

NRA 技術ノート

NRA Technical Note Series

ウラン廃棄物の埋設及びクリアランスに関する 海外の規制

Regulations of disposal and clearance of uranium waste in various countries

室田 健人 青木 広臣

MUROTA Kento and AOKI Hiroomi

核燃料廃棄物研究部門

Division of Research for Nuclear Fuel Cycle and Radioactive Waste

原子力規制庁

長官官房技術基盤グループ

Regulatory Standard and Research Department,
Secretariat of Nuclear Regulation Authority (S/NRA/R)

令和 2 年 9 月
September 2020

本報告は、原子力規制庁長官官房技術基盤グループが行った安全研究等の成果をまとめたものです。原子力規制委員会は、これらの成果が広く利用されることを期待し適時に公表することとしています。

なお、本報告の内容を規制基準、評価ガイド等として審査や検査に活用する場合には、別途原子力規制委員会の判断が行われることとなります。

本報告の内容に関するご質問は、下記にお問い合わせください。

原子力規制庁 長官官房 技術基盤グループ 核燃料廃棄物研究部門
〒106-8450 東京都港区六本木1-9-9六本木ファーストビル
電 話 : 03-5114-2225
ファックス : 03-5114-2235

ウラン廃棄物の埋設及びクリアランスに関する海外の規制

原子力規制庁 長官官房技術基盤グループ
核燃料廃棄物研究部門
室田 健人 青木 広臣

要 旨

専らウランによって汚染されたウラン廃棄物については、埋設に関する規制基準が整備されておらず、クリアランスは対象を金属くずに限定されている。ウランはその半減期の長さから実質的に減衰せず、さらにウラン廃棄物はウランの粗製錬の過程で子孫核種が取り除かれているという核種組成の特徴上、長期的には子孫核種が生成する。そのため、放射能が時間の経過とともに大きくなるという他の放射性物質にない特殊性があり、閉じ込めと隔離を原則とした従来の放射性廃棄物処分の安全確保の考え方との整合性を検討する必要がある。また、子孫核種のうち希ガスであり、吸入によって大きな被ばくを与え得るラドンの扱いや、放射線防護の考え方の中でウランが天然起源核種であることをどのように考慮するのかといった課題もある。そこで、ウラン廃棄物に関する未整備の規制基準の検討の参考とするため、国際機関及びウラン廃棄物を持つ諸外国におけるウラン廃棄物の埋設及びクリアランスに関する規制について主に公開文献を調査した。

国際基準においてウラン廃棄物の埋設に着目した要件は規定されていない。一方、ウラン廃棄物が発生する国々では、特に低い濃度のウラン廃棄物を対象に、他の放射性廃棄物と同じ浅地中処分施設での埋設を行っている。これらの国々の浅地中処分に関する規制及び事業者の評価におけるウラン及びその子孫核種の長期的な影響の扱いは統一的でない。そのうち、浅地中処分における埋設施設直上での居住や人間侵入の評価について、ラドン等の子孫核種による影響が顕著となるような1万年を超える長期評価が行われていたのは、調査の対象とした施設の中では多量の劣化ウランを埋設する予定の米国の施設のみであった。背景として、浅地中処分の長期評価には不確実性が大きく、評価が意味を持たないこと、及び長期間においては自然のプロセスによってウランが埋設施設から流出することを念頭に置いていることが挙げられる。

ウランのクリアランスレベルについては、日本の金属くずに対するクリアランスを含め、多くの国や国際機関で1 Bq/g という値を用いている。しかし、その導出の際の背景となる考え方は、大きく分けて、放射性核種が天然起源であるか否かで区別するものと、対象物が原子力利用を意図した活動によって生じるものであるか否かで区別するものがある。

後者の立場に立ち、線量評価によってクリアランスレベルを算出する場合でも、長期的に生成される子孫核種の影響を評価に含めた例は調査した範囲では見られなかった。その理由の1つとして、クリアランスされた物質は、100年といった近い将来には他の汚染のない物質と十分に混合するという考え方がある。

Regulations of disposal and clearance of uranium wastes in various countries

MUROTA Kento and AOKI Hiroomi

Division of Research for Nuclear Fuel Cycle and Radioactive Waste

Regulatory Standard and Research Department,

Secretariat of Nuclear Regulation Authority (S/NRA/R)

Abstract

Japanese disposal regulations for uranium waste, defined as waste contaminated with only uranium, have not yet been established, and the clearance of uranium waste other than metal scrap is not permitted in Japan. Owing to its long half-life, uranium does not decay out substantially. Moreover, uranium progeny nuclides in uranium waste are removed during uranium milling, resulting in the long-term generation of uranium progeny nuclides. Because of these attributes of uranium, applying the safety principles for radioactive waste disposal of containment and isolation to uranium waste is challenging. Other issues must also be considered to establish disposal and clearance regulations for uranium waste. For example, issues such as assessing the effect of radon, which is a uranium progeny nuclide and may cause severe radiation exposure via inhalation, and treatment of uranium radionuclides occurring in nature in radiological protection regulations require consideration. We studied uranium waste disposal and clearance standards and regulations implemented by international organizations and various countries as references to establish rules for uranium waste disposal and clearance.

No international standard focuses on the disposal of uranium waste. Countries where uranium waste is generated have already disposed uranium waste in landfill facilities or near-surface disposal facilities without distinguishing among waste containing other radionuclides. This approach has been particularly targeted in cases of low activity concentration of uranium. In this context, we understand that no single uniform methodology exists that considers the long-term effects of uranium and its progeny nuclides in regulations of near-surface disposal facilities or licensee safety assessments. The potential impact of progeny nuclides, such as radon, associated with human intrusion and residence on the landfill facilities or near-surface disposal facilities will increase as time proceeds. However, this impact is not typically calculated for a relevant time period of more than ten-thousand years. The only exception is the United States, wherein the disposal of an

enormous amount of depleted uranium waste is planned. The exclusion of long-term effects from potential impact calculations are owing to some reasons; the substantial uncertainties associated with long-term prediction for near-surface disposal facilities cannot enable reasonable calculation results, and uranium must be assumed to be eventually dispersed through natural processes.

Concerning the clearance of uranium waste, international organizations and various countries have adopted 1 Bq/g as a threshold activity concentration value for clearance of ^{238}U ; this value also serves as the threshold for clearance of metals in Japan. However, the idea behind the determination of these values varies; one considers whether radionuclides are of natural origin, while the other considers whether materials for clearance are generated from practices wherein radionuclides are used for their radioactive, fissile, or fertile processes. Even when activity concentration values for clearance are calculated using dose assessments based on the latter consideration, progeny nuclides generated in the far future are typically not included in the assessments. This exclusion may stem from the concept that after clearance of materials, a significant mixing with other materials may be expected in the near future, for example, after a hundred years.

目次

1. はじめに.....	1
1.1 背景及び目的.....	1
1.2 ウラン廃棄物の定義.....	3
1.3 ウラン廃棄物の特徴.....	3
1.3.1 長期にわたって放射能の減衰が期待できないこと.....	4
1.3.2 ラドンの発生.....	6
1.3.3 天然起源核種であること.....	6
2. ウラン廃棄物の埋設に関する国際基準.....	7
2.1 SF-1.....	7
2.2 SSR-5.....	8
2.3 GSG-1.....	9
2.4 SSG-29.....	9
2.5 SSG-23.....	10
3. ウラン廃棄物の埋設に関する諸外国における規制.....	11
3.1 米国.....	12
3.1.1 規制制度.....	12
3.1.2 埋設の実例.....	16
3.2 英国.....	17
3.2.1 規制制度.....	17
3.2.2 埋設の実例.....	18
3.3 フランス.....	19
3.3.1 規制制度.....	19
3.3.2 埋設の実例.....	19
3.4 スウェーデン.....	20
3.4.1 規制制度.....	20
3.4.2 埋設の実例.....	20
3.5 ベルギー.....	21
3.5.1 規制制度.....	21
3.5.2 埋設の実例.....	22
4. ウラン廃棄物のクリアランスに関する国際基準.....	22
4.1 IAEA.....	22
4.2 EU.....	25
4.3 ICRP.....	27
5. ウラン廃棄物のクリアランスに関する諸外国における規制.....	29

5.1 米国	29
5.2 英国	30
5.3 フランス	31
5.4 スウェーデン	31
5.5 ベルギー	32
5.6 ドイツ	32
6. まとめ	34
参考文献一覧	36
執筆者一覧	43

表 目 次

表 3.1	NRC 事務局による性能期間に関する方針の選択肢を評価した主な結果	14
表 5.1	ドイツにおける固体に対する ^{226}Ra 及び ^{238}U のクリアランスレベル	34

図目次

図 1.1	^{238}U の壊変系列	4
図 1.2	ウラン（初期濃度 1 Bq/g）及びその子孫核種の放射能濃度の時間変化	5

用語の定義

基本的には 2018 年版 IAEA 用語集 (IAEA Safety Glossary Terminology Used in Nuclear Safety and Radiation Protection 2018 Edition¹⁰) の内容に基づく。

ウラン廃棄物

ウランの製錬、転換、濃縮、再転換、成型加工等の工程によって生じる、専らウラン及びその子孫核種によって汚染された放射性廃棄物。クリアランスされる予定の物質も含む。

クリアランス (Clearance)

何らかの規制による許認可を受けている放射性物質を規制の対象から外すこと。

無条件クリアランス (Unconditional clearance)

クリアランス後の用途を制限しないクリアランス

条件付クリアランス (Conditional clearance)

特定の物質 (金属、コンクリート等) に対する、クリアランス後の用途 (リサイクル、埋設処分等) を指定したクリアランス

免除 (Exemption)

ある線源又は行為を規制の一部又は全部の対象としないと規制機関が決めること。

除外 (Exclusion)

規制による管理ができない被ばくを規制対象から除くこと (地表での宇宙放射線、人体中の ^{40}K 及び地中にそのまま存在する物質からの被ばく等)。

行為 (Practices)

便益を得るために人の被ばく線量又は被ばくする人数を増加させるような人間の活動
※EU においては異なる定義がなされている (本文 4.2 参照)。

計画被ばく状況 (Planned exposure situation)

線源を扱う計画的な活動によって生じる被ばく状況

現存被ばく状況 (Existing exposure situation)

管理についての決定がなされる時点ですでに存在している被ばく状況

天然起源核種 (Radionuclides of natural origin 又は Naturally occurring radionuclides)

天然で相当量生じた放射性核種

一般的には、地球創世時に生成された核種である ^{40}K , ^{232}Th , ^{235}U , ^{238}U とそれらの子孫核種

人工起源核種 (Radionuclides of artificial origin)

天然起源核種に当てはまらない、人為的に生成された放射性核種

天然線源 (Natural source)

天然起源の線源

例えば星、岩石、土壌その他事実上天然起源核種由来の放射能しかない物質（例えば鉱石の処理によって生じる製品又は残さ）

ただし、ウラン・トリウム鉱山及び放射性廃棄物処分施設以外の原子力施設（nuclear installation）で用いられる放射性物質又は排出される放射性廃棄物は除く。

NORM（Naturally occurring radioactive material）

天然起源核種以外の核種がほとんど含まれていない放射性物質（本文 1.3.3 参照）

原子力利用

放射性、核分裂性又は核分裂性物質生成性（fertile）の利用

セーフティケース（safety case）

施設又は活動の安全性を立証するための論拠（Arguments）と証拠（Evidence）を集めたもの

評価期間

放射性廃棄物埋設の線量評価又はリスク評価の対象とする施設閉鎖後からの期間

人間侵入

放射性廃棄物埋設施設を直接損傷させ、潜在的に放射線的影響を引き起こし得るような人間の活動

1. はじめに

1.1 背景及び目的

ウランは地球の地殻に存在する天然起源核種であり、その同位体 (^{234}U 、 ^{235}U 及び ^{238}U) はいずれも半減期が非常に長いため (^{234}U : 25 万年、 ^{235}U : 7 億年及び ^{238}U : 45 億年) 実質的に減衰しない。ウランは核燃料物質の 1 つであり、核燃料の製造の過程等でウラン廃棄物 (定義は 1.2 を参照) が発生する。日本では、これまでウラン廃棄物の埋設に関する規制基準は策定されていない。現行規制の基となった原子力安全委員会¹は、「ウラン系列核種が主な核種となるいわゆるウラン廃棄物については、天然起源の放射性物質を主たる組成とする放射性廃棄物であり、長期にわたり放射能の減衰が期待できず、かつ、安全性の判断に当たり自然環境中の放射能との関連等も考慮する必要があると考えられることから、本基本的考え方の適用対象外とする。」として、平成 22 年 (2010 年) に決定した第二種廃棄物埋設の安全審査の基本的考え方では適用範囲から除かれていた。核燃料物質又は核燃料物質によつて汚染された物の第二種廃棄物埋設の事業に関する規則² (以下「事業規則」という。) が令和元年 (2019 年) 12 月 5 日に改正・施行され、第二種廃棄物埋設の対象になる廃棄物の発生施設の範囲はほとんどの施設に拡大されたが、引き続きウラン廃棄物は第二種廃棄物埋設の対象から除かれている。

また、現行の規制制度においては、ウラン廃棄物のクリアランスは金属くずのみが認められており、そのクリアランスレベルは平成 21 年 (2009 年) の原子力安全委員会による報告書³に基づき 1 Bq/g としている⁴。当該報告書における、ウランのクリアランスレベルの主な検討経緯は以下のとおりである。

- ・ ウランに関する除外、免除及びクリアランスに関して、国際原子力機関 (International Atomic Energy Agency, IAEA) は、RS-G-1.7⁵においてウランが天然起源核種であるという特徴に基づき、天然に存在する濃度の範囲から 1 Bq/g と設定している (RS-G-1.7 におけるクリアランスレベル設定の根拠の詳細は 4.1 を参照)。日本におけるクリアランスレベルの制定においても、ウランが天然起源核種であるという特徴を踏まえ、国際基準との整合を図ることが重要であるが、一方で、他の人工起源核種のクリアランスレベルは実効線量 10 $\mu\text{Sv/y}$ を基準に算定されてきた経緯を踏まえると、実効線量にも留意する必要がある。
- ・ そのため、人工起源核種と同様の方法でクリアランスレベルを算出し、RS-G-1.7 でウランに対して示された値 (1 Bq/g) と比較することとした。
- ・ 事業者のクリアランス計画から、クリアランスの対象の約 90%は金属であるため、金属に対するクリアランスレベルを検討することとし、日本のリサイクルを基本とする法体系やリサイクル率の高さから、再利用に係るシナリオを基本とした評価を行った。

- ・ 金属製品の耐用年数が100年未満であること、及び市場希釈^(注1)が想定されることから、金属の再利用に関するシナリオ評価では評価期間を100年とした。
- ・ 評価によって算出されたクリアランスレベルは、RS-G-1.7において示された天然起源のウランのクリアランスに対して適用できる放射能濃度1 Bq/gと同程度である。
- ・ なお、ウランは金属の再利用における溶融処理過程でスラグに移行しやすいが、スラグの一部は再利用されないことがあるため、スラグの埋立処分のシナリオについても評価した。埋立作業中の作業員への被ばくについては、人工起源核種と同様の方法で評価し、その線量は金属の再利用に関するシナリオで評価された線量の範囲に含まれることが確認された。埋立処分後の公衆への被ばくについては、想定される処分場のウラン濃度が自然環境中のウラン濃度の変動範囲の平均値付近かそれ以下となることから、有意な影響はないとした。

以上のように、日本のウラン廃棄物の最終的な行き先に対する規制としては、埋設については規制基準が整備されておらず、クリアランスについては基準値の導出の経緯を受けて金属くずのみに限定されているという状況である。ウラン加工事業者等のウラン廃棄物の発生者は、ウラン廃棄物に関する規制について検討を進めてきた^{例えば6,7}ものの、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（原子炉等規制法）に基づく廃棄物埋設の事業の具体的な計画はなされてはならず、既に発生しているウラン廃棄物は、クリアランスされた少量の金属を除き、各事業所の廃棄物保管施設にて保管されている状況にある。一般社団法人日本原子力学会は、IAEA 文書における天然起源核種のクリアランスに関する記述をウラン廃棄物の埋設処分（特にトレンチ処分）に適用し、その考え方を提案している⁸。

本稿では、ウラン廃棄物の埋設及びクリアランスに関する規制基準の策定に向け、それらに関連する海外の規制情報を整理することを目的とする。まず、1.2においてウラン廃棄物について定義し、1.3において埋設及びクリアランスの観点から重要となるウランの特徴について整理した。

2章では、ウラン廃棄物の埋設に関する規制基準を検討する上で重要となるIAEA安全基準を始めとする国際的な考え方について整理した。

3章では、既にウラン廃棄物の埋設処分、特に浅地中処分（日本におけるピット処分及びトレンチ処分）を実施又は検討している米国、英国、フランス、スウェーデン及びベルギーにおける規制の状況について調査した結果を報告する。

4章では、ウラン廃棄物のクリアランスに関する国際基準について整理した。金属くず以外のウラン廃棄物のクリアランスの基準が未整備である我が国においては、その基準を検討する上で国際的な協調性及び整合性を意識する必要があると考える。

^(注1) ここでは、クリアランスされた物質がリサイクルされ再度市場に流通するまでの過程において、他の放射性核種によって汚染されていない物質と混合されることにより、その割合に応じて放射能濃度が希釈されることを意味する。耐用年数を過ぎた金属製品が再度リサイクルされる過程で同じ割合希釈され、またその製品がリサイクルされる過程で希釈される、ということが繰り返されることを想定している。

5章では、ウラン廃棄物のクリアランスに関する諸外国における規制の状況について調査した結果を報告する。ウランに汚染された物質が発生している国は多く存在し、米国、英国、フランス、スウェーデン、ベルギー及びドイツでは他の放射性核種と合わせてウランのクリアランスレベルが設定されている。そのため、これら諸外国が国際的な考え方をどのように捉え、規制基準を策定し、その基準を運用しているのかについても参考になると考える。

なお、本稿は主に公開されている文書の記載内容を整理したものである。

1.2 ウラン廃棄物の定義

原子力委員会⁹は、ウラン廃棄物を「原子炉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。これらの各工程を行う施設の運転・解体に伴い放射性廃棄物が発生する。これらの放射性廃棄物をウラン廃棄物という。」と定義している。先に述べたように、浅地中処分することが認められていない廃棄物の発生施設として、事業規則では「製錬施設、加工施設（その燃料材にウラン・プルトニウム混合酸化物を含む燃料体の加工を専ら行うものを除く。）及び使用施設等（核燃料物質（ウラン及びその化合物に限る。）又は当該核燃料物質によつて汚染された物を専ら取り扱うものに限る。）」と定めている。換言すると、製錬施設並びに専らウランを取り扱う加工施設及び使用施設ということになり、原子力委員会の定義と整合しているため、本稿でも原子力委員会に準じ、ウラン廃棄物を「ウランの製錬、転換、濃縮、再転換、成型加工等の工程によって生じる、専らウラン及びその子孫核種によって汚染された放射性廃棄物」と定義する。上述の定義に照らして、ウラン鉱石の採掘と粗製錬に伴い発生する鉱業廃棄物（捨石、鉱さい等）は、鉱山保安法による規制の対象であり、ウラン廃棄物には含まれない。なお、IAEAにおいて放射性廃棄物は、クリアランスレベルを超える濃度の放射性核種を含む、将来使用しない物質と定義されているが¹⁰、本稿では、クリアランスされる予定の物質についてもその由来や核種組成が上述の定義に当てはまるものについてはウラン廃棄物とし、「ウラン廃棄物のクリアランス」という表現を用いることとする。すなわち、クリアランス後、資材として再利用される予定の物も本稿のウラン廃棄物に含まれる。

1.3 ウラン廃棄物の特徴

1.1で紹介した原子力安全委員会が「第二種廃棄物埋設の安全審査の基本的考え方」の対象からウラン廃棄物を除外した理由から分かるように、他の放射性廃棄物と異なるウラン廃棄物特有の特徴が、ウラン廃棄物の規制を検討する際の論点となり得る。まずはその主な特徴を3つ示す。

1.3.1 長期にわたって放射能の減衰が期待できないこと

図 1.1 にウラン系列の主要な放射性核種の壊変系列を示す。親核種である ^{238}U の半減期が他の放射性核種のそれに比べ非常に長いため、永続平衡に達している天然のウラン中には図 1.1 に示すウラン及び子孫核種が全てほぼ同じ放射エネルギー存在する。一方、鉱山でウラン鉱石を採取する際に行われる粗製錬によって子孫核種が除かれた後のウラン又はトリウムを取り扱う工程からウラン廃棄物は発生するため、ウラン廃棄物中には ^{230}Th 及びその子孫核種はほとんど含まれておらず^(註2)、 ^{234}U 及び ^{230}Th の半減期に対応した数万年後から子孫核種が有意な割合で生じてくる。ウラン廃棄物中の ^{238}U (並びに短時間で放射平衡になる子孫核種である ^{234}Th 及び $^{234\text{m}}\text{Pa}$) と ^{234}U の割合はウラン濃縮の程度によって異なる。図 1.2 に、5%濃縮ウラン (ガス拡散法による) 及び天然 (^{235}U : 0.711%) ウランを 1 Bq/g 含むウラン廃棄物中の放射能濃度の時間変化を示す。本図は、 ^{235}U の含有割合が 5.0%及び 0.711%のウランの放射能の放射性核種 (^{234}U 、 ^{235}U 及び ^{238}U) 別寄与のデータ⁶及び国際放

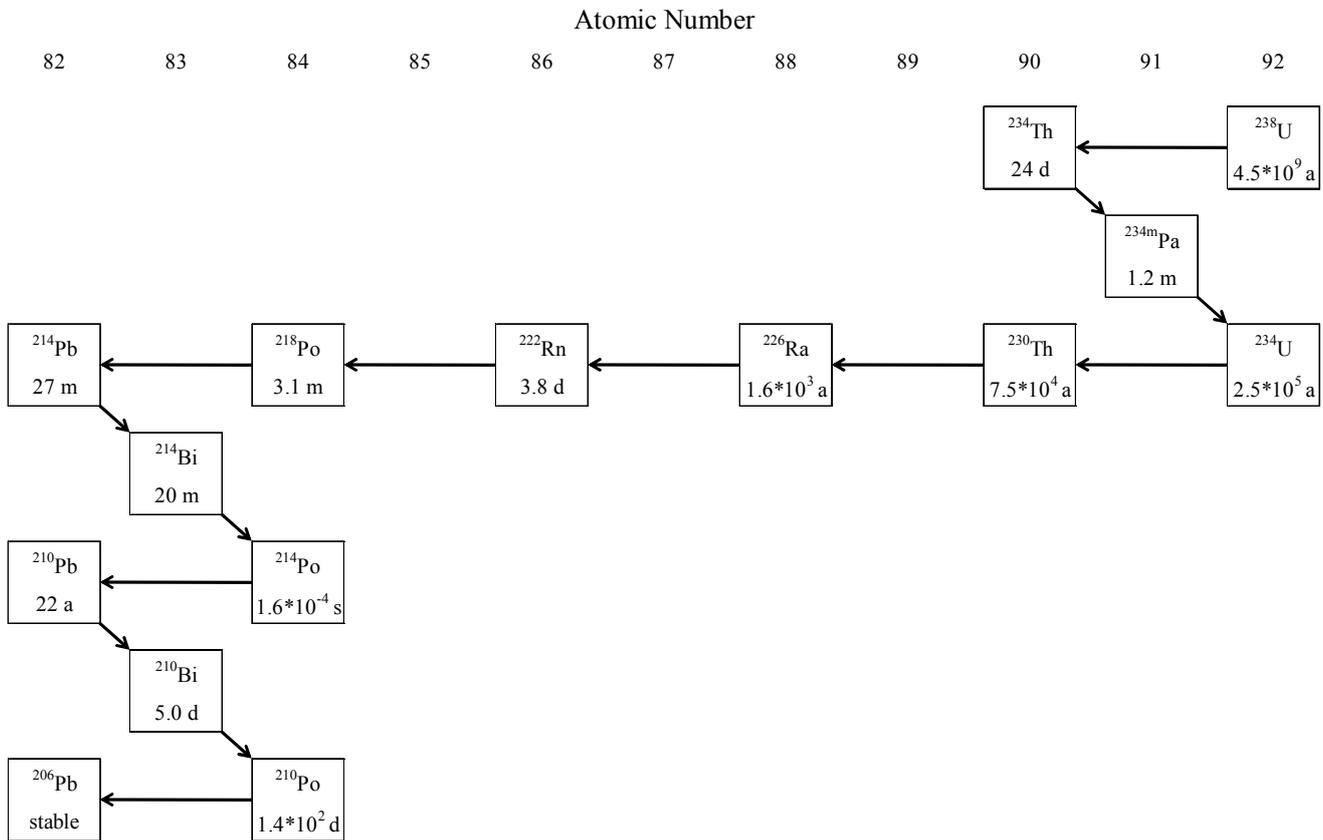


図 1.1 ^{238}U の壊変系列

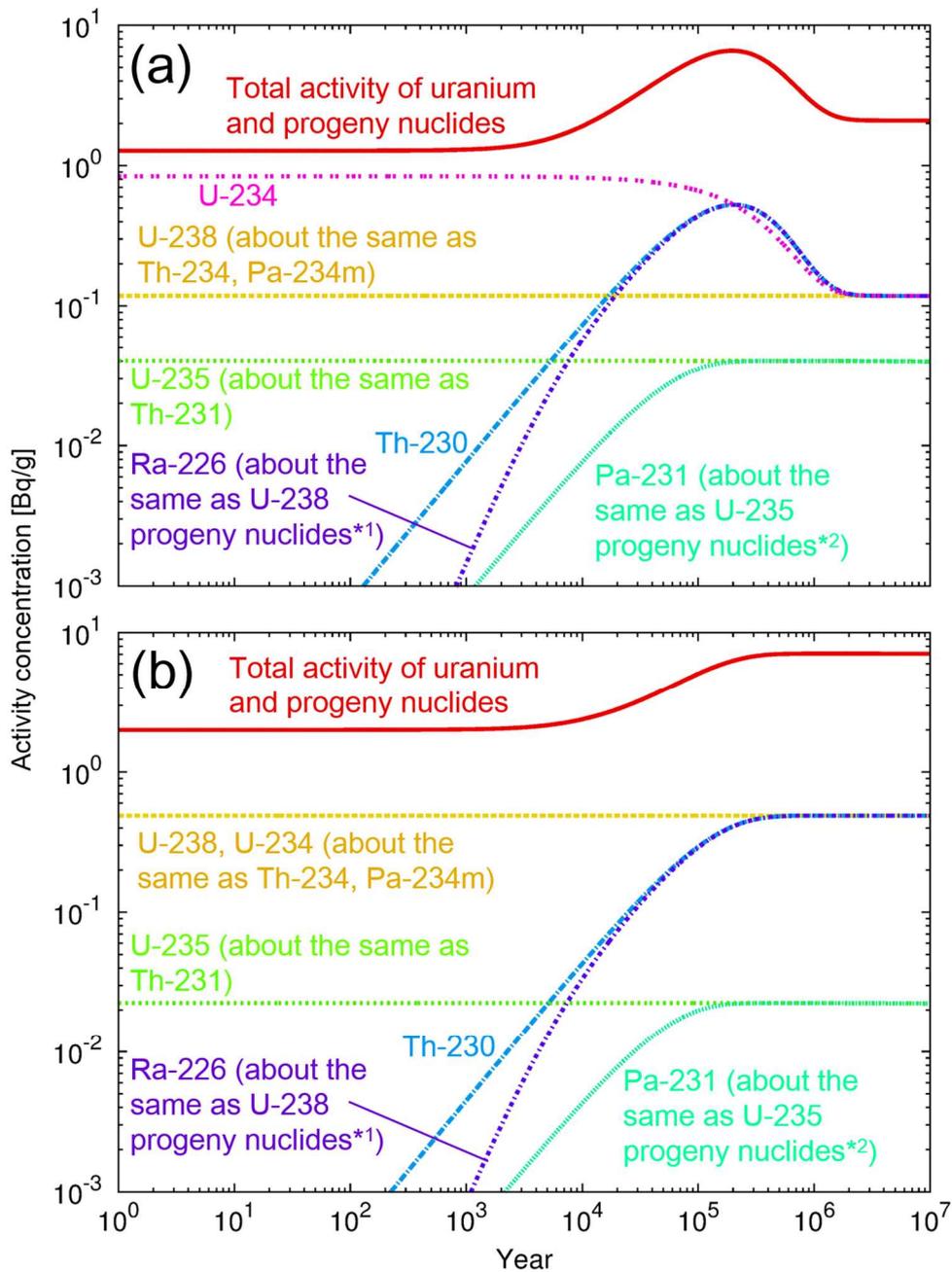
主な放射性核種のみ示す。(参考文献 11 を基に作成。)

Fig. 1.1 Decay chain of ^{238}U .

Main nuclides are shown. (drawn based on the reference no. 11.)

^(註2) ただし、回収ウランを扱う工程から発生する廃棄物には、ウラン及びトリウム以外の超ウラン元素及び核分裂生成物が含まれることがあり、実際に規制基準を整備する際にはその扱いについて留意が必要である。

射線防護委員会（International Commission on Radiological Protection、ICRP）による半減期のデータ¹¹を用いて作成した。子孫核種を含めた放射能濃度は、5%濃縮ウランの場合、約20 万年後に最大値となり、その後元々存在していた ^{234}U の減衰に伴い放射能濃度は下がり、約200 万年以降に平衡に達する。一方、天然ウランの場合は約100 万年後に放射能濃



*1: Rn-222, Po-218, Pb-214, Bi-214, Po-214, Pb-210, Bi-210, Po-210

*2: Ac-227, Th-227, Ra-223, Rn-219, Po-215, Pb-211, Bi-211, Tl-207

図 1.2 ウラン（初期濃度 1 Bq/g）及びその子孫核種の放射能濃度の時間変化

(a) 5%濃縮ウラン、(b) 天然ウラン (^{235}U : 0.711%)

Fig. 1.2 Activity concentrations of uranium (initial activity of uranium is 1 Bq/g) and progeny nuclides.

(a) 5%-enriched uranium, (b) natural (^{235}U : 0.711%) uranium.

度が最大となりその後はほとんど変化しない。このように、ウラン廃棄物中のウランは、既存の放射性廃棄物のように放射能が減衰するものではなく、時間の経過に伴い子孫核種が生成し放射能が増加し、100 万年オーダーの時間の経過によって自然界に存在するウランと同様、永続平衡に至る。このような特徴から、ウラン廃棄物の埋設は、現行の第二種廃棄物埋設における放射能の減衰に応じた管理による安全確保という基本的な考え方との関係性が課題となる。

1.3.2 ラドンの発生

^{238}U の子孫核種の 1 つである ^{222}Rn は希ガスであるため、ウラン廃棄物の埋設施設の安全評価においてラドンの影響を評価する場合は、土壌（覆土）中の間隙を通じて地表に移行したラドンを吸入するという被ばく経路を考慮する必要がある。ラドンによる被ばくは、地下鉱山での作業員においてまず認識された。その後一般住居の屋内でも鉱山内に匹敵する濃度のラドンが確認されてからは、様々な国際機関によりラドン濃度分布、ラドンガス移行モデル、ラドン被ばく対策等について研究及び検討がなされてきた^{12, 13, 14}。廃棄物から発生したラドンは、土壌と地表（建物の床下等）との間の温度や気圧差による対流及び濃度差による拡散といった複雑な機構によって地表へと移行すると考えられる¹⁵。また、ラドン (^{222}Rn) の半減期は 3.8 日と短い。そのため、ラドンの地表への放出量は、土壌の状態（化学、地質、土壌水分量及びラドン透過率）によって大きく変化する。さらに、大きな被ばくが想定される屋内でのラドン吸入による被ばく線量の評価は、建物（気圧差、気密性、季節ごとの温度変化、部屋の大きさや階数、換気の程度等）に関する様々な仮定が影響する¹⁴。これらの評価結果に寄与するパラメータに関して、数十万年後の将来の状況には非常に大きな不確実性があり、このことがラドンの評価を難しいものになっている。

1.3.3 天然起源核種であること

上記 2 つの特徴はウラン廃棄物を埋設した際の長期での放射線安全を考慮する上で重要な特徴であるが、それらに加え、原子力施設から発生する放射性廃棄物に含まれるウラン以外の放射性核種に対してウランが異なっている点として、ウランは天然起源核種であることが挙げられる。ウラン及びその子孫核種は世界中の土壌、鉱石及びそれらを原料とする製品中に含まれており、自然放射線の主な原因である。天然起源核種のみを含む放射性物質は NORM (Naturally occurring radioactive material) と呼ばれ、NORM により様々な産業（例えば鉱山での採掘）の作業員や公衆が被ばくする可能性がある。どれほど低い放射能又は放射能濃度を持つ NORM まで規制するか、どのような規制を行うか等の NORM についての規制の対応は各国で差がある（ただし、本稿では一般産業での NORM からの被ばく及び一般公衆のラドンからの被ばくに対する規制の考え方については扱わない。）。言い換えると、管理できない被ばくを規制対象から除く除外 (Exclusion) 及びある線源や行為を規制の一部又は全部の対象としないよう決定する免除 (Exemption) の概念を NORM に

対してどの程度適用するかには各国に違いがある。その背景として、管理になじまない（被ばくの低減が困難な）被ばく状況をどこまで規制するか判断に多様性があることが挙げられる¹⁶。

除外及び免除に関連する概念として、クリアランス（clearance）がある。これは規制を受けている放射性物質のうち条件を満たすものを規制の対象から外すことを意味する。ここで、これら3つの概念はいずれも規制の対象となるものとならないものとの間に線を引くことであるが、それぞれの背景にある考え方が異なるため、それぞれの概念の対象や条件は異なり得る^(注3)。NORMの規制において専ら議論される鉱山作業者の被ばくや一般公衆のラドンによる被ばくは、一般産業活動や通常的生活の中に元々存在するものであるため、現存被ばく状況として扱われ、除外及び免除の概念を用いて議論されているのに対し、ウラン廃棄物は意図的に放射線源を取り扱う原子力施設から発生するものであるため、それによる被ばくは計画被ばく状況として扱われ、適用されるのはクリアランスの概念であることに注意が必要である。

なお、IAEAではNORMを「天然起源核種以外の放射性核種をほとんど含んでいない放射性物質」と定義しており¹⁰、ウラン廃棄物も含まれるという解釈もできるが、一般的にNORMという用語が用いられるとき、ウラン廃棄物のような原子力施設に伴って発生する放射性物質は念頭に置かれていないことが多い。例えば、産業活動におけるNORMに対する放射線防護に関する指針を示したICRPの文書¹⁷では、NORMからの被ばくを一般産業よりも適切に計画被ばく状況として管理しているような産業については文書の対象外であるとし、対象外の産業の具体例として、放射性、核分裂性又は核分裂核種生成性（fertile）の利用（以下「原子力利用」という。）のためのウラン、トリウム等の採掘を挙げている。

2. ウラン廃棄物の埋設に関する国際基準

ウラン廃棄物の埋設に関する諸外国の規制の前提として、放射性廃棄物の特に浅地中処分に対する国際的な考え方について、また、その中でのウラン廃棄物の浅地中処分の位置付けについて、IAEAの安全基準文書に基づき説明する。IAEAは、加盟国間の議論を経て国際的な安全基準を定め、文書として発行している。各国における規制と同様、IAEA安全基準にも階層があり、上位のものから順に安全原則（Safety Fundamental）、安全要件（Safety Requirement）及び安全指針（Safety Guide）と呼ばれる。IAEA安全基準の中にはウラン廃棄物に特化した要件は存在しないため、放射性廃棄物処分に関して規定しているものうち関連する記述を紹介する。

2.1 SF-1

IAEAが定める安全原則に当たる文書としては現在SF-1「基本安全原則」¹⁸のみがあり、

^(注3) 例えば、クリアランスレベルは免除レベルと同じかより厳しい値にすべきであるという国際的な考え方がある^{5,68}。

そこには基本安全目的（Fundamental safety objective、人及び環境を電離放射線の有害な影響から防護すること）と 10 の原則（Principles）が定められている。10 の原則のうち、4 番目（施設と活動の正当化）、5 番目（防護の最適化）及び 6 番目（個人のリスクの制限）の 3 つが放射線防護に関するものである。施設と活動の正当化とは、施設と活動が生み出す便益が、それらが生み出す放射線リスクを上回っていないなければならないというものである（3.18 項）。次に防護の最適化は、被ばくを伴うある活動について、その活動を過度に制限しない範囲で、その活動の全期間において合理的に達成できる最高レベルの安全を提供することでなされ（3.21 項）、被ばくを受け得る人数、可能性、規模及び放射線リスクだけでなく経済、社会及び環境に関する要素を含む様々な要素の相対的な重要性を判断しなくてはならないとされている（3.23 項）。さらに、事業者の投入する資源の量や規制の目的、厳しさ及び適用は、放射線リスクの大きさ及びその管理のしやすさ（amenability to control）に見合ったものにしていくことが求められている（3.24 項）。正当化と防護の最適化だけでは、害を受けるリスクがいかなる個人に対しても許容可能な範囲となることを保証できないため、線量と放射線リスクは所定の制限の範囲内に管理しなければならないとするのが 6 番目の個人のリスクの制限の原則である（3.25 項）。また、7 番目の原則として現在及び将来世代の防護が挙げられ、将来世代が重大な防護措置を採らなくても良いように適切に防護すべきとされている（3.27 項）。

2. 2 SSR-5

IAEA は、個別安全要件（Specific Safety Requirements）No. SSR-5「放射性廃棄物の処分」（以下「SSR-5」という。）において、あらゆる種類の放射性廃棄物の処分に関する安全基準を定めている¹⁹。SSR-5 は「背景」の章において、全ての放射性廃棄物の管理において望ましい戦略は、廃棄物を閉じ込め（contain）、アクセス可能な生活環境（biosphere）から隔離する（isolate）ことだとしており（1.6 項）、それぞれ要件 8 と 9 として具体的な要件を示している。要件 8 では、減衰によって廃棄物による影響が十分に小さくなるまで閉じ込める必要があるとしている。また、要件 9 では、浅地中処分施設の廃棄物について、施設の位置及び設計並びに操業上の管理及び制度的管理によって隔離されなければならないこととされている（3.43 項）。ここで隔離は、廃棄物とそれに伴う危険性を遠ざけておくように設計することを意味するが、施設の健全性を損なわせるような要素の影響を最小限にするように設計することも意味しており、その具体例として、「例えば制度的管理に違反するようなことが起こらない限りは廃棄物に接近することが困難なようにしなければならないこと」を示している（3.44 項）。さらに、地層処分施設やそれ以外の長半減期核種を含む施設についてはあるが、数千年やそれ以上の期間では長半減期で移動しやすい放射性核種の一部が移行することは避けられないとし、そのような遠い将来の期間に対して基準を適用することは、注意が必要になるとしている（3.47 項）。なお、長期での線量基準に関する放射線防護上の扱いについては ICRP の文書²⁰に詳しい。閉じ込めと隔離以外にも SSR-5

は、例えば、代表的個人に対する線量拘束値 0.3 mSv/y や、人間侵入に対しては、1 から 20 mSv の範囲で侵入確率の低減又は施設設計の最適化をすべきといった放射性廃棄物処分に共通の線量基準を定めている（2.15 項）。

なお、SSR-5 では、放射性廃棄物処分の種類の 1 つとして、採鉱及び鉱物処理廃棄物の処分（Disposal of mining and mineral processing waste）が挙げられている（1.14 項）。これについては、通常は地上又は地表付近（on or near the ground surface）で埋設処分されるが、廃棄物の発生の仕方及び量の多さ、その物理化学的形態並びに長半減期の天然起源核種の含有量によって他の放射性廃棄物から区別されるとしている（採鉱及び鉱物処理廃棄物の管理については別に安全指針が出版されている²¹）。ここで挙げられている特徴の一部はウラン廃棄物にも当てはまるため、採鉱及び鉱物処理廃棄物の処分に対する要件のうち参考になり得る箇所を抽出する。要件 8 の閉じ込めの記載において、採鉱及び鉱物処理廃棄物の処分は非常に半減期が長い放射性核種を含むことがあり、そのような廃棄物の処分施設の閉じ込めが相応の期間完全に保たれると保証することは特に考慮が必要であるとしている（3.41 項）。そして、そのような廃棄物が人間侵入の評価結果が基準値を超えるほど高い放射能濃度を持つ場合、例えば浅地中ではない処分方法に変更することや被ばく線量に寄与する放射性核種の含有量を分けるといった対応を考えるべきとしている。また、浅地中処分は一般的に制度的管理が一定期間有効であること前提に設計されるが、極めて長半減期の放射性核種を含み、一般に多量である採鉱及び鉱物処理廃棄物を浅地中処分する場合、継続した能動的な制度的管理に安全対策が依存することのないよう、放射能濃度を制限しなければならない。また、その制限濃度を超えた廃棄物は地表下（below the ground surface）に埋設処分する必要があるとしている（5.9 項）。

2.3 GSG-1

IAEA は、一般安全指針（General Safety Guide）No. GSG-1「放射性廃棄物の分類」（以下「GSG-1」という。）として、放射性廃棄物の分類に関する指針を発行している²²。この中で、極低レベル廃棄物（Very low level waste）に当たる廃棄物として、鉱石や鉱物の採鉱及び処理から生じる天然起源核種を含む廃棄物を挙げている（2.17 項）。極低レベル廃棄物の管理については、放射線の防護と安全の観点から考慮されるべきだが、より放射エネルギー（activity content）が大きい廃棄物に比べると、必要な措置は限定的だとしている。また、低レベル廃棄物の説明の中で、規制機関は特定の処分施設の安全評価に基づき、長半減期核種の上限を設定すべきであるとし、長半減期 α 核種の上限として廃棄物平均で 400 Bq/g（廃棄物パッケージごとで 4,000 Bq/g）を幾つかの国（米国、フランス及びドイツの参考文献が提示されている。）で採用しているとしている。

2.4 SSG-29

個別安全指針（Specific Safety Guide）No. SSG-29「放射性廃棄物の浅地中処分施設」（以

下「SSG-29」という。)は、SSR-5に基づき、浅地中処分施設に関するより具体的な規定を示している²³。上述した放射性廃棄物処分の原則である閉じ込めと隔離について、浅地中処分施設は、地層処分施設に比べはるかに短い期間（最長で数百年）でその閉じ込めと隔離を損なわせるようなプロセス及び事象に影響されやすいこと、また、浅地中処分施設は、人間活動が行われるような生活環境内に位置することから、制度的管理の期間が終了した後の人間侵入を考慮しなくてはならないため、放射エネルギーの上限が適切かを評価し、確認する必要があることが示されている（4.7項）。また、長期の安全評価に関して、数千年の期間（ピーク線量を見積もるためといった状況ではそれ以上の期間）は、規制の定める線量基準やリスク基準との比較が必要であろうが、例えば数万年を超えるような超長期では未来の状況（人間の活動や生活環境の特徴）の不確実性が大きいこと、より単純な計算で十分であろうし（5.25項）、例えば天然起源核種の濃度や流出量を考慮するといった補完的な議論を用いるべきであるとしている（5.23項）。前提として、浅地中処分は長半減期核種を限られた量しか含んでいない、短半減期核種のためのものであり、長半減期核種を多く含む廃棄物はそのために設計された施設に処分されるべきことを廃棄物受入基準で強調すべきで、国の政策によって担保されるべきであるとの記載もある（6.32項）。

なお、潜在的な線量やリスクを評価する際の被ばく経路の例として、気体を媒介する場合が挙げられているものの（5.23項）、ラドンの評価に関する記載はない（2章で挙げている他のIAEA文書でも記載はない。）。

2.5 SSG-23

個別安全指針 No. SSG-23「放射性廃棄物処分のセーフティケースと安全評価」（以下「SSG-23」という。）は、SSR-5で定められているセーフティケース^(注4)及びその裏付けとなる安全評価についての指針を示している²⁴。放射性廃棄物処分施設の安全性の評価や文書化に関して広範な内容を扱っているが、そのうち、評価期間（time frame for the assessment）に関する指針が参考になる。原則として評価は最大又はピークの線量又はリスクを決めるのに十分な期間実施すべきとしているが、それが難しい例として、ウラン採鉱から生じる廃棄物のような長半減期核種を含む放射性廃棄物を浅地中処分した場合を挙げている（6.44項）。このような場合、評価の不確実性が著しく増大し、評価の意義が十分にあるとはいえない時期に至るまで、線量やリスクが変わらないか、むしろ増大することがあるため、一般的には評価期間を制限するか、少なくとも定量評価する期間を制限することがあり得るとしている。具体的な期間として、普遍的な評価期間を設定するのは不可能としながらも、例えば採鉱からの廃棄物のための地上処分施設（above surface disposal facilities）の場合、数百年で不確実性が明確に生じ、千年を超えると定量的な評価は意味を失うとしている（6.45項）。それに対し、工学的バリアを持つ浅地中処分施設（engineered near surface

^(注4) 用語の定義を参照。

disposal facilities) はより擾乱を受けにくいいため、評価期間が数千年であっても合理的かもしれず、地層処分施設のようなより深くにある施設の場合は、数万年以上であっても合理的かもしれないとしている。また、侵食、氷河作用等によって施設が損傷するシナリオのような、評価の種類によって評価期間を変える場合もあり得るとしている(6.46 項)。なお、評価期間を制限した場合で、評価期間以後も無視できない影響が生じる可能性がある場合は、簡略な評価や定性的な議論によって、評価期間以後の施設の変遷やその潜在的な影響をセーフティケースの中で扱うべきであり(6.49 項)、また、評価期間を延長しなくて良いことを正当化する必要がある(6.51 項)としている。この正当化が求められる例として、ウランの製錬で生じる廃棄物を地表に処分した場合、廃棄物自体の潜在的な危険性は存在していたとしても、廃棄物からの被ばくを評価する期間を氷河作用が想定される時期を超えて延長する意味はないとする場合を挙げている。

なお、地層処分を対象にしたものではあるが、評価期間の扱いについては、経済協力開発機構原子力機関(Organisation for Economic Co-operation and Development/Nuclear Energy Agency, OECD/NEA)の放射性廃棄物管理委員会(Radioactive Waste Management Committee, RWMC)におけるセーフティケースに関する統合グループ(Integration Group for the Safety Case, IGSC)において議論されており、報告書が出版されている²⁵。世代内及び世代間の平等性及び持続性のバランスについてなどの幾つかの倫理的な原則にどう対応するかには議論の余地がある、評価期間に複数の枠を設定し、長期の評価では隔離が保たれることの地質的な証明や最適化の議論といった定性的な方法が採られる傾向にあるが、それについても、基準への満足をどのように判断するかといった課題が残っているなどの記載がある。

以上の2章全体をまとめると、浅地中処分はその深度ゆえに、廃棄物処分の原則である閉じ込めと隔離を長期間保つことができない施設であるため、長期的には人と廃棄物が接触することも考慮して、長半減期核種の量を制限することが求められている。ウラン廃棄物の影響を考慮する上で必要な数万年以上の時間スケールでは、地層処分施設においても、評価結果と線量基準又はリスク基準との関連付けには注意が必要であるとされており、長期の不確実性がより大きい浅地中処分においてはなおさらである。SSG-23ではその長期評価の扱いについて具体的な指針が示されている。

3. ウラン廃棄物の埋設に関する諸外国における規制

1章で述べたように、日本においてウラン廃棄物を埋設した実績はないが、海外の幾つかの国では既にウラン廃棄物を浅地中処分した例が存在する。それらはいずれもウラン廃棄物のみを対象とした施設に埋設するのではなく、比較的放射能濃度が低い放射性廃棄物を対象とした施設に他の放射性核種を含む放射性廃棄物とともに埋設している。1.3で示したウラン廃棄物の特徴を踏まえ、ウラン廃棄物を含む放射性廃棄物の浅地中処分に関する各国の規制について、放射能濃度及び線量の基準並びに評価期間に着目して整理する。

さらに、規制制度に基づき事業者が実施しているウラン廃棄物の埋設の概要、ラドンの影響を含む安全評価の結果（主に影響の大きい跡地に居住した際の被ばく線量）及び評価結果に対する規制機関の審査の実例を示す。なお、1.3で示したウラン廃棄物の特徴のうち、1.3.3のウランが天然起源核種であることについて、浅地中処分の規制に関する文書やウラン廃棄物の埋設施設の安全評価書において関連する記述は見られなかった。これは、多くの国における浅地中処分において、日本のようにウラン廃棄物が他の放射性廃棄物と独立してその扱いを検討されてこなかったためと考えられる。一方、ウランを含めた長半減期核種に関しては、特に長期評価に伴う不確実性の扱いについて記載されている例が多く、国によって違いがある。なお、3.1で示すとおり、米国ではウラン廃棄物を主な対象とした規制基準の改正を検討しているが、そこでもウランの長期的な放射線被ばくリスクに着目しており、ウランが天然起源核種であることに関連する記述は今回の調査の対象とした公開文書の範囲では見られなかった。

3.1 米国

3.1.1 規制制度

米国において低レベル放射性廃棄物の処分は、規制基準に基づき低レベル放射性廃棄物を永久に隔離することだと定義されている²⁶。商業用施設から発生する低レベル放射性廃棄物は、陸地処分（land disposal）の基準に関する規則（10CFR part 61）に定める幾つかの放射性核種ごとの放射能濃度（61.55 項）に応じて4つ（Class A、B、C及び greater-than-class C）に区分されている²⁷。現行の規則ではウラン及びその子孫核種は区分の基準となる放射性核種ではないため、ウラン廃棄物はその放射能濃度にかかわらず最もレベルの低い Class A 廃棄物（100年で十分に減衰する廃棄物を想定）として扱われている。これは、当初、民間の放射性廃棄物処分施設に高濃度かつ多量のウラン廃棄物が処分されることが想定されていなかったためである²⁸（ただし、現行規則の検討段階においては、Class C に対する濃度上限値として $^{235}\text{U}: 0.4 \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ （ $14,800 \text{ Bq}/\text{cm}^3$ ）、 $^{238}\text{U}: 0.5 \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ （ $18,500 \text{ Bq}/\text{cm}^3$ ）という値が設定されていた²⁹）。そのため、現在の規則は、埋設される低レベル放射性廃棄物について、最長でも500年の間に人間侵入に対して著しいリスクを与えない程度に減衰すること、及び施設からの放射性物質の放出による公衆への長期的なリスクを与えるような多量の長半減期核種は含まないことを想定していた²⁸。

しかし、想定した量をはるかに超える（130万トン以上の³⁰）劣化ウランの処分が必要になったことから、米国原子力規制委員会（Nuclear Regulatory Commission, NRC）が検討を行い²⁸、既にウラン及びその子孫核種の浅地中処分は行われていることも踏まえ、ウランに対する低レベル放射性廃棄物の区分を定める濃度基準値は設定しないものの、ウランの特徴に合わせて10CFR part 61を改定することとした³¹。検討の大きなポイントとして評価期間の設定があり、その議論には紆余曲折があった。

NRC 事務局は「低レベル放射性廃棄物処分の性能期間 (Period of Performance) ^(注5) 決定のための技術的な分析」という表題の報告書の中で、社会及び自然環境の持つ長期の不確実性を分析した上で、現状のままとする選択肢や、期間に上限を設けず線量の最大値が生じるまで評価するという選択肢も含め、複数の選択肢を比較検討した³²。表 3.1 に、報告書に示された各選択肢の概要と主な利点及び欠点を示す。比較の前提として、国立行政アカデミー (National Academy of Public Administration) の原則を参考に以下のような世代間の公平性に関する原則を示しており、表 3.1 に示す評価結果もこれらの原則に基づいていることが分かる。

- (1) 全ての世代には、将来世代の利益を守る義務がある。
- (2) 将来世代は、現世代に投資されたものと同等な防護のための投資を受ける権利がある。
- (3) 各世代の主たる義務は、現世代と将来世代との両方のニーズを満たすことである。しかし、近い将来の具体的な危険は、遠い将来の仮想的な危険よりも優先される。
- (4) 不可逆的な害又は破滅的な結果をもたらす措置を実施すべきでない。
- (5) 今日の措置によって、将来世代が独自の判断を下すのを妨げるべきではない。

比較の結論として、選択肢③を推奨した上で、ユッカマウンテンにおける高レベル放射性廃棄物の地層処分の規制のように、コンプライアンス期間 (Compliance Period) と呼ばれる処分場の性能を定量的に評価し、性能目標への適合性を実証する期間に加え、その後の一定期間も処分施設の性能を相対的に評価するという案を提唱した。そして、コンプライアンス期間の長さとして、以下の理由から 2 万年を提案した。

- ・ 現在の間氷期が終わり次の氷河期へと移行することによる気候変動の主な影響が 2 万年後までに生じると予想されていること。
- ・ 処分場からの放射性核種の漏出を考慮した場合、埋設された劣化ウランからの公衆への被ばくのピーク線量と 2 万年時点での線量とは 10 倍も差がないと予想されること (長期になるほど子孫核種の濃度の増加の割合は下がっていくため、より長期の評価をすることのメリットが不確実性の増大というデメリットに比べて大きくないとしている。)
- ・ 長半減期核種の被ばく評価を様々な条件で試算したところ、評価期間を 2 万年まで延ばすと有意な被ばくをもたらす放射性核種の種類が増加するが、2 年以上延ばしてもその種類はあまり変わらないという結果が出たこと。

^(注5) 規制への適合性確認やその他の解析の対象として評価される期間のことを指すとされており、本稿における評価期間に意味は近い。

表 3.1 NRC 事務局による性能期間に関する方針の選択肢を評価した主な結果
(参考文献 32 を基に作成。)

Table 3.1 The main evaluation results of options for approaches about period of performance by
NRC staff.
(written based on the reference no. 32.)

選択肢	主な利点	主な欠点
① NRC の規則上は性能期間が定められておらず、施設ごとに独自に設定するままとする。	<ul style="list-style-type: none"> ・規制を実施する州が性能期間を選択できる。 ・現在の NRC の方針との整合性が高い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・規制にあいまいさが残る。 ・規則として共通の性能期間を定めるべきという利害関係者の意見がある。
② 性能期間に上限を設けず線量の最大値が生じるまで評価する。	<ul style="list-style-type: none"> ・世代間の公平性を確保でき、いずれの世代に対する防護も強固である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・将来世代の防護に要する資源が現世代の防護に要する資源より大きくなる可能性がある。 ・長期の不確実性に対する規制上の意思決定が難しい。 ・重金属等の他の有害廃棄物の処分との一貫性がない。
③ 廃棄物管理の他の分野（廃止措置、高レベル放射性廃棄物及び TRU 廃棄物処分並びにウラン製錬尾鉱（mill tailings）の管理）で用いられている性能期間に準ずる。	<ul style="list-style-type: none"> ・既に確立され、実績がある枠組みを用いることができる。 ・高レベル放射性廃棄物処分等の規制に準じる場合、不確実性の大きい長期的な影響よりも、不確実性の小さい近い将来の影響を優先する。 ・現在の NRC の方針との整合性が高い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・廃棄物の特性の違いを考慮する必要がある。 ・長期的な不確実性に対する考慮は大きくない。 ・規制にあいまいさが残る。
④ 不確実性の増大に合わせて性能期間を 3 つの期間に分け、それぞれに異なる線量基準を設ける（又は設けない。）。	<ul style="list-style-type: none"> ・長期的な評価に伴う不確実性をよく考慮されている。 ・世代間の公平性と、限りある現在の資源の配分に対する社会経済の現実とのバランスを取ることができる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・従来の低レベル放射性廃棄物処分に対する手法と大きく異なっている。
⑤ 有害廃棄物処分施設と同様の規制（最低 30 年間の閉鎖後管理等）とする。	<ul style="list-style-type: none"> ・世代間の公平性に関する原則に整合しており、現代及び近い将来の世代に対する防護が強固である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・現在の NRC の方針との整合性が低い。 ・長期的な不確実性を考慮していない。

その後の検討で、以下の理由からコンプライアンス期間は 1 万年とする事務局案が作成された³³。

- ・ ウラン全体における ^{234}U の割合が大きい場合、2 万年と 1 万年とでウラン濃度に大きな差がないこと。

- ・ 高レベル放射性廃棄物処分場における線量基準は1万年までと1万年から100万年までとで異なっており、期間をそろえることができること。
- ・ 既に低レベル放射性廃棄物処分場を規制している幾つかの州政府が許認可の際に1万年のコンプライアンス期間を設定していること。処分場を規制している4つの州政府のうち、ワシントン州は1万年、ユタ州は多量のウランについて1万年（その他の放射性核種は500年）、サウスカロライナ州は2,000年のコンプライアンス期間を設定しており、テキサス州は移行しやすい放射性核種のピークが現れる時期（実際的には5万年）まで評価している。

これらの事務局案に対し、NRCの諮問機関であるACRS（Advisory Committee on Reactor Safeguards）は主に以下のような意見を示した³⁰。

- ・ エネルギー省（the US Department of Energy, DOE）は自らが実施及び規制を行う浅地中処分について、コンプライアンス期間を1,000年に設定している。
- ・ 適切な処分（地表近くの処分（shallow disposal）でないこと、乾燥したサイト条件であること、頑健なラドンバリアが設置されることなど）を行えば、酸化状態にある劣化ウランを埋設処分することによるリスクを低く抑えることができる。
- ・ NRCの方針である、「合理的に予測できる将来」をコンプライアンス期間とするという観点からは、事務局の提案する1万年間のコンプライアンス期間には同意できない。

上記意見にNRCの委員も同意し、1,000年間のコンプライアンス期間（線量基準は0.25 mSv/y）、1,000年から1万年の期間の防護保証期間（Protective Assurance Period, 線量基準は5 mSv/y）及び1万年以降の性能期間（Performance Period）という3段階の評価を提案し、その案でパブリックコメントを受けることになった。この案は、不確実性が大きいことを理由に潜在的な長期的な影響を無視すべきでないが、同時に、遠い未来の世代に対する仮想的かつ不明なリスクを回避するために現世代に大きな負荷を与えるべきではないという思想に基づいている³⁴。しかし、パブリックコメントにおいて、上記の3段階の評価は必要以上に複雑であること、防護保証期間における線量基準5 mSv/yが0.25 mSv/yに比べて高すぎることを、長半減期核種の量が多くない従来の廃棄物処分施設に対してもこのような追加の要求をすることは合理的でないことといったコメントを受け、NRC事務局は最終的に以下のような最終ドラフトを作成した³⁵。

- ・ 長半減期核種が有意な量（Significant Quantity、ガイド案³⁶ではウランを含む長半減期 α 核種については370 Bq/gとしている。）含まれていない場合は、コンプライアンス期間として1,000年を選ぶことができ、その期間の範囲で、一般公衆に対しては0.25 mSv/y、意図しない人間侵入シナリオ^(注6)に関しては5 mSv/yの線量基準により安全評価を行うこととする。なお、1,000年のコンプライアンス期間を選ぶ場合には、1万年のコンプ

^(注6) 現在の10CFR part 61には人間侵入に対する線量基準は定められていない。ただし、10CFR part 61において、低レベル放射性廃棄物埋設施設は連邦又は州政府の所有地の上に立地すること、及び施設の閉鎖後は許認可を土地の所有者に移管し、所有者である政府は100年間土地の利用を制限することが定められている²⁷。

ライアンス期間の評価が必要ではないことを証明しなくてはならない。

- ・ 長半減期核種が有意な量以上含まれている場合は、コンプライアンス期間を 1 万年とする。また 1 万年以降は性能期間として線量基準は設けないが、一般公衆及び意図しない侵入者の被ばくを合理的に達成可能な程度に最小化すること、そのために入手可能なデータ及び現在の科学的知見に基づき、施設が性能期間中の長半減期核種の放射線影響をどれほど制限しているのかを評価することとする。

上記の最終ドラフトに対して NRC 委員からは、長半減期核種の量にかかわらずコンプライアンス期間を 1,000 年とすること、バックフィットを多量の劣化ウランを受け入れる予定の処分場に限定すること等の変更を加えた規則案を作成するよう指示があったが³⁷、2020 年 6 月時点で修正された規則案は公表されていない。

以上をまとめると、ウランが持つ長期的な放射線影響の評価結果と評価は予見可能な未来までしか意味をなさないという考え方の両方を考慮した結果、複雑な基準となったため、より単純なものへと変更されていった（ただし、現在も最終的な結論は出ていない。）といえる。なお、上述の議論で対象になっているウラン廃棄物は多量の劣化ウランであり、日本で想定されているウラン廃棄物⁸に比べて量も放射能濃度もはるかに高いことに留意する必要がある。

また、現行の 10 CFR part 61 における安全評価方法に関するガイドでは、人間侵入の評価における子孫核種のビルドアップの影響のうち最も大きなものとしてラドンの影響を挙げ、その評価方法を示している³⁸。さらに、新たな 10 CFR part 61 のガイド案においてもラドンを含む放射性ガスの評価方法について記載があり、ウラン濃度が高い廃棄物の場合は被ばく経路にラドン吸入被ばくを加えることを示している³⁶。

3.1.2 埋設の実例

現在、民間からの放射性廃棄物を受け入れている米国の低レベル放射性廃棄物埋設施設は 4 つあるが、そのいずれも、ウランを含む廃棄物も埋設されている（各施設がこれまでに受け入れた放射性廃棄物の量の詳細は DOE の専用のシステムで公開されている³⁹）。これらの埋設施設が立地され、NRC と協定を結んでいる州（Agreement States と呼ばれる。）は、州政府によって埋設施設の許認可を与えることになっている。そのため、3.1.1 に示したとおり、州によって評価期間の扱いは異なる。例えば、ワシントン州のハンフォード処分場には、民間の燃料加工施設からのウラン廃棄物が埋設されており、その許認可では、総放射エネルギーの上限 (^{238}U : 1547.7 Ci (約 57 TBq) 及び ^{234}U : 335.4 Ci (約 12 TBq)) はあるが、放射能濃度の上限はない⁴⁰。安全評価においては、評価期間を 1 万年までとし、ラドンからの被ばくも含めて評価しているが、この処分場は一般産業から発生する NORM 廃棄物も受け入れており、1 万年までの間のラドンの影響は、NORM 廃棄物に含まれる ^{226}Ra の寄与が大きい⁴¹。

4 つの埋設施設の中には、上述した NRC の検討に合わせ、劣化ウランを受け入れようと

対応を行っている施設もある。ユタ州のクライブ処分場では、1 万年までの線量評価（線量基準 0.25 mSv/y と比較）に加え、10 万年から 210 万年後（劣化ウラン及びその子孫核種の放射能が最大となる時期）までの長期評価を行い、規制機関であるユタ州政府による審査を受けている⁴²。長期評価では、氷期のサイクルによって処分場が存在する盆地が湖となるのと干上がるのが繰り返される（100 万年間に 2 回以上）ことで廃棄物が周辺へと散らばることを想定し、湖の水中及び堆積物中の放射能濃度並びにラドンガスの放出量（初めて湖が干上がった時点）を求めている。また、テキサス州のアンドリュース処分場では、2016 年から高濃度（10 nCi/g (370 Bq/g) 以上）の劣化ウランの埋設が可能になっているが、高濃度の劣化ウランを埋設する場合は、コンクリートキャニスタで廃棄体化し、可能な限り深い位置に埋設することが、テキサス州政府による許可条件となっている⁴³。

3.2 英国

3.2.1 規制制度

英国では、各自治政府の規制機関が連名で放射性廃棄物の浅地中処分場に対する詳細なガイドを 2009 年に発行した⁴⁴。本ガイドでは、管理期間終了後の代表的個人に対する放射線影響の基準として、 10^{-6} /y というリスクガイダンスレベル^(注7)を設定している。規制機関は、事業者が実施するリスク評価について、楽観的な評価ではないか、リスクガイダンスレベルに整合しているか、及び将来の異なる時点に対する線量の確率分布について、大まかに見て、線量が大きくなるにつれて確率は下がっているかという観点で判断する（6.3.34 項）。一方、人間侵入に対しては、その発生確率を十分に定量化できないため^(注8)、約 3 mSv/y から約 20 mSv/y の範囲の線量ガイダンスレベルを超えるべきではないとしている。この範囲の下限値は、長期間にわたって継続して評価される被ばく（長期被ばく）に適用され、上限値は短期（一時的被ばく）のみの被ばくに適用されるとしている（6.3.36 項）。この線量基準への助言を行った Health Protection Agency, HPA（現在の Public Health England, PHE）によると、3 mSv/y という値は汚染された土地への介入を検討するレベルが 3 mSv/y であったことを根拠としている⁴⁵。

同ガイドでは、定量的な安全評価は、放射線リスクがピークとなるまで又は不確実性が大きくなり定量的評価が意味をなくすまで行う必要があると示している（7.2.8 項）。HPA は、施設閉鎖から約 1 万年後以降、氷期と間氷期のサイクルによって、環境条件及び人間活動の不確実性が大きくなり生活環境の信頼性の高いモデル化が不可能になること、及び地上の広い範囲が侵食される可能性と施設周辺に人が住まなくなる可能性があることから、その後の評価は代表的な想定（‘reference’ assumption）に基づく被ばく線量の範囲を示すにとどめるべきとしている⁴⁵。なお、100 万年後以降の定量的な評価結果は信頼できないと

(注7) 管理期間中の順守が求められる線量拘束値と異なり、ガイダンスレベルという用語は、規制機関が期待する環境安全の基準ではあるが、この値を満たすことを絶対的に求めるものではない、ということを図して用いられている。

(注8) ただし、人間侵入の発生可能性を低減する実用的な方法を検討し、実行に移すべきだとしている。

している。

また、ガイドでは、施設から発生する放射性ガスについて検討すべきとしている（6.4.22 項）。特にラドンについては、人間侵入の評価における扱いに関する注意点が記載されており、ラドンによる被ばくの評価には大きな不確実性が伴うため、全ての放射性核種からの被ばく線量の合計だけでなく、ラドンによる被ばく線量のみでの評価結果も合わせて示すべきとしている（6.3.39 項）。また、HPA は人間侵入における長期被ばくに対するガイダンスレベルである 3 mSv/y はラドンの影響を除いたものであり、ラドンの影響を含めた場合は 3 mSv/y から 3 倍は大きくなる（=10 mSv/y）と助言しており、ガイドもその助言を受入れていることが付録に示されている（A1-4.4.5 項）。

なお、ガイドにおけるラドンの影響以外の観点でのウラン廃棄物を意図した記載として、ウランやプルトニウムは重金属であり、その非放射線影響も示すべきとしている。

3.2.2 埋設の実例

英国で発生するウラン廃棄物（主にスプリングフィールド加工・転換工場及びカーペンハースト濃縮工場から発生）のうち、比較的濃度の低いもの（全ての放射性核種の放射能濃度の合計が、廃棄物 10 トン単位で 200 Bq/g 及び廃棄物 1 個単位で 1,000 Bq/g を超えないことが要件）は、クリフトンマーシュ処分場で埋設処分されている。この処分場では、放射性廃棄物でない一般産業廃棄物と放射能濃度の低い放射性廃棄物（そのほとんどがウラン廃棄物）とが同一施設の同一区画に埋設されている。事業者が実施した同施設の安全評価では、地下水シナリオは施設閉鎖 10 万年後まで評価を行っているが、発生頻度の低いシナリオの 1 つである施設直上の居住者の被ばくは施設閉鎖 500 年後までで評価期間を打ち切っている（その根拠は示されていない。）⁴⁶。それでも、その評価結果は、ラドン吸入被ばくによって 2.83 mSv/y となり、設定した線量基準^(註9)である 1 mSv/y を超えている。この評価値については、建物の容積、換気率、ラドン放出率等のパラメータによって大きく変化するものであること、及び建物の基礎や底部のコンクリートの効果を見逃し、廃棄物から放出したラドンが直接屋内に入るという非常に保守的な想定をしていることが述べられている。イングランドの規制機関である Environment Agency（EA）による審査では、独自に事業者より保守的な設定で計算した結果、人間侵入（跡地居住）によるラドンの被ばく線量は 12.7 mSv/y となり、線量基準である 1 mSv/y に比べて大きい。河口近くに位置する埋設施設の跡地に家が建てられる可能性は低いこと、そして、仮に家が建てられたとしても、既に英国内の別の地域ではラドンのリスクが適切に管理されているように、ラドンのリスクはよく認識されており、居住者がそのリスクに気付きさえすれば、リスクは容易に軽減されるだろうことを理由に許可している⁴⁷。

^(註9) EA は、グレーデッドアプローチに基づき、低い濃度の放射性廃棄物しか埋設しない施設は一般的に低い線量しか与えないため、より単純かつ保守的な評価で良いが、その分厳しい放射線被ばくの基準を設定するとし、可能性の大きいシナリオについて 0.02 mSv/y、可能性の低いシナリオについて 1 mSv/y という線量基準を挙げており⁴⁷、事業者が実施した安全評価結果はこの線量基準と比較されている⁴⁶。

ウラン廃棄物のうち比較的濃度の高いものは、原子力発電所、核燃料サイクル施設の他、軍事施設、医療施設、教育施設等で発生する低レベル放射性廃棄物を受け入れているドリッグ処分場で埋設処分されている。閉鎖後の安全評価としては、処分場は海岸近くに立地しており、埋設終了から最も早くても 300 年後、最も遅くても 3,000 年後には海岸の侵食が施設まで到達すると想定されるため、侵食に伴い廃棄物が広がった浜辺で活動及び居住する公衆の被ばくを評価している⁴⁸。埋設しようとする廃棄物中には現時点において ^{226}Ra が含まれており、埋設終了直後はその影響は大きい、さらに、埋設した ^{234}U から将来発生する ^{226}Ra の影響を確認するため、埋設終了 1 万年後まで海岸線や海水準が変化しない場合の評価を仮想的に行っている。ラドンの影響については、廃棄物から家屋内へ速くガスが移動できるような経路がない限り影響はないとし、そのような経路が生じるのは人間侵入が起きる場合に限定している（廃棄物から発生する他の放射性気体である ^{14}C については、リスク評価の対象としている。）。人間侵入の評価では、保守的に雨水による放射性核種の施設外への流出を無視しており、跡地に居住する人の被ばく線量の評価結果は、最も ^{234}U の埋設量が多いボルト直上において埋設終了 1 万年後に約 7 mSv/y となっている。本評価結果について、EA による審査結果では、評価結果は基準（ガイド）を満たしている旨の記載のみである⁴⁹。なお、上記の評価においてラドンの影響は、土壌中の ^{226}Ra 濃度と屋内ラドン濃度が比例しているとして、英国における両者の統計データから求めたその比例定数を用いて評価し、線量として含まれている⁵⁰。

3.3 フランス

3.3.1 規制制度

フランスにおける原子力施設から発生する廃棄物の区分は、その放射能のレベルと半減期の長さ（31 年が目安）によって分けられており⁵¹、そのうち短半減期かつ中レベル以下の放射性廃棄物のみが現在浅地中処分されている。それらの施設に対する技術的な基準を定めた文書として、短半減期低中レベル放射性廃棄物の地表処分に対するガイド(RFS-I.2.)⁵²がある。RFS-I.2.は α 核種濃度を廃棄物平均で 370 Bq/g、最大放射能濃度で 3,700 Bq/g（廃棄物パッケージ製作時のばらつきを考慮して例外的に 18,500 Bq/g まで可）に制限している。RFS-I.2.では人間侵入も考慮した閉鎖後の評価を求めているが、公衆の（全ての原子力活動からの）線量限度 1mSv/y を除いて線量基準の規定はなく、埋設処分の実施主体である Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs（ANDRA）が独自に基本シナリオに対する制限値及び変動シナリオの参考値として 0.25 mSv/y をそれぞれ設定している⁵³。また、評価期間に関する規定及びウラン廃棄物に着目した規定はない。

3.3.2 埋設の実例

現在、おおむね 100 Bq/g 以下の極低レベル放射性廃棄物がモルヴィリエ処分場(Le Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage, Cires)に、短半減期低中レベル放射性

廃棄物がオーブ処分場（Le Centres de stockage de l'Aube, CSA）に埋設処分されている。オーブ処分場では RFS-I.2. が示す α 核種濃度の制限値（3.3.1 参照）をそのまま受入基準として設定し、この基準に基づきウラン廃棄物も受け入れている。一方、モルヴィリエ処分場の受入基準は、同処分場に対する県による操業許可において、放射性核種を3つのクラスに分類し、そのクラスごとに受入基準値が示されており⁵⁴、ウランを含むクラス 2 にあたる放射性核種⁵⁵についてはバッチごとに 100 Bq/g、廃棄物ごとに 1,000 Bq/g という基準値が定められている。両処分場における安全評価書は公開されていないが、規制機関の技術支援を行う Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire（IRSN）によると、オーブ処分場では地下水シナリオについて施設閉鎖 10 万年後まで評価を行っているものの、人間侵入シナリオについては、両処分場ともに制度的管理終了直後での評価のみとのことだった⁵⁶。

3.4 スウェーデン

3.4.1 規制制度

スウェーデンにおいてウラン加工施設から発生するウラン廃棄物は、可能な限りウランを回収するという政策をとっており、低レベル放射性廃棄物処分場には埋設されていない⁵⁷。一方、クリアランスに関する規則（SSMFS 2018:3）では、一般的なクリアランス基準（ α 核種については 4 kBq/m³）や、放射性核種ごとのクリアランスレベル（²³⁴U、²³⁵U（²³¹Th を含む。）及び ²³⁸U（直ちに放射平衡に達する ²³⁴Th、²³⁴Pa 及び ^{234m}Pa を含む。）については 1 Bq/g）を規定しており、加えて、特定の条件において、規制機関である Strålsäkerhetsmyndigheten（SSM）が上記とは別のクリアランスレベルを設定するとしている（21 §）⁵⁸。この規定に基づき、ウラン回収で残った放射能濃度の低いウラン廃棄物は市の廃棄物処分場で非放射性の廃棄物と共に埋設処分されている。

3.4.2 埋設の実例

3.4.1 で示した条件付クリアランスの制度によって、かつて3か所の処分場（Risängen、Gryta 及び Fortum Waste Solutions（旧 SAKAB））それぞれにおいて、ウラン廃棄物の受入れごとに個別に埋設が可能かをケースバイケースで審査され、埋設処分されてきたが、現在は、3か所のうちの2か所の処分場（Gryta 及び Fortum Waste Solutions（旧 SAKAB））で線量評価結果が 10 μ Sv/y オーダーになることを条件にウラン廃棄物が埋設処分されている。これら処分場の線量評価では汚染された地下水を利用することによる被ばくについて子孫核種の影響を含めて評価しているが（ラドンの評価もするが 10 μ Sv/y オーダーという線量基準への遵守は求めている）、人間侵入による被ばくは埋設時点でのインベントリで評価している^{56, 59}。これらの評価から算出した 10 μ Sv/y オーダー相当濃度である 10 Bq/g（²³⁴U、²³⁵U 及び ²³⁸U）を受入基準として設定している。このように、地下水を経由した被ばくの評価では子孫核種の影響を考慮する一方で、跡地掘削に伴う被ばくの評価では時間

の経過に伴い生じる子孫核種を無視している。

3.5 ベルギー

3.5.1 規制制度

ベルギーには現時点では放射性廃棄物の処分に特化した法令は存在せず、放射性廃棄物処分施設の許認可の体系に関する規則と安全要件に関する規則がそれぞれ作成中である⁶⁰。そのため、現時点では、一般的な放射線防護に関する規則である電離放射線の危険性に対する公衆、作業員及び環境の防護に関する一般規制に係る王令（General Regulations for the protection of workers, the population and the environment against the hazards of ionizing Radiation, laid down by Royal Decree of 20 July 2001, GRR-2001）や原子力施設一般に対する安全要件を示す原子力施設に対する安全要件に係る王令（Safety Requirements for Nuclear Installations, laid down by Royal Decree of 30 November 2011, SRNI-2011）が適用されている⁶⁰。規制機関である連邦原子力管理庁（Federal Agency for Nuclear Control, FANC）はベルギーにおける放射性廃棄物処分の実施主体である放射性廃棄物・濃縮核分裂性物質管理機関（Organisme national des déchets radioactifs et des matières fissiles enrichies（フランス語）、Nationale instelling voor radioactief afval en verrijkte Splijtstoffen（オランダ語）、ONDRAF/NIRAS）に対して幾つかのガイドを作成しており⁶⁰、そのうち放射性廃棄物処分の閉鎖後安全評価に関する放射線防護基準についてのガイド（Technical guide “Radiation Protection Criteria for Post-Operational safety assessment for Radioactive Waste Disposal”）に、閉鎖後の時間経過に合わせた評価の方法に関する指針が示されている⁶¹。本指針では、数千年を超える超長期における線量評価には大きな不確実性が伴うが、線量は依然として施設の防護レベルの指標の1つであり、また、環境（土壌、空気及び水）中の放射線毒性といった代替指標も用いるべきとしている。そのため、基本シナリオ（Expected Evolution Scenario）に対する線量拘束値である0.1 mSv/y^(注10)や低頻度シナリオ（Unexpected but Possible Evolution Scenario）に対するリスク拘束値 10^{-6} /yは、数千年後以降、影響の受容性を判断するための参考値であるとしている。さらに、施設の性能が確からしさをもって予測できないほどの未来（性能保持期間（period of performance preservation）以降）においては、ペナライジングシナリオ（penalizing scenario）と呼ばれる超長期において可能性のある異なる状況における影響を包含するシナリオを用いた評価が求められている。このシナリオに対する参考値は3 mSv/yとしている。なお、人間侵入については専用のガイド（Guide on Considering the Risk of Human Intrusion into Surface Repositories for Radioactive Waste, Note AFCN 007-087-F）に記載がある。当該ガイドでは人間侵入の線量基準を3 mSv/yと定めている⁶⁰。ONDRAF/NIRASの報告書では、ペナライジングシナリオ及び人間侵入に対する3 mSv/yという基準値は自然バックグラウンド線量（1から13 mSv/yの間）に相当するとされている⁶²。

^(注10) 王令上は0.3 mSv/yと定められているが、FANCが提案する値としてガイドに示されている⁶¹。

3.5.2 埋設の実例

ONDRAF/NIRAS による浅地中処分施設は現在申請中であるが、その安全報告書では、許可を受け建設を開始してからの期間を6つの段階に分けており、処分場閉鎖後の制度的管理段階は350年後まで、隔離段階 (isolation Phase) は800年後まで、化学的な閉じ込め段階 (Chemical Containment Phase) は数千年後までとし、その後は、FANCの示す性能保持期間以降に対応する閉じ込め終了後段階 (Post-containment phase) としている⁶²。安全報告書の中では、施設の安全機能と施設の構成要素とがどう対応し、それぞれが各段階においてどの程度発揮されるのかが整理されている。なお、システムの変遷の不確実性が大きいことため閉じ込め終了後段階における閉じ込めの評価は例示的な (illustrative) ものであるとしつつ、ウランを含む長半減期核種の線量評価を100万年まで実施している⁵⁶。また、FANCの示すペナライジングシナリオの評価も実施しており、その時期はFANCとの協議の結果、閉鎖2,000年後以降とされている⁶²。また、人間侵入の評価は管理期間終了直後の時点で行っている⁶²。なお、同施設では、長半減期核種の受入上限を、ウランを含む主要な32の長半減期核種に対する線量評価によって定めており、放射エネルギー及び体積放射能濃度で示している⁶²。例えば²³⁸Uの上限値は 1.73×10^{12} Bq及び 6.87×10^9 Bq/m³であり、それに対し、想定されるインベントリは 1.34×10^{10} Bqとしている。

4. ウラン廃棄物のクリアランスに関する国際基準

本章では、天然起源核種及びウランのクリアランスに対する国際基準の概要を示す。2章と同様、IAEA安全基準文書の関連する記述を紹介するが、欧州連合 (European Union, EU) の加盟国は、次の5章で説明するように、EUが定める国際基準に基づき放射線防護に関する規制を定めるため、合わせてEUの定める国際基準におけるクリアランスの記述も説明する。加えて、それらの国際基準の前提となっている、ICRPの勧告のうち、クリアランスに関するものも紹介する。

4.1 IAEA

安全要件の1つであるGSR part 3「放射線防護及び線源の安全性；国際基本安全基準」は、放射線防護に関する基本的な基準を定めた文書 (Basic Safety Standard, BSS と呼ばれる。) である⁶³。GSR part 3では、天然線源 (natural source) からの被ばくは現存被ばく状況と考えられ (3.4項)、放射性物質及び放射線の利用の際の計画被ばく状況とは異なる要件が定められている (ただし、後述の基準濃度を超える放射能濃度の天然線源からの被ばくには計画被ばく状況に対する要件も課される。)。ここでの天然線源の定義はNORMの定義に近いが、原子力施設で使用される放射性物質及び原子力施設から排出される放射性廃棄物は除かれている。そのため、ウラン廃棄物からの被ばくは他の放射性廃棄物と同様、計画被ばく状況として規制を受けることになる。

GSR part 3 の付則 (Schedule) I には免除とクリアランスの基準が定められている。ここでは、クリアランスの一般的な要件として、①規制による管理が正当化されないほど被ばくリスクが小さく、この要件を満たせなくなるようなシナリオが生じる可能性ははっきりとは存在しないこと、又は②個人線量又は健康リスクを減らすという点において有益な結果が得られるような合理的な管理手段が存在せず、規制による管理を継続することの純便益がないことを挙げている (I.10 項)。また、それらを満たす具体的な条件として、一般的な要件①の観点から、合理的に予見可能な将来のあらゆる個人に対する実効線量が 10 $\mu\text{Sv/y}$ のオーダー以下であり、かつ低確率シナリオでも 1 mSv/y を超えないこと (□.11 項) や、放射能濃度が GSR part 3 が示す基準濃度を超えないこと (I.12 項) が示されている。この基準濃度は人工起源核種と天然起源核種とが異なる表で示されており、天然起源核種の表では、 ^{40}K が 10 Bq/g 、ウラン系列及びトリウム系列のそれぞれの放射性核種が 1 Bq/g となっている。

この放射能濃度による要件に加え、残さのうち、建築材料にリサイクルされるか、それを処分することで飲料水の水源が汚染されそうなものに含まれる天然起源核種については、自然バックグラウンド線量の典型的な値である 1 mSv/y のオーダーの線量基準に基づく特定の基準濃度を超えないことも、クリアランスの具体的な条件として挙げている (I.12 項)。ただし、この要件については、GSR part 3 において、天然線源からの被ばくのうち、建築材料及び飲料水を含む商品 (Commodity) に含まれる天然起源核種からの被ばくについては、その放射能濃度にかかわらず現存被ばく状況の要件が課されるとされており (5.1 項)、これら商品に対する要件として、代表的個人への実効線量が通常約 1 mSv/y を超えないことを基準とした参考レベルを設定することを規制機関等に求めている (5.22 項) という背景がある。つまり、このクリアランスレベルの設定基準は、あくまで残さを対象としており、クリアランスに由来する建築材料や飲料水中の天然起源核種を天然線源として扱うことが前提になっていると思われる。

GSR part 3 の付則 I の記載は、GSR part 3 の制定前に発行された安全指針の 1 つである RS-G-1.7「除外、免除及びクリアランスの概念の適用」に基づいている⁵。RS-G-1.7 は除外及び免除のための放射能濃度基準を示した文書であり、その値のクリアランスへの適用性についても論じている。上記の天然起源核種に対する基準値は、除外の概念を用いて、世界の土壌中の放射能濃度分布の上限を考慮して導出したこと (3.2, 3.3 項)、この基準値からの個人の被ばく線量はラドンの吸入被ばくを除けばおおむね約 1 mSv/y を超えないこと (3.3 項)、及びこの基準値はクリアランスにも使用できること (5.3 項) が示されている。

RS-G-1.7 で示された基準値の導出については、更に下位文書に当たる SRS-44「除外、免除及びクリアランスのための放射能濃度値の導出」に詳細が示されている⁶⁴。SRS-44 では、仮に天然起源核種の濃度基準値を人工起源核種と同様の線量基準 (現実的なパラメータを適用した評価で 10 $\mu\text{Sv/y}$ 、低確率シナリオでの評価で 1 mSv/y 及び皮膚への等価線量 50 mSv/y) を基に算出した場合、その濃度は多くの天然の環境材料の放射能濃度を下回り、こ

れまで放射線の観点から規制されてこなかった多くの活動を規制することになってしまい、規制の最適化の観点から不適切であること（2章）から、天然の土壌、鉱物、原料物質、工業残さ、製品等の放射能濃度を国連が調査した結果を引用し、それらの多くを上回る濃度値として設定したこと（5章）が示されている。また、人工起源核種のクリアランスレベルを設定する際の線量評価において子孫核種の影響を100年間考慮していることも示されている（3.1.2項）。この100年という期間について、 ^{241}Pu と ^{241}Am の関係を例にとり、100年間クリアランスレベルを下回ることが確認できれば、それ以降合理的な期間はクリアランスレベルを上回ることはないこと（3.1.2項）、及びクリアランスされた物質が埋設され、地下水を経て被ばくするシナリオにおいて、放射性核種によっては人が利用する井戸や川に到達するまでに長い時間が掛かることがあるが、評価期間を100年で打ち切るか否かによって算定されるクリアランスレベルに差がないこと（4.3.4.4項）が示されている。

以上をまとめると、IAEAは放射線防護の観点において、天然起源核種からの被ばくに対して、原子力施設で使用される又は原子力施設から発生する天然起源核種（天然線源）による被ばくと、それ以外の天然起源核種による被ばくとで異なる被ばく状況の基準が適用されるとしており、ウラン及びその子孫核種のクリアランスレベルである1 Bq/gという値は後者を意識して設定されたものであるといえる。その一方で、上記のクリアランスレベルはウラン廃棄物のような原子力施設で発生する放射性物質には適用できないというような記載は存在しない。IAEAの安全基準を自国の規制にどのように適用するかは各国に委ねられており、本件についても同様であるといえる。ただし、2020年現在においてRS-G-1.7は改定作業中であり、公開されている改定版ドラフト（Step 7（第一査読段階）、2020年4月9日付）には、例えばウラン燃料加工、ウラン濃縮及びウラン転換施設から生じる廃棄物中のウランといった行為から生じる天然起源核種を含む物質のクリアランスは、1 Bq/gという天然起源核種に対する放射能濃度値を適用することはできず、人工起源核種と同様、GSR part 3の□.11項で示す線量基準（合理的に予見可能な将来に対し10 $\mu\text{Sv/y}$ のオーダー及び低確率シナリオに対し1 mSv/y）に基づいてクリアランスレベルを設定すべきであるという記述がある（3.11, 4.7）⁶⁵。

なお、後述する欧州委員会（European Commission, EC）がクリアランスレベルを計算した報告書であるRP-122 Part 1⁶⁶とIAEAのRS-G-1.7とを比較したECの文書⁶⁷によると、元々無条件クリアランスレベルを設定するための文書であったRS-G-1.7の検討段階において、除外、免除及びクリアランスを統一的な基準値で扱おうとする意見によって基準値の対象が拡大した（3.3節）結果、天然起源核種の濃度基準値は、自然環境中の物質及びNORMを用いる一般産業で生じる物質との干渉を避けるために現在の値になったと示されている（4.3.3.2項）。また、RS-G-1.7は、天然起源核種は原子力利用とは無関係であり、天然起源核種に関するあらゆる放射線レベルは天然の存在量に関する考慮によってのみ導出されるという前提から、天然起源核種のクリアランスレベルを線量評価ではなく、天然の土壌等の濃度に基づいて決定したとしている。

4.2 EU

EUはその加盟国に対して適用される国際法による法体系を持つ。そのうちEU理事会指令2013/59/EURATOM⁶⁸はEUにおけるBSSに相当する。なお、指令(Directive)には政策目標と実施期限(2013/59/EURATOMの場合は2018年2月)が定められ、指令が採択されると、各加盟国は、実施期限内に政策目標を達成するために国内立法等の措置を採ることが求められるが、具体的な措置内容は各加盟国に委ねられる。2013/59/EURATOMは、認可された行為(authorised practices)からのクリアランスに関して、これまで使用されてきたRP-122に基づくクリアランスレベルの代わりにIAEAのRS-G-1.7の値をクリアランスレベルとして採用すると示している(37条)。ここで、行為(practices)という用語は、「線源からの放射線による個人の被ばく線量を増加させるような活動で、計画被ばく状況として管理されるもの」と定義されている(4条(65))。付録7にクリアランスレベルの表及びその適用方法が示されており、基本的にはRS-G-1.7と同一だが、天然起源核種の表について、免除にも用いられること、1 Bq/gが適用されるのは²³⁸U系列又は²³²Th系列の放射性核種で永続平衡に至っているものであることが明記されている。

また、30条3において、認可された行為のうち原子力利用のために天然核種(natural radionuclides)を処理するものによって生じる天然起源核種を含む物質のクリアランスについて、そのクリアランスレベルは人工核種(artificial radionuclides)を含む物質のクリアランスの線量基準に従うことを示している。この線量基準に相当するものとして、付録7の表にない人工核種のクリアランスレベルを設定する際、公衆の被ばくが10 µSv/yのオーダー以下であることで被ばくが十分に低いことを示すことになるとの記載がある。すなわち、EUのBSSにおいては、ウラン廃棄物のようなウランの原子力利用を意図した活動によって生じる天然起源核種を含む物質のクリアランスレベルは天然の土壤中の放射能濃度に基づいて決定された1 Bq/gではなく、人工核種と同様、線量基準(例えば10 µSv/yのオーダー)に基づく線量評価によって決定すべきとされていると解釈できる。

上述のとおり、2013/59/EURATOMの制定前は、EUの政策執行機関である欧州委員会(European Commission, EC)が幾つかの報告書でクリアランスレベルの推奨値を示していた。そのうちRP-122は、2013/59/EURATOM以前のEUにおけるBSSである96/29/EURATOM⁶⁹(以下「EU旧BSS」という。)に基づき、行為から生じる物質の無条件クリアランスレベル及びその導出過程を示したPart 1⁶⁶と、免除及びクリアランスの概念の天然放射線源(natural radiation source)への適用について示したPart 2⁷⁰からなる。なお、行為(Practice)の定義は新旧のEUにおけるBSSで異なっており、EU旧BSSの定義は、「人工線源又は原子力利用のために天然核種を処理する活動に伴う天然放射線源からの放射線による個人の被ばく線量を増加させるような活動(緊急時被ばく状況を除く。)」である。Part 1には、幾つかの被ばく経路を想定した線量評価に基づいて、人工核種と同様、ウランを含む天然起源核種のクリアランスレベルも導出されているが(例えば²³⁸U(直ちに

放射平衡に達する ^{234}Th 、 ^{234}Pa 及び $^{234\text{m}}\text{Pa}$ を含む。) や ^{234}U は 1 Bq/g 、 ^{226}Ra (直ちに放射平衡に達する ^{222}Rn 、 ^{218}Po 、 ^{214}Pb 、 ^{214}Bi 、 ^{214}Po を含む。) は 0.01 Bq/g 、これらの値は Part 2 と組み合わせて用いなくてはならず、ケースバイケースで対応すべきだとする記載がある (4.3 項)。なお、クリアランスされた物質は一定期間が過ぎると他の物質と十分に混合されることが想定されるため、それ以降の評価は意味をなさなくなるという考えに基づき、クリアランスレベルの導出のための線量評価では子孫核種を考慮する期間を 100 年までとしている (付録 12.2 項)。そのため、上記のウランのクリアランスレベルは、1.3.1 で述べた数万年後の放射能の増加は考慮されていない。また、そもそも Part 1 では気体の放射性物質を対象にしておらず、ラドン吸入による被ばくも考慮されていない。

次に、Part 2 では労働活動 (work activity) におけるクリアランスレベル及び免除値を示している。労働活動とは、行為には当たらないが、天然放射線源によって労働者又は公衆の被ばくが著しく増加する状況を指し、EU 旧 BSS の 7 章で適切な監視と必要に応じた対策を求めている。労働環境に対するクリアランスレベルは、自然バックグラウンド線量の変動、過去の検討等を考慮して 0.3 mSv/y を線量基準 (自然バックグラウンド線量に対して追加された線量の基準) として算出され、ウランについては、 ^{238}U 系列 (永続平衡の場合) が 0.5 Bq/g 、天然ウラン (^{230}Th 以下の子孫核種は含まない。) が 5 Bq/g である (いずれも天然同位体比での ^{235}U の影響を含む。) (註11)。なお、Part 2 の前文で、核燃料サイクルにおいて、原子力利用のために処理されているという事実をもって行為として規制されている天然起源核種について、Part 1 で示したクリアランスレベルを適用しようとしても、自然バックグラウンド線量が高く判断ができない場合があることを指摘している。また、物質を受け入れる業者 (例えば金属のリサイクル業者) はその物質が行為から発生したものか労働活動から発生したものを (特に発生元がなくなっている場合) 判断できないことがあり、そのような場合は労働活動に対する Part 2 を参照すべきであるとも記されている (前文及び 2.1 項)。

以上をまとめると、以前から EU においては、天然起源核種であってもそれが原子力利用を意図した活動によるものであれば人工核種と同様に被ばくりスクが十分に小さい放射能濃度としてクリアランスレベルを設定するという考え方を持っており、IAEA と同じクリアランスレベルを採用している現在の BSS においてもその考え方が明示されている。4.1 でも紹介した、IAEA と EU との (2010 年当時での) クリアランスレベルの違いについて論じた EC の報告書にも、原子力利用を意図した活動に伴う天然起源核種のクリアランスレベルの扱いが明示されているか否かという点で IAEA と EU が異なっていることが記載されている⁶⁷。ただし、IAEA 事務局へのインタビューによると、EU は GSR part 3 の共

(註11) 評価期間は明記されていないが、 ^{230}Th 以下の子孫核種を含むか否かによって算出されたクリアランスレベルやその決定経路が異なることから、長期的に生成される子孫核種の影響は考慮されていないと考えられる。また、ラドンの影響については、ラドンの影響を考慮せずにクリアランスレベルを評価した上で、評価シナリオごとに住居内及び労働空間内のラドン濃度がそれぞれ 200 Bq/m^3 及び 500 Bq/m^3 を超えていないことを確認している。

同提案者であり検討にも参加し、GSR part 3 と EU 理事会指令 2013/59/EURATOM の整合性は可能な限り確保しており、GSR part 3 に明確に記載されていないが、両者における規制要求の意図は同じであるとのことであった⁷¹。

4.3 ICRP

ICRP は国際的な非営利の非政府組織であり、放射線防護に関する勧告を行っている。特に、2007 年に発行された ICRP Publication 103 は放射線防護の基本原則についての勧告であり、線量を加える「行為」と線量を減らす「介入」という 2 つの概念に代わり、被ばくの状況を、計画被ばく状況、緊急時被ばく状況及び現存被ばく状況の 3 つに区分し、基本原則である正当化と最適化をこれらの全ての状況に適用している⁷²。IAEA の GSR part 3 も Publication 103 の提唱する被ばく状況の考え方を取り入れ、基準を規定している。Publication 103 では、規制の範囲を区別する 2 つの概念を挙げている。1 つ目は特定の被ばく状況の放射線防護の法規制からの「除外」であり、これは基本的に規制手段で制御することになじまない（例えば地表面における宇宙線による被ばく）又は規制できない（例えば体内の K-40）という根拠に基づいて行われる。2 つ目は一部又は全ての放射線防護の規制要件からの「免除」であり、多くの場合制御のための努力が関連するリスクに比べて大きすぎる（規制の必要がない）と判断されるという根拠で、そのような管理が是認されないとみなされるような状況に対して行われる（2.4 項）。これらの範囲や両者の区別は各国の規制によるとしている。また、除外と免除に関する更なるガイダンスとして、Publication 104 を紹介している。

ICRP Publication 104 は、Publication 103 と同時期に出版された除外と免除に関するより詳細な勧告である¹⁶。本勧告では、除外及び免除に関するそれぞれの記述の前に 2 章で背景を説明しているが、そのうち 2.6 項で、放射線防護の決定における社会の態度の重要性を説明している。被ばく状況を規制するか否か、又は特定の規制要件を適用するか否かの選択には、管理へのなじみややすさや正当化及び防護の最適化に対する社会的判断が要求されるが、これは文化的な感じ方により影響を受けるかもしれないとし、このことが NORM の規制が国によって多様であることとしている（(38)）。また、自然放射線による被ばくはあらゆる場所で起こるものであり、そのことが自然に存在する放射線や放射性核種による被ばくに対する考え方に影響を与えていることも述べている（(46)）。その上で、自然成分からの被ばくと人工成分からの被ばくを切り離すことは難しいため、自然か人工かで放射線被ばくを区別することは正確でない（incorrect）としている（(48)）。一方、公衆の構成員やその代表は両者の区別を固持するよう見え、天然線源に比べ人工線源に対する防護への社会的な期待は一般に強いことも述べている（(49)）。結論として、天然線源は放射線防護の規制に含まれるべきで、その起源又は大きさにかかわらず被ばくとして首尾一貫して矛盾のないように規制されるべきという考え方と、放射線防護の規制は種々の被ばく状況で影響を受ける人々の期待と管理へのなじみややすさやその結果として管理が

どの程度正当化できるかを考慮すべきという考え方の両方を ICRP は持つとしている ((51))。

Publication 104 では、除外について、原則として、人工の放射線や放射性物質に関わる放射線の計画被ばく状況は、常に何らかの形の管理になじむため、除外の概念が適用される事例は存在しないという、事実上の国際的な合意があるようだとしている ((54))。一方、規制対象とすべきかどうかの議論がなされている問題として、上述のとおり NORM を挙げ、除外と免除のどちらの概念を用いるかを含めた国による多様性を説明している ((57))。

次に、免除に関して、その原則として IAEA の以前の BSS を引用し、(i) 予想される個人のリスクへの寄与が、規制上の懸念が是認されないほど十分に低いことと、(ii) 放射線防護は規制に必要な努力を考慮に入れて最適化されていることとしている ((65))。関連して、ささいな被ばくの基準として、国際的に取るに足らないと考えられている 10^{-6} から 10^{-7} の年死亡リスクに対応する線量であり、かつ、自然バックグラウンド線量の変動に対して小さい線量として自然バックグラウンド線量の数%である数十 $\mu\text{Sv}/\text{y}$ が提唱されている ((67))。この基準から導出された $10 \mu\text{Sv}/\text{y}$ という線量が免除の判断基準であると誤解されがちであるが、免除の根拠としては後者の最適化の原則の方が重要であるとしている ((72))。また、免除レベルを導くのに数値基準 (特に $10 \mu\text{Sv}$ や $1 \text{人} \cdot \text{Sv}$ の判断基準) がほぼ機械的に用いられており、導かれたレベルが真に防護の最適化をもたらすかどうかほとんどチェックされていないという問題があるとしている ((87))。

Publication 104 におけるクリアランスの記述は免除に関する章である 4 章の中に存在し、クリアランスは免除の特殊な例であるとしている ((88))。一方、免除とクリアランスとの違いとして、免除は人 (又は法人) やその人に課されるはずの幾つかの要件に適用されるものであるのに対し ((64))、クリアランスは放射性物質に適用されるものであることを述べている ((91))。そのため、本質的に、免除された線源はまだ規制システムの範囲内に含まれるが、クリアランスされた放射性物質は、通常、実行可能な管理の外にあるとしている。その意味で、条件付クリアランスは、その後の制限を課することができないというクリアランスの概念とは異なる概念である ((96))。

NORM による被ばくの規制については個別に 7.2 項で説明されている。NORM による被ばくに対する防護については、ICRP も確立したガイダンスがなく、国内及び国際的な基準もあいまいであるが ((136))、これらの放射性物質に起因するバックグラウンド線量レベルが、そして更に重要であるのはそのレベルの変動が、 $10 \mu\text{Sv}/\text{y}$ を 1 桁も 2 桁も上回るため、NORM の免除に $10 \mu\text{Sv}/\text{y}$ の判断基準が適用できないとしている ((138))。したがって、NORM 被ばくに関わる状況の規制免除のためには、どんな合理的規模の規制もほとんど又は全く改善をもたらさないという 2 つの免除の原則のうちの後者に基づくべきであるとしている ((139))。その考えに基づき、 $1\sim 10 \text{Bq}/\text{g}$ や $1 \text{mSv}/\text{y}$ という基準が提案されているが、 $1 \text{mSv}/\text{y}$ 以上の被ばく状況の免除は、特に単純で管理しやすい代替手段が利用可能であるときには正当化されず、その上、ウラン採掘作業の背後にある、原子力産業で使用

されている天然起源核種を含む物質に関わる被ばく状況は、NORM 産業より比較的管理しやすいとしている。したがって、ウラン採掘活動を除く原子力産業での天然起源核種に対しては、NORM 産業に用いる免除の判断基準よりもっと低い判断基準を用いることが可能かもしれないと述べている ((141))。

5. ウラン廃棄物のクリアランスに関する諸外国における規制

ウラン廃棄物が存在する幾つかの国における、ウランのクリアランスに関する規制基準、特にクリアランスレベル及びその設定根拠について紹介する。

5.1 米国

米国には（何度か検討されたものの）一般的なクリアランスレベルによるクリアランス制度は存在しない。一方で、これまで、幾つかの条件に基づきケースバイケースで低い放射能しか持たない物質を規制による許認可から解放してきた⁷³。

まず、表面汚染廃棄物について、その汚染が非常に小さい場合はその後の規制が必要ないとされている。その基準は幾つかのガイド（例えば核原料物質（source materials）等を使用する施設の廃止措置に関するガイドである Policy and Guidance Directive FC 83-23⁷⁴の添付2）で共通の値が示されており、ウランについては平均で 5,000 dpm^(注12)/100 cm²、最大で 15,000 dpm/100 cm²、除染可能なものは 1,000 dpm/100 cm² となっている。なお、FC 83-23 の添付3では、施設の除染後にサイト解放が可能な土壌の汚染レベルも示しており、永続平衡の子孫核種を含む天然ウランは 10 pCi/g (0.37 Bq/g)、子孫核種を含まないウランは 35 pCi/g (1.295 Bq/g) である。

次に、内部まで汚染した廃棄物については、10CFR part 20 に基づき、低レベル放射性廃棄物のうち放射能の低いもの（very low-level waste 又は low-activity waste と呼ばれる。）は 10CFR part 61 で規定された低レベル放射性廃棄物処分場以外への処分（再利用及びリサイクルを含む。）が認められている (20.2002 項)⁷⁵。この判断はケースバイケースだが、主に 10 µSv/y のオーダー（原文では a few mrem）が基準として用いられている。一方、核原料物質についての規則である 10 CFR part 40 では、0.05wt%（天然ウラン換算で約 12.5 Bq/g に相当）未満の天然・劣化ウランしか含まない物質は “unimportant quantities” として規制から免除され (40.13 項(a))、埋設や再利用が可能となるという規定がある (40.51 項)⁷⁶。この 0.05wt% という濃度は核分裂性を利用する際に必要な量から算定されたものであるため、0.05wt% という濃度基準を満たしていても、免除後の扱いによっては 10 CFR part 20 に定められた公衆の個人の線量限度である 1 mSv/y を超える被ばくを与えるおそれがあることから、NRC が線量評価について審査を行うことになっている⁷⁷。この審査の結果は免除の許可になるため、そのような廃棄物を受け入れる産業廃棄物処分場、リサイ

(注12) 壊変毎分 (disintegration per minute) のこと。放射性物質が1秒間に壊変する原子の数を表す単位がベクレルであるのに対し、dpm は1分間に壊変する原子の数を表し、1 Bq=60 dpm。

クル工場等は許認可が不要となる⁷⁸。なお、実際の判断の際は、正当性が認められれば 1mSv/y 以上も受け入れ得る。ただし、有害廃棄物処分場のような施設で埋設処分されることを前提にしており、リサイクル等の別の目的での免除の申請があればケースバイケースで審査することになる。

本規定に基づきウラン廃棄物を埋設処分した例として、Honeywell International 社のウラン転換工場からの 0.05wt%未満のウランに汚染された金属スクラップ約 3,000 トンを有害廃棄物処分場に排出した事例がある⁷⁹。本処分場は有害廃棄物に関する規制 (Resource Conservation and Recovery Act) の対象であり、その許可の中で施設閉鎖後 1,000 年間は個人の被ばく線量が 0.15 mSv/y を超えないことが求められているため、その間での跡地居住時の被ばく線量を評価している (ただしラドンの影響は無視している。)⁸⁰。NRC は上記の事業者の評価をレビューし、跡地を掘削後に居住することを想定した保守的な評価を追加で行った上で許可している⁷⁹。

評価期間やラドンの扱いに関して、40.13 項(a)に基づく免除における検討において議論した文書は見当たらなかったが、廃止措置後のサイト解放基準に関する線量基準の改定時に以下のような議論がなされている⁸¹。

- ・サイト解放の線量基準は自然バックグラウンド線量の影響を除いたものに対して設定されるものだが、(屋内) ラドンによる被ばくは自然バックグラウンド線量が高く、家の構造や季節による換気の変化、ラドン対策の有無によって大きく変動するため、自然バックグラウンド線量との区別をつけにくく、将来の被ばくを推定することが現実的でない。そのためラドンの影響を除いた被ばくが基準を満たすことを示すことになる。
- ・評価期間を 1,000 年とすることは、廃止措置後のサイトの放射能レベルが低いこと、及び長期にサイトが物理的に変化する可能性があることから妥当であると判断している。高レベル放射性廃棄物処分場のような多量の長半減期核種が関わる場合や、遠い将来の被ばくを計算することが結論に影響を持つ場合と違って、自然バックグラウンド線量レベルに近い汚染レベルで想定される被ばくが小さく、廃止措置において重要となる放射性核種のピークが 1,000 年以内に生じるような廃止措置の場面では、長期の評価にほとんど意味はない。

以上をまとめると、米国ではクリアランス制度の代わりとなる幾つかの手続きによって放射能の低い廃棄物が放射性廃棄物処分場への埋設以外の方法で処分又はリサイクルされているが、その基準は 0.05wt%未満の天然・劣化ウランとそれ以外の放射性廃棄物とで大きく異なっており、大まかに前者が 1 mSv/y、後者が 10 µSv/y のオーダーを線量基準として許可されている。

5.2 英国

英国における免除及びクリアランスに関する文書として、英国のうちイングランド、ウ

ェールズ及び北アイルランドが共同で作成しこの三国に適用される放射性物質法の適用範囲と免除に関する指針（Scope of and Exemptions from the Radioactive Substances Legislation in England, Wales and Northern Ireland）がある⁸²。EU 理事会指令 2013/59/EURATOM の国内規制への反映に伴いこのガイドも 2018 年に（その時点で EU からの離脱を表明していたが）改正された。このガイドには幾つかの種類免除について説明されているが、そのうち、放射性物質又は放射性廃棄物として扱わなくて良いレベル（原文では'out of scope'）がクリアランスに近い概念である。その基準は EU の BSS と同様、原子力利用を意図していない産業活動（NORM industrial activities と呼ばれ、具体的に産業の種類が挙げられている。）で用いられる天然起源核種と、人工核種及び原子力利用を意図した活動で用いられる天然起源核種とを別に扱っている（1.10）。この考え方は 2013/59/EURATOM の取り入れ前から変わっておらず、改定前のガイドには、原子力利用の際は、被ばくを受けることが想定される状況下にあえて天然起源核種を置くものであるため、人工核種と同じ基準としている、という記載がある（1.14 項）⁸³。

原子力利用を意図していない産業活動で用いられる天然起源核種に対する out of scope の放射能濃度の基準のうち固体のものについては EC の RP-122 part 2⁷⁰ の値を採用しているが、その値が 0.5 Bq/g である核種（²³⁸U、²²⁶Ra、²³²Th 及び ²²⁸Th（それぞれの全ての子孫核種を含む。））については 2013/59/EURATOM の値（すなわち IAEA の RS-G-1.7 の値）である 1 Bq/g へと変更されている。一方、人工核種及び原子力利用を意図した活動で用いられる天然起源核種に対しては、いずれも 10 µSv/y に相当する濃度としており（1.12 項）、²³⁸U については、直ちに放射平衡に達する ²³⁴Th、²³⁴Pa 及び ^{234m}Pa のみを含む場合が 1 Bq/g、全ての子孫核種を含む場合が 0.01 Bq/g となっている。どちらの値も RP-122 の値を採用しているという記載があるため（旧ガイド Annex 1 の 7.）⁸³、後者の 0.01 Bq/g は RP-122 の ²²⁶Ra の値であると考えられる。なお、改正後のガイドはスコットランドには適用されないが、同国の環境規制に関する規則における放射性物質及び放射性廃棄物の定義として、ガイドと同じ濃度基準を超えるものとしている⁸⁴。

5.3 フランス

フランスにはクリアランス制度がなく、放射性廃棄物として扱うか否かはゾーニング（zoning）によって判断される⁸⁵。これは、原子力施設全体を複数の領域に分け、過去の活動の履歴に基づき、汚染や放射化が起きていないと証明ができた領域については、発生する廃棄物を放射性でない廃棄物として扱うものである。

5.4 スウェーデン

3.4 で述べたとおり、スウェーデンにはクリアランスに関する規則（SSMFS 2018:3）が存在し、一般的なクリアランスレベルに基づくクリアランスのほか、個別の審査によって許可される産業廃棄物処分場への処分を条件としたクリアランスが存在する⁸⁷。なお、こ

の規則は 2013/59/EURATOM の反映のために 2018 年に改正されたもので、改正に先立ち、2013/59/EURATOM のクリアランスレベルが原子力施設から発生する金属のクリアランスに用いられた場合に、スウェーデン内のスクラップの市場の状況等を考慮しても被ばくが大きくなることを確認している⁸⁶。この規則では免除と（廃油、土地、建材及びその他の物質に分類した）クリアランスについて定めているが、いずれの規定についても天然起源核種のうち原子力利用を意図しないものは対象にしないことが明記されている（2 章 1 項及び 3 章 2 項）⁵⁸。ウランのクリアランスレベルは 1 Bq/g であるが、この規則の制定における背景や動機を解説したガイドも公表されており、クリアランスレベルの多くは 2013/59/EURATOM のものを採用しているが、天然起源核種については RP-122 part 1⁶⁶ の値を採用したことが示されている（3 章 13 項）⁸⁷。

5.5 ベルギー

3.5 でも挙げた、電離放射線の危険性に対する公衆、作業者及び環境の防護に関する一般規制に係る王令（GRR-2001）の付属書 IB にクリアランスレベルが定められており、ほとんどの値は RP-122 Part 1 に基づいているが、半減期が 6 か月未満の短半減期核種は除かれている⁸⁸。また、このクリアランスレベルの適用は EU 旧 BSS における行為から発生したものに限定している。すなわち、天然起源核種については、原子力利用を意図した活動から発生するものみにクリアランスレベルが適用される。クリアランスレベルを超える放射性物質や、一般産業から生じる天然起源核種を含む物質のクリアランスも認められているものの、個別の審査が必要とされている⁸⁸。なお、上記王令は 2013/59/EURATOM への対応のために、2018 年までに改正される予定とのことだが⁶⁰、2020 年 6 月現在において改正は確認できていない。

5.6 ドイツ

英国やスウェーデンと同様、ドイツも 2013/59/EURATOM を受けてクリアランスを含めた放射線防護に関する法令を改正した。そのうち、クリアランスについての規定を含む放射線防護令（Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzverordnung, StrlSchV)）も 2018 年に改正された⁸⁹。StrlSchV によると、ドイツも EU の BSS に基づき、天然起源核種の免除及びクリアランスの扱いを原子力利用か否かで区別していることが分かる。すなわち、StrlSchV では、放射線防護法（Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzgesetz, StrlSchG)⁹⁰）で定義された行為（Practices、ドイツ語で Tätigkeiten）のうちの一部から発生する若しくはそれらによって汚染等した放射性物質又は汚染等のおそれのある管理区域から発生する放射性物質をクリアランスの対象であるとしている（§ 31）。StrlSchG では行為の定義が詳細にかつ具体的に記載されているが（§ 4）、そのうち StrlSchV の規定でクリアランスの対象とされているものは原子力利用を意図したものに限られている。一方、工業活動や鉱山での採掘

で生じた放射性物質の残さ（Rückstände）は StrlSchG で具体的に定義され（§ 5 (32)）、その管理の際は線量限度 1 mSv/y を超えていないことの監視（§ 61）等が求められているが、それらの要求からの免除及びクリアランスについては StrlSchV の§ 27 から§ 30 に定められている。

StrlSchV では数多くの放射性核種について、無条件クリアランスレベル及び様々な条件付クリアランス（Conditional clearance）レベルが定められているが、いずれもその基準は、10 µSv/y である。無条件クリアランスレベルは基本的に 2013/59/EURATOM の値がそのまま適用されたが、改正前の StrlSchV にクリアランスレベルが示されているものの、2013/59/EURATOM 及びその元となっている IAEA の RS-G-1.7 や SRS-44 にはクリアランスレベルが示されていない放射性核種については、SRS-44 に示された評価シナリオに基づき独自に算出されたものである⁹¹。天然起源核種についても、2013/59/EURATOM の 30 条 3. の規定（4.2 参照）に従った 10 µSv/y の線量基準に基づいて設定されたクリアランスレベルは、これら国際基準文書に示されていないため、新たに算出された。表 5.1 に例として ²²⁶Ra 及び ²³⁸U のクリアランスレベルを示す。この 2 つの放射性核種の無条件クリアランスの値は、結果的には英国や RP-122 part 1 の値と同じ値となっている。

一方、条件付クリアランスの値を見ると、表 5.1 の ²³⁸U の年 1,000t 以下の埋設処分を条件としたクリアランスレベルが、無条件クリアランスレベルよりも低い値となっている。条件付クリアランスの値は改正前⁹²から変更されておらず、それらは全て 10 µSv/y を線量基準として、各条件に合わせたシナリオを設定して評価を行い決定されている。例えば改正前の無条件クリアランスレベル⁹³や、埋設や焼却による廃棄を条件としたクリアランスレベル⁹⁴は、放射線防護委員会（Strahlenschutzkommission, SSK）によって勧告され、報告書が公開されている。埋設を条件としたクリアランスレベルは、埋設されるまでの作業や埋設後に汚染した地下水の飲用に関しては被ばくが評価されているものの、埋設施設の閉鎖後も無期限で記録が残るため、跡地を宅地開発や農業で利用されることはないとして、それらのシナリオは評価されていない（4.1 項）⁹⁴。無条件クリアランスレベルよりも低い年 1,000 トン以下の埋設処分を条件としたクリアランスレベルは、汚染された地下水の利用が決定経路となっている。

これら条件付クリアランスレベルは、汚染されていない物質との混合率といった幾つかの仮定に基づく評価によって決定されているため、その仮定の範囲になるよう、クリアランス後の行き先に関する制限がある。例えば、埋設を条件としたクリアランスの場合、その埋設先は、ドイツの埋立場に関する規則の基準を満たした、過去 3 年間で年間 1 万トン又は 7,600 m³ 以上の廃棄物を受け入れている埋設施設であることを課している⁸⁹。また、同じくクリアランスレベルの設定上、条件付クリアランスレベルの値は年間のクリアランス物の質量に反比例する⁸⁹。例えば、同じ埋設施設に年 2,000 トン埋設することを条件としたクリアランスの場合、そのクリアランスレベルは、年 1,000 トン以上の埋設処分の値（表 5.1）の 1/2 となる。なお、クリアランスの審査は BMU 以外に受入先の州の独立委員

会によっても行われ、その際に追加の評価を求められることもある⁵⁶。

表 5.1 ドイツにおける固体に対する ^{226}Ra 及び ^{238}U のクリアランスレベル
(参考文献 89 の付録 4 の表 1 から抜粋。)

Table 5.1 The activity concentration values for clearance of ^{226}Ra and ^{238}U applied to solid materials in Germany
(extracted from table 1 in appendix 4 of the reference 89.)

放射性核種	無条件クリアランス (Bq/g)	条件付クリアランス							
		年 1,000t 以上が れき 注 3) (Bq/g)	年 100t 以下埋 設処分 (Bq/g)	年 100t 以下焼 却処分 (Bq/g)	年 1,000t 以下埋 設処分 (Bq/g)	年 1,000t 以下焼 却処分 (Bq/g)	再利用又は継続利 用される 建物 (Bq/cm ²)	解体され る建物 (Bq/cm ²)	リサイク ルされる 金属 (Bq/g)
^{226}Ra 注 1)	0.01	0.03	0.4	5	0.04	0.5	0.5	0.9	0.05
^{238}U 注 2)	1	0.4	6	10	0.6	5	2	10	2

注 1) ^{210}Tl 、 ^{209}Pb 、 ^{214}Pb 、 ^{214}Bi 、 ^{214}Po 、 ^{218}Po 、 ^{218}At 及び ^{218}Rn を含む。

注 2) ^{234}Th 、 ^{234}Pa 及び $^{234\text{m}}\text{Pa}$ を含む。

注 3) 年 1,000 トン以上のがれきの場合は無条件クリアランスレベルを適用できない。

6. まとめ

ウラン廃棄物の埋設及びクリアランスについて、国際的基準及び諸外国の規制について調査した。

埋設については、IAEA の国際基準においても、諸外国の規制においても、ウラン廃棄物を他の放射性廃棄物と区別していない。各国は、現時点及び近い将来における被ばく影響の小ささに着目し、ある濃度までのウラン廃棄物を浅地中処分している。ウランが持つ半減期が非常に長く、将来的に影響が大きくなり得るという特徴を長期的な不確実性の大きい浅地中処分でのどのように扱うのかという問題については、閉鎖後長期の評価という観点から多くの議論がなされ、現在も決着がついていない米国の例や、問題となるような長期では埋設された廃棄物は自然のプロセスによって処分場にとどまっていないとの理由から実質的に評価期間を区切っている英国やスウェーデンの例がある。特に、施設の上での居住や人間侵入のシナリオに関する長期評価は、調べた範囲で明示的な理由は示されていないものの、行っている例はまれである。また、ラドンの影響を考慮していない例や、考慮はしていても他の放射性核種からの被ばくと合わせて線量基準との比較は行わない例もあった。

クリアランスについては、IAEA において、天然起源核種と人工起源核種とでそのクリアランスレベルの導出の考え方が異なっており、天然起源核種であるウランのクリアランスレベルは天然の土壌や原子力以外の産業活動によって扱われる NORM の放射能濃度を考慮して 1 Bq/g と設定されている。一方で、EU では、元々、行為という概念を用いて、原子力利用を意図した活動から生じるか否かによって放射線防護の考え方やクリアランスレベルの導出方法が異なっており、現在の EU の基準やそれに準じた英国、スウェーデン及びドイツもその考え方に基づいている。これらの国では原子力利用によって生じる天然起源核種(ウラン等)のクリアランスレベルは、国際機関の報告書をそのまま採用するか、参考にしながら独自で計算をするかの違いはあるものの、人工起源核種と同様に、主に 10 $\mu\text{Sv/y}$ のオーダーという線量基準に基づいて導出されている。それらの評価で跡地での居住や人間侵入に関して長期での影響を考慮した例はなく、クリアランスされた物質が他の汚染されていない物質と十分に混ざる期間として、100 年という値が評価期間として採用される場合がある。結果として、多くの国で子孫核種を含まないウランのクリアランスレベルは、1 Bq/g という数字の上では IAEA と同一の値が採用されている。一方で、そもそもクリアランス制度が存在しないフランスの例や、クリアランス制度自体はないものの状況に合わせて低い濃度の放射性物質を規制から外し、核原料物質のみに対して独自の設定がなされている米国の例もある。

謝辞

IAEA の Dr. Miroslav Pinak には、IAEA GSR Part 3 に示されている放射線防護の考え方について、著者らの疑問に答えていただいた。また、SSM の Dr. Ansi Gerhardsson ら及び NRC の Dr. Marc Dapas らには、長半減期核種を浅地中処分する場合の規制の考え方について貴重な意見を拝聴した。また、BMU の Dr. Marcus Fabian らには、天然起源核種のクリアランスの考え方について貴重な意見を拝聴した。ここに深謝申し上げる。

参考文献一覧

- 1 原子力安全委員会, 第二種廃棄物埋設の事業に関する安全審査の基本的考え方, 平成 22 年 8 月 9 日, 2010.
- 2 核燃料物質又は核燃料物質によつて汚染された物の第二種廃棄物埋設の事業に関する規則, 昭和 63 年 1 月 13 日総理府令第 1 号.
- 3 原子力安全委員会, ウラン取扱施設におけるクリアランスレベルについて, 平成 21 年 10 月 5 日, 2009.
- 4 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, 平成 17 年 11 月 22 日経済産業省令第 112 号.
- 5 International Atomic Energy Agency, Application of the Concept of Exclusion, Exemption and Clearance, IAEA Safety Standards Series No. RS-G-1.7, 2004.
- 6 日本原燃株式会社 他, ウラン廃棄物の処分及びクリアランスに関する検討書, 平成 18 年 3 月, 2006.
- 7 独立行政法人日本原子力研究開発機構ら, 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, 2014.
- 8 一般社団法人日本原子力学会「東京電力福島第一原子力発電所事故以降の低レベル放射性廃棄物処理処分の在り方」特別専門委員会, 低レベル放射性廃棄物処分におけるウランの扱いについてー浅地中トレンチ処分に係る規制への提言ー平成 26 年度報告書, 平成 27 年 3 月, 2015.
- 9 原子力委員会 原子力バックエンド対策専門部会, ウラン廃棄物処理処分の基本的考え方について, 平成 12 年 12 月, 2000.
- 10 International Atomic Energy Agency, IAEA Safety Glossary Terminology Used in Nuclear Safety and Radiation Protection 2018 Edition, 2019.
- 11 International Commission on Radiological Protection, Nuclear Decay Data for Dosimetric Calculations, ICRP Publication 107, Ann. ICRP 38(3), 2008.
- 12 World Health Organization, WHO Handbook on Indoor Radon, A Public Health Perspective, 2009.
(邦語訳) WHO 屋内ラドンハンドブックー公衆衛生の観点からー, 独立行政法人放射線医学総合研究所監訳, 2015.
- 13 United Nations, Sources and Effects of Ionizing Radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes, New York, 2000.
(邦語訳) 放射線の線源と影響 原子放射線の影響に関する国連科学委員会の総会に対する 2000 年報告書 附属書付, 独立行政法人放射線医学総合研究所監訳, 実業広報社, 2002.

- 14 International Commission on Radiological Protection, Radiological Protection against Radon Exposure, ICRP Publication 126, Ann. ICRP 43(3), 2014.
- 15 Abdelouas, A., Uranium Mill Tailings: Geochemistry, Mineralogy, and Environmental Impact. *Elements* 2 (6), 335-341, 2006.
- 16 International Commission on Radiological Protection, Scope of Radiological Protection Control Measures, ICRP Publication 104, Ann. ICRP 37(5), 2007.
(邦語訳) 放射線防護の管理方策の適用範囲, 社団法人日本アイソトープ協会訳, 丸善出版株式会社, 2013.
- 17 International Commission on Radiological Protection, Radiological Protection from Naturally Occurring Radioactive Material (NORM) in Industrial Processes, ICRP Publication 142, Ann. ICRP 48(4), 2019.
- 18 European Atomic Energy Community, Food and Agriculture Organization of the United Nations, International Atomic Energy Agency, International Labour Organization, International Maritime Organization, OECD Nuclear Energy Agency, Pan American Health Organization, United Nations Environment Programme, World Health Organization, Fundamental Safety Principles, IAEA Safety Standards Series No. SF-1, 2006.
- 19 International Atomic Energy Agency, Disposal of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No. SSR-5, 2011.
- 20 International Commission on Radiological Protection, Radiological Protection in Geological Disposal of Long-lived Solid Radioactive Waste, ICRP Publication 122, Ann. ICRP 42(3), 2013
(邦語訳) 長寿命放射性固体廃棄物の地層処分における放射線防護, 大越実訳, 公益社団法人日本アイソトープ協会, 2013.
- 21 International Atomic Energy Agency, Management of Radioactive Waste from the Mining and Milling of Ores, IAEA Safety Standards Series No. WS-G-1.2, 2002.
- 22 International Atomic Energy Agency, Classification of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No. GSG-1, 2009.
- 23 International Atomic Energy Agency, Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No. SSG-29, 2014.
- 24 International Atomic Energy Agency, The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No. SSG-23, 2012.
- 25 Organisation for Economic Co-operation and Development, Nuclear Energy Agency, Radioactive Waste Management Committee, Integration Group for the Safety Case, Consideration of timescales in the post-closure safety of geological disposal of radioactive waste, NEA/RWM/IGSC(2006)3, 2006.
- 26 United States of America, Low-Level Radioactive Waste Policy Amendments Act of 1985, H.R. 1083, 1986.

- 27 U.S. Nuclear Regulatory Commission, 10 CFR Part 61, 47 FR 57463, 1982.
- 28 U.S. Nuclear Regulatory Commission, Response to Commission Order CLI-05-20 Regarding Depleted Uranium, SECY -08-0147, 2009.
- 29 U.S. Nuclear Regulatory Commission, Office of Nuclear Material Safety and Safeguards, Final Environmental Impact Statement on 10 CFR Part 61 "Licensing Requirements for Land Disposal of Radioactive Waste", NUREG-0945 Vol. 1, 1982.
- 30 U.S. Nuclear Regulatory Commission Advisory Committee on Reactor Safeguards, 10 CFR part 61 – revisions to low-level radioactive waste disposal requirements, 2014.
- 31 U.S. Nuclear Regulatory Commission, Staff Requirements – SECY-08-0147 – Response to Commission Order CLI-05-20 Regarding Depleted Uranium, SRM-SECY -08-0147, 2009.
- 32 U.S. Nuclear Regulatory Commission, Technical Analysis Supporting Definition of Period of Performance for Low-Level Waste Disposal, 2011.
- 33 U.S. Nuclear Regulatory Commission, Proposed Rule: Low-Level Radioactive Waste Disposal 10 CFR Part 61 (RIN-3150-AI92), SECY-13-0075, 2013.
- 34 U.S. Nuclear Regulatory Commission, 10 CFR Parts 20 and 61 Low-Level Radioactive Waste Disposal; Proposed Rule, 80 FR 16082, 2015.
- 35 U.S. Nuclear Regulatory Commission, Final Rule: Low-Level Radioactive Waste Disposal (10 CFR Part 61), SECY-16-0106, 2016.
- 36 Esh, D. et al., Guidance for Conducting Technical Analyses for 10 CFR Part 61 DRAFT Final Report, NUREG-2175, 2016.
- 37 U.S. Nuclear Regulatory Commission, Staff Requirements – SECY-16-0106 – Final Rule: Low-level Radioactive Waste Disposal (10 CFR PART 61) (RIN 3150-AI92), SRM- SECY-16-0106, 2017.
- 38 U.S. Nuclear Regulatory Commission, Update of Part 61 Impacts Analysis Methodology, NUREG/CR-4370, Vol. 1, 1986.
- 39 U.S. Department of Energy, Manifest Information Management System, <https://mims.doe.gov/Default.aspx>, 2020年2月20日アクセス.
- 40 Washington Department of Health, State of Washington Radioactive Materials License License Number: WN-1019-2, Amendment 40, 2018.
- 41 Washington Department of Health, Final Environmental Impact Statement for the Commercial Low-Level Radioactive Waste Disposal Site, Richland, Washington., DOH Publication 320-031, Volume I, 2018.
- 42 Neptune and Company Inc., Final Report for the Clive Depleted Uranium Performance Assessment Model, volume 4, 2015.
- 43 Texas Commission on Environmental Quality, Radioactive Material License R04100 Amendment #30, 2016.

- 44 Environment Agency, Northern Ireland Environment Agency, Scottish Environment Protection Agency, Near-surface Disposal Facilities on Land for Solid Radioactive Wastes; Guidance on Requirements for Authorisation, 2009.
- 45 Health Protection Agency, Radiological Protection Objectives for the Land-based Disposal of Solid Radioactive Wastes: Advice from the Health Protection Agency, RCE-8, 2009.
- 46 Louise Eden, Radiological Risk Assessment and Capacity Calculation for the Clifton Marsh Landfill Site, 89290/IN/RA/002 Issue 2, NUVIA, 2010.
- 47 Environment 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, PR 4 0XE, 2012.
- 48 LLW Repository Ltd, The 2011 Environmental Safety Case, Assessment of Long-term Radiological Impacts, LLWR/ESC/R(11)10028, 2011.
- 49 Environment Agency, Decision document: application by LLW Repository Ltd under the Environmental Permitting (England and Wales) Regulations 2010 to carry on radioactive substances activities at Low Level Waste Repository Old Shore Road Drigg Holmrook Cumbria CA19 1XH, 2015.
- 50 Hicks, T.W. and Baldwin, T.D., Assessment Calculations for Human Intrusion for the LLWR 2011 ESC, Galson Sciences Report 0977-3, Version 2, 2011.
- 51 Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, Direction générale de l'énergie et du climat and Autorité de sûreté nucléaire; French National Plan for the management of Radioactive Materials and Waste 2016-2018, 2017.
- 52 Autorité de sûreté nucléaire, RFS-I.2. du 08/11/1982, Objectifs de sûreté et bases de conception pour les centres de surface destinés au stockage à long terme de déchets radioactifs solides de période courte ou moyenne et de faible ou moyenne activité massique, revision 1, 1984.
- 53 French Republic, Sixth National Report on Compliance with the Joint Convention Obligations, 2017.
- 54 La Préfete de l'Aube, ANDRA: Communes de MORVILLIERS et LA CHAISE: Arrêté Préfectoral d'autorisation d'exploiter, Arrêté n°DDT-SG-2016020-0003, 2016.
- 55 Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs, Spécification: Critères radiologiques d'acceptation des déchets TFA, 2013.
- 56 公益財団法人原子力安全研究協会, 平成 29 年度ウラン廃棄物の処分に関する欧州の安全基準等に係る調査報告書, 2018.
- 57 Sweden, Ministry of the Environment, Sweden's sixth national report under the Joint Convention on the safety of spent fuel management and on the safety of radioactive waste management; Sweden's implementation of the obligations of the Joint Convention, Ds 2017:51, 2017.
- 58 Strålsäkerhetsmyndigheten, Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om undantag från

- strålskyddslagen och om friklassning av material, byggnadsstrukturer och områden, SSMFS 2018:3, 2018.
- 59 佐藤ら, 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.
- 60 Kingdom of Belgium, Sixth meeting of the Contracting Parties to the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, 2017.
- 61 Federal Agency for Nuclear Control, Technical guide “Radiation Protection Criteria for Post-Operational safety assessment for Radioactive Waste Disposal”, 2011-06-28-CAD-5-4-3, 2017.
- 62 ONDRAF/NIRAS, Summary of the Safety Report for the surface repository of category A waste in Dessel, NIROND-TR 2012-17 E Version 1, 2012.
- 63 European Commission, Food and Agriculture Organization of the United Nations, International Atomic Energy Agency, International Labour Organization, OECD Nuclear Energy Agency, Pan American Health Organization, United Nations Environment Programme, World Health Organization, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3, 2014.
- 64 International Atomic Energy Agency, Derivation of Activity Concentration Values for Exclusion, Exemption and Clearance, Safety Reports Series No. 44, 2005.
- 65 International Atomic Energy Agency, Application of the Concept of Clearance, Draft Safety Guide DS500 (Revision of Safety Guide RS-G-1.7), STEP 7 - First review of the draft publication by the review Committee(s), 2020.
- 66 European Commission, Practical Use of the Concepts of Clearance and Exemption - Part I, Guidance on General Clearance Levels for Practices; Radiation protection 122, 2000.
- 67 European Commission, Comparative Study of EC and IAEA Guidance on Exemption and Clearance Levels; Radiation protection 157, 2010.
- 68 European Union, 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 Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom and 2003/122/Euratom; OJ L 013, 17.1.2014, p. 1, 2014.
- 69 European Union, Council Directive 96/29/Euratom of 13 May 1996 laying down basic safety standards for the protection of the health of workers and the general public against the dangers arising from ionizing radiation; OJ L 159, 29.6.1996, p. 1, 1996.
- 70 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.
- 71 Pinak, M., International Atomic Energy Agency, Private communication, 2019.
- 72 International Commission on Radiological Protection, The 2007 Recommendations of the

International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103, Ann. ICRP 37(2-4), 2007.

(邦語訳) 国際放射線防護委員会の 2007 年勧告, 社団法人日本アイソトープ協会訳, 丸善出版株式会社, 2009.

- 73 Banovac, K.L. et al., Consolidated Decommissioning Guidance Decommissioning Process for Materials Licensees Final Report, NUREG-1757 Vol. 1, Rev. 2, 2006.
- 74 Cunningham, R.E., Termination of Byproduct, Source and Special Nuclear Material Licenses, Policy and Guidance Directive FC 83-23, 1983.
- 75 U.S. Nuclear Regulatory Commission, 10 CFR Part 20, 72 FR 55921, 2007.
- 76 U.S. Nuclear Regulatory Commission, 10 CFR Part 40, 72 FR 63973, 2007.
- 77 U.S. Nuclear Regulatory Commission, Division of Uranium Recovery, Decommissioning, and Waste Programs: Guidance for the reviews of proposed disposal procedures and transfers of radioactive material under 10 CFR 20.2002 and 10 CFR 40.13(a), Final Draft, Revision 0.1, 2017.
- 78 McDermott, B.J., Clarification of the Authorization for Alternate Disposal of Material Issued under 10 CFR 20.2002 and Exemption Provisions in 10 CFR, FSME-12-025, 2012.
- 79 Thomas G. Hiltz, Revised safety evaluation report for the approval of request to transfer scrap materials under 10 CFR 40.13, “unimportant quantities of source material,” to resource conservation and recovery act subtitle c facility in grand view, Idaho, 40-3392, 2010.
- 80 US Ecology Idaho Inc., Honeywell Metropolis Evaluation in Support of Alternate Waste Disposal Procedures For Unimportant Quantities of Source Materials, 2009.
- 81 U.S. Nuclear Regulatory Commission, 10 CFR Parts 20, 30, 40, 50, 51, 70 and 72 RIN 3150-AD65 Radiological Criteria for License Termination, 62 FR 39058, 1997.
- 82 Department for Environment, Food & Rural Affairs et al., Scope of and exemptions from the radioactive substances legislation in England, Wales and Northern Ireland Guidance document, 2018.
- 83 Department for Environment, Food & Rural Affairs et al., Guidance on the scope of and exemptions from the radioactive substances legislation in the UK Guidance document, version 1.0, 2011.
- 84 Scottish Ministers, The Environmental Authorisations (Scotland) Regulations 2018, 2018 No. 219, 2018.
- 85 Autorité de sûreté nucléaire, Décision no 2015-DC-0508 de l’Autorité de sûreté nucléaire du 21 avril 2015 relative à l’étude sur la gestion des déchets et au bilan des déchets produits dans les installations nucléaires de base, 2015.
- 86 Keith Roach, M. and Jones, C., Calculated radiological consequences of applying European clearance levels to scrap metal from the decommissioning of Swedish nuclear facilities, SSM

2018:08, 2018.

- 87 Strålsäkerhetsmyndigheten, Vägledning med bakgrund och motiv till Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter (SSMFS 2018:3) om undantag från strålskyddslagen och om friklassning av material, byggnads-strukturer och områden, SSMFS 2018:3, 2018.
- 88 European Commission, Evaluation of the application of the concepts of exemption and clearance for practices according to title III of Council Directive 96/29/Euratom of 13 May 1996 in EU Member States; Radiation protection 134, Volume 2: Appendices, 2003.
- 89 Federal Republic of Germany, Strahlenschutzverordnung vom 29. November 2018, BGBl. I S. 2034, 2018.
- 90 Federal Republic of Germany, Strahlenschutzgesetz vom 27. Juni 2017, BGBl. I S. 1966, 2018.
- 91 Thierfeldt, S. et al., Überarbeitung der Strahlenschutzverordnung bzgl. der Freigrenzen von radioaktiven Stoffen zur Umsetzung der neuen EURATOM-Grundnormen in deutsches Recht Bericht zu AP1 und AP2, BS-Projekt-Nr. 1405-05, Forschungsvorhaben 3614S70051, 2015.
- 92 Federal Republic of Germany, Strahlenschutzverordnung vom 20. Juli 2001, BGBl. I S. 1714, 2001.
- 93 Strahlenschutzkommission, Freigabe von Materialien, Gebäuden und Bodenflächen mit geringfügiger Radioaktivität aus anzeige- und genehmigungspflichtigem Umgang, Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 151. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 12. Februar 1998, 1998.
- 94 Strahlenschutzkommission, Freigabe von Stoffen zur Beseitigung, Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 213. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 06. Dezember 2006, 2006.

執筆者一覧

原子力規制庁 長官官房 技術基盤グループ 核燃料廃棄物研究部門
室田 健人 技術研究調査官
青木 広臣 主任技術研究調査官