデン (SSM 放射線安全機関)	31
(1) SE SSMFS 2008 : 21 (スウェーデン放射線安全機関による放射性物質や放射性 廃棄物の処分に係る安全に関する規制と一般的な助言) および SE SSMFS 2008 : 37 (使用済燃料および原子力廃棄物の最終管理における人間の健康と環境の保護に関 する規則)	31
(2) SE SSMFS 2011 : 2 (スウェーデン放射線安全機関による電離放射性に係る 行為における対象物、部屋、建物、土地のクリアランスに関する規制と 一般的な助言)	32
3. 処分場の概要	33
3.1 米国	33
(1) リッチランド処分場 (対象: 低レベル放射性廃棄物)	33

(2) バーンウェル処分場 (対象：低レベル放射性廃棄物)	34
(3) クライブ処分場 (劣化ウラン) (対象：低レベル放射性廃棄物)	35
(4) テキサス WCS 社処分場 (対象：低レベル放射性廃棄物)	37
3.2 カナダ	39
(1) ポートホープ長期廃棄物管理施設 (対象：環境修復廃棄物 (産業廃棄物を除く))	39
3.3 英国	40
(1) ドーンレイ処分場 (対象：低レベル放射性廃棄物—解体廃棄物含む—)	40
(2) ドリッグ処分場 (対象：低レベル放射性廃棄物	40
(3) クリフトンマーシュ処分場 (対象：産業廃棄物—LLW 含む—)	40
(4) リリーホール処分場 (対象：産業廃棄物—VLLW 含む—)	41
(5) キングスクリフ処分場 (対象：産業廃棄物—LLW 含む—)	41
3.4 フランス	42
(1) ラマンシュ処分場 (対象：放射性廃棄物)	42
(2) オーブ処分場 (対象：放射性廃棄物)	42
(3) モルヴィリエ処分場 (対象：極低レベル放射性廃棄物)	42
(4) FA-VL 処分場 (対象：長寿命低レベル放射性廃棄物)	43
3.5 ドイツ	43
(1) コンラッド処分場 (対象：放射性廃棄物—計画中—)	43
(2) ヴィスムート処分場 (廃ウラン鉱山)	43
3.6 スウェーデン	44
(1) サカブ処分場 (対象：産業廃棄物、ウランのクリアランス対象物)	44
(2) SFR 処分場 (対象：低レベル放射性廃棄物)	44
(3) グリタ処分場 (対象：産業廃棄物、ウランのクリアランス対象物)	44
(4) リサンゲン処分場 (対象：産業廃棄物、ウランのクリアランス対象物)	44
I 章引用文献リスト	46

II. ウラン廃棄物の処分に係る情報の整理	52
1. 処分に係わる各国の制度のまとめ	52
1.1 埋設処分	52
(1) 濃度上限値の設定	52
a. 諸外国の規制・基準	52
b. 各国の処分場における基準等	52
(2) 技術基準 —ウラン廃棄物特有で求められる廃棄体の技術基準・廃棄体要件	52
a. 国際機関	52
b. 米国	53
c. 欧州	53
i フランス	54
ii 英国	54
iii スウェーデン	54
iv ドイツ	54
(3) 安全評価 (地下水シナリオおよび人間侵入シナリオ)	55
a. 安全評価における目安線量	55
b. 安全評価期間	56
c. 人間侵入シナリオの考え方	58
d. 安全評価モデル	59
i ウランの子孫核種のビルドアップの取扱い	60
ii 長期の人間侵入シナリオの評価において、処分場のインベントリ設定における 処分場から移行した放射エネルギーの考慮	60
iii 人間侵入の評価経路	60
iv 地下水シナリオの評価経路	61
v 長期自然現象の取扱い	61
vi 安全評価における放射能線源の設定方法	61
1.2 産廃処分	62
(1) クリアランス埋設	62
(2) VLLW	62
2. 制度的管理について	63
2.1 埋設施設における管理期間 (埋設・保全段階)	63
(1) 国際機関の出版物における記述	
a. ICRP Publication-46 「放射性固体廃棄物処分に係る放射線防護の諸原則」	63
b. ICRP Publication-81 「長寿命放射性固体廃棄物の処分に適用する放射線防護勧告」	63
c. IAEA WS-G-1.2 (鉱石の採鉱および粗製錬から発生する放射性廃棄物の管理)	63
d. IAEA SSR-5 (放射性廃棄物の処分)	63
e. IAEA SSG-23 (放射性廃棄物処分施設のセーフティケースと安全評価)	64
f. IAEA SSG-29 (放射性廃棄物の浅地中処分施設)	64
(2) 米国	64

(3) フランス	64
(4) カナダ	65
(5) 英国	65
2.2 埋設施設における管理期間終了後の取扱	65
(1) 米国	65
(2) 英国	65
(3) スウェーデン	66
(4) ドイツ	66
3. ラドンの扱いについて	67
3.1 国際機関の考え方	67
(1) ICRP 勧告	67
(2) IAEA の安全指針、基準	67
(3) EU が示した安全指針、安全基準 (EU-BSS, RP-65, RP-89, RP-113, RP-122)	67
(4) WHO が示した安全指針、安全基準 (WHO 屋内ラドンハンドブック)	67
3.2 各国の考え方	68
(1) 米国	68
a. 規制基準	68
b. 各処分場の対策状況	68
i. テキサス WCS 社処分場	68
ii. クライブ処分場	68
iii. リッチランド処分場	69
(2) カナダ	69
a. 規制基準	69
b. ポートホープ長期廃棄物管理施設の対策状況	69
(3) フランス	69
a. 規制基準	69
b. 各処分場の対策状況	69
i. オープ処分場	69
ii. モルヴィリエ処分場	70
iii. FA-VL 処分場	70
(4) 英国	70
a. 規制基準	70
b. 各処分場の対策状況	70
i. ドリッグ処分場	70
ii. クリフトンマーシュ処分場	70
(5) ドイツ	71
a. 規制基準	71
b. コンラッド処分場の対策状況	71

(6) スウェーデン	71
a. 規制基準	71
b. 各処分場の対策状況	71
i. グリタ処分場	71
ii. リサンゲン処分場	71
3.3 ラドン評価	71
(1) 処分場におけるラドン規制の考え方(人間侵入シナリオ)	71
(2) 処分場におけるラドン規制の考え方(一般公衆)	72
(3) ラドン線量基準の取り扱い	72
(4) ラドンの線量評価の実施について	73
(5) 評価期間の考え方	74
(6) 産廃処分場へのウラン廃棄物の処分	74
3.4 まとめ	74
4. NORM 規制について	76
4.1 はじめに	76
4.2 ウラン廃棄物の扱いについて	76
4.3 ウラン鉱石の鉱さいと制度的管理について	76
4.4 現存被ばくの考えの適用	77
4.5 NORM 廃棄物の処分の例	77
(1) クライブ処分場	77
(2) リッチランド処分場	77
(3) リリーホール処分場	78
(4) 鉱山跡地管理等の例	78
4.6 まとめ	78
5. その他(臨界管理、PP 管理、化学毒性、コスト評価等)	79
6. ウラン廃棄物の海外における処分方法のまとめ	87
6.1 ウラン系廃棄物の発生状況の整理	87
6.2 ウラン廃棄物の安全規制上の分類と処分	87
6.3 ウラン鉱さい等廃棄物	87
6.4 ウラン廃棄物と他の廃棄物との混合処分	87
6.5 長寿命低レベル廃棄物の処分	88
6.6 ウラン廃棄物の産廃処分	88
II 章引用文献リスト	89

表 目次

表 I-1	10CFR61.55 により規定される核種(1)	22
表 I-2	10CFR61.55 により規定される核種(2)	23
表 I-3	EPR2010 に基づく放射性廃棄物の規制が免除される VLLW	30
表 I-4	ドイツ放射線防護令に記載のクリアランスレベル (抜粋)	31
表 I-5	SE SSMFS 2011:2 に示されるクリアランスレベル (抜粋)	32
表 I-6	廃棄物の処分料金 (\$/ft ³)	38
表 I-7	ウラン廃棄物処分各国比較表	46
表 II-1	各国の規制機関における安全評価の設定方法に係る記載 (1/2)	62
表 II-1	各国の規制機関における安全評価の設定方法に係る記載 (2/2)	62
表 II-2	各国の処分施設における安全評価の設定方法に係る記載 (1/2)	62
表 II-2	各国の処分施設における安全評価の設定方法に係る記載 (2/2)	62
表 II-3	計算された人口 100 万人当たり肺がんによる生涯死亡リスクの分布 (平均線量 0.2WLM/年、標準偏差 2.5)	73
表 II-4	各国におけるラドンの評価	76
表 II-5	現存被ばく状況と参考レベル	77
表 II-6	臨界管理、PP 管理、化学毒性、コスト評価等調査結果	79
表 II-7	各国処分場における臨界管理の状況	81
表 II-8	各国処分場における化学毒性に関する規制の状況	82
表 II-9	各国処分場における PP 管理の状況	84
表 II-10	各国処分場における処分コストの調査結果	85

I. 国際機関・諸外国の基準、規制状況および処分場における処分状況

1. 国際機関の基準の概要

1.1 ICRP

(1) Publication-46 放射性固体廃棄物処分に関する放射線防護の諸原則¹⁾

この報告書は、放射性固体廃棄物の処分に対する放射線防護の原則をまとめたものであり、後述の各勧告等の基礎となる重要な概念、原則が示された文書である。内容は、放射性廃棄物と管理の選択肢、放出シナリオの特徴、放射線防護の基本原則、個人線量の限度、線源への個人要件の適用、防護の最適化、規制免除の規則、操業上の見地が記載されている。

Publication-46 では、後述の放射性固体廃棄物の処分に関する各勧告等の基礎となる重要な概念や原則が示された。

ウラン廃棄物の観点から参考となる記述を以下に示す。

- ・ウラン採鉱においては、抽出されなかったウランとともに天然のラジウムとトリウムを含む非常に大量の鉱さいが蓄積される。これらの放射性元素とその放射性崩壊生成物のあるものは、長寿命であるため、この点を考慮に入れた管理手法が必要である。(10 項)
- ・トレンチ処分、浅地中処分、地層処分について、制度的管理とともに、放射線量、物量に制限が必要である。(20、21、23 項)
- ・生涯にわたる線量を平均して1年につき1mSv に制限することは、平均年リスクをおよそ 10^{-5} より低いレベルに抑えることを意味する。同じ方法で、確率事象による決定グループに対する1年間のリスクも、およそ 10^{-5} より低くなるように制限することは合理的であると考えられる。(49 項) (リスク換算は、当時のリスク係数による)
- ・放射性廃棄物処分を長期的観点で取扱う際、将来の個人に付与されるべき防護のレベルに対するリスクを、現在生きている個人のリスクと同じ根拠に基づいて制限されるべきである。(50 項)
- ・ウラン鉱石の鉱さいは特殊な廃棄物であることを認識すべきである。(102 項)

(2) Publication-60 国際放射線防護委員会の1990年勧告²⁾

この報告書は、国際放射線防護委員会(ICRP)の基本勧告であり、作業者の線量限度が従来の年間50mSvから5年間の平均で年当たり20mSv(5年につき100mSv)に変更されている。内容は、放射線防護に用いられる諸量、放射線防護の生物学的側面、放射線防護の概念的な枠組み、提案された行為と継続している行為に対する防護体系、介入における防護体系、委員会勧告の履行が記載されている。

ウラン廃棄物の観点から参考となる記述を以下に示す。

- ・住居におけるラドンは、ラドンによる個人線量および集団線量がともに他のほとんどの線源によるものより高いことから、特別な注意を要する。(216 項)
- ・多くの国で、個人線量が、職業被ばくにおいて許されている値よりもかなり高いことがある。もし改善が必要であれば、住居の改造または居住者の生活様式の変更といった介入によって行わなければならない。(216 項)

(3) Publication-65 家庭と職場におけるラドン-222に対する防護³⁾

この報告書は、吸入されたラドンとその子孫核種の健康影響について要約し、住居と作業場におけるこの被ばくの制御について勧告したものである。内容は、吸入されたラドンとその子

孫核種の健康影響、建物内のラドン、住居による防護へのアプローチ、作業場における防護へのアプローチが記載されている。

ウラン廃棄物の観点から参考となる記述を以下に示す。

- ・年間の実効線量が継続して 10mSv を超える場合には、住居内のラドンに対するある種の救済処置がほとんど正当化されることは、明白である。しかし、1/5 ないし 1/10 に減らすと、対策レベルは自然バックグラウンド放射線源からの線量以下の値に下がってしまうであろう。したがって、年間実効線量についての対策レベルの選択は、およそ 3~10mSv の範囲に限られる。対策レベルは当局によってこの範囲内に設定されるべきことを勧告する。(72 項)
- ・ラドンの誘導空気中濃度 (年間の居住 2,000 時間、平衡係数 0.4) はおよそ $3,000\text{Bq}/\text{m}^3$ (1 年にわたって平均) となろう。(96 項)

(4)Publication-77 放射性廃棄物の処分に対する放射線防護の方策⁴⁾

この報告書は、公衆構成員の被ばく要因の一つである放射性廃棄物の処分について、その方策の実際的適用を明らかにし、廃棄物処分に関する諸方策とその問題点、解決法をまとめたものである。内容は、公衆被ばくに関する委員会の方策、廃棄物処分に関する諸方策、現在の方策を適用する際の困難、廃棄物処分に関する委員会の方策が記載されている。

ウラン廃棄物の観点から参考となる記述を以下に示す。

- ・廃棄物処分からの公衆被ばくの管理は、拘束値を組み込んだ防護の最適化を用いることにより行われるべきである。複数の線源による被ばくを見込んでおくため、単一の線源についての防護の最適化に用いられる拘束値の最大値は、年あたり 1mSv 以下とすべきである。年あたり約 0.3mSv を超えない値が適切である。(48 項 a)
- ・環境モニタリングは、すべての関連した行為の組み合わせた影響を評価するためにしばしば用いられるので、これらの制限値は年あたり 1mSv に近づくような決定グループの線量に基づくべきである。(48 項 b)
- ・廃棄物処分方策では、希釈と分散および濃縮と保持という二つの廃棄物処分戦略のどちらも必要であり、その二つの間で適切なバランスを探し求めるべきである。(63 項)

(5)Publication-81 長寿命放射性固体廃棄物の処分に適用する放射線防護勧告⁵⁾

この報告書は、「濃縮と保持」の戦略を用いる長寿命放射性固体廃棄物の処分に続く公衆構成員の放射線防護について勧告している。内容は、現行の ICRP 勧告、長寿命放射性固体廃棄物処分への委員会勧告の適用が記載されている。

ウラン廃棄物の観点から参考となる記述を以下に示す。

- ・自然過程という用語には、個人の被ばくに至る人間侵入以外のすべての過程が含まれる。重要な基準は個人の線源関連の拘束値である。自然過程を表すシナリオに適用される放射線学的基準として、通常被ばく状況における適用について線量拘束値に対する高いほうの数値である 1 年間 0.3mSv を勧告する。(55 項)
 - ・侵入は、処分施設に対する防護の最適化において考慮されたバリアをバイパスするであろうから、線量拘束値 (年間 0.3mSv) は人間侵入の重要性の評価に適用できない。(63 項)
- 将来の社会が侵入によって被ばくするかもしれないので、要求されるあらゆる防護措置を、処分システムの展開の間に考慮すべきである。侵入は、将来の個人に急性または長期的にわ

たる線量をもたらすことがある。人間侵入がサイトの周辺の住民に、現在の基準では介入がほとんどいつも正当化されるほど十分に高い線量をもたらす可能性があるような場合には、人間侵入の確率を減らすかあるいはその影響を制限するために、合理的な努力を払うべきである。おおよそ 10mSv の現存年線量が、それ以下では介入は正当化できそうもない一般的な参考レベルとして使えるであろう。反対に、年あたり約 100mSv の現存年線量は、それを超えるとほとんどいつも介入は正当化されると考えるべき一般的参考レベルとして使えるかもしれない。(64 項)

(6) Publication-82 長期放射線被ばく状況における公衆の防護⁶⁾

この報告書は、公衆の構成員に影響を及ぼしている長期被ばく状況に、ICRP の放射線防護体系を適用する上でのガイダンスを提供し、行為から生じる長期被ばくの制御および長期被ばく状況における介入の実行への、委員会の体系の一般的な適用について勧告・言及している。さらに、そのような介入のための一般参考レベルに関する勧告を提供している。

内容は、長期被ばくを生じる行為への放射線防護体系の適用、長期被ばく状況における介入への放射線防護体系の適用、長期被ばく状況における介入に対する現存年線量の一般参考レベル、特定の長期被ばく状況への勧告の適用、見通しが記載されている。

ウラン廃棄物の観点から参考となる記述を以下に示す。

- ・自然の線源による多くの長期被ばくおよび放射性残渣によるほとんどの全ての長期被ばくは制御しうる（防護措置によって制御することができる被ばく）が、数多くの長期被ばくは制御できない（たとえば人体中で代謝の役割を持つ天然放射性核種による被ばく）か、本質的に制御に従わない（たとえば地上レベルの宇宙線による被ばく）。制御できないか制御に容易に従わない長期被ばくは、放射線防護の規制の範囲から一般に除外（被ばくが制御できないかまたは制御に従わないという理由で、規制されない被ばく）される。(8 項)
- ・一時的被ばくと長期被ばくの組合せ、またはある線源からの長期被ばくの時間的なビルドアップが起こるかもしれない被ばく状況では、線量拘束値との適合性を確実にするために、適切な線量算定方法がつかわれていることを証明すべきである。ある特定の状況でそのような適合性の証明が実行可能でないならば、線源の操業寿命の間のいかなる年にも、線源から受ける個人線量の長期成分を 0.1mSv のオーダーの線量拘束値で制限することが慎重であろう。(38 項)

(7) Publication-103 国際放射線防護委員会の 2007 年勧告⁷⁾

この報告書は、国際放射線防護委員会 (ICRP) の基本勧告 (1990 年勧告の改訂版) であり、計画/現存/緊急時という 3 つの被ばく状況に基づく体系へと移行している。内容は、勧告の目的と適用範囲、放射線防護の生物学的側面、放射線防護に用いられる諸量、人の放射線防護体系、委員会勧告の履行、患者、介助者と介護者、生物医学研究志願者の医療被ばく、環境の防護が記載されている。

ウラン廃棄物の観点から参考となる記述を以下に示す。

- ・ラドン被ばくを制御するため、線源関連の放射性防護原則を適用することを勧告する。(294 項)
- ・1Sv 当たりの名目リスクが若干変わったとしても、委員会は継続性と実用性のために ICRP Publication-65 で提示したように、個人線量の参考レベルとそれに対する放射能濃度に対し

て10mSv という高いほうの値とそれに対応する放射能濃度を維持する。したがって、放射能濃度で表した参考レベルの高い方の値は、引き続き、作業場 1,500Bq/m³、住居については600Bq/m³である。(294 項)

(8)Publication-104 放射線防護の管理方策の適用範囲⁸⁾

この報告書は、放射線防護のために、何を、どのようなやり方で、どの範囲まで規制すべきかについて、正当化と最適化の原則にもとづき、適切な規制のための「除外」「免除」「クリアランス」について解説し、緊急時被ばく状況や現存被ばく状況での規制における留意点を述べている。

ウラン廃棄物の観点から参考となる記述は以下のとおり。

- ・除外とクリアランスの概念の適用の規定では、除外レベルとして²³⁸U、²³⁵U、²³²Thによる崩壊系列の放射性核種には約1,000Bq/kg以下とし、⁴⁰Kを含む核種には10,000Bq/kgとしており、1mSv/年を超過しないとしている。これにはラドンからの寄与は除外している。(142 項)
- ・ラドンの空气中濃度の基準は、住居(居室)に対して約200~600Bq/m³、作業場(職場)に対して約500~1,500Bq/m³、国際基準では、委員会の勧告で確立された値、住居(居室)で200~600Bq/m³、作業場(職場)で1,000Bq/m³の値にしたがっている。(166 項)
- ・1Sv 当たりの名目リスクが若干変わったとしても、継続性と実用性のため、ICRP Publication-65 で提示したように、個人線量の参考レベルとして10mSv という高い方の値は、引き続き、作業場においては1,500Bq/m³、住居については600Bq/m³である。(169 項)

(9)Publication-115 ラドンと子孫核種の肺がんリスクとラドンについての宣言⁹⁾

ラドンに関する推奨事項については、1993年にICRP Publication-65で示され、放射線防護委員会で形作られている。この中で、ICRPのラドンについて放射線防護指針は、年間有効線量を10mSv程度に設定することを基本としている。

ウラン廃棄物の観点から参考となる記述は以下のとおり。

- ・住居や職場環境における屋内ラドン濃度は、重要な現存被ばく状況であるとして、1993年にICRP Publication-65として具体的な勧告を行っており、この中で住居の対策レベルとして、200~600Bq/m³を勧告している。それ以降、欧州、北米、および中国で行われた住居内での症例研究でも、肺がんのリスクと屋内ラドン被ばくとの間に有意な相関が実証されたとの報告がある。これらの成果を受け、2007年勧告(ICRP Publication-103)では、国の規制当局は、ラドン被ばくに対する防護の最適化を助けるために国の参考レベルを設定する必要があるとしている。(Executive SUMMARY)
- ・ラドン被ばくによる健康リスクへの理解は、参考レベルを設定することが基本である。このラドンによる肺がんリスクについて、最新の住居と職業による被ばくの疫学調査を見直し、最新のラドンによる肺がんのリスクの情報を提供するものであるとしている。また、ICRP Publication-65では、疫学調査の結果を基に、ラドンと子孫核種からの線量について、線量換算係数を推奨している。現在は、ラドンと子孫核種は他の核種と同じ方法で取り扱われるべきであるということがICRPの防護システムの中で結論付けられている。それは、ラドンと子孫核種からの線量は、ICRP生物動力学と処方学的モデルを用いて計算すべきであるとしている。(Abstract)
- ・実効線量換算係数はラドンのリスク係数が以前の推定よりICRP Publication-65の2倍程度

に変更すべきいうことであり、更にラドンは被ばくした人の肺がんの割合のうち低い割合で潜んでいるという従来の考え方より、より増加するように作用していることが明らかとなっている。これは、喫煙者は非喫煙者より、ラドン被ばくが実質上、より肺がんリスクが高いことという結果に基づいている。(Guest editorial)

- ・ 鉦山夫の疫学調査を分析した結果から、肺がんによるリスク係数はラドンの単位被ばくあたり $5 \times 10^{-4} / \text{WLM}^*$ ($14 \times 10^{-5} / \text{mJh/m}^3$) である。この値は、最近の研究からのもので、ICRP Publication-65 (1993) の2倍になる。(CONCLUSIONS)

*WL とは、1 リットルの空気中のラドンが崩壊を開始した後、 1.3×10^5 MeV の α 線を出すようなラドン濃度で、この濃度で170時間労働する場合の累積線量が1 WLM である¹⁰⁾。

- ・ WLM 当たりの実効線量は、10~20mSv の範囲としている。(EXECUTIVE SUMMARY)

1.2 IAEA

(1) General Safety Requirements Part3 (GSR Part3 (Interim))¹¹⁾

放射線防護の考え方や安全基準はICRPの勧告に基づいている。ICRPの勧告は放射線防護や基本理念や安全基準の基本的な考え方を示したものであり、実際の法令や指針を策定するためには具体的な基準が必要になる。多くの国で法令や具体的な基準として参考にされているのが、IAEAが発行している国際基本安全基準(International Basic Safety Standards、略してBSSと呼ばれる)である。

現行のBSSは1996年に「電離放射線に対する防護および放射線源の安全のための国際基本安全基準 Safety Series No. 115」¹²⁾として発行された。IAEAはBSSを改訂するための作業を行ってきており、現在の最新版はGeneral Safety Requirements Part3 (GSR Part3 (Interim))として公開されている。

内容は、防護と安全のための一般要件にはじまり、計画被ばく状況、緊急時被ばく状況、現存被ばく状況における、職業被ばく、公衆被ばくの線量限度や基準、参考レベル等が記載されている。また、規制免除・クリアランスレベルの核種ごとの一覧表も附則で示されている。

ウラン廃棄物の観点から、参考となるのは、現存被ばく状態におけるラドンの参考レベルとして、住居環境に対する参考レベルとしてラドン濃度 300 Bq/m^3 が規定され、職場環境に対しては、原則的には現存被ばくの状況として扱う一方で、参考レベル $1,000 \text{ Bq/m}^3$ より下にラドン濃度を低減できないような場合には、計画被ばく状況における職業被ばくの要件が課される。また、現存被ばく状態での参考レベルとして、1~20mSv/年という値の記述がある。

(2) RS-G-1.7 (2004) 「規制除外、規制免除およびクリアランスの概念の適用」¹³⁾

BSSには、規制除外、規制免除およびクリアランスの概念と中程度の量(1トンオーダーの量)に関する規制免除レベルは示されているが、規制除外とクリアランスに関する定量的な濃度基準と大量の物量に対する規制免除レベルは示されていない。

本安全指針は、BSSを補完する目的で、国の規制当局等に対して、規制除外、規制免除およびクリアランスの概念の適用に関する指針を示すことを目的として、作成されたものである。また、天然起源の放射性核種および人工起源の放射性核種の両方に対して、大量の物質を規制除外、規制免除またはクリアランスをする際の「放射能濃度値」を示すことを目的としている。

規制免除とクリアランスに関する放射能濃度を設定するための根拠として、個人に対する実効線量が $10 \mu \text{ Sv/年}$ のオーダーかそれ以下、低確率事象の場合は 1 mSv/年 を超えるべきではな

いとされている。天然核種については規制除外の概念を使用して⁴⁰Kは10Bq/g、それ以外の天然核種は1Bq/gとされている。また、ウランの人工核種については、線量評価により²³²Uは0.1Bq/g、²³³Uは1Bq/g、²³⁶Uは10Bq/gとされている。(Table1、Table2)

(3) GSG-1 (2009)「放射性廃棄物の分類」¹⁴⁾

GSG-1では、放射性廃棄物の区分として、低中レベル廃棄物(LILW)、中レベル廃棄物(ILW)、低レベル廃棄物、極低レベル廃棄物並びに減衰貯蔵が適用される極短寿命廃棄物という分類を提案している。また、廃棄物の分類と処分形態を関連づけている。中レベル廃棄物に対しては、中深度処分(intermediate depth disposal)を記しているが、後の安全要件SSR-5「放射性廃棄物の処分」では、中レベル廃棄物の処分(disposal of intermediate level waste)に変更されている。(2.2項)

また、本文書の添付資料には、天然起源の放射性物質(NORM)を含めた適用事例を例示している。

廃棄物を区分する放射線の定量値は各処分サイトの安全評価に基づいて特定されることになることとされている。(本指針の範囲外である)(2.3項)

ウラン廃棄物がどの区分に属するかという問題に関しては、「低レベル廃棄物の長寿命 α 核種の限度として、平均限度400Bq/g(個々の廃棄物パッケージにおいて4,000Bq/gまで)を幾つかの国で採用している」という記載が参考となる。(2.27項)

(4) WS-G-1.2(2002)「鉱山の採鉱および粗製錬から発生する放射性廃棄物の管理」¹⁵⁾

ウラン鉱山廃棄物措置にかかるガイドラインとして策定された。鉱山の線量目標値に関しては決定グループにおいて1mSv/年を推奨。廃棄物管理施設の閉鎖後の線量拘束値として0.3mSv/年および 10^{-5} /年オーダーのリスクを推奨している。(3.12項、3.15項)

制度的管理については、「技術的管理と制度的管理の組み合わせは規制当局が決めた線量拘束値もしくはリスク拘束値に適合する放射線防護レベルを達成させるために利用することができる。これらの管理はある一定の期間有効であることの合理的な保証があるべきである。」とされ、「制度的管理は規制当局によって求められるように、閉鎖後の廃棄物管理サイトの管理または知識を維持するために実行される活動、仕組みおよび処置からなる。この管理は能動的(例えばモニタリング、監視等)でもよく、受動的(例えば土地利用の管理、標識、記録の方法)でもよい。」とされている。(3.16項、9.1項)

また、非放射線影響についても記載があり、放射線の危険性と放射線以外の危険性の両方を考慮に入れるべきであるとしており、非放射線学的懸念としての潜在的影響は、計画立案段階で考慮されるべきであり、プロジェクトの存続期間で定期的に再評価すべきとされている。(3.21項、3.23項)

(5) SSR-5 (2011)「放射性廃棄物の処分」¹⁶⁾

SSR-5は、あらゆる種類の放射性廃棄物の処分に関する安全目的と安全基準を設定し、放射性廃棄物の処分において満足されなければならない要件を規定するもので、「人と環境の防護」、「放射性廃棄物の処分の計画立案のための安全要件」、「処分施設の開発、操業および閉鎖に関する要件」等で構成されている。

処分施設の閉鎖後の人と環境の防護のための基準として、線量および人間侵入に係る基準が

示されている。線量基準については、公衆に対する線量限度を 1mSv/年、この限度に従うための線量拘束値を 0.3mSv/年の線量拘束値を超えないか、年間 10^{-5} オーダーのリスク拘束値を超えないように設計することとしている。人間侵入に係る基準としては、閉鎖後の偶発的な人間侵入による周辺住民の年間線量により以下のとおり対応が変わるとされている。(2.15 項)

- ・1mSv 未満：人間侵入の確率を減らすことも、その影響を限定するための取組みも正当化されない。
- ・20mSv 超：地表下への廃棄物の処分または、高線量放射性核種の分離等の代替措置を考慮すべきである。
- ・1～20mSv：施設開発段階で侵入確率の低減または、施設設計の最適化によりその影響を限定する合理的取組が正当化される。

また、ウラン廃棄物等極めて長寿命の放射性廃棄物の浅地中処分施設における放射能濃度は、安全策として継続中の制度的管理に依存することのないように制限されなければならないとされている。これらの限度を超えた放射能濃度の廃棄物は、地表下に処分されなければならないとされている。さらに、処分施設の許認可終了後は、必要である制度的管理方策が何であっても、これに対する責任は何らかの形で政府に移管しなければならないと考えられている。(5.12 項、5.14 項)

(6) SSG-23 (2012) 「放射性廃棄物処分施設のセーフティケースと安全評価」¹⁷⁾

このガイド SSG-23 は、放射性廃棄物の処分のセーフティケースおよび裏づけとなる安全評価 について、安全要件の充足に関するガイダンスおよび勧告を示すものである。閉鎖後の放射性廃棄物処分施設の安全評価を実施する際に必要な考慮事項の特定および、放射性廃棄物処分施設のセーフティケースの開発を行う際に考慮が必要な課題についてのガイダンスを提供している。

特に、安全評価における人間侵入シナリオの考え方について記載されていることが特徴で、「人間侵入とみなされるのは、処分施設の直接的な擾乱に帰着する人の行為のみである。」「処分施設およびその近接領域の範囲外にある立地環境の擾乱に帰着する人の行為は、人間侵入には分類されない。そのような行為は、長期リスクの評価のために用いられるシナリオの枠内とみなすべきである。」および「廃棄物処分施設の安全評価において、偶発的な人間侵入は考慮されるべきであるが、故意の人間侵入に伴う潜在的リスクの定量化は実施する必要はない。」などとしている。(6.53 項、6.56 項)

なお、偶発的な人間侵入については、「偶発的な人間侵入がサイト周辺に居住する人々に 1mSv を下回る年線量をもたらすと予想される場合には、侵入の可能性または影響を低減するための措置は妥当とされない。」および「1～20mSv の年線量が示される場合は、施設の開発段階における、施設設計の最適化による侵入の可能性または影響の低減化のための合理的努力がなされるのが妥当である。」と記載されている。(5.22 項)

(7) SSG-29 (2014) 「放射性廃棄物の浅地中処分施設」¹⁸⁾

本書は、SSR-5 で示された安全要件をどのように満たすのかについて勧告を行っているものである。対象は、主として短寿命放射性核種(約 30 年未満の半減期)を含み、長寿命核種を低濃度しか含まない廃棄物である。(1.6 項)

ウラン廃棄物の埋設処分の制度化の観点で重要と思われる項目は、「隔離」、「受動的安全」、「セーフティケースと安全評価の範囲」、および「閉鎖後と制度的管理」である。

ポイントとなる具体的な記述は以下のとおりである。

a. 隔離

隔離能力は最長で数百年にわたって確保されるべきであり、主として受動的手段によって確保されるべきである。能動的手段に頼ることができるのは、限られた期間（最長で数百年）に過ぎないため、浅地中処分施設の安全評価においては、そのような期間の後の施設への人間侵入の可能性が考慮されるべきである。（4.29 項）

安全評価において人間侵入の扱いは、((6)に記載の) SSR-5 の基準に基づいて実施されるべきである。人間侵入がもはや排除できない場合には、処分する長寿命核種の量を制限すべきである。（4.34 項）

b. 受動的安全

処分施設の閉鎖は制度的管理の開始を示す。制度的管理の能動的段階における活動としては、知識の保存、人間侵入の防止、モニタリングおよびサーベイランスが含まれる。受動的管理としては、記録の保持、耐久性のある警告標識の建造および土地所有権の管理が含まれるべきである。（4.45 項）

c. 「セーフティケースと安全評価の範囲」

安全評価の結果と規制で特定された線量あるいはリスク基準との比較は、数千年に対して求められるかもしれない。例えばピーク線量を見積もるために、この期間を超えた時間枠まで拡大されるかもしれない。しかし、数万年を超えた期間に対しては、将来の状況に関する不確実性のため、より単純な計算との比較で十分かもしれない。（5.25 項）

d. 「閉鎖後と制度的管理」

安全評価およびセーフティケースでは、制度的管理が無期限に有効である（例えば、人間侵入の防止において）ことに依拠すべきではない。（7.11 項）

国の組織は最終的な記録の保存や土地利用の制限のような活動に責任を有するかもしれない。適切な段階において、サイトに関する責任を操業者から政府に移転するための規制上の承認を求めることが行われるかもしれない。（7.15 項）

e. 「人為事象」

安全評価の目的のため、人間侵入が防止される能動的制度的管理の期間は、通常、限られた期間（通常、数百年）のみしか継続しないと想定され、合理的に可能な限り早く安全が受動的手段によってもたらされるようにされる。（2.4 項）

浅地中処分においては、施設は、そこではほとんどの人間活動が行われ、制度的管理期間後に浅地中処分施設への人間侵入の可能性が地層処分の場合よりもかなり高い生物圏に位置する。したがって、制度的管理期間後の人間侵入が考慮されなければならない。放射性物質インベントリについて課される制限の適切性が、主として廃棄物パッケージにおける長寿命放射性核種の許容量の点から評価され確認されるべきである。（4.7 項）

浅地中処分施設の隔離能力は、最長で数百(several hundreds) 年もの期間にわたって確保されるべきである。この隔離能力は、将来世代に過度の負担を託すことも、制度的および財政的安定性に対して置かれる信頼と両立しえない期間にわたって安全を確保するために能動的手段に頼ることもしないようにするために、主として受動的手段によって確保されるべきである。能動的手段に頼ることができるのは限られた期間（最長で数百(a few hundred) 年）に過ぎないため、浅地中処分施設の安全を評価する際は、そのような期間後の施設への人間侵入の可能性が考慮されるべきである。（4.29 項）

国際的なアーカイブを含む位置標識（マーカー）やアーカイブの形での情報の保存などの受動的手段の利用は、能動的な制度的管理に対して予見される期間よりも長い期間にわたって人間侵入のリスクを低減することになり、考慮されるべきである。人間侵入の尤度に関するいっそう慎重なアプローチが、人間侵入の影響の評価のために必要になる可能性がある。(4.51 項)

安全評価およびセーフティケースでは、制度的管理が無期限に有効である（たとえば、人間侵入の防止において）ことに依拠すべきではない。(7.11 項)

(8) DS-421 (2011(ドラフト)) 「居室内のラドンと天然起源の被ばくに対する防護」¹⁹⁾

本書は、IAEA で審議中の安全指針であり、ドラフト内容について記載する。

本書は、ICRP の勧告を考慮に入れて、現存被ばく状況における自然放射線源による室内被ばくの要件を満たすための勧告を提供するものであり、具体的には、屋内ラドンや建材中の自然起源放射性核種のような、自然放射線源の管理を考慮する際に、国の当局による正当化や防護の最適化の原則の適用について勧告を提供するものである。

WHO はラドン被ばくの低減として健康リスクを低減するとして、居室内では $100\text{Bq}/\text{m}^3$ 以下を推奨している。達成できないときは $300\text{Bq}/\text{m}^3$ 以下とするようにとしている。屋外のラドン濃度は $10\text{Bq}/\text{m}^3$ であり、長期の平均濃度は、 $1\sim 100\text{Bq}/\text{m}^3$ と報告されている。(1.5 項、3.5 項)

^{222}Rn の建築資材からの濃度は、室内で、 $1,000\text{Bq}/\text{m}^3$ を超えることもあり、 1mSv を超えることもある。(3.12 項)

また、 ^{220}Rn についても記載がある。 ^{220}Rn の濃度は、世界平均では、 $0.3\text{Bq}/\text{m}^3$ で 0.1mSv に相当する。 ^{220}Rn の濃度は建築資材からのものに帰着でき、室内濃度は $76\text{Bq}/\text{m}^3$ と高くなることもあり、日本、中国の木造で泥壁の家や、イタリアの自然の火山岩石を使った住居に関係している。ICRP では年間の現存被ばくが 100mSv に向かって増加するようなら、介入することがほとんど常に正当化されると述べている。国の規制当局は、有効線量が 100mSv を超える場所での居住や建屋のために防護が義務であるとしている。極端な介入として、建物の解体と居住者の居転による保護方法（措置）は、深刻な経済的損出を生ずるため、十分な検討をせずに行うべきではない。(3.61 項、4.30 項)

1.3 EU

(1) EU-BSS

欧州連合は、放射線防護に関する法規制について加盟国間の調和を図るため、1996 年に放射線防護に係る基本的基準を示す指令書を示した。その後、ICRP が 2007 年に発行した ICRP Publication-103 新勧告やその背景を踏まえ、新しい指令書が 2013 年 12 月に発行された。以下に、1996 年の指令書と 2013 年の指令書におけるウラン廃棄物の免除、クリアランスおよび処分に関連する部分について示す。

a. Council Directive 96/29/EURATOM (1996) 「電離放射線からの作業者と一般公衆の健康を防護するための安全基本原則 (Basic Safety Standard) の制定」²⁰⁾

・ウランの免除レベル

少量 (1 トン程度より少ない) の線源で、放射能濃度か放射能量かのどちらかが基準以下であれば、規制を免除される。ウランに関する免除レベルは、 $^{234}\text{U} : 1.0 \times 10^4\text{Bq}$ または $10\text{Bq}/\text{g}$ 、 $^{235}\text{U} : 1.0 \times 10^4\text{Bq}$ または $10\text{Bq}/\text{g}$ 、 $^{238}\text{U} : 1.0 \times 10^4\text{Bq}$ または $10\text{Bq}/\text{g}$ 、 $^{238}\text{Usec} : 1.0 \times 10^3\text{Bq}$ または $1\text{Bq}/\text{g}$ として示されている。

(²³⁵U+は ²³¹Th、²³⁸U+は ²³⁴Th、^{234m}Pa、²³⁸Usec は ²³⁴Th、^{234m}Pa、²³⁴U、²³⁰Th、²²⁶Ra、²²²Rn、²¹⁸Po、²¹⁴Pb、²¹⁴Bi、²¹⁰Pb、²¹⁰Bi、²¹⁰Po、²¹⁴Po を含む)。

・線量基準

一般公衆の線量限度は、1mSv/年として示されているが、ウランに限らず放射性廃棄物の埋設処分に限定した線量の規定はない。放射性物質の免除に対して10 μ Sv/年のオーダー以下、集団線量が1人Sv程度の線量基準が記載されている。

・ラドンの評価

住居内のラドンについては、本指令書の適用範囲外であることが示されている。放射性物質の免除レベルは、²²²Rn+ : 1.0 \times 10⁸Bq または 10Bq/g (²¹⁸Po、²¹⁴Pb、²¹⁴Bi、²¹⁴Po を含む) が示されている。

b. Council Directive 2013/59/EURATOM (2013) 「電離放射線からの被ばくを防護するための安全基本原則 (Basic Safety Standard) の制定」²¹⁾

・ウランの免除レベル

ウランの免除レベルは以下のように示されている。

物量を制限しない場合 : ²³⁸U とその子孫核種 1Bq/g (建物の壁については適用外。建物の壁については、線量を考慮して決める)

物量が中間的な量の場合 : ²³⁴U、²³⁵U、²³⁸U : 10Bq/g または 10,000Bq

(²³⁵U は ²³¹Th、²³⁸U は ²³⁴Th、^{234m}Pa が評価において考慮されている。)

・線量基準

ウランに限らず放射性廃棄物の埋設処分に對して線量の規定はない。表で示されている上記の免除レベル以外の値を用いようとする場合、人工放射性物質では、「公衆が免除の行為により受ける線量は10 μ Sv/年のオーダー以下であること」、自然放射性物質では、「免除の行為によって生じる線量のバックグラウンドに対する増加は、公衆に対して1mSv/年程度のオーダーより低いこと。免除の行為について公衆に対する線量評価では、空気中の浮遊物または液体の流れを通した被ばく経路だけでなく、固体残渣の処分やリサイクルの結果生じる経路も考慮すること」が示されている。

ウランに限らず現存被ばくに関しては、「1~20mSv/年の範囲で参考レベルを設定することができる。ただし、特定の状況では1mSv/年以下に設定することが良いかもしれない」と示されている。

・ラドン基準

加盟国は、室内のラドンの平均放射能濃度の対策レベルを決定すべきであると、対策レベルは、作業場所も含めて、300Bq/m³より低くすべきであると規定している。

(2) RP-65 (1993) 「EU 指令書における免除レベル (放射能濃度と放射能) の原則とその方法」²²⁾

この文書は、放射性物質の規制免除の概念、規制免除レベル (放射能濃度、放射能) を導出する方法について表されている。免除手続きの方法論と導出した免除レベルを EU の指令書に示すことが目的となっている。天然の放射性物質も人工の放射性物質も同じシナリオ同じ方法で放射能レベルが計算されている。ただし評価期間は短く、長期評価は考えられていない。ウランの免除、クリアランスおよび処分に關連する記載部分について示す。

・ウランの免除レベル

²³⁴U、²³⁵U、²³⁸U 等に対する物量が1トン程度以下の場合の免除レベルの計算方法、計算結果

が示されている。 ^{235}U 、 ^{238}U については、一部または永続平衡となっている子孫核種が考慮されている。示された免除レベルは、 ^{234}U : 10Bq/g または 10^4Bq 、 $^{235}\text{U}+$: 10Bq/g または 10^4Bq 、 $^{238}\text{U}+$: 10Bq/g または 10^4Bq 、 ^{238}U N : 1Bq/g または 10^3Bq 。

($^{235}\text{U}+$ は ^{231}Th の平衡を考慮。 $^{238}\text{U}+$ は ^{234}Th 、 $^{234\text{m}}\text{Pa}$ の平衡を考慮。 ^{238}U N は ^{234}Th 、 $^{234\text{m}}\text{Pa}$ 、 ^{234}U 、 ^{230}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{222}Rn 、 ^{218}Po 、 ^{214}Pb 、 ^{214}Bi 、 ^{214}Po 、 ^{210}Bi 、 ^{210}Po の平衡を考慮。)

- ・免除レベルの線量基準 (全核種共通)

免除レベルを計算する実効線量の線量基準は通常のシナリオで $10\mu\text{Sv}/\text{年}$ 、事故時のシナリオで $1\text{mSv}/\text{年}$ 、皮膚被ばくの線量基準は $50\text{mSv}/\text{年}$ である。

- ・免除レベルの評価シナリオ (全核種共通)

線源を使用するシナリオ、事故シナリオ、処分のシナリオが評価されている。

- ・ラドンに関する評価方法

他の核種と同じシナリオで評価されている。吸入線量の換算係数を NRPB の文献²³⁾から引用している。

(3) RP-89 (1998) 「原子力施設の廃止措置から発生した再利用金属に関する推奨する放射線防護基準」²⁴⁾

この文書は、金属の再利用および再使用に関するクリアランスの概念、クリアランスレベルについて示されている。金属の種類は、鉄、アルミニウム、銅が対象として評価されており、最終的に金属共通の核種毎のクリアランスレベルが、再利用については放射能濃度 (Bq/g) と表面汚染密度 (Bq/cm²)、直接再使用については表面汚染密度 (Bq/cm²) で示されている。

なお、線量評価について、表面汚染密度の計算は RP-101²⁵⁾、放射能濃度の計算は RP-117²⁶⁾ に示されていて、その結果を本報告書にまとめられている。ウランについても他核種と同じ方法でレベルが導出されており、長期評価は考慮されていない。この理由は、金属のリサイクルが数十年サイクルで行われると考えられ、初期の状態が継続して長期の子孫核種のビルドアップが生じる可能性が非常に小さいことによるためと考えられる。

- ・ウランのクリアランスレベル

スクラップをリサイクルする場合の ^{234}U 、 ^{235}U 、 ^{238}U のクリアランスレベルは、1Bq/g または $1\text{Bq}/\text{cm}^2$ が示されている。直接再使用する場合の ^{234}U 、 ^{235}U 、 ^{238}U のクリアランスレベルは、表面汚染密度で $1\text{Bq}/\text{cm}^2$ が示されている。(^{235}U は ^{231}Th 、 ^{238}U は ^{234}Th 、 $^{234\text{m}}\text{Pa}$ の平衡が評価において考慮されている。)

- ・クリアランスレベルの線量基準 (全核種共通)

クリアランスレベルを計算する実効線量の線量基準は $10\mu\text{Sv}/\text{年}$ 、皮膚被ばくの線量基準は $50\text{mSv}/\text{年}$ である。(なお、 $10\mu\text{Sv}/\text{年}$ の線量基準は、IAEA 安全シリーズ No. 89 (1988)²⁷⁾ および IAEA-TECDOC-401 (1987)²⁸⁾ の頃に最初に議論されたものである。当時の放射線リスク係数は現在と異なるが、クリアランスの線量基準はリスクのみの考察ではなく、バックグラウンド線量と比較しても十分小さいという判断を合わせて合意されたものであった。)

- ・クリアランスレベルの評価シナリオ (全核種共通)

スクラップの管理、処理、製品の使用、副産物の処分等の行為に関するシナリオが評価されているが、地下水シナリオは評価されていない。処分場における一般公衆の被ばくは埋設終了後 30 年後から評価をしている。

- ・ラドン評価方法

^{222}Rn についてはレベルが示されておらず、 ^{226}Ra の子孫核種に含まれている。

(4) RP-113 (2000)「原子力施設の廃止措置から発生する建物と建物のコンクリートがらのクリアランスの推奨する放射線防護基準」²⁹⁾

この文書は、原子力施設の廃止措置から発生する建物の再使用、建物のコンクリートがら等の再利用のクリアランスレベルを提示している。建物の再使用および解体に共通する表面汚染密度 (Bq/cm^2) のクリアランスレベル、建物の解体だけに適用する表面汚染密度のクリアランスレベル、解体したコンクリートがらに適用する放射能濃度 (Bq/g) のクリアランスレベルが示されている。なお、クリアランスレベルの計算方法はRP-114³⁰⁾に示されており、その結果が本報告書にとりまとめられている。

・ウランのクリアランスレベル

建物の再利用と解体に共通する表面汚染密度のクリアランスレベルは ^{234}U 、 ^{235}U 、 ^{238}U ともに $1\text{Bq}/\text{cm}^2$ と示されている。建物の解体だけに適用する表面汚染密度のクリアランスレベルは、 ^{234}U 、 ^{235}U 、 ^{238}U ともに $10\text{Bq}/\text{cm}^2$ と示されている。 ^{235}U では ^{231}Th 、 ^{238}U では ^{234}Th 、 $^{234\text{m}}\text{Pa}$ 、 ^{234}Pa の早期に生成する子孫核種との平衡が考慮されている。

・クリアランスレベルの線量基準 (全核種共通)

クリアランスレベルを計算する実効線量の線量基準は $10\mu\text{Sv}/\text{年}$ 、皮膚被ばくの線量基準は $50\text{mSv}/\text{年}$ である。

・クリアランスレベルの評価シナリオ (全核種共通)

建物の再使用、解体、解体物の再利用に伴う外部被ばく、吸入被ばく、摂取被ばく、皮膚被ばくの評価が行われ、地下水の灌漑利用による農作物の摂取のシナリオが評価されている。

・ラドンに関する考察 (RP-114に記載)

建物の再使用に関して、 ^{226}Ra のクリアランスレベルである $1\text{Bq}/\text{cm}^2$ を前提条件として ^{222}Rn の室内濃度が簡単なモデルにより計算され $50\text{Bq}/\text{m}^3$ と試算されている。この値は $10\mu\text{Sv}/\text{年}$ を超えるが、対策レベルより十分低い。 ^{222}Rn による室内の線量は、部屋の使用方法や壁の仕上げ方など様々な要因によるため、 ^{226}Ra のクリアランスレベルを決定するシナリオにラドンの評価を用いないとしている。なお、RP-114では、室内の ^{222}Rn の濃度の試算にあたり、部屋の換気率 ($0.5(1/\text{h})$) など計算式およびパラメータについても示されている。

(5) RP-122「クリアランスおよび規制免除の概念の実際的な使用」

この文書は、第1部として、特に条件を付けない一般クリアランスについて示されており、第2部として、天然起源の放射性物質を考慮した規制免除レベルとクリアランスレベルおよびその導出方法を提案している。

a. RP-122 part I (2000)「行為に対する一般クリアランスレベルに関するガイダンス」³¹⁾

・ウランのクリアランスレベル

^{234}U 、 ^{235}U 、 ^{238}U のクリアランスレベルは、 $1\text{Bq}/\text{g}$ として示されている。

^{235}U では ^{231}Th 、 ^{238}U では ^{234}Th 、 $^{234\text{m}}\text{Pa}$ 、 ^{234}Pa の早期に生成する子孫核種との平衡が考慮されている。

・クリアランスレベルの線量基準 (全核種共通)

クリアランスレベルを計算する実効線量の線量基準は $10\mu\text{Sv}/\text{年}$ 、皮膚被ばくの線量基準

は50mSv/年である。

- ・クリアランスレベルの評価シナリオ（全核種共通）

外部被ばく、吸入、汚染物直接摂取のシナリオを評価している。地下水シナリオは評価されていない。

- ・ラドン評価方法

ラドン核種の評価はしていない。 ^{226}Ra の子孫核種として評価されている。 ^{226}Ra の決定経路は直接摂取となっており、 ^{222}Rn の影響が寄与すると想定される吸入被ばくは決定経路となっていないため、ラドンの寄与は大きくないと考えられる。

b. RP-122 part II (2001)「規制免除とクリアランスの概念の自然放射線源への適用」³²⁾

- ・ウランのクリアランスレベル

ウランに関するクリアランスレベルは、 ^{238}U の永続平衡 ($^{238}\text{Usec}$) 0.5Bq/g, Unat 5Bq/g, ^{235}U の永続平衡 ($^{235}\text{Usec}$) 1Bq/g, $^{235}\text{U}+$ 5Bq/g として示されている。

$^{235}\text{U}+$ は ^{231}Th との平衡が考慮されている。 $^{238}\text{Usec}$ では ^{234}Th 、 $^{234\text{m}}\text{Pa}$ 、 ^{234}Pa (0.3%)、 ^{234}U 、 ^{230}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{222}Rn 、 ^{218}Po 、 ^{214}Pb 、 ^{214}Bi 、 ^{214}Po 、 ^{210}Pb 、 ^{210}Bi 、 ^{210}Po との平衡が考慮されている。(%)は放射能の百分率) Unatでは、 ^{234}Th 、 $^{234\text{m}}\text{Pa}$ 、 ^{234}Pa (0.3%)、 ^{234}U 、 ^{235}U (4.6%)、 ^{231}Th (4.6%)との平衡が考慮されている。(%)は放射能の百分率) $^{235}\text{Usec}$ では ^{231}Th 、 ^{231}Pa 、 ^{227}Ac 、 ^{227}Th (98.6%)、 ^{223}Fr (1.4%)、 ^{223}Ra 、 ^{219}Rn 、 ^{215}Po 、 ^{211}Pb 、 ^{211}Bi 、 ^{207}Tl 、 ^{211}Po (0.3%)との平衡が考慮されている。(%)は放射能の百分率)

- ・自然放射性物質に対するクリアランスレベルの線量基準

自然放射性物質に対して、元のバックグラウンドからの増加分が300 μSv /年以下であることを基準としてと考えている。

- ・自然放射性物質に対するクリアランスレベルの評価シナリオ

外部被ばく、吸入、汚染物直接摂取のシナリオを評価している。地下水シナリオは評価されていない。

- ・ラドン評価方法

ラドン核種の評価はしていない。 ^{226}Ra の子孫核種として評価されている。 ^{226}Ra の決定経路は直接摂取となっており、 ^{222}Rn の影響が寄与すると想定される吸入被ばくは決定経路となっていないため、ラドンの寄与は大きくないと考えられる。

2. 各国の規制・基準の概要（規制当局）

2.1 米国（NRC/EPA/州政府）

(1) 10CFR61「放射性廃棄物の浅地中処分のための許可要件」（NRC）³³⁾

10CFR61 においては、現時点ではウランに特化した規定は無い。ウランを含む廃棄物は低レベル放射性廃棄物の枠内で受け入れられている。その際の廃棄物分類基準、免除レベル、線量基準、安全評価の期間とシナリオ、制度的管理の方法および化学物質としてのウラン水質基準について整理した。

廃棄物分類基準に関する記載では、低レベル放射性廃棄物の区分は10CFR61.55に規定されている。規定では、

①表 I-1 の核種のみで汚染された廃棄物が、

- ・濃度の基準値の0.1倍を超えなければ、その廃棄物はClass A
- ・基準値の0.1倍を超え、基準値自身を超えなければ、Class C
- ・複数の核種の寄与は基準値に対する濃度の分数和で判定

②表 I-1 の核種を含まない廃棄物が、

- ・表 I-2 の核種が第1欄を超えなければClass A
- ・第1欄を超えて第2欄を超えなければClass B
- ・第2欄を超えて第3欄を超えなければClass C

③表 I-1 および表 I-2 の双方の核種を含まない廃棄物はClass A

とされている。ここでウランは「半減期が5年より長い α 線放出 TRU 核種」ではなく表 I-1 に規定されないと解釈されている。そのためウランを含む廃棄物は③に該当するのでClass A となり、基準上ウランの濃度上限値は無い。また、大量の劣化ウラン廃棄物は、表 I-1 を設定するための計算の前提に含まれていなかった³⁴⁾。

表 I-1 10CFR61.55 により規定される核種(1)

核種	濃度 [Ci/m ³]	([GBq/m ³]) *1
¹⁴ C	8	(300)
放射化した金属中の ¹⁴ C	80	(3,000)
放射化した金属中の ⁵⁹ Ni	220	(8,100)
放射化した金属中の ⁹⁴ Nb	0.2	(7.4)
⁹⁹ Tc	3	(110)
¹²⁹ I	0.08	(3.0)
半減期が5年より長い α 線放出 TRU 核種	100*2	(3,700) *3
²⁴¹ Pu	3,500*2	(1.3×10 ⁵) *3
²⁴² Cm	20,000*2	(7.4×10 ⁵) *3

*1: 有効数字2桁で計算した。

*2: nCi/g

*3: Bq/g

表 I-2 10CFR61.55 により規定される核種(2)

核種	濃度 [Ci/m ³] ([GBq/m ³)] *1		
	第1欄	第2欄	第3欄
半減期5年未満の全核種	700 (2.6×10 ⁴)	なし	なし
³ H	40 (1.5×10 ³)	なし	なし
⁶⁰ Co	700 (2.6×10 ⁴)	なし	なし
⁶³ Ni	3.5 (130)	70 (2.6×10 ³)	700 (2.6×10 ⁴)
放射化金属中の ⁶³ Ni	35 (1,300)	700 (2.6×10 ⁴)	7,000 (2.6×10 ⁵)
⁹⁰ Sr	0.04 (1.5)	150 (5.6×10 ³)	7,000 (2.6×10 ⁵)
¹³⁷ Cs	1 (37)	44 (1.6×10 ²)	4,600 (1.7×10 ⁵)

*1: 有効数字2桁で計算した。

ウランの免除レベルは、10CFR61には記載はない。但し、10CFR20.1003³⁵⁾では、Source materialが定義されており、さらに10CFR40.13³⁶⁾では0.05%未満のSource Material(ウラン、トリウムおよびその化合物で、Special Nuclear Material (SNM) (プルトニウム、²³⁵Uおよび濃縮ウラン)を除くものは、低レベル放射性廃棄物としての規制から除外される。

線量基準については、ウランに限らず処分場からの公衆防護目標値は、全身25mrem(0.25mSv)、甲状腺75mrem(0.75mSv)、その他の臓器25mrem(0.25mSv)とされている。なお、偶発的侵入者については保護義務のみで基準が明示されていない。

安全評価の期間はウランに限らず明記していない。

安全評価シナリオの要件の記載では、偶発的な侵入者含め公衆安全防護が十全であることと、処分サイトの長期安定性および能動的なメンテナンスが閉鎖後の継続不要になることの合理的保証が求められている。

安全評価の中で、ラドンを特に指定した評価方法は特にないが、ラドンではなく侵入者を防ぐバリアについて、Class C 廃棄物にのみ記載。Class C 廃棄物は、廃棄物の上端が少なくともカバー表面の5m下となるか、500年間意図しない侵入を防ぐために設計された侵入者バリアを伴っていなければならない。

制度的管理の方法についての記載を確認する。10CFR61.59「制度的要件」において「(a) 土地所有権：他の者から受け取った放射性廃棄物の処分は、連邦あるいは州政府が無条件に所有している土地でのみ許可される。処分場の土地は、連邦政府または州政府の所有地でなければならない。」とされている。

処分サイト閉鎖が要件を満たすことが確認された後、委員会はライセンスを、処分サイトを所有する州か連邦政府に移す。サイトアクセスの制度的管理は100年間までは要求される。制度的管理の期間は委員会によって決定されるが、それに続く所有者への処分サイト管理の移管から100年間以上になると管理が期待できない可能性がある。

ウランを指定した水質基準について10CFR61には記載がないが、40CFR141.66³⁷⁾にウランのMCL (Maximum Contaminant Level) は30 μg/l³⁸⁾であるとの記載がある。

その他、処分サイトの条件として、水の廃棄物層への浸入を防ぐため、地下水面より十分浅くなければならない。どのような場合でも、地下水面が変動する区間での廃棄物処分は許可されない(10CFR61.50)との記載がある。

(2) 10CFR61 改定案の検討状況

劣化ウランを含めて現行規制を構築した際に想定しなかった新しい廃棄物群“Unique stream”の安全な浅地中処分のために10CFR61の改定検討が2009年頃から進められてきた³⁸⁾。NRCは2012年1月に文書(SRM-COMWDM-11-0002/COMGEA-11-0002)³⁹⁾を発行し、NRCスタッフへの規則改訂の方向性を示した。その主な内容は、以下のとおりである。

- ・ 放射性廃棄物の処分のサイト固有の性能評価において、ICRPの線量評価の方法論を取り入れることのフレキシビリティを認めること。
- ・ 合理的に予見できる将来をコンプライアンス期間(性能目標が守られていることを定量的に評価しなければならない期間)とし、それ以上の長期の定性的な評価を行う性能期間として評価を行う2段階期間のアプローチ。
- ・ サイトの性能評価と侵入者評価の結果に基づくサイト固有の廃棄物受入れ基準を設定できるようにする。

これらの方向性について、2012年12月に示された規則の修正案NRC-2011-0012-0045⁴⁰⁾は以下のように示されている。

- ・ 受入基準に関しては、処分サイトが特定の核種に対する許容放射能および濃度を、61.13項の技術上の分析(放射性物質の放出による一般公衆の防護の評価(61.41)、意図しない人間侵入の防護の評価(61.42)が含まれる)から、または、従来からの廃棄物分類(Class A、B、Cおよびその基準(61.55))によって設定しなければならない。
- ・ 線量基準については従来の公衆防護の0.25mSv/年に加え、意図的でない侵入者防護の5mSv/年がコンプライアンス期間(61.2)において守られること(61.41、61.42)。コンプライアンス期間は処分施設閉鎖後10,000年が示されている(61.2)。
- ・ α 核種の平均放射能濃度が10nCi/g(370Bq/g)を超えるような、または61.55の表1の1/10を超えるような長寿命核種を伴う廃棄物の処分においては、施設設計およびサイト特性が利用可能なデータと現在の科学的知見と矛盾することなく、潜在的な長期間の放射線影響をどのように制限できるかを評価することが要求される(61.13)。これは、ウランに特化した規定ではないが、ウランを大量に処分することを考慮しての変更と考えられる。
- ・ ラドン評価方法、制度的管理の方法には変更案がない。

その後、規則改定案について、米国原子炉安全諮問委員会(Advisory Committee on Reactor Safeguards)とその分科会(Subcommittee on Radiation Protection and Nuclear Materials)で議論され、2014年2月の諮問委員会のレターレポート⁴¹⁾では、以下のような結論が示されている。

- ・ 2段階評価のコンプライアンス期間は、合理的に予見できる将来という観点から1,000年を超えるべきではない。
- ・ 現行の10CFR61に基づいて処分された廃棄物は、追加する評価の対象とすべきでない。
- ・ 10CFR61改定案では、細部の実施項目が追加されている。その細部の実施項目について、規則の他にガイダンス文書を出版すべきである。

分科会では、結論までの過程において、DOEや操業中の処分場の事業者から意見を聞いており、DOEはコンプライアンス期間を1,000年として評価を行っていることを説明している。NRCスタッフは、大量の劣化ウランの処分を想定した場合、1,000年以下の期間では、劣化ウランからのリスクで重要な期間を切り落としていると考え、コンプライアンス期間を10,000年に設定した。しかし、劣化ウランは長半減期核種で子孫核種が生成し、関連するリスクは10,000

年以降も継続するにもかかわらず、酸化状態の劣化ウランの処分からのリスクは、適当な処分（浅い処分でない、乾燥したサイト条件、頑健なラドンバリアなど）を行えば、低く抑えることができると考えられる。したがって、必要性、実践性、合理性、委員会の方針である合理的に予見できる将来をコンプライアンス期間とする定義の観点から 10,000 年間のコンプライアンス期間に同意しないという意見をまとめている。

この委員会のレポートと同時期に NRC においても文書⁴²⁾⁴³⁾が出され、規則改正の方針を以下のように示している。

- ・ 3 段階の解析期間とする。
 - 1 段階：1,000 年間のコンプライアンス期間であり、放射性物質の放出による一般公衆の評価の線量基準は 25mrem/年 (0.25mSv/年)、意図しない侵入者の評価の線量基準は 500mrem/年 (5mSv/年) とする。
 - 2 段階：1,000 年から 10,000 年の期間を防護保証期間 (Protective Assurance Period) と呼び、放射性物質の放出による一般公衆の評価および意図しない侵入者の評価ともに線量基準は 500mrem/年 (5mSv/年) とする。
 - 3 段階：性能期間 (Performance period) と呼ばれ、10,000 年以上の期間で定性的な評価を行う。
- ・ 第 2 段階で、科学的なエビデンスがなければ、自然環境の FEP は不変と想定する。
- ・ 侵入者の評価は、現実的かつ閉鎖後の処分場および周囲の想定される行動と矛盾しないシナリオに基づくべきである。
- ・ 深層防護 (Defense in depth) とセーフティケースの強調

NRC のスタッフは、規則およびガイダンス文書などを来年度改正する予定である。2015 年にパブリックコメント版の規則案が出される予定となっている。

(3) TAC 「テキサス州行政規則」 (TCEQ 「テキサス州環境品質委員会」)

テキサス州行政規則 30TAC336⁴⁴⁾ではウランに特化した記載はないが、ウランを含む廃棄物に関する受入基準、免除レベル、線量基準、安全評価の期間とシナリオ、制度的管理の方法について整理した。

処分場への受入基準については以下の通りである。

- ・ 35 年を超える半減期を持つ放射性核種、および受入可能な (10nCi/g (370Bq/g) 未満の) TRU 核種を含む廃棄物の処分では、埋設後の安定性のため、これらの廃棄物で Class A のものはすべて、鉄筋コンクリート製のキャニスタか同等の梱包で定置されるか、30TAC336.362(b)(2)に提示された安定性要件を満たすこと。
- ・ 30TAC336.362(b)(2) ; (A) 構造的に安定であること (水分、微生物、化学物質および放射化学的な安定含む、具体基準無し)、(B) 自由水、非腐食性の液体を 1% (固化体は 0.5%) 未満とし、可能な限り減らすこと、(C) 梱包と廃棄物の間の空隙を可能な限り減らすこと。

ウランの免除レベルについては 30TAC336.2 で定義される Source material 基準未満のものが相当し、基準値は連邦規則 10CFR40.13 に準ずる。

ウランに特化してはいないが、線量基準は 30TAC336.724 に規定があり、基準値は連邦規則 10CFR61 に準ずる。安全評価期間は明示されており、閉鎖後 1,000 年または線量のピークが生じる期間のうち長い方を、移動性のある長寿命核種からの線量ピークを把握し、性能目標へのサイトの適合性との関係を実証するための分析期間の最小とする。

安全評価シナリオは処分サイトの長期安定性の分析と、閉鎖後の能動的メンテナンス継続の必要性は、侵食、物質移動、斜面崩壊、廃棄物および埋め戻し土の地盤沈下、処分単位と隣接する土壌のカバーを通じた浸潤、処分サイトの地表排水等の現に起きている自然過程分析に基づかなければならない。この分析は、閉鎖後引き続いて処分サイトの能動的なメンテナンス継続の必要が無いことの合理的な保証を提供しなければならない。

低レベル廃棄物の浅地中処分に関して、ラドン評価方法は記載がない。制度的管理の方法は10CFR61に準ずる。

その他の処分施設への要件としては、処分施設は、処分サイトの長期安定性を達成するべく、また実現可能な程度まで閉鎖後に引き続き処分サイトの能動的なメンテナンス継続の必要が無くなり、サーベイ、モニタリング、簡単な保管ケアのみで済むように立地され、設計され、使用され、操業され、閉鎖されなければならないとされる。

(4) UAC 「ユタ州行政規則」(UDEQ「ユタ州環境品質局」)

ユタ州行政規則UAC R313-25⁴⁵⁾におけるウランの取扱いについて、ウランの埋設基準、免除レベル、処分の安全評価における線量基準、期間およびシナリオについて整理した。

埋設基準の規定は、劣化ウランについて定められており、劣化ウラン廃棄物(全量で1トン以上で5wt%を超えるもの)の陸地処分を2010年6月1日以降に申請する全ての施設は、10CFR61で指定される性能基準と対応するユタ州規則の規定を、劣化ウラン廃棄物の全量と他の廃棄物について、既に埋設されたものおよび現在埋設申請している劣化ウランも含めて満たすことを示す性能評価の認可を受けなければならない。認可前に埋設してはならない。

ウランの免除レベルはUAC R313-25には記載無いが、R313-12-2⁴⁶⁾で定義されるSource material基準未満のものが相当し、基準値は連邦規則10CFR40.13に準ずる。また公衆防護の線量基準についてはR313-25-19に規定され、これも連邦規則10CFR61.41に準ずる。

安全評価期間については総量で1トンを超える劣化ウランについては具体的に定められており、コンプライアンス期間は最短で10,000年であるべきであるとされる。線量ピークが発生するまでの期間について追加的なシミュレーションが実施されるべきであり、その結果は定性的に分析されるべきであるとされる。

安全評価シナリオについての規定はウランに特化してはいないが、以下の通り。

- ・一般公衆が放射能の放出から保護されていることの実証分析は、経路として空気、土壌、地下水、表層水、植物の吸い上げ、動物の穴掘りによる露呈を考慮しなければならない。この分析は、自然の処分サイト特性と、廃棄物の隔離と分別保護における設計特性との役割を明確に特定し、差別化しなければならない。また、人間が放射能放出から受ける被ばくが線量限度を超えない合理的な保証を明確に実証しなければならない。
- ・偶発的な侵入者保護の分析は、廃棄物の分類と分別保護要件が満たされ、十分な意図しない侵入へのバリアが用意されていることの合理的な保証が実証されなければならない。

ラドン評価方法については記載がない。制度的管理の方法はR313-25-8, 20, 28等に規定され、10CFR61.7に準ずる。

その他の処分施設への規定では、陸地処分施設の設計、操業、閉鎖は、いかなる個人も、処分サイトの撤去と能動的な制度的管理の終了後の意図しない処分サイト侵入、サイト占有若しくは廃棄物への接触から保護されていることを保証しなければならないとされる。

(5) 40CFR192 「ウランおよびトリウム鉱さいからの健康および環境の防護」(EPA) ⁴⁷⁾

40CFR192 における副生成物としてのウランの取扱いについて、埋設基準、線量基準、安全評価の期間、制度的管理の方法について整理した。まずウラン副生成物が定義されており、主として核原料物質を内容物とする鉱石からのウランの抽出や濃縮によって発生した、鉱さいまたは廃棄物である。劣化ウランおよび地下にある鉱体（ウラン溶媒抽出法によって枯渇した鉱体で地中にあるもの）は副生成物に含めない。

ウランの免除レベルについては40CFR192に記載はないが、全て副生成物は、商用目的に限り、公共または民間組織によって40CFR720の通知義務なしに以下の利用ができる(40CFR720.30(g)) ⁴⁸⁾。

- ① 燃料として燃やす
- ② 廃棄物として処分する（埋設覆土(landfill)や肥料を含む）
- ③ 化学物質成分を商用目的で抽出する

これらの規制除外は副生成物にのみに適用される。副生成物からの抽出物には適用してはならない。

副生成物の線量基準については操業中のみ定められ、公衆への線量基準が明記されている(25mrem/年(0.25mSv/年)等)が、閉鎖後については記載がない。

安全評価期間についての規定は以下の通り。

- ・閉鎖期間後の基準；処分場は、放射性の危険を管理する合理的な保証を提供するように設計されなければならない。
- ・合理的に可能な場合に1,000年、またどのような場合でも少なくとも200年間有効であること。

ラドン評価方法についての規定は以下の通り。

- ・ウラン副生成物の山(piles)若しくは堆石場が操業を終えNRCか協定州(Agreement State 処分の許可についてNRCと合意を結んだ州)にライセンスが戻されているときは、恒久的なラドンバリアによって²²²Rnが制限されなければならない。この恒久的なラドンバリアは、操業終了後技術的に可能な限り早く構築されなければならない。ウラン副生成物からの²²²Rnの大気中への放出は、平均で20pCi/m²/s(0.74Bq/m²/s)を超えないように制限すること。

制度的管理の方法については、恒久的なラドンバリア設置時のライセンス保持者の義務として、恒久的なラドンバリアの設計が²²²Rnの放出率を要求された20pCi/m²/s(0.74Bq/m²/s)を超過しないレベルに制限するのに有効であることを実証するために²²²Rn放出率の適切なモニタリングおよび分析を行うことが定められている。閉鎖後管理主体はNRC若しくは協定州としている。その他、²²²Rnの放出率が上記の基準を超えないように100m²平均の²²⁶Ra濃度について以下の基準が定められている。

- ① 表面から最初の15cm厚で、平均5pCi/g(0.185Bq/g)
- ② 以降の15cm厚で、平均15pCi/g(0.555Bq/g)

(6) DOE M 435.1-1 「放射性廃棄物管理マニュアル」(DOE) ⁴⁹⁾

DOE M 435.1-1におけるウランの取扱いについて、埋設基準、免除レベル、線量基準、安全評価の期間とシナリオ、制度的管理の方法および化学物質としてのウランの水質基準につ

いて整理した。

埋設基準として、低レベル放射性廃棄物を定義している。ただし、高レベル放射性廃棄物、使用済燃料、TRU 廃棄物、副生成物(米国原子力法 11e. (2) 項の通り)および NORM を除く。

ウランに特化していないが、線量基準として低レベル廃棄物処分施設は下記の要件を満たさなければならない。

・性能目標

低レベル廃棄物処分施設は、1988 年 9 月 26 日以降に埋設された廃棄物が下記の性能目標を満たすことについて、合理的な見込みがあるように立地され、設計され、操業され、維持され、閉鎖されなければならない。

(a) 代表的公衆の線量について、ラドンとその空気中の子孫核種を除く全ての被ばく経路からの年間の全実効線量が 25mrem(0.25mSv) より低くなければならない。

(b) 代表的公衆の空気中経路からの線量について、年間のラドンとその空気中の子孫核種を除く全実効線量 10mrem(0.10mSv) より低くなければならない。

ウランに特化していないが、安全評価期間について、「サイトスペシフィックな放射能の性能評価は、1988 年 9 月 26 日以降に処分された DOE の低レベル廃棄物のために用意し、維持されなければならない。性能評価は、施設の操業および閉鎖の結果、本章で述べた性能目標が超過されないことの合理的な想定を提供するために、閉鎖後 1,000 年間の代表的な将来の公衆への潜在的な線量と、施設からの潜在的な流出計算を含まなければならない。」とされている。安全評価シナリオについて、「性能評価は、放射性物質の流出や運搬を防ぐバリアを崩壊させる可能性がある合理的に予見できる自然過程を特定しなければならない。浅地中に処分が許される放射性核種の限度を確立するために、性能評価は、水資源への影響を評価しなければならない。」とされている。

代表的公衆の線量について ラドン評価は、その他の核種の性能目標から除外され、フラックス(単位面積、単位時間当たりの放射能)で管理されている。ラドンの放出は処分施設の地表面での平均フラックスが $20\text{pCi}/\text{m}^2/\text{s}$ ($0.74\text{Bq}/\text{m}^2/\text{s}$) より低くなければならない。代替措置としては、施設境界における空気中の濃度限度を $0.5\text{pCi}/\text{ft}^3$ ($0.0185\text{Bq}/\text{ft}^3$) としてもよい。

一方で人間侵入時の線量基準については、「浅地中に処分が許される放射性核種の限度を確立するために、性能評価は、低レベル廃棄物施設への意図しない侵入を一時的に行う仮想上の個人への影響を評価しなければならない。侵入者評価は慢性被ばくおよび急性被ばくに、空気中のラドンを除く全実効線量がそれぞれ年間 1mSv および 5mSv であることを性能基準として用いられなければならない。」とされている。

制度的管理の方法の規定はウランに特化していないが、「浅地中に処分が許される放射性核種の限度を確立するために、性能評価は、低レベル廃棄物施設への意図しない侵入を一時的に行う仮想上の個人への影響を評価しなければならない。侵入者評価においては、施設管理は少なくとも閉鎖後 100 年間は侵入阻止に有効と仮定されなければならない。制度的管理の期間を通して、公衆を保護する設備および環境の維持に対する責任は、制度的管理の期間中、Field Office Manager にある。(Field Office は DOE の部署名)」と示されている。

2.2 カナダ (CNSC (カナダ原子力安全委員会))

(1) P-290 「放射性廃棄物管理に係る規制政策」(CNSC) (2004) ⁵⁰⁾

P-290 の記載事項で、ウランに特化した規定ではないが関連するものについて整理した。受入基準では、本政策において、「放射性廃棄物」とは Nuclear Safety and Control Act⁵¹⁾ の 2 節で定義される「放射性物質」を含む物質(液体、気体または固体)であって、所有者が廃棄物と宣言したものである。

なお、Nuclear Safety and Control Act 2 節「放射性物質」を引用すると、「放射性のある核種と、原子力エネルギー開発のために発生したもの、使われたもの、放出されたもの等を指す。」と示されている。

放射性廃棄物処分の線量基準は、放射性廃棄物の管理に由来する予測された健康、安全および環境への影響は、規制上の決定当時にカナダにおいて許容される影響を超えてはならないと示されている。

放射性廃棄物処分の安全評価期間の規定は、放射性廃棄物の健康、安全および環境への将来影響の評価は、最大の影響が発生すると想定される期間を網羅することとされている。

(2) G-320 「放射性廃棄物管理の長期安全性評価に係る規制指針」(CNSC) (2006) ⁵²⁾

G-320 の記載事項で、ウランに特化した規定ではないが関連するものについて整理した。

放射性廃棄物の線量基準では、施設若しくは汚染されたサイトの長期安全評価は、公衆被ばくに対する規制上の線量限度(現在 1mSv/年)を超過しないことについて、合理的な保証を提供すべきであると規定されている。設計の最適化について、ICRP は設計上の目標値として、線量拘束値である 0.3mSv/年を超えないことを推奨している。

放射性廃棄物処分の安全評価期間については、放射性廃棄物から発生するかもしれない将来影響の評価は、最大の影響が発生すると想定される期間を網羅することとされている。

放射性廃棄物処分の安全評価シナリオの規定は以下の通り。

安全評価は評価時間枠に次の要素を考慮に入れるべきである

- ・廃棄物に伴う汚染の有害期間
- ・操業期間の長さ
- ・人工バリアの設計寿命
- ・能動若しくは受動的制度的管理の持続
- ・自然事象のまたは人為的な環境の変化(例えば地震の発生、洪水、干ばつ、氷結、気候変化など)の頻度

人工バリアの想定する性能寿命期間、および安全機能の経時的な進展は、現在の国内あるいは国際基準に照らして文書化され正当化されるべきである。その他、制度的管理が人間侵入を防ぐために設備に置かれる場合、人間侵入の影響評価は、制度的管理が失敗するシナリオの仮定を要するかもしれない。

2.3 英国 (SEPA/EA) (スコットランド環境保全庁、イングランド環境省)

(1) GRA2009 固体放射性廃棄物の浅地中処分に関する認可の要求に関するガイダンス (SEPA、EA) ⁵³⁾

英国の浅地中処分に係るガイダンスで 14 の要求項目から成り立つ。評価期間についてはピークが確認されるまで、あるいは不確実性が増して定量的評価の意味がなくなるまでと定義されている。一般公衆へのリスクとして 10^{-6} が適用されており、これを線量に換算すると 20μ

Sv/年としている。人間侵入については線量基準として3~20mSv/年を適用している。3mSv/年は、数年間続く被ばくにおいて許容される線量として考えられている（英国における土地の汚染の修復を行う際の基準と同じ）⁵⁴⁾。20mSv/年は、短期に受ける被ばくを考慮した基準である。

英国保健庁(HPA)はラドンは不確実性が高いことから3mSv/年よりも高い値とすることを助言したが、環境省は受け入れなかった。気候変動に関する考慮も行うように記載されている。

(2) SC030162/SR1 (2006)最初に行う放射線評価手法 第一部 ユーザー報告(EA)⁵⁵⁾

簡便に線量評価を実施して放射性廃棄物の放出に伴う線量評価を行う方法を説明している。具体的には大気、河口・港湾水、河川、汚水処理場への放射性物質の放出に伴う線量を濃度と線量の相関係数から算出するものである。

このように放射能濃度が低い場合、例えば大容量VLLWでは4MBq/t以下で特定の産廃処分場で受け入れ可能な場合では、サイト固有のシナリオを設定せずバリアの閉じ込めを見ない等の簡便な方法で操業許可を得ることも可能となっている。

(3) Project UKRSR03 (改訂 2010)管理型処分場で固体放射性廃棄物を受け入れる妥当性を評価するフレームワークの開発: 技術基準マニュアル(通称Sniffer (Scotland & Northern Ireland Forum for Environmental Research) Manual)⁵⁶⁾

産廃処分場で放射性廃棄物を受け入れ可能かどうか簡便な線量評価で判断するマニュアルである。判断にはジェネリックなデータとサイト固有のデータが用いられる。すべてのサイトに固有のシナリオを設定する必要はなく、サイトに応じて線源と経路から線量を評価する方法で算出して構わないとしている。

(4) EPR2010 環境許可規則(イングランド環境省、ウェールズ環境省)⁵⁷⁾

イングランドとウェールズでは1965年制定のRSA-93(1965)(放射性物質法)に代わり、EPR2010が採用されている。スコットランドと北部アイルランドではRSA-93(1965)は2010年時点ではまだ有効。LLWのサブカテゴリとしてのVLLWがあり、次の表のように定義されている。

ひとつのサイトから発生する放射性廃棄物を表I-3のVLLWの条件で処分する場合には、放射性廃棄物の規制から免除されて一般の廃棄物として処分できる。その条件を超える放射性廃棄物を処分しようとするとき許可が必要となり、放射線の影響評価を確認する必要がある。

表 I-3 EPR2010 に基づく放射性廃棄物の規制が免除される VLLW

放射性廃棄物	最大放射性核種濃度	年当たりの最大処分量
固体廃棄物で 4×10^4 Bq 以下	0.1m ³ 当たり放射性核種の放射能の総計が 4×10^5 Bq (4Bq/g)	2×10^8 Bq/年
トリチウムと ¹⁴ C のみを含む廃棄物で 4×10^5 Bq 以下	0.1m ³ 当たりトリチウムと ¹⁴ C の放射能の総計が 4×10^6 Bq (40Bq/g)	2×10^9 Bq/年

つまり、処分事業者は

- ・ 免除物質としてVLLWを産廃処分場に処分するか
 - ・ 受入れるVLLWについて埋設処分の許可を得てVLLWを処分するか
- のどちらかを選択することとなる。

2.4 フランス

- (1) RFS I-2 (1984) 安全基本原則 短・中寿命かつ低・中レベル放射性廃棄物の地表処分に関する安全目標および基本設計規則⁵⁸⁾

半減期30年以下の放射性核種を含み α 濃度として3,700 Bq/g以下の廃棄物を処分する場合の安全規制を記載している。廃棄物中の長寿命核種の量を制限すること、バリアの設定などが記載されている。核種の移行経路として水、大気による移行が想定されており、管理期間の後にはサイトが解放されることから道路建設等の人間侵入についても評価が必要であるとされている。

受け入れた全廃棄物の α 平均比放射能は監視期間終了時の条件で計算され、1トン当たり370MBq(370Bq/g)を超えてはならないとしている。

- (2) RFS I-2 (Ref No. 4) (1984) 地表処分場から生じ得る様々な放射線学的影響の研究⁵⁹⁾

浅地中処分から生じる放射線影響の評価方法を示している。ジェネリックな評価として長寿命の α 核種4万Ci(1.5×10^{15} Bq)を処分時で平均0.1Ci/t(3,700Bq/g)、300年後で0.078Ci/t(3,000Bq/g)として線量評価を実施している。

2.5 ドイツ (BfS 連邦放射線防護局)

- (1) StrlSchV (2012) ドイツ放射線防護令⁶⁰⁾

ドイツにおける規制免除レベル、条件付クリアランスのレベルが記載されている。ウランを処分する場合を見ると、年間100トンまで産廃処分する場合の限定クリアランスレベルは6Bq/gとなっている。濃度に関するクリアランスレベルの抜粋を表I-4に示す。

表 I-4 ドイツ放射線防護令に記載の規制免除及び条件付クリアランスレベル(抜粋)
(Bq/g)

核種	規制免除 レベル	年間100トンまで 固体廃棄物を処分 する場合	年間1,000トンまで 固体廃棄物を処分 する場合
^{234}U	10	6	0.6
$^{235}\text{U}+$	10	3	0.3
$^{238}\text{U}+$	10	6	0.6
^{238}U sec	1	0.3	0.03

$^{235}\text{U}+$: (子孫核種) ^{231}Th

$^{238}\text{U}+$: (子孫核種) ^{234}Th 、 $^{234\text{m}}\text{Pa}$ 、 ^{234}Pa

^{238}U sec: (子孫核種) ^{234}Th 、 $^{234\text{m}}\text{Pa}$ 、 ^{234}U 、 ^{230}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{222}Rn 、 ^{218}Po 、 ^{214}Pb 、 ^{214}Bi 、 ^{210}Pb 、 ^{210}Bi 、 ^{210}Po 、 ^{214}Po

複数の核種が存在する条件ではクリアランスレベルを用いて含まれる核種のクリアランスレベルに対する割合の分数和が1以下となることを確認する。

その他、閉鎖された住居に住む場合のラドンによる線量については本規制から除外する旨の特記がある。

2.6 スウェーデン (SSM 放射線安全機関)

- (1) SE SSMFS 2008 : 21 (スウェーデン放射線安全機関による放射性物質や放射性廃棄物の処分に係る安全に関する規制と一般的な助言)⁶¹⁾および SE SSMFS 2008 : 37 (使用済燃料および原子力廃棄物の最終管理における人間の健康と環境の保護に関する規則)⁶²⁾

スウェーデンの処分に関する規制文書である。公衆へのリスクとして 10^{-6} 以下としている。評価期間として長寿命核種を含む場合は、10 万年オーダーの評価が求められている。一方で定量的な評価は1,000年を超える場合難しくなるのではないかと考えられ、環境への放出量といったものも評価の一つの指標となると記載されている。

- (2) SE SSMFS 2011:2 (スウェーデン放射線安全機関による電離放射性に係る行為における対象物、部屋、建物、土地のクリアランスに関する規制と一般的な助言)⁶³⁾

スウェーデンのクリアランスの文書である。廃油脂、有害廃棄物を処分する場合のクリアランスレベルが明記され、ウランについては10Bq/gである。

クリアランスレベルの抜粋を表 I-5 に示す。

表 I-5 SE SSMFS 2011:2 に示されるクリアランスレベル(抜粋) (Bq/g)

核種	材料としての クリアランスレベル	廃油脂と有害廃棄物に関する クリアランスレベル
^{234}U	1	10
$^{235}\text{U}+$	1	10
$^{238}\text{U}+$	1	10

$^{235}\text{U}+$: (子孫核種) ^{231}Th

$^{238}\text{U}+$: (子孫核種) ^{234}Th 、 $^{234\text{m}}\text{Pa}$ 、 ^{234}Pa

^{238}U sec は記載されていない。

廃油脂と有害廃棄物に関するクリアランスレベルは、EU の BSS の免除除外レベルと一致している。

3. 処分場の概要

3.1 米国

(1) リッチランド (Richland) 処分場 (対象: 低レベル放射性廃棄物)

a. 実施・検討状況

・実施主体⁶⁴⁾

ワシントン州リッチランドの北西約 23 マイル (37km) の位置にあり、US Ecology Washington (American Ecology Corporation (AEC)の子会社) により運営されている。US Ecology の低レベル放射性廃棄物廃棄施設は、Class A、B および C の処分施設であり、リッチランドサイトは、以下の廃棄物を受け入れる。

- ・ノースウェストコンパクト (州間協定加盟州) (Oregon、Washington、Idaho、Montana、Wyoming、Utah、Alaska、Hawaii) とロッキーマウンテンコンパクト (州間協定加盟州) (Nevada、Colorado、New Mexico) で発生した低レベル放射性廃棄物
- ・NRC 又は DOE を除く廃棄物、NARM (Naturally occurring and/or Accelerator produced Radioactive Materials)、米国全 50 州からの TENORM (Technologically-Enhanced, Naturally-Occurring Radioactive Material)

日本保健物理学会によれば、“NARM” とは、天然および/または加速器由来の放射性物質とされている⁶⁵⁾。

日本原子力学会の講演再録によれば、以下のように解説している⁶⁶⁾。

- ・“TENORM” とは、自然起源の放射性物質を NORM と言い、そのうち特に工業利用などで予期せずに自然放射性物質が多量に特定の場所等に存在する場合があるが、これを TENORM と称している。
- ・これらには、たとえば、チタン鉱石の残渣や建設資材または肥料の原材料あるいは一般消費財中に含まれるウラン系列核種、トリウム系列核種、カリウム、特殊な例では磁性体に利用されるサマリウムなどの核種がある。

・受入実績⁶⁷⁾⁶⁸⁾

DOE Manifest Information Management System によれば、リッチランド処分場における 1986 年 1 月～2011 年 12 月までの処分実績は 4, 826, 203. 53ft³ (約 137, 000m³)、2, 417, 445. 12Ci (約 89, 000TBq) であり、天然ウラン (U-NAT) 35Ci (約 1, 300GBq)、劣化ウラン (U-DEP) 2. 53Ci (約 94GBq) が処分されている。

また、FINAL ENVIRONMENTAL IMPACT STATEMENT DOH Publication 320-031 VOLUME I (COMMERCIAL LOW-LEVEL RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL SITE RICHLAND, WASHINGTON May 28, 2004) によれば、1965 年～2002 年の実績では総量で 13, 877, 072ft³ (約 393, 000m³)、LLRW が 1, 692, 543. 29ft³ (約 48, 000m³)、NARM が 254, 529. 47ft³ (約 7, 000m³) 処分され、このうち ²³²U が 1. 34×10³mCi (約 50GBq)、²³⁴U が 2. 79×10⁵mCi (約 10, 000GBq)、²³⁵U が 3. 05×10⁴mCi (約 1, 000GBq)、²³⁸U が 1. 51×10⁶mCi (約 56, 000GBq) 処分されている。

b. 適用される基準と安全評価

・受入基準⁶⁴⁾⁶⁸⁾⁶⁹⁾

リッチランド処分場における処分のための基本要件は、

- ・廃棄物は全て、10CFR61 およびワシントン州行政規則 (WAC) 246-250 に則りクラス分けされていること。
- ・Class B および C 廃棄物は、10CFR61 および WAC 246-249 の安定化要件を満たすこと。

とされており、処分が禁止されている廃棄物には、

- ・混合廃棄物
- ・毒性ガス・蒸気・煙を含む、または発生させる廃棄物
- ・自然発火性、有害物、危険物、化学的な爆発性物質、水分・湿気ないし振動により激しく反応する物質を含む廃棄物
- ・未処理の液体分を含む廃棄物
- ・Special Nuclear Material (SNM) を、 ^{235}U について 350g 超、プルトニウムまたは ^{233}U について 200g 超を含む廃棄物 (SNM の分数和を 1 に制限)
- ・重量の 10% 超の油を含む廃棄物

がある。

また、State of Washington Radioactive Materials License : License Number : WN-1019-2 Amendment 40⁷⁰⁾によれば、サイトの総量限度として、 ^{238}U が 1547.7Ci (約 57TBq)、 ^{234}U が 335.4Ci (約 12TBq)、 ^{226}Ra が 464.60Ci (約 17TBq) 等とされている。

・管理期間終了後の安全評価⁽⁶⁸⁾⁽⁶⁹⁾⁽⁷¹⁾

Final Environmental Impact Statement, Commercial Low-Level Radioactive Waste Disposal Site Richland, Washington (Chapter 246-250 WAC Last Update: 1/7/11) 等によれば、管理期間については、WAC は最低 100 年を要求しており、能動的管理期間 7 年を加えた 107 年を管理期間としている。また、評価期間を 10,000 年までとし、0~500、500~1,000 および 1,000~10,000 年の 3 期に分けて評価している。

・ラドンの評価法⁽⁶⁸⁾⁽⁷⁰⁾

FINAL ENVIRONMENTAL IMPACT STATEMENT DOH Publication 320-031 VOLUME I COMMERCIAL LOW-LEVEL RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL SITE RICHLAND, WASHINGTON May 28, 2004 等によれば、オフサイトの地方居住者の被ばく経路が評価されており、低減効果を有するラドンバリアとして、①砂利、②ベントナイトや粘土、③閉鎖時の覆土材料の一つである Geo Synthetic Cover やアスファルト等があるとしている。

評価において、①の機能は考慮外、②は高い低減効果 (ファクタ 2.5 程度) を、③について健全(intact)材料期間(500 年まで)では非透気性と考えられ、Geo Synthetic Cover の性能要求の一つとして ^{222}Rn の散逸率(emanation rate)は $0.62\text{pCi}/\text{m}^2/\text{s}$ ($0.023\text{Bq}/\text{m}^2/\text{s}$) 以下をあげている

この Geo Synthetic Cover の性能は 500~1,000 年において徐々に低下するが、ベントナイト層の性能と対比可能なレベルまでは維持されると想定する。

評価期間は 1 万年であり、基準値としてオンサイト人間侵入に関しては $100\text{mrem}/\text{年}$ ($1\text{mSv}/\text{年}$) を採用しており、ラドンにも $1\text{mSv}/\text{年}$ が適用されている。1 万年までではラジウム (^{226}Ra) 起源のラドンの方がウラン起源のラドンよりも線量への寄与は高いとしている。なお、リッチランド処分場では、60 年、1,000 年および 10,000 年の放射線リスク評価結果が示されている。

(2) バーンウェル (Barnwell) 処分場 (対象: 低レベル放射性廃棄物)

a. 実施・検討状況

・実施主体^{72) 73) 74)}

バーンウェル処分場はサウスカロライナ州が所有しており、リース協定の下で

Chem-Nuclear Systems, LLC (現在の運営会社はEnergy Solutions 社 (以下「ES 社」という) によって操業されている。バーンウェル処分場はすべての米国の発生者から廃棄物を受け入れていたが、2008 年 7 月から、大西洋コンバクト州 (Connecticut, New Jersey, and South Carolina) からのみの廃棄物を受け入れることになった。

バーンウェル処分場では Class A から Class C までの廃棄物を受入れるが、サウスカロライナ州によって許可されている。

• 受入実績^{(67) (72) (73) (74) (75)}

DOE Manifest Information Management System 等によれば、1986 年 1 月～2012 年 1 月までの処分実績は 9,781,839.23ft³ (約 277,000m³)、10,924,335.34Ci (約 404,000TBq) であり、ウランの処分実績は “No Data” とされている。

また、²³²U が 0.30Ci (約 11GBq)、²³³U が 1.12Ci (約 41GBq)、²³⁴U が 33.80Ci (約 1,000GBq)、²³⁵U が 13.26Ci (約 490GBq)、²³⁶U が 0.26Ci (約 10GBq)、²³⁸U が 2,001.34Ci (約 74TBq) 処分されている⁽⁷²⁾。

b. 適用される基準と安全評価

• 受入基準^{(67) (72) (73) (74) (75)}

バーンウェル処分場の規制要件は、サウスカロライナ州の衛生・環境管理部門 (DHEC) 規則 61-63 (放射性物質 Title A) に従っている。Title A は、10CFR61 (放射性廃棄物処分に関する許可要件) と 10CFR20 (放射線防護の基準) の要件が取り入れられている。

SOUTH CAROLINA DEPARTMENT OF HEALTH AND ENVIRONMENTAL CONTROL RADIOACTIVE MATERIAL LICENSE Supplementary Sheet (License Number 097) によれば、許可は、²³⁵U の処分総量が 4,500g、²³³U は 200g とされ、加えて 1 パッケージあたり ²³⁵U は 350g、²³³U は 200g、プルトニウムは 200g、または各々の核種のこれらの比に対する値の合計値が 1 を超えないとされている (10CFR61 の臨界量によって制限される)。

• 管理期間終了後の安全評価⁽⁷⁶⁾

管理期間終了後はサウスカロライナ州の衛生・環境管理部門 (DHEC) に返還され、以降はサウスカロライナ州の衛生・環境管理部門 (DHEC) により管理される。サイト閉鎖後の事業者による管理期間は 100 年である。

管理期間終了後、所有権と管理がサウスカロライナ州の衛生・環境管理部門 (DHEC) に移管される。終了した段階 (Phases) ごとに覆土 (Caps) される。これらの覆土は、水浸入を除くように設計されている。覆土は厚さ最低 1 フィートの粘土層、geosynthetic clay liner (GCL)、60mil 高密度ポリエチレン (HDPE) ライナー、砂排水層と砂の表土層から成る。

• ラドンの評価法⁽⁷⁶⁾

ラドンの評価方法は不明であるが、ラドンは土中ガスサンプリングで最大およそ 2pCi/l (約 7×10^{-3} Bq/l) であり、ラドンガスは、バーンウェルサイトの土中の天然に存在するラジウムの子孫核種であるとされている。

(3) クライブ (Clive) 処分場 (劣化ウラン) (対象: 低レベル放射性廃棄物)

a. 実施・検討状況

• 実施主体^{(77) (78)}

クライブ処分場における低レベル放射性廃棄物の処分場は、ES 社により運営され、既に Class A の LLRW の処分場が操業中であるが、本項では、劣化ウラン廃棄物の処分の実施に

向けて、2011年6月に取りまとめられた安全評価について調査した。

処分を想定する劣化ウラン廃棄物は約70万トンで、サバンナリバーサイトからの UO_3 廃棄物が3,600トン、ガス拡散プラントからの廃棄物量が68万トンと評価されている。サバンナリバーサイトからの UO_3 廃棄物の想定平均放射能濃度は、 ^{234}U が $1.2 \times 10^3 Bq/g$ 、 ^{235}U が $110 Bq/g$ 、 ^{238}U が約 $1.0 \times 10^4 Bq/g$ として評価されており、ガス拡散プラントからの廃棄物も同じ濃度で想定されている。ウラン以外にも、 ^{90}Sr 、 ^{99}Tc 、 ^{129}I 、 ^{137}Cs のFP核種、 ^{226}Ra 等のウランの子孫核種、 ^{237}Np 、 ^{238}Pu 、 ^{239}Pu 、 ^{240}Pu 、 ^{241}Pu 、 ^{241}Am のTRU核種も評価されている。

b. 適用される基準と安全評価

・管理期間終了後の安全評価⁷⁷⁾

土地利用に関する評価シナリオについて、線量の評価期間は、ユタ州の安全評価に関する規則(R313-25-8)⁷⁹⁾に従って1万年としており、線量基準は $250 \mu Sv/年$ である。

地下水シナリオについては、線量基準が $40 \mu Sv/年$ と規定されている(R313-25-19)⁴⁵⁾が、当該評価では線量で評価せず、ユタ州の地下水濃度基準を満足していることの評価が実施されている。対象核種は、 ^{90}Sr 、 ^{99}Tc 、 ^{129}I 、 ^{230}Th 、 ^{232}Th 、 ^{237}Np 、 ^{233}U 、 ^{234}U 、 ^{235}U 、 ^{236}U 、 ^{238}U であり、評価期間は500年である。

ユタ州の安全評価に関する規則では、線量評価期間の1万年以降、放射性物質の影響が有意であると想定されるまでの期間の定性的な評価を実施することとなっている。これに従い、安全評価では、ウランが放射平衡になる約200万年までを評価期間とし、長期において処分施設が湖への埋没、陸地化を繰り返す事象を想定し、線量ではなく湖水および堆積物中の放射能濃度の評価を実施している。

評価においては、ウラン(^{232}U 、 ^{233}U 、 ^{234}U 、 ^{235}U 、 ^{236}U 、 ^{238}U)の子孫核種(^{210}Pb 、 ^{222}Rn 、 ^{226}Ra 、 ^{228}Ra 、 ^{227}Ac 、 ^{228}Th 、 ^{229}Th 、 ^{230}Th 、 ^{232}Th 、 ^{231}Pa)の生成が考慮されている。

ソースタームのモデルは、廃棄物を定置する処分場内の深さの範囲が3ケース設定され、設定されたエリア内の放射能濃度は均一に設定されている。人間侵入シナリオにおいて、放射性物質は浸透水、空気、土壌への様々な移行を考慮することが記されているが、ソースタームの評価でそれぞれの物質への移行を一緒に計算しているか、別々に計算しているかは確認できなかった⁸⁰⁾。

また、1万年までの評価において、覆土の侵食が起こらないケースと雨水の流れる水路が形成され、覆土が侵食されることを想定したケースの両方を想定して計算している。

・ラドンの評価法

線量は、他のガス状核種と合計し、線量基準値以下であることを確認している。ただし、人間侵入シナリオでは、処分施設を掘り返すシナリオは想定されていない。ラドンバリアおよび覆土の機能を評価に用いている。

・制度的管理

制度的管理について、ES社は制度的管理期間中の資金の責任があり、処分サイトの管理はユタ州が方針を決めると考えられる。なお、クライブサイトのVITRO施設(既に閉鎖されているウラン鉱さい処分施設)とウラン鉱さい処分施設はDOEが所有者である。

・PP (Physical Protection : 核物質防護) 管理について⁸¹⁾

個々のコンテナでは、 ^{235}U が70.3Bq/g未満(濃縮度10wt%未満および化合物で20wt%未満)、 ^{238}U (10wt%を超えるまたは化合物で20wt%を超える)44Bq/g、 ^{235}U (濃縮度、化合物濃度の制限なし)0.962Bq/g、 ^{233}U は2,775Bq/g未満、 ^{238}Pu 、 ^{239}Pu 、 ^{240}Pu 、 ^{241}Pu は370Bq/g未満、 ^{241}Pu

は 12,950Bq/g、²³⁶Pu、²⁴³Pu、²⁴⁴Pu は 18.5Bq/g 未満でなければならない。また、廃棄物パッケージに、ウランが水への溶解性の高い化学形の場合 ²³⁵U が 350g、²³³U が 200g、プルトニウムが 200g (Special Nuclear Material) を超えて含有してはならない、または各々の核種のこれらの比に対する値の合計値が 1 を超えないこととする。これらの濃度については、廃棄物中で均一に分布させるようにしなければならない、600kg における平均で上記の制限値を超えてはならない。

・ウランの地下水濃度基準⁸²⁾

モニタリング井戸でウランの濃度は 0.03mg/l 以下とユタ州の規則⁸³⁾および ES 社の許可申請書に定められている。この値は、EPA が設定した基準に基づいている⁸⁴⁾。EPA では、2000 年に従来の 0.02mg/l の基準値から、0.03mg/l に基準を変えることによる腎臓へのがんのリスクへの影響は小さいと評価し、便益評価も行った上で 0.03mg/l に基準を修正している。0.03mg/l とした時の腎臓がんのリスクは、1/10,000 より少し低い程度と算定されている。加えて許可申請書では、一部の核種の放射能濃度基準が定められている。²³³U、²³⁴U、²³⁸U では 26pCi/l (0.96Bq/l)、²³⁵U、²³⁶U では、27pCi/l (1.00Bq/l) である。

ただし、一部のバックグラウンドの高い井戸については、バックグラウンドの平均値+2σ の値を基準値として設定している (最大 0.117mg/l)。

(4) テキサス WCS 社処分場 (対象：低レベル放射性廃棄物)

a 実施・検討状況

・実施主体

テキサス州のニューメキシコ州境界付近に位置し、Waste Control Specialists (WCS) 社により運営されている。テキサスコンパクトの放射性廃棄物を処分する CWF 施設 (Compact Waste Facility) が操業中で DOE の廃棄物を処分する FWF 施設 (Federal Waste Facility) が建設中である。

・受入実績

ウランを含む廃棄物は、安全評価書⁸⁵⁾によれば、CWF 施設の受け入れの対象となっていないため、現在、ウラン廃棄物に相当する廃棄物の受入の実績がないと考えられる。一方で、FWF 施設では、原子炉施設や研究施設等から発生する廃棄物とともにウランを含む廃棄物も受入れることを想定した安全評価が行われている⁸⁶⁾。容器を必要としない FWF-NCU 施設では、全体 92 万 m³のうち、約 50 万 m³を環境修復サイトから発生する主にウランを含む廃棄物と想定し、容器を必要とする FWF-CDU 施設では全体約 69 万 m³のうち、約 1 万 m³を劣化ウラン等で汚染された廃棄物として想定されている。安全評価に用いられた廃棄物全体におけるウランの平均放射能濃度は CWF 施設で 0.06Bq/g、FWF-CDU 施設で 800Bq/g、FWF-NCU 施設で 80Bq/g である。

・処分費用について⁸⁷⁾

テキサス州規制機関 (TCEQ) が承認した初年度の暫定価格が公開されている。コンパクト (州間廃棄物受入協定) 外の廃棄物を受入れるか否かでケーススタディが実施されているところである。

コンパクト外からの受入を認めた場合の Class A 廃棄物の受入コストは立法フィート当たりで表 I-6 のとおりである。

表 I-6 廃棄物の処分料金^(*) (\$/ft³ ^(*))⁸⁷⁾

	コンパクト内の廃棄物	コンパクト外からの 廃棄物
Class A	\$60~\$80	\$210
高線量 Class A	\$190	\$460
Class B/C	\$2,650	\$5,870
高線量 Class B/C	\$7,960	\$17,620

(*) : 参考文献⁸⁷⁾に示された金額のうち1ドルの単位は四捨五入した。

(*) : \$/ft³ ≒ \$35/m³

b. 適用される基準と安全評価

・受入基準

現行の許可書では、FWF 施設は全体で約 74 万 m³、FWF-CDU 施設は約 23 万 m³の埋設容量となっており、劣化ウランで汚染された廃棄物は、Class A の α 核種の上限值である 10nCi/g (370Bq/g) 以下が対象となっている⁸⁸⁾。

・管理期間終了後の安全評価⁸⁹⁾

放射性廃棄物の処分に対する管理期間終了後の安全評価において放射性物質の放出に関する評価における周辺公衆への線量基準は 250 μSv/年であるが、意図しない侵入者の線量規準は規定されておらず、防護されていることを保障すべきと規定されている。テキサス州規制機関 (TCEQ) が示した評価書では、WCS 社が実施した通常のパラメータにおける周辺公衆へのシナリオと意図しない侵入者のシナリオの評価結果が 250 μSv/年を超えないことが確認されている。

評価期間は、ボーリングによる外部被ばくや覆土の上におけるガス吸入経路等では評価開始から 100 年後で、井戸水利用経路では 10 万年である。

ボーリングによる外部被ばく経路では、評価期間が短いため、ウランの子孫核種は ²³⁴Th と ^{234m}Pa だけが考慮されている。また、浸透水による処分施設内の放射能の減少は考慮されていない。井戸水経路では、全部の子孫核種が計算されているが、線量の値は現れていない。外部被ばく経路と井戸水経路で対象とする子孫核種が異なっているのは、評価期間の違いによるものと想定される。

ウランを含む廃棄物と他の LLRW は、井戸水経路の評価では区別されておらず、処分場内の放射能は均一として評価している。ボーリングによる外部被ばく経路では放射性廃棄物の発生施設区分毎の平均放射能濃度による評価を実施し、各施設区分の評価結果の中で最も高い値を全体の評価結果の代表値としている。

・ラドンの評価法

放射性ガス吸入経路では、ウランからのラドンは評価されず、ラジウムからのラドンによる線量が評価されている。ラジウムからのラドンによる線量は、放射性ガス吸入経路において、他の放射性ガスとなる核種からの線量と合計し、線量基準値以下であることが確認されている。その線量評価において、覆土厚さ (9m) を通過する際の減衰が考慮されており、処

分場を掘り返した掘削土等から直接的に吸入被ばくする経路は計算されていない。

・制度的管理の方法⁹⁰⁾

LLRW 処分場の管理期間は 100 年である。テキサス州環境品質委員会 (TCEQ) が土地を所有するが、制度的管理をテキサス州規制機関 (TCEQ) が自ら行うとは限らず、第三者に任せる可能性もある。

・PP (Physical Protection : 核物質防護) 管理について⁸⁸⁾

処分場内で保管中の状態で次の重量を超えて所有してはならない。²³⁵U が 350g、²³³U が 200g、プルトニウムが 200g (Special Nuclear Material) また、各々の核種のこれらの比に対する値の合計値が 1 を超えないこととされている。個々の容器または処理装置では、²³³U は 4.7×10^{-4} g 核種/g waste、²³⁵U (濃縮度 10%まで) は 9.9×10^{-4} g 核種/g waste、²³⁵U (濃縮度 10~100%まで) は 6.2×10^{-4} g 核種/g waste、²³⁹Pu は 2.8×10^{-4} g 核種/g waste、²⁴¹Pu は 2.2×10^{-4} g 核種/g waste を超えないこととされている。これらの濃度については、廃棄物中で均一に分布させるようにしなければならず、600kg における平均で上記の制限値を超えてはならない。

・ウランの地下水濃度基準について⁸⁵⁾⁸⁶⁾

許可書には、地下水の濃度基準は定められておらず、処分場からのウランの浸出水の基準も決められていない。安全評価書の中で、一部の元素、化合物の浸出水中の濃度を試算し、40CFR268.40⁹¹⁾の基準と比較している。

3.2 カナダ

(1) ポートホープ (Port Hope) 長期廃棄物管理施設 (対象 : 環境修復廃棄物 (産業廃棄物を除く))⁹⁰⁾

a. 実施・検討状況

・実施主体

カナダ、オンタリオ州ポートホープ市では、ウラン製錬および転換などの事業により発生した歴史的廃棄物に関連する環境修復および浅地中に埋設して管理する長期廃棄物管理施設 (Long-Term Waste Management Facility; LTWMF) が、地元自治体と関係当局により構成される Port Hope Area Initiative (PHAI) により進められている。

・受入実績

このポートホーププロジェクトにおける廃棄物管理は、処分ではなく、500 年の長期管理という形式を採用している。プロジェクトは、Phase 1 (2001~2008 年 : 環境影響評価および許認可作業) および Phase 1A (2008~2012 年 : 詳細設計および経費見積もり) が終了し、Phase 2 (2012~2021 年 : 建設およびクリーンアップ) が開始された。その後、Phase 3 (2021 年~ : 長期管理) へ移行する。対象廃棄物は、低レベル放射性廃棄物の一つのカテゴリである歴史的廃棄物 (1985 年以前に発生したもの) 約 120 万 m³ であり、人工放射性核種は含まれていない。

b. 適用される基準と安全評価

・管理期間終了後の安全評価方法

管理期間を超えた期間については、起こりうる環境変化を反映した地下水移行シナリオ、低頻度の機能不全および事故を想定した人間侵入シナリオの評価が行われている。

地下水シナリオでは、異なる透水条件において、ウランおよび²²⁶Ra を含む化学種について地下水浸透による核種の溶出および移行を計算している。ソースタームでは、子孫核種の生成は考慮されていない (したがって、ラドンの評価は行われていない)。評価期間は、最大 5 千万年

である。評価基準は、オンタリオ州の水質基準および飲料水基準である。

人間侵入シナリオでは、意図しない侵入として、LTWMF の直上での居住、工事の掘り出しが評価されている。ガンマ線による直接被ばくおよびラドンガスによる吸入被ばくを考慮している。ソースタームは、放射性崩壊および子孫核種の生成は考慮するものの、地下水浸透による対象元素の減少は考慮されない。評価期間は、カナダ政府規制政策により、ピーク発生年代または1万年までとなっているが、管理期間終了直後の500年後と最大放射能となる8,000年後の計算を行っている。比較基準としては、意図しない侵入に対しては、ICRPにおいて介入レベルとして勧告されている10~100mSv/年を参考としている。

・ウランの地下水濃度基準

オンタリオ州のウランに係る水質目標 $5 \mu\text{g}/\text{L}$ 、飲料水基準は、 $20 \mu\text{g}/\text{L}$ であり、その基準を満足するように安全評価が行われている。

3.3 英国

(1) ドーンレイ (Dounreay) 処分場 (対象：低レベル放射性廃棄物—解体廃棄物含む—)

ドーンレイ処分場は、廃止措置中の高速実験・原型炉があるサイトに隣接し、新しい低レベル放射性廃棄物施設として計画された。この計画は、旧 UKAEA から引き継いだ Dounreay Site Restoration Ltd. (DSRL) により進められている。現在の予定では、2014年頃にその完成を見込んでいて、施設は廃棄物発生に合わせて順次増設される予定である。処分実績はないが、受け入れ基準として LLW は、 α 核種で $4\text{GBq}/\text{t}$ または β/γ 核種で $12\text{GBq}/\text{t}$ 以下の廃棄物 (計画値)、解体により発生した LLW は、 α 核種で $0.01\text{GBq}/\text{t}$ または β/γ 核種で $0.40\text{GBq}/\text{t}$ 以下の廃棄物 (計画値) という値を設けている。安全評価は、それ以降線量が下がると考えている50,000年まで $0.3\text{mSv}/\text{年}$ 、施設関連線量拘束値 $500 \mu\text{Sv}/\text{年}$ という目安で行われている⁹²⁾⁹³⁾。

(2) ドリッグ (Drigg) 処分場 (対象：低レベル放射性廃棄物)

ドリッグ処分場は、種々の低中レベル放射性廃棄物処分のために1950年代から使われている。現在は、LLW Repository Ltd (NDA から処分の委託を受けた民間会社) が操業主体になっている。1959年~1995年までは、粘土でライニングされた7つのトレンチで作られた場所におよそ $800,000\text{m}^3$ の固体、調整されていない廃棄物が処分された。処分後、トレンチへの水浸入を減少させるためにプラスチックライナーを含めた予備的な覆土が設けられた。1988年からコンクリート構造物からなるポルトにグラウト充填で鋼製コンテナに入れられた廃棄物の処分が行われており、およそ $200,000\text{m}^3$ の低中レベル廃棄物が処分されている。ポルトには、さらに $750,000\text{m}^3$ の廃棄物を貯蔵するために追加ポルトを加える計画が進められている。受け入れ基準は、 $0.3\text{TBq}/\text{年}$ 、廃棄物搬入物 (Waste Consignment ; 最大 40m^3 の1個の処分コンテナ) には、存在する全てのウランは、 ^{235}U が 60g を超えないことになっている。安全評価では、数千年の時間規模では施設崩壊に至らないとする遅延沿岸侵食シナリオでは閉鎖後最大1万年までの評価に留めているが、この場合も放射線学的リスクがピークに達することを確認している⁹⁴⁾⁹⁵⁾。

(3) クリフトンマーシュ (Clifton Marsh) 処分場 (対象：産業廃棄物-LLW 含む—)

クリフトンマーシュ処分場は、一般廃棄物処分場 (管理埋設 (SPB) 処分場) および LLW+VLLW (ESC 評価は VLLW 扱い) からなり、1970年代には農場として開拓され、1986年に Landfill サイトとして操業された。このサイトでは、家庭廃棄物、商業・産業廃棄物、特別な廃棄物等の

広範囲な廃棄物を受入れている。また、Preston、Fylde および Black pool 地区からの廃棄物を処分している。

さらに、隣接する廃水処理施設で前処理・乾燥した下水汚泥も処分されている。処分場面積は、120ha であり、トレンチ型処分を行っている。現在までに $9.1 \times 10^6 \text{ m}^3$ (1.0×10^7 トン) が処分されており、今後の処分量として $1.75 \times 10^5 \text{ m}^3$ (2.5×10^5 トン) 予定されているが、その中で低レベル放射性廃棄物は全処分容量の 10%以下である 0.3TBq(2002)⁹⁶⁾⁹⁷⁾⁹⁸⁾⁹⁹⁾。ウランの受入基準は、「10 トントラックで全ての核種を足し合わせた放射能濃度が 200Bq/g を超えないこと、かつ、⁹⁰Sr は廃棄体ごとで 100Bq/g を超えないこと」としている。ただし、廃棄体ごとでは、1,000Bq/g までのホットスポットを容認している。安全評価におけるめやす線量は、管理期間中では決定グループの代表的構成員に対して $300 \mu\text{Sv}/\text{年}$ 以下、管理期間終了後ではリスク限度 $10^{-6}/\text{年}$ ($20 \mu\text{Sv}/\text{年}$ に相当) という値を設けている。また、評価期間は、人間侵入シナリオについて 500 年、地下水シナリオで最大 10 万年までの評価を行っている⁵³⁾⁹⁹⁾¹⁰⁰⁾¹⁰¹⁾。

(4) リリーホール(Lilly hall)処分場 (対象：産業廃棄物-VLLW 含む)

リリーホール処分場はもともと産業廃棄物処分場であったが、2010 年に HV-VLLW (大容量極低レベル放射性廃棄物) の処分が可能となった¹⁰²⁾。2011 年現在、HV-VLLW として、残り $582,000 \text{ m}^3$ が 2030 年までに処分可能である¹⁰³⁾。もっぱら、近隣のセラフィールド近傍の発電所等の廃棄物を処分している。処理濃度上限は 4MBq/t であり、ウラン廃棄物を多く捨てると他の核種の廃棄物が捨てられなくなる¹⁰⁴⁾。評価は、いわゆる sniffer manual (2008 年改訂版)⁵⁶⁾ではなく簡便法により評価している。通常の産業廃棄物と同じ扱いで処分しており、ウラン廃棄物に対しては特別のバリアを使用していない。放射線測定は、規制当局が、問題ないと判断するまで、実施されることとなっている¹⁰⁵⁾。それ以外は通常の産業廃棄物処分場としての監視しかされていない。HV-VLLW を受け入れる前にも NORM の処分 (2004 年) を 3,000 トン実施しているが、現在は行われていない¹⁰²⁾。

(5) キングスクリフ (Kings Cliffe) 処分場 (対象：産業廃棄物-LLW 含む)

キングスクリフ処分場はもともと有害廃棄物の埋め立て処分場であるが、2011 年に認可を受けて 200Bq/g までの LLW (High Volume Very Low Level Radioactive Waste を含む) も処分されている¹⁰⁶⁾。

ウランについての受け入れ総量限度は ²³²U、²³³U、²³⁴U、²³⁵U、²³⁶U、²³⁸U のいずれについても 85GBq である¹⁰⁶⁾。

処分場における安全評価としては、通常起こると考えられるシナリオでは $0.02 \text{ mSv}/\text{年}$ 、人間侵入などの通常考えられないシナリオでは最大 $3 \text{ mSv}/\text{年}$ を基準値としている¹⁰⁷⁾。安全評価の期間は処分場閉鎖後、最大 5,000 年まで実施されている¹⁰⁷⁾。評価においては、ウランを含む 43 核種についてラドンなどの子孫核種も考慮している¹⁰⁷⁾。廃棄物からの放射性核種の漏出については、サイト閉鎖後に全核種が浸出するとしてサイトからの流出についてはドリッグ処分場周辺の事例を参照してインベントリの年間放出率 1×10^{-3} を保守的な仮定として用いている。処分場の管理期間は 60 年と想定されている¹⁰⁷⁾。

3.4 フランス

(1) ラマンシュ (La Mansh) 処分場 (対象：放射性廃棄物)

ラマンシュ処分場は1984年の短中寿命かつ低・中レベルの放射性廃棄物の埋設処分に関する安全基本規則(RFS I-2)の制定以前に運用していた処分場であり、1976年にトリチウムの漏えいが発生して以来、大きな改修を実施してきている。雨水の浸入を阻止し、ラドンを閉じ込めるために粘土層にアスファルト層を組み合わせて覆土としている。1996年にラマンシュの状況を評価する委員会が設置され、制度的管理期間であるアスファルト層の耐久性が重要であり、数百年後もサイトを解放することなく再度議論することとなっている¹⁰⁸⁾。

(2) オーブ (Aube) 処分場 (対象：放射性廃棄物)

ラマンシュ処分場が満杯となることから、原子力発電所・再処理施設・燃料加工施設・研究施設で発生する短寿命低レベル廃棄物との処分場として開発され、1992年から操業を始めた。ウラン廃棄物については、受け入れるウラン廃棄物の量は極めて限定的であるがウラン燃料加工施設からのウラン廃棄物を受け入れている。ウランの受け入れが極めて限定的であることからラドンの評価は実施されていない。処分場はボルト形式である。線量基準は法律上では1mSv/年であるがANDRAの管理目標値として0.25mSv/年で管理している。立地条件として極めて透過性の低い粘土層で地下水深度も低い場所を選定している。地下水シナリオとしては河川水利用経路が決定経路で $4\mu\text{Sv}/\text{年}$ 程度と評価されている。人間侵入については、管理期間での評価で地下水くみ上げ、道路工事、大人・子供の居住について線量評価し、数mSv/年と評価している。覆土は制度的管理期間中性能が保たれるように設計され、浸水量として $2\text{mm}^2/\text{m}^2/\text{年}$ 以下と設計している¹⁰⁹⁾¹¹⁰⁾。

安全評価期間は地下水シナリオが1万年、人間侵入シナリオが300年、ウランの子孫核種はウラン濃度が低いので評価していない。人間侵入の評価に関して、流出によるインベントリの減少は考慮していない⁵⁴⁾。

(3) モルヴィリエ (Morvilliers) 処分場 (対象：極低レベル放射性廃棄物)

解体に伴い発生する比較的濃度の低い廃棄物を処分する処分場として設置された。処分場としては原子力施設としての規制ではなく、環境省によるの規制下の処分場である。ウラン廃棄物は恒常的に受け入れている。受け入れ基準は平均100Bq/g以下であり、廃棄体あたりではその10倍である1,000Bq/gまでの廃棄体の受け入れが可能である。立地場所はオーブ処分場の近隣であり、オーブ処分場同様に透水性の極めて低い粘土層で地下水深度が低い場所に設置されている。放射性廃棄物処分場と同様な線量評価が実施されているが、評価された線量は多くの厳しい条件でのシナリオで $45\mu\text{Sv}/\text{年}$ 以下と報告されている。処分場で受け入れる廃棄物中のウラン平均濃度は全体で数Bq/gと低い。管理期間は30年であるが、地方自治体との協議により延長となることが考えられる¹¹¹⁾。

安全評価期間は地下水シナリオでは線量のピークを含む期間、人間侵入シナリオでは埋設終了後50年後としている。ウランの子孫核種については、ラドン含め評価していない。人間侵入の評価に関して、流出によるインベントリの減少は考慮していない¹¹⁰⁾。

ラドンのモニタリングは入口付近と長寿命低レベル放射性廃棄物保管棟に近い事業所境界の2箇所にラドンのモニタリング施設が設置されている⁵⁴⁾。

(4)FA-VL 処分場（対象：長寿命低レベル放射性廃棄物）

ガス炉の廃止措置に伴い発生するグラファイトや歴史的廃棄物であるラジウム等を処分する処分場としてFA-VL 処分場が計画されている。2009年に2つの候補地が辞退したため、現在立地をやり直している。処分概念として地下30m程度の深度に処分する概念と深い場所に設置して15m程度の覆土を施工する概念が検討されている。長寿命核種を処分することから、5～10万年間の地質学的安定性が要求される。グラファイトの処分に関する長期管理ではそれに付随している放射化核種(⁵⁹Ni、⁶³Ni、⁹⁴Nb)、核分裂生成物(⁹⁰Sr、¹³⁷Cs、¹³⁴Cs)、アクチノイド(プルトニウム、アメリシウム)の量を検認することが必要である。ウラン、トリウムについては処理前のラジウム廃棄物で平均濃度を20Bq/g程度と想定している¹¹²⁾。

安全評価は基本状態、変動状態でシナリオ設定し、定量的評価期間は最長1万年までである。基本状態のシナリオの評価基準は250 μ Sv/年としている。1万年以降は可能な限り線量を下げよう努力を行い、250 μ Sv/年は参照値としている⁵⁴⁾。

現在ジェネリックなパラメータサーベイをしているが、今後はサイトスペシフィックな評価に入る予定としている⁵⁴⁾。

3.5 ドイツ

(1)コンラッド (Konrad) 処分場（対象：放射性廃棄物—計画中—）

コンラッド処分場は、旧鉄鉱山の跡地を利用したものであり、およそ1.5km離れた2本のシャフト、および表面下の坑道長さおよそ40kmからなる。鉱山は深さ800mから1,300mまでの6つのレベルになっている。そこに200リットルドラム缶詰固化体、廃炉廃棄物等の処分を計画している。ガスおよび液体の廃棄物の定置は認められない。処分子定の廃棄物は、現在ドイツ国内にある廃棄物を予定しており、量的には、①調整の廃棄物（リサイクル可能）：2007年末現在18,506m³、②中間生成物：2007年末現在8,541m³、③調整済み廃棄物：2007年末現在91,077m³、④2007年中に発生したもの2,383m³、⑤2008年の予想廃棄物4,736m³である。受入放射能インベントリは、 α 核種： 1.5×10^{17} Bq、 β/γ 核種： 5.0×10^{18} Bqとなっており、安全評価については、①1mSv/年（公衆被ばく）、②300 μ Sv/年（原子力施設からの被ばく）という基準を設け約10,000年の評価を行っている。ラドン評価に関する特段の記載はないが、²³⁸Uのインベントリ 1.9×10^{12} Bqに基づき、 10^{-5} Sv/年の線量が870万年から1,600万年の期間²²⁶Raにより生じることが試算できる。閉鎖後の管理については、コンラッド処分場の許可の中で以下のように規制されている。

「閉鎖後の期間についての特別な管理と監視計画は、考慮されていない。しかし、関連する規制に従い、処分場周辺の区域について環境的媒体である空気、水および土壌の定期的測定は実施されなければならない。これらの測定結果は、処分場からの影響の証拠となるものとして分析され、適切な書式に記録されなければならない。その範囲と書式は、閉鎖計画書（Abschlussbetriebsplan）において規定され、また、その結果は、長期的文書記録に追記されなければならない。」¹¹³⁾¹¹⁴⁾¹¹⁵⁾

(2)ヴィスマート(Wismut)処分場（廃ウラン鉱山）

第二次大戦後ソ連がそれら地域を支配し、東ドイツとしてソ連の原子爆弾製造のためウラン供給を目的とし、ヴィスマート処分場が設立された。処分場規模は約4,500haであり、そこに1954年から1990年の操業期間中、3.1億m³の放射性廃棄物が処分され、160TBqのラドンの放出が確認されている。閉鎖後は、連邦政府、州政府が巨費を投じて環境修復を行った。

その結果、1mSv/年以下の線量基準を達成しており、2割近いエリアが一般に売却等解放されている。管理については、永続的な管理が求められている¹¹⁶⁾。

3.6 スウェーデン

(1) サカブ(SAKAB) 処分場 (対象：産業廃棄物，ウランのクリアランス対象物)

サカブ処分場は1960年代にスウェーデンで有害廃棄物によって引き起こされた問題を解決するために1969年に設立された¹¹⁷⁾。Westinghouse Electric Sweden 社 (WES 社) のウラン燃料加工工場で発生するウラン汚染物の処理としてRadwaste 社とRanstad Mineral AB (RMA 社) の処理施設以外にグリタ処分場、リサンゲン処分場とともにサカブ処分場もその機能が組み込まれた¹⁰⁴⁾。

WES 社の2007年申請により、ウラン廃棄物処理工程からの最終残渣をサカブ処分場へ処分することが可能になり、その認可には条件付きクリアランスレベルが適用された¹⁰⁴⁾。

その際の条件付きクリアランスレベルは以下のとおりである¹⁰⁴⁾。

^{232}U : 1 kBq/kg

^{234}U : 10 kBq/kg

^{235}U : 10 kBq/kg

^{236}U : 10 kBq/kg

^{238}U : 10 kBq/kg

(2) SFR 処分場 (対象：低レベル放射性廃棄物)¹⁰⁴⁾¹¹⁸⁾

SFR 処分場は1983年に建設が開始され、1988年操業が開始された、スウェーデンの低レベル短半減期放射性廃棄物処分場である。このため、ウラン廃棄物は受け入れ対象外である。海岸から海底下にトンネルを掘り、処分場としている。基本的には各サイトにて廃棄体化された廃棄体を受け入れているが、一部はStudsvikで溶融処理された物を受け入れている。廃棄体収容設備はボルトとサイロからなり、廃棄体の表面線量率から、廃棄場所を区別している。主な廃棄物の核種は ^{60}Co と ^{137}Cs であり、ウランは不純物として、廃棄体に含有されている。

(3) グリタ(Gryta) 処分場 (対象：産業廃棄物，ウランのクリアランス対象物)¹⁰⁴⁾¹¹⁸⁾

条件付きクリアランスのレベルはサカブ処分場と同じである。2005年までに非有害廃棄物として6,500トン処分されたが、EUの新しい廃棄物施設基準に準拠しないため、処分を停止した。2002年に地下水シナリオの評価が、2006年に人間侵入の評価がなされ、人間侵入では周辺住民の被ばく量が数10 μSv /年であると評価されている。2005年までは個別にクリアランス申請がなされ、ウラン濃度は30ppm以下とされていた。その後は、サカブ処分場と同じく条件付きクリアランスが、適用され、現在に至っている。ラドン評価や閉鎖後の長期評価はなされていない。長期評価を実施しないのは氷河期の到来を予測しているからとされている。有害物の処分場となったため、処分場はベントナイト含有層50cmおよびゴムライニングにより保護されている。産業廃棄物処分場としては地下水等の測定を実施している。放射線測定は自主的に第三者が実施している。

(4) リサンゲン(Risangen) 処分場 (対象：産業廃棄物，ウランのクリアランス対象物)

濃度の低いウランで汚染した廃棄物が地方自治体の一般産廃処分場で処分された。その産廃

処分場の1つであるリサンゲン処分場には1991年～2000年に約870トン(CaF₂)の廃棄物が処分された。受け入れ基準は、平均22.7Bq/g、最大54Bq/gであったが、更に1回に処分する浸出残渣に含まれる残渣中のウラン含有量は250ppmを超えてはならないという制限が設けられた。

安全評価は250ppmU、平均濃縮度3.5%、60kgU/年(18MBq/t相当という基準で行われ、4,000～8,000年処分する場合の最大線量がウラン濃度0.1%の時の最大個人線量72μSv/年以下であることで評価が行われた。しかしながら、この処分場では1991年～2000年まで合計1,752トン処分された後の現地調査により許容値を超えるものが見つかったため処分を中断し、2004年に受け入れも中止となった¹¹⁹⁾¹²⁰⁾。

上記I章の主な処分場の概要を表I-7にまとめた。

表 I-7 ウランを含有する廃棄物処分各国比較表

凡例 ○：受入/評価の実施、△：受入/評価の一部実施又は想定・検討、×：受入/評価せず

		仏国		英国		スウェーデン	米国		
		オーブ 処分場	モルヴィリエ処分場	クリフトンマーシュ処分場	ドリッグ処分場	グリタ処分場	WCS 社処分場	クライブ処分場	
受入廃棄物区分		低レベル	極低レベル	低レベルと一般産業廃棄物	低レベル	産業廃棄物 (クリアランス後)	低レベル	低レベル	
埋設区分		浅地中処分	浅地中処分	浅地中処分	浅地中処分	浅地中処分	浅地中処分	浅地中処分	
処分方法		コンクリートピット*1	トレンチ (遮水工付) *2	トレンチ (遮水工付) *3	コンクリートポルト、過去はトレンチ*4	トレンチ (遮水工付) *5	コンクリート壁、遮水工付トレンチ*6	トレンチ (遮水工付) *6	
ウラン処分の現状	受入有	○ 核燃料加工施設、濃縮施設等から発生するウランを含有する廃棄物を受入*5		○ カーペンハーストとスプリングフィールド等から発生するウランを含有する廃棄物を受入*7	○ 核燃料加工施設、濃縮施設等から発生するウランを含有する廃棄物を受入*8	○ ウェスティングハウス社から発生するウランを含有する廃棄物を受入*5	△ ウランを含有する廃棄物の受入実績なし。(DOEからのウラン廃棄物の受入が想定されている)*6	○ ウランを含有する廃棄物の処分実績あり*9	
	処分実績	ウラン 0.46TBq (²³⁴ U、 ²³⁵ U、 ²³⁶ U、 ²³⁸ U) (2012 まで) *10 処分場平均では数 Bq/g 以下*5	α 2.0TBq (主に ²³⁴ U、 ²³⁸ U) (2010 まで) *11 処分場平均では数 Bq/g 以下*5	スプリングフィールドより 280GBq、2 万 m ³ カーペンハーストより 3.7 GBq、3 千 m ³ (1998~2002 年) *9	²³⁴ U 5.88TBq、 ²³⁸ U 6.7TBq (2008 年 3 月まで) *8	ウランを含有する廃棄物 6,500t (2005 年まで) *5	なし*6	天然ウラン 2.92TBq、劣化ウラン 182TBq (1992 年 7 月~2010 年 8 月末) ほか、LLW 全体で 1.11×10 ⁶ m ³ 、1,301TBq*9	
	濃度上限値	α 核種について<3,700Bq/g (廃棄体毎) 処分場平均では 370Bq/g 以下*12	ウランについて <100Bq/g (バッチ毎) <1,000Bq/g (廃棄体毎) *13	10 トントラックで <200Bq/g (バッチ毎) <1,000Bq/g (廃棄体毎) *5 総ウラン量で 500GBq/年*7	α 核種 <4,000Bq/g*14 ウラン0.3TBq/年*14	事業者申請時にSSMがクリアランス許可*5	現在の受入基準 劣化ウラン汚染廃棄物 ≤ 10nCi/g (370Bq/g)*15 (安全評価では約 800Bq/g の濃度でも実施) *6	ウランの受入暫定基準 劣化ウラン汚染廃棄物 <18nCi/g (666 Bq/g) うち ²³⁸ U<16.5nCi/g (611 Bq/g)*16	
評価の考え方	線量基準	地下水	1mSv/年 (基本状態での規制基準) 250 μ Sv/年 (ANDRA の目標値) *5	リスク基準 10 ⁻⁶ /年 (発生確率が 1 の時は 20 μ Sv/年に相当) *4		10 μ Sv/年以下 (井戸水利用畜産・水産物摂取) *5	250 μ Sv/年*17	地下水中の放射能濃度を基準 (核種毎) *18	
		人間侵入	× 規制基準は決まっていない。(シナリオの発生の可能性を考慮して、1~10mSv/年程度を指標としている。)*5	○ 3~20mSv/年*5*20	○ 3~20mSv/年*20	数 10 μ Sv/年以下*5	△ 250 μ Sv/年と比較*17*18 NRC は 5mSv/年を検討中*19		
	評価期間	地下水	1 万年 (当初の評価の際にピークが数千年以内であったため) *5	線量ピークを含む期間*5	10 万年 (気候変動時の河川による施設侵食シナリオを評価) *5*21	5,000 年 (侵食あり) (参考評価として 25 万年まで実施) *22*5	将来の氷河期の到来を考えると、長期評価は意味がないとしている。*5	10 万年 (3.6 万年で地下水シナリオのピーク) *23*6	500 年*18
		人間侵入	施設閉鎖後 300 年後 *6	施設閉鎖後 50 年後*6	施設閉鎖後 500 年間*6*21	施設閉鎖後 1 万年 (参考評価 10 万年、侵食なし) *22*6	施設閉鎖時点で評価*6	施設閉鎖後 100 年*23*6	施設閉鎖後 1 万年 (以降は定性的な評価を実施) *18*6
	核ウランの子孫核種の評価	× ウランの子孫核種は評価していない(ウランの放射能濃度が低い)ため *6	× ウランの子孫核種は評価していない(ウランの放射能濃度が低い)ため *6	○ ウランの子孫核種を評価 (ただし、ビルドアップは評価期間まで) *6	○ ウランの子孫核種を評価*22*5	△ 地下水シナリオでは子孫核種の生成を考慮、地下水シナリオ以外は、 ²³⁴ Th、 ²³⁴ Pa のみ*6	△ 地下水シナリオでは子孫核種の生成が考慮されているが、人間侵入シナリオでは ²³⁴ Th、 ²³⁴ Pa、 ²³¹ Th のみ*24*6	○ ウランの子孫核種を考慮*18*6	
	ラジウムの評価	× 評価していない(ラジウム、トリウム廃棄物を受け入れていない)ため *6	△ ラジウム、トリウムの子孫核種について評価*5	△ ラジウムの子孫核種のラドンを評価*5*21	○ ウラン及びラジウム等の子孫核種のラドンを評価*22*5	× ラドンの評価はしていない *6	△ ラジウムから生成するラドンのみ評価*6*23	○ 線量で評価しており、他の核種と合計 *6*18	
長期埋設減少放射能の考慮	× 考慮していない (閉じ込めが基本概念) *6	× 考慮していない (浸出による減少は保守的に考慮していない) *6	× 考慮していない (浸出による減少は保守的に考慮していない) *6	× 考慮していない (浸出による減少は保守的に考慮していない) *6	× 考慮していない 人間侵入は処分時の濃度で評価 *5	× 考慮していない *23*6	△ 報告書では、浸透水、空気、土壌への様々な移行を考慮すると記載 *6*18*25		

参考文献

- *1 : ANDRA, “The waste disposal facility in the Aube District”, (2013)
- *2 : ANDRA, “Andra, The surface disposal concept for VLL waste”, (2011)
- *3 : Louise Eden, “Environmental Safety Case for the Clifton Marsh Landfill Site”, 89290/SC/SR003, (2010).
- *4 : LLWR Ltd, “The 2011 Environmental Safety Case, Environmental Safety Case - Main Report”, LLWR/ESC/R(11)10016, (2011)
- *5 : 佐藤他, “欧州地域のウラン廃棄物処分に関する調査—フランス、英国及びスウェーデンにおける処分及び規制の現状—”, JAEA-Review 2014-006, (2014)
- *6 : 長谷川他, “北米地域のウラン廃棄物処分に関する調査—米国ユタ州、テキサス州及びカナダオンタリオ州における処分及び規制の現状”, JAEA-Review 2013-0043, (2013)
- *7 : Environmental Agency, “Decision Document, Application from Sita (Lancashire) Limited under the Environmental Permitting (England and Wales) Regulations 2010 to dispose of radioactive waste at Clifton Marsh Landfill Site, Preston New Road, Preston, Lancashire, PR4 0XE, (2012)
- *8 : LLWR Ltd, “The 2011 Environmental Safety Case, Inventory”, LLWR/ESC/R(11)10019, (2011)
- *9 : 大内他, “国際機関及び諸外国におけるウラン廃棄物に関連した規制動向の調査報告”, JAEA-Review 2012-019, (2012)
- *10 : ANDRA, “Inventaire géographique. INVENTAIRE NATIONAL des matières et déchets radioactifs”, 2012.
- *11 : ANDRA, “Catalogue descriptif des familles. INVENTAIRE NATIONAL des matières et déchets radioactifs”, 2012.
- *12 : RFS I-2, “Objectifs de sureté et bases de conception pour les centres de surface destinés au stockage a long terme de déchets radioactifs solides de période courte ou moyenne et de faible ou moyenne activité massique”, 1984.
- *13 : F. Chastagner, N. Ricquart, F. Duret M. Dutzer, “DISPOSAL OF VERY LOW LEVEL WASTE AND SAFETY ASSESSMENT”, in Disposal of Low Activity Radioactive Waste, Córdoba, Spain, 2004, pp. 153-163
- *14 : Environment Agency, “Decision Document - Future Regulation of Disposals of Radioactive Waste on/from the Low-Level Waste Repository at Drigg, Cumbria operated by British Nuclear Group Sellafield Ltd.”, (2006).
- *15 : Texas Commission on Environmental Quality, Radioactive Material License, License Name Waste Control Specialists LLC, License Number R04100, Amendment 25, (2014).
- *16 : EnergySolutions, “EnergySolutions Clive, Utah Bulk Waste Disposal and Treatment Facilities Waste Acceptance Criteria Revision 9 (Includes Class A LLRW, Mixed Waste, and 11e. (2) Disposal Embankments).
- *17 : Texas Commission on Environmental Quality, Draft Environmental and Safety Analysis of a Proposed Low-Level Radioactive Waste Disposal Facility in Andrews County, Texas, (2008).
- *18 : Neptune and Company, Inc. Final Report for the Clive DU PA Model Version 1.0 (2011.6.1)
- *19 : NRC, “NOVEMBER 2012 PRELIMINARY RULE LANGUAGE FOR PROPOSED REVISIONS TO LOW-LEVEL WASTE DISPOSAL REQUIREMENTS (10 CFR PART 61), NRC-2011-0012-0045, Nov. 2012
- *20 : Near-surface Disposal Facilities on Land for Solid Radioactive Wastes”, Guidance on Requirements for Authorisation, February 2009
- *21 : Louise Eden, “Environmental Safety Case for the Clifton Marsh Landfill Site”, NUVIA, 89290/SC/SR/003 (2010)
- *22 : LLWR Ltd, “The 2011 Environmental Safety Case, Assessment of Long-term Radiological Impacts”, LLWR/ESC/R(11)100128, (2011)
- *23 : Waste Control Specialists, LLC, “APPLICATION FOR LICENSE TO AUTHORIZE NEAR-SURFACE LAND DISPOSAL OF LOW-LEVEL RADIOACTIVE WASTE Appendix 8.0-6: Detailed Pathway Analysis, Revision 12a” (2007)
- *24 : Waste Control Specialists, LLC, “APPLICATION FOR LICENSE TO AUTHORIZE NEAR-SURFACE LAND DISPOSAL OF LOW-LEVEL RADIOACTIVE WASTE Appendix 8.0-8: Computer Output, Revision 12a” (2007)
- *25 : Neptune and Company, Inc. Conceptual Site Model for Disposal of Depleted Uranium at the Clive Facility (2011.5.28)

I 章 引用文献リスト

- 1) ICRP Publication 46, Annals of the ICRP, 15 No. 4 (1985) 「放射性固体廃棄物処分に関する放射線防護の諸原則」(日本語訳、日本アイソトープ協会 (1987))
- 2) ICRP Publication 60, Annals of the ICRP, 21, Nos. 1-3 (1991) 「国際放射線防護委員会の1990年勧告」(日本語訳、日本アイソトープ協会 (1991))
- 3) ICRP Publication 65, Annals of the ICRP, 23, No. 2 (1993) 「家庭と職場におけるラドン-222に対する防護」(日本語訳、日本アイソトープ協会 (1995))
- 4) ICRP Publication 77 「放射性廃棄物の処分に対する放射線防護の方策」(日本語訳、日本アイソトープ協会 (2003))
- 5) ICRP Publication 81 「長寿命放射性固体廃棄物の処分に適用する放射線防護勧告」(日本語訳、日本アイソトープ協会 (2003))
- 6) ICRP Publication 82, Annals of the ICRP, Vol. 29, Nos. 1-2 (1999) 「長期放射線被ばく状況における公衆の防護」(日本語訳、日本アイソトープ協会 (2002))
- 7) ICRP Publication 103, Annals of the ICRP, Vol. 37, Nos. 2-4 (2007) 「国際放射線防護委員会の2007年勧告」(日本語訳、日本アイソトープ協会 (2009))
- 8) ICRP Publication 104, Annals of the ICRP, Vol. 37, No. 5 (2007) 「放射線防護の管理方策の適用範囲」(日本語訳、日本アイソトープ協会 (2013))
- 9) ICRP, 2010. Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon. ICRP Publication-115, Ann. ICRP40 (1)
- 10) “Exposures from the Uranium Series with Emphasis on Radon and its Daughters”, NCRP-77, 1984
- 11) IAEA, International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, GSR Part3 (2011)
- 12) IAEA, International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No. 115 (1996)
- 13) IAEA, Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance, IAEA Safety Standards Series No. RS-G-1.7 (2004) 「規制除外、規制免除およびクリアランスの概念の適用」(日本語訳、原子力安全研究協会 (2006))
- 14) IAEA, Classification of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No. GSG-1, (2009) 「放射性廃棄物の分類」(日本語訳、原子力安全研究協会 (2011))
- 15) IAEA, Management of Radioactive Waste from the Mining and Milling of Ores, IAEA Safety Standards Series No. WS-G-1.2, (2002)
- 16) IAEA, Disposal of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No. SSR-5, (2011) 「放射性廃棄物の処分」(日本語訳、原子力安全研究協会 (2011))
- 17) IAEA, The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No. SSG-23, (2012)
- 18) IAEA, Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No. SSG-29 (2014)
- 19) IAEA, Protection of the Public Against Exposure to Natural Sources of Radiation Including NORM Residues from Industrial Processes, DS421, (2011, 5.16版ドラフト)
- 20) The COUNCIL of THE EUROPEAN UNION, Laying down basic safety standards for the protection of the health of workers and the general public against the dangers arising from ionizing radiation, Council Directive 96/29/EURATOM of 13 May 1996.
- 21) EUROPEAN COMMISSION, COUNCIL DIRECTIVE 2013/59/EURATOM of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, and repealing Directive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/26/Euratom, 97/43/Euratom, 2003/122/Euratom, (2013. 12. 5)
- 22) Commission of the European Communities, Principles and Methods for Establishing Concentrations and Quantities

- (Exemption values) Below which Reporting is not Required in the European Directive, Radiation Protection – 65, XI-028/93, (1993)
- 23) Hughes, J S, et al. "Radiation exposure of UK population – 1988 review." Chilton, NRPB-R227 (1991) (London, HMSO).
 - 24) European Commission, Recommended radiological protection criteria for the recycling of metals from the dismantling of nuclear installations, Radiation Protection 89, (1998)
 - 25) European Commission, Basic for the definition of surface contamination clearance levels for the recycling or reuse of metals arising from the dismantling of nuclear installations, Radiation Protection 101, (1998)
 - 26) European Commission, Methodology and models used to calculate individual and collective doses from the recycling of metals from the dismantling of nuclear installations, Radiation Protection 117.
 - 27) IAEA, Principles for the Exemption of Radiation Sources and Practices from Regulatory Control, Safety Series No. 89, (1988)
 - 28) IAEA, Exemption of Radiation Sources and Practices from Regulatory Control: Interim Report, IAEA-TECDOC-401, (1987)
 - 29) European Commission, Recommended radiological protection criteria for the clearance of buildings and building rubble from the dismantling of nuclear installations, Radiation Protection 113, (2000).
 - 30) European Commission, Definition of Clearance Levels for the Release of Radioactively Contaminated Buildings and Building Rubble, Radiation Protection 114, (1999)
 - 31) European Commission, Practical Use of the Concepts of Clearance and Exemption – Part I. Guidance on General Clearance Levels for Practices, Radiation Protection 122, (2000).
 - 32) European Commission, Practical Use of the Concepts of Clearance and Exemption – Part II. Application of the concepts of exemption and clearance to natural radiation sources, Radiation Protection 122, (2001)
 - 33) REGULATORY ANALYSIS FOR PROPOSED REVISIONS TO LOW-LEVEL WASTE DISPOSAL REQUIREMENTS (10 CFR PART 61), Nov. 29, 2012
 - 34) NRC, SECY-08-0147, RESPONSE TO COMMISSION ORDER CLI-05-20 REGARDING DEPLETED URANIUM, (2008. 10. 7)
 - 35) STANDARDS FOR PROTECTION AGAINST RADIATION (10CFR PART 20), Jul. 6, 2012
 - 36) DOMESTIC LICENSING OF SOURCE MATERIAL (10 CFR PART 40), May 29, 2013
 - 37) NATIONAL PRIMARY DRINKING WATER REGULATIONS (40 CFR PART 141), Apr. 9, 2004
 - 38) NRC, "Staff Requirements – SECY –08-0147 – Response to Commission Order CLI-05-20 Regarding Depleted Uranium", SRM-SECY –08-0147, March 18, 2009.
 - 39) NRC, "Staff Requirements – COMWDM-11-0002/COMGEA-11-002 –Revision to 10 CFR Part 61", SRM-COMWDM-11-0002/COMGEA-11-002, January 19, 2012.
 - 40) NRC, "NOVEMBER 2012 PRELIMINARY RULE LANGUAGE FOR PROPOSED REVISIONS TO LOW-LEVEL WASTE DISPOSAL REQUIREMENTS (10 CFR PART 61)", NRC-2011-0012-0045, Dec. 7, 2012.
 - 41) US. NRC Advisory Committee on Reactor Safeguards, "10 CFR PART 61 - REVISIONS TO LOW-LEVEL RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL REQUIREMENTS", February 19, 2014.
 - 42) NRC, "Staff Requirements – SECY –13-0075 – PROPOSED RULE: LOW-LEVEL RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL (10 CFR PART 61) (RIN 3150-A192)", SRM – SECY –13-0075, February, 12, 2014.
 - 43) David Esh, " Status of Low-Level Radioactive Waste Disposal Rulemaking and Discussions", Briefing Material at NRC Workshop on Low-Level Radioactive Waste Disposal Rulemaking and Strategic Assessment of Low-Level Radioactive Waste Regulatory Program, March 7, 2014.
 - 44) Texas Administrative Code, TITLE 30 ENVIRONMENTAL QUALITY, PART 1 TEXAS COMMISSION ON ENVIRONMENTAL QUALITY,

CHAPTER 336 RADIOACTIVE SUBSTANCE RULES (30TAC336), Nov. 28, 2013

- 45) Utah Administrative Code, R313. Environmental Quality, Radiation Control, Rule R313-25. License Requirements for Land Disposal of Radioactive Waste-General Provisions (UAC R313-25), April. 1, 2011
- 46) Utah Administrative Code, R313. Environmental Quality, Radiation Control, Rule R313-12. General Provisions (UAC R313-12), Mar. 19, 2013
- 47) HEALTH AND ENVIRONMENTAL PROTECTION STANDARDS FOR URANIUM AND THORIUM MILL TAILINGS (40 CFR PART 192), Jan. 5, 1983
- 48) PREMANUFACTURE NOTIFICATION (40 CFR PART 720), May 13, 1983
- 49) US DOE, RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT MANUAL, DOE M 435. 1-1, Jul 9, 1999
- 50) REGULATORY POLICY Managing Radioactive Waste (P-290), Jul. 2004
- 51) Nuclear Safety and Control Act, July 3, 2013
- 52) CNSC Regulatory Guide G-320 "Assessing the Long Term Safety of Radioactive Waste Management" Dec 2006.
- 53) EA2009(GRA09) : Environment Agency, North Ireland Environment Agency and Scottish Environment Protection Agency, Near-Surface Disposal Facilities on Land for Solid Radioactive Wastes:Guidance on Requirements for authorisation(2009).
- 54) 佐藤他、：“欧州地域のウラン廃棄物処分に関する調査 -フランス、英国及びスウェーデンにおける処分及び規制の現状-” , JAEA-Review 2014-006, (2014)
- 55) “Initial radiological assessment methodology - part 1 User Report” , Science Report: SC030162/SR1, EA, UK, May 2006
- 56) Project UKRSR03 “Development of a Framework for Assessing the Suitability of Controlled Landfills to Accept Disposals of Solid Low-Level Radioactive Waste” : Technical Reference Manual!, SEPA, EA, March 2006 (updated March 2010)
- 57) “How to comply with your environmental permit for radioactive substances on a nuclear licensed site” , Environmental Permitting Regulations (England and Wales) EA, April 2010 (Version 1.0), revised Aug 2012 (Version 2.0)
- 58) “I. 2. Principes generaux de conception et d’ installation” , Regle No. I-2 (Basic Safety Rule RFS I-2) , Conseil suprieur de la surete nucleaire (CSSN), June 1984
- 59) “Etude des consequences radiologiques pouvant resulted d’ un stockage en surface” , Regle No. I-2 (Basic Safety Rule RFS I.2)reference No. 4, CEA/IPSN, June 1984
- 60) “Ordinance on the Protection against Damage and Injuries Caused by Ionizing Radiation (Radiation Protection Ordinance)” , Bundesamt fuer Strahlenschutz, Feb., 2012
- 61) “The Swedish Radiation Safety Authority’ s regulations and general advice concerning safety in connection with the disposal of nuclear material and nuclear waste” , SSM, ISSN 2000-0987 SSMFS 2008:21
- 62) Swedish Radiation Safety Authority Regulatory Code, “The Swedish Radiation Safety Authority’ s, Regulations Concerning the Protection of Human Health and the Environment in Connection with the Final Management of Spent Nuclear Fuel and Nuclear Waste.”, SSMFS 2008:37, (2008)
- 63) “The Swedish Radiation Safety Authority’ s regulations and general advice concerning clearance of materials, rooms, buildings and land in practices involving ionising radiation” , SSM, ISSN 2000-0987 SSMFS 2011:2
- 64) CUSTOMER AUDIT HANDBOOK US Ecology Washington (April 2009) (State of Washington Radioactive Materials License : License Number : WN-1019-2 Amendment 36)
- 65) 福井正美, 米国における低レベル放射性廃棄物の管理と処分, 保健物理, 24, 259~270, 日本保険物理学会, (1989)
- 66) 下道國, 「自然環境中のウラン-環境中ウラン濃度とウランのクリアランス・レベル-」, 原子力バックエンド研究 Vol. 14

No.1 講演再録, (2007)

- 67) DOE Manifest Information Management System
- 68) FINAL ENVIRONMENTAL IMPACT STATEMENT, DOH Publication 320-031 VOLUME I, COMMERCIAL LOW-LEVEL RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL SITE RICHLAND WASHINGTON, May 28, 2004
- 69) Washington State Legislature Title246, Chapter 246-250 WAC Last Update: 1/7/11, Radioactive waste – licensing land disposal (<http://apps.leg.wa.gov/wac/default.aspx?cite=246-250>)
- 70) State of Washington Radioactive Materials License : License Number : WN-1019-2 Amendment 40
- 71) APPENDIX II, Radiological Risk Assessment Commercial Low-Level Radioactive Waste Disposal Site Richland, Washington, Protection RADIOLOGICAL RISK ASSESSMENT LOW-LEVEL RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL SITE RICHLAND, WASHINGTON October 2003
- 72) PL-CNS-05-001, INTERIM SITE STABILIZATION AND CLOSURE PLAN FOR THE BARNWELL LOW-LEVEL RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL FACILITY, 2005 CLOSURE PLAN, (June 2005) .
- 73) South Carolina Energy Office (<http://www.energy.sc.gov/index.aspx>) (Radioactive Waste Disposal Program)
- 74) Commercial Low-Level Radioactive Waste Disposal In South Carolina (A Publication of the South Carolina Department of Health and Environmental Control)
- 75) SOUTH CAROLINA DEPARTMENT OF HEALTH AND ENVIRONMENTAL CONTROL RADIOACTIVE MATERIAL LICENSE (Amendment No. 38 amends)
- 76) BEDL-03-003 (ENVIRONMENTAL RADIOLOGICAL PERFORMANCE VERIFICATION OF THE BARNWELL WASTE DISPOSAL FACILITY SUMMARY JULY 2003)
- 77) Neptune and Company, Inc. Final Report for the Clive DU PA Model Version 1.0(2011.6.1)
- 78) Neptune and Company, Inc. Radioactive Waste Inventory for the Clive DU PA(2011.5.28)
- 79) DRPLETED URANIUM PERFORMANCE ASSESSMENT RULE, Proposed Rules as recommended to the Radiation Control Board for April 2010 Board Meeting, R313-25-8, (2010.4)
- 80) Neptune and Company, Inc. Conceptual Site Model for Disposal of Depleted Uranium at the Clive Facility (2011.5.28)
- 81) LICENSE AMENDMENT UTAH DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL QUALITY DIVISION OF RADIATION CONTROL RADIOACTIVE MATERIAL LICENSE, License Number UT 2300249 Amendment #16.
- 82) Permit No. UGW45005, STATE OF UTAH DIVISION OF WATER QUALITY UTAH WATER QUALITY BOARD, Ground Water Quality Discharge Permit.
- 83) Utah Administrative Code, R317. Environmental Quality, Water Quality, Rule R317-6. Ground Water Quality Protection, As in effect on June.1, 2014
- 84) EPA, 40CFR Parts 9, 141, and 142, [FRL-6909-3], National Primary Drinking Water Regulations; Radionuclides; Final Rule, (2000.12.7)
- 85) Waste Control Specialists LLC, APPLICATION FOR LICENSE TO AUTHORIZE NEAR-SURFACE LAND DISPOSAL OF LOW-LEVEL RADIOACTIVE WASTE, APPENDIX 8.0-1 TEXAS COMPACT INVENTORY, (2007).
- 86) Waste Control Specialists LLC, APPLICATION FOR LICENSE TO AUTHORIZE NEAR-SURFACE LAND DISPOSAL OF LOW-LEVEL RADIOACTIVE WASTE, APPENDIX 8.0-2 FEDERAL FACILITY INVENTORY, (2007).
- 87) Texas Commission on Environmental Quality, Application of Waste Control Specialists LLC for Establishment of Initial Maximum Disposal Rates Executive Summary, (2010.3.28)
- 88) Texas Commission on Environmental Quality, Radioactive Material License, License Name Waste Control Specialists LLC, License Number R04100, Amendment 25, (2014.3).
- 89) Waste Control Specialists LLC, APPLICATION FOR LICENSE TO AUTHORIZE NEAR-SURFACE LAND DISPOSAL OF LOW-LEVEL

- RADIOACTIVE WASTE, APPENDIX 8.0-6 DETAILED PATHWAY ANALYSIS, (2007).
- 90) 長谷川信他, “北米地域のウラン廃棄物処分に関する調査; 米国ユタ州、テキサス州及びカナダオンタリオ州における処分及び規制の現状”, JAEA-Review 2013-043, (2013).
 - 91) United States, Code of Federal Regulations, 40 CFR part 268, LAND DISPOSAL RESTRICTIONS.
 - 92) Dounreay New Low Level Waste Facilities, RSA 93 Environmental Safety Case 2010, NLLWF/3/ESC/GAL/0425/IS/01, 27 October 2010.
 - 93) Dounreay Site Restoration Ltd., New Low-Level Waste Facilities at Dounreay 2010 Project Summary, NLLWF/3/REP/GAL/0521/IS/01, 10 March 2011.
 - 94) Galson Sciences Ltd., The Environment Agency’s Assessment of BNFL’s 2002 Environmental Safety Cases for the Low-Level Radioactive Waste Repository at Drigg, 23 February 2005.
 - 95) BNFL, Drigg Post-Closure Safety Case: Overview Report, September 2002
 - 96) SITA UK, Application for RSA Disposal Authorisation Clifton Marsh Landfill Site, <http://www.sita.co.uk/downloads/CliftonMarsh-web.pdf>, July 2009.
 - 97) SITA UK, RSA License Application at Clifton Marsh Landfill Site Frequently asked Questions, <http://www.sita.co.uk/downloads/CliftonMarshFAQs.pdf>.
 - 98) Lancashire County Council, Minerals and Waste Sites in Fylde. <http://www.lancashire.gov.uk/corporate/web/?siteid=3087&pageid=7180.2-28>
 - 99) SNIFFER, Development of a Framework for assessing the Suitability of controlled Landfills to accept Disposals of Solid Low-level Radioactive Waste: Principles Document, UKRSR03, November 2005.
 - 100) EA2007: EA, Guidance Note: Disposing of radioactive waste to landfill(2007).
 - 101) UK2007: Defra, DTI and Devolved Administration, Government Policy for the long term management of solid low level radioactive waste in the United Kingdom, 26 March, 2007 (Annex1).
 - 102) Nuclear Working group, Lillyhall Landfill site VLLW project, [http://www.copeland.gov.uk/CIS/pdf/nwp_090409_item6.pdf#search=Lillyhall landfill site as of 2013.6.18](http://www.copeland.gov.uk/CIS/pdf/nwp_090409_item6.pdf#search=Lillyhall%20landfill%20site%20as%20of%202013.6.18)
 - 103) Environmental Permitting (England and Wales) Regulations 2010 Discussion Document, April 2011
 - 104) 宮坂靖彦, スウェーデン及びドイツにおけるウラン廃棄物の処理処分の現状, デコミッションング技報 第37号, RANDEC, (2008年3月)
 - 105) Low level Radioactive Waste FAQ Environment Agency April 2011
 - 106) Decision Document and Permit, Application from Augean South Limited made under the Environmental Permitting Regulation 2010 to dispose of radioactive waste at East Northants Resource Management Facility, Stamford Road, Kings Cliffe, Northamptonshire, PE8 6XX
 - 107) Augean PLC, “Appendix D, Application for disposal of LLW including HV-VLLW Under the Radioactive Substances Act 1993, for the East Northants Resource Management Facility Supporting Information. JULY 2009”, AU/KCE/MM/1561/01PEI, (2011.04)
 - 108) “A.6. France: Improvement Measures Implemented” Technical Report Series No. 433, Upgrading of Near Surface Repositories for Radioactive Waste, IAEA, July, 2005
 - 109) “The Centre de L’Aube Low-Level Waste Disposal Facility”, Waste Management’ 92, Proceedings, pp 1345-1351, 1992
 - 110) “Les Consequences des Installation de Stockage des Dechets Nucleaires”, Assemblée Nationale, France”, <http://www.assemblee-nationale.fr/11/rap-off/r2257-1.asp>
 - 111) “The Management of Low Level Waste in France”, Disposal of Low Activity Radioactive Waste, Proceedings of an International Symposium, Cordoba, Spain, December 2004, IAEA

- 112) “Etude des Scenerios de Gestion a Long Terme des Dechets de Faible Activite Massique a Vie Longue” , ANDRA, December, 2012
- 113) BfS, What the Konrad mine looks like.,
http://www.endlger-konrad.de/cIn_169/nm_1272688/EN/Expert/SurfaceInstallations/_node.html?__nn=true
- 114) Volker Kunze, Status of the Construction of the Konrad Repository, KONTEC2009, p. 584-591.
- 115) DBE, Project Objective, <http://www.dbe.de/en/sites/konrad/project-objective/index.php>.
- 116) PNC TN 7420 92-018 旧東独WISMUT 社ウラン鉱業汚染の浄化修復現地調査報告書
- 117) SAKAB ホームページ <http://www.sakab.se/en/company/history> (2014. 6. 12) より
- 118) Sweden's fourth national report (s2011:35)
- 119) 財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター 放射性廃棄物ハンドブック (H24・6)
- 120) 榎戸裕二他, 国際機関及び海外諸国におけるウラン廃棄物の規制解除のための安全基準等の調査, デコミッションング 技報 第39号, RANDEC, (2009年3月)

II. ウラン廃棄物の処分に係る情報の整理

1. 処分に係わる各国の制度のまとめ

以下、処分に係る各国の制度をまとめる。なお、ラドンに関する基準等については「3. ラドンの扱いについて」で述べる。

1.1 埋設処分

(1) 濃度上限値の設定

諸外国においてウランを含有する放射性廃棄物の処分実績はあるものの、「ウラン廃棄物」という分類（定義）はないため、ウラン廃棄物の濃度上限値の設定がない。これは、ウランが処分場の安全評価に、あくまで低レベル放射性廃棄物の一核種として間接的にしか反映されていないことと整合する。ただし、劣化ウランについてはクライブ処分場の設計計画の決定核種となっている例もあり、諸外国の処分場においては放射性廃棄物のバッチごともしくは廃棄体ごとにウランまたは α 核種の受入基準または処分場への受入総量が規制されている（表 I-7 参照）。

a. 諸外国の規制・基準

米国において、ウランを含有する放射性廃棄物は Class A に分類され、ウランに対しては α 核種の濃度上限値は適用されず、それに代わる濃度上限値の設定はない。現在、大量の劣化ウラン廃棄物の浅地中処分の規制を構築するため、10CFR61 の改訂作業中である¹⁾。英国において、LLW は α 核種で 4GBq/t 以下 (GRA2009)²⁾との規制値が存在している。

フランスにおいて、 α 核種の処分場での平均濃度は 1 トンあたり 0.01Ci (370Bq/g) 以下、パッケージあたりの最大濃度は 1 トンあたり 0.1Ci (3,700Bq/g) (RFS I-2)³⁾の規制値が存在している。

b. 各国の処分場における基準等

各国の処分場におけるウランを含有する放射性廃棄物の受入濃度は、およそ 100~1,000Bq/g のレベルにある。

米国においては、処分場受入においても規制と同様に濃度上限値の設定はなく、安全評価におけるめやす線量で評価されている。ただし、WCS 社処分場ではウランの受入実績がなく⁴⁾、クライブ処分場では劣化ウランについては濃度上限値を設ける等、ウランを含む廃棄物を規制している⁵⁾。

欧州では、米国と同様ウランを含む廃棄物のための特別な廃棄物分類は存在しない。処分場ごとの廃棄物受入濃度上限から想定されるウランを含む廃棄物の基準は最大で 1GB/t オーダーであり、米国と同程度である。

英国において、ウランを含有する廃棄物は産業廃棄物処分場で処分されているほか、ドリッグ処分場では α 核種で 4GBq/t または β/γ 核種で 12GBq/t 以下の放射性廃棄物⁶⁾、クリフトンマーシュ処分場でのウランの受入基準は、「10 トントラックで全ての核種を足し合わせた放射能濃度が 200Bq/g を超えないこと、かつ、⁹⁰Sr は廃棄体ごとで 100Bq/g を超えないこと」としている。ただし、廃棄体ごとでは、1,000Bq/g までのホットスポットを容認している⁷⁾。

フランスにおいて、オーブ処分場では、RFS I-2³⁾に従い、廃棄体ごとの受入濃度が最大 3,700Bq/g であり、モルヴィリエ処分場ではウラン濃度としてバッチごとで 100Bq/g 以下である。

スウェーデンにおいて、ウランを含有する放射性廃棄物は SFR 処分場に受け入れていない（ウランは資源であり回収するとされている。）。

(2) 技術基準 —ウラン廃棄物特有で求められる廃棄体の技術基準・廃棄体要件

a. 国際機関

まず国際機関による報告書からの廃棄体の技術基準・廃棄体要件をまとめる。IAEA SSR-5「放

放射性廃棄物の処分⁸⁾では、「要件 8：放射性廃棄物の閉じ込め」において、廃棄物形態やパッケージングを含む人工バリアの設計に放射性廃棄物の閉じ込めと、放射能および熱の減衰達成までの閉じ込めが求められている。また、IAEA SSR-5 の 3.41 項では、ウラン鉱さいに関して、「採鉱および鉱物処理からの放射性廃棄物には、超長期の半減期を伴う放射性核種を含むことがある。相応する時間スケールにわたりその様な廃棄物に対する処分施設の閉じ込め特質の健全性を保証することは、特に考慮を要する。廃棄物が、その様な施設への人間侵入（IAEA SSR-5 の 2.15 項参照）に対する線量および/または基準を超える放射能レベルを伴う場合は、代替処分オプションが考慮されなければならない。可能性のある代替オプションは、処分施設のセーフティケースによって決定されたような、例えば、地表下への廃棄物処分、あるいはより高い線量を生じる放射性核種の内容（content）の分離を含む。」としている。

一方 ICRP Publication-77⁹⁾の 62 項では、「ほとんどの廃棄物管理に関する決定には、廃棄物の処理またはコンディショニングについての様々な選択肢間の選択が含まれる。つまり、分散と保持の間に選択が可能となる。

これらの選択はまた、廃棄物が処分に供される形状に影響する。例えば、気体状の放流物をろ過すれば放流中の放射能は減るが、固体廃棄物を生み出す。」としている。

b. 米国

米国連邦規則 10CFR61¹⁰⁾においては、いわゆるウラン廃棄物は他の低レベル放射性廃棄物から区別されず、10CFR61.55 における Class A の一部として扱われている。

しかしながら、近年予定されている 10CFR61.55 の改定¹¹⁾では、受入可能な廃棄物一般の最低要件と、性能目標を実証すべき仕様と特性が検討されている。

なお、10CFR61.56 には、廃棄物のすべてのクラスのための最小必要条件が規定されている。

次に処分場について述べる。

テキサス WCS 社処分場の位置するテキサス州では、10CFR61 と同様、ウラン廃棄物は Class A 廃棄物の一部として区別されない。しかしながら劣化ウランについては 10nCi/g (370Bq/g) 未満の制限下での受入となっている¹²⁾。申請書の安全評価では、ウランの平均放射能濃度が CWF 0.06Bq/g、FWF-CDU 800Bq/g、FWF-NCDU 80Bq/g となっている¹³⁾¹⁴⁾。

廃棄体基準については、全ての低レベル廃棄物のための基準（10CFR61 と同じ）の他、35 年を超える半減期を持つ放射性核種、および受入可能な（10nCi/g (370Bq/g) 未満の）TRU 核種を含む廃棄物の処分に適用される規定が別途存在する。鉄筋コンクリート製のキャニスタか同等の梱包で設置されるか、構造的に安定であり自由水、非腐食性の液体を 1%（固化体は 0.5%）未満とし、梱包と廃棄物の間の空隙を可能な限り減らすこととされる。

クライブ処分場の位置するユタ州では、重量で 5%を超える劣化ウラン濃度の廃棄物は性能評価の認可前に埋設してはならないとされるが¹⁵⁾、それ以外のウラン廃棄物については Class A の一部として扱われ区別されない。その他は 10CFR61 と同様の規定である。安全評価のウラン平均濃度では、²³⁸U 1.0×10⁴Bq/g、²³⁴U 1.2×10³Bq/g が想定されている¹⁶⁾。

c. 欧州

フランスにおける RFS I-2¹⁷⁾においては、α核種の処分場での平均濃度は 1 トンあたり 0.01Ci (370Bq/g) 以下、パッケージあたりの最大濃度は 1 トンあたり 0.1Ci (3,700Bq/g) の規制値が

存在している。これを超える1トン当たり0.5Ci(185GBq/t)より小さい値の廃棄物は個別に取り扱われ、その全てに承認がいる。

一方、英国の規制(GRA 2009)²⁾では、 α 核種を含む廃棄物で低レベル廃棄物とされるのは4GBq/t(4,000Bq/g)以下であり、英国とフランスの受入最大濃度はほぼ同じ値といえる。

以下、欧州各国の処分場におけるウラン受入基準を列挙する。

i フランス

モルヴィリエ処分場ではウランの受入基準は平均100Bq/g(バッチ当たり)、最大1,000Bq/g(廃棄体当たり)である¹⁸⁾。オーブ処分場では α 核種について、平均370Bq/g(バッチ当たり)、最大3,700Bq/g(廃棄体当たり)である¹⁸⁾。一般的に1パッケージあたりの制限値を平均放射能の10倍までに制限することが合理的だとされる。

また、計画中の処分場であるがFA-VL処分場では、ラジウム廃棄物に含有されているウランのインベントリは20Bq/g オーダー(ラジウムは数Bq/g)と評価されている⁷⁾。

ii 英国

クリフトンマーシュ処分場でのウランの受入基準は、「10トントラックで全ての核種を足し合わせた放射能濃度が200Bq/gを超えないこと、かつ、⁹⁰Srは廃棄体ごとで100Bq/gを超えないこと」としている。ただし、廃棄体ごとでは、1,000Bq/gまでのホットスポットを容認している⁷⁾。

ドリッグ処分場ではウラン受入基準は0.3TBq/年である。ドリッグ処分場では、 α 放射性核種が4GBq/tおよび他のあらゆる放射性核種が12GBq/tを超えない廃棄物が埋設される。放射性廃棄物を処分するために受け入れられている廃棄物搬入物(Waste Consignment:最大40m³の1個の処分コンテナ)には、存在する全てのウランは、天然ウランまたは劣化ウラン、または²³⁵Uが60gを超えないことになっている⁶⁾。

受入形態は200リットルドラム缶詰雑固体(可燃物を含む)またはISO規格コンテナである。

ドーンレイ処分場では受入基準は運転廃棄物では α 核種で4GBq/tの廃棄物である(計画値)が、解体物では、 α 核種で0.01GBq/tまたは β/γ 核種で0.40GBq/t以下の廃棄物(計画値)とされる。

受入形態は、ハーフハイトコンテナ(圧縮物、非圧縮物を収納)、フルハイトコンテナ(充填ドラム缶を収納)である¹⁹⁾。

iii スウェーデン

WES社の2007年申請により、ウラン廃棄物処理工程からの最終残渣はグリタ処分場およびサカブ処分場への処分が可能になった。その認可には条件付きクリアランスレベルが適用された²⁰⁾。

サカブ処分場での条件付きクリアランスレベルとしての基準は以下のとおりである。

²³⁸U:10kBq/kg、²³⁶U:10kBq/kg、²³⁵U:10kBq/kg、²³⁴U:10kBq/kg、²³²U:1kBq/kg

グリタ処分場では²³²U以外は10kBq/kg、²³²Uは1kBq/kgとして廃棄体受入基準を決めている(2005年以前の個別申請時の値はウラン濃縮度4.5%で2.7Bq/g相当、30ppm以下)。

その他の処分場について、SFR処分場ではウラン廃棄物は受け入れていない。また、リサンゲン処分場は2004年に閉鎖されている。

iv ドイツ

コンラッド処分場における計画受入放射能インベントリは、 α 核種:1.5×10¹⁷Bq、 β/γ 核種:

5. 0×10^{18} Bq となっており、天然ウランと劣化ウラン以外に熱中性子によって生成した核分裂性物質を廃棄物 0.1m³ 当り最大 50g までしか含むことはできない。さらに、天然ウランまたは劣化ウラン以外に核分裂性物質を容器当り 1g よりも多い質量で含む可燃性放射性廃棄物は、不燃性の廃棄物マトリックス中に固定しなければならない²¹⁾。受入形態は 200 リットルドラム缶固化体とされ、ガスおよび液体の廃棄物の定置は認められない。安全評価については、①1mSv/年(公衆被ばく)、②300 μ Sv/年(原子力施設からの被ばく)という基準を設け約 10,000 年の評価を行っている。ラドン評価に関する特段の記載はないが、²³⁸U のインベントリ 1.9×10^{12} Bq に基づき、 10^{-5} Sv/年の線量が 870 万年から 1,600 万年の期間 ²²⁶Ra により生じることが試算できる。

(3) 安全評価(地下水シナリオおよび人間侵入シナリオ)

a. 安全評価における目安線量

低レベル放射性廃棄物処分の安全評価におけるめやす線量は、ウラン核種に対して個別に線量基準が定められている例はなく、廃棄物に含まれる 1 核種として他の核種と同じ基準により評価されている。以下に、国際機関および各国における低レベル放射性廃棄物処分の安全評価におけるめやす線量について示す。

国際機関 ICRP は、放射性廃棄物の処分に対する線量基準に対して、ICRP Publication-77⁹⁾、81²²⁾ で 300 μ Sv/年 (10^{-5} /年のリスクに相当) の線量拘束値を提案した。人間侵入シナリオに対しては、ICRP Publication-81 の中で一般的な参考レベルを参照し、10~100mSv/年を提案した。その後の 2007 年勧告 ICRP Publication-103²³⁾ では、放射性廃棄物処分の線量拘束値は引き続き 300 μ Sv/年を提案しているが、介入の参考レベルの考え方を 1mSv/年以下、1~20mSv/年、20~100mSv/年に区分し、1mSv/年から 20mSv/年を NORM や自然バックグラウンド放射線、人間の居住環境中の放射性残渣の現存被ばくに対する一般的な参考レベルとして提案している。

IAEA では、ICRP の考え方を受け、SSG-23 (2012)²⁴⁾、SSR-5 (2011)⁸⁾ において、自然過程の線量拘束値を 300 μ Sv/年 (リスク拘束値を 10^{-5} /年のオーダー)、人間侵入の参考レベルを 1mSv/年から 20mSv/年として示している。

米国の規制機関 NRC では、現在、放射性廃棄物処分の規則 10CFR61 の改訂作業中である¹¹⁾²⁵⁾²⁶⁾。現行の 10CFR61 では、埋設施設から放出される放射性物質に係る線量基準は 250 μ Sv/年と規定されているが、人間侵入シナリオに対しては偶発的な侵入者を保護することが規定されているだけで線量は示されていない。10CFR61 の改訂案は、長半減期核種を含む廃棄物 (α 核種の放射能濃度が 10nCi/g (370Bq/g) 以上) の処分の安全評価について、考え方の方針変更があったが、2014 年 3 月時点での案では、評価期間と線量基準の関係を 3 段階とする方法となっている。その考え方は以下のとおりである。

- 1 段階: 1,000 年間のコンプライアンス期間であり、放射性物質の放出による一般公衆の評価の線量基準は 25mrem/年 (0.25mSv/年)、意図しない侵入者の評価の線量基準は 500mrem/年 (5mSv/年) とする。
- 2 段階: 1,000 年から 10,000 年の期間を防護保証期間 (Protective Assurance Period) と呼び、放射性物質の放出による一般公衆の評価および意図しない侵入者の評価ともに線量基準は 500mrem/年 (5mSv/年) とする。
- 3 段階: 性能期間 (Performance period) と呼ばれ、10,000 年以上の期間で定性的な評価を行う。

DOE のガイドライン DOE M 435.1-1²⁷⁾ では、公衆への評価で 0.25mSv/年、人間侵入について急性

被ばくで5mSv、慢性被ばくで1mSv/年が示されている。

カナダでは、線量拘束値である $300 \mu\text{Sv}/\text{年}$ が規制ガイド G-320²⁸⁾に示されている。ポートホープ長期廃棄物管理施設の汚染修復サイトは、処分施設ではなく管理期間 500 年の長期廃棄物管理施設である⁴⁾。その安全評価において、地下水シナリオの評価基準は地下水の濃度基準、人間侵入シナリオの評価基準は ICRP の一般的な参考レベルである $10\sim 100\text{mSv}/\text{年}$ が用いられている。英国では、許可要件のガイダンス (GRA2009)²⁾において、地下水シナリオに対してはリスクレベル $10^{-6}/\text{年}$ が基準として示されており、これに基づき VLLW の評価では、発生確率が 1 の時に概ね相当する $20 \mu\text{Sv}/\text{年}$ も評価基準として用いられている。人間侵入シナリオに対しては、 $3\sim 20\text{mSv}/\text{年}$ の範囲が評価基準として用いられている。フランスでは、浅地中処分施設であるオーブ処分場、モルヴィリエ処分場に対して規制基準は $1\text{mSv}/\text{年}$ である。これに対して埋設実施者である ANDRA は、通常シナリオの線量目標値を $250 \mu\text{Sv}/\text{年}$ に設定している。変動シナリオや人間侵入シナリオに対しての線量基準はなく、設計による対策が審査されるが、線量評価では発生の可能性を考慮して規制基準である $1\text{mSv}/\text{年}$ に相当する $1\sim 10\text{mSv}/\text{年}$ 程度が指標として用いられている⁷⁾。また、検討中の長寿命低レベル廃棄物処分では、別にガイドラインが示されており、通常シナリオに対して 1 万年までの安全性を担保する期間について $250 \mu\text{Sv}/\text{年}$ の評価基準が示されている。ただし、人間侵入シナリオについては、浅地中処分施設と同様評価基準が示されていない。スウェーデンは、規則において、最大のリスクを受けるグループの代表的個人のリスクが $10^{-6}/\text{年}$ 、グループの人数が少数の場合には、 $10^{-5}/\text{年}$ のリスクとする評価基準が示されている²⁹⁾。人間侵入についてはその防護能力について設計し、その影響について説明することと示されている。以上、国際機関・各国の状況を見ると、線量のめやす値は、ウラン廃棄物に限定しておらず、放射性廃棄物全般の基準として設定されている。地下水シナリオ等の通常シナリオについては、ICRP が示した線量拘束値 $300 \mu\text{Sv}/\text{年}$ と同程度の基準値を示している国とリスク基準 $10^{-6}/\text{年}$ を設定している国がある。人間侵入シナリオについては、規制基準を決めず人間侵入に対する設計や防護対策を示すこととなっている国や、ICRP Publication-81 で示している一般的な参考レベル ($10\sim 100\text{mSv}/\text{年}$) または ICRP Publication-103 で示された現存被ばくの参考レベル ($1\sim 20\text{mSv}/\text{年}$) と同程度のレベルを採用している国がある。

b. 安全評価期間

低レベル放射性廃棄物処分の安全評価における評価期間は、ウラン廃棄物に対して個別に定められている例はなく、廃棄物に含まれる 1 核種として他の核種と同じ評価期間で評価されている。一方で、下記に示すように米国 NRC の 10CFR61 の改訂案³⁰⁾、クライブ処分場の劣化ウラン廃棄物の安全評価³¹⁾、フランスにおける長寿命低レベル廃棄物の処分については、長半減期核種を意識した評価期間が検討されている。これらを含めて、以下に、国際機関および各国における低レベル廃棄物処分の安全評価における評価期間について示す。

IAEA では、SSG-23 において、安全評価計算は、最大のピーク線量またはリスクを決定するのに十分な期間をカバーすべきであると示されている。一方で、それが常に可能なわけではなく、人工バリアの長期耐久性や、ウラン鉱さい等の長半減期核種の処分など、長期における評価の不確実性が著しく大きくなる時期に、線量とリスクが大きくなる場合があると指摘している。このため、通常評価のタイムスケールを制限するか、少なくとも定量評価のタイムスケールを制限するかもしれないことも示唆している。

また、SSG-29³²⁾においては、安全評価の結果と規制要件において特定された線量あるいはリスク規準の比較は、数千年に対して求められるかもしれず、例えばピーク線量を見積もるために、この期

間を超えた時間枠まで拡大されるかもしれない。しかし、それは、超長期の時間枠（すなわち数万年を超えた期間）に対して、将来の状況に関する不確実性は、より単純な計算と比較で十分かもしれないと認識されている。（5.25 項）

米国について、DOE のガイドライン DOE M 435.1-1 では、に評価期間 1,000 年間で明記されている。テキサス州では、1,000 年間、または環境中で移行の速い長半減期核種を考慮して線量が最大となる時期を含む期間の長い方の期間とする規則が定められている³³⁾。テキサス WCS 社 (Waste Control Specialists LLC) 処分場では、この線量が最大となる時期を含む期間に従って、地下水シナリオの評価期間を 10 万年として評価が行われている³⁴⁾。一方で、人間侵入シナリオの評価では、管理期間終了直後（施設閉鎖後 100 年後）の時期の評価が実施されている。

NRC における 10CFR61 の改訂の 2013 年頃までの議論では、1 万年を定量的評価の期間とし、劣化ウラン廃棄物のように長半減期核種を多く含む廃棄物 (10nCi/g (370Bq/g) 以上等) については、環境への影響が十分に把握できる期間について更に定性的な評価を実施することが示されている³⁰⁾。この検討を参照し、クライブ処分施設の規制を行っているユタ州では評価期間を最小 1 万年、それ以上はピークを含む期間まで定性的な評価を実施する規則が定められている¹⁵⁾。この規則を受けて、クライブ処分場におけるレビュー中の劣化ウラン廃棄物処分の評価では、1 万年の評価期間における定量的評価およびその期間に引き続き 210 万年まで環境中濃度を評価する定性的評価が行われている³¹⁾。ただし、2013 年 11 月頃から 2014 年 2 月頃まで、10CFR61 の改定案が米国原子炉安全諮問委員会および分科会で議論され、2014 年 3 月時点での案は、コンプライアンス期間が 1,000 年間、防護保証期間 (Protective Assurance Period) が 1,000 年～10,000 年、10,000 年以降が性能期間 (Performance period) として 3 段階の期間に応じた評価を行うことが提案されている¹¹⁾²⁵⁾²⁶⁾。

カナダでは、規制ガイド G-320 に放射性廃棄物からの影響が最大となる期間を含むことの記述がある。ポートホープ長期廃棄物管理施設では環境汚染廃棄物の長期管理施設であるが、人間侵入シナリオの評価期間は、管理期間終了直後の 500 年後と最大放射能となる 8,000 年後の計算を行っている。

英国では、GRA2009 にピークまで、あるいは不確実性が增大して定量的な評価の意味がなくなるまでと示されている。これを受けて LLW および VLLW の各処分施設の安全評価では、地下水シナリオでは 5,000 年から 10 万年程度の期間について評価されているが、人間侵入シナリオは比較的短期の評価 (クリフトンマーシュ処分場は 500 年⁷⁾、キングスクリフ処分場は最大 100 年³⁵⁾) から、数万年までの評価 (ドリッグ処分場は最大 1 万年³⁶⁾、ドーンレイ処分場は 5 万年¹⁹⁾) など、施設の条件に応じて様々に設定されている。ただし、ウランだけに着目すると、例えば評価時期が 1 万年の場合でも、子孫核種の生成による放射能の増加量はあまり大きくないと推測される。

フランスのオーブ処分場、モルヴィリエ処分場では、地下水シナリオに対して線量が最大となる時期を含む期間の評価が実施されている⁷⁾。一方、人間侵入シナリオの評価では、ウランの施設全体での平均放射能濃度が低いことから、管理期間終了後の方が長期より重要であると想定し、施設閉鎖後 300 年、50 年の時点での評価が行われている。近年、検討されている FA-VL 処分場の安全評価では、1 万年までを定量的評価それ以降の期間は、定性的に評価しつつ合理的な設計対策を取ることとなっている。

スウェーデンでは、放射性廃棄物の処分のリスクの評価期間を信頼性の高い予測が可能な 1,000 年間とそれ以降に分けて評価し、使用済燃料またはその他の長寿命放射性廃棄物の処分場については約 10 万年までをリスク解析の評価期間、それ以降は最大でも 100 万年まで定性的に評価することが規則に示されている²⁹⁾。ただし、スウェーデンではウランを含む廃棄物のうち放射能濃度の低い

ものについては処分場を特定した処分限定クリアランスが行われており、それ以上の放射能レベルの廃棄物は処分が行われていない状況である。

以上、各国の状況をみると、地下水シナリオについては、核種の種類で変えることはなく、線量が最大となる時期を含む主に数万年までの期間の評価が実施されている。一方、人間侵入シナリオの評価については、主に短寿命低レベル廃棄物の処分場であるため、ウランのような放射能が長期でビルドアップする核種の寄与は小さいと評価され、管理期間程度の時期で評価されている処分場もあれば、英国のドリッグ処分場とドーンレイ処分場は数万年までの期間で人間侵入シナリオの評価を行っている処分場もある。米国のNRCでは、定量的な評価期間は1万年を考えている。したがって、人間侵入シナリオの評価期間はウランの評価を考慮しても長くて数万年程度となっている。

c. 人間侵入シナリオの考え方

ウランを含む廃棄物の安全評価においては、長期における跡地利用（人間侵入）シナリオの考え方が特に重要となると考えられるため、国際機関ICRPおよびIAEAの出版物に示された主な考え方を以下にまとめた。

ICRP Publication-81²²⁾における人間侵入の評価に関する主な記述は、以下のように示されている。

- ・人間侵入の評価において、将来の人の行動種類または確率を予測することは科学的な根拠が存在しないので、定量的な性能評価の中に、そのような事象の確率を含めることは適切ではない。(62項)
- ・防護にとって人間侵入の重要性の尺度は必要である。さらに、将来の社会が侵入によって被ばくすることを知らないかもしれないので、要求されるあらゆる防護措置を、処分システムの展開の間に考慮すべきである。(64項)
- ・介入がほとんどいつも正当化されるほど十分に高い線量をもたらす可能性があるような場合には、人間侵入の確率を減らすかあるいはその影響を制限するために、合理的な努力を払うべきであると考え。この点において、介入における参考レベル（10～100mSv/年）が使えるかもしれない。(64項)
- ・人間侵入の発生をまったく除外することはできないので、意思決定者は、一つまたはそれ以上の典型的なもっともらしい様式化された侵入シナリオの結果を潜在的な侵入に対する処分場の抵抗力を評価するために考慮すべきである。(62項)
- ・考慮すべき人間侵入は偶然の侵入のみを指す。処分場へ故意に侵入したことの放射線学的意味合いは、侵入者の責任である。(83項)

IAEAのSSG-23²⁴⁾では、人間侵入の評価に関する主な記述は、以下のように示されている。

- ・人間侵入とみなされるのは、処分施設の直接的な擾乱に帰着する人の行為のみである。(6.53項)
- ・処分施設およびその近接領域の範囲外にある立地環境の擾乱に帰着する人の行為は、人間侵入には分類されない。そのような行為は、長期リスクの評価のために用いられるシナリオの枠内とみなすべきである。(6.53項)
- ・廃棄物処分施設の安全評価において、偶発的な人間侵入は考慮されるべきであるが、故意の人間侵入に伴う潜在的リスクの定量化は実施する必要はない。(6.56項)
- ・SSR-5では、偶発的な人間侵入がサイト周辺に居住する人々に1mSvを下回る年線量をもたらすと予測される場合には、侵入の可能性または影響を低減するための措置は妥当とされないとし

ている。(5.22項)

- SSR-5 では、1～20mSv の年線量が示される場合には、施設の開発段階における、施設設計の最適化による侵入の可能性または影響の低減化のための合理的努力がなされるのが妥当であるとされている。(5.22項)

IAEA の SSG-29³²⁾では、人間侵入に関する記述は以下のとおりである。

- 安全評価の目的のため、人間侵入が防止される能動的制度的管理の期間は、通常、限られた期間（通常、数百年）のみしか継続しないと想定され、合理的に可能な限り早く安全が受動的手段によってもたらされるようにされる。(2.4項)
- 浅地中処分においては、施設は、そこではほとんどの人間活動が行われ、制度的管理期間後に浅地中処分施設への人間侵入の可能性が地層処分の場合よりもかなり高い生物圏に位置する。したがって、制度的管理期間後の人間侵入が考慮されなければならず、放射性物質インベントリについて課される制限の適切性が、主として廃棄物パッケージにおける長寿命放射性核種の許容量の点から評価され確認されるべきである。(4.7項)
- 浅地中処分施設の隔離能力は、最長で数百(several hundreds)年もの期間にわたって確保されるべきである。この隔離能力は、将来世代に過度の負担を託すことも、制度的および財政的安定性に対して置かれる信頼と両立しえない期間にわたって安全を確保するために能動的手段に頼ることもしないようにするために、主として受動的手段によって確保されるべきである。能動的手段に頼ることができるのは限られた期間（最長で数百(a few hundred)年）に過ぎないため、浅地中処分施設の安全を評価する際は、そのような期間後の施設への人間侵入の可能性が考慮されるべきである。(4.29項)
- 国際的なアーカイブを含む位置標識（マーカー）やアーカイブの形での情報の保存などの受動的手段の利用は、能動的な制度的管理に対して予見される期間よりも長い期間にわたって人間侵入のリスクを低減することになり、考慮されるべきである。人間侵入の尤度に関するいっそう慎重なアプローチが、人間侵入の影響の評価のために必要になる可能性がある。(4.51項)
- 安全評価およびセーフティケースでは、制度的管理が無期限に有効である（たとえば、人間侵入の防止において）ことに依拠すべきではない。(7.11項)

要約すると、超長半減期のウラン廃棄物に対しては、人間侵入の可能性について制度的管理があるからと言って排除するのは無理であり、何等かの考慮が必要である。その際、国際的なアーカイブを含む受動的手段の利用により、人間侵入のリスクを低減することを考慮すべきである。

d. 安全評価モデル

米国クライブ処分場では劣化ウラン廃棄物処分の安全評価が実施され、主にウランとその子孫核種について評価が実施されている。また、フランスの FA-VL 処分場は、黒鉛廃棄物とラジウム廃棄物の処分の他にウランを含む廃棄物も一部処分対象とされて、処分の検討が実施されている。また、カナダのポートホープ長期廃棄物管理施設では、ウランとその子孫核種が主要核種となっている。これらについては、ウランとその子孫核種に着目した安全評価となっているが、その他の低レベル放射性廃棄物の処分場ではウランは廃棄物に含まれる 1 核種として他の核種と一緒に安全評価が行われている。これらの状況を踏まえて、以下に、各国の低レベル廃棄物処分の安全評価モデルについて示す。

i. ウランの子孫核種のビルドアップの取扱い

米国では、クライブ処分場における劣化ウラン廃棄物の安全評価でウランの子孫核種の生成を評価している³¹⁾。一方、テキサス WCS 社処分場における地下水シナリオの評価では、子孫核種の生成を考慮していると考えられるが、ウランおよび子孫核種からの線量の寄与がない結果となっているため、確認できない。人間侵入シナリオの評価では、管理期間終了直後（施設閉鎖後 100 年後）を評価時期としており、そのため、短期に生成する子孫核種だけが評価対象となっている³⁷⁾。

カナダのポートホープ長期廃棄物管理施設における地下水シナリオの評価では子孫核種の生成は考慮されていないが、人間侵入シナリオの評価では子孫核種の生成が考慮されている。人間侵入シナリオの評価期間は最大 8,000 年である。

英国では、多くの処分施設の安全評価でウランの子孫核種の生成が考慮されている。それらの評価における人間侵入シナリオの評価期間は、100 年（キングスクリフ処分場）から 5 万年（ドーンレイ処分場）であり、ウランの子孫核種があまり生成しない時期から子孫核種と平衡になる前までの時期の評価となっている。フランスのオーブ処分場、モルヴィリエ処分場における人間侵入シナリオの評価は、ウランのインベントリの評価値は小さく、²⁴¹Am や ²³⁹Pu のインベントリからの線量の方が大きいとの評価から、管理期間終了後の早期（300 年、50 年）の時点で評価が行われている。このため、ウランの放射平衡になるまでの子孫核種の生成は考慮されていないと考えられる。ただし、近年、検討されている FA-VL 処分場の安全評価では、長期評価においてウランからの子孫核種の評価の検討も行われている。

以上より、フランスのオーブ処分場、モルヴィリエ処分場の評価は 1990 年代～2000/年代初めの評価であり、一方、英国の処分場や米国のクライブ処分場の評価は最近の評価である。フランスにおける FA-VL 処分場でもウランの子孫核種の評価を実施していることから、最近の安全評価では子孫核種の生成を考慮して評価する傾向になっていると推測される。

ii. 長期の人間侵入シナリオの評価において、処分場のインベントリ設定における処分場から移行した放射エネルギーの考慮

各国の多くの処分場の評価で、人間侵入シナリオの評価で評価時までにおける処分場から環境へ移行する流出を考慮していない。それは、考慮しない方が保守側であるという考えに基づいている。ただし、英国のドーンレイ処分場では、評価期間 5 万年まで人間侵入シナリオの評価を行っているが、処分施設からの環境へ移行量を考慮した評価を実施している。

以上、各国の状況から、人間侵入シナリオにおいて処分場からの放射性物質の移行による減少を考慮しない事例が多いことがわかった。一方で、考慮しない設定が、処分場閉鎖後数 10～数 100 年の比較的短期における評価である場合や、考慮しない保守的な想定に対応した線量基準となっていることに留意する必要がある。

iii. 人間侵入の評価経路

各国で実施されている評価シナリオを見ると、廃棄物層を掘削するシナリオは、米国テキサス WCS 社処分場³⁸⁾、カナダポートホープ長期廃棄物管理施設⁴⁾、英国ではドリッグ³⁶⁾、クリフトンマーシュ⁷⁾、キングスクリフ³⁵⁾、ドーンレイ¹⁹⁾、フランスではオーブ¹⁷⁾、モルヴィリエ⁷⁾¹⁸⁾の各処分場で実施されている。一方で、クライブ処分場の劣化ウラン廃棄物の評価では、有用な地下水が取れない場所であることから、人間が意図的に埋設施設をボーリングする等のシナリオは想定しておらず、処分場の覆土の上での線量を評価している¹⁶⁾。

iv. 地下水シナリオの評価経路

施設に近い小川（バーンウェル³⁹⁾、ドリッグ³⁶⁾、キングスクリフ³⁵⁾、オーブ¹⁷⁾、モルヴィリエ¹⁸⁾の各処分場）、井戸（テキサス WCS 社処分場³⁸⁾、ドーンレイ¹⁹⁾、ドリッグ³⁶⁾、キングスクリフ³⁵⁾の各処分場）等における飲用、水産物摂取等が評価されている。英国のドリッグ処分場の評価では、リスク基準で行われており、井戸を掘る確率が考慮されている⁴⁰⁾。また、クライブ処分場（井戸を想定した地下水）¹⁶⁾、ポートホープ長期廃棄物管理施設（施設からの浸出水を含む地下水）⁴⁾では、地下水濃度基準に対する評価が行われている。

v. 長期自然事象の取扱い

各国の低レベル廃棄物の処分場の安全評価において、将来の自然現象を推定してモデルに取り込む評価の情報が公開されている。

米国のクライブ処分場における 10,000 年以降の定性的な評価では、気候の変動により処分場が湖の侵食を受け、かつ湖底に沈み、また、跡地が陸地になるサイクルを繰り返す評価が行われ、埋設跡地周辺の土壌のウランの放射能濃度の評価が実施されている¹⁶⁾。

ドリッグ処分場では、海の水位が上がり、海域が処分場の直近となる期間を 1,000 年後と予測しており、評価期間を 1,000 年とし、その期間における環境の変化を評価に取り入れている。海水の水位があがり、処分場が海底に沈んだ後の評価は実施していない。なお、海からの侵食が遅れるケースとして、侵食が処分場直近にまで来る時間を 5,000 年とした評価ケースも実施されている。これらの事象はリスク評価の中に取り入れられている³⁶⁾。

各国の状況を見ると、数万年程度までの起こりそうな自然過程の変遷は基本シナリオの中で評価されていることがわかった。

vi. 安全評価における放射能線源の設定方法

安全評価における放射能線源は、廃棄物の種類を問わず、領域を決めてインベントリの平均値が使われている場合が多い。ただし、テキサス WCS 社処分場では、発生施設毎の放射能濃度を用いて人間侵入シナリオの評価を実施し、それぞれの結果と線量基準が比較されている³⁴⁾³⁷⁾。

オーブ処分場、モルヴィリエ処分場では、ピット、トレンチごとに平均放射能濃度を設定して評価が実施されている⁷⁾。

英国のドリッグ処分場については、トレンチまたはボードにおいて区切った領域の平均放射能濃度を使用して評価を実施している⁷⁾³⁶⁾。クリフトンマーシュ処分場における地下水シナリオおよび人間侵入シナリオの評価では、核種毎のインベントリの評価値を施設全体の体積で平均化しており、ガスシナリオでは平均放射能濃度の基準値 200Bq/g で評価を実施している⁷⁾。

以上、各国の評価例を見ると、放射能インベントリは処分場または処分場内の設定した領域で平均化して評価されている事例が多いことが分かった。

以上、各国の規制機関、主な処分施設における安全評価に係る記載を表 II-1～II-2 に整理した。

表 II-1 各国の規制機関における安全評価の設定方法に係る記載 1/2

		米国					カナダ
		NRC 10 CFR 61 ¹⁾	NRC 10 CFR 61改定案 ^{2) 3)}	テキサス州規則 ⁴⁾	ユタ州規則 ⁵⁾⁶⁾	40CFR part192 ⁷⁾	DOE M 435.1-1ガイド ⁸⁾
処分における安全評価におけるめやす線量		(公衆) 全身25mrem/年 (250 μSv/年), 甲状腺75mrem/年 (750 μSv/年), その他の臓器25mrem/年 (250 μSv/年) (意図しない侵入者については基準明示無し)	公衆保護の性能目標 0.25mSv/年、意図しない侵入者保護の性能目標 5mSv/年がコンプライアンス期間の間守られること。	(公衆) 全身25mrem/年 (250 μSv/年), 甲状腺75mrem/年 (750 μSv/年), その他の臓器25mrem/年 (250 μSv/年) (意図しない侵入者については基準明示無し)	(公衆) 全身0.25mSv/年, 甲状腺0.75mSv/年, その他の臓器0.25mSv/年。地下水からの全実効線量または預託実効線量が0.04mSv以下。(意図しない侵入者については基準明示無し)	操業中は公衆への線量基準が明記されている(25mrem等)が、閉鎖後については記載がない。	代表的な公衆評価: 全ての被ばく経路から25mrem(0.25mSv)/年未満。空气中経路からの線量について10mrem(0.10mSv)未満 (空气中のラドンとその子孫核種を除く) 侵入者評価: 慢性被ばくに年間100mrem(1 mSv)及び急性被ばくに500mrem(5mSv)。
安全評価期間		----	コンプライアンス期間(定量的な評価期間)1万年。それ以降は performance 期間とし、その期間の評価は、長半減期核種を含む廃棄物(例えば370Bq/g以上)について case by caseで行う。	閉鎖後1000年か環境中で移動し易い長半減期核種の線量のピークを含む期間のうち長い期間	コンプライアンス期間は最短で10,000年。10,000年以降、線量ピークが発生するまでの期間について定性的に分析	合理的に可能な場合で1000年、少なくとも200年間有効であること。	閉鎖後1000年間 最大の影響が発生すると想定される期間を網羅すること。
安全評価シナリオ	子孫核種のビルドアップの取扱い	----	----	----	----	----	----
	流出ありの評価方法	----	----	----	----	----	----
	人間侵入シナリオの評価モデル	意図しない侵入者が性能目標を満たして保護されることに合理的な保証を提供すること	意図しない侵入者が閉鎖後の制度的管理が失われた処分施設を占有している場合の潜在的な被ばくの評価が要求される。	制度的管理が終了した後において、個人の意図しない処分サイトへの侵入及びサイトの占有又は廃棄物への接触からの保護を保証する必要がある。	制度的管理の終了後の意図しない処分サイト侵入、サイト占有若しくは廃棄物への接触から保護されていることを保証しなければならない。	----	性能評価は、低レベル廃棄物処分施設への意図しない侵入を一時的に行う仮想上の個人への影響を評価しなければならない。
	地下水シナリオ(参考)	処分サイトは廃棄物への水の浸入を防ぐため、地下水面より十分浅くなければならない。どのような場合でも、地下水面が変動する地域での廃棄物処分は許可されない。	----	----	----	----	浅地中に処分が許される放射性核種の限度を確立するために、性能評価は、水資源への影響を評価しなければならない。
	長期自然事象の取扱い	処分された廃棄物と処分サイトの長期安定性が達成され、処分サイトの能動的なメンテナンスを閉鎖後に続ける必要がなくなるだろうことに合理的な保証を提供しなければならないなど	処分施設とサイト特性の長期間の放射線影響の評価を科学的合理性を持って行う。この評価は、平均濃度がクラスAの濃度基準(10mCi/g)を超えるα放出核種を含む長寿命廃棄物を伴う陸地処分について要求されるなど	処分サイトの長期安定性の分析と、閉鎖後の能動的メンテナンス継続の必要性は、現に起きている自然過程分析に基づかなければならない。	どんな放射性廃棄物も、サイトスペシフィックな性能評価を実施する必要がある。など	----	性能評価は、放射性物質の流出や運搬を防ぐバリアを崩壊させる可能性がある合理的に予見できる自然過程を特定しなければならない。
	安全評価における放射能線源の設定方法	----	----	----	----	----	----

1) U.S.NRC, "Licencing Requirements for Land Disposal of Radioactive Waste" 10 CFR Part 61.
 2) U.S.NRC, "NOVEMBER 2012 PRELIMINARY RULE LANGUAGE FOR PROPOSED REVISIONS TO LOW-LEVEL WASTE DISPOSAL REQUIREMENT (10 CFR PART 61), [NRC-2011-0012]
 3) U.S.NRC, "REGULATORY ANALYSIS FOR PROPOSED REVISIONS TO LOWLEVEL WASTE DISPOSAL REQUIREMENTS (10 CFR PART 61)" (2012, 11, 29)
 4) Texas Administrative Code TITLE 30 ENVIRONMENTAL QUALITY, PART 1 TEXAS COMMISSION ON ENVIRONMENTAL QUALITY, CHAPTER 336 RADIOACTIVE SUBSTANCE RULES (30TAC336), Nov. 28, 2013
 5) Utah Administrative Code, R313.Environmental Quality, Radiation Control, Rule R313-25.License Requirements for Land Disposal of Radioactive Waste (UAC R313-25), Mar. 1, 2014
 6) Utah Administrative Code, R313.Environmental Quality, Radiation Control, Rule R313-12. General Provisions (UAC R313-12), Mar. 1, 2014
 7) EPA, "HEALTH AND ENVIRONMENTAL PROTECTION STANDARDS FOR URANIUM AND THORIUM MILL TAILINGS", 40 CFR PART 192, July 1, 2000
 8) US DOE, RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT MANUAL, DOE M 435.1-1, (1999)
 9) CNSC, REGULATORY POLICY, Managing Radioactive Waste, P-290, Jul.2004

表II-1 各国の規制機関における安全評価の設定方法に係る記載 2/2

		カナダ	英国			フランス	ドイツ	スウェーデン		
		G-320, Assessing the Longterm Safety of Radioactive Waste Management ¹⁰⁾	GRA 2009 ¹¹⁾	Initial Radiological assessment methodology ¹²⁾	Sniffer Manual ¹⁴⁾	RFS I-2 ¹⁵⁾	RFS I-2 Ref. 4 ¹⁶⁾	放射線防護令等 ¹⁷⁾	SSMFS: 2008: 21 ¹⁹⁾	SSMFS: 2008: 37 ²⁰⁾
処分における安全評価におけるめやす線量		線量拘束値0.3mSv/年を超えないことを推奨。意図しない侵入シナリオは、規制限度より大きい被ばくを想定してよい。	一般リスクレベル10 ⁻⁶ /年（発生確率1の時20μSv/年）、人間侵入3~20mSv/年	第一段階 初期設定のパラメータで20μSv/年以下を確認する。 第二段階 より精緻なパラメータで評価して20μSv/年以下を確認する。 第三段階 それでも20μSv/年以上であれば、サイトスペシフィックな評価の必要性を判断する。	放射能容量を計算するモデルでは、20μSv/年で行った。	1mSv/年	----	処分の操業期間後0.3mSv/年 ¹⁸⁾ 自然放射性物質の残渣に対して監視から解放されるレベルは、1mSv/年である。	----	リスクで10 ⁻⁶ /年グループがごく少数であれば、10 ⁻⁵ /年
安全評価期間		最大の影響が発生すると想定される期間を網羅すること。ただし、時間に依存せず最大影響の規模だけで評価に十分であることがあり得る。	ピークまで、あるいは不確実性が増大して定量的な評価の意味がなくなるまで。	----	----	(監視段階開始後、遅くとも300年以内には貯蔵施設の再生を可能にしなければならない。)	(監視段階開始後、遅くとも300年以内には貯蔵施設の再生を可能にしなければならない。)	----	安全解析の期間は少なくとも1万年。1,000年までは線量とリスクが計算される。	1,000年間は定量的な解析を行う。使用済燃料又は長寿命廃棄物の処分場では少なくとも約10万年のリスク解析。最大でも100万年。
安全評価シナリオ	子孫核種のビルドアップの取扱い	----	----	いくつかの経路では、子孫核種の生成が重要となる。本検討では、50年間の放出期間において生成が重要であるかどうかを考慮された。 ¹³⁾	子孫核種を適切に考慮することが示されている。	----	(²⁴¹ Puについて、 ²⁴¹ Am、 ²³⁷ Npを考慮していることを明記)	----	----	----
	流出ありの評価方法	----	----	----	----	----	----	----	----	----
	人間侵入シナリオの評価モデル	・意図しない侵入のシナリオでは、侵入者の被ばくを評価するべきであるが、意図的な侵入の評価では侵入者の被ばくを考慮する必要は無い。	管理期間終了後、人間の直接的な侵入、覆土やバリアの破損または機能低下を対象とする。	----	意図しない侵入のあと、埋設地上で居住、農耕、牧畜の実施	貯蔵サイトを横断する大規模な道路工事、貯蔵サイトでの家屋建設(70年間居住)	道路工事現場、利用開放サイト内の恒久的な居住施設、子供の遊び場、サイトで解放された雌牛から出た牛乳の経口摂取	----	発生確率の低いシナリオで人間活動によるバリアの損害、残余シナリオで処分場に侵入する人が受ける損害が評価される。	処分場へのボーリングのような直接的侵入を厚かったケース及び水理条件の変化のような間接的に影響するケースを扱うべきである。
	地下水シナリオ(参考)	----	リスク評価を行う。	河川、小川、河口、海、排水処理場への移行ルート	河川、井戸、海への移行ルート	地下水や近傍の排水が最も高い場合での廃棄物に到達しないようにしなければならない。	河川水濃度の評価、水-魚濃度係数、水-植物濃度係数、水-牛乳・草-牛乳濃度係数	----	主要シナリオとして外部条件の予測される変遷及び内部条件に関する現実的な想定等に基づいて評価が行う。	処分場の防護能力及び環境影響の評価は、処分場、周辺及び生物圏の重要な推移を表したシナリオの集合に基づくべきである。
	長期自然事象の取扱い	安全評価は評価時間枠に、自然事象の繰返し及び人為的な環境の変化(例えば地震の発生、洪水、干ばつ、氷結、気候変化など)が考慮されるべきである。など	管理期間終了後のリスクの評価で10 ⁻⁶ を満足すること。この不確実性の説明が求められる。	----	----	----	----	----	安全解析におけるシナリオは、外部事象として永久凍土、地盤沈下などの影響が含まれる	気候変動については不確実性を伴うことを考慮し、単純化して行い、生物圏条件も気候変動と関連付けるべきである等。
	安全評価における放射能線源の設定方法	----	----	----	----	----	平均0.1Ci/トンのαを含む廃棄物を40万トン処分するとして評価、核種は ²³⁸ Pu、 ²³⁹ Pu、 ²⁴⁰ Pu、 ²⁴¹ Pu、 ²⁴¹ Am、 ²³⁷ Np	----	----	----
		<p>10) CNSC, "Assessment the Long Term Safety of Radioactive Waste Management", Regulatory Guide G-320, 2006 11) EAなど: "Near-surface Disposal Facilities on Land for Solid Radioactive Wastes", Guidance on Requirements for Authorisation, February 2009 12) EA, "Initial radiological assessment methodology - part 1 User Report", Science Report: SC030162/SR2, UK, May 2006 13) EA, "Initial radiological assessment methodology - part 2 methods and input data", Science Report: SC030162/SR1, UK, May 2006 14) SNIFFERなど, "Development of a Framework for Assessing the Suitability of Controlled Landfills to Accept Disposals of Solid Low-Level Radioactive Waste: Technical Reference Manual", Project UKRSR03, March 2006, updated March 2010 15) Conseil suprieur de la surete nucleaire (CSSN), "I.2. Principes generaux de conception et d' installation", Regle No. I-2 (Basic Safety Rule RFS I-2), June 1984 16) CEA/IPSN, "Etude des consequences radiologiques pouvant resulted d' un stockage en surface", Regle No. I-2 (Basic Safety Rule RFS I-2)reference No. 4, June 1984 17) Bundesamt fuer Strahlenschutz(BFS), "Ordinance on the Protection against Damage and Injuries Caused by Ionizing Radiation (Radiation Protection Ordinance)", Feb., 2012 18) Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety in Germany, Joint Convention on the safety of spent fuel management and on the safety of radioactive waste management, Report of the Federal Republic of Germany for the First Review Meeting in November 2003, (2003.11.5) 19) SSM, "The Swedish Radiation Safety Authority's regulations and general advice concerning safety in connection with the disposal of nuclear material and nuclear waste", SSMFS 2008:21, (2008). 20) SSM, "The Swedish Radiation Safety Authority's Regulations Concerning the Protection of Human Health and the Environment in Connection with the Final Management of Spent Nuclear Fuel and Nuclear Waste", SSMFS 2008:37, (2008).</p>								

表 II-2 各国の処分施設における安全評価の設定方法に係る記載 1/2

		米国			カナダ	英国		
		リッチランド処分場 ¹⁾²⁾	バーンウェル処分場 ³⁾	クライブ処分場 (劣化ウラン処分 ⁴⁾ の安全評価 ⁴⁾	WCS社処分場 ⁵⁾	ポートホープ処分場 ⁶⁾	ドーンレイ処分場 ⁷⁾	ドリッグ処分場 ⁸⁾
安全評価におけるめやす線量		(ウランに限らない) 全身25mrem/年(0.25mSv/年) オンサイト侵入者の線量限度は100mrem/年(1mSv/年)	(ウランに限らない) 全身25mrem/年(0.25mSv/年)、甲状腺75mrem/年(0.75mSv/年)、その他の臓器 25mrem/年(0.25mSv/年)	(ウランに限らない) 地下水シナリオ以外は0.25mSv/年。1万年以降は定性的な評価(基準なし) 地下水シナリオは核種毎の地下水中放射能濃度基準。	(ウランに限らない) 管理期間終了後 25mrem/年(0.25mSv/年)	(ウランに限らない) 地下水シナリオは地下水の濃度に対して、オンタリオ州の水質基準(5µg/l)及び飲料水濃度基準(20µg/l)。人間侵入シナリオは、意図しない侵入に対して、10~100mSv/年	(ウランに限らない) リスク限度10 ⁻⁶ /年、偶発的な人間侵入 3~20mSv/年	(ウランに限らない) リスク限度10 ⁻⁶ /年、偶発的な人間侵入 3~20mSv/年
安全評価期間		評価期間10,000年。0-500年、500-1,000年及び1,000-10,000年の評価をしている。	地下水シナリオの compliance periodは500年及びsensitivity periodの1,000年を包絡する値として2,000年を評価期間としている。	地下水シナリオ以外の定量的な評価期間は1万年。地下水シナリオは500年。1万年以降の定性的な評価期間は210万年	人間侵入は、施設閉鎖後100年で評価。地下水シナリオは、10万年まで(ピークが出現する期間を含む期間まで)。	地下水シナリオは、最大5千万年まで計算を実施。人間侵入シナリオでは、管理期間終了直後の500年後と最大放射能となる8,000年後の計算を実施。	5万年まで	地下水シナリオ 1,000年、5,000年(侵食遅延ケース) 人間侵入シナリオは、5,000年、10,000年
安全評価モデル	子孫核種のビルドアップの取扱い	---	---	ウランの子孫核種を評価している	人間侵入シナリオでは早期に生成する核種のみ。地下水シナリオでは、ウラン及び子孫核種の線量の値が出現していない。	地下水シナリオでは、子孫核種の生成は考慮されていない。人間侵入シナリオでは、子孫核種の生成が考慮されている	ウランの子孫核種を評価している	ウランの子孫核種の生成を考慮している。
	流出ありの評価方法	----	----	報告書では、ソースタームの様々な移行挙動が関連して評価されることが説明されているが確認できない。	考慮されていない。	考慮されていない	考慮されている。(考慮しない場合も評価し、結果が変わらないことを確認している。)	考慮されていない
	人間侵入シナリオの評価モデル	・ サイト内農業居住シナリオ(井戸水利用を含む) ・ サイト内原住民シナリオ ・ サイト内台地原住民狩猟シナリオ	具体的な評価シナリオを設定していない	サイト内の利用は評価されるが、侵入者が掘削するシナリオは評価していない。降雨による侵食モデルの評価ケースを実施。	処分場での掘削シナリオ、②居住シナリオ(井戸水利用も加算)。放射性ガス吸入はボーリングに起因せず、覆土を通過したガスの吸入被ばくシナリオ①②に加算	意図しない侵入として、処分地の直上での居住、工事が評価されている。	サイトを掘削する人の被ばく。サイトに居住する人の被ばく(ラドンの吸入被ばくを含む)	・ 掘削物のある土地での農業 ・ 掘削物のある土地での居住 ・ 海からの侵食によりさらされた廃棄物からの物質収集など(ラドンの吸入被ばくも想定されている)
	地下水シナリオ	・ コロンビア河川域居住原住民シナリオ ・ サイト外農業居住シナリオ ・ サイト外原住民シナリオ	地下水の移行期間を20年とみなし、小川に最も近いトレンチとの間で地下水移行を反映している。	処分施設から、27m離れた地点における地下水濃度	処分場の近傍にボーリングを掘って井戸を利用するシナリオ。	浸透条件(ドレインの劣化、遮水シートの劣化など)のケースを設定して、浸出水を評価し、水質基準等と比較	汚染した表層土、表層水を利用した農作物及び畜産物摂取。海産物摂取など。(ラドンの吸入被ばくはガスシナリオとして扱われている。)(通常のシナリオ) 井戸水飲用(擾乱シナリオ)	・ 井戸水利用 ・ 海産物摂取 ・ 河川経路 ・ 河口経路
	長期自然事象の取扱い	----	----	10,000年以降、定性的な評価として実施。湖が拡大・縮小を繰り返すことにより、処分場が湖底に沈み、侵食された後、堆積物の下に沈む事象を想定し、湖水及び堆積物中の放射能濃度を評価。	長期的な浸透水量の変化と表面侵食を感度解析で計算。	降水量が増加した条件、ドレインの劣化、遮水シートの劣化のシナリオが考慮されている。	氷河、沿岸侵食、地盤亀裂(ground rupture)を考慮(擾乱シナリオ)	海水による侵食を考慮したシナリオを設定し評価。レクリエーション、漁師、海産物摂取などのシナリオが評価されている。
	安全評価における放射能線源の設定方法	----	----	処分場内の限定した領域において放射能濃度を平均化	人間侵入の評価では、廃棄物の発生施設、クラス毎の放射能濃度毎に評価している。地下水シナリオの評価では、処分施設毎に平均化している。	----	----	トレンチ、ボールド等のエリアを区切ってインベントリを評価し平均放射能濃度で評価している。
引用文献		<p>1) Washington State Department of Health, "FINAL ENVIRONMENTAL IMPACT STATEMENT DOH Publication 320-031 VOLUME I COMMERCIAL LOW-LEVEL RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL SITE RICHLAND, WASHINGTON", May 28, 2004.</p> <p>2) Washington State Department of Health, "FINAL ENVIRONMENTAL IMPACT STATEMENT DOH Publication 320-031 VOLUME I COMMERCIAL LOW-LEVEL RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL SITE RICHLAND, WASHINGTON, APPENDIX II Radiological Risk Assessment Commercial Low-Level Radioactive Waste Disposal Site Richland, Washington"</p> <p>3) BEDL-03-003 (ENVIRONMENTAL RADIOLOGICAL PERFORMANCE VERIFICATION OF THE BARNWELL WASTE DISPOSAL FACILITY SUMMARY JULY 2003)</p> <p>4) Neptune and Company, Inc. Final Report for the Clive DU PA Model Version 1.0 (2011.6.1)</p> <p>5) Waste Control Specialists LLC, APPLICATION FOR LICENSE TO AUTHORIZE NEAR-SURFACE LAND DISPOSAL OF LOW-LEVEL RADIOACTIVE WASTE, APPENDIX 8.0-6 DETAILED PATHWAY ANALYSIS, (2007).</p> <p>6) 長谷川信他, "北米地域のウラン廃棄物処分に関する調査; 米国ユタ州、テキサス州及びカナダオンタリオ州における処分及び規制の現状", JAEA-Review 2013-043, (2013).</p> <p>7) Mark Crawford, et al, "Dounreay New Low Level Waste Facilities, RSA 93 Environmental Safety Case 2010", NLLWF/3/ESC/GAL/0425/IS/01, 27 October 2010</p> <p>8) LLW Repository Ltd, "The 2011 Environmental Safety Case Assessment of Long-term Radiological Impacts, LLWR/ESC/R(11)10028, May 2011</p>						

表Ⅱ-2 各国の処分施設における安全評価の設定方法に係る記載 2/2

		英国		フランス		
		クリフトンマーシュ処分場 ⁹⁾ 10)	キングスクリフ処分場 ¹¹⁾	オーブ処分場 ¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾	FA-VL処分場 ¹⁵⁾¹⁶⁾	モルヴィリエ処分場
安全評価におけるめやす線量		(ウランに限らない) 起こりそうなシナリオ20 μ Sv/年 (リスク限度10 ⁻⁶ /年) 起こりそうもないシナリオ1mSv/年 ⇒簡易アプローチ	(ウランに限らない) 起こりそうなシナリオ20 μ Sv/年 (リスク限度10 ⁻⁶ /年) 起こりそうもないシナリオ3mSv/年	(ウランに限らない) 通常シナリオ: 250 μ Sv/m年 (ANDRAの管理目標値) 規制値 1mSv/年 変動、人間侵入は基準値なし(1~10mSv/年を参考)	(ウランに限らない) 自然過程 250 μ Sv/年 人間侵入は基準値なし	(ウランに限らない) 通常シナリオ: 250 μ Sv/年 (ANDRAの管理目標値) 規制値 1mSv/年 変動、人間侵入は基準値なし(1~10mSv/年を参考)
安全評価期間		地下水移行シナリオ10万年まで 人間侵入シナリオは500年	・評価時期: 閉鎖後500、1,000、5,000年、人間侵入時期(作業中): 閉鎖後20、60年、(居住): 閉鎖後60年、100年	地下水シナリオ1万年 人間侵入シナリオ: 300年	1万年まで定量的な評価 1万年以降5~10万年まで定性的評価	地下水シナリオ: 線量の最大値が出現するまで。 人間侵入シナリオ: 50年
安全評価モデル	子孫核種のビルドアップの取扱い	ウランの子孫核種の生成を考慮している。	・ウランを含む43核種について娘核種も考慮に入れている。	ウランの子孫核種の評価は実施していない	考慮している。(ラジウム、ウラン鉱さいも対象)	ウランの子孫核種の評価は実施していない
	流出ありの評価方法	考慮されていない	---	考慮されていない	---	考慮されていない
	人間侵入シナリオの評価モデル	・居住シナリオを可能性の低いシナリオとして想定(ラドンの吸入被ばくを含む)	起こりそうもないシナリオとして処分場境界での掘削孔からの地下水利用による被ばく、定置した廃棄物への侵入による被ばくを評価	跡地での道路建設、跡地での居住、子供の居住	---	跡地での道路建設、跡地での居住など
	地下水シナリオ	・野鳥狩猟シナリオ(Ribble川氾濫原の占有(occupation)) ・漁業シナリオ(Ribble川氾濫原の占有) ・農業シナリオ(牧草用土地の占有) ・子供の河川水飲水シナリオ ・海産物摂取シナリオ	サイト最近接地点において抽出された地下水の利用による被ばく(汚染井戸水及び河川水)(公衆)を想定。	水による環境への影響(地質学的安定性、廃棄体の周辺環境との共存性、浸出・移行の評価、生物連鎖、隔離機能の損傷)	地下水から生物圏への移行との説明がある。	---
	長期自然事象の取扱い	・Landfillの侵食(海面上昇/表層水による侵食を可能性の低いシナリオとして想定)	・初期の覆土効率は99%に設定されており、覆土の有効性は60年間、覆土の劣化期間は100年と仮定	---	気候による侵食があっても生物圏に影響がないように浅地層処分する。浸食、凍土の影響も考慮する。	---
	安全評価における放射線源の設定方法	平均化している。	平均化している。	ピット毎に平均化している	---	トレンチ毎に平均化している
引用文献		9) NUVIA, Radiological Risk Assessment and Capacity Calculation for the Clifton Marsh Landfill Site, Document Ref. 89290/IN/RA/002 Issue: 2, Date: 06/05/2010 10) ibid, Environmental safety case for the disposal of very low and low level radioactive waste in the Clifton Marsh Landfill Site, Document Ref. 89290/SC/SR/003, Date: 9/12/2010 11) Augean application for disposal of LLW including HV-LLW under the radioactive substances act 1993 for the east morthants resource management facility supporting informaiton. July 2009 Appendix D 12) Conseil suprieur de la surete nucleaire (CSSN), "I.2. Principes generaux de conception et d' installation", Regle No. I-2 (Basic Safety Rule RFS I-2), June 1984 13) CEA/IPSN, "Etude des consequences radiologiques pouvant resulted d' un stockage en surface", Regle No. I-2 (Basic Safety Rule RFS I-2)reference No. 4, June 1984 14) Rapport sur les conséquences des installations de stockage des déchets nucléaires sur la santé publique et l' environnement (SESSION ORDINAIRE DE 1999-2000) 15) 佐藤他, 「欧州地域のウラン廃棄物処分に関する調査 -フランス、英国及びスウェーデンにおける処分及び規制の現状-」 JAEA Review 2014-006, (2014). 16) "Etude des Scenarios de Gestion a Long Terme des Dechets de Faible Activite Massique a Vie Longue", ANDRA, December, 2012				

1.2 産廃処分

(1) クリアランス埋設

クリアランスレベルを定めているのは各国とも、フリーリリースおよび限定利用(処分)の2種類の場合が多い。フリーリリースは、①定められていない、②表面線量率で定義、③単位質量あたりの放射エネルギーで定義の3種類がある。定められている国ではおよそ、質量あたりで1~10Bq/gの場合が多い。一方、限定処分(本調査で処分場として調査)のクリアランスレベルは、フリーリリースと同じ場合や、別途処分場ごとに定めている場合がある。スウェーデンの場合、ウランの埋設濃度は周辺住民の被ばく線量が10 μ Sv/年以下となるように(一般)処分場ごとに定められていた。(グリタ処分場30ppm、リサンゲン処分場250ppm、現在はEU基準による10Bq/gとしている。)

英国では従前RSA-93により、0.4Bq/g以下は放射性物質から免除されるとしてきたが⁴¹⁾、イングランドとウェールズではRSA-93がEPR2010に置き換わっている。LLWのサブカテゴリとして、英国ではVLLWというカテゴリがあり、低レベル廃棄物の一形態として一般処分場で処分している(I章2.3(4)参照)。

フランスではクリアランスレベルは定められておらず、クリアランス制度は定められていない。

ドイツでは放射線防護令により²³⁸U+ (²³⁴Th、^{234m}Pa、²³⁴Pa) 10Bq/g、年間100トン以下を処分する場合6Bq/gと定められており、一般処分場にて処分可能である。

米国では10CFR61には記載はなく、10CFR40に、核原料物質の免除レベルが定められている。個別審査で、過去に一般処分場に処分された例がある(0.54Bq/g²³⁸Uで524m³等)。「0.05%未満のSource Material(²³³Uおよび濃縮ウランを除くウラン、トリウムおよびその化合物)、混合物、化合物、溶液、合金でも良い。」との規制がある。

日本においてウラン取扱施設におけるクリアランスは金属のみが認められている。ただし、クリアランスされた物の産業廃棄物としての処分はまだ実施されていない。このため、金属以外の廃棄物については、非常に低いレベルの固体廃棄物でも、低レベル廃棄物として処分が必要である。

(2) VLLW

IAEAのGSG-1において、放射性廃棄物は規制免除廃棄物(EW)、極短寿命廃棄物(VSLW)、極低レベル廃棄物(VLLW)、低レベル廃棄物(LLW)、中レベル廃棄物(ILW)、高レベル廃棄物(HLW)に分類されている。VLLWはLLW処分場の負担を軽減するために設定されたもので、放射能レベルが非常に低い廃棄物であり、放射性廃棄物として区分されているが、実際には一般廃棄物や産業廃棄物と同等の扱いで処分されている。英国においてはVLLWとしての受入基準(LV-VLLW:低容量VLLWとHV-VLLW:高容量VLLW)が規定されている。

処分場の例としては、英国のリリーホール、キングスクリフ、フランスのモルヴィリエなどがある。いずれの場合にも、廃棄物中の放射能レベルについて処分場への受け入れ基準が設けられている。

VLLWは一般廃棄物や産業廃棄物と一緒に処分されているが、クリアランス埋設の処分場であったリサンゲンでは一旦処分された廃棄物の中に受け入れ基準を超えているものが見つかって処分が中断され、後に受け入れ禁止となった。このことから、日本においてVLLWを産業廃棄物として処分する場合には、受け入れる廃棄物が基準を満足していることの確認や廃棄物の特性を考慮した適切な管理が必要と考えられる。

2. 制度的管理について

2.1 埋設施設における管理期間（埋設・保全段階）

(1) 国際機関の出版物における記述

a. ICRP Publication-46 「放射性固体廃棄物処分に関する放射線防護の諸原則」⁴²⁾

トレンチ処分について、施設閉鎖後、制度的管理と監視が続けられるとしても、これらの施設で処分できる廃棄物の放射能は、厳重に制限することが必要である。浅地中処分は、廃棄物が地表に近いため、侵入または破壊が起こった結果に対する予防手段として、相当期間サイトの制度的管理と監視が必要である。管理が数百年にわたって確保できることはありそうになく、この方法での処分に適した種の長寿命の放射性廃棄物については、その量を制限することになる。

(20, 21 項)

b. ICRP Publication-81 「長寿命放射性固体廃棄物の処分に適用する放射線防護勧告」²⁴⁾

人間侵入に関連した被ばくの防護は、事象の可能性を減らす努力によって最もよく達成される。社会に処分施設の存在について警告するといった合理的な措置を実行すべきである。これらの措置には、侵入を難しくする深いところへの処分施設の設置、強固な設計特徴の取入れ、あるいは能動的な制度的管理（立入りの制限または放出の可能性に対するモニタリング）および受動的な制度的管理（記録および目印）を使用することが含まれる。(61 項)

c. IAEA WS-G-1.2（鉱石の採鉱および粗製錬から発生する放射性廃棄物の管理）⁴³⁾

技術的管理と制度的管理の組み合わせは規制当局が決めた線量拘束値もしくはリスク拘束値に適合する放射線防護レベルを達成させるために利用することができる。これらの管理はある一定の期間有効であることの合理的な保証があるべきである。(3.16 項)

制度的管理は規制当局によって求められるように、閉鎖後の廃棄物管理サイトの管理または知識を維持するために実行される活動、仕組みおよび処置からなる。この管理は能動的（例えばモニタリング、監視等）でもよく受動的（例えば土地利用の管理、標識、記録の方法）でもよい。(9.1 項)

d. IAEA SSR-5（放射性廃棄物の処分）⁸⁾

処分施設の許認可終了後も、受動的制度的管理（位置標識、記録保存等）が必要な場合は、その責任は何らかの形で政府に移管しなければならないとしている。(5.14 項)

管理期間として、浅地中処分施設は一般に、制度的管理が一定の期間にわたって有効であり続けなければならないという仮定に基づいて設計される。(5.9 項)

(短寿命廃棄物)

：閉鎖後の数十年～数百年程度

(極めて長寿命の放射性核種を含み一般に大容量である採鉱および鉱石処理廃棄物)

：放射能濃度は、安全策として継続中の能動的な制度的管理が、依存することのないように制限されなければならない。これらの限度を超えた放射能濃度の廃棄物は、地表下に処分されなければならない。

地層処分施設は、安全策としての閉鎖後の長期の制度的管理に依存してはならない。しかし、制度的管理は、廃棄物への意図しない抵触、あるいは地層処分システムの安全特性の低下を起す恐れのある人間活動を防止したり、その可能性を減少させたりすることによって、安全性に寄与す

ることがある。(5.12 項)

制度的管理は、地層処分の社会的受容性の向上に寄与することもある。(5.12 項)

閉鎖後、処分施設の安全はサイトと施設並びに廃棄物パッケージの特性に固有の受動的性質および、とりわけ浅地中処分施設に対して、何らかの制度的管理によりもたらされる。(1.22 項)

施設への侵入を防ぐためと、処分システムが期待されたように機能していることをモニタリングとサーベイランスによって確認するためにそのような制度的管理が行われる。(1.22 項)

e. IAEA SSG-23 (放射性廃棄物処分施設のセーフティケースと安全評価)²⁶⁾

放射性廃棄物処分施設の供用期間中は、「操業前期間」、「操業期間」、「閉鎖後」の 3 つの期間で定義される。具体的な期間の長さについては記載されていない。(2.10 項)

また、「操業者は、必要に応じ閉鎖後サーベイランスに必要なすべての活動を、規制上の要件に従い実施しなければならない」としている。(3.6 項)

f. IAEA SSG-29 (放射性廃棄物の浅地中処分施設)³²⁾

閉鎖後の制度的管理は、処分施設の安全をさらに保証する手段として考慮されるべきである。制度的管理は、廃棄物に偶発的に干渉する、あるいは処分システムの安全特性を劣化させる可能性があると思われる人間活動を防止する又はその尤度を低減することによって、安全に対して寄与するかもしれない。制度的管理はまた、浅地中処分施設の公衆の受容性を高めることにも寄与するかもしれない。(7.6 項)

制度的管理は、能動的な場合もあれば受動的な場合もある。能動的な制度的管理には、公衆の構成員がサイトに立ち入りうることを妨げるための措置(たとえば、サイトフェンスおよび警備員の維持)や、環境媒体中の放射性核種濃度並びに、人工バリアの健全性と性能に対するモニタリング活動が含まれるであろう。受動的な制度的管理には、処分施設に関する情報を地元、国の又は国際的な記録およびアーカイブに入れること(将来世代が処分施設とその安全に関する決定を行うことを可能にするために)、サイトにおける耐久性のある位置標識(マーカー)の利用、そして土地の利用に対して法的制限を加えることが含まれるであろう。(7.9 項)

安全評価およびセーフティケースでは、制度的管理が無期限に有効である(例えば、人間侵入の防止において)ことに依拠すべきではない。(7.11 項)

国の組織は最終的な記録の保存や土地利用の制限のような活動に責任を有するかもしれない。適切な段階において、サイトに関する責任を操業者から政府に移転するための規制上の承認を求めることが行われるかもしれない(7.15 項)

(2) 米国

10CFR61¹⁰⁾において、管理期間の長さは、100 年と要求されていることから、各処分場の管理期間は 100 年としている。

DOE M 435.1-1 ガイドにおいて、「侵入者評価においては、施設管理は少なくとも閉鎖後 100 年間は侵入防止に有効と仮定されなければならない」としている。

(3) フランス

フランスの規制(RFS I-2)³⁾において、制度的管理の期間は、300 年と要求されている。

オープン処分場では、300 年後の侵入シナリオでの線量評価を行い、1mSv オーダーの結果を得て

いる。モルヴィリエ処分場では、オーブ処分場と異なり 30 年の制度的管理が決められている。安全評価はそれ以後の保守管理が無いものとして実施されている。

(4) カナダ

ポートホープ長期廃棄物管理施設では管理期間を当面 500 年としている。

(5) 英国

英国のガイドライン (GRA2009)²⁾では、制度的管理の期間は明記されていない。そのため、キングスクリフ処分場 60 年、ドリッグ処分場 100 年、ドーンレイ処分場 300 年 (閉鎖後) と各処分場で管理期間に相違がある。

クリフトンマーシュ処分場では、管理期間終了後 500 年 (人間侵入シナリオ) を設定している。

2.2 埋設施設における管理期間終了後の取扱

(1) 米国

10CFR61¹⁰⁾において、制度的管理は委員会によって決定されるが、それに続く所有者への処分サイト管理の移管から 100 年間以上となると管理ができない可能性があるとの理由から、「処分サイトが要件を満たすことが確認された後、委員会はライセンスを、処分サイトを所有する州か連邦政府に移す。」としている。この規定はテキサス州、ユタ州でも共通であり、DOE 所掌の廃棄物についても類似の規定がなされている。

また、テキサス州・ユタ州においては、「陸地処分施設の設計、操業および閉鎖は、能動的な制度的管理が終了した後のいつの時点でも、個人の意図しない処分サイトへの侵入およびサイトの占有または廃棄物への接触からの保護を保証しなくてはならない。」¹²⁾としている。

バーンウェル処分場では、「管理期間終了後はサウスカロライナ州の衛生・環境管理部門 (DHEC) に返還され、以降は同部門により管理される。」⁴⁴⁾としている。

テキサス WCS 社処分場では、埋設地はテキサス州の管理であり、管理期間中の実施主体はまだ決まっていない。

クライブ処分場では、「埋設地はユタ州の管理であり、事業者 ES 社は、管理期間中の資金について責任がある。」⁴⁵⁾としている。安全評価においては、テキサス WCS 社処分場、クライブ処分場とも、閉鎖後 100 年の管理期間終了後は、行為の禁止などの制約を想定していない。なお、制度的管理の期間については、所有者への処分サイト管理の移管から 100 年間以上になると管理が期待できない可能性がある、という記載が連邦規則内に見られる。

(2) 英国

ドーンレイ処分場では、管理期間は閉鎖後 300 年まで、ドリッグ処分場では、管理期間は少なくとも閉鎖後 100 年間としている。制度的管理のため「操業者は許可期間中の記録を保存し、許可期間終了時に、公共の記録保管所で保管することを検討 (考慮) しなければならない。」³¹⁾としている。

一方、クリフトンマーシュ処分場では、人間侵入シナリオの評価は管理期間終了後 500 年を設定して行っている。線量基準は、高頻度のシナリオで 0.02mSv/年、低頻度のシナリオで 1mSv/年である。

許認可保持者は、「英国健康安全局 (HSE) が当該サイトのいかなるものについても電離放射線に

伴う危険が最早認められないと納得するまでの間は、原子炉施設法の下で責任を負い続けることとなる。」⁴⁶⁾

(3) スウェーデン

リサンゲン処分場では、「業務が廃止される場合、記録を国立公文書館または地域の公文書館に移管する。」³¹⁾としている。

(4) ドイツ

コンラッド処分場では、閉鎖後の期間についての特別な管理と監視計画は考慮されていないが、処分場周辺の空気、水および土壌の定期的測定は実施が規定されている。これらの測定結果は、処分場からの影響の証拠となるものとして評価され記録されなければならない。

3. ラドンの扱いについて

3.1 国際機関の考え方

(1) ICRP 勧告

- ICRP 勧告において、ラドンに関する放射性防護勧告のその多くは住居等における現存被ばくを対象としたものであり、放射性廃棄物処分のように計画被ばくに関してのラドン独自の放射線防護の考え方は記載されていない。
- 現存被ばくの概念に関しては、ICRP Publication-65 や Publication-103 で年間3~10mSv に相当する濃度として 200~600Bq/m³ (家庭) を推奨してきたが、換算係数が低すぎるとの議論から、300Bq/m³を年間10mSv 相当とする見解が示された⁴⁷⁾。
- 一方、長寿命放射性廃棄物の処分に伴う、一般公衆の防護基準に関しては、ICRP Publication-81 の中で、地下水シナリオのような自然過程に関しては、年間約0.3mSv を超えない線量拘束値が適切であろうとしている。その後、ICRP Publication-82 において、長寿命放射性核種の環境への計画放出があるような事情のもとでは、あらゆる被ばくの妥当な組み合わせとビルドアップを考慮して、環境中でもビルドアップが線量拘束値を上回る結果を生じるかどうかを考えるべきとしており、ラドンの寄与も内数の一つと考えられる²⁴⁾⁴⁸⁾。
また人間侵入に関しては、ICRP Publication-81 では処分施設に対する防護の最適化において考慮されたバリアをバイパスすることから線量拘束値は評価に適用できないとし、一般的な概念を導入し、介入が正当化できそうもない一般的な参考レベルとして10mSv を勧告しているが、ラドン独自の放射線防護策については言及していない²⁴⁾。
- 規制免除クリアランスに関しては、ICRP Publication-104 の中で、IAEA の定めた規制免除およびクリアランスの概念の適用 (RS-G-1.7) について、言及している⁴⁹⁾。(3.2.1項参照)

(2) IAEA の安全指針、基準

- BSS の改定版では、ICRP 同様、ラドンに関する特別な安全基準は、現存被ばくに関しては住居環境の参考レベルとして300Bq/m³を基本として定めているが、放射性廃棄物の処分に関しての特別な規制基準には言及していない⁵⁰⁾。
- RS-G-1.7 では、天然核種に関しては規制除外の概念をベースに、世界中の分布を考慮して、⁴⁰K に対しては10Bq/g、²³⁸U などその他に関しては1Bq/g としているが、ラドンに関しては対策レベルとしてBSS に空気中のラドンの対策レベルが示してあるとして言及していない⁵¹⁾。
- 現在検討中のDS421 では、ICRP 勧告を踏まえ現存被ばくについてWHO の勧告やラドン濃度等の現状について整理し、100mSv を超える場合防護措置が必要としている⁵²⁾。

(3) EU が示した安全指針、安全基準 (EU-BSS、RP-65、RP-89、RP-113、RP-122) ⁵³⁾⁵⁴⁾⁵⁵⁾⁵⁶⁾⁵⁷⁾

- クリアランス、規制免除の評価では、²²⁶Ra の評価の中で子孫核種としての線量評価はしているものの、ラドン単独の評価はしていない。その根拠としては、²²⁶Ra のクリアランスレベルである1Bq/cm²で計算すると²²²Rn の室内濃度は50Bq/m³となり、対策レベルより低い値であることによる。
- EU-BSS では加盟国に対して、室内のラドンの平均放射能濃度の対策レベルを決定すべきであると し、対策レベルは、作業場所も含めて、300Bq/m³より低くすべきであると規定している。

(4) WHO が示した安全指針、安全基準 (WHO 屋内ラドンハンドブック (WHO Handbook on Indoor Radon))

- WHO 屋内ラドンハンドブックの中でラドン被ばくに関しては居室内では、100Bq/m³以下を参照レ

ベルとして推奨し、達成できないときは300Bq/m³以下とするようにとしている⁵⁸⁾。

3.2 各国の考え方

(1) 米国

a. 規制基準

- ・現状のNRCの10CFR61では、ラドン独自の安全基準は定められていない。しかし、劣化ウランの処分に関する評価を通じてラドンについても線量評価に含める状況が進みつつある。(なお、米国の一般公衆の線量基準は250 μ Sv/年であるが、処分場閉鎖後の1万年までの人間侵入については、意図しない侵入として5mSv/年の基準が提案されている。1万年を超える評価については、長寿命核種の濃度が α 核種で370Bq/gを超える場合に適用されるというのが現状の10CFR61の改訂案であるが、1万年超の評価については不確実性が高いことから定量的でなく、定性的な評価が求められる³⁰⁾。
- ・EPAでは、40CFR192において、ウラン副生成物に関して²²²Rnの環境への放出基準として、平均で20pCi/m²/s(0.74Bq/m²/s)を超えないことを定めている。Class A廃棄物は該当しないが、ウラン副生成物の処分施設が同じ敷地内にあるクライブ処分場などではこの管理基準を取り入れている⁵⁹⁾。
- ・DOEサイトにおける放射性廃棄物管理マニュアルであるDOE M 435.1-1では、ラドンの線量は一般公衆の線量基準に含めないこととし、地表面からのフラックスの規制として平均で20pCi/m²/s(0.74Bq/m²/s)を超えないことを定めている。なお、代替措置として敷地境界における空気中の濃度限度を0.5pCi/l(0.0185Bq/l)としてもよいとしている²⁷⁾。
- ・また、免除された放射性廃棄物(例えば0.05wt%以下の劣化ウラン等)について、ラドンについての評価は不要としている⁴⁾。

b. 各処分場の対策状況

i. テキサスWCS社処分場

ウラン鉱山の副生成物(原子力エネルギー法の11e.(2)廃棄物)、商業放射性廃棄物、連邦放射性廃棄物をそれぞれ別のピットで処分している。ウラン廃棄物は主には副生成物廃棄物処分場と連邦政府廃棄物処分場で処分される副生成物廃棄物処分場ではラドンの大気中への放出率は、平均で20pCi/m²/s(0.74Bq/m²/s)を超えないように管理されている。連邦放射性廃棄物処分場ではラドンの評価を1万年まで行っているが、覆土厚さを9mとってあるのでラドンは殆ど地表にはでてこないとの結果である。尚、参考として10万年までの評価を実施しているが、1万年から10年の間はウランの子孫核種の生成は考慮しておらず従ってラドンの量も評価上は増加しない⁴⁾。

ラドン濃度はモニタリングされている⁴⁾。

ii. クライブ処分場

ウラン鉱山の副生成物(11e.(2)廃棄物)、RCRA(資源保護回復法)処分施設、Class A低レベル放射性廃棄物、放射性と有害物質の混合廃棄物を処分している。この施設ではサバンナリバーから劣化ウランを受け入れて現在貯蔵している⁴⁾。

劣化ウランについては、配置の上で処分場底部に定置することが検討されているが、この場合劣化ウラン上部の廃棄物層がラドンの放出を抑制する効果がある。劣化ウランの処分については現在環境安全評価のアセスメント報告書が州政府に提出されている。評価書は1万年までの25mrem/年(250 μ Sv/年)を基準とする定量的評価と1万年を超える定性的な評価で構成されている⁴⁾。

放射性廃棄物処分場ではラドンの評価は求められていないが、クライブ処分場ではラドンのフラックスが制限されている副生成物(11e. (2) 廃棄物) 処分場と隣接していることからラドンのモニタリングを実施し、バックグラウンドレベルにあることを確認している⁴⁾。

iii. リッチランド処分場

リッチランド処分場では閉鎖後のカバーの技術的検討が進んでおり、その過程でラドンについて評価している。評価期間は1万年であるが、1万年まではラジウム起源のラドンの方がウラン起源のラドンよりも線量への寄与は高い。基準値として人間侵入に関しては1mSv/年を採用しており、ラドンにも1mSv/年が適用されている⁶⁰⁾。

(2) カナダ

a. 規制基準

・カナダでは、原子力安全委員会(CNSC)により空気中のラドン基準(1mSv/年相当として60Bq/m³)が決められているが、長期管理施設に係るラドン独自の安全基準は定められておらず、環境中のラドン濃度との比較がなされている⁴⁾。

b. ポートホープ長期廃棄物管理施設の対策状況

・カナダのポートホープ長期廃棄物管理施設では、ウラン製錬や転換で発生した歴史的廃棄物の長期管理に際して、500年の管理期間を超えた場合の地下水移行シナリオに関してはラドンの評価は行われていないが人間侵入シナリオに関してはラドンガスによる吸入被ばくを考慮している。また長期廃棄物管理施設近傍でラドンのモニタリングが実施されている⁴⁾。

(3) フランス

a. 規制基準

・フランスでは、ラドン独自の規制基準は制定されていない。しかしながら、公衆衛生法典において制定されている公衆に対する防護基準(1mSv/年)を受けて、ANDRAでは、オーブおよびモルヴィリエ処分場に対して、一般公衆の線量目標値(250 μ Sv/年)および人間侵入の線量目標(1~10mSv/年)を設定しており、その中での判断となる。また、FA-VL処分場に対しては、ASNがガイドラインにおいて一般公衆の線量目標値(250 μ Sv/年)を線量拘束値として設定している。また1万年までは定量的な評価を実施することとなっているが、1万年以降は250 μ Sv/年は参照値となる⁷⁾。

・また、ラドン吸入に係る評価方法は、個別の規制要件とはなっておらず、RFS I-2やASNのガイドラインに示されている標準シナリオおよび変動シナリオの範囲で評価を行うべきかが判断される⁷⁾。

b. 各処分場の対策状況

i. オーブ処分場

短寿命の中低レベルの処分場であり、ウラン廃棄物は極めて限定的な量を受け入れている。短寿命廃棄物はRFS I-2で「長寿命放射性核種の含有量が非常に低い廃棄物」と定義されており、実際オーブ処分場ではウラン廃棄物はケースバイケースで受け入れている。受け入れているウラン廃棄物の濃度は、上限3,700Bq/g以下であるが、ANDRA統計によると平均で45Bq/gと推算される。ウラン廃棄物の処分場内での平均濃度が極めて低いことからラドンの評価は実施していない。

また、ウラン以外にラドンを発生するラジウムやトリウムの受け入れ量も低く制限されている⁷⁾。

ii. モルヴィリエ処分場

処分対象として受け入れる廃棄物の総放射線量から原子力施設ではなく、環境保護指定施設(ICPE)として分類される。受け入れるウラン廃棄物の平均ウラン濃度は100Bq/g以下、廃棄体当たりで1,000Bq/g以下としている。ANDRAの統計によると受け入れた廃棄物全体の平均で α 放射線濃度の平均値が8.8Bq/gであるが、この α 核種の大部分はウランとのことであるのでウランの濃度の目安となる⁷⁾。

この処分場ではラジウム、トリウムから発生するラドンは評価しているが、ウランから発生するラドンは評価していない⁷⁾。

iii. FA-VL 処分場

長半減期の核種を処分する処分場で現在計画中である。受け入れるラジウム含有廃棄物の²³⁸Uの平均濃度は20Bq/gであるが、ラジウムだけでなくウランから生成するラドンを評価している。人間侵入については1~10mSv/年、一般公衆については250 μ Sv/年をANDRAの管理目標値としている。詳細な安全評価結果は今後の申請書に記載されるが、10万年までの評価ではウランから生成するラドンの線量への寄与が大部分を占める⁷⁾。

(4) 英国

a. 規制基準

- ・ラドンについては人間侵入の評価の中で線量評価することが規定されている。(なお、一般公衆がリスク 10^{-6} /年(20 μ Sv/年に相当)、人間侵入については、3~20mSv/年を基準としている²⁾。
- ・評価期間はピークまで、あるいは定量的評価の意味がなくなるまでとされている。但し、1万年以降の評価は不確実性が高く参考としての扱いである⁷⁾。
- ・尚、産廃処分場での人間侵入の評価期間は例えばクリフトンマーシュ処分場の場合で500年であるので、ウランから子孫核種として生成するラドンは評価の対象とはならないと考えられる⁹⁴⁾。

b. 各処分場の対策状況

i. ドリッグ処分場

比較的濃度の高いウラン廃棄物を処分している。人間侵入についてラドンの評価を1万年の評価期間実施している。廃棄物中のラドンの濃度がウランの子孫核種の生成により1万年まで上昇することから最新のESCではウラン廃棄物を処分ピットの底面に配置してラドンが地表に到達するまでの時間を遅延することで線量を下げている。処分場直上での居住での地下室での生活が最大の線量を与える。線量基準は3~20mSv/年である⁷⁾。3mSv/年は、数年間続く被ばくにおいて許容される線量として考えられている(英国における土地の汚染の修復を行う際の基準と同じ)。20mSv/年は、短期に受ける被ばくを考慮した基準である⁷⁾。

ii. クリフトンマーシュ処分場

有害廃棄物の処分場にウラン廃棄物が処分されている。ウラン廃棄物は一般廃棄物と混合処分されている。

この処分場では人間侵入の評価期間は500年であり、ウランを起源とするラドンは殆ど評価対象とならず、ラジウム起源のラドンが評価対象となっている。評価結果として、12.7mSv/年という評価がなされたが、基準値内ということで操業が許可された⁷⁾。

(5) ドイツ

a. 規制基準⁶¹⁾

- ・放射線防護令で居住する場合のラドンには放射線防護令が適用されないことが明記されている。
- ・埋設を前提とする条件付きクリアランス(年間 100 トンまでの廃棄物について 6Bq/g 以下)ではラドンの評価をしていない。

b. コンラッド処分場の対策状況⁶²⁾

- ・ドイツでは非発熱性の廃棄物としてウラン廃棄物も処分されている。地下 500m 以深に処分することから地表に到達する前にラドンが崩壊してしまう。ラドンの線量評価結果は 870 万年から 1,600 万年の間に数 10 μ Sv/年の線量が発生すると評価された。

(6) スウェーデン

a. 規制基準

- ・ウラン廃棄物はクリアランスして産廃処分場に埋設されている。規制は当初は周辺のウラン濃度を参考としていたが、2002 年以降は線量として 10 μ Sv/年、EU のウランの免除レベル 10Bq/g を参照してクリアランスを許可している⁷⁾。
- ・クリアランスではラドンの評価はなされていない。また、長期間の定量的評価は氷河期の到来を考えると意味がないとしている⁷⁾。

b. 各処分場の対策状況

i. グリタ処分場

ウラン加工事業者から発生するウラン廃棄物を受け入れている。主に CaF₂を受け入れてきた。2005 年までに 6,500 トンのウラン廃棄物を受け入れている²²⁾。2000 年まではケースバイケースでクリアランスを申請していたが、2002 年には地下水シナリオによる線量評価を実施してクリアランスの許可を得ている。2006 年には人間侵入による線量評価を実施し、数 10 μ Sv/年を確認している。現在も個別に申請しているが、EU-BSS を取り入れたスウェーデンのクリアランス基準に整合していることを放射線安全機関 (SSM) で確認しており、個別の申請書は公開されていない⁷⁾。

クリアランスという性格からラドンの評価はなされていない。また、氷河期の到来を考慮すると健全性を保ったままでの長期間の処分場の評価は意味がないとしている²²⁾。

ii. リサンゲン処分場

ウラン廃棄物からのウラン回収事業を行っていた Ranstad Mineral 社から発生した回収残渣を処分していたが、2006 年に閉鎖された²²⁾。もともとスウェーデンではウラン濃度が高いことが知られており、年間 100 トン程度のウランが地下から湧き出している計算となる。リサンゲン処分場では安全性を示す補助指標として処分場を通過する地下水中のウラン濃度を通過前、通過後で分析している。その結果、見掛け上ウラン濃度は処分場を通過することで上昇しているが、リサンゲン処分場に処分したウラン廃棄物は濃縮ウランであり、濃縮ウランについて分析すると処分場から流出するウランに対する濃縮ウランの寄与は 1%以下であることが確認された⁷⁾。

3.3 ラドン評価

(1) 処分場におけるラドン規制の考え方(人間侵入シナリオ)

- ・現存被ばくに関して居住環境でのラドンの対策レベルについては濃度で示すことが通例であり、

住居に対して ICRP では約 200~600Bq/m³が示唆されている (ICRP Publication-103)。

- ・一方放射性廃棄物処分場におけるラドンの規制については、線量で規制した例はあるものの、一般居住環境でのラドンの対策レベルは参照されていないようである。すなわち英国ドリッグ処分場の例ではボルト直上での居住でウラン起源のラドンの線量評価が実施されているが、濃度の評価はその健康影響の評価に関しては実施されていない。また米国の劣化ウランの受け入れに関する評価においても居住における線量評価がなされているが濃度の評価はなされていない。(ちなみに英国ドリッグ処分場ではラドンに対しても人間侵入に対する線量基準である 3~20mSv/年が採用されている。米国 NRC はクライブ処分場のような劣化ウランの処分を対象に意図しない人間侵入者の居住に関して 5mSv/年という基準を提案している。) 5mSv/年とは米国放射線防護・測定委員会が、連続的でない一般公衆の被ばく限度と勧告した線量レベルである⁶³⁾ (連続的な被ばくについては 1mSv/年)。
- ・ただし、ウラン鉱さいを規制する米国の 40CFR192 では、放射性廃棄物であるウラン鉱山の副生成物(11e. (2) 廃棄物)に関して、ラドンバリアを施工した表面でラドンの大気中への放出率は、平均で 20pCi/m²/s(0.74Bq/m²/s)を超えないように制限している。
- ・この規制値は環境省が規定しているもので、管理期間 1,000 年、少なくとも 200 年はこのラドンバリアの性能を確認することが求められている。NRC によるとウラン鉱山の副生成物(11e. (2) 廃棄物)は放射性廃棄物処分場と異なり、1,000 年超過後も監視が続く可能性が示唆されている⁴⁾。

(2) 処分場におけるラドン規制の考え方(一般公衆)

- ・人間侵入と同様に一般公衆への影響についても放射性廃棄物処分場では線量で評価している。放射性廃棄物処分場でのラドンの経路は地表からの拡散と地下水に移行したラジウムが生活圏に移行して一般公衆に影響する経路が考えられる。NRC の報告書では劣化ウランを処分する場合に境界から緩衝地帯を離れた居住者の被ばく量の評価があり、ラドンの大気拡散について経路図が示されている。この場合の線量基準は敷地境界では 250 μSv/年、侵入者では 5mSv/年である⁶²⁾。
- ・また一般公衆へのラドンの影響については、立地地点周辺のバックグラウンドのモニタリング値に大きな変化がないことを確認していると説明する処分場が米国、英国等で複数あった(テキサス WCS 社処分場、クライブ処分場、クリフトンマーシュ処分場、ドリッグ処分場である。)⁴⁷⁾。
- ・なお米国のウラン鉱山の副生成物(11e. (2) 廃棄物)では放出率でラドンを管理していることから線量の評価は要求されていない。低レベル放射性廃棄物処分場では、ラドンの影響確認は要求されていないが、テキサスの低レベル放射性廃棄物処分場の申請書では参考としてラドンの放出率も評価して 11e. (2) 廃棄物の基準値を大幅に下回っているとの確認を行っている。従って、現在ウラン廃棄物を処分している低レベル放射性廃棄物処分場ではラドンの線量評価は実施されていないが、現実に線量評価しても問題ない線量レベルと推察される⁴⁾。
- ・英国ではラドンは線量の評価対象となっているが敷地居住以外のラドンの影響はあまりないとの評価結果である⁴⁾。

(3) ラドン線量基準の取り扱い

- ・既に述べたように、ラドンは処分場跡地での居住において大きな線量を与える。放射性廃棄物処分場ではラドン固有の線量を設定せず介入の概念を適用してラドンの線量を設定している。英国では、人間侵入の線量基準として、3~20mSv/年としているが、下限の 3mSv/年は汚染土壌への介

入レベルで設定している。上限の 20mSv/年は ICRP の現存被ばく状況における一般的な参考レベルと一致している⁴⁾。

- ・フランスでは人間侵入の線量基準は明示されていないが、ANDRA では管理目標値として 1~10mSv/年としており、英国と同様一般的な参考レベルとしていると考えられる⁴⁾。
- ・これらの基準に対して、米国(NCRP)では一般公衆に関して常態的な被ばくについては 1mSv/年、常態的でない被ばくについては 5mSv/年を勧告している(NCRP Report No. 116)。5mSv/年という 1mSv/年を超える勧告は、少人数の小さなグループを対象として同じようなグループに頻繁に発生するものではなく、そのグループの平均個人線量が 1mSv/年を超えない場合には特に危険であると扱う必要がないことから勧告されたものである⁶³⁾。
- ・また米国では 5mSv/年という線量基準と自然環境でのラドンとの関係もがん発生のリスクで議論されている。NCRP Report No. 77 は米国のラドン被ばくを評価している。ラドン被ばくの偏差に関するデータが限定されることから、被ばく量の偏差が分かっているカナダの偏差(標準偏差 2.5)を用いて米国の平均被ばく線量を 0.2WLM/年として計算すると 6%の家で基準の 0.5WLM/年を超えること、1.2%の家で 1WLM/年を超えること、0.14%の家で 2WLM/年を超えることが確認された。これを 100 万人当たりのがんによる死亡者数で換算すると、全体で 1,800 人が死亡するが高線量で死亡する人数は少なく、低線量で死亡する人の方がはるかに高い。これからラドン線量を制限しても数人の個人のリスクは下がるが人口全体のリスクは下がらないと結論された⁶⁴⁾。

表II-3 計算された人口 100 万人当たり肺がんによる生涯死亡リスクの分布⁶⁴⁾
(平均線量 0.2 WLM/年、標準偏差 2.5)

TABLE 9.7—Calculated distribution for the lifetime risk of death from lung cancer for a population of one million having an average exposure of 0.2 WLM/y and a geometric standard deviation of 2.5.

Average WLM/y	% of Population	Deaths per million
<0.2	69.3	594
0.2-0.5	23.6	658
0.5-1.0	5.7	348
1.0-2.0	1.2	143
2.0-4.0	0.14	35
>4.0	—	22
Total	100.0	1800

WLM: 1 リットルの空気中のラドンが崩壊を開始した後、 1.3×10^5 MeV の α 線を出すようなラドン濃度で、この濃度で 170 時間労働する場合の累積線量が 1 WLM。実効線量との換算は、WLM 当たり 13~20mSv の範囲としている⁴⁷⁾。

(4) ラドンの線量評価の実施について

- ・ウラン起源のラドンの線量評価についてはウラン廃棄物を処分しているすべての処分場で実施している訳ではない。概数として平均 100Bq/g、最大 1,000Bq/g 程度までのウラン廃棄物を受け入れている処分場では処分場全体の平均ウラン濃度が数 Bq/g 程度となることからラドンの評価は実施していない⁴⁾。
- ・ウランを起源とするラドンの線量評価を実施しているのはウランの濃度が高い廃棄物を処分する処分場に限られる。例としては、濃度の高いウランの処分が予定されている英国ドリッグ処分場や劣化ウランを処分する米国のクライブ処分場、長寿命低レベル放射性廃棄物を処分する FA-VL 処分場がある⁴⁷⁾。

(5) 評価期間の考え方

- ・ウラン廃棄物は 10 万年を超えると子孫核種の生成が進み濃縮ウランでは数十万年後、劣化ウランでは 200 万年後にピークを迎える。浅地中処分場は通常数百年後には解放することを前提とした処分場であり、そのため長寿命核種の受け入れ量は制限されている。浅地中処分場の評価期間については、各国とも 1 万年までの評価を実施してきた⁴⁷⁾。
- ・米国では劣化ウランの処分の検討を契機に 1 万年越えの評価が求められ、現在見直しの議論が進んでいる 10CFR61 の改訂案によると定量的な評価は 1 万年まで、1 年以上は定性的な評価にとどめるとする 2 段階評価が検討されている。線量拘束値である $250 \mu\text{Sv}/\text{年}$ 、人間侵入の $5\text{mSv}/\text{年}$ は 1 万年以降の評価においては上限値としては適用されずなるべく線量を下げる努力目標値となる。尚、1 万年超の評価を求められる処分場とは平均濃度で $370\text{Bq}/\text{g}$ を超える廃棄物を処分する処分場である⁴⁾。
- ・フランスでも長寿命低レベル放射性廃棄物の処分場が検討されているが、こちらもガイダンスで 1 万年までは $250 \mu\text{Sv}/\text{年}$ を基準値とするが、1 万年以降は $250 \mu\text{Sv}/\text{年}$ は参照値となる。オープン処分場では現在 1 万年を超える長期評価は求められていないが、オープン処分場でも受け入れる放射性廃棄物の平均濃度は $370\text{Bq}/\text{g}$ を超えてはいけないこととなっている⁷⁾。

(6) 産廃処分場へのウラン廃棄物の処分

- ・英国、フランスでは濃度が低いウランを含有するこれらの廃棄物は放射性廃棄物処分場ではなく、産廃処分場に処分されている。フランスでは放射性廃棄物処分場ではなく環境保護指定施設 (ICPE) に濃度の低いウラン廃棄物が処分されている。英国では産廃処分場にウランに限らず放射性廃棄物を処分する政策が進んでおり、特別に認可を受けた産廃処分場で濃度の低いウラン廃棄物を受け入れている⁶⁵⁾。(4) で述べたように平均ウラン濃度 $10\text{Bq}/\text{g}$ 程度の濃度の低いウラン廃棄物を処分する場合にはラドンの評価は実施していない。
- ・クリアランス・免除について見ると、スウェーデンでは伝統的にウラン廃棄物は放射性廃棄物処分場ではなく、産業廃棄物処分場にクリアランスの後処分されている。当初は個別審査で処分場立地周辺の環境中のウラン濃度等を参照して操業許可されていたが、最近では EU 指令書の免除レベル $10\text{Bq}/\text{g}$ を参照してクリアランス処分を行っている。また、米国では免除レベルとして、 $0.05\text{wt}\%$ 未満の劣化ウラン、天然ウランは規制から外して RCRA (資源保護回復法) 処分施設で処分可能である。米国、スウェーデンいずれの処分場でも免除、あるいはクリアランスであるのでウラン起源のラドンの評価は実施されていない⁴⁷⁾。

3.4 まとめ

- ・海外の例を見るとウラン濃度が平均 $100\text{Bq}/\text{g}$ 、最大濃度 $1,000\text{Bq}/\text{g}$ 程度のウラン廃棄物は処分場での廃棄物層中のウラン濃度が数 Bq/g 以下となるので、ラドンの評価は実施されていない。
- ・濃度が高いウラン廃棄物ではラドンの評価を実施している。ラドンは処分場直上での居住で大きな線量を与える。人間侵入に対する線量基準は海外では介入レベルを考慮して $1\sim 20\text{mSv}/\text{年}$ の間にあり、ラドンにも適用されている。
- ・次にウランから生成する子孫核種のラドンの評価期間であるが海外では 1 万年を超える期間では不確実性が増えるので定量的な評価は実施していない。線量を算出する例もあるがこれはあくまで参照値であり、計算での評価結果に過ぎない⁴⁷⁾。
- ・米国で劣化ウランを処分する場合や、フランスで長寿命低レベル放射性廃棄物の処分場の安全評

価を考える場合に、1 万年を超える期間については定性的な評価を採用することが検討されている⁴⁷⁾。

以上、各国におけるラドンの評価について表II-4にまとめた。

表II-4 各国におけるラドンの評価

国名	米国			英国			フランス			ドイツ	スウェーデン			
廃棄物区分	低レベル放射性廃棄物 Class A			低中レベル放射性廃棄物			産業廃棄物			低レベル放射性廃棄物	産業廃棄物	非発熱性廃棄物	短寿命低中レベル廃棄物	産業廃棄物
処分場	クライブ処分場	リッチランド処分場	バーンウェル処分場	ドリッグ処分場	ドーンレイ処分場	クリフトンマーシュ処分場	キングスクリフ処分場	リリーホール処分場	オーブ処分場	FA-VL処分概念	モルヴィリエ処分場	コンラッド処分場	SFR処分場	グリタ処分場
処分場平均ウラン濃度 (Bq/g)	-	4 ^{注1)} (1986-2011DOE Manifest ¹⁾ から算出、比重=1)	69 (1986-2011DOE Manifest ¹⁾ から算出、比重=1)	15 (2008.4実績値 ²⁾ 参照、比重=1)	-	0.59 ^{注2)} (2008.3までの実績値 ⁴⁾ 参照、比重=1.1)	0.14 (²³⁸ U+ ²³⁴ Uの許容量で算出 ^{5, 6)} 、比重=1)	-	-	-	-	3 ⁷⁾ 、比重=1	-	-
廃棄物平均ウラン濃度 (Bq/g)	163 (1986-2011DOE Manifest ¹⁾ から算出、比重=1)	53 (1986-2011DOE Manifest ¹⁾ から算出、比重=1)	219 (1986-2011DOE Manifest ¹⁾ から算出、比重=1)	-	1 (ESC計画値 ³⁾ より、比重=1)	-	-	- _{注3)}	1.7 (2012 ANDRA Inventaire ⁸⁾ から算出、比重=1)	20以下 ⁹⁾	8.8 (2012 ANDRA Inventaire ¹⁰⁾ から算出、比重=1)	10 ⁷⁾ 、比重=1	0.0017 ¹¹⁾ 、比重=1	ウラン廃棄物はクリアランスレベルである平均10Bq/g以下 ¹²⁾
ラドンの基準	一般公衆250 μSv/年、人間侵入5mSv/年に含める ¹³⁾ 。	ラドン被ばくを他の被ばくと同じ基準の枠内で評価している。一般公衆250 μSv/年、人間侵入1mSv/年 ¹⁴⁾	評価期間2000年であり、ウラン起源のラドンの影響はないと考えられる ¹⁵⁾ 。	人間侵入シナリオに対する基準に含める 3-20mSv/年 ¹⁶⁾			ウラン起源のラドンは評価していない。ラジウム、トリウムの受け入れを制限している。一般公衆250 μSv/年、人間侵入1~10mSv/年 ¹⁷⁾ 。			ラドン被ばくを他の被ばくと同じ基準の枠内で評価している。一般公衆250 μSv/年、人間侵入1~10mSv/年 ¹⁷⁾ 。	ウラン起源のラドンは評価していない。ラジウム、トリウム起源のラドンは評価、基準は一般公衆250 μSv/年、人間侵入1~10mSv/年 ¹⁷⁾ 。	一般公衆1mSv/年、処分場あたり300 μSv/年 ¹⁸⁾	-	-
ラドンの評価 (人間侵入以外)	250 μSv/年以下 ¹⁹⁾	未確認	公開されている“Environmental Radiological Performance Verification, Summary” ¹⁵⁾ には記載なし	地下水の利用が20 μSv/年を上回るが、処分場で地下水を掘るリスクを考慮してリスクを10 ⁹⁾ /年以下とした ²⁰⁾ 。	土壌による濃度低下を考慮しない数百年後のラジウム濃度のピークで10 μSv/年 ³⁾ 。	記載なし ²¹⁾ 。	20 μSv/年から許容インベントリを算出 ²³⁾	-	評価していない ¹⁷⁾	ジェネリックな評価でパラメータ解析実施中 ¹⁷⁾ 。	評価していない ¹⁷⁾	評価している ⁷⁾ 。(数10 μSv/年)	記載なし	クリアランスなので人間侵入は処分時の核種組成による線量評価、長期評価は水河期の到来を考えると意味がない ¹⁷⁾ 。
ラドンの評価 (人間侵入)	5mSv/年以下(10CFR Part61改訂案) ¹⁹⁾	1mSv/y以下 ¹⁴⁾	-	跡地地下室居住で4mSv/年 ²⁰⁾	数百年後のラジウム濃度を評価して立地場所の濃度の下限に比べて数倍低いことを確認 ³⁾ 。	人間侵入によるラドンの吸引が12.7mSv/年と起こりそうもないシナリオの基準値1mSv/年を上回っているが、3~20mSv/年に収まっており操業が許可された ²²⁾ 。	3mSv/年から許容インベントリを算出 ²³⁾	操業許可書には記載なし ²⁴⁾	-	ジェネリックな評価でパラメータ解析実施中 ¹⁷⁾ 。	-	地下800m~1,300mにある廃止鉱山で隔離されている ⁷⁾ 。	-	-
ラドンバリア	劣化ウランでは約0.6mの粘土層(処分深度は5m以深) ²⁵⁾	粘土と砂と合成繊維によるバリアあり ¹⁴⁾	バリアあり ²⁶⁾	ポールトでは、ウランは底部に定置する ²⁰⁾ 。	-	-	-	-	複数の透過性、非透過性の層を組み合わせて雨水の通過量を管理期間中1m ² 当たり数リットル以下とする ²⁷⁾ 。	ラジウム処分場では15mの覆土を想定 ⁹⁾	高密度ポリエチレン製の水密性シート、粘土層 ¹⁷⁾	地下800m~1,300mにある廃止鉱山で隔離されている ⁷⁾ 。	-	侵入水量は5% ⁷⁾ /m ² /年以下に制限される ¹⁷⁾ 。
備考	劣化ウランはウラン以外の影響を受けないように他の廃棄物とは別に単独で処分、結果としてラドンを評価すればよい ²⁵⁾	ラドンバリアで影響を緩和している ¹⁴⁾ 。	-	安全評価の審査中。	地下水移行経路で5万年以内にピークがあると評価期間は5万年で結果を図示している ³⁾ 。	操業許可取得 ²¹⁾	U-238はPa-234までの放射平衡を想定 ²³⁾ 操業許可取得 ²⁸⁾	操業許可取得 ²⁴⁾	ウランはケースバイケースで受け入れる核種 ¹⁷⁾	オーブ界で事前調査が並行して進んでいる ¹⁷⁾ 。	ウランは恒常的に受け入れる核種 ¹⁷⁾	地中深く埋設されるので地表まで移行に時間がかかり870万年~1,600万年に線量が算出された ⁷⁾ 。	発電所から発生する廃棄物のみを対象 ¹⁷⁾	-

注¹⁾ ²³⁸Uの処分許容量²⁹⁾から算出すると34Bq/g、比重=1

注²⁾ 2020年までの計画量³⁰⁾から算出すると、1.8Bq/g、比重=1.1

注³⁾ ウランのインベントリは他の核種の相対比で決まる。ウラン単独処分はないので計画で読むのは困難

(参考文献)

- 1) “Manifest Information Management System”, DOE, 2011
- 2) The 2011 Environmental Safety Case, Inventory, LLWR/ESC/R(11)10019, LLWR, May 2011
- 3) New Low Level Waste Facilities, RSA 93 Environmental Safety Case 2010, MLLWF/3/ESC/GAL/0425/IS/01, 2010.10
- 4) Environmental Safety Case for the Clifton Marsh Landfill Site, 89290/SC/SR/003 issue 3, NUVIA, 9/12/2010
- 5) “Non technical summary Preliminary Environmental Information for the proposals for and extension in time and area for the landfill disposal of hazardous waste and low level radioactive waste and an extension in time for the operation of the soil treatment facility at the east northants resource management facility, Stamford Road, Northamptonshire”, AU/KCE/MM/1561/01, April, 2011
- 6) “Decision Document and Permit, Application from Augean South Limited made under the Environmental Permitting Regulation 2010 to dispose of radioactive waste at East Northants Resource Management Facility, Stamford Road, Kings Cliffe, Northamptonshire, PE8, 6XX”
- 7) “Niedersächsisches Umweltministerium, Planfeststellungsbeschluss für die Errichtung und den Betrieb des Bergwerkes Konrad in Salzgitter als Anlage zur Endlagerung fester oder verfestigter radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung” Mai, 2002
- 8) 2012 Inventaire Géographique, ANDRA, 2012
- 9) “Etude des Scenarios de Gestion a Long Terme des Dechets de Faible Activite Massique a Vie Longue”, ANDRA, December, 2012
- 10) 2012 Catalogue descriptif des familles, ANDRA, 2012
- 11) SKB, Safety analysis SFR 1 -Long-term safety- R-08-130 (2008)
- 12) “The Swedish Radiation Safety Authority’s regulations and general advice concerning clearance of materials, rooms, buildings and land in practices involving ionising radiation”, SSM, SSMFS 2011:2
- 13) “RESPONSE TO COMMISSION ORDER CLI-05-20 REGARDING DEPLETED URANIUM”, SECY-08-0147, 2008
- 14) “Final Environmental Impact Statement”, Commercial Low-Level Radioactive Waste Disposal Site, Richland, Washington, DOH Publication 320-031, May 2004
- 15) “Environmental Radiological Performance Verification of the Barnwell Waste Disposal Facility Summary”, July 2003
- 16) “Near-surface Disposal Facilities on Land for Solid Radioactive Wastes”, Guidance on Requirements for Authorisation, February 2009
- 17) 「欧州地域のウラン廃棄物処分に関する調査 -フランス、英国及びスウェーデンにおける処分及び規制の現状-」JAEA Review 2014-006, (2014)
- 18) “Ordinance on the Protection against Damage and Injuries Caused by Ionizing Radiation (Radiation Protection Ordinance)”, Bundesamt fuer Strahlenschutz, Feb., 2012
- 19) “NOVEMBER 2012 PRELIMINARY RULE LANGUAGE FOR PROPOSED REVISIONS TO LOW-LEVEL WASTE DISPOSAL REQUIREMENTS (10 CFR PART 61) [NRC-2011-0012]”, 2012
- 20) “The 2011 Environmental Safety Case, Assessment of Long-term Radiological Impacts” LLW Repository Ltd., LLWR/ESC/R(11)10028, 2011
- 21) “Decision Document Application from Sita (Lancashire) Limited under the Environmental Permitting (England and Wales) Regulations 2010 to dispose of radioactive waste at Clifton Marsh Landfill Site, Preston New Road, Preston, Lancashire, PR4 0XE”, August, 2012
- 22) “Addenda to Radiological Risk Assessment and Capacity Calculation for the Clifton Marsh Landfill Site”, 89290/IN/RA/002/Addenda Issue 2, January, 2011
- 23) “Radiological Assessment for Disposal of Solid Low-Level Radioactive Waste at the Landfill at East Northants Resource Management Facility”, Annex B, Galson Sciences, July 2009
- 24) “Environmental Permitting (England and Wales) Regulations 2010 Decision Document”, April 2011
- 25) “北米地域のウラン廃棄物処分に関する調査 -米国ユタ州、テキサス州及びカナダオンタリオ州における処分及び規制の現状-”, JAEA Review 2013-043, 2013
- 26) “Commercial Low-Level Radioactive Waste Disposal in South Carolina”, A Publication of the South Carolina Department of Health and Environment, CR000907, 2007
- 27) “The Centre de L’Aube Low-Level Waste Disposal Facility”, Waste Management ’92, Proceedings, pp 1345-1351, 1992
- 28) “Decision Document and Permit, Application from Augean South Limited made under the Environmental Permitting Regulation 2010 to dispose of radioactive waste at East Northants Resource Management Facility, Stamford Road, Kings Cliffe, Northamptonshire, PE8, 6XX”
- 29) “Customer Audit Handbook, USEcology Washington, April, 2009
- 30) “Environmental Safety Case for the Clifton Marsh Landfill Site”, 89290/SC/SR/003 Issue: 3, NUVIA, December 2010

4. NORM 規制について

4.1 はじめに

自然界には地球誕生時やその後に宇宙線により生成された放射性核種が多く存在し、これらの自然に存在する放射性物質を含む物質は、自然起源の放射性物質（Naturally Occurring Radioactive Materials：以下「NORM」）と呼ばれる。NORMの中で放射能濃度の高いものはモナザイト、リン鉱石等で、産業用の原材料として広く利用されており、また、これらの産業で製造された製品は幅広い分野で利用され、一般消費財として多くの人に使用されている。

従来、国際放射線防護委員会（ICRP）では NORM による被ばくを基本的に放射線防護の対象外としてきたが、ウラン、トリウム等のNORMを含んでいる原材料や一般消費財の一部は、IAEA Safety Series「電離放射線に対する防護と放射線源の安全のための国際基本安全基準」（BSS）で定められている免除レベルを上回るものもみられ、国際的にもこれへの対応が必要となってきた。以下に、NORMの規制（および規制免除）に関する国内外の検討状況について記載する。

4.2 ウラン廃棄物の扱いについて

放射線を放出する性質等を意図して利用するために精製された核燃料物質等は、いわゆる NORM の範疇には入らないため、加工施設等から発生する「ウラン廃棄物」については、NORM の範疇には入らない。

しかし、ウラン鉱山の鉱さいなど、放射性核種としては「ウラン廃棄物」と同一（²³⁸U 等）なものが支配的に含まれる NORM に対する防護や処分の考えは、ウラン廃棄物に対する防護や処分の考え方を構築する上で参考になるものとする。

4.3 ウラン鉱石の鉱さいと制度的管理について

ICRP では ICRP Publication-46⁴²⁾において、ウラン鉱石の鉱さいの扱いについて以下の記述がある。「ウラン鉱石の鉱さいは特殊な廃棄物となることを認識すべきである。地表面に置かれた鉱さい、あるいは浅地中埋設されたものであっても、制度的管理なしにそれらの安全性を許容できるレベルに維持することはできないものもあろう。人の侵入、現場内での建設および土砂の取り出しは、もし積極的な対策を行わないならば、2、3 百年あるいは数千年のうちに必ず起こる近隣生物圏への放射性物質の移行の主要なものとなる」

その後の ICRP Publication-81²⁴⁾においては「ウラン鉱さいの地表処分または、近地表処分に対しては、管理が失敗したときのその影響が他の長寿命放射性廃棄物に関連する影響より一般に低いような状況において、制度的管理に長期間頼ることがある」と記載された。

また同報告において、ウランの鉱さいと製錬からのものを含むすべての種類の長寿命放射性固体廃棄物の処分について、選択肢の放射線学的受容性を評価するためのガイダンスが提供された。主な項目に以下のとおりである。

- ・線量拘束値として 0.3mSv/年を勧告する。これは年あたり 10^{-5} のオーダーのリスク拘束値に相当する。
- ・拘束値が満足されるかのアプローチは線量と確率を組み合わせることによるリスクの統合か、それぞれの被ばく状況について線量とそれに対応する発生確率を別個に表現するかのいずれかとする。

IAEA においては、ウラン鉱山廃棄物措置にかかるガイドラインとして WS-G-1.2「鉱石の採鉱およ

び粗製錬から発生する放射性廃棄物の管理」⁴³⁾が策定された。NORM に対する、防護、処分等に対する考え方が記されている。

鉱山の線量目標値に関しては決定グループにおいて 1mSv/年を推奨。廃棄物管理施設の閉鎖後の線量拘束値として 0.3mSv/年および年あたり 10^{-5} オーダーのリスクを推奨している。

制度的管理については、「技術的管理と制度的管理の組み合わせは規制当局が決めた線量拘束値もしくはリスク拘束値に適合する放射線防護レベルを達成させるために利用することができる。これらの管理はある一定の期間有効であることの合理的な保証があるべきである。」とされ、「制度的管理は規制当局によって求められるように、閉鎖後の廃棄物管理サイトの管理または知識を維持するために実行される活動、仕組みおよび処置からなる。この管理は能動的（例えば、モニタリング、監視等）でもよく受動的（例えば土地利用の管理、標識、記録の方法）でもよい。」とされている。

また、非放射線影響についても記載があり、放射線の危険性と放射線以外の危険性の両方を考慮に入れるべきであるとしており、非放射線学的懸念としての潜在的影響は、計画立案段階で考慮されるべきであり、プロジェクトの存続期間で定期的に再評価すべきとされている。

4.4 現存被ばくの考えの適用

ICRP Publication-103²⁵⁾において、「管理についての決定がなされる時点で既に存在している状況」として現存被ばく状況の考えが導入された。この例として、住居内または作業場内のラドン、および NORM が上げられている。

これに対しては、「参考レベル」という考えが導入され、最適化された防護戦略、あるいはそのような防護戦略の漸進的な一連の拡張を履行して、個人線量を参考レベルより引き下げることを目的として設定されるとしている。

具体的には、以下のとおり勧告されている。

表 II-5 現存被ばく状況と参考レベル

現存被ばく状況	参考レベル
ラドン	
- 住居内	<10mSv/年 (<600Bq/m ³)
- 作業場内	<10mSv/年 (<1,500Bq/m ³)
NORM、自然バックグラウンド放射線、人間の居住環境中の放射性残渣	状況に応じ 1mSv/年から 20mSv/年の間

4.5 NORM 廃棄物の処分の例

(1) クライブ処分場

米国の DOE がウラン鉱さい処分プロジェクトのために選定した場所であり、1988 年に操業を開始している。これまでウランなどの NORM が処分されてきたが、現在は 10CFR61 に規定されている Class A の廃棄物を受入れ、処分している。

(2) リッチランド処分場

米国の U. S. Ecology 社が低レベル放射性廃棄物の埋設処分をリッチランド処分場で行っているが、NORM についても処分を行っている。1997 年には 500 立法フィート未満の NORM を受入れている⁶⁶⁾。

(3) リリーホール処分場

英国のリリーホール処分場では、極低レベル廃棄物(VLLW)とともに NORM の埋設処分を 1995 年から行っており、2004 年時点で 3,000 トンの NORM を処分している⁶⁷⁾。

(4) 鉱山跡地管理等の例⁶⁸⁾

1980 年代から、北米、豪州、欧州などのウラン鉱山や製錬所では、環境回復の観点で環境回復や放射線防護の観点で措置を進めている。北米や豪州では、事前に法律や基準を明確にし、環境影響評価(EIS)を実施し、公聴会などを経て措置の妥当性を確認した上で措置が行われている。欧州においてもほぼ同様に事前に検討がなされている。

これら海外のウラン鉱山の捨石たい積場および鉱さいたい積場については、地域における最大降雨や過去最大の地震といったものを想定した崩壊、崩落、流出防止といった鉱害防止の安定化措置や ICRP の勧告などによる一般人の線量限度 1mSv/年を担保する放射線防護措置(放射線遮へい、核種移行抑制、ラドン散逸抑制など)などがそれぞれの国情に応じて実施されている

4.6 まとめ

- ・ウラン鉱山の鉱さいの埋設に関する考え方では、「制度的管理の必要性」が指摘されている。具体的な方法として、モニタリング、監視等の能動的な方法や土地利用の管理、標識、記録による受動的な方法が例示されている。
- ・線量拘束値として 0.3mSv/年および 10^{-5} /年のオーダーのリスクが推奨されている。

5. その他（臨界管理、PP 管理、化学毒性、コスト評価等）

臨界管理、PP（Physical Protection：核物質防護）管理、化学毒性、コスト評価等のうち国際的に基準やガイドラインが示されているのはPP 管理と化学毒性についてである。化学毒性についてはWS-G-1.2 に放射線の危険性と放射線以外の危険性の両方を考慮に入れるべきであるとしている。

非放射線学的懸念事項について、「潜在的影響は、計画立案段階で考慮されるべきであり、プロジェクトの存続期間で定期的に再評価すべき。」という記載がある。直接的な値としてはWHOの暫定基準⁶⁹⁾がある。

上記臨界管理、PP 管理、化学毒性、コスト評価について情報が得られた処分場を表II-6 に示した。

表II-6 臨界管理、PP 管理、化学毒性、コスト評価等調査結果

処分場	臨 界 管 理	化 学 毒 性	P P 管 理	コ ス ト 評 価	処分場	臨 界 管 理	化 学 毒 性	P P 管 理	コ ス ト 評 価
<米国>					<フランス>				
1. リッチランド	○		○	○	1. ラマンシュ		○		
2. バーンウェル	○		○	○	2. オーブ	○	○		○
3. クライブ	○	○	○	○	3. FA-VL				
4. WCS 社	○	○	○	○	4. モルヴィリエ		○		○
<カナダ>					<ドイツ>				
1 ポートホープ		○			1. コンラッド		○		
<英国>					2. ヴィスマート				
1 ドーンレイ		○			<スウェーデン>				
2. ドリッグ	○	○		○	1. サカブ		○		
3. クリフトンマーシュ		○		○	2. SFR		○		
4. リリーホール		○			3. グリタ				
5. キングスクリフ					4. リサンゲン				○

凡例 ○：情報が得られたもの

臨界管理についてそれぞれの処分場の方法は以下のとおりである⁽⁶⁶⁾⁷⁰⁾⁷¹⁾⁷²⁾。

バーンウェル処分場：容器中²³⁵U量、容器の最小投影面積、定置密度（面密度）

リッチランド処分場：容器中²³⁵U量、「集積」中²³⁵U量、集積間の隔離距離

クライブ処分場：核種毎の最大平均濃度（²³⁵Uは²³⁸U等より2桁低い）

ドリッグ処分場：委託物あたりの²³⁵U量（定置については情報なし）

オーブ処分場：1リットル当たりの核分裂性物質質量

我が国においては、加工施設、再処理施設等の臨界管理については、ガイドラインが示されているが処分場を対象としたものは示されていない。

PP 管理については、調査の結果米国の処分場では10CFR150.11の臨界量によって制限される値が

示されていることが分かった。わが国では、ウラン廃棄物は、ウランその物を廃棄物として処分する等の特異なケースで無い限り、処分において核物質防護を考慮する必要はないと考えられている⁴⁵⁾⁷³⁾⁷⁴⁾。

化学毒性に関しては、海外ではそれぞれの自治体の基準値で管理されている。また、基準値がない場合でもモニタリングが義務付けられている⁷⁵⁾⁷⁶⁾⁷⁷⁾⁷⁸⁾⁷⁹⁾⁸⁰⁾⁸¹⁾。

また、WHO が暫定値として当初 0.002mg/l⁸²⁾ という値を定めたが最近では少し緩和された 0.03mg/l⁸³⁾ という暫定値が示されている⁸²⁾。日本では、WHO が当初定めた値 (0.002mg/l⁸²⁾) を現在でも暫定基準として採用している。

処分費用については、米国、英国のドリッグおよびクリフトンマーシュ処分場、フランスのモルヴィリエおよびオーブ処分場について具体的な数値が得られた。米国については、処分場ごとに具体的な数値が得られ、Class A では\$2,000/m³程度、Class B/C では\$90,000/m³~\$620,000/m³という費用が公開されている。費用は、受入れ機関や処分形態により変動する。線量の高低により変動することは言うまでもない⁸³⁾⁸⁴⁾。また、英国については、LLW Repository 社から価格表が公開されていて、産廃処分場に捨てることのできる放射能レベルのものは£500/m³で、そうでない LLW は£1,735/m³という費用で処分可能である⁸⁵⁾⁸⁶⁾。ただし、処理費用が含まれていなかったり、試算条件が明確になっていなかったりと前提が不確実なため評価に使用する場合は、確認が必要である。

表Ⅱ-7 各国処分場における臨界管理の状況

【臨界安全管理】	
<米国>	
1. リッチランド処分場	
1.1 臨界管理上の受入れ基準	リッチランド処分場の免許では、どの容器も 100g を超える ^{235}U 、60g を超える ^{233}U あるいは 60g を超えるプルトニウムを含むことができず、混合物には分数和の規則が適用される。また、どの容器も 1ft^3 につき上述の物質を 15g (200 リットル当たり約 106g に相当 (事業者換算)) を超えて含むことができず、Special Nuclear Materials は「本質的に均一に分布する」ことになっている (免許条件 27)。 従って、容器当たりの核分裂性物質の量も、これを超えることはできない。
2. バーンウェル処分場	
2.1 臨界管理上の受入れ基準	現行の免許では、埋設していない廃棄物に 350g の ^{235}U 、200g の ^{233}U または 200g のプルトニウム を含むことを許し、これらの混合物には分数和の規則が適用されている ⁹⁾ 。 従って、容器当たりの核分裂性物質の量も、これを超えることはできない。
3. クライブ処分場	
3.1 臨界管理上の受入れ基準	エンバイロケア社の免許は、他の米国の低レベル放射性廃棄物 (LLW) 処分施設と異なり、特殊核物質の同位体を含めて、最大平均濃度の限度を分数和の規則とともに定めている。 臨界管理上の受け入れ基準は特に規定されていないが、 ^{235}U の基準は、 ^{234}U や ^{236}U に比べて約 2 桁低い値となっている。
4. WCS 社処分場	—
<カナダ>	
1 ポートホープ長期廃棄物管理施設	—
<英国>	
1 ドーンレイ処分場	—
2. ドリッグ処分場	天然ウランおよび濃縮ウランについては、受入条件で「60g を超えない ^{235}U を含む委託物 (consignment) は受け入れられるかもしれない」と記載している。手引きでは、「 ^{235}U 以外の核種が限度以下、かつ、濃縮度範囲毎に規定された安全質量に対する分数和が 0.125 以下であれば受け入れられる」と記載している。 濃縮度 5% の安全質量は $1.25\text{kg}^{235}\text{U}$ (ウラン金属) および $1.37\text{kg}^{235}\text{U}$ (UO_2) であり、その 0.125 倍はそれぞれ $156\text{g}^{235}\text{U}$ および $171\text{g}^{235}\text{U}$ となる。 1 委託物を 1 容器、ウランの化学形態を問わないと仮定すれば、濃縮度 5% の場合、容器当たりの最大 ^{235}U 量は 156g となる。

3. クリフトンマーシュ処分場	—
4. リリーホール処分場	—
5. キングスクリフ処分場	—
<フランス>	
1. ラマンシュ処分場	—
2. オーブ処分場	廃棄体仕様では、濃縮度1%以上の場合、核分裂性物質に対して0.1g/lという基準が適用されている。
3. FA-VL 処分場	—
4. モルヴィリエ処分場	—
<ドイツ>	
1. コンラッド処分場	—
<スウェーデン>	
1. サカブ処分場	—
2. SFR 処分場	—
3. グリタ処分場	—
4. リサンゲン処分場	—

表II-8 各国処分場における化学毒性に関する規制の状況

【化学毒性】	
<米国>	
1. リッチランド処分場	—
2. バーンウェル処分場	—
3. クライブ処分場	ユタ州の規則では、ウランの地下水濃度基準は、0.03mg/lである。処分場の許可申請書には、ウランの地下水濃度基準0.03mg/lに加えて下記の核種ごとの地下水中放射能濃度基準 (Bq/l) が定められている。 ^{233}U 0.96 ^{234}U 0.96 ^{235}U 1.00 ^{236}U 1.00 ^{238}U 0.96

4. WCS 社処分場	許可書に地下水の濃度基準、処分場からのウラン浸出水の基準は決められていない。安全評価書では、一部の元素、化合物の浸水中の濃度を試算し、40CFR268.40の基準と比較している。
<カナダ>	
1 ポートホープ長期廃棄物管理施設	オンタリオ州のウランに係る水質基準 $5 \mu\text{g}/\text{L}$ 、飲料水基準は、 $20 \mu\text{g}/\text{L}$ である。
<英国>	
1 ドーンレイ処分場	産廃処分場ではリスト2に分類されるが、濃度の上限値は設定されていない。
2. ドリッグ処分場	地下水と表層水をモニタリングしている。基準は英国飲用水基準全 α 核種 $0.1\text{Bq}/\text{L}$ 、WHO 飲用水基準全 α 核種 $0.5\text{Bq}/\text{L}$ 、 ^{233}U $1\text{Bq}/\text{L}$ 、 ^{235}U $10\text{Bq}/\text{L}$ 、表層水で両基準を超えたものはない。地下水では、全 α 核種英国基準 ($0.1\text{Bq}/\text{L}$) を超えたものが11例ある。ウランについては、土壌の分析で ^{235}U について $0.00104\text{Bq}/\text{kg}$ の報告がある。
3. クリフトンマーシュ処分場	産廃処分場ではリスト2に分類されるが、濃度の上限値は設定されていない。
4. リリーホール処分場	2009 英国の水質基準による。
5. キングスクリフ処分場	—
<フランス>	
1. ラマンシュ処分場	モニタリング報告がなされている。
2. オーブ処分場	—
3. FA-VL 処分場	—
4. モルヴィリエ処分場	—
<ドイツ>	
1. コンラッド処分場	最近 $10 \mu\text{g}/\text{L}$ を決めた。子供は $4 \mu\text{g}/\text{L}$ 以下が好ましいとしている。
2. ヴィスムート処分場	Water treatment will be a long term issue (Ra, As, sulphate)
<スウェーデン>	
1. サカブ処分場	国内の環境保護局は $30 \mu\text{g}/\text{L}$ を暫定的なめやすとしている。
2. SFR 処分場	国内の環境保護局は $30 \mu\text{g}/\text{L}$ を暫定的なめやすとしている。
3. グリタ処分場	—
4. リサンゲン処分場	—

表Ⅱ-9 各国処分場におけるPP管理の状況

【PP管理】	
<米国>	
1. リッチランド処分場	個々のパッケージに対し、 ²³⁵ Uが100g、 ²³³ Uが60g、プルトニウムが60g (special nuclear material) を超えてはならない。または各々の核種のこれらの比に対する値の合計値が1を超えないこと。さらに各パッケージにおいて28リットルあたりの ²³⁵ U、 ²³³ U、プルトニウムの合計重量が15gを超えてはならない
2. バーンウェル処分場	10 CFR 150.11の臨界量によって制限される： ²³⁵ Uは350gまたは ²³³ Uは200g、プルトニウムは200g、または各々の核種のこれらの比に対する値の合計値が1を超えないとされている。
3. クライブ処分場	処分場の輸送、保管中に、 ²³⁵ Uが350g、 ²³³ Uが200g、プルトニウムが200g (special nuclear material) を超えて所有してはならない、または各々の核種のこれらの比に対する値の合計値が1を超えないこと。個々のコンテナでは、 ²³⁵ Uが70.3Bq/g未満(濃縮度10wt%未満および化合物で20wt%未満)、 ²³⁵ U(10wt%を超えるまたは化合物で20wt%を超える)は44Bq/g、 ²³⁵ U(濃縮度、化合物濃度の制限なし)は0.962Bq/g、 ²³³ Uは2,775Bq/g未満、 ²³⁸ Pu、 ²³⁹ Pu、 ²⁴⁰ Pu、 ²⁴² Puは370Bq/g未満、 ²⁴¹ Puは12,950Bq/g、 ²³⁵ Pu、 ²⁴³ Pu、 ²⁴⁴ Puは18.5Bq/g未満でなければならない。
4. WCS社処分場	処分場内で輸送、保管中の状態で次の重量を超えて所有してはならない。 ²³⁵ Uが350g、 ²³³ Uが200g、プルトニウムが200g (special nuclear material)、また、各々の核種のこれらの比に対する値の合計値が1を超えないこと。個々の容器または処理装置では、 ²³³ Uが 4.7×10^{-4} g核種/g waste、 ²³⁵ U(濃縮度10wt%まで)が 9.9×10^{-4} g核種/g waste、 ²³⁵ U(濃縮度10wt%以上)が 6.2×10^{-4} g核種/g waste、 ²³⁹ Puが 2.8×10^{-4} g核種/g waste、 ²⁴¹ Puが 2.2×10^{-4} g核種/g wasteを超えないこと。
<カナダ>	
1 ポートホープ長期廃棄物管理施設	—
<英国>	
1 ドーンレイ処分場	—
2. ドリッグ処分場	—
3. クリフトンマーシュ処分場	—
4. リリーホール処分場	—
5. キングスクリフ処分場	—
<フランス>	
1. ラマンシュ処分場	—
2. オーブ処分場	—

3. FA-VL 処分場	—
4. モルヴィリエ処分場	—
<ドイツ>	
1. コンラッド処分場	—
2. ヴィスムート処分場	—
<スウェーデン>	
1. サカブ処分場	—
2. SFR 処分場	—
3. グリタ処分場	—
4. リサンゲン処分場	—

表II-10 各国処分場における処分コストの調査結果

【コスト評価】	
<米国>	
1. リッチランド処分場	<p>・容積に対し\$115.50/ft³、コンテナ当たり\$7,560 および線量によるチャージ追加（線量によるチャージは、①200mR/h (2mSv/h) 未満ではコンテナ当たり\$92、②200以上1,000mR/h (10mSv/h) 未満ではコンテナ当たり\$6,540)</p> <p>・よって、仮にウランのみで汚染された1m³コンテナの受入費用は、2mSv/h 以下であれば、35.31ft³相当のため、\$11,730/m³となる。</p>
2. バーンウェル処分場	<p>・密度120lbs/ft³以上は\$7.516/ポンド (2g/cm³以上、コンクリート固化体相当)。密度60以上75lbs/ft³未満まで\$10.148/ポンド (1g/cm³程度、処理せず詰めた場合相当)。</p> <p>(線量によるチャージ追加は、①200mR/h (2mSv/h) 未満ではコンテナ当たり1倍、②200以上1,000mR/h (10mSv/h) 未満ではコンテナ当たり1.08倍)</p> <p>・よって、仮にウランのみで汚染された密度1g/cm³(62.4lbs/ft³)の1m³コンテナの受入費用は、2mSv/h 以下であれば、35.31ft³相当のため、\$22,360/m³となる。</p>
3. クライブ処分場	<p>・ユタ州クライブ処分場でのClass A 廃棄物を Non-Compact Disposal Facilities で</p> <p>受入時のコスト1立方フィート当たりのコストが示されている。※</p> <p>() 内は1m³当たりのコストへの換算値(参考)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・大型部品"Large Components" \$350 (\$12,359/m³) ・ガレキ"Debris" \$145 (\$5,112/m³) ・サイズ超過ガレキ"Oversize Debris" \$165 (\$5,826/m³) ・レジン/フィルター"Resins/Filters" \$460 (\$16,242/m³) ・可燃物"Combustibles" \$575 (\$20,303/m³)

4. WCS 社処分場	<ul style="list-style-type: none"> ・TCEQ が承認した初年度の試用価格が公開中。コンパクト(州間廃棄物受入協定) 外の廃棄物を受入れるか否かでケーススタディ中。 ・コンパクト外からの受入を認めた場合の Class A 廃棄物受入コストは立法フィート当たりで以下の通り。 <p>※凡例：コンパクト/ft³ (/m³換算) 、 コンパクト外/ft³ (/m³換算)</p> <p>Class A \$57.64~\$82.53 (\$2,035) 、 \$210 (\$7,448)</p> <p>高線量 Class A \$193.98 (\$6,849) 、 \$457.38(\$16,150)</p> <p>Class B/C \$2,652.49(\$93,659) 、 \$5,872.48(\$207,357)</p> <p>高線量 Class B/C \$2,652.49(\$93,659) 、 \$17,617(\$622,071)</p>
<カナダ>	
1 ポートホープ長期廃棄物管理施設	—
<英国>	
1 ドーンレイ処分場	—
2. ドリッグ処分場	<ul style="list-style-type: none"> ・£8,000/m³前後 (¥100 万/m³前後) ・£1,000/m³(1995 年調査時の聞き取り、当時のレートで 16 万円/m³) ・処分料金として実施主体が廃棄物の受入時に受け取る。
3. クリフトンマーシュ処分場	約£245/m ³ (約¥32,000/m ³)
4. リリーホール処分場	—
5. キングスクリフ処分場	—
<フランス>	
1. ラマンシュ処分場	—
2. オーブ処分場	低中レベル放射性廃棄物処分場では€2,500/m ³ (処理費除く)
3. FA-VL 処分場	—
4. モルヴィリエ処分場	全物量をベースにした平均コスト€240/m ³ 、低中レベル放射性廃棄物処分場では€2,500/m ³ (処理費除く)
<ドイツ>	
1. コンラッド処分場	—
2. ヴィスムート処分場	環境修復費用 10~15 年で、100 億ドイツマルク (8,000 億円) 以上が必要と試算された。
<スウェーデン>	
1. サカブ処分場	—
2. SFR 処分場	—
3. グリタ処分場	—
4. リサンゲン処分場	<p>(参考)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原子力発電所およびスタズビック研究施設からの廃棄物については、原子力発電会社が発電電力量に応じて放射性廃棄物基金に拠出。(SFR 1 で処分される廃棄物を除く) ・SFR 1 での処分費は処分の都度、廃棄物発生者から実施主体に支払われる。

6. ウラン廃棄物の海外における処分方法のまとめ

ここでは、ウランを含有する廃棄物の処分に関する重要事項を整理する。

6.1 ウラン系廃棄物の発生状況の整理

- ・ウラン系廃棄物は大きく分けるとウラン製錬等から発生するウラン鉱さい等廃棄物と濃縮施設や燃料加工施設などから発生する核燃料系のウラン廃棄物に分類できる。前者は子孫核種が多量に含まれるという特徴があり、後者は精製した後の工程で発生する廃棄物であることから、子孫核種はそれほど多くは含まれないという特徴がある。
- ・上記以外に、米国やフランスでは核燃料物質（劣化ウラン含む）そのものやラジウムを含む廃棄物を対象とした処分の実施または計画を進めている国もある。

6.2 ウラン廃棄物の安全規制上の分類と処分

- ・ウラン鉱さい等廃棄物に関しては、米国、カナダの例に見るように、安全規制の観点からも他の廃棄物とは別に分類管理されている。
- ・一方、濃縮や燃料加工施設などから発生する核燃料系のウラン廃棄物に関しては、安全規制の観点から区分分類している国はなく、他の廃棄物と一緒に処分しているのが実状である。
- ・しかしながら、フランスでは、ラジウム廃棄物と一部のウラン系廃棄物を含む長寿命廃棄物を長寿命低レベル廃棄物として明確に区分分類して処分方策の検討が進められている。また、米国では、劣化ウランなどの長寿命廃棄物の処分にも対応できるような安全規制の見直し検討が NRC で行われている。

6.3 ウラン鉱さい等廃棄物

- ・ICRP や IAEA などの国際機関では、これら廃棄物については、他の放射性廃棄物とは別に長期管理が必要な廃棄物として、規制線量や必要に応じた制度的管理等の勧告、提案を行ってきている。
- ・カナダのポートホープ長期廃棄物管理施設では、ウラン鉱石の製錬で 1980 年代までに発生し、環境汚染となっている廃棄物を地表でチュムリ型に埋設し、処分ではなく長期管理するプロジェクトが進行している。長期管理期間としては当面 500 年ほどを想定して、子孫核種を含む安全対策、安全評価を行っている。
- ・米国では、EPA の定める基準（40CFR192 ウランおよびトリウム鉱さいからの健康および環境の防護）に従って、クライブ処分場などで処分されている。すなわち、処分場の安全性は少なくとも 200 年から 1,000 年間は保証されること、ラドンに関しては散逸率制限を設けモニタリングを義務付け、処分場閉鎖後の管理主体は NRC もしくは州政府としている。

6.4 ウラン廃棄物と他の廃棄物との混合処分

- ・米国（クライブ処分場、WCS 社処分場等）、英国（ドリッグ処分場等）、フランス（オーブ処分場等）のすでに稼働している処分場では、ウランを含む廃棄物は他の廃棄物と一緒に処分されている。その際の受け入れ基準としては、全 α 核種ないしはウラン核種に対して定めている。
- ・ウランを含む廃棄物に対して配慮をしている点としては、米国では、他の廃棄物と一緒に劣化ウランやラジウムで汚染された廃棄物等が処分（クライブ処分場やリッチランド処分場等）されており、このためラドンの評価やモニタリングが行われ、クライブ処分場では Class A 廃棄物に対してラドンバリアが設置されている。
- ・英国で配慮している点としては、ウランの子孫核種の生成を考慮し安全評価を行っており、例えば、

ドリッグ処分場では年間のウランの受け入れ量に制限を設けている。

- ・フランスに関しては、オーブ処分場が短寿命低レベル廃棄物を主とした処分場であることから、ウランに関しては全 α 核種として濃度制限を設けているものの安全評価に配慮は見られない。モルヴィリエ処分場についても安全評価でのウランの扱いは同様であるものの長寿命の極低レベル廃棄物も対象となっていることから、廃棄物の受入基準ではウランの濃度制限が定められている。

6.5 長寿命低レベル廃棄物の処分

- ・ICRP、IAEA などでは古くから長期放射線防護に関する規制基準の検討が行われており、制度的管理、線量拘束値、介入などが提案されてきている。なお、ラドンに関しては主として現存被ばく状況に対応した規制基準の検討が進められているが、処分のような計画被ばくに関しては規制基準の整備は行われていない。
- ・各国の処分の例として米国では、多量の劣化ウランの処分に対応できるよう、現行の低レベル廃棄物に関する規制基準（10CFR61）の見直し作業が進められている。すなわち、コンプライアンス期間（性能目標が守られていることを定量的に評価しなければならない期間）を定め、その期間内では放射線防護要件（線量基準）を定めて評価し、コンプライアンス期間を超える期間に関しては線量制限を設けず、処分施設やサイトの特徴が長期にわたってどのように影響を与えるかの評価解析を各処分場で行うというものである。
- ・フランスでは、ラジウム廃棄物や黒鉛廃棄物などを対象にした長寿命低レベル廃棄物の処分の検討が進められており、長寿命廃棄物を扱うことから、5～10 万年の地質学的安定性が求められ、安全評価に関しては、通常シナリオに対して1 万年までの期間についての線量基準が示されている。

6.6 ウラン廃棄物の産廃処分

- ・英国（リリーホール処分場、キングスクリフ処分場、クリフトンマーシュ処分場）では、極低レベル廃棄物（最大 4Bq/g）を規制免除して、または 200Bq/g までの低レベル廃棄物では許可を取得して産廃処分場での処分が実施されている。クリフトンマーシュ処分場を例にとれば、ウランの受け入れ基準は、200Bq/g となっており、安全評価に際しては人間侵入シナリオで 500 年、地下水シナリオで最大 10 万年までの評価を行っている。また、ラジウムおよびウランの子孫核種によるラドンの評価が行われている。
- ・スウェーデン（リサンゲン処分場、グリタ処分場、サカブ処分場）では条件付きでクリアランスされたウラン系廃棄物の産廃処分が行われている。なお、長期評価は氷河期を考えると必要ないとし、ラドンの評価も行っていない。
- ・米国では、RCRA（資源保護回復法）処分場で Source Material から免除された劣化ウランのバランスが処分の対象となっている。

II章 引用文献リスト

- 1) NRC, SECY-08-0147, RESPONSE TO COMMISSION ORDER CLI-05-20 REGARDING DEPLETED URANIUM, (2008.10.7)
- 2) EA2009(GRA09): Environment Agency, North Ireland Environment Agency and Scottish Environment Protection Agency, Near-Surface Disposal Facilities on Land for Solid Radioactive Wastes:Guidance on Requirements for authorisation(2009).
- 3) “I.2. Principes generaux de conception et d’ installation”, Regle No. I-2 (Basic Safety Rule RFS I-2), Conseil suprieur de la surete nucleaire (CSSN), June 1984
- 4) 長谷川信他, “北米地域のウラン廃棄物処分に関する調査;米国ユタ州、テキサス州及びカナダオンタリオ州における処分及び規制の現状”, JAEA-Review 2013-043, (2013).
- 5) EnergySolutions, “EnergySolutions Clive, Utah Bulk Waste Disposal and Treatment Facilities Waste Acceptance Criteria Revision 9 (Includes Class A LLRW, Mixed Waste, and 11e. (2) Disposal Embankments).
- 6) LLW Repository Ltd, Waste Services Contract, Waste Acceptance Criteria - Low Level Waste Disposal, WSC-WAC-LOW - Version 3.0, (2012.4)
- 7) 佐藤他, “欧州地域のウラン廃棄物処分に関する調査 -フランス、英国及びスウェーデンにおける処分及び規制の現状-”, JAEA-Review 2014-006, (2014)
- 8) IAEA, Disposal of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No.SSR-5, (2011)「放射性廃棄物の処分」(日本語訳)、原子力安全研究協会 (2011)
- 9) ICRP Publication 77「放射性廃棄物の処分に対する放射線防護の方策」(日本語訳)、日本アイソトープ協会 (2003)
- 10) LICENSING REQUIREMENTS FOR LAND DISPOSAL OF RADIOACTIVE WASTE(10 CFR PART 61), Jul. 6, 2012
- 11) US. NRC Advisory Committee on Reactor Safeguards, “10 CFR PART 61 - REVISIONS TO LOW-LEVEL RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL REQUIREMENTS”, February 19, 2014.
- 12) Texas Administrative Code, TITLE 30 ENVIRONMENTAL QUALITY, PART 1 TEXAS COMMISSION ON ENVIRONMENTAL QUALITY, CHAPTER 336 RADIOACTIVE SUBSTANCE RULES (30TAC336), Nov. 28, 2013
- 13) Waste Control Specialists LLC, APPLICATION FOR LICENSE TO AUTHORIZE NEAR-SURFACE LAND DISPOSAL OF LOW-LEVEL RADIOACTIVE WASTE, APPENDIX 8.0-1 TEXAS COMPACT INVENTORY, (2007).
- 14) Waste Control Specialists LLC, APPLICATION FOR LICENSE TO AUTHORIZE NEAR-SURFACE LAND DISPOSAL OF LOW-LEVEL RADIOACTIVE WASTE, APPENDIX 8.0-2 FEDERAL FACILITY INVENTORY, (2007).
- 15) DRPLETED URANIUM PERFORMANCE ASSESSMENT RULE, Proposed Rules as recommended to the Radiation Control Board for April 2010 Board Meeting, R313-25-8, (2010.4)
- 16) Neptune and Company, Inc. Radioactive Waste Inventory for the Clive DU PA (2011.5.28)
- 17) “Etude des consequences radiologiques pouvant resulted d’ un stockage en surface”, Regle No. I-2 (Basic Safety Rule RFS I-2),CEA/IPSN, June 1984
- 18) M. DUTZER, etc., Disposal of very low level waste and safety assessment, Disposal of Low Activity Radioactive Waste, Proceedings of an International Symposium, Cordoba, Spain, December 2004, IAEA
- 19) Mark Crawford, et al, “Dounreay New Low Level Waste Facilities, RSA 93 Environmental Safety Case 2010”, NLLWF/3/ESC/GAL/0425/IS/01, 27 October 2010.
- 20) 宮坂靖彦, スウェーデン及びドイツにおけるウラン廃棄物の処理処分の現状, デコミッションング技報 第37号, RANDEC, (2008年3月)
- 21) 大内他, 国際機関及び諸外国におけるウラン廃棄物に関連した規制動向の調査報告, JAEA-Review 2012-019, (2012)
- 22) ICRP Publication 81「長寿命放射性固体廃棄物の処分に適用する放射線防護勧告」(日本語訳)、日本アイソトープ協会 (2003)

- 23) ICRP Publication 103, Annals of the ICRP, Vol. 37, Nos. 2-4 (2007) 「国際放射線防護委員会の2007年勧告」(日本語訳)、日本アイソトープ協会 (2009)
- 24) IAEA, The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No. SSG-23, (2012)
- 25) NRC, "Staff Requirements - SECY -13-0075 - PROPOSED RULE: LOW-LEVEL RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL (10 CFR PART 61) (RIN 3150-A192)", SRM - SECY -13-0075, February, 12, 2014.
- 26) David Esh, "Status of Low-Level Radioactive Waste Disposal Rulemaking and Discussions", Briefing Material at NRC Workshop on Low-Level Radioactive Waste Disposal Rulemaking and Strategic Assessment of Low-Level Radioactive Waste Regulatory Program, March 7, 2014.
- 27) US DOE, RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT MANUAL, DOE M 435.1-1, Jul 9, 1999
- 28) CNSC Regulatory Guide G-320 "Assessing the Long Term Safety of Radioactive Waste Management" Dec 2006.
- 29) Swedish Radiation Safety Authority Regulatory Code, "The Swedish Radiation Safety Authority's, Regulations Concerning the Protection of Human Health and the Environment in Connection with the Final Management of Spent Nuclear Fuel and Nuclear Waste.", SSMFS 2008:37, (2008)
- 30) NRC, "NOVEMBER 2012 PRELIMINARY RULE LANGUAGE FOR PROPOSED REVISIONS TO LOW-LEVEL WASTE DISPOSAL REQUIREMENTS (10 CFR PART 61)", NRC-2011-0012-0045, Dec. 7, 2012.
- 31) Neptune and Company, Inc, Final Report for the Clive DU PA Model Version 1.0 (2011.6.1)
- 32) IAEA, Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No. SSG-29(2014)
- 33) Texas Administrative Code, 30TAC336.709, Technical and Environmental Analysis.
- 34) Waste Control Specialists LLC, APPLICATION FOR LICENSE TO AUTHORIZE NEAR-SURFACE LAND DISPOSAL OF LOW-LEVEL RADIOACTIVE WASTE, APPENDIX 8.0-6 DETAILED PATHWAY ANALYSIS, (2007).
- 35) Augean PLC, "Appendix D, Application for disposal of LLW including HV-VLLW Under the Radioactive Substances Act 1993, for the East Northants Resource Management Facility Supporting Information. JULY 2009", AU/KCE/MM/1561/01PEI, (2011.04)
- 36) LLWR Ltd, "The 2011 Environmental Safety Case, Assessment of Long-term Radiological Impacts", 2011.
- 37) Waste Control Specialists LLC, APPLICATION FOR LICENSE TO AUTHORIZE NEAR-SURFACE LAND DISPOSAL OF LOW-LEVEL RADIOACTIVE WASTE, APPENDIX 8.0-8 COMPUTER OUTPUTS, (2007).
- 38) Waste Control Specialists LLC, APPLICATION FOR LICENSE TO AUTHORIZE NEAR-SURFACE LAND DISPOSAL OF LOW-LEVEL RADIOACTIVE WASTE, SECTION 8 PERFORMANCE ASSESSMENT, (2007).
- 39) BEDL-03-003 (ENVIRONMENTAL RADIOLOGICAL PERFORMANCE VERIFICATION OF THE BARNWELL WASTE DISPOSAL FACILITY SUMMARY JULY 2003)
- 40) LLWR Ltd, "The 2011 Environmental Safety Case, Elicitation of Uncertainties for LLWR ", 2011.
- 41) Exemption Orders made under RSA 93, The Radioactive Substances (Substances of Low Activity) Exemption Order (the SoLA Exemption Order) Statutory Instrument 1986, No. 1002 and amended 1992, No. 647,
- 42) ICRP Publication 46, Annals of the ICRP, 15 No. 4 (1985) 「放射性固体廃棄物処分に関する放射線防護の諸原則」(日本語訳)、日本アイソトープ協会 (1987)
- 43) IAEA, Management of Radioactive Waste from the Mining and Milling of Ores, IAEA Safety Standards Series No. WS-G-1.2, (2002)
- 44) Utah Administrative Code, R313.Environmental Quality, Radiation Control, Rule R313-25.License Requirements for Land Disposal of Radioactive Waste-General Provisions (UAC R313-25), April. 1, 2011
- 45) PL-CNS-05-001, INTERIM SITE STABILIZATION AND CLOSURE PLAN FOR THE BARNWELL LOW-LEVEL RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL

FACILITY, 2005 CLOSURE PLAN, (June 2005) .

- 46) 原子力安全委員会 放射性廃棄物・廃止措置専門部会 第二種廃棄物埋設分科会 (第18回) 資料二分第18-1-1号「諸外国における地層処分、浅地中処分での制度的管理」(平成21年6月9日)
- 47) ICRP, 2010. Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon. ICRP Publication-115, Ann. ICRP40 (1)
- 48) ICRP Publication 82, Annals of the ICRP, Vol. 29, Nos. 1-2 (1999) 「長期放射線被ばく状況における公衆の防護」(日本語訳)、日本アイソトープ協会 (2002)
- 49) ICRP Publication 104, Annals of the ICRP, Vol. 37, No. 5 (2007) 「放射線防護の管理方策の適用範囲」(日本語訳)、日本アイソトープ協会 (2013)
- 50) IAEA, International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, GSR Part3 (2011)
- 51) IAEA, Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance, IAEA Safety Standards Series No. RS-G-1.7 (2004) 「規制除外、規制免除およびクリアランスの概念の適用」(日本語訳)、原子力安全研究協会 (2006)
- 52) IAEA, Protection of the Public Against Exposure to Natural Sources of Radiation Including NORM Residues from Industrial Processes, DS421, (2011, 5.16版ドラフト)
- 53) The COUNCIL of THE EUROPEAN UNION, Laying down basic safety standards for the protection of the health of workers and the general public against the dangers arising from ionizing radiation, Council Directive 96/29/EURATOM of 13 May 1996.
- 54) Commission of the European Communities, Principles and Methods for Establishing Concentrations and Quantities (Exemption values) Below which Reporting is not Required in the European Directive, Radiation Protection 65, XI-028/93, (1993)
- 55) European Commission, Recommended radiological protection criteria for the recycling of metals from the dismantling of nuclear installations, Radiation Protection 89, (1998)
- 56) European Commission, Recommended radiological protection criteria for the clearance of buildings and building rubble from the dismantling of nuclear installations, Radiation Protection 113, (2000).
- 57) European Commission, Practical Use of the Concepts of Clearance and Exemption - Part I. Guidance on General Clearance Levels for Practices, Radiation Protection 122, (2000).
- 58) "WHO HANDBOOK ON INDOOR RADON", World Health Organization, 2007
- 59) HEALTH AND ENVIRONMENTAL PROTECTION STANDARDS FOR URANIUM AND THORIUM MILL TAILINGS (40 CFR PART 192), Jan. 5, 1983
- 60) FINAL ENVIRONMENTAL IMPACT STATEMENT, DOH Publication 320-031 VOLUME I, COMMERCIAL LOW-LEVEL RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL SITE RICHLAND WASHINGTON, May 28, 2004
- 61) "Ordinance on the Protection against Damage and Injuries Caused by Ionizing Radiation (Radiation Protection Ordinance)", Bundesamt fuer Strahlenschutz, Feb., 2012
- 62) "Niedersächsisches Umweltministerium, Planfeststellungsbeschluss for die Errichtung und den Betrieb des Bergwerkes Konrad in Salzgitter als Anlage zur Endlagerung fester oder verfestigter radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung" Mai, 2002
- 63) NRC, "Staff Requirements - SECY -08-0147 - Response to Commission Order CLI-05-20 Regarding Depleted Uranium", SRM-SECY -08-0147, March 18, 2009.
- 64) "Exposures from the Uranium Series with Emphasis on Radon and its Daughters", NCRP-77, 1984
- 65) BNFL, Drigg Post-Closure Safety Case: Overview Report, September 2002
- 66) Oil and Gas ホームページ

<http://www.ogj.com/articles/print/volume-97/issue-1/in-this-issue/production/norm-disposal-options-costs-vary.html> より

- 67) 英国コープランド市ホームページ
http://www.copeland.gov.uk/sites/default/files/attachments/CIS/pdf/nwp_090409_item6.pdf
- 68) JAEA, 人形峠環境技術センターにおける鉱山跡の措置に関する基本計画, JNC TN6410 2002-001,
<http://www.jaea.go.jp/04/zningyo/siryu/kouzan/kou1.pdf>, (2002)
- 69) “Guidelines for drinking-water quality - 4th ed.”, WHO (2011) 「飲料水水質ガイドライン 第4版 (日本語版) 国立保健医療科学院 (2012)
- 70) K. R. Elam, et. al., Emplacement Considerations for Criticality Safety in Low-Level-Waste Disposal, ORNL/TM-13765, Oak Ridge National Laboratory, (2001).
- 71) BNFL, Conditions for Acceptance by BNFL of Radioactive Waste for Disposal at Drigg (CFA) Issue Number 99/1, (1999).
- 72) Jan-Marie Potier and William J. Gallagher, The National Program of France in Past and Future Low-Level Waste Disposal: 30 Years of Progress, Waste Management 98, (1998).
- 73) Radioactive Material License WN-I019-2 Amendment No. 39
- 74) License Number UT 2300249 Amendment #14
- 75) Permit No. UGW45005, STATE OF UTAH DIVISION OF WATER QUALITY UTAH WATER QUALITY BOARD, Ground Water Quality Discharge Permit.
- 76) Guidance on the Groundwater Regulations 1998, Department of the Environment, Transport and the Region, 2001.3
- 77) LLW Environmental Monitoring Programme 2009-2010: Results, National Nuclear Laboratory, 2010.3)
- 78) Environmental Permitting (England and Wales) Regulations 2010 Discussion Document, April 2011
- 79) Bilan Annuel de Surveillance du Centre et de son Environnement, Centre de Stockage de la Manche, Anee, 2005
- 80) Published in: Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung -Gesundheitsschutz 48(7) (2005) Uranium and Human Biomonitoring
- 81) Utah Administrative Code, R317. Environmental Quality, Water Quality, Rule R317-6. Ground Water Quality Protection, As in effect on June. 1, 2014
- 82) “Uranium in Drinking-water”, WHO/SDE/WSH/03.04/118/Rev/1 (2011)
- 83) NUREG-1307 Rev15, “Report on Waste Burial Charges”, U.S.NRC
- 84) Texas Commission on Environmental Quality, Application of Waste Control Specialists LLC for Establishment of Initial Maximum Disposal Rates Executive Summary, (2010.3.28)
- 85) 原子力分野の研究開発に関する委員会 RI・研究所等廃棄物作業部会 (第4回) 資料第4-1-2号 「諸外国における低レベル放射性廃棄物処分の現状について」 (平成18年3月28日)
- 86) LLW Repository Ltd Service Pricing Overview (WSC-SPR-OVR-Version2.0-January 2011)

【おわりに】

前書きでも述べたように本報告書は、(独)日本原子力研究開発機構、電気事業連合会、日本原燃(株)、(株)グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン、三菱原子燃料(株)、原子燃料工業(株)、(株)ジェー・シー・オーが、ウラン廃棄物の処分の検討に資するため、国際機関および各国のウラン廃棄物に係る処分に係る規制、処分の実態について調査したものである。

この様な廃棄物に関して興味のある方、関心のある方に広く一読され、当該廃棄物の特徴や課題について認識を持たれて、様々な意見や考え方をいただければ幸いである。

なお、本報告書の記載のあたり、山本正史様（原子力環境整備・資金管理センター）及び杉山大輔様（(一財)電力中央研究所）に多大なるご指導ご鞭撻を賜りましたことに謝意を表します。

編集員

(独)日本原子力研究開発機構

坂井章浩、八木直人、齋藤龍郎、財津知久

電気事業連合会

角田 利晴（中部電力）

野口 裕史（日本原電）

日本原燃(株)

森田徹治、松永光正

(株)グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン

鈴木啓二

三菱原子燃料(株)

麓 弘道

原子燃料工業(株)

小林慎一

(株)ジェー・シー・オー

平野真孝