



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—

Survey on Uranium Bearing Waste Disposal Facilities in European Countries

佐藤 和彦 坂井 章浩 秦 はるひ 麓 弘道
川越 浩 齋藤 龍郎 長谷川 信

Kazuhiko SATO, Akihiro SAKAI, Haruhi HATA, Hiromichi FUMOTO
Hiroshi KAWAGOSHI, Tatsuo SAITO and Makoto HASEGAWA

バックエンド推進部門

Nuclear Cycle Backend Directorate

March 2014

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency.
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

欧州地域のウラン廃棄物処分に関する調査
ーフランス、英国及びスウェーデンにおける処分及び規制の現状ー

日本原子力研究開発機構 バックエンド推進部門

佐藤 和彦、坂井 章浩⁺¹、秦 はるひ⁺²

麓 弘道*、川越 浩、齋藤 龍郎、長谷川 信

(2014年1月9日受理)

本書では、ウラン廃棄物処分方策の検討に資するため、平成 24 年度に実施した米国及びカナダの調査に引き続き、フランス、英国及びスウェーデンでのウランを含む長寿命低レベル放射性廃棄物処分に関する安全評価の基本的考え方や低い放射能濃度の廃棄物の産業廃棄物（以下、産廃）処分場での処分等を中心に調査した結果を報告する。

昨年度と今年度の調査により、欧米の主要国では、ウラン廃棄物を分類せずに、他の原子力施設からの廃棄物とともに処分していることが分かった。その場合の埋設処分に係る安全評価の考え方として、線量基準は、人間侵入シナリオでは、国により規制基準としている場合と目標値としている場合があるという違いはあるものの、英国では 3~20mSv/年の範囲、フランスでは 1~10mSv/年の範囲となっている。これらの値は、国際放射線防護委員会（ICRP）2007 年勧告で示された現存被ばくの線量が 1mSv/年を超えて 20mSv/年までの範囲であることも含め、我が国の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に示された人為事象シナリオの一般公衆への線量の目安線量（1 又は 10mSv/年）に整合している。

また、評価期間は処分場の立地特性及び受け入れ対象により異なる。管理期間終了後の安全評価として、地下水シナリオでは基本的にピーク線量が出現する 3,000~10 万年、人間侵入シナリオでは短寿命核種が主の処分場については 50~500 年の早い時期、長寿命核種が重要となる処分場については数万年の評価が行われている。フランスの長寿命低レベル放射性廃棄物の長期評価を例にとると、地層処分での考え方を参考に 1 万年という期間を考える一方、不確実性を考慮しつつ実際の評価としては地質の安定性を考慮した合理的な期間を設定している。

なお、ラドンによる被ばくは、人間侵入シナリオの一つの経路として評価される。廃棄物中のラジウム由来のラドンは原則として評価されているが、ウラン由来のラドンについては、埋設したウランの放射能濃度に応じて判断されている。

ウラン廃棄物を産廃処分するには、クリアランス後に処分する場合とクリアランスせずに放射性廃棄物として処分する場合があります、いずれの場合も、処分場からの周辺公衆への線量評価が実施され、許可が与えられる。このように欧州では、大量の放射性廃棄物を管理するための一つの選択肢として、極低レベル放射性廃棄物に区分されるような放射能濃度が低い放射性廃棄物を産廃処分場で処分する事業が行われている。

原子力科学研究所（駐在）：〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4

+1 埋設事業推進センター

+2 人形峠環境技術センター

*三菱原子燃料株式会社

Survey on Uranium Bearing Waste Disposal Facilities in European Countries

Kazuhiko SATO, Akihiro SAKAI⁺¹, Haruhi HATA⁺², Hiromichi FUMOTO*,
Hiroshi KAWAGOSHI, Tatsuo SAITO and Makoto HASEGAWA

Nuclear Cycle Backend Directorate
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received January 9, 2014)

We report the result of survey for basic principle of safety assessment for long-lived low-level (LL-LL) waste disposal and experience of the industrial waste disposal sites for uranium bearing waste in France, UK and Sweden, following the report of survey for them in U.S.A. and Canada published in December 2013.

Through the series of the survey, it has become clear that the uranium bearing waste is not specifically categorized and disposed of with other miscellaneous solid nuclear waste in many European and North American countries. In the safety assessment for LL-LL waste, dose criteria for human intrusion scenario, are well in accord within European countries. Dose criteria are determined 3-20 mSv/y in UK and dose indicators, 1-10mSv/y in France. Those are consistent with the reference level (1-20 mSv/y) for the existing exposure situation in the ICRP 2007 recommendation, and are also compatible with Japanese dose criteria (1 or 10 mSv/y) for human intrusion scenario provided in the Basic Guide for Safety Review of Category 2 Radioactive Waste Disposal.

The timescale for safety assessment after site closure depends on each disposal site characteristic and kind of wastes. In groundwater scenario, the assessment period is generally 3,000-100,000 years (to cover the period when the dose peak appears in principle). In human intrusion scenario, the assessment period for short-lived radioactive waste is 50-500 years, and that for mainly long-lived radioactive waste is tens of thousands years. By way of example, in the disposal concept of long term safety assessment for LL-LL waste disposal in France, the period of 10,000 years was taken with reference to geological disposal. But in practice, the rational period, taking uncertainty into account, has been determined considering geological stability.

Dose assessment of radon is included in human intrusion scenario. The exposure by radon originated from radium in the waste is evaluated in general, and on the other hand the exposure by radon originated from uranium is evaluated case by case according to the averaged activity concentration of uranium in disposal site.

In some European countries, uranium bearing waste, as cleared waste or radioactive waste, can be disposed of in landfill following the national strategy for radioactive waste management. In this case, the site is permitted by environment safety assessment just like radioactive waste disposal site. Landfill disposal of very low level radioactive waste (VLLW) is considered as one of the good options for managing large volume of radioactive waste.

Keywords: Uranium Bearing Waste, France, UK, Sweden, Radioactive Waste Disposal, Performance Assessment, Near Surface Disposal Facility

+1 Low-level Radioactive Wastes Disposal Project Center

+2 Ningyo-toge Environmental Engineering Center

* Mitsubishi Nuclear Fuel Co., Ltd.

目 次

1. まえがき	1
2. 調査項目と方法	1
3. 訪問先調査内容	2
3.1 フランス：放射性廃棄物管理機関（ANDRA）オーブ / モルヴィリエ処分場	2
3.1.1 背景	2
3.1.2 調査結果	2
3.1.3 まとめ	12
3.2 フランス：放射性廃棄物管理機関（ANDRA）FA-VL 廃棄物処分概念と立地	14
3.2.1 背景	14
3.2.2 調査結果	14
3.2.3 まとめ	16
3.3 英国：LLWR 社 ドリッグ処分場	18
3.3.1 背景	18
3.3.2 調査結果	19
3.3.3 まとめ	27
3.4 英国：SITA 社 クリフトンマーシュ処分場（管理型産業廃棄物処分場）	28
3.4.1 背景	28
3.4.2 調査結果	28
3.4.3 まとめ	32
3.5 スウェーデン：放射線安全機関（SSM）グリタ処分場（産業廃棄物処分場）	34
3.5.1 背景	34
3.5.2 調査結果	35
3.5.3 まとめ	41
4. 調査のまとめ	42
4.1 各国の状況	42
4.2 安全評価と処分方策	43
4.2.1 安全評価	43
4.2.2 処分方策	43
謝 辞	47
参考文献	48
付録 1 参考資料	51
付録 2 略語・用語集	77

Contents

1. Preface	1
2. Purpose.....	1
3. Review of the visit	2
3.1 France: Aube and Morvilliers disposal facility (ANDRA)	2
3.1.1 Background	2
3.1.2 Result.....	2
3.1.3 Conclusion	12
3.2 France: Concept of FA-VL waste disposal and site selection (ANDRA)	14
3.2.1 Background	14
3.2.2 Result.....	14
3.2.3 Conclusion	16
3.3 United Kingdom: Drigg disposal facility (LLWR Ltd.)	18
3.3.1 Background	18
3.3.2 Result.....	19
3.3.3 Conclusion	27
3.4 United Kingdom: Clifton Marsh disposal facility (SITA Ltd.)	28
3.4.1 Background	28
3.4.2 Result.....	28
3.4.3 Conclusion	32
3.5 Sweden: Gryta disposal facility (SSM)	34
3.5.1 Background	34
3.5.2 Result.....	35
3.5.3 Conclusion	41
4. Summary	42
4.1 Conspectus in Europe.....	42
4.2 Safety assessment and strategy of disposal	43
4.2.1 Safety assessment.....	43
4.2.2 Strategy of disposal.....	43
Acknowledgement.....	47
Reference.....	48
Appendix1 Reference data	51
Appendix2 Glossary.....	77

図リスト

図 3.1-1	フランスにおける放射性廃棄物の放射能レベルと処分概念	2
図 3.1-2	モルヴィリエ処分場の全景	4
図 3.1-3	モルヴィリエ処分場の断面図	4
図 3.1-4	トレンチの掘削	6
図 3.1-5	定置前のトレンチ	6
図 3.1-6	ドラム缶の定置	6
図 3.1-7	廃棄物の定置	6
図 3.1-8	大型廃棄物の定置	6
図 3.1-9	埋戻し及び上部遮水シート施工	7
図 3.1-10	上部遮水シート設置、覆土	7
図 3.1-11	オーブ処分場の全景	7
図 3.1-12	オーブ処分場の主要な設備	8
図 3.1-13	オーブ処分場の覆土の構造	8
図 3.2-1	FA-VL 廃棄物の管理シナリオ	15
図 3.3-1	英国における放射性廃棄物のレベル区分	18
図 3.3-2	ドリッグ処分場の操業管理体制	18
図 3.3-3	ドリッグ処分場の位置	20
図 3.3-4	ドリッグ処分場の全景	21
図 3.3-5	2011 年以前のボルト 8	21
図 3.3-6	ボルト 9	21
図 3.3-7	放射能濃度を評価する単位 (グリッドセル)	23
図 3.3-8	ボルト 9 の底部の遮水構造	24
図 3.3-9	覆土の遮水構造	25
図 3.3-10	最終覆土におけるガス収集層とキャップベントの構造概念	25
図 3.4-1	クリフトンマーシュ処分場の位置	28
図 3.4-2	クリフトンマーシュ処分場全景	29
図 3.4-3	埋設完了後の放牧	29
図 3.4-4	フェーズ 4 におけるガス収集	30
図 3.4-5	バイオガス発電機	30
図 3.4-6	クリフトンマーシュ処分場の概念図	31
図 3.4-7	上面から見た地下水流路	31
図 3.4-8	断面から見た地下水流路	31
図 3.5-1	スウェーデンの放射性廃棄物処分場許可フロー例	34
図 3.5-2	スウェーデンにおける燃料サイクルと廃棄物処分	35
図 3.5-3	スウェーデンにおける放射性廃棄物の分類と処分場の規制区分	36
図 3.5-4	リサンゲン産廃処分場における表層水、浸透水、土壌地下水のウラン濃度	40

表リスト

表 3.1-1	オーブ処分場とモルヴィリエ処分場の許可手続き、管理の比較	3
表 3.1-2	オーブ処分場及びモルヴィリエ処分場におけるウラン廃棄物に対する管理期間終了後の安全評価方法.....	11
表 3.3-1	ドリッグ処分場におけるウラン廃棄物に対する管理期間終了後の安全評価方法.....	26
表 3.4-1	クリフトンマーシュ処分場調査結果の概要	33
表 3.5-1	クリアランスされたウラン廃棄物を受け入れている産廃処分場	36
表 3.5-2	産廃処分場に関連する法令およびその審査機関.....	37
表 3.5-3	グリタ処分場のウラン廃棄物のクリアランスに関する安全評価手法.....	39
表 4.1-1	各国比較表	45

Figure Index

Figure 3.1-1 Radioactive waste classification and disposal concept in France	2
Figure 3.1-2 Bird's-eye view of Morvilliers disposal facility	4
Figure 3.1-3 Cross-section of Morvilliers disposal facility	4
Figure 3.1-4 Excavation for preparing trench	6
Figure 3.1-5 Condition of trench before emplacement of radioactive waste	6
Figure 3.1-6 Emplacing a waste package of 200 liter drum in trench	6
Figure 3.1-7 Condition of waste emplaced in a trench	6
Figure 3.1-8 Condition of large component waste emplaced in a trench	6
Figure 3.1-9 Construction of geomembrane liners after backfilling trenches	7
Figure 3.1-10 Construction of a geomembrane liner and capping cover soil on the liner	7
Figure 3.1-11 Bird's-eye view of Aube disposal facility	7
Figure 3.1-12 Principal structures of Aube disposal facility	8
Figure 3.1-13 Components of cap layers of Aube disposal facility	8
Figure 3.2-1 Management scenarios for FA-VL waste	15
Figure 3.3-1 Radioactive waste classification in the United Kingdom	18
Figure 3.3-2 Organizational framework of operation at Drigg disposal facility	18
Figure 3.3-3 Site location of Drigg disposal facility	20
Figure 3.3-4 Bird's-eye view of Drigg disposal facility	21
Figure 3.3-5 Vault 8 disposals (before 2011)	21
Figure 3.3-6 Vault 9 disposals	21
Figure 3.3-7 Spatial grid for evaluation of radioactive concentration (grid cell)	23
Figure 3.3-8 Impermeable liner system below Vault 9	24
Figure 3.3-9 Impermeable structure of cap layers	25
Figure 3.3-10 Gas collection layer in cap components and conceptual structure of cap vent.	25
Figure 3.4-1 Site location of Clifton Marsh disposal facility	28
Figure 3.4-2 Bird's-eye view of Clifton Marsh disposal facility	29
Figure 3.4-3 Pasturage on covered site	29
Figure 3.4-4 Gas collection on Phase 4	30
Figure 3.4-5 Biogas generating system	30
Figure 3.4-6 Concept structure for Clifton Marsh disposal facility	31
Figure 3.4-7 Top view of the groundwater flow	31
Figure 3.4-8 Cross-section view of the groundwater flow	31
Figure 3.5-1 Application and approval process for radioactive waste disposal facility in Sweden	34
Figure 3.5-2 Nuclear fuel cycle and nuclear waste disposal in Sweden	35
Figure 3.5-3 Radioactive waste classification and related regulations	36
Figure 3.5-4 Uranium concentration in surface water, penetration water, and ground water in Risängen	40

Table Index

Table 3.1-1 Comparison of licensing procedure and operational management between Aube and Morvilliers	3
Table 3.1-2 Safety assessment method for disposal of uranium bearing waste after control period in Aube and Morvilliers	11
Table 3.3-1 Safety assessment method for disposal of uranium bearing waste after control period in Drigg disposal facility	26
Table 3.4-1 Brief summary of the survey results for Clifton Marsh disposal facility	33
Table 3.5-1 Municipal Landfills which receives uranium bearing waste	36
Table 3.5-2 Regulations and permitting authority regarding landfill disposal and clearance	37
Table 3.5-3 Safety Assessment applied to clearance of uranium bearing materials	39
Table 4.1-1 Country-by-country review table	45

1. まえがき

ウラン廃棄物に関する海外の現地調査については、原子力機構だけではなく、原子力バックエンド推進センター（RANDEC）、ウラン加工メーカーもこの数年間継続的に実施し、情報共有を行っている。しかしながら、各国とも時代とともに規制の考え方が変化しているため、ウラン廃棄物処分の海外事例については最新の情報を入手して整理することが重要である。さらに、公開情報だけでは調査の限界があるため、現地にて聞き取り調査等を実施して得難い情報を収集する必要がある。

平成 25 年度では、平成 24 年度に実施した米国及びカナダの調査に引き続いて、フランス、英国及びスウェーデンでのウラン廃棄物の安全評価の基本的考え方について調査を行った。これに加えて、欧州では低い放射能濃度の廃棄物は、産業廃棄物処分場において処分することが進められていることから、産業廃棄物処分を含めたウラン廃棄物の処分方法も調査した。本書では、これらの調査結果について報告する。

2. 調査項目と方法

平成 25 年 8 月から 9 月にかけて、フランスでは、放射性廃棄物管理機関（ANDRA）本部及びオーブ/モルヴィリエ処分場、英国では LLWR 社 ドリッグ処分場及び SITA 社 クリフトンマーシュ処分場、スウェーデンでは放射線安全機関（SSM）を訪問し、聞き取り調査を行った。

フランスで行われている長寿命核種低レベル（FA-VL）放射性廃棄物の処分についての検討状況（FA-VL プロジェクト）及び英国、スウェーデンで行われているウラン廃棄物の産業廃棄物処分場での処分について以下の観点を中心に調査した。

- ① 安全評価を行う基本的な考え方（特に、ラドンガスによる被ばくの評価状況）
- ② ウラン廃棄物の産廃処分も含め、ウラン廃棄物の具体的な処分方法の調査（施設構造への要求事項、段階的管理、制度的管理の方法等）

3. 訪問先調査内容

3.1 フランス：放射性廃棄物管理機関（ANDRA）オーブ / モルヴィリエ処分場

3.1.1 背景

放射性廃棄物管理機関（ANDRA）は、フランス国内の放射性廃棄物の管理、処分の実施、処分の研究開発を担っている公的な機関である。ANDRA が現在操業している極低レベル放射性廃棄物を対象としたモルヴィリエ処分場及び低レベル放射性廃棄物を対象としたオーブ処分場においては、ウラン廃棄物を含めて処分事業が展開されている。本項では、両処分場を比較しながら、主にウラン廃棄物の処分状況及び管理期間終了後の安全評価に着目した調査結果を示す。

3.1.2 調査結果

1) フランスにおける放射性廃棄物の放射能レベルと処分概念について

フランスにおける放射性廃棄物の放射能レベルと処分概念を図 3.1-1 に示す。フランスでは、固体廃棄物のクリアランスを実施しておらず、概ね 100Bq/g 以下の廃棄物は、極低レベル廃棄物（Very Low Level Waste : VLLW）として区分され、モルヴィリエ処分場に処分されている。また、低中レベル（Low and Intermediate level）で主に短半減期核種を含む廃棄物（Short-lived waste (SL)）は、過去にはラマンシュ処分場に、現在では、オーブ処分場に処分されている。

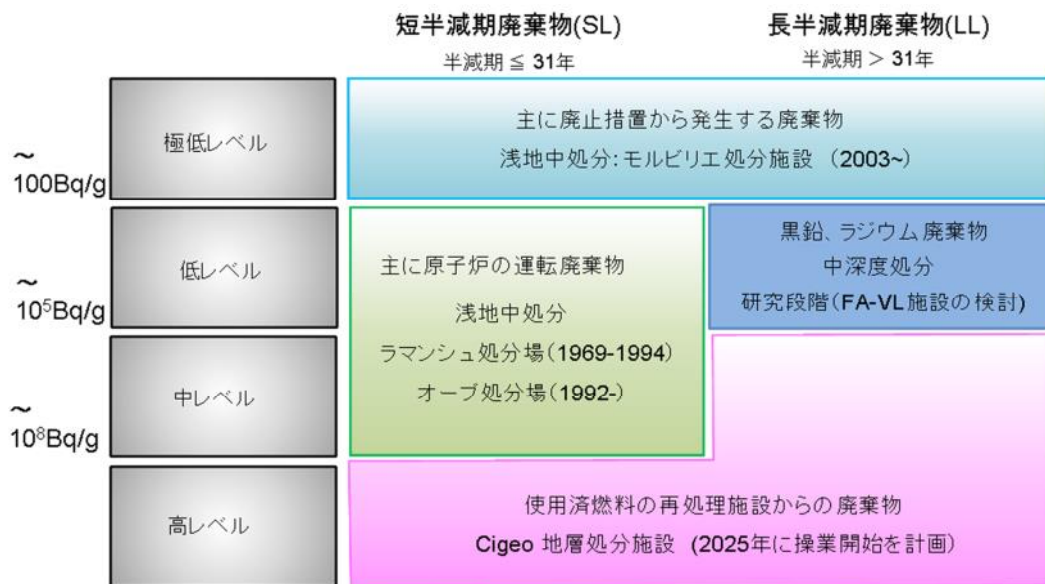


図 3.1-1 フランスにおける放射性廃棄物の放射能レベルと処分概念

VLLW の処分場であるモルヴィリエ処分場は、埋設する合計の放射能レベルによる施設分類の指標（ratio Q²⁾ ¹⁾の値が小さいことから、原子力基本施設（INB）ではなく、

¹ Q 値 : $\sum A_i/A_{ref_i}$ の値。A_iは施設で使用する核種iの放射能、A_{ref_i}は核種iで基準となる放射能で、法令で規定される免除レベルが使用されている。施設の INB 又は ICPE への分類、ICPE を届出施設又は許可施設等に分類するための一つの指標として用いられる。

環境保護指定施設 (ICPE) に分類されている。ICPE は放射性物質を扱う施設に限らず、有害物質を扱う事業から農業及び畜産業関連の事業等、様々な業種に適用される。環境汚染など、環境保護の観点からリスクが高いと判断される事業を行う特定の施設として指定され、「ICPE に関する 1976 年 7 月 19 日の法律³⁾ (79-663)」で、規制の枠組みが規定されている。ICPE は環境大臣の規制下に置かれ、その規制はリスク予防総局 (DGRP) の管轄下で県知事により行われる。

オーブ処分場は、「INB に関する 2007 年 5 月 11 日の政令 (2007-830)²⁾」において規定される施設である。なお、INB は施設の種類等によって区分されるレベルや規定が異なる。表 3.1-1 にオーブ処分場とモルヴィリエ処分場の許可手続き、処分場の管理の比較を示す。両者を比較するとモルヴィリエ処分場の方が、扱う廃棄物の放射能レベルが低いため、許可手続き等が相対的に簡略化されている。

表 3.1-1 オーブ処分場とモルヴィリエ処分場の許可手続き、管理の比較

	オーブ処分場	モルヴィリエ処分場
施設分類	原子力基本施設 (INB)	環境保護指定施設 (ICPE)
規制機関	原子力安全機関 (ASN) 等の国の機関	主に地方行政機関
許可手続き	許可政令 (Decree) (手続き期間 3 年) ASN による技術審査 試験操業ライセンス (試験操業期間 1 年)	申請書と添付書類 (手続き期間 12 ヶ月) 地方自治体の命令 (Order) の形で許可が発行される。
モニタリングプログラム	ASN による認可	地方自治体の命令 (Order) の形式
安全評価のレビュー	10 年ごと	義務はない

2) モルヴィリエ処分場の概要

モルヴィリエ処分場²⁾は、フランス北東部のオーブ県にあり、敷地面積は 45ha、廃棄物の処分容量は、650,000m³ である。図 3.1-2 にモルヴィリエ処分場の全景を、図 3.1-3 に処分場の断面図を示す。処分場は、厚さ 15m~25m の低透水性の粘土層⁴⁾の地盤に設置され、図 3.1-3 に示すように高密度ポリエチレン (HDPE) の遮水シートや粘土層の遮水機能を備えたトレンチ処分場となっている。図 3.1-2 において、白いテントで覆われているエリアが、廃棄物の定置中又は掘削中のトレンチである。

²⁾ 現在は、敷地内に原子力施設以外からの FA-VL 廃棄物の貯蔵施設を設置したため、分別・貯蔵及び処分施設 (Cires: Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage) として操業中。



図 3.1-2 モルヴィリエ処分場の全景

(ANDRA 提供)

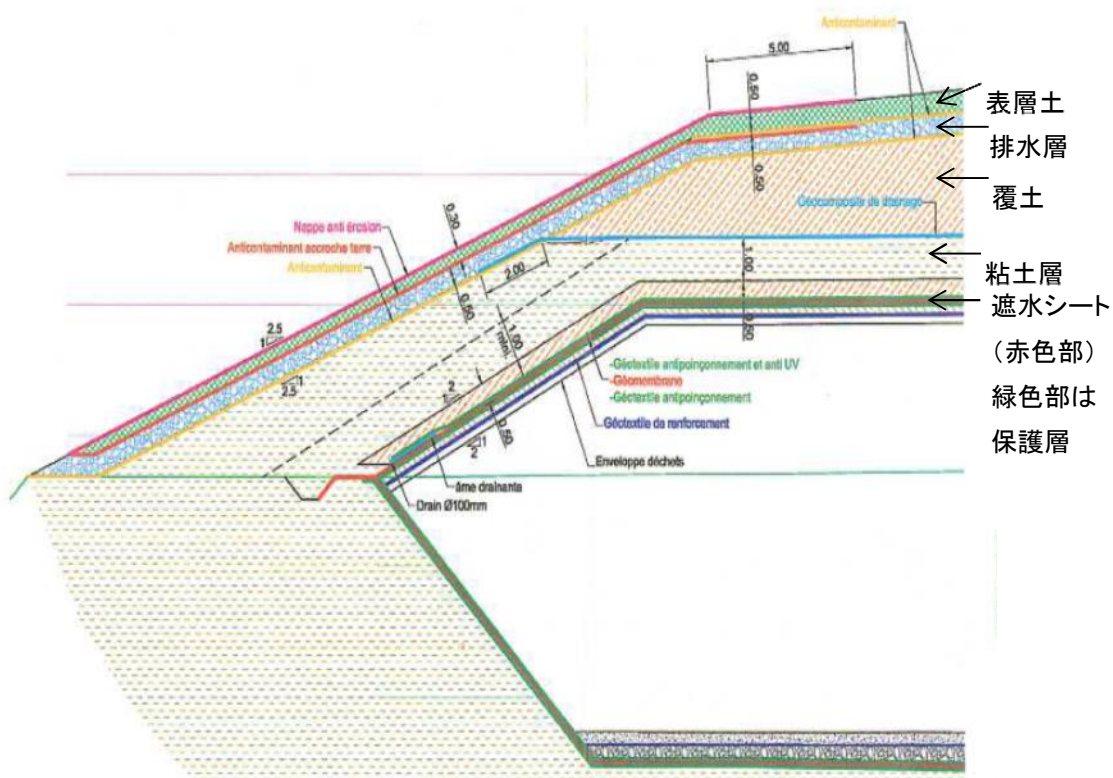


図 3.1-3 モルヴィリエ処分場の断面図

(ANDRA 提供)

処分場は2003年に操業が開始され、2012年までの処分実施量は約227,000m³であり、12基のトレンチが埋設を終了している。図 3.1-4 から図 3.1-8 にモルヴィリエ処分場の操業の過程を示す。図 3.1-6 から図 3.1-8 に示すように様々な形状の極低レベル廃棄物をフレキシブルコンテナ、ドラム缶、角形容器などに入れて処分する他、大型の廃棄物を

直接処分している。モルヴィリエ処分場では、圧縮処理施設が設置されており、受入れたプラスチックや圧縮可能な金属の廃棄物の処理をした後、埋設することも行われている。

図 3.1-9、図 3.1-10 に、上部の HDPE 遮水シートと覆土の施工状況を示す。覆土後の処分場の管理期間（モニタリング期間）は、30 年とされている。

ANDRA が発行しているフランス国内の放射能インベントリ報告書では、埋設した α 線放出核種の放射エネルギーは、2010 年末までで $2.0 \times 10^{12} \text{Bq}$ であり、その主要核種は U-234 と U-238 であることが示されている。埋設した α 線放出核種の廃棄物全体での平均放射エネルギー濃度は、廃棄物の密度を 1g/cm^3 として計算すると約 8.8Bq/g となる。



図 3.1-4 トレンチの掘削
(ANDRA 提供)



図 3.1-5 定置前のトレンチ
(ANDRA 提供)



図 3.1-6 ドラム缶の定置
(ANDRA 提供)



図 3.1-7 廃棄物の定置
(ANDRA 提供)



図 3.1-8 大型廃棄物の定置
(ANDRA 提供)



図 3.1-9 埋戻し及び上部遮水シート施工
(ANDRA 提供)



図 3.1-10 上部遮水シート設置、覆土
(ANDRA 提供)

3) オープ処分場の概要

オープン処分場は、モルヴィリエ処分場から約 2km 離れた地点に立地され、事業所の敷地面積は 95ha、廃棄物の処分容量は、100 万 m^3 である。オープン処分場の全景及びコンクリートセルを図 3.1-11、図 3.1-12 に、処分場の覆土の構造を図 3.1-13 に示す。処分場は、コンクリートセル（幅 25m×長さ 25m×高さ 8m）にドラム缶、角型の金属容器、コンクリート製の容器を積み上げて埋設し、セル内の空隙をセメントや砂で充填し、上部にキャッピングする構造となっている。セルの底部には浸透した水を集水するドレンが備えられており、地下の集水管を通じて浸透水を集められるようになっている。

コンクリートセルは将来、図 3.1-13 に示すような粘土層や砂利の排水層による多層覆土が施されるが、HDPE のような遮水シートはこれまでの経験から長期的な管理が難しいため、覆土に設置しない方向で検討されている。覆土後における管理期間（モニタリング期間）は、300 年とされている。

2012 年までの埋設処分量は、約 267,000 m^3 であり、116 基のコンクリートセルが埋設を完了している。ANDRA が取りまとめたフランス国内の放射能インベントリ報告書^{5,6)}では、ウラン廃棄物に相当する廃棄物の処分実績は 10,100 m^3 であり、そのウランの放射エネルギーは、 $4.6 \times 10^{11} Bq$ と示されている。埋設したウランの廃棄物全体での平均放射能濃度は、廃棄物の密度を $1g/cm^3$ として計算すると、約 45Bq/g となる。



図 3.1-11 オープ処分場の全景
(ANDRA 提供)



一つのセルは約
25m×25m×高さ8m



地下の集水坑

図 3.1-12 オープ処分場の主要な設備

(ANDRA 提供)

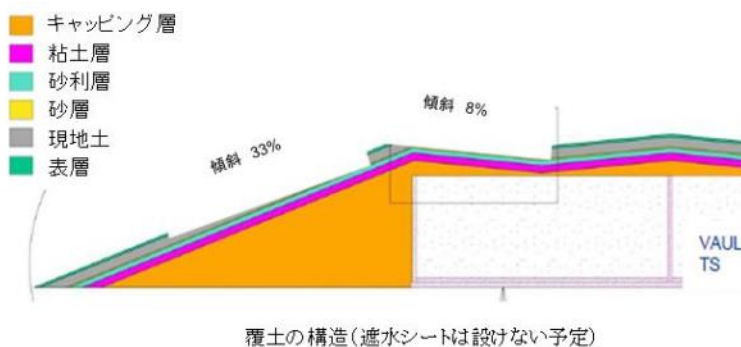


図 3.1-13 オープ処分場の覆土の構造

(ANDRA 提供)

4) ウラン廃棄物に着目した管理期間終了後の安全評価

オープン、モルヴィリエ処分場の安全評価は、大きく分けて以下の 3 つの評価が行われている。

(i) 作業時の作業者の線量評価

線量基準は 20mSv/年であるが、ANDRA は線量目標値として 5mSv/年に設定している。

(ii) 管理期間中及び管理期間終了後の公衆に対する安全評価

基本状態のシナリオの評価に対する線量基準は 1mSv/年であるが、ANDRA は線量目標値として 0.25mSv/年に設定している。

変動状態のシナリオの評価に対する線量基準は決まっておらず、変動状態に備えた安全対策が十分であるかどうかを審査される。人間侵入シナリオは変動状態のシナリオと

同様に考えられ、線量基準は決まっておらず、線量の評価結果を踏まえつつ、人間侵入に対する設計対策（インベントリの制限、人間活動からの隔離（覆土の厚さ））がなされていることについて審査される。ANDRA では、人間侵入シナリオに対する設計対策の説明を行うとともに、線量の評価結果に対する指標を 1~10mSv/年程度としている。この指標値は、シナリオの発生の可能性を考慮すれば、線量基準（1mSv/年）と同程度であることから設定されている。

(iii) 事故時における作業者と一般公衆の安全評価

線量基準は決まっておらず、ANDRA は指標値として 10mSv 又は 10mSv/年を設定している。

上述の評価のうち、管理期間終了後の安全評価について、ウラン廃棄物の処分に関連して調査した結果を以下に示す。また、主な調査内容について表 3.1-2 に示す。

①ウラン廃棄物の受入れ

オーブ及びモルヴィリエ処分場ともに核燃料加工施設、濃縮施設等から発生するウラン廃棄物を受け入れている。ウラン廃棄物の受け入れ基準は、オーブ処分場では α 核種として 3,700Bq/g、モルヴィリエ処分場ではウランとして 100Bq/g である。

②管理期間終了後の安全評価における評価期間

ウラン廃棄物は、子孫核種のビルドアップにより数万年以上かけて放射能が増加するため、管理期間終了後の安全評価期間が線量に影響する。しかし、オーブ処分場、モルヴィリエ処分場の人間侵入シナリオの評価では、両処分場ともに処分場全体ではウラン廃棄物の放射能は低く、 α 核種では、Am-241 や Pu-239 の方が線量評価上重要であると考えられ、埋設終了後、オーブ処分場では 300 年、モルヴィリエ処分場では 50 年の時点での評価が実施されている。

地下水シナリオの評価期間は、線量が最大となる期間を含むように設定されている。オーブ処分場では、当初の処分場を特定しない一般的な評価の際にピークが数千年であった経緯もあり、評価期間が 1 万年に設定されているが、基本的には線量が最大となる期間を含むように設定されている。

③ウランの子孫核種の評価

オーブ処分場、モルヴィリエ処分場ともにウランは評価対象としているが、両処分場ともに、ウランの処分場全体の廃棄物で平均した放射能濃度は数 Bq/g 以下である。 α 核種では Am-241、Pu-239 からの線量の方が重要と考えられており、ウランの子孫核種の線量評価を実施していない。

④ラドンからの線量評価

オーブ処分場では、ウランの放射能濃度が低く、ウラン廃棄物以外にラドンの生成源となるラジウム、トリウム廃棄物を受け入れていないため、ラドンからの線量評価は実施していない。モルヴィリエ処分場では、ウランの放射能濃度が低いことからウランの子孫核種のラドンの評価は実施していないが、廃棄物に含まれるラジウム、トリウムの子孫核種のラドンの評価については実施している。

⑤人間侵入シナリオの評価における浸透水による処分場内の放射能の減少の考慮

オーブ、モルヴィリエ処分場ともに核種の閉じ込めが基本であり、人間侵入シナリオの評価において、浸透水による核種の移行により処分場内の放射能が減衰する影響を考慮していない。ただし、評価の時期がオーブ処分場では 300 年、モルヴィリエ処分場では 50 年であることから、ウランなどの分配係数の比較的大きい核種であれば、浸透水による浸出の影響を考慮しても結果に違いはあまり見られないと考えられる。

⑥ウラン廃棄物と他の LLW、VLLW との混合処分、埋設処分場の放射能濃度の平均化

オーブ処分場、モルヴィリエ処分場ともにウラン廃棄物と他の廃棄物のセルを区別することをしていない。安全評価では、コンクリートセル、トレンチ毎に放射能濃度を平均化している。

表 3.1-2 オープン処分場及びモルヴイリエ処分場におけるウラン廃棄物に対する管理期間終了後の安全評価方法

		オープン処分場	モルヴイリエ処分場
ウラン廃棄物の受け入れ		核燃料加工施設、濃縮施設等から発生するウラン廃棄物を受け入れている。	
ウランの濃度上限値		3,700Bq/g (α核種としての値) 処分場平均では数 Bq/g 以下となるほど低い。	100Bq/g (ウランとしての値) 処分場平均では数 Bq/g 以下となるほど低い。
線量基準	地下水シナリオ	基本シナリオの線量基準は 1mSv/年。ANDRA の目標値は、250µSv/年。	
	人間侵入シナリオ	線量基準は決まっていない。 人間侵入に対する設計対策（インベントリの制限、人間活動からの隔離（覆土の厚さ））がなされていることについて規制機関から審査を受けるとともに、評価結果に対する線量基準をシナリオの発生の可能性を考慮して、線量基準（1mSv/年）と同等となる 1~10 mSv/年程度としている。	
評価期間	地下水シナリオ	1 万年（当初のジェネリックな評価の際にピークが数千年であったため）。	線量のピークを含む期間としている。
	人間侵入シナリオ	埋設終了後 300 年後。	埋設終了後 50 年後。
ウランの子孫核種の評価		ウランの子孫核種を評価していない（処分場全体の廃棄物で平均したウランの放射能濃度が低いため）。	
ラドンの評価		評価していない（ウランの放射能濃度は低く、ラジウム、トリウム廃棄物を受け入れていないため）。	ウランの放射能濃度は低いため、ウランの子孫核種のラドンは評価していない。ラジウム、トリウムの子孫核種のラドンについて評価している。
長期の人間侵入シナリオにおける浸透水による埋設地からの放射能の減少の考慮			考慮していない。
処分場の放射能濃度の平均化		ピット、トレンチ単位で平均化を行っている。	

5) その他処分場管理に関する情報

その他、ウラン廃棄物の処分に関連して以下の情報を調査した。

①処分場内の放射能濃度の管理

できるだけホットスポットとならないように、安全評価の条件に近付けるように廃棄物の配置や配列を考慮している。なお、オーブ処分場では線量の高い廃棄物を置くためにその領域の周りの部分を先に定置し、遮へいを考慮した定置も行っている。

②ウラン、ラドンに関するモニタリング

オーブ処分場ではラドンのモニタリングは実施していない。モルヴィリエ処分場では入口付近と FA-VL 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。ウランに関連したモニタリングは、オーブ処分場、モルヴィリエ処分場ともに、全 α 線放出核種の放射能濃度について実施している^{7,8)}。オーブ処分場では、モニタリングプログラムを ASN の認可を受けて実施しており、定期的に検査を受けている。データは一般に公表している。モルヴィリエ処分場では、県の規定に基づいた測定点において空気、堆積物、水試料について測定し、一般に公表している。

③管理期間

オーブ処分場のモニタリング期間は 300 年、モルヴィリエ処分場のモニタリング期間は 30 年である。モニタリング期間終了後、10 数年から数 10 年、州の土地管理などによる再利用制限がかかるかもしれないが、はっきりとは決まっていない。

3.1.3 まとめ

オーブ、モルヴィリエ処分場ともにウラン廃棄物を他の原子力施設からの廃棄物とともに受け入れており、他の廃棄物とコンクリートセルやトレンチを区別せずに処分を実施している。放射能インベントリ報告書では、オーブ処分場の 2012 年までの埋設処分量約 267,000m³のうちウラン廃棄物の処分実績は 10,100m³であり、全体に占める割合は少ないが、200 リットルドラム缶換算で約 5 万本は処分されている。モルヴィリエ処分場では発生施設別の埋設廃棄物量が示されていないのでウラン廃棄物の埋設量は不明であるが、埋設された α 線放出核種のうち主要な核種は U-234 と U-238 と示されていることから、ウラン廃棄物が処分されていることが把握できる。

基本状態のシナリオに対する線量基準⁹⁾は 1mSv/年であるが、ANDRA は目標値として 250 μ Sv/年を定めている。

一方で、人間侵入シナリオや変動状態のシナリオの評価における線量基準は決まっていないが、ANDRA では 1mSv/年から 10mSv/年程度までを評価の指標として用いている。この指標はシナリオの発生の可能性を考慮すれば、1mSv/年と同等であることから用いられている。両処分場ともに、処分場全体の廃棄物に対するウランの平均放射能濃度は数 Bq/g 程度と低く、安全評価上は Am-241、Pu-239 の方が α 線放出核種として重要であると考えられている。このため、人間侵入シナリオでの評価期間は、オーブ処分場では 300 年、モルヴィリエ処分場では 50 年であり、ウランの子孫核種の生成につい

て評価されておらず、ウラン廃棄物から生成するラドンについての評価も実施されていない。

上述の安全評価方法は、日本におけるウラン廃棄物の浅地中処分の安全評価方法を検討する上で有用な情報と考えられるが、オーブ、モルヴィリエ処分場の安全評価が実施された時期は 1990 年代～2003 年頃であるため、後述する FA-VL 廃棄物処分に対する最近の評価方法も踏まえることが必要と考えられる。

また、モルヴィリエ処分場とオーブ処分場では処分場の規制機関及び規制手続きが異なる。モルヴィリエ処分場では埋設する放射能が低いことから、オーブ処分場と比較して規制手続きが簡略化されている。

3.2 フランス：放射性廃棄物管理機関（ANDRA）FA-VL 廃棄物処分概念と立地

3.2.1 背景

2006年の放射性廃棄物等管理計画法を受けて検討中のFA-VL廃棄物処分については、処分場候補地自治体が、2009年に反対派の圧力により処分場選定プロセスからの辞退を決定した。これを受けて、政府は新たな放射性物質及び放射性廃棄物管理国家計画（2010-2012年）¹⁰を策定し、ANDRAはFA-VL廃棄物に係るこれまでとは異なる管理オプション及び新たな処分場選定手順を2012年12月にまとめ、政府へ提出した¹¹。報告書によると、FA-VL廃棄物量としては、黒鉛廃棄物が～23,000t、ラジウム含有廃棄物は50,000～90,000m³と推定されている。これ以外に、使用済密封線源、歴史廃棄物（legacy waste）及びアレバ社の転換施設から発生したウラン廃棄物も含まれる。

今回の調査では、2012年末に政府へ提出された報告書の内容、評価方法及び今後の進め方について確認した。

3.2.2 調査結果

1) 2012年報告書の概要¹¹

対象となる廃棄物は、①ラジウム含有廃棄物、②黒鉛廃棄物及び③その他の廃棄物である。報告書では、廃棄物管理オプションを廃棄物ごとに検討している。①ラジウム含有廃棄物に対しては、これまでの検討と同じく、再生被覆層下での処分（SCR）³を行うこととしている。②黒鉛廃棄物は、これまで検討されていた、非損傷被覆層での処分（SCI）⁴の他、詳細な廃棄物特性把握と分別・処理による処分量の合理化を基本とした複数の管理シナリオを追加した。大別すると、a) 廃棄物を選別し、SCRと地層処分（Cigéoプロジェクト）に分けて処分する、b) 廃棄物の選別及び廃棄物からの特定の核種（H-3、C-14、Cl-36等）の抽出処理（核種抽出）を行い、SCRと地層処分に分けて処分する、c) 核種抽出や黒煙を完全分解した後に特定の核種を再濃集する処理（ガス化）を行い、地層処分するというシナリオである。③その他の廃棄物については、アスファルト固化廃棄物は、黒鉛廃棄物と同様の選択肢を、NORM（自然起源放射性物質）廃棄物やウラン廃棄物（アレバ社の転換工場から発生した廃棄物）は、ラジウム含有廃棄物と同様の選択肢であるが、詳細は今後の検討とされている（図 3.2-1）。なお、ウラン廃棄物としては、アレバ社の転換工場以外にもウラン濃縮工場から発生する廃棄物（過去に発生したもの及び今後の発生するものもある）があるが、オンサイト処分は必ずしも除外されていない。

立地に関しては、ANDRAからの十分な取り組みが行われていなかったとの反省を基に、住民との対話を重視したものとなっている。また、原子力施設の立地地域などは、す

³ 厚さ数十 m の粘土層がある地質環境において、15m 程度まで掘削し、施設建設及び廃棄物定置後に掘削土を圧縮したものを覆土として再利用する浅地中処分。「再生被覆層下での処分」の用語は、原子力環境整備促進・資金管理センター（2013）平成 24 年度放射性廃棄物海外総合情報調査報告書を参考とした。

⁴ 地表から数百 m の深さで 100m の層厚のある粘土層中に設置する地中処分。「非損傷被覆層での処分」の用語は、原子力環境整備促進・資金管理センター（2013）平成 24 年度放射性廃棄物海外総合情報調査報告書を参考とした。

で原子力産業への理解が進んでいるため、これらの地域を優先的に処分場候補地として調査している。

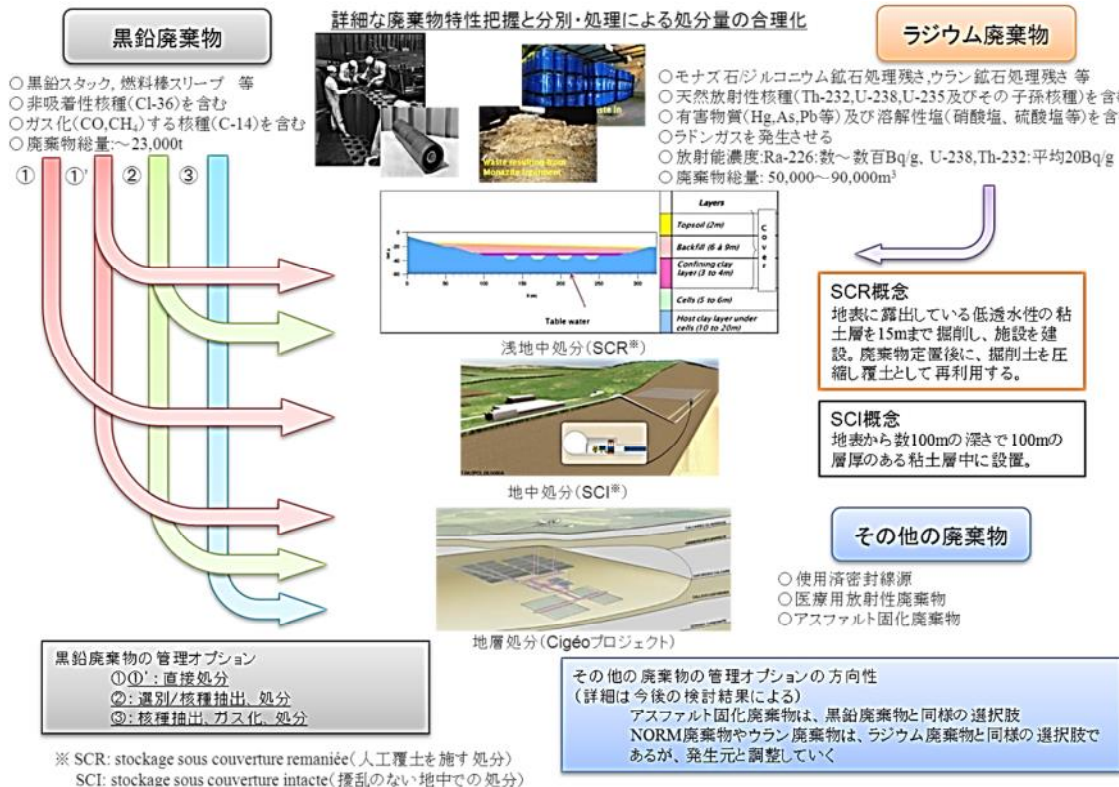


図 3.2-1 FA-VL 廃棄物の管理シナリオ

2) 評価方法

FA-VL 廃棄物処分に係る安全評価方法は、ASN が 2008 年に策定したガイドライン¹²⁾で、次のように規定されている。

- 安全評価では、基本状態 (Situation de reference) 及び変動状態 (Situations dites altérées) を考慮する。
- 基本状態では、自然現象として、地下水への移行等を評価するが、①気候変動、②隆起沈降及び③地震によって想定される変化を考慮する。
- 変動状態では、上記の①～③の極端な状況を想定した自然現象及び人間活動 (人間侵入) を考慮する。
- 人間侵入として考慮される活動は、①遺跡発掘や鉱山活動、②井戸掘削、③道路建設、トンネル掘削、住居・ビル建設に区分される。
- 地質の安定性により処分場の安全性を最低 1 万年間担保する。その評価における線量基準は、線量拘束値としての 0.25mSv/年を用いる。
- 1 万年以降については、安全性の評価を行いながら、核種の流出などに対して、可能な限り線量を下げるような合理的対策をとる。この場合、線量基準を具体的に示さない定性的な評価であり、0.25mSv/年を参考値とする。
- 人間侵入に対する線量基準 (規制値又は実施主体による目標値) は示されていない。
- 線量基準以外に、評価の指標として放射性物質のフラックスや濃度などを用いるこ

ともできる。

- 不確実性評価及び感度解析を実施する。

一方、ANDRA の評価においては、次のようになっている。

- 評価は、オーブ及びモルヴィリエ処分場を対象とした評価と同様のシナリオにて行っている。
- 線量基準は、ANDRA としてはトレンチ処分、ピット処分及び地層処分の様に処分形態が異なっても同一のものを適用している。それと同様に、SCR 及び SCI でも同じ基準を適用している。
- ラジウム含有廃棄物中のウラン濃度は低い (U-238 として約 20Bq/g) が、ラドン評価では、埋設当初から含有するラジウムから壊変するラドンと U-238 等から壊変するラドンについて、それぞれ評価を行っている。その結果、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。
- ASN のガイドラインでは、地層処分の議論を基に評価期間を 1 万年とそれ以降で分けているが、ANDRA の評価では、適切な地質環境を選定することにより、5 万～10 万年の安全性を担保する方針であり、線量評価結果は、0.25mSv/年の線量基準を十分に下回っている。
- 現在の評価はジェネリックなものであるため、サイトスペシフィックな評価、処分場設計及び受入れ基準などの具体的な評価や設定は、今後の詳細な検討の中で行う。

3) 今後の進め方

2012 年の報告書¹¹⁾を受けて、今後はプロジェクトの継続について検討ができるように、ANDRA は管理方策を定めるためのコストを含めた詳細検討を行い、2015 年までに報告書に取りまとめる。それまでの間、地質環境調査、廃棄物特性調査及び管理方策の評価に必要となる R&D を共同研究も交えながら進めることとしている。

なお、地質環境調査及び必要なサイト特性の把握としては、2013 年 7 月よりスレーヌ-デュイス (オーブ県) で地質環境調査が開始されている。また、アレバ社、フランス原子力・代替エネルギー庁 (CEA) 及びフランス電力 (EDF) のような原子力関連企業及び機関との技術協力を進めている。

3.2.3 まとめ

FA-VL 廃棄物処分場の埋設対象は、黒鉛廃棄物とラジウム含有廃棄物が主で、ウラン廃棄物の量は少ない。ウラン濃度に関しては、ラジウム含有廃棄物中の U-238 濃度は平均 20Bq/g である。

廃棄物の管理シナリオは、詳細な廃棄物特性把握と分別・処理による処分量の合理化を基本とした複数の管理方策を検討している (ラジウム含有廃棄物の管理方策は一つ)。評価は、ANDRA の他の処分場と同様に基本状態及び変動状態を考慮し、自然過程及び人間侵入のシナリオを評価している。ラドンの評価は、埋設当初から含まれるラジウムから壊変するラドン、そして U-238 から壊変するラドンの両者をそれぞれ評価している。

線量基準は ANDRA の他の処分場と同じ (自然過程に対する線量拘束値 0.25mSv/年、

人間侵入に対する線量基準 1～10mSv/年) であるが、定量的評価による安全性を確保する期間として最低 1 万年としている。1 万年を超える期間に対しても評価を行うが、より線量を下げることが基本とし、その扱いは定性的な評価として 0.25mSv/年は参照値として扱う。このような評価期間及び基準の考え方は、ウラン廃棄物を主な対象としてはいないものの、長寿命廃棄物処分の評価の考え方として米国の 10CFR61¹³⁾の改訂と共に参考になるものと考えられる。なお、実際の評価としては、安定な地質環境を選定することにより、50,000 年～100,000 年の安全性について余裕をもって確保できるようなものとなっている。

立地に関しては、ANDRA からの十分な取り組みが行われていなかったとのこれまでの反省を基に、住民との対話を重視したものとなっている。また、原子力施設の立地地域などは、すでに原子力産業への理解が進んでいるため、これらの地域を優先的に処分場候補地として調査している。

今後は、プロジェクトの継続について検討ができるように、ANDRA は管理方策について、コストを含め詳細に検討し、2015 年までに報告書を取りまとめる。それまでの間、地質環境調査、廃棄物特性調査及び管理方策の評価に必要な R&D を共同研究も交えながら進めることとしている。

3.3 英国：LLWR 社 ドリッグ処分場

3.3.1 背景

英国における放射性廃棄物のレベル区分を図 3.3-1 に示す。ドリッグ処分場は、図 3.3-1 に示す低レベル廃棄物の処分場であり、過去には、英国原子力公社（UKAEA）、英国核燃料会社（BNFL）により操業されていたが、現在は、原子力廃止措置機関（NDA）から委託を受けた LLW Repository Ltd（LLWR）により 2007 年から運営されている。図 3.3-2 にドリッグ処分場の操業管理の仕組みを示す。

ドリッグ処分場の調査は、これまででも進められてきたが、本項では、主にウラン廃棄物の処分状況及び管理期間終了後の安全評価に着目した内容に係る調査結果を示す。

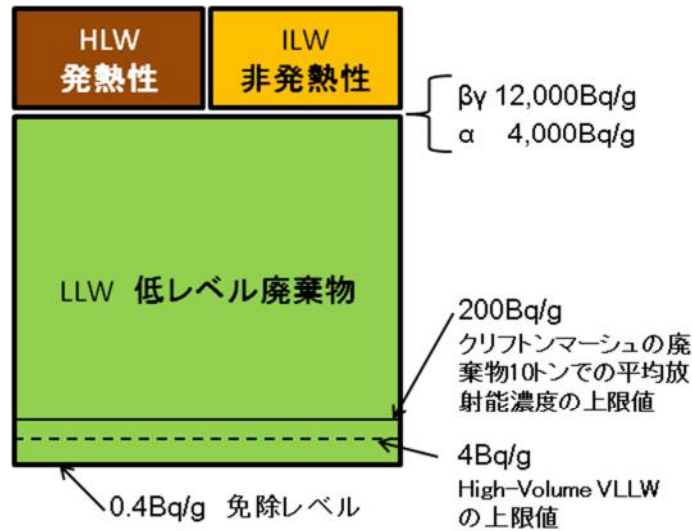
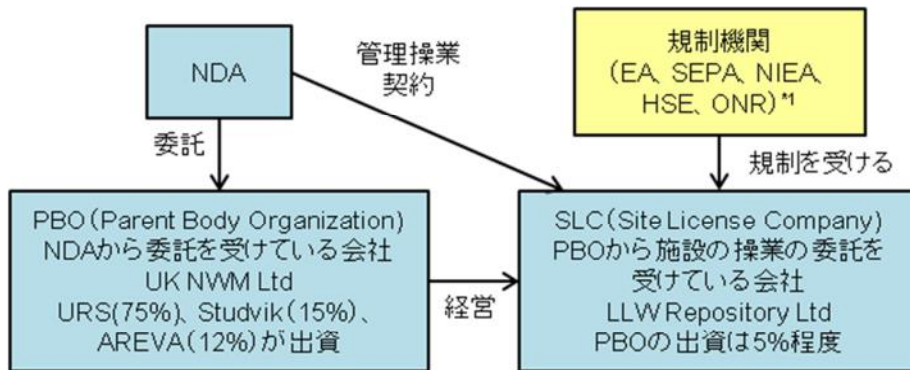


図 3.3-1 英国における放射性廃棄物のレベル区分
(放射能濃度は廃棄物中全核種の総和を廃棄物重量で割ったもの)



*1: EA Environmental Agency 環境省
 SEPA Scottish Environment Protection Agency スコットランド環境保護局
 NIEA Northern Ireland Environment Agency 北アイルランド環境庁
 HSE Health and Safety Executive 保健安全執行部
 ONR Office for Nuclear Regulation 原子力規制局

図 3.3-2 ドリッグ処分場の操業管理体制

3.3.2 調査結果

1) ドリッグ処分場の概要

ドリッグ処分場は、図 3.3-3 に示すようにアイリッシュ海に面しており、セラフィールドサイトの南側に位置している。海までの距離は約 500m である¹⁴⁾。図 3.3-4 にドリッグ処分場の全景を示す。1959 年からトレンチ 1 の処分を開始し、トレンチ処分場による処分はトレンチ 7 まで行われた。1995 年からは図 3.3-5 及び図 3.3-6 に示すようなコンクリートの壁で囲われ集水システムを設けたボルトの処分場（ボルト 8、9）の操作が行われている。廃棄物の輸送から定置までの安全を確保するため、大型の ISO コンテナのボルト 8 への定置も 1990 年代半ばに始まった。現在は、ボルト 8 はほぼ満杯の状況で、ボルト 9 に主に定置している状況である。将来的にボルト 14 まで建設する計画である。

2011 年 3 月にドリッグ処分場の環境への安全性を示した環境セーフティーケース評価（ESC）が取りまとめられ、環境省へ提出された。現在、環境省によるレビュー中で、今後、2 年以上はかかる見込みである。



図 3.3-3 ドリッグ処分場の位置
(ESC¹⁴)より転載)

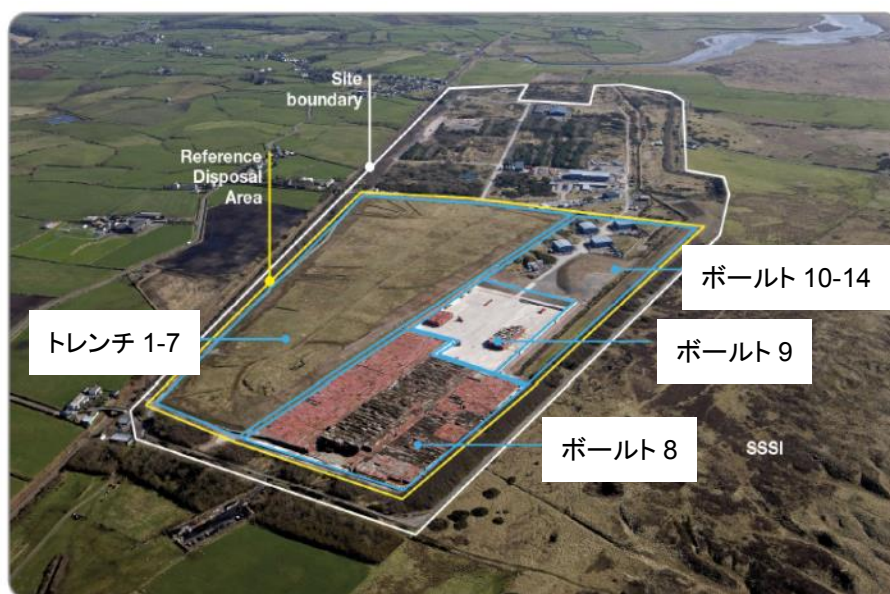


図 3.3-4 ドリッグ処分場の全景 (ESC¹⁴)より転載)



図 3.3-5 2011 年以前のボールト 8 (ESC¹⁴)より転載)



図 3.3-6 ボールト 9 (ESC²⁰)より転載)

2) ウラン廃棄物に関連した管理期間終了後の安全評価

ウラン廃棄物に関連した管理期間終了後の安全評価に関して調査した情報を以下に示す。そのうち、主要な調査結果を表 3.3-1 に示す。

①ウラン廃棄物の受入について

ドリッグ処分場では、核燃料加工施設、濃縮施設等から発生するウラン廃棄物を受入れており、その最大放射能濃度は α 線放出核種の濃度限度である 4,000Bq/g である。また、別に 1 年当たりウランとして 0.3TBq の埋設放射能の制限値が課せられている¹⁵⁾。U-234 と U-238 のこれまで埋設した放射能と今後の想定放射能が ESC に示されている¹⁶⁾。これまでにトレンチ及びボールトに埋設した放射能は、U-234 及び U-238 で

それぞれ 6.3TBq 及び 7.1TBq であり、その 90%程度は 1985 年までに発生したスプリングフィールドからの廃棄物に含まれる放射能である。将来発生分の放射エネルギーは、U-234、U-238 でそれぞれ 2.8TBq 及び 2.7TBq であり、主にカーペンハーストからの UF₆ を充填していたシリンダー等の廃棄物として評価されている。一方で、これらの廃棄物は処分の前に除染し、除染で発生した二次廃棄物はドリッグ処分場に処分しないこととする考えも ESC には示されている。

②管理期間終了後の安全評価の評価基準

ESC では、地下水シナリオ、ガス移行シナリオ、人間侵入シナリオが評価されており、地下水シナリオの評価基準は、リスク基準で 10⁻⁶/年である。これは、発生確率が 1 の時の 20 μSv/年に相当する¹⁷⁾。一方、人間侵入シナリオでは、英国健康保護庁 (HPA) の助言を受け、3~20mSv/年の範囲の線量基準が用いられている。ここで 3mSv/年は数年間続くような被ばくにおいて許容される線量として考えられ、英国における土地の汚染の修復を行う際の基準として用いられる値である。また、20mSv/年は短期に受ける被ばくを考慮して設定された基準である。ガス移行シナリオは C-14 を含むガスに起因する被ばくとラドンによる被ばくが評価されている。このうち、ラドンに起因する線量については、ラドンが覆土を速く通過する経路が生成した場合に線量が大きくなるため、自然過程により覆土を通過するシナリオにおける線量は小さいと評価され、ラジウム廃棄物を直接掘り返す等の人間侵入シナリオにおける線量が評価されている。

③安全評価の評価期間

処分場は海岸まで約 500m に位置しており、将来的には海面上昇により、海水による処分場の侵食が 300 年から 3,000 年の間に起ると想定されている。侵食が始まって以降は、処分場を水が浸透して下方の地下水中を移行する地下水流モデルは意味がなくなるため、地下水シナリオの評価期間は通常のシナリオで 1,000 年間、侵食が遅れるシナリオで 5,000 年間としている。

人間侵入シナリオでは、更に長く、管理期間終了から、5,000 年までの期間と 1 万年までの期間を評価期間としている。また、ESC には示されていないが、侵食を想定しないケースとして、人間侵入シナリオで 10 万年、地下水シナリオで 25 万年までの評価を参考として実施している。この超長期の評価は、仮想的な想定として実施しており、実際に起こるとは考えられていない。

④ウランの子孫核種の評価

ウランの子孫核種は、4n+2 系列では、Th-230, Ra-226, Pb-210、4n+3 系列では、Pa-231, Ac-227 が評価されており¹⁷⁾、短半減期の子孫核種は平衡として評価されている¹⁸⁾。ラドン (Rn-222) からの吸入被ばくは別に評価されている。

⑤ラドンからの被ばく線量の評価

ウランやラジウム等の子孫核種のラドンによる線量評価が実施されている。一部の人間侵入シナリオの結果では、Ra-226 からの Rn-222 による線量の寄与が大きくなって

おり、重要な評価対象核種となっている。

⑥人間侵入シナリオの評価における浸透水による処分場内の放射能の減少の考慮

人間侵入シナリオの評価において、処分場からの放射性物質の浸出量の妥当性の証明が困難だったため、保守的に浸出による放射能の減衰を考慮せずに評価している。

⑦ウラン廃棄物と他の LLW、VLLW との混合処分、埋設処分場の放射能濃度の平均化

図 3.3-7 に示すグリッドセル（放射能濃度を評価する単位）毎に放射能濃度を平均化している。それぞれのグリッドの廃棄物層の厚さ、廃棄物の密度、掘削時におけるそれぞれのグリッドセルの覆土の厚さを考慮し、掘削後の放射能濃度の平均化をしている。

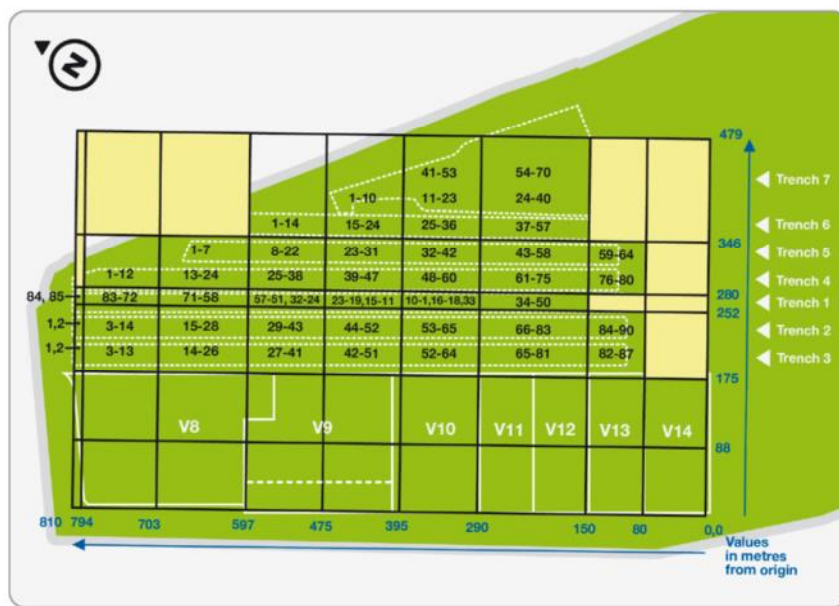


図 3.3-7 放射能濃度を評価する単位（グリッドセル）
(ESC¹⁷)より転載)

3) その他施設管理に関する情報

その他ウラン廃棄物の処分に関連して以下の情報を調査した。

①処分場内の放射能濃度の管理

コンテナを積み重ねる際、上部に放射能の高いコンテナを配置しないような定置管理が行われている。また、放射能の高い廃棄物が隣り合わせにならない方法も適用されている。この方法は、ESCにおいて配置方針（**emplacement strategy**）として示されている¹⁷⁾。特に Ra-226 を含む廃棄物は、コンテナの配置管理を行うことにより、人間侵入シナリオの線量の評価結果が異なることが示されている。

また、核種毎に埋設可能量が異なるので、我が国で行われている相対重要度評価と同様の方法（**sum of fraction 方法**）⁵⁾を用いている¹⁹⁾。

⁵⁾ 核種毎に埋設した放射能（又は濃度）と埋設可能量（又は濃度）に対する割合を求めてそれを合計し、1を超えていないことを確認する方法

②処分場の遮水バリアの構造について

ボールド 9 は、底部のコンクリートの下部にも多層からなる浸透水漏えい防止層が設けられている²⁰⁾。図 3.3-8 にその構造の概念図を示す。また、最終的には上部にも遮水機能等を持った多層覆土を設置する。図 3.3-9 に設計されている覆土の構造を示す。

また、現在、トレンチは中間的な厚さまで覆土されている状態で、ガスベントがつけられている。最終覆土の際にはガスベントが取り外されるが、図 3.3-10 のキャップベントを設置する計画である²⁰⁾。なお、放出されるラドンのレベルは、十分低いと考えられている。

③ウラン、ラドンに関するモニタリング

ラドンの環境モニタリングは、四半期毎にトレンチの覆土等のモニタリングポイントで実施されている。トレンチの浸出水集水ライン近傍で高い濃度のラドンが検出されたことがあるが、通常、ほとんどがバックグラウンドレベルである。(ラドンの英国におけるバックグラウンドは、 4Bq/m^3 である。)

ウランのモニタリングは、プルトニウム、アメリシウムとともに、定期的に空気に係る測定を実施している。ウランに関する空気以外の試料の測定は現在実施していない。過去にドリッグ川でウランの汚染があり、そのために測定を実施していたが、線量評価の結果、作業や公衆へのリスクは有意ではないと示されたためである。

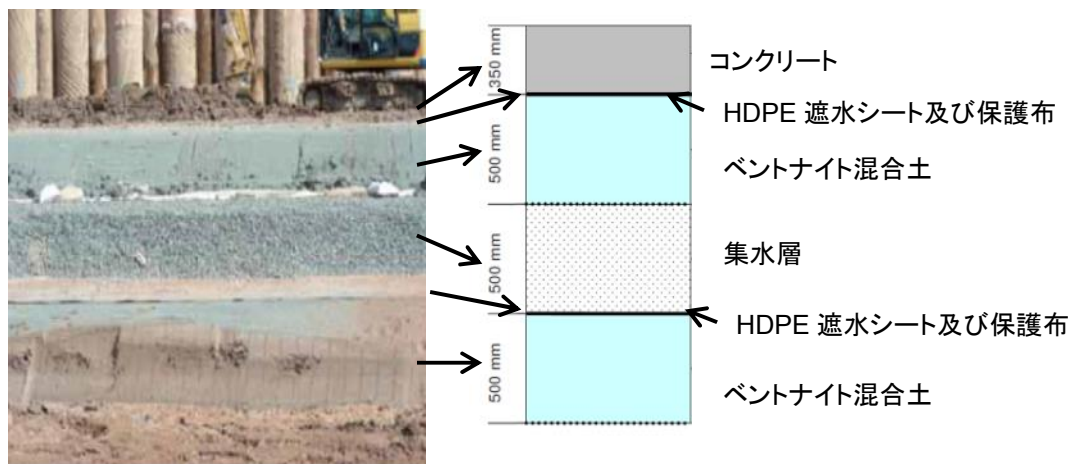


図 3.3-8 ボールド 9 の底部の遮水構造
(ESC²⁰⁾より転載)

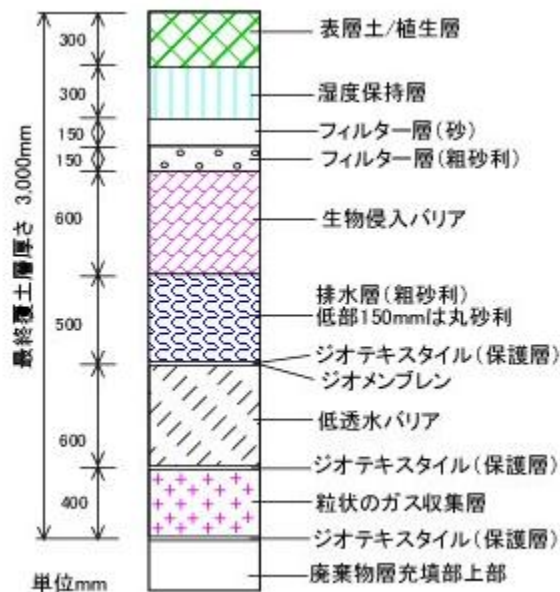


図 3.3-9 覆土の遮水構造 (ESC²⁰)より転載)

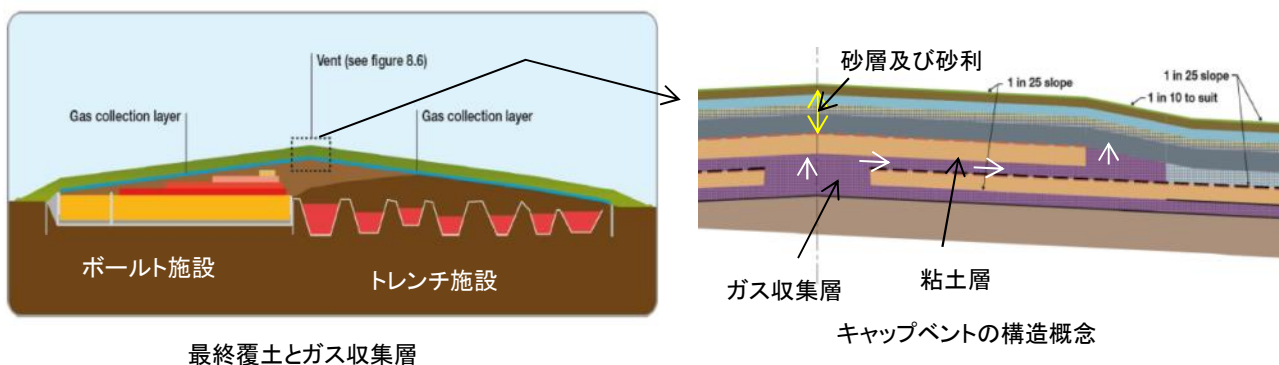


図 3.3-10 最終覆土におけるガス収集層とキャップベントの構造概念

④管理期間

管理期間は少なくとも 100 年である。それ以降は、土地利用に関する法的な契約や地域の計画に基づいて受動的な管理が行われると考えられる。

⑤近隣住民への対応について

処分場の敷地は、地域住民の牧場に隣接しており、近隣住民と良い関係を持つように気をつけている。地域の住民に対しては、年 4 回、ESC や新しい情報に関して説明を行っている。情報公開と透明性が重要であり、技術的な情報も一般的な言葉で説明し、時間をかけて信頼関係を作ることが重要であると考えられている。

表 3.3-1 ドリッグ処分場におけるウラン廃棄物に対する管理期間終了後の安全評価方法

ウラン廃棄物の受け入れ	核燃料加工施設、濃縮施設等から発生するウラン廃棄物を受け入れている。
ウランの濃度上限値	4,000Bq/g (α核種としての値) 1年あたり 0.3TBq の埋設量の制限 (ウランとしての値) がある。
地下水シナリオ	リスク基準 10 ⁻⁶ /年 (発生確率が 1 の時は 20μSv/年に相当)
評価基準	3~20mSv/年の範囲 (ICRP、IAEA の文書を参考にした HPA の助言に基づく)
	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。
地下水シナリオ	1,000年、5,000年 (沿岸からの処分場の侵食は 300年を想定しており、処分場の侵食が始まると降雨浸透水モデルは意味がないとしている。参考に侵食がないケースで 25 万年まで評価している)。
評価期間	処分場閉鎖後 100 年後から 1 万年後 (沿岸からの侵食を考慮すると、5,000 年が想定可能な長い時間として認識されており、更に参考として、10 万年までの計算を実施している)。
	ウランの子孫核種を評価 (ビルドアップは評価期間まで)。
ラドンの評価	ウラン及びラジウム等の子孫核種のラドンを評価。 考慮していない (処分場からの浸出量の妥当性証明が困難であるため、保守的に浸出による減少を考慮していない)。
埋設処分場の放射能濃度の平均化	一般にはボールトやトレンチのグリッドセルで平均化 (平均化を行う体積は、評価経路に依存する)。

3.3.3 まとめ

ドリッグ処分場では、ウラン廃棄物を他の原子力施設からの廃棄物とともに受け入れており、他の廃棄物とトレンチやボルトを区別せずに処分を実施している。ただし、ラジウム含有廃棄物をボルトの高い段に定置しないような線量の低減を考慮した定置管理は行われている。このように、ウラン廃棄物を他の廃棄物と分けて処分していないが、線量を低減させる観点から定置管理を行うことは有効な管理手段と考えられる。

管理期間終了後の安全評価は、海からの侵食を考慮して、地下水シナリオで最大 5,000 年、人間侵入シナリオで最大 1 万年の評価期間で実施されており、ラドンを含むウランの子孫核種を考慮している。地下水シナリオの評価基準は、リスク基準で 10^{-6} /年、人間侵入シナリオは、線量基準で 3~20mSv/年の範囲と設定されている。ラドンからの被ばくは人間侵入シナリオにおける主要な評価経路の一つであり、想定する被ばく条件によっては数 mSv/年の大きな線量の評価結果となっている。

上述の評価が記された ESC は 2011 年に取りまとめられ、比較的新しい安全評価方法である。長期における侵食を考慮したシナリオの評価法や、人間侵入シナリオの評価法、ラドンからの線量の評価法など、ウラン廃棄物の浅地中処分の安全評価を検討する上で最近の評価例として参考になると考えられる。

処分場の設計においては、埋設処分場への浸透水の低減への対策だけでなく、覆土にキャップベントというバリア構造を設置して、ラドン等のガス状の放射性物質の放出に対する対策が考えられている。ウラン廃棄物からのラドンガスではなく、ラジウム含有廃棄物からのラドンガスへの対応と考えられるが、ガスを長期的に放出するような放射性廃棄物の処分における設計対策の例として参考になると考えられる。

最後に、ESC は 2002 年に発行され、2008 年に一部の改訂、2011 年に全体的に新しい ESC が発行されているように定期的に更新されていることから、安全評価等に関する新しい情報を得るために今後もドリッグ処分場の ESC の更新に注視していくことが必要と考えられる。

3.4 英国：SITA 社 クリフトンマーシュ処分場（管理型産業廃棄物処分場）

3.4.1 背景

英国においては、放射性廃棄物の満杯問題が深刻化したため、大容量極低レベル放射性廃棄物（HV-VLLW）などの放射性廃棄物の処分方策として、産廃処分場でも放射性廃棄物を受け入れられるような制度が制定された。

英国クリフトンマーシュ処分場は、環境許可規制²¹⁾で規制される管理型産業廃棄物処分場で、地元の生活ゴミ及び産業廃棄物とともに、低レベル放射性廃棄物（図 3.3-1）を埋設処分している。なお、この環境許可規制においては、アスベストなどの有害物と同列に、鉱山廃棄物や放射性廃棄物なども対象として取り扱っているものである。2010年の規制改正を受けて、国が定めた「放射性固体廃棄物を対象とする浅地中処分場-許可要件に関するガイダンス」（以下、GRA）に基づき、ESCにおいて放射性廃棄物の安全評価を実施している。

本項では、クリフトンマーシュ処分場における主にウラン廃棄物の処分状況及び管理期間終了後の安全評価に着目した内容に係る調査結果を示す。

3.4.2 調査結果

1) 処分場の概要

クリフトンマーシュ処分場は、ランカシャー州のプレストン中心部から西へ6kmほど離れた、リブル川の土手沿いに位置しており、スプリングフィールドズの南およそ3kmにある（図 3.4-1、図 3.4-2）²²⁾。このリブル川の河口は、アイリッシュ海に面しており、国定特別保護地域に指定されている上、ラムサール条約のリストにも登録されている²³⁾。



図 3.4-1 クリフトンマーシュ処分場の位置

クリフトンマーシュ処分場は、1980年代初頭に一般の家庭ごみ、産業廃棄物の処分場として運営を開始した。一方、隣接するグレンジファーム処分場では、1976年から1986年にかけて、地元ウラン加工事業者からの放射性廃棄物を受け入れていた。1986年、放射性廃棄物をクリフトンマーシュ処分場へ移設し、以後、同処分場では、カーペンハーストやスプリングフィールドズから発生する低レベルのウラン廃棄物等を受け入れている。現在、処分場は、フェーズ1～フェーズ3までは埋設が終了し、フェーズ4の埋設を行っている。また、フェーズ1～フェーズ3の埋設が終了した場所では羊の放牧が行われており

(図 3.4-3)、廃棄物から放出されるガスは収集された後、ガス発電に供される(図 3.4-4、図 3.4-5)。

この処分場は、現在環境省の規制下にあり、放射性廃棄物の処分に関するライセンスを始め、廃棄物管理、浸出水処理、アスベスト廃棄物処分等の環境に関するライセンスも所持している。この処分場の運営は、ランカシャー州や近隣地域、また河口エリアの議会等のステークホルダーと協調して行っている。

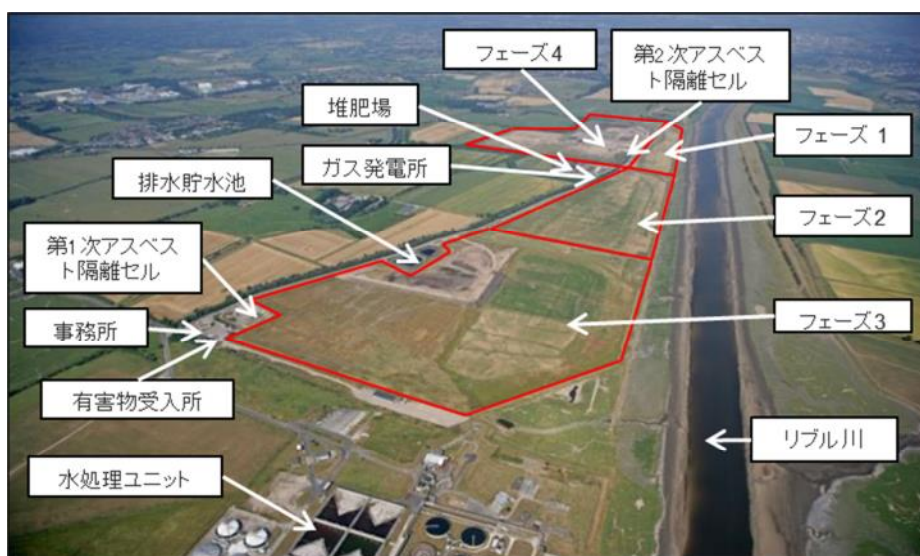


図 3.4-2 クリフトンマーシュ処分場全景
(SITA 提供)



図 3.4-3 埋設完了後の放牧



図 3.4-4 フェーズ 4 におけるガス収集



図 3.4-5 バイオガス発電機

2) 廃棄物の管理施設

クリフトンマーシュ処分場の処分対象物は、一般廃棄物、産業廃棄物、そしてウラン廃棄物を含む低レベル放射性廃棄物である。埋設処分能力は、ウラン同位体合計で年間受入限度 500GBq、現在の廃棄物受入可能容量は約 420 万 m^3 である。また、廃棄物の受入条件は、「10 トントラックで全ての核種を足しあわせた放射能濃度が 200Bq/g を超えないこと、かつ、Sr-90 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。

クリフトンマーシュ処分場の概念図を図 3.4-6 に示す²²⁾。放射性廃棄物は、一般廃棄物と土を用いて即日覆土を行うことで、線量をコントロールしている。フェーズ 1～フェーズ 3 では、処分場の端で 5～7m、中央にかけては 10～12m の深さとなっている。フェーズ 4 では平均 6.6m で廃棄物層を設計している。

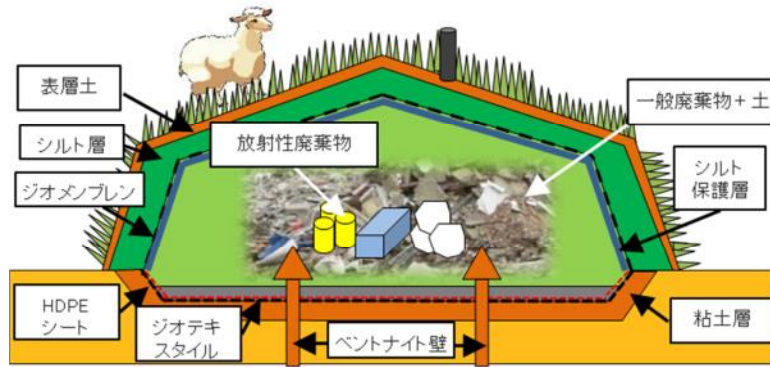


図 3.4-6 クリフトンマーシュ処分場の概念図

廃棄物層から上部に向かって、シルト保護層、ジオメンブレン、シルト層、表層土となっている。下部に向かっては、ジオテキスタイル、HDPE シート、粘土層となっている。フェーズ 4 では、地下水の流入を抑制するため、ベントナイト壁を設けて、地下水流路をコントロールしている (図 3.4-7、図 3.4-8)。

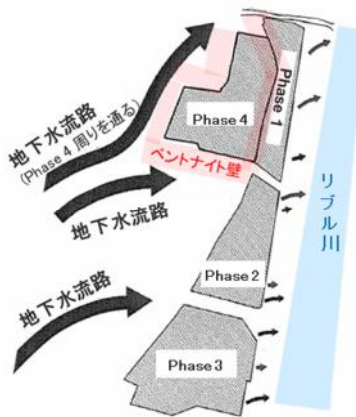


図 3.4-7 上面から見た地下水流路
(ESC を基に作成)

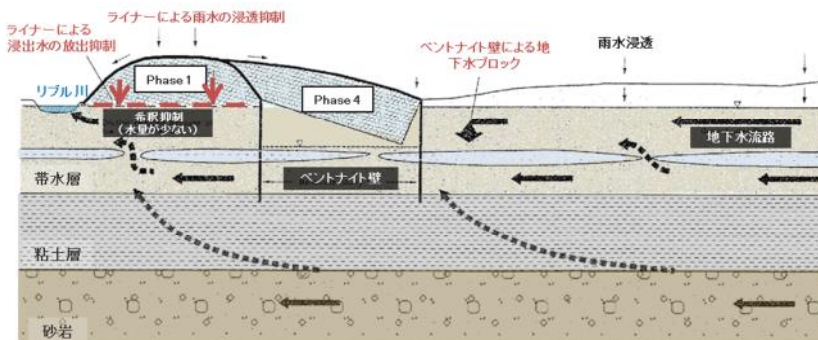


図 3.4-8 断面から見た地下水流路
(ESC を基に作成)

3) 管理期間終了後の評価方法

環境許可規制の制定を受け、同処分場においても GRA に基づいた放射性廃棄物の ESC

が義務付けられたため、新たに安全評価シナリオの解析を実施した。なお、GRAは、処分場に埋設した廃棄物に付随する有害性から、公衆や環境が守られていることを示さなければならないと規定している。また、産廃処分場における放射性廃棄物の処分においては、指定する要求事項について保守的な設定であれば、比較的簡易なモデルの解析を認めている。処分場に埋設する廃棄物のインベントリが与える危険性のレベルに比例した評価を求めているためである。ここでの評価シナリオでは、リスクアセスメント手法の一つであるHAZOP (HAZard and OPerability studies) を用いて、危険性の洗い出しを行っている。

クリフトンマーシュ処分場は、2020年に埋設完了の予定で、GRAの要求通り、10万年までの標準シナリオに対する超長期評価を行っている。ここでは気候変動を考慮しており、隣接するリブル川からの侵食を考えたモデルを用いて評価を行っている。

また、管理期間終了後、一番厳しい線量となるのは、人間侵入シナリオである。保守的に、人間侵入が起きるまで処分場外部への放射性物質の移行は無いと仮定している。処分場跡地を掘削し家屋を作り、そこに居住した際のガス吸入による被ばくの寄与が大きく、ラジウム起源のRn-222による被ばくで12.7 mSv/年となる。この値は、GRAにて要求される人間侵入シナリオの線量基準3~20mSv/年の範囲を満足している。そして、すべての放射性核種に対する、すべての経路(ガスの吸入被ばくと汚染土壌からの外部被ばくなど)にわたる人間侵入の合計は22 mSv/年となる。しかしながら、この仮定は全ての被ばくピークが一度に起こった場合を仮定しており、また、家屋の基礎コンクリートを考慮していないモデルであるため、実際には、より低くなると考えられる。

3.4.3 まとめ

クリフトンマーシュ処分場のような産廃処分場では、規制当局である環境省と合意の上、放射性廃棄物処分場の詳細評価の代わりに、保守的に単純化したモデルで評価している。具体的には、ライナーなどの人工バリアの経年劣化は考慮せず、全て喪失したというモデルでの評価などが挙げられる。

また、地下水シナリオについては、超長期の解析も要求されており、10万年の評価期間を設けている。超長期における気候変動のシナリオとして隣接する河川による処分場の侵食を取り上げ、評価を行っている。また、管理期間後の人間侵入シナリオでは、ソースタームの減少を考慮しないなどの保守的なモデルを採用している。ラドンによる被ばくは12.7 mSv/年となり、他の核種との合計で22 mSv/年との結果が得られている。評価結果はガイダンスで規定された閉鎖後の不確実性経路のめやす3~20 mSv/年の範囲を超えてしまっているが、22mSv/年は発生時期が異なる全てのピークを足し合わせていることやコンクリートの基礎の効果などを加味すると実際は基準を満足すると考えられている。

今回の調査で得られた情報を表 3.4-1 にまとめる。

表 3.4-1 クリフトンマッシュュ処分場調査結果の概要

ウラン廃棄物の受け入れ	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廃棄物を受け入れている。
ウランの濃度上限値	総ウラン量で500GBq/年。 (10 トントラックで全ての核種を足しあわせた放射能濃度が200Bq/gを超えないこと。 ただし、廃棄体ごとでは1,000Bq/gまでを容認)。
評価基準	地下水シナリオ GRA に従う。リスク基準 10 ⁻⁶ /年 (発生確率が 1 の時は 20μSv/年に相当)。
	人間侵入シナリオ GRA に従う。3～20mSv/年の範囲。
評価期間	地下水シナリオ 気候変動として、処分場閉鎖後 10 万年間の河川による侵食シナリオを評価。
	人間侵入シナリオ 処分場閉鎖後 500 年間。
ウランの子孫核種の評価	ウランの子孫核種を評価。
ラドンの評価	ウラン及びラジウム等の子孫核種のラドンを評価。
長期における浸透水による埋設地からの放射能の減少の考慮	考慮していない。 (保守的に浸出による減少を考慮していない)。
埋設処分場の放射能濃度の平均化	平均化している (200Bq/g として評価)。

3.5 スウェーデン：放射線安全機関（SSM）グリタ処分場（産業廃棄物処分場）

3.5.1 背景

放射線安全機関（SSM）は原子力発電の安全ならびに放射性物質に関する安全に責任を持つ機関である。廃棄物処分に関して見ると、放射性廃棄物処分場について SSM は原子力活動法に基づき審査意見を政府に提出し、それを基に政府が許可を出している（図 3.5-1）²⁴。放射性物質のクリアランスについては、SSM はその許可条件を定めている。

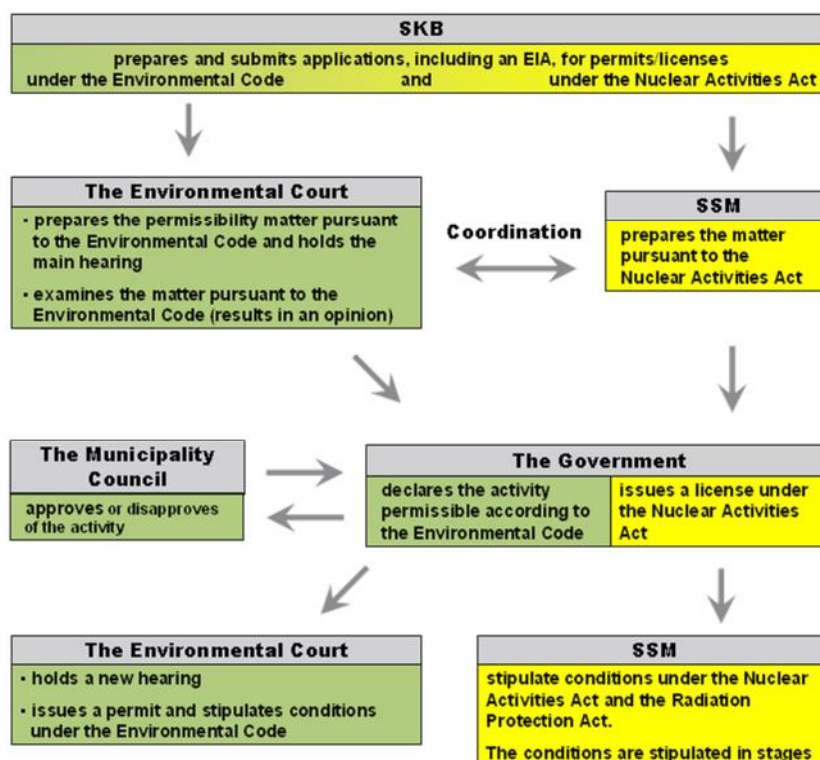
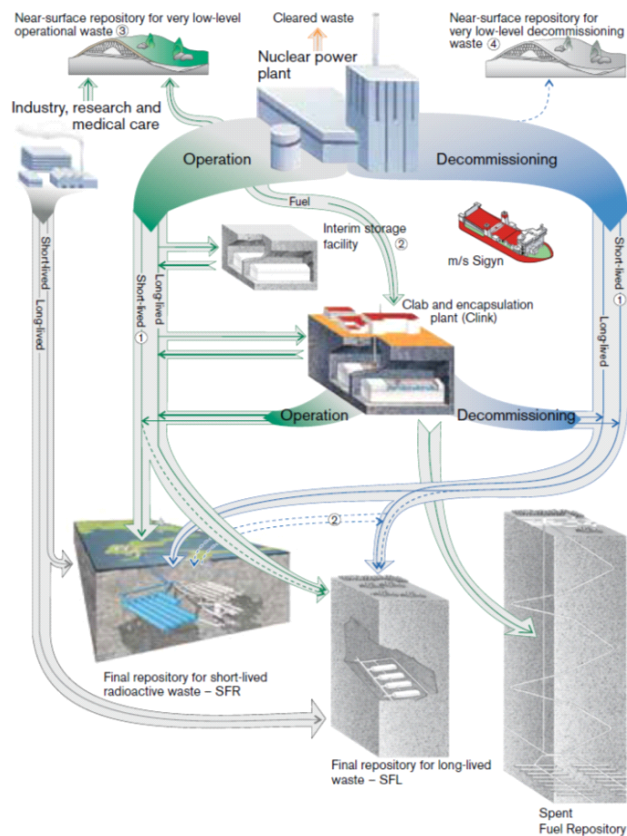


図 3.5-1 スウェーデンの放射性廃棄物処分場許可フロー例²⁴

スウェーデンでは、ウラン核燃料加工事業所で発生する放射能濃度の低いウラン廃棄物は放射性廃棄物処分場に処分されるのではなく（図 3.5-2）²⁵、クリアランス制度により産廃処分場⁶に処分されてきた。その背景にはウランが自然界に比較的高濃度に存在するスウェーデンの国情もある。個別申請した産廃処分場へのウラン廃棄物のクリアランス申請の内容についてはこれまでも調べられているが、本項では、クリアランスにおけるウラン廃棄物の安全評価に着目した調査結果を示す。また、長寿命低・中レベル放射性廃棄物処分場の計画についても最近の状況について情報を入手した。

⁶ EU で定義されている Municipal Landfill（一般廃棄物及び産業廃棄物の処分場）をここでは産廃処分場とする。



- ① If SFR is closed before SFL, short-lived waste follows the dashed line to SFL.
- ② Interim storage of long-lived waste takes place today at the NPPs, in Clab and at Studsvik. Interim storage of long-lived waste may also occur in SFR.
- ③ There are near-surface repositories at the nuclear power plants in Forsmark, Oskarshamn and Ringhals. There is also a similar near-surface repository at Studsvik, to which some waste from industry, research and medical care is sent.
- ④ Possible alternative for very low-level decommissioning waste. A decision has not yet been made on this.

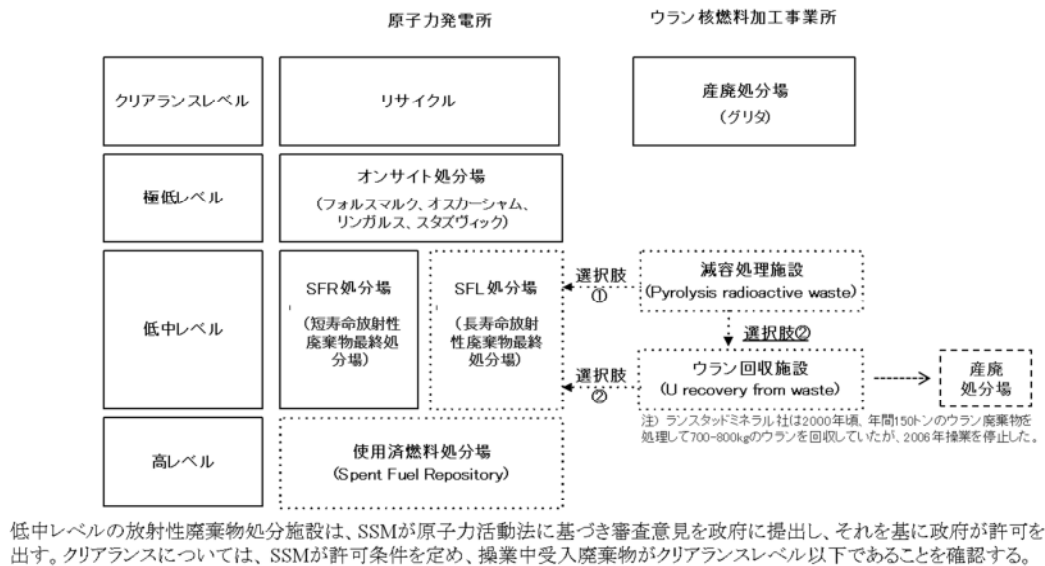
図 3.5-2 スウェーデンにおける燃料サイクルと廃棄物処分²⁵⁾

3.5.2 調査結果

1) スウェーデンにおける放射性廃棄物の分類と処分場の規制区分

スウェーデンにおける放射性廃棄物の分類と処分場の規制区分を図 3.5-3 に示す。スウェーデンでは、ウラン核燃料加工事業所で発生する固体廃棄物（我が国のウラン廃棄物に相当）のうち、放射能濃度の低いものについては、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（表 3.5-1）^{26,27,28,29,38)}。処分に当たっては、処分しようとする事業者は SSM に個別にクリアランスを申請し、SSM は認可条件に適合しているかどうか確認する。また、操業中受入廃棄物がクリアランス以下であることを確認する。

2006 年まではランスタッドミネラルが焼却灰やスラッジといったウラン含有量の高い廃棄物からウランの回収を実施していたが現在は操業していない。今の計画では熱分解炉を設置してウラン廃棄物の減容に努めることとし、ウラン回収については技術開発を進めている。



低中レベルの放射性廃棄物処分施設は、SSMが原子力活動法に基づき審査意見を政府に提出し、それを基に政府が許可を出す。クリアランスについては、SSMが許可条件を定め、操業中受入廃棄物がクリアランスレベル以下であることを確認する。

	放射性廃棄物処分場 (SFR)	有害物質処分場 (グリタ)
規制機関	SSM, 環境裁判所	環境裁判所
規制法	原子力活動法	環境法典、原子力活動法(クリアランスに関して)
許可手続き	放射性廃棄物については、原子力活動法に基づき政府が操業許可を出しSSMが主体的に確認している。	SSMがクリアランスについて許可条件を定め、操業中受入廃棄物がクリアランスレベル以下であることを確認する。

図 3.5-3 スウェーデンにおける放射性廃棄物の分類と処分場の規制区分

表 3.5-1 クリアランスされたウラン廃棄物を受け入れている産廃処分場 26,27,28,29,38)

	処分場概要	受け入れ基準	操業状況
リサンゲン処分場	この処分場の近くでウラン鉱山が開発された。300 トンのウラン生産の後に鉱山は閉鎖されたが、開発された技術を用いて 1980 年代から廃棄物からのウラン回収を実施してきた。産廃処分場としてウラン回収後の残さを受け入れてきたが、2005 年頃操業を中止した。	周辺のウラン濃度を参考に平均 250ppm、最大 600ppm の濃度のウラン廃棄物を受け入れてきた。	1980 年代から 1995 年まではケースバイケースでクリアランスが実施されていた。1995 年からはウラン濃度と年間のウラン受け入れ量を定めてクリアランスを実施した。2001 年からは影響評価によりクリアランスが実施された。ウラン廃棄物として 1995 年・2000 年に 2000 トン、ウラン量として 340kg を処分、2005 年操業停止。
サカブ処分場	有害物質を処分する産廃処分場として 2001 年からケースバイケースの評価でウラン廃棄物の受け入れを開始した。2002 年からは条件付クリアランスとして受け入れウラン濃度を定めてクリアランスを開始した。主に廃液処理のスラッジを処分してきた。	平均 20ppm、最大 200ppm の濃度条件。 2006 年からは人間侵入も含めた解析で数 10 μ Sv/年と評価されている。	当初の申請では最大 350 トンのスラッジ廃棄物の処分を申請していた。
グリタ処分場	ウラン核燃料加工施設に近い産廃処分場で再転換工程から発生する CaF ₂ をケースバイケースの評価で受け入れ、処分してきている。	2002 年までは 30ppm の濃度条件。2002 年には解析で線量は 10 μ Sv/年以下と評価されている。	2005 年までに、ウラン廃棄物を 6,500 トン受け入れている。

このようにスウェーデンでは放射能濃度の低いウラン廃棄物は産廃処分場に処分されてきた。産廃処分場に関する理解を深めるために産廃処分場に関連する法令およびその審査機関を表 3.5-2 にまとめる。産廃処分場はスウェーデン国内に 5 ヶ所ある環境裁判所によって許可が出される。なお、1998 年の改正により、放射線防護に関する事項も環境法典に含まれている。

表 3.5-2 産廃処分場に関連する法令およびその審査機関

法令・機関名	概要	備考
環境法典	環境保護並びに公衆の保護を包括的に定めるもので、放射線安全に関するものも含んでいる。原子力活動法、放射線防護法による要求と並列に適用	1998 年に環境保護法を改訂 産廃処分場については、欧州連合 (EU) 指令 ³⁰⁾ に倣って審査
原子力活動法	原子力施設の安全、放射性廃棄物処分の安全などについて規定	核物質や放射性廃棄物の免除について規定
SSM	原子力発電所の安全規制、放射性物質、放射線規制を行う中央行政執行機関。環境省が所管	2008 年に原子力発電の安全規制機関 SKI と放射線安全の規制機関 SSI が合併。クリアランスについては、SSM が許可条件を定める。
環境裁判所	環境法典に基づく許可を審査するための司法機関。政府が指定する地方裁判所に置かれる。許可を与えるという意味では行政機関の役割を担う。	目的を果たすための複数の選択肢 (場所や方法) から、最適なものを選択されているかどうかを裁判形式で審査する。裁判長 (法律専門家)、環境参事 (環境専門家)、専門委員 2 名の合計 4 名で構成

2) グリタ処分場におけるクリアランスの安全評価

グリタ処分場は、クリアランスされたウラン廃棄物を受け入れている。ウラン廃棄物のクリアランスに関する安全評価の一例として、グリタ処分場における評価手法を表 3.5-3 に示す。2002 年に出された許可では、地下水シナリオ (処分場下流側での井戸水飲用や灌漑等による放射性物質摂取) による線量評価が行われ、線量基準 $10 \mu\text{Sv}/\text{年}$ を満足することが確認されている。その後、2006 年の更新において、人間侵入シナリオの評価も求められ、その結果、 $20 \sim 30 \mu\text{Sv}/\text{年}$ となっているが、EU の基本安全基準 (BSS) の免除レベルを下回っているため、2007 年に許可が出された。

人間侵入シナリオの評価において、処分場での放射能濃度は平均放射能濃度を用い、最大放射能濃度での評価は行われていない。これは、掘り返す場所の放射能濃度は一様ではないが、掘り返される確率は処分所全体で均等であるため、平均放射能濃度で評価することは合理的であると考えられている。

ウランの子孫核種の評価は実施していない。また、ラドンの評価も行っていない。これ

は将来の氷河期の到来を考えると長期間の定量的評価は意味がないと考えていることによる。

なお、スウェーデンの産廃処分場は EU 指令に従うことが要求されることから、処分場底面で粘土層が 50cm 以上確保されていること、水の浸透水量が 5 リットル/m²/年以下になるような遮水機能の覆土が要求される。スウェーデンでは粘土層を見つけるのが難しいことから他の人工バリアで同等の性能を示すことも検討されている。

また、グリタ処分場の管理期間は 30 年であり、モニタリングで放射能濃度が安定した時点で制度的管理を終了するか議論する。

表 3.5-3 グリタタ処分場のウラン廃棄物のクリアランスに関する安全評価手法

ウラン廃棄物の受け入れ	ウエスティングハウス・スウェーデン社から発生する放射能濃度の低いウラン廃棄物を受け入れている。
ウランの濃度上限値	事業者申請でSSMがクリアランス条件を定めている。詳細な廃棄物の受け入れ条件は公開されていない。
評価基準	地下水シナリオ 地下水の下流側で井戸水を飲用して、汚染された牛乳、肉、魚介類を摂取したときの線量を評価。10pSv/年以下を確認。
	人間侵入シナリオ 人間侵入は処分時の濃度で評価。シナリオ評価においてEUのBSSの免除レベルを満足している。
評価期間	地下水シナリオ 将来の水河期の到来を考えると長期の定量評価は意味がない。
	人間侵入シナリオ 処分場閉鎖時点で評価、概念検討の対象である。
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。
ラドンの評価	ラドンの評価はしていない。
長期における浸透水による埋設地からの放射能の減少の考慮	考慮していない。
埋設処分場の放射能濃度の平均化	平均化している。人間侵入での掘り返す場所の確率を考えると平均化することがよい。

3) ウラン廃棄物の環境影響評価に関する補助指標の利用

スウェーデンでは国内でウラン濃度が高いことが知られている。評価すると年間 100 トンのウランがスウェーデン国内で湧き出している計算となる。こうした状況から高レベル放射性廃棄物の処分では、線量以外の補助指標としてスウェーデンは放射性物質の流出フラックスが提案されている。このような考え方はスウェーデン国内の放射性物質、放射性廃棄物の処分に関するガイダンスにも反映されている。

具体的な補助指標の例をリサンゲン産廃処分場で示す。図 3.5-4 はリサンゲン産廃処分場における表層水、浸透水、土壌地下水のウラン濃度を示す。地下水は図の左上から処分場を經由して右下に流れる。顕著な濃度差があるが、ウラン同位体の分析から検出されたウランの 99%以上が天然起源のウランであると評価され、リサンゲン産廃処分場に処分された廃棄物からの寄与はほとんどないことが確認された。

これらの補助指標は誰に対しても有効ではないが、ある程度知識を持っている人を対象とすれば、十分な効果があると考えられる。

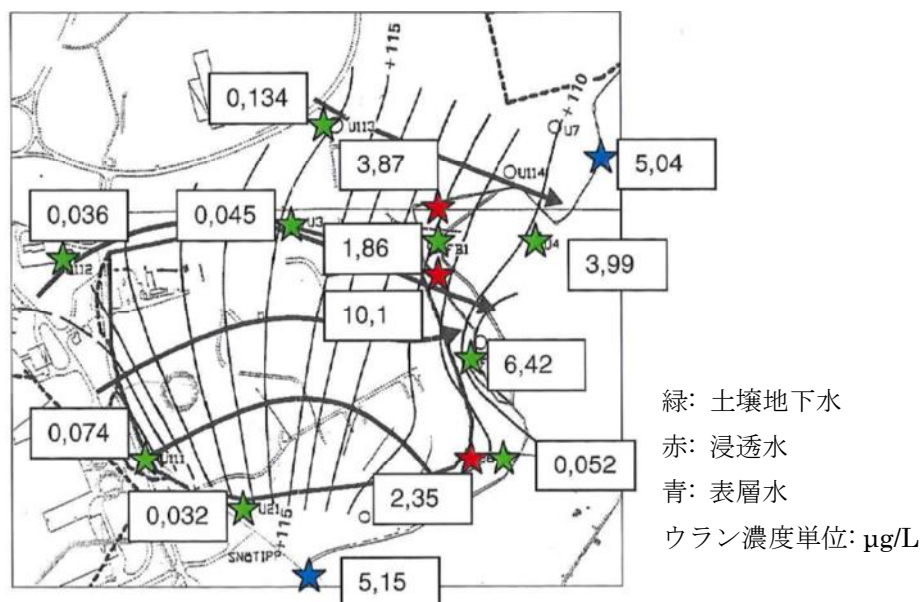


図 3.5-4 リサンゲン産廃処分場における表層水、浸透水、土壌地下水のウラン濃度 (SSM 提供)

4) 長寿命低・中レベル放射性廃棄物処分場の計画

スウェーデンでは放射性廃棄物処分場は短寿命の核種を対象とする SFR のみ操業している。計画中の長寿命低・中レベル放射性廃棄物処分場 (SFL) について、現状以下の予定で計画が進んでいる。

- ① 長期間の安全評価報告書を 2016 年に改訂する。この報告書には予備的な廃棄物受入基準の検討も含まれる。
- ② 処分場の申請時期は 2030 年頃である。
- ③ 操業開始時期は 2045 年を予想している。
- ④ この処分場には 1,000ppm 以上のウラン廃棄物を処分することを考えている。

3.5.3 まとめ

放射能濃度の低いウラン廃棄物は放射性廃棄物処分場ではなくクリアランスされて産廃処分場に処分されている。クリアランスの線量基準は $10 \mu \text{Sv/年}$ であり、人間侵入シナリオを考慮しても線量は $20 \sim 30 \mu \text{Sv/年}$ 以下と評価された。なお、グリタ処分場では、EU の BSS におけるクリアランス基準 (10kBq/kg) に整合していることを確認している。

評価に当たっては、ウランの子孫核種の生成は考慮せず、したがってラドンの生成も考慮しない。長期間の定量評価は将来の氷河期の到来を考えると意味がない。

スウェーデンの環境法典ではすでに 1998 年から放射性廃棄物も含まれている。SSM と環境裁判所が産廃処分場の事業許可を審査し、政府により事業許可が与えられる。放射性物質のクリアランスについては原子力活動法に基づき SSM が許可を与える。

4. 調査のまとめ

4.1 各国の状況

フランス、英国及びスウェーデンでのウラン廃棄物の安全評価の基本的考え方や産廃処分を含めたウラン廃棄物の処分方法を中心に調査した。今回得られたウラン廃棄物の安全評価に係る主要な調査結果を昨年度の結果と合わせて表 4.2-1 に示す。

1) フランス

フランスでは、オーブ（コンクリートセル）、モルヴィリエ処分場（遮水機能設置トレンチ）ともにウラン廃棄物を受け入れており、他の原子力施設から発生する廃棄物と区別せず処分している。両処分場ともに、廃棄物中の放射性物質は短寿命核種が主であり、処分場全体で考えればウランの平均放射能濃度は数 Bq/g 程度と低い。そのため、管理期間終了直後に線量が高くなる Am-241、Pu-239 の方が α 線放出核種として安全評価上重要となるため、ラドンを含むウランの子孫核種の生成は考慮していない。

基本状態のシナリオに対する線量基準（規制値）は 1mSv/年と定められているが、ANDRA は自主的に線量目標値を 250 μ Sv/年としている。一方、人間侵入シナリオや変動状態シナリオを対象とする規制値は定まっていないが、ANDRA では 1~10mSv/年程度までの範囲を評価の指標としている。これはシナリオの発生確率を考慮すれば、線量基準（1mSv/年）と同等であると考えられる。

研究・検討中の FA-VL 廃棄物処分の埋設対象は、長寿命の黒鉛廃棄物とラジウム含有廃棄物が主であり、ウラン量は少ない。（ラジウム含有廃棄物中の U-238 濃度は平均 20Bq/g）長寿命核種が評価上重要であるため、5~10 万年の評価期間を設け、埋設当初より含まれるラジウムから壊変するラドン、U-238 から壊変するラドンの両者に対してそれぞれ評価が行われる。なお、基本状態シナリオの線量基準は、ASN のガイドラインに 250 μ Sv/年と定められており、人間侵入シナリオと変動状態シナリオの考え方は、オーブ、モルヴィリエ処分場と同様である。

フランスにおける長期評価の考え方は、FA-VL 廃棄物処分の評価方法に表れている。FA-VL 廃棄物処分では、定量的評価をする期間を少なくとも 1 万年（線量基準 0.25mSv/年）とし、それを超える期間は定性的評価（参照値 0.25mSv/年）としている。このような考え方は、長寿命廃棄物処分評価の考え方として現在検討中の米国の 10CFR61¹³⁾改訂案と共通する。

2) 英国

英国のドリッグ処分場（トレンチ、コンクリートボルト）でもウラン廃棄物を受け入れており、他の原子力施設から発生する廃棄物と区別せずに処分をしている。管理期間終了後の安全評価では、ラドンを含むウランの子孫核種を考慮し、地下水シナリオで最大 5,000 年、人間侵入シナリオで最大 1 万年の期間を対象としている。また、地下水シナリオの評価基準は、リスク基準で 10⁻⁶/年、人間侵入シナリオは、線量基準で 3~20mSv/年の範囲で設定されている。

クリフトンマーシュ処分場（遮水機能設置トレンチ）は、放射性廃棄物を処分する産廃処分場であり、処分場の詳細な評価の代わりに、保守的に単純化したモデルで評価している。地下水シナリオについては、超長期の解析が要求されており、ウラン廃棄物を含むことから、10 万年の評価期間を設けている。また、人間侵入シナリオでは、埋設後 500 年

での評価を行っている。ソースタームの減少を考慮しないなどの保守的なモデルを採用し、ラドンによる被ばくを評価している。

3) スウェーデン

スウェーデンでは、放射能濃度の低いウラン廃棄物はクリアランスされて産廃処分場（遮水機能設置トレンチ）に処分されている。クリアランスの線量基準は $10 \mu\text{Sv}/\text{年}$ であり、人間侵入シナリオを考慮しても線量は $20\sim 30 \mu\text{Sv}/\text{年}$ 以下と評価されている。

評価に当たっては、長期間の定量評価は将来の氷河期の到来を考えると意味がないとし、ラドンを含むウランの子孫核種は考慮していない。

4.2 安全評価と処分方策

4.2.1 安全評価

安全評価について、4.1 を踏まえ、以下のようにまとめられる。

1) 人間侵入シナリオの線量基準

人間侵入シナリオについては、国によって規制基準あるいは目標値として示されているという違いがあるものの、英国では $3\sim 20\text{mSv}/\text{年}$ の範囲、フランスでは $1\sim 10\text{mSv}/\text{年}$ の範囲、国際放射線防護委員会（ICRP）2007 年勧告^{3D)}で示された潜在被ばくの線量である $1\text{mSv}/\text{年}$ を超えて $20\text{mSv}/\text{年}$ までの範囲であり、これらの値は、我が国の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に示された人為事象シナリオの一般公衆への線量のめやす線量（1、 $10\text{mSv}/\text{年}$ ）に整合している。

2) 人間侵入シナリオのソースターム

人間侵入シナリオで、放射性物質の地下水への移行によるインベントリの減少を考慮するような評価を行っている機関は、調べた範囲ではないことが分かった。ウランの子孫核種の評価は、ウランの濃度が高い処分場（ドリッグ処分場、FA-VL 廃棄物処分）で実施され、ウランの濃度が低い処分場（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、グリタ処分場）では実施されていない。

3) 評価期間

評価期間は処分場の特性に応じて様々である。地下水シナリオは基本的にピーク線量が出現する $3,000\sim 10$ 万年、人間侵入シナリオでは短寿命核種が主の処分場については $50\sim 500$ 年の早い時期における評価であり、長寿命核種が重要となる処分場については 1 万年の評価が実施されていた。FA-VL 廃棄物処分の長期評価においては、地層処分での考え方を参考に 1 万年という期間を考える一方、実際の評価としては地質の安定性を考慮した適切な期間を設定している。

4) ラドン評価

ラドンによる被ばく評価は、人間侵入シナリオの一つの経路として評価され、埋設する放射能濃度に応じて内容が異なる。ラジウムの子孫核種のラドンについては、基本的に評価がなされており、ウランの子孫核種のラドンについては、ウランの放射能濃度に応じて判断されている。

4.2.2 処分方策

ウラン廃棄物は、米国・欧州ともに、原子炉等から発生する廃棄物とともに処分されていることが分かった。また、ウラン廃棄物は産廃処分場への処分も行われている。産廃処分場への処分は、クリアランスしたものを対象とする場合と放射性廃棄物として直接処分する場合がある。クリアランスした廃棄物を受け入れる処分場は、環境規制などの原子力関連規制以外の規制を受け、放射性廃棄物を受け入れる処分場は、環境規制と原子力関連規制の両方を受けている。いずれの場合も、処分場からの周辺公衆への線量評価が実施されている。

今回の調査で得られたこれらの情報の他、ドイツにおける条件付きクリアランスの制度⁴⁰⁾及び英国の HV-VLLW の処分方策⁴¹⁾を考え合わせると、一般的に VLLW と区分される放射性廃棄物であっても比較的低濃度のものは、処分場への搬入の確認方法やより保守的な安全評価などの信頼性を向上させるような放射線防護の措置をとることにより、産廃処分場での処分も廃棄物管理の一つの方策となっている。これらの国に共通した考え方は、処分場の安全性だけでなく、放射性廃棄物量の低減、処分場立地及びコストなども考慮した最適化が図られている。

今後は、現在進行中の長寿命廃棄物処分の動向調査を継続するとともに、ウラン廃棄物の管理方策について多面的に議論できるように、昨年度及び今年度の調査を進めていく過程で重要性が認識された長期管理方法、そして、各国において特徴的な放射性廃棄物管理方策についての知見を得ることが重要であると考えられる。次に、その一例を示す。

①長寿命核種を含む廃棄物処分の動向

法規制の動向、後発国の対応、長寿命核種の処分場計画の進展

②制度的管理

米国における稼働処分場の閉鎖に伴う最終覆土の検討、管理の具体的検討状況
後発国における長期安全評価、制度的管理の議論

③長期管理方法

米国、ドイツの人口密集地域に近接した環境修復の実態

④各国で特徴的な放射性廃棄物管理方策

イギリス、ドイツ、スウェーデンにおける HV-VLLW やウラン廃棄物の産廃処分の運用状況の確認

表 4.2-1 各国比較表

フランス FA-VL (概念研究中)	フランス オーブ 処分場	フランス モルヴィエリエ処 分場	フランス	英国 クリフトンマーシ ユ処分場	英国 ドリッグ処分場	スウェーデン グリタ処分場	カナダ 廃棄物長期管理施 設	米国 WCS 処分場	米国 クライブ処分場*
受入廃棄物 区分	低レベル長寿命	極低レベル	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)	低レベル歴史廃棄 物	低レベル	低レベル
埋設区分	地層処分、浅地中処 分を検討中	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	浅地中処分
ウラン廃棄物、ラジウ ムの含有廃棄物(ウラ ン鉱石処理残さ含 む)などを受入	○ 核燃料加工施設、濃縮 施設等から発生す るウラン廃棄物を受 入	○ 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 ン廃棄物を受入	○ 核燃料加工施設、濃 縮施設等から発生 するウラン廃棄物 を受入	○ ウエストイングハース 社から発生するウラ ン廃棄物を受入	○ マンハッタン計画等 のウラン製錬及び 転換事業により発 生した廃棄物を受 入	△ テキサスコンソリ ドのウラン廃棄物 受入実績なし DOE からのウラ ン廃棄物を受入 想定	○ ノースウェストコン パクトの廃棄物を受 入、ウラン廃棄物 の処分実績あり		
ウランの濃 度上限値	α核種 処分場平均 <370Bq/g 廃棄体ごと <3,700Bq/g	ウラン パッチごと <100Bq/g 廃棄体ごと <1,000Bq/g	α核種 <4,000Bq/g	α核種 <200Bq/g 廃棄体ごと 1,000Bq/gまで	α核種 <200Bq/g	ウラン <17,620μg/g (≒約460Bq/g) Ra-226 <500Bq/g	現在の受入基準 10nCi/g (370Bq/g) 以下の劣化ウラ ンで汚染された廃 棄物が処分対象 (安全評価では約 800Bq/gの濃度 でも実施)	ウランの受入暫定 基準 劣化ウラン汚染廃 棄物 <18nCi/g (=666Bq/g) うちU-238 <16.5nCi/g (=611Bq/g)	
地下水 シナリオ	0.25mSv/年 (自然過程)	1mSv/年(基本状態での規制基準) 250μSv/年(ANDRAの目標値)	リスクリスク基準10 ⁻⁶ /年(発生確率が1の時 は20μSv/年に相当)	10μSv/年以下(井 戸水利用畜産・水産 物摂取)	10μSv/年以下(井 戸水利用畜産・水産 物摂取)	浸出水の濃度に対 して、オンタリオ 州の水質基準(5 μg/L)及び飲料水 濃度基準(20μ g/L)	250μSv/年	地下水中の放射能 濃度基準(核種毎)	
線量基 準	× 規制基準は決まっ ていない	× 規制基準は決まっ ていない	3~20mSv/年の範 囲	3~20mSv/年の範 囲	3~20mSv/年の範 囲	意図しない侵入に 対して、介入レベ ルである10~ 100mSv/年	△ 250μSv/年と比較 NRCは5mSv/年を 検討中		

* : 安全評価の記載は、2011年に報告された劣化ウランで汚染された廃棄物の安全評価の内容 凡例 ○ : 受入/評価の実施、△ : 受入/評価又は想定・検討、× : 受入/評価せず

表 4.2-1 各国比較表 (つづき)

評価期間	フランス FA-VL (概念研究中)	フランス オーブ 処分場	フランス モルヴィリエ 処分場	英国 クリフトンマーン シュ 処分場	英国 ドリッグ 処分場	スウェーデン グリタ 処分場	カナダ 長寿命廃棄物管理 施設	米国 WCS 処分場	米国 クライブ 処分場
地下水シナリオ	2 段階評価: 1 万年まで及びそれ以降 (ANDRA では 10 万年までの評価は実施)	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)	線量のピークを含む期間	10 万年 気候変動時の河川による処分場侵食シナリオを評価	5,000 年 (侵食あり) 参考評価 25 万年 (侵食なし)	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。	最大 5 千万年	10 万年 (3.6 万年で地下水シナリオのピーク)	地下水シナリオは 500 年
人間侵入シナリオ		処分場閉鎖後 300 年後	処分場閉鎖後 50 年後	処分場閉鎖後 500 年間	1 万年後まで (参考評価 10 万年侵食なし)	処分場閉鎖時点での評価、理論的なものである。	管理期間終了直後 500 年後と最大放射能となる 8000 年後	100 年後	1 万年後まで (以降は定性的な評価を実施)
ウランの子孫核種の評価	○ ウランの子孫核種を評価していない (ウランの放射能濃度が低いため)	× ウランの子孫核種を評価していない (ウランの放射能濃度が低いため)	× ウランの子孫核種を評価していない (ウランの放射能濃度が低いため)	○ ウランの子孫核種を評価 (ただし、ヒルトンアップの期間で)	○ ウランの子孫核種を評価している	△ 地下水シナリオで子孫核種の生成を考慮、地下水シナリオ以外の Th-234, Pa-234m のみ	△ 地下水シナリオで子孫核種の生成を考慮し、人間シナリオでは考慮は考慮	△ 地下水シナリオで子孫核種の生成を考慮、人間シナリオでは Th-234, Pa-234m, Th-231 のみ	○ ウランの子孫核種を評価している
ラドンの評価	○ ラジウム含有廃棄物において、当初から含まれるラジウムから発生するラドンとウランから発生するラドンを区別	× 評価していない (ラジウム廃棄物とトリウム廃棄物ともに受け入れていないため)	△ ラジウム、トリウムの子孫核種について評価	△ ラジウムの子孫核種のラドンを評価	○ ウラン及びラジウム等の子孫核種のラドンを評価	× ラドンの評価はしていない	○ ラドングスによる吸入被ばくを考慮	△ ラジウムから生成するラドンのみ評価	○ 線量で評価しており、他の核種と合計
長期における浸透水による埋設地からの放射能の減少の考慮	× 考慮していない (閉じ込めが基本概念)	× 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)	× 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)	× 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)	× 考慮していない (人間侵入は処分時の濃度で評価)	△ 人間侵入シナリオでは考慮していない。地下水シナリオでは降水量の減少に伴う等価性を考慮	△ 人間侵入シナリオでは考慮していない	△ 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	△ 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
埋設処分場の放射能濃度の平均化	○ 埋設許容量に対してピット、トレンチ単位で平均化	○ 埋設許容量に対してピット、トレンチ単位で平均化	○ 埋設許容量に対してピット、トレンチ単位で平均化	○ 平均化 (200Bq/g として評価)	○ ボールトやトレンチのセクションで平均化	○ 平均化 (人間侵入での掘り返しの確率を考えると平均化するべき)	△ 上層に相対的に低濃度廃棄物 (汚染土壌)、下層に高濃度廃棄物を配置	△ 地下水シナリオで廃棄物、容器、充填材の混合物の平均濃度を用い、人間侵入シナリオは、発生処分場平均濃度で評価	○ 埋設場所の深さと位置を限定して平均を算出

凡例 ○: 受入/評価の実施、△: 受入/評価又は想定・検討、×: 受入/評価せず

謝 辞

本調査にあたり、フランス ANDRA の Richard Poisson 氏、Daniel Delort 氏、英国 NDA の Sam Fox 氏、英国 LLWR の Cath Giel 氏、英国 SITA-UK 社の Bav Thaker 氏、スウェーデン大使館科学技術部の Niklas Z Kviselius 氏、スウェーデン SSM の Anders Wiebert 氏に会合を調整していただいた。また、訪問先では、多くの方々と貴重な情報に基づく有益な情報交換をさせていただいた。ここに、深甚なる感謝の意を表す。

参考文献

- [1] 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.
- [2] "Décret n° 2007-830 du 11 mai 2007 relatif à la nomenclature des installations nucléaires de base INB に関する 2007 年 5 月 11 日の政令 (2007-830) ", 2007.
- [3] "Loi n 76-663 du 19 juillet 1976 relative aux installations ICPE に関する 1976 年 7 月 19 日の法律 (79-663) ".
- [4] 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.
- [5] ANDRA, "Catalogue descriptif des familles. INVENTAIRE NATIONAL des matières et déchets radioactifs", 2012.
- [6] ANDRA, "Inventaire géographique. INVENTAIRE NATIONAL des matières et déchets radioactifs", 2012.
- [7] ANDRA, "Rapport annuel du Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage", 2012.
- [8] ANDRA, "Rapport d'information sur la sûreté nucléaire et la radioprotection du Centre de stockage de l'Aube", 2012.
- [9] RFS I.2, "Objectifs de sureté 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", 1984.
- [10] ASN, "Plan national de gestion des matières 2013-2015", 2013.
- [11] ANDRA, "Etude des scénarios de gestion à long terme des déchets de faible activité", 2012.
- [12] ASN, "Orientations générales de sûreté en vue d'une recherche de site pour le stockage des déchets de faible activité massique à vie longue (FAVL)", 2008.
- [13] U.S. Nuclear Regulatory Commission, "Licensing Requirements for Land Disposal of Radioactive Waste", Title 10, Code of Federal Regulations part 61.
- [14] LLW Repository Ltd., "The 2011 Environmental Safety Case, Site History and Description", LLWR/ESC/R(11)10018, 2011.
- [15] Environment Agency, "Radioactive Substances Act 1993, 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.
- [16] LLW Repository Ltd, "The 2011 Environmental Safety Case, Inventory", LLWR/ESC/R (11)10019, 2011.
- [17] LLW Repository Ltd., "The 2011 Environmental Safety Case, Assessment of Long-term Radiological Impacts", LLWR/ESC/R(11)10028, 2011.

- [18] LLW Repository Ltd., "Assessment Calculations for Human Intrusion for the LLWR 2011 ESC", Galson Sciences, 977-3, 2011.
- [19] LLW Repository Ltd, "The 2011 Environmental Safety Case, Waste Acceptance", LLWR/ESC/R(11)10026, 2011.
- [20] LLW Repository Ltd., "The 2011 Environmental Safety Case, Engineering Design", LLWR/ESC/R(11)10020, 2011.
- [21] The Environmental Permitting (England and Wales) Regulations., 2010.
- [22] Louise Eden, "Environmental Safety Case for the Clifton Marsh Landfill Site", 89290/SC/SR003, 2010.
- [23] Joint Nature Conservation Committee, "Information Sheet on Ramsar Wetlands", Aug. 13, 2008.
- [24] OECD/NEA, "RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT AND DECOMMISSIONING IN SWEDEN", http://www.oecd-nea.org/rwm/profiles/Sweden_report_web.pdf.
- [25] Ministry of Environment, "Sweden's fourth national report under the Joint Convention on the safety of spent fuel management and on the safety of radioactive waste management", Ds 2008:73, 2008.
- [26] SSI, "Friklassning av uranhaltigt slam for deponering vid SAKAB", SSI 6221/3704/99, 2001.
- [27] SSI, "Provtagning pa Risangens avfallsstation", SSI 2004/2819/257, 2004.
- [28] Sweden Radation Safety Authority, "Disposal of uranium waste from fuel fabrication in Sweden", 2013 年欧州調査における SSM 訪問時説明資料, 2013.
- [29] 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, vol. 37, 2008.
- [30] European Council, "Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste", 1999.
- [31] ICRP, "The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection", ICRP Publication 103, 2007.
- [32] Environment Agency, "Geological Disposal Facilities on Land for Solid Radioactive Wastes: Guidance on Requirements for Authorisation", 2009.
- [33] NexiaSolutions, "Post-closure radiological and safety assessment for the disposal of waste on the South and Calder Floodplain Landfills", Nexia Solutions (06) 6037, 2006.
- [34] Swedish Radiation Safety Aushority, "Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd om friklassning av material, lokaler, byggnader och mark vid verksamhet med joniserande strålning", SSMFS: 2011:2, 2011.
- [35] HCTISN, "Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire", GT FAVL Rapport et recommandations, 2011.
- [36] Swedish Radiation Safety Authority, "The Swedish Radiation Safety Authority's Regulations on the Discharging of Goods and Oil from Controlled Areas at Nuclear Facilities", SSMFS: 2008:39, 2009.

- [37] Swedish Radiation Safety Authority, "The Swedish Radiation Safety Authority's regulations concerning safety in connection with the disposal of nuclear material and nuclear waste", SSMFS 2008:21, 2009.
- [38] 原子力環境整備促進・資金管理センター. 放射性廃棄物の処分について スウェーデン Risängen 処分場、Gryta 処分場. [Online]. <http://www.rwmc.or.jp/disposal/uran/3-1.html>
- [39] Swedish Radiation Protection Authority, "Provtagning på Risängens avfallsstation, Skövde", 2005.
- [40] Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU), "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 Fourth Review Meeting in May 2012", 2012.
- [41] National Decommissioning Authority, "UK Strategy for the Management of Solid Low Level Radioactive Waste from the Nuclear Industry", 2010.

付録 1 参考資料

ここでは、事前に訪問先へ送付した質問に対する回答を簡単にまとめる。

ANDRA への質問及び回答（フランス オープ処分場、モルヴィリエ処分場に関して）

Q1

①燃料加工施設や濃縮施設から発生するウランで汚染された平均 370Bq/g 以下の廃棄物はオープ処分場に処分しているか？

燃料加工施設や濃縮施設の解体等から発生するウランを含む VLLW をモルヴィリエ処分場に処分しているか？

オープ処分場とモルヴィリエ処分場に燃料製造施設や濃縮施設から発生する廃棄物を処分している。ただし、廃棄物の放射能濃度は、数 10Bq/g 程度であるので VLLW がメインである。なお、ラドンを発生させるラジウム廃棄物はオープ処分場では許可されていない。

オープ処分場におけるウランの濃度上限値は、全 α 核種の濃度上限値である 3700Bq/g であり、モルヴィリエ処分場では、ウラン核種の容器あたりの濃度上限値である 100Bq/g である。

②370Bq/g 以上のウラン廃棄物の処分方法はどのようなか？

そのような物質は廃棄物として考えず、必要に応じて処理をする等して将来再利用する物質として考える。

③例えば、10,000Bq/g 程度の放射能濃度の高いウラン廃棄物からウランを回収することは考えられているか？

そのような物質は廃棄物として考えない。所有者の管理物（財産）である。

Q2

オープ処分場、モルヴィリエ処分場の安全評価でウラン核種を評価対象としているか？対象としている場合、ウランの子孫核種の生成による放射能の増加を考慮したか？考慮しない場合、それはなぜか？

オープ、モルヴィリエ処分場ともに、ウランは評価対象としているが、ウランの子孫核種は考慮していない。オープ、モルヴィリエ処分場ともに、ウランの処分場全体での放射能濃度は、数 Bq/g 以下と低く、 α 核種では、Am、Pu からの線量の方が重要である。したがって、評価期間はモニタリング期間終了後早い時期を想定している。ウランの子孫核種の生成が顕著になる時期は 1 万年以上であるため、そのような時期は処分場が存在するかどうかもわからないので、評価を行っていない。

Q3 オープ、モルヴィリエ処分場における人間侵入シナリオの評価について

①それぞれ線量基準は？250 μ Sv/年か？

人間侵入シナリオの線量基準は決まっていない。人間侵入に対する設計対策（インベントリの制限、人間活動からの隔離（覆土の厚さ））がなされていることについて規制機関から安全評価の認可を受ける。また、シナリオの発生確率を考慮して、線量基準（1mSv/年）と同等となる1~10 mSv/年程度までを人間侵入シナリオにおける指標としているとの発言があった。

②それぞれ評価期間の長さは？（長期における人間侵入のシナリオは評価しているか）

オープ処分場では、覆土から300年後、モルヴィリエでは50年後における評価を実施している。オープ、モルヴィリエ処分場ともに処分場全体におけるウランの放射能濃度は、数Bq/g以下と低い濃度であるため、 α 核種はPu、Amが主な核種であり、長期の評価より、管理期間終了後、早期の評価の方が重要である。

③それぞれ人間侵入のシナリオで処分場は掘り返されるか。

道路建設シナリオや井戸掘削シナリオを想定しており、処分場が掘り返されることを想定している。

④それぞれの長期評価の処分場のインベントリ設定では、放射能の減衰に加え、環境への移行による減少を考慮しているか

環境への移行による減少は考慮していない。閉じ込めが基本的考え方である。

⑤それぞれの長期において覆土の侵食を考えているか

評価期間は、300年後、50年後であり、覆土の侵食は想定していない。

Q4 オープ処分場、モルヴィリエ処分場における地下水シナリオの評価について

①それぞれ線量基準は？250 μ Sv/年か？

基本状態のシナリオ（normal evolution scenario）において、国の線量基準は1mSv/年、ANDRAの線量目標値が250 μ Sv/年である。

②それぞれ評価期間の長さは？

オープでは10,000年である。モルヴィリエではもう少し長い。ピークまで評価しているためである。オープでは、当初ジェネリックな評価を行っていた際にピーク時期が数千年であったことから評価期間を10,000年に設定している。オープにおける現在の地下水シナリオの評価でピーク時期は400年程度（Cl-36が最も高い）である。

③それぞれ長期の評価では、処分場の透水性バリアの経時的な劣化は考慮されているか

モニタリング期間終了以降（オープでは300年、モルヴィリエでは30年）は、人工バリアの機能は考慮しない評価となっている。

Q5

①それぞれラドンの線量評価は実施しているか？人間侵入シナリオでは、他の核種と合計して、 $250 \mu \text{Sv/年}$ 以下であることを確認しているのか？

オーブでは、ウランの子孫核種は評価しておらず、ラジウム廃棄物は受け入れていないことからラドンの評価を実施していない。(チェックはしているとのこと。)

モルヴィリエでは、ウランの子孫核種は評価していないが、ラジウム廃棄物、トリウム廃棄物は処分することから、ラドンの評価を行っている。人間侵入シナリオでは、線量基準は $250 \mu \text{Sv/年}$ ではない。

②それぞれウランの崩壊連鎖から生成するラドンを評価しているか？

評価していない。(理由は上記と同じ)

Q6

日本では、IAEA の天然核種の免除レベル (1Bq/g) 以下の濃度であれば、廃棄物処分場でのラドン評価を免除する措置を取り入れようとしている。貴社では、IAEA の天然核種の免除レベルを受け入れ基準や性能評価に取り入れている点はあるか？

フランスでは、IAEA の免除レベルは用いていない。国内法に免除レベル、免除される行為が示されている。

Q7

モルヴィリエ処分場は、ICPE 施設であると聞いているがオーブ処分場とモルヴィリエ処分場で規制法令、規制機関は異なるのか？

モルヴィリエは、取り扱う放射能レベルが低いことから、基本原子力施設 (INB) ではなく、環境保護施設 (ICPE) に区分されている。オーブは INB である。ICPE 施設は環境省の管轄下で規制当局は地方自治体である。INB は、ASN (国の原子力規制行政機関) に規制される。ライセンスの手続き (ICPE は申請書と附属書の提出。INB は 3 ステップ。許可法令の制定、ANS による技術規定、試操業の許可)、許可に係る期間 (モルヴィリエは 1 年程度、オーブは 4 年以上)、安全評価のレビュー (モルヴィリエはない。オーブは 10 年毎にレビュー) の違いがある。

Q8

オーブ、モルヴィリエ処分場では、放射能濃度の低いウラン含有廃棄物をその他の LLW、VLLW 廃棄物と廃棄物セルを区別しているか？他の LLW、VLLW と区別していない場合、安全評価では、ウラン廃棄物と他の廃棄物の混合物をソースタームとして扱っているか？

オーブ、モルヴィリエともにウラン廃棄物と他の廃棄物のセルを区別することをしていない。ピット又はトレンチ毎の平均放射能濃度をソースタームとして扱っている。

Q9

安全評価においては、ウランについて埋設処分場全体の平均放射能濃度を計算条件として用いているか？（廃棄物と充填したセメント等を含めた平均放射能濃度を設定しているか？）

オーブ、モルヴィリエ処分場ともにピット又はトレンチ毎の平均放射能濃度をソースタームとして扱っている。10年毎の安全評価のレビューでは、埋設した放射能の実績と許可を受けた埋設可能容量との比較を行い、埋設した実績の方が埋設可能容量より十分低い場合、埋設可能容量により安全評価を行う方が保守的となる。したがって、埋設可能容量を計算に用いて評価を行っている。

Q10

ピット又はピット内の区画毎に埋設した放射能の合計や平均放射能濃度を制限するための処分セルにおける廃棄物の配置や配列に関する規定はあるか？

できるだけホットスポットが無いように、安全評価の条件に近付けるように廃棄物の配置や配列を考慮している。なお、オーブ処分場では線量の高いものを置くために周りを先に定置し、遮へいを考慮した配置を行っていた。

Q11

①オーブでは、覆土の際には上部の覆土内に遮水シートを設置するか？遮水シートの透水性の基準は決まっているか？基準が示された文書はあるか？

オーブでは、覆土内に遮水シートを設置する計画はない。ラマンシュでは遮水シートを設置したが、技術的な考え方の進展（遮水シートを維持するのは大変であり、また、粘土層等により、十分な機能を持たせることが可能）により、現在は設置しない方向で考えている。

②モルヴィリエ処分場では、HDPE、排水層の厚さ、透水性の基準はあるか？基準を示す文書はあるか？

遮水シート等の安全機能の設計は、サイトスペシフィックな条件や廃棄物の条件等により、個々に設計・評価して決めていくものである。

Q12

オーブ、モルヴィリエ処分場において、ラドンバリアの役割を果たしている層はあるか？ある場合、ラドンバリアの性能はどのように決めているのか？

ラドンバリアの役割をする層はない。ラドンの影響は大きくない。

Q13

①オーブ、モルヴィリエ処分場において、ラドンのフラックス/濃度は、モニタリング項目に含まれるか？

オーブ、モルヴィリエ処分場ともに、ラドンのフラックス/濃度はモニタリング項目に含まれない。（ただし、2012年報告⁷⁾によれば、モルヴィリエ処分場では、入口付近と

FA-VL 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。)

②オーブ、モルヴィリエ処分場において、ウランに関するモニタリングは実施しているか？
(地下水中濃度、土壌中濃度)

2012 年報告⁷⁾によれば、オーブ、モルヴィリエともに全 α の放射能濃度を測定している。

③これらは、法令に基づくモニタリングか、自主的なモニタリングか？

オーブについては、拡張したモニタリングプログラムを ASN の認可を受けて実施しており、定期的に検査を受けている。データは一般に公開している。

モルヴィリエでは、県の規定に基づいた測定点において大気、堆積物、水試料について毎年測定し、一般に公開している。

Q14

①オーブ、モルヴィリエ処分場の制度的管理は、ANDRA が行うと考えてよいか？

ANDRA が行う。オーブのモニタリング期間は 300 年、モルヴィリエのモニタリング期間は、30 年である。

②オーブ、モルヴィリエ処分場の制度的管理期間の後、処分サイトはどのように使用されるのか？

数十年の期間は、公的な地権に基づくなど、再利用の制限がかかるかもしれないが、明確に決まっていない。

ANDRA への質問及び回答（フランス FA-VL）

Q1. 低レベル長寿命廃棄物（FA-VL）処分方策

2012年12月にFA-VL処分のサイト選定に係る報告書が公開されたが、FA-VL処分方策に係る検討経緯、論点、インベントリ（特に長寿命核種）及び今後の計画について概要を教えてください。この質問は、黒鉛廃棄物及びラジウム廃棄物の両者について教えてください。

2006年にFA-VL廃棄物処分の技術的検討と地質に関する事前調査を開始。ANDRAの公募に対して2地域まで絞り込まれたが、2009年に反対派の圧力により表明を撤回。ANDRAは、2012年末に管理シナリオと新たな立地アプローチを公表。黒鉛廃棄物は複数のシナリオを、ラジウム廃棄物は浅地中処分（SCR処分）を想定。立地アプローチでは、原子力施設の立地地域での対話を重要視している。今後は、地質環境調査、廃棄物特性調査及び処理方法に係るR&Dを並行して進め、2015年にガイドラインを作成する計画。

（補足）

2006年の「放射性物質及び放射性廃棄物の持続可能な管理計画法」に基づき、ANDRAが処分の技術的検討と地質に関する事前調査を開始。約40の地域が候補地として自ら表明し、2地域まで絞り込まれたが、2009年に反対派の圧力により表明を撤回。2010～2012年を対象とした「放射性物質及び放射性廃棄物管理国家計画」（PNGMDR）において、政府はANDRAに対して、異なる管理オプションを検討し、立地選定の対話を継続するように指示。「原子力安全情報と透明性に関する高等委員会」（HCTISN）により、立地アプローチに係る課題と提言が2011年末に出される。これを受けてANDRAは、2012年末に管理シナリオと新たな立地アプローチを公表³⁵⁾。黒鉛廃棄物の管理対策は処理、浅地中処分（SCR処分）及び地層処分などを組み合わせた複数のシナリオを、ラジウム廃棄物はSCR処分を想定。立地アプローチに関しては、原子力施設の立地地域での対話を重要視している。

インベントリとしては、黒鉛廃棄物が～23,000t、ラジウム廃棄物は50,000～90,000m³である。これ以外に、使用済み密封線源、歴史廃棄物（legacy LL waste）及びAREVAの転換施設から発生したウラン廃棄物もある。

今後は、2015年にプロジェクトの継続に係るガイドラインを作成していく計画。それまでに、地質環境調査、廃棄物特性調査及び処理方法に係るR&Dを並行して進めていく。立地調査は、Soulaines-Dhuys（オーブ県）において地質環境調査を2013年7月より始めているとともに、AREVA、CEA及びフランス電力との間で潜在的なサイトに係る情報交換も進めている。

Q2. FA-VLの安全評価に係る基準

FA-VLの安全評価に係る評価基準と評価期間を教えてください。もし、不確実性等に起因して線量基準の他に補完的安全指標を用いているとしたら、教えてください。2008年に出版されたASNの「FA-VL処分のための貯蔵研究施設の一般的なガイドライン」¹²⁾では、評価期間を10,000年及びそれ以上の2段階に分けているが、最新の評価ではそのガイドラインをどのように適用しているか教えてください。

評価基準は、ASNの2008年ガイドラインでは、確実なあるいは可能性の高いイベントに対する長期被ばくは、最低10,000年までの期間では0.25mSv/年を超えないこととしている。それを超える期間では、評価を定性的なものとみなし0.25mSv/年を参考として扱う。なお、ガイドライン¹²⁾では、地層処分の議論を基に10,000年の期間を設定しているが、ANDRAの検討では適切な地質環境の選定により50,000～100,000年の処分場の安定性を担保する方針である。

Q3. 安全評価の方法について

SCR での処分における①評価方法と②評価結果の概要を教えてください。それに加え、ラジウム廃棄物に含まれる長寿命核種の U-238 の扱いについて、③子孫核種のビルドアップを考慮していますか？④長期の地下水シナリオにおいて、処分場の劣化を考慮していますか？⑤長期の人間侵入シナリオにおいて、核種の浸出を考慮したソースタームモデルを用いていますか？

評価方法の概要は、ASN のガイドライン¹²⁾に示されている。基本的に、オーブ及びモルヴィリエ処分場を対象とした評価と同じであるが、U-238 の子孫核種のビルドアップは、ラドン評価を行うために考慮して評価している。

Q4. ラドンの線量評価について

ラジウム廃棄物に当初から含有されるラジウムの壊変で発生するラドン、そして、含有する U-238 や Th-232 の壊変で発生するラドンはどの様に評価していますか？そしてその結果を教えてくださいませんか？

ラドンは、埋設当初から含有されるラジウムから壊変するラドン、そして U-238 から壊変するラドンの両者をそれぞれ評価している。

Q5. パッケージの仕様について

ラジウム廃棄物として、特別なパッケージを考えているか？その仕様を教えてください。また、廃棄物パッケージは、バリア材としての機能は有しているか？

廃棄物の特性により処分場の仕様と共に検討していく。

Q6. 廃棄物の配置について

SCR 中での廃棄物の配列に対して、放射能濃度の違いを考慮しているか？また、評価におけるソースタームモデルでは、放射能濃度を均一にしているか？あるいは、被ばく低減のための何か特殊な工夫をしているか？

処分場内での廃棄物の配列に係る要件及び基準は今後検討していく。

Q7. 遮水カバー、ラドンバリア、底部ライナーについて

カバーシステムや底部ライナーの基準やガイドラインはあるか？埋戻し土によりラドン散逸を抑制していると考えられるが、その設計方法は？

評価方法は ASN のガイドライン¹²⁾に概要が示されている。

LLWR への質問及び回答（英国 ドリッグ処分場に関して）

Q1

①燃料加工施設や濃縮施設から発生する 4GBq/t 以下のウラン廃棄物を処分しているか？
1 年間の埋設放射エネルギーの限度は 0.3TBq か？

燃料加工施設や濃縮施設から発生する 4GBq/t 以下のウラン廃棄物を処分しており、1 年間の埋設放射エネルギーの限度は 0.3TBq である。ただし、年の限度の制限を外し、場所毎の許容量を合計した全処分場の許容量に対する制限に変更できればと考えている。

②ウランの放射能濃度が高いため、ドリッグ処分場で処分できないウラン廃棄物の処分方法はどのように考えられるか？

そのような廃棄物は、地層処分のような処分が計画されると考えられる。

③例えば、10GBq/t を超えるような放射能濃度の高い廃棄物からウランを抽出するような方策を取ることは考えられるか？

イギリスでは、そのような方策を取っていない。イギリスでは、廃棄物を管理するための Best Available Technique の適用及び評価を行っている。

④ウラン等の長寿命廃棄物の処分における安全評価に固有な要求事項（評価期間や性能目標値）はあるか？今後、検討する必要があると考えているか？

イギリスにおける放射性廃棄物の安全な処分における要件は、環境庁が示した GRA³²に定められている。GRA は、浅地中処分と地層処分に分かれている。ただし、基本的な防護要件は以下の通り同じである。

- ・規制管理の期間では、線源からの線量拘束値は、0.3mSv/年であり、単一のサイトからの線量拘束値は、0.5mSv/年である。
- ・規制管理から解放された後のサイトにおける自然事象におけるリスクガイダンスレベルは、10⁻⁶/年である。

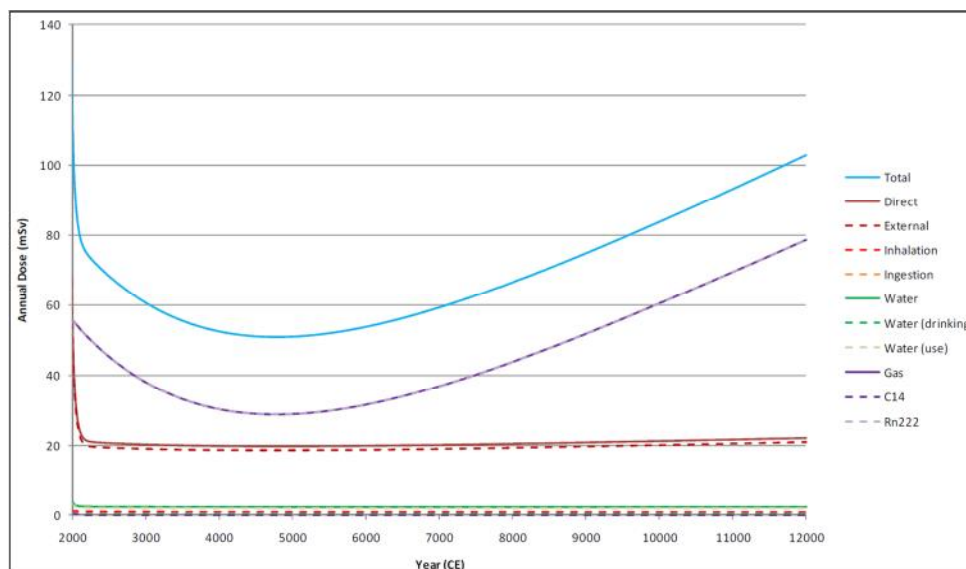
長半減期廃棄物の安全評価に関する特別な要件はない。長半減期廃棄物の安全評価に関して、現在のリスクのピークまでかまたは不確実性が大きくなりそれ以上評価することが意味を持たない期間まで評価を行う安全評価の考え方以上に特別な要件はない。長期においては、より簡単なモデルで簡単な議論が受け入れられやすいと考えられる。

Q2

安全評価でウラン核種を評価対象としているか？対象としている場合、ウランの子孫核種の生成による放射能の増加を考慮したか？考慮しない場合、それはなぜか？

安全評価では、全ての有為な量の放射性核種を評価し、その子孫核種は考慮されている。2011 年 ESC では、放射性核種のインベントリは、レベル 2 のインベントリレポートに示されている。詳細評価の核種選定プロセスは、長期放射線影響評価レポートのセクション 4 に示されている。

参考図 1 に示すような極端なケースを想定した場合には、トレンチに既に埋設した廃棄物からの線量は、Rn-222 からの寄与が支配的となっている。早期では、Ra-226 からのラドンの影響であるが、約 5000 年を超えると Th-230 や U-234 からのラドンの影響となる。



参考図 1 トレンチの放射能インベントリからの線量 (全ての廃棄物が地表にある仮想的な評価)

Q3

①線量基準はなぜ 3~20mSv/年なのか？

GRA で規定されている 3~20mSv/年の線量は、イギリスの英国健康保護庁の助言による。その英国健康保護庁の助言は ICRP や IAEA の提言に基づいている。低い方の 3mSv/年の値は、イギリスで修復等の活動を起こす必要のある汚染した土地の定義に相当する。

②評価期間の長さはなぜ 5000 年または 10,000 年なのか？

2011 年 ESC では、人間侵入シナリオにおける実効線量は西暦 2180 年（埋設終了後 100 年）から西暦 12,000 年（埋設終了後 1 万年）までの時間の関数として計算されている。

施設は、200~300 年後から、2,000~3,000 年後までに沿岸からの侵食によって破壊されると考えられている。評価では、5,000 年の期間が人間侵入を想定することの可能な最も長い時間と想定している。これに引き続き、人間侵入の計算は施設閉鎖後 10 万年までの計算も参考に実施している。しかし、1 万年を超える人間侵入シナリオの計算をすることには懐疑的である。

③人間侵入のシナリオで処分場は掘り返されるか？

人間侵入シナリオは、サイトで現実的に考えられる事象を想定している。この中に、ボーリングや地表からの掘削も想定されている。施設の沿岸からの侵食が始まった後

の廃棄物を掘削する人間侵入シナリオも考慮している。

④長期評価の埋設地のインベントリ設定では、放射能の減衰に加え、環境への移行による減少を考慮しているか？

放射能の減衰と子孫核種の生成は、全ての計算に含まれている。人間侵入シナリオにおいて、人間侵入の前に浸出により放射性物質が減少する効果は取り入れていない。浸出量の説明が難しかったため、保守的に浸出による減少を考慮しない評価を採用した。この効果の取入れについては慎重に扱うべきである。

⑤長期において覆土の侵食を考えているか？

可能性のある覆土の侵食速度を計算している。対象とする期間を超えて想定しても、覆土の厚さの減少は小さいと考えられる。例えば 10 万年の非常に長い期間における水溜まりによる侵食を考慮している。

Q4

①リスク基準で評価しているか？

イギリスの規制では、年間のリスク評価が求められている。規制管理から解放された後のサイトにおける自然事象におけるリスクガイダンスレベルは、 10^{-6} /年である。

②評価期間の長さはなぜ 1,000 年、5,000 年なのか？

1000 年の期間は、沿岸から施設が侵食される時期を参照している。沿岸から侵食される時期は 300 年から 3000 年と評価している。施設の侵食が始まった時、施設を水が浸透して下方の地中を移行する地下水流モデルは意味がなくなる。5000 年は、施設が存在するかもしれない最大の時間と想定している。

また、参考として、侵食がない場合の 25 万年までの期間の評価を実施している。25 万年の期間は、Th-230（半減期 77000 年）の 3 倍の時間が最大であるとして選定された。その時点で Th-230 は、U-234 と U-238 の放射能の 95%程度に達していると考えられる。これらの評価は、理論的な想定として考慮したものであり、起こるとは考えてない。

③長期の評価では、処分場の透水性バリアの経時的な劣化は考慮されているか

工学的な覆土等の透水性能（建設時、完成後の期間）は、エンジニアリングジャッジにより決定された。建設から 5000 年後では、覆土の透水性は、降雨による浸透水量が全て通過するような劣化が想定されている。

Q5

①ラドンの線量評価は実施しているか？人間侵入シナリオでは、他の核種と合計して、3~20mSv/y 以下であることを評価しているのか？

ラドン 222 は、処分場を掘削した後に廃棄物によって汚染されたサイトに居住する人への線量に最も寄与する核種である。2011 年の ESC では、実効線量は大体約 3mSv/y 程度か又はより低い結果となった。ボールド 8 のエリアで、通常より Ra-226 が高い特殊な埋設廃棄物を想定した場合、約 60mSv/y の実効線量の計算結果となった。この場合、その特殊な廃棄物をボールドの上部の部分に定置しないことを条件として計算することにより、その線量が低減した。

②ウランの崩壊連鎖から生成するラドンを評価しているか？

処分時の Th-230 及び U-234 から生成する Ra-226 からのラドンを考慮しているが、影響が重要となるのは、5,000 年以上経ってからである。(ドリッグでは、ウランの鉱さいの処分量は少なく、Th-230 の放射能は非常に小さい)

Q6

日本では、IAEA の天然核種の免除レベル (1Bq/g) 以下の濃度であれば、廃棄物処分場でのラドン評価を免除する措置を取り入れようとしている。貴社 (LLWR 社) では、IAEA の天然核種の免除レベルを受け入れ基準や性能評価に取り入れている点はあるか？

当社は LLW の処分を許可されている。LLW は、 α 核種が 4GBq/t、他の核種は 12GBq/t より低い廃棄物である。イギリスの LLW の管理政策では、放射能濃度が 200Bq/g より低い物質は、VLLW 又は LA・LLW (low-activity low-level waste) として許可された産廃処分場 (landfill) に処分するか又は再利用、再使用を行うこととなっている。したがって、我々は 1Bq/g 以下であるような低い放射能濃度の物質を有為な量受け取ることは想定していない。

Q7

放射能濃度の低いウラン含有廃棄物をその他の LLW 廃棄物と廃棄物セルを区別しているか？他の LLRW と区別していない場合、安全評価では、ウラン廃棄物と他の廃棄物の混合物をソースタームとして扱っているか？

特定の廃棄物に対してセルを分けて使うことは考えていない。ほとんどの評価計算において、核種の線源の濃度は、処分場内の仕切られたエリアにおける平均放射能濃度に基づいている。(本文図 3.3-7) 一般的に言うと、それぞれのボールドで平均して。補足的な検討として例えば、一つのボールドであったり、個々のコンテナについてのより小さい規模での計算を行っており、これは不均一な状態の計算を包含すると考えられる。

Q8

安全評価においては、ウランについて埋施設全体平均放射能濃度を計算条件として用いているか。(廃棄物と充填したセメント等を含めた平均放射能濃度を設定しているか)

一般にボルトやトレンチのセクションで平均化している。(図 3 参照) 平均化を行う物質の体積は、評価経路に依存する。例えば、人間侵入の計算で、農業利用のためにサイト全体に広がって掘削された物質の平均放射能は、一緒に掘削された覆土も含んでいる。

Q9

ピット又はピット内の区画毎に埋設した放射能の合計や平均放射能濃度を制限するための処分セルにおける廃棄物の配置や配列に関する規定はあるか?

コンテナを積み重ねる際の上部に定置する廃棄物の放射能を制限する方法を適用している。また、放射能の高い廃棄物が隣り合わせにならない方法も適用している。区分毎に放射能を合計する方法は、個々の核種の放射能に基づいて行われる。

Q10

ジオメンブラン (HDPE)、粘土層、排水層に厚さ、透水性の基準はあるか? 基準を示す文書はあるか?

最適化設計の性能は 2011 年の ESC で評価されている。人工建造物の性能の低下の予測は、正式な専門家グループのミーティングにおいて議論されている。その工学的設計は、2011 年 ESC の”工学的設計”のレポートに記載されている。

Q11

ラドンバリアの役割を果たしている層はあるか? ある場合、ラドンバリアの性能はどのように決めているのか?

低透水層、高透水性ガス収集層、キャップベントを備えた覆土において、大気のポンピング (圧力変化) の効果を含めて、ガスの拡散と移流によるフラックスを計算した。

管理期間の間、ラドンガスは覆土に備えられたキャップベントから放出されるが、その放射能濃度は低い。

一度、覆土のキャップベントが閉鎖されたら、ラドンの放出は、低透水性の粘土層を拡散することとなるが、低透水性の粘土層は、十分低いレベルの放出となるような十分な遅延効果を持つことを想定している。

この低透水性バリアは、水理的な性能 (浸透の制限) に関する仕様が決められており、ラドンの放出を非常に小さいレベルに制限するために十分な性能であることが得

られている。

Q12

①ラドンのモニタリングを実施しているか？

ラドンの環境モニタリングは、4 半期毎にトレンチの覆土のモニタリングポイントで実施されている。トレンチの浸出水集水ラインの辺りで高い濃度のラドンが検出されたことがあるが、通常、ほとんどがバックグラウンドレベルである。(ラドンの英国におけるバックグラウンドは、 4Bq/m^3 である。)

②ウランに関するモニタリングは実施しているか？（地下水中濃度、土壤中濃度）

ウランのモニタリングは、Pu、Am とともに、月ごとに大量の空気試料を採取し 1 年間分まとめて分析を実施している。現在、ウランのその他の分析は実施していない。過去にドリッグ川でウランの汚染があり、そのために分析を実施していたが、線量評価の結果、作業員や公衆へのリスクは有為ではないと示されたためである。

③これらは法令に基づくモニタリングか、自主的なモニタリングか。

当社は、環境への影響に関するデータを取得する法令上の義務を負っている。それらの要件は、法令による指定場所での環境モニタリングに適合しており、環境省との合意に基づき、かつ環境省の許可要件である遵守事項（CEAR）に規定されたモニタリング方針に基づいている。

ラドンとウランの放出は、CEAR の下、特別なモニタリングが要求されるほど有為な量とは考えられていない。当社は、ラドンやウランを含む法令に規定されていない追加のモニタリングも実施している。そのモニタリングは、年ごとに環境省へ報告されている。

Q13

①制度的管理は、だれが行うのか？

それはまだ決まっていない。環境省から許可を受けた組織が行うと考えられる。

②制度的管理期間の後、処分サイトはどのように使用されるのか？

地域における植生を施すことを要求されると考えられる。管理期間は少なくとも 100 年である。それ以降は、土地利用に関する法的な契約と地域の計画による受動的な管理が行われると考えられる。

Sita UK Ltd への質問及び回答（英国 クリフトンマーシュ処分場に関して）

Q1. 濃度上限値と受け入れ量

クリフトンマーシュ処分場では、非デコミ廃棄物の濃度上限値が 50Bq/g、デコミ廃棄物が 100Bq/g でしたが、2012 年の環境省からの許認可を受けて、変更がありましたか？もし、変更があった場合は、根拠を教えてください。

また、フェーズ 4 で定めている年間の受け入れ量から、どのように廃棄体 1 体当たりの基準を出しているのですか？それとも、これまでの実績から設定されているのでしょうか？

ESC に用いている値、環境省の許可証の値は下表の通り変更になっている。

	放射性核種	濃度上限値 (Bq/g)
固体低レベル 放射性廃棄物	Sr-90 (いずれの廃棄体でも)	100
	廃棄体ごとの総放射能	1,000
	廃棄体 10 トンごとの総放射能 (前提条件)	200

ESC では、廃棄物からの被曝評価は、次のシナリオについて記述されている。

1. 10 トントラック中の平均放射能濃度 200 Bq/g をソースタームとして設定した人間侵入シナリオ
2. 1 コンテナにおける放射能濃度 1,000 Bq/g をソースタームとして設定した、Sita 社作業員の粉塵吸引シナリオ評価

ESC では、これらのシナリオに対する被曝評価結果が環境省の提示する浅地中処分場の条件に合致することをデモンストレーションしている（子会社の評価には、親会社の評価で使われたモデル評価より細かくはないが保守的な評価を使用している）。

（補足）

英国の放射性廃棄物インベントリのうち、この濃度上限値を下回るものは 75%を超えるため、その主要な部分はクリフトンマーシュ処分場への処分条件をクリアしている。

なお、クリフトンマーシュ処分場では、発生元に対する廃棄物の受け入れ拒否のリスクをなくすため、少量で分離可能な廃棄体については、処分の濃度上限値を 1,000 Bq/g にし、自由度を与えている。ただし、Sr-90 は人間侵入シナリオにおいて一番に制限される放射性核種であるため、その濃度上限値は 100 Bq/g に制限されている。

Q2. 規制について

環境法が改正されたのを受け、2003 年に 1993 年放射性物質法の見直しが行われたため、環境省は、新しい放射性物質法に則った安全評価をするよう事業者に要求したと聞いています。埋設処分のガイドラインである GRA と異なる基準を含む二段階で評価することを環境省と合意していると聞いていますが、なぜ、そのような規制に至ったのか教えてください。

クリフトンマーシュ処分場は、Controlled burial という種類の埋設処分場である。2007 年環境許可規制で規制される処分場であり、この規制の附録 23 では 1993 年放射性物質法の改訂として放射性物質についての活動について定められている。また、GRA にも、Controlled burial とは LLW と VLLW のための処分場である旨記載されている。そのため、LLW の浅地中処分のガイダンスである GRA、環境許可規制両方に沿って評価する必要がある。

(補足)

2010年4月6日に、2007年の環境許可規制が改正され、イングランド・ウェールズ地方における新規制が施行された。

2007年規制では、環境汚染防止・管理と廃棄物管理許可が統合された。この規制では、排水と地下水活動、放射性物質にまで範囲を広げ、多くの指示を含んでいる（鉱業廃棄物指示を含む）。

放射性物質規制における特別な要求は、2010年の環境許可規制の附録23にて定められている。これは、イングランド・ウェールズにおける1993年放射性物質法の改訂であり、環境中の放射性廃棄物による被曝を予め規制するものである。許認可の責任は、イングランド・ウェールズにおいては環境省、スコットランドにおいてはスコットランド環境防護省、北アイルランドにおいては北アイルランド環境省が負っている。

環境省が定めたGRAでは、環境許可規制（以前では1993年放射性物質法）の下、ひとつの環境当局によって発布される許可が必要とされる陸地処分場に対して適用される。そして、それら処分場は浅地中処分場に分類される。

このガイダンスは、環境省が規制している浅地中処分場とその規制アプローチのフレームワークについて詳しく解説したものである。主に、処分場の開発者と運営者に対する指示であるが、同時に環境省の規制担当員が、体系的で整合性のある規制を行うためのガイドでもある。

このガイダンスによると、処分場の開発者もしくは運営者は、ESCを作成することが求められており、GRAに書かれている要求事項をどのように満たしているのかを示さなければならない。また、その評価の中に、処分場に捨てた廃棄物に付随する有害性から、公衆や環境が守られていることを示さなければならない。

また、廃棄物の放射性が低い処分場についても、開発者もしくは運営者が、ガイダンスに示された要求事項について、比較的簡易なアプローチで実証できようとしている。それに対し、放射性の危険性が高ければ、より複雑なアプローチが求められる。言い換えれば、環境省は開発者もしくは運営者に、処分場に捨てる廃棄物のインベントリが与える危険性のレベルに応じた評価を求めている。

このガイダンスでは、環境省は単純化されたデータと仮定を使用するよう、指導している。「リスクアセスメントの設定において、一般に、開発者もしくは運営者は、現実的もしくは最善の推定に基づいたデータと仮定を目指すべきである。しかしながら、そのデータが、このアプローチをサポートしていないところ、もしくはその評価が実用的に単純化されるところについては、開発者/運営者は、必要事項が満たされる限り、保守的なデータや仮定を選んで評価できる。

Q3. シナリオ選定について

ESCにおいて、normally expected to occur と not certain to occur のシナリオを評価されているが、このシナリオを選んだ理由をサイトスペシフィックな条件も含めて教えてください。

このサイトの数学的モデルは、GoldSim を使用している。サイトのソースタームモデルを設定し、時間進展の評価を行うものである。さらに、サイトからの核種移行からの被曝計算も行う。環境省のガイダンスでは、処分場の廃棄物インベントリに付随する危険性のレベルに応じたリスク評価を使うよう指示しており、被曝評価のための単純化された保守的なパラメータを用いる手法が環境省の要求を満たす場合において、その手法を使うことは許される。

(補足)

クリプトンマーシュサイトにおけるコンセプトモデルはすでに開発されている。このモデルは、廃棄物受入、サイトへの輸送、廃棄物の定置、廃棄物カバー、浸出水の発生、浸出水の貯水池への移行とその処理、ガス発生、ガス放出、発生したガスを利用した発電…などキーとなる運転の局面の概略を示している。また、浸出水やガス発生、廃棄物層の擾乱(disturbance; 崩落、侵食、動植物による穿孔等)もしくは人間侵入による管理期間終了後の評価についてもこの

コンセプトモデルで示している。サイトのまわりの被曝の可能性のある集団とその行動・習慣をコンセプトモデルのなかで定義している。それをを用いることで、管理期間さらには管理期間終了後の作業者と公衆に対する被曝のシナリオの評価を可能にしている。

次のシナリオは、操業期間中に通常起こると予想される経路として設定されている。

- 浸出水の貯水池からのエアロゾル形成
- 排水処理への浸出水の放出

次のシナリオは、操業期間中に確実に起こるとは言えない経路として設定されている。

- 浸出水の漏れ
- 廃棄物の火災

次のシナリオは、閉鎖後に通常起こると予想される経路として設定されている。

- 浸出水の発生と地下水への移行

次のシナリオは、閉鎖後に確実に起こるとは言えない経路として設定されている。

- 廃棄物への侵入
- 処分場の浸水状態
- 埋設地の浸食
- 航空機の墜落事故（人間侵入シナリオとして考慮）
- パイプラインの爆発（人間侵入シナリオとして考慮）

このコンセプトモデルは、プロジェクトの最初に環境省によって検討されたものである。これらのシナリオとそれに付随した被曝経路は、詳細な放射線安全評価に入る前に、環境省の了解を得ている。

Q4. ウラン溶出試験の結果と適用

2012年の許可の条件として、ウランの溶出試験のデータが求められていますが、その方法及び結果を教えてくださいませんか？また、試験結果は、①受入れ基準に用いられるのでしょうか、それとも②評価のインプットデータに用いられるのでしょうか？①であれば基準値を、②であれば適用方法を教えてください。

ウラン浸出試験は、有害物の安全評価として実施した。また、放射線リスク評価の際にとりかかっておらず、この結果をモデルに使用してはいない。

（補足）

親会社のモデル評価では、基本ケースとして、操業中の地下水モデルに溶解度のみが支配的であるような廃棄物からの放出のモデルを設定しており、基本的に保守的な方針が使われている。水への吸着を仮定していないことは、保守的な仮定である。これは、操業中のシナリオにおいて、放射性核種は、溶解度に依存して、即座に浸出水に放出され、直ちに浸出水の組み上げ装置から浸出水の貯水池、排水処理まで移行するというモデルである。これは、操業期間での放射性核種の放出の保守的な概念で、廃棄体中の放射性核種の保持力を計算に入れていない。実際には、放射性核種は、廃棄体中で浸出液と固体媒体とに分かれる。

子会社のモデルでは、廃棄体への放射性核種の吸着を仮定しており、セラフィールドのオンサイト処分場であるサウス・コールドー氾濫原の処分場閉鎖後の放射線安全評価から得られた吸着係数を使用している³³⁾。

Q5. 長期評価について

10 万年～20 万年で氷河期となり処分場の廃棄物は離散するとあるが、より具体的な定量的評価は求められないのでしょうか？もし、求めないことに対して理由があれば教えてください。

放射性リスク評価において、10 万年後の評価もカバーすることで、環境省とは同意しており、リブル川による処分場の侵食を考慮している。

(補足)

環境省のガイダンスにも次の状況について要求されている。以下 GRA 引用。

気候変動

ESC では、気候変動の可能性を考慮する必要がある。起こり得る気候変動は、自然の作用によって、あるいはこの自然の作用に影響を及ぼす人間の行為によって、誘発される可能性がある。様々なタイムスケールで起こり得る気候の変動の速度、規模、さらにはそれが進展する方向に関してさえ、著しい不確実性が存在する。したがって開発者/操業者は、どの程度の範囲でそれが起こり得るのかについて、検討する必要がある。気候の変動に伴って起こり得る影響の例として、降水パターンの変化（水路及び帯水層に影響を及ぼす可能性がある）、海水位の変化、侵食率の上昇（海岸侵食を含む）、氷河サイクル及び氷河構造運動などが挙げられる。

将来の気候・環境条件について、著しい不確実性を設定することで、クリフトンマーシュ処分場の周りの基本モデリング評価では、10 万年の評価期間において気候変動を起こさないとしている。潜在被曝グループで使用したパラメータは、現在の観察されている習慣に基づいている。しかしながら、クリフトンマーシュ処分場では、海面が上昇し、海岸が侵食するという現在の予想があるので、海岸侵食の変化の影響評価のため、シナリオ計算が行われている。このアプローチは環境省の了解を得ている。

Q6. ラドン評価

2012 年 8 月の許可申請では、ラドン評価結果が、12.7mSv/年となっているようであるが、なぜこの値で許可が下りたのでしょうか？他のシナリオとの平均をとっているように見えますが、どういうロジックになっているのでしょうか？

なお、評価のもとになった 2010 年の ESC においては、人間侵入における Rn-222 の吸引が 2.83mSv/年と基準の 1mSv/年を超える結果となっています。しかし、家のサイズを 2 倍にすると 1.73mSv/年に低減されるなど、パラメータによって大きく変わることがわかっています。また、この数値は、コンクリート基礎部分を除いているため、実際より保守的な値となっています。

このような考え方をを用いて、1mSv/年を Rn-222 が超える場合も許容されると考えればよいのでしょうか？

それぞれの核種において最大のインベントリをソースタームとして設定し、子会社のパラメータ（基本ケースモデルよりも保守的でないパラメータ）を使用した場合、人間侵入シナリオにおける Rn-222 の被曝評価の結果は、12.7 mSv/年となる。これは、環境省の認可要件に関するガイダンスにおいて特別に定められている人間侵入シナリオの被曝限度の 3～20 mSv/年を満たしている。すべての放射性核種に対する、すべての経路（ガスと土壌）にわたる人間侵入の合計は 22 mSv/年となる。しかし、この仮定は全ての被曝ピークが一度に起こった場合を仮定しており、これらの被曝は異なるタイムスケールで起こることに注意しておく必要が有る。すべての経路の評価を足し合わせることで、保守的な評価を行っている。

加えて、この人間侵入モデルはさらに保守的な評価を行っている。例えば、Rn-222の家屋への放出における被曝評価では、家屋の基礎コンクリートを計算に入れていない。このモデルでは、Rn-222は、ソースタームから直接家屋へ入ってくるように仮定されていて、これは非常に保守的な仮定である。

Q7. ガス移行シナリオについて

ラドンガスからの線量評価（例えば、human intrusion - site resident exposed to Rn-222）をどのように評価しているのか、具体的に教えてほしい。

- 1) ラドンガスの評価基準は、線量か、又は散逸率か？
- 2) 吸入線量の場合、他の核種と合計するか？
- 3) ウランの崩壊連鎖から生成するラドンを評価しているか？
- 4) 人間侵入シナリオにおける長期評価において、ラドンバリアの性能や覆土の厚さの経時的な変化を考慮しているか？（感度解析）
- 5) BNFLの行った評価とは違う評価か？

- 1) 地表からの散逸率である。（後述）
- 2) C-14とH-3を合計している。
- 3) 評価している。（後述）
- 4) 経時変化は考慮しておらず、ライナーもキャップも全てない保守的な状態を仮定。
- 5) BNFLが行った評価とは異なる。

Q8. 地下水移行シナリオについて

透水性バリアの経年劣化は考慮されているのでしょうか？

遮水バリアの喪失という保守的な想定をしているため、考慮していない。

Q9. ラドンバリアについて

安全評価では、放射性廃棄物は非放射性物質によって1.5mカバーされると報告されています。

- 1) この1.5mの層は安全評価においてラドンバリアとして働いているのでしょうか？
- 2) どのようにして、ラドン移行やラドンバリアの寿命の性能条件を見積もられたのでしょうか？
- 3) クリフトンマーシュ処分場では、HDPEのライナーやベントナイトが設置されていると理解していますが、正しいのでしょうか？

- 1) ラドン移行のバリアが全くないという保守的な状況を想定しているため、ラドンバリアとして評価していない。
- 2) 同上。
- 3) その通り。

Q10. Controlled burial における規制のあり方について

産業廃棄物（非放射性廃棄物）と同じ場所に処分する際の規制について、規制法規と規制機関、規制体系について教えてください。

- 1) 廃棄物は放射性廃棄物として線量のモニタリングや安全評価対象となるのでしょうか。それとも、免除されるのでしょうか。
- 2) 免除される場合、その基準値はどのくらいでしょうか？
- 3) 放射性廃棄物（ウランを含む）を産業廃棄物と同じ場所に処分することについて、公衆や地元住民の反応はいかがでしたか？どう説明し、どのようにして納得が得られたのでしょうか。

- 1) 環境省のガイダンスにある許可要件 R14 によると、開発者もしくは運営者は処分場のモニタリング計画を、規模に応じて、筋道だったアプローチで確立する必要がある。このモニタリングは、操業期間中、処分場が ESC で述べられたパラメータに収まっていることを保証するために、認可申請期間中にデータを示す必要がある。しかしながら、モニタリングは処分場の環境安全自体を危うくするものであってはならない。環境省の許可上の条件はモニタリング要件にて詳しく記述される。
- 2) 免除されない。
- 3) 廃棄物の寿命、処分場への交通量の増加の影響、ステークホルダーとの約束事、市民への公開…など。

（補足）

環境省は、2010 年の環境許可規制の放射性物質規制の下、環境許可を発行する。環境許可規制は次に上げる条件を指示している。

4.27 これらの規制の下、LV-VLLW を受け入れる処分場の運営者は、放射性廃棄物を処分するための環境許可を要求されない。

4.28 HV-VLLW を受け入れる処分場については、処分場の放射能容量が HV-VLLW の基準(1 トンにつき 4MBq)未満であることを保証するように環境省から要求されている。このため、環境省はこれらの処分場の運営者が放射性廃棄物の処分のための環境許可を取得することを要求している。

4.29 特定の LLW は、管理型処分場（Controlled burial）で扱われる。管理型処分場とは VLLW のしきい値を超えた廃棄物を受け入れる処分場であり、受け入れ処分場が放射線防護条件を満たしているか実証できるものを指す。管理型処分を行うことになっている処分場の運営者は、放射性廃棄物の処分に係る環境許可が必要とされる。

前述したが、環境省は浅地中処分場の許可要件をガイダンスに示している。

Q11. モニタリングについて

- 1) ラドンのモニタリングを実施しているのでしょうか？
- 2) 地下水中濃度、土壌中濃度などのウランに関するモニタリングは実施しているか？
- 3) それらは法令に基づく管理なのでしょうか？それとも自主管理なのでしょうか？

- 1) Rn-222, C-14, H-3 について、四半期に一度モニタリングを行っている。
- 2) 地下水、表層水、浸出水について全 α の測定を四半期ごとに行っている。
- 3) 環境許可に基づく管理である。

SSM への質問及び回答（スウェーデン グリタ産廃処分場に関して）

Q1. ウラン廃棄物の処理処分に関する政策

スウェーデンではウラン廃棄物を過去ケースバイケースで産廃処分場に処分してきた。今日では 10Bq/g でクリアランスして処分していると聞くが事実か。

1995年にケースバイケースでウラン廃棄物を産廃処分場に処分していた。2000年位からは、年間の処分量という形で認可を得た。平均濃度は 250ppm,最大濃度は 600ppm である。その後、 $10\mu\text{Sv/年}$ 以下の線量評価結果を確認してクリアランス申請を実施してきた。ウランの転換から発生する CaF_2 はグリタ処分場で、廃水処理のスラッジはサカブ処分場で、ランスタッドのウラン回収残さはリサンゲン処分場で処分してきた。

1. ウランのクリアランスレベルは SSM DNR 2008/549 の廃棄石油類、有害物質のクリアランスに適用される表 2 の値としてよいか。

クリアランスの図書は SSMFS: 2011:2³⁴⁾に改訂されているが、数字は変わっていない。

2. SSMFS: 2008: 39³⁶⁾の 10 章には、「クリアランスについて通常の製品について天然ウランの含有量に追加する量」との記載があるが、これはクリアランス対象物から天然ウランの寄与を引いたものが 10Bq/g ということか。

リサンゲン処分場では表層水、土壌水、地下水の分析を行い、環境に放出されるウランの大部分は天然起源であり、原子力施設から発生するウランの寄与は極めて低いことを確認している。

Q2. ウラン廃棄物の安全評価

1. グリタ処分場は自治体廃棄物処分場であるが、どの機関が認可を与えるのか。

国内に 5 つある環境裁判所が許可を与える。SSM はクリアランスレベルを守る方法を示して許可する。

2. どのような申請手順で産廃事業者は操業許可を得てウラン廃棄物を受け入れ処分することができるのか。

廃棄物発生者が SSM に申請し、SSM がどのようにすればクリアランスを守れるのか示す。クリアランスの許可を得て、最終的な操業許可は環境裁判所より与えられる。クリアランス申請書は公開されないが透明性確保のため、電話での問い合わせについては丁寧に対応している。EU BSS にあるクリアランスレベル 10Bq/g との整合も確認している。

2.1 クリアランスの線量基準は $10\mu\text{Sv/年}$ か。

$10\mu\text{Sv/年}$ である。

3. SSMFS: 2008: 21³⁷⁾は10万年オーダーの評価を求めているがグリタ処分場のように産廃処分場では1万年を超える評価を実施しているのか。

5000年位から氷河期が来ると予想される。特に文書にはまとまっていないが、氷河期には処分場は分断されウラン濃度は希釈されると一般に考えられる。長期の評価は実施していない。

4. ウラン廃棄物の処分では10Bq/gというクリアランスレベルを設定するのに10 μ Sv/年で線量評価しているのか。

クリアランスは10 μ Sv/年で評価している。

4.1 SSMの文書ではEUの放射線防護報告書がしばしば引用されているが、スウェーデンの生活様式に基づいた線量評価を実施しているのか。

ウラン事業者はクリアランスを個別に申請してくるので、独自に評価している。

5. 産廃処分場では人間侵入は評価しているのか。評価している場合、どのような評価を実施しているか。

人間侵入の評価はしているが、これは理論上の話であり、子孫核種のビルドアップは考慮しない。

5.1 人間侵入の評価では平均値ではなく部分的に最も高い濃度のウラン濃度で評価を行うものとするがどのようにウラン濃度を設定するのか。

当初処分した廃棄物の平均濃度の最大値を用いて評価している。高い部分に侵入する確率を考えれば平均値の最大値を用いることがよい。

5.2 過去の評価ではウランは1万年で処分場から流出することとなっているが、今でも同様な評価となっているのか。

長期の評価は実施していない。実際のモニタリングの結果から流出の影響は確認している。

5.3 人間侵入では人間侵入の評価時点までの放射性核種の崩壊と流出によるソースタームの減少を考慮しているか。

人間侵入は理論的な設定であり、当初処分した廃棄物の組成で実施する。

5.4 処分場の凍土化は考慮するか。

凍土化しても処分場の機能に影響しないことは確認している。氷河期について定性的に処分場は希釈されウランの影響はないと考える。

Q3. ラドンの線量評価

1. ラドンの線量を評価するか。人間侵入では居住でのラドンを評価するのか。

ラドンの評価はしない。人間侵入による掘り返しで一般公衆への影響を評価すべきではないか。

1.1 ウランの子孫核種としてのラドンのビルドアップは考慮するのか。

しない。

Q4. 放射性廃棄物と非放射性廃棄物が一つのサイトに処分される場合の規制

1. 放射性廃棄物と非放射性廃棄物が一つのサイトに処分される場合にはどちらの規制、規制当局、法律が適用されるのか。

環境省の環境裁判所が認可する。

2.1 放射性廃棄物について、モニタリングの基準は何か。

放射性物質のモニタリング規定はない。各処分場に対する環境裁判所の個別の認可内容によるもので一概には議論できない。

2.2 ウランを産廃処分場に処分することについて住民の反応はどうか。SSM や埋設事業者は住民の合意を得るために説明をしているか。

スウェーデンではウランがどこにでもあることは理解されている。透明性を確保するためにクリアランスについて住民から電話での問い合わせがあれば丁寧に対応している。

Q5. ウラン廃棄物と他の放射性廃棄物との混合埋設

1. 地下水経路でウラン濃度は平均濃度を適用しているか。

このような事例はない。

2. ウランは特別な専用ピットに処分しているか、混合して処分しているか。

クリアランスの場合、環境裁判所の認可内容に従って処分する。

3. 放射性物質が均質となるように廃棄物の配置等を考慮しているか。

クリアランスの場合、環境裁判所の認可内容に従って処分する。

4. セル内での放射性物質の均一性を考慮して配置等を考慮しているか。

クリアランスの場合、環境裁判所の認可内容に従って処分する。

5. 従前、石炭灰の場所にウランを捨てていたが、最近ウランのピットを別にしたと聞いている。何か理由があるのか。

操業上の都合と思う。特に理由は考えられない。

Q6. 上部遮水カバー

1. グリタ処分場の埋め戻しやカバーの基準は何か。これらの劣化はどのように考えるか。1 万年間劣化なしで評価しているのか。

これらは EU Directive の Landfill³⁰⁾ の記載に従う。人工バリアは最低 0.5m の厚さが必要である。水の浸透量は 5 リットル/m² 以下であることが求められる。他の国では粘土層が豊富であり問題ないがスウェーデンは粘土が少なく、EU の条件を満たすために工夫をしている。

2. 遮蔽カバーやラドンカバーで HDPE に対する要求事項はあるか。

EU Directive の Landfill の記載に従う。詳細は Q6.1 参照。

Q7. モニタリングについて

1. ラドンのモニタリングは実施しているか。Flux は評価しているか。

実施していない。

2. ウランの濃度あるいは Flux のモニタリングは実施しているか。ウラン濃度の上限値はあるのか。

ウランのモニタリングが要求されるかどうかは環境裁判所の認可内容に従う。ウラン濃度はスウェーデン北部で特に高く、濃度が天然ウランによるものか、濃縮ウランによるもので原子力からのウランで汚染しているかどうか判断している。

3. モニタリングをする場合、それは規制から要求されているのか、自主的にモニタリングしているのか。

ウランのモニタリングが要求されるかどうかは環境裁判所の認可内容に従う。

Q8. 制度的管理期間

1. 制度的管理期間は何年間か。

少なくとも 30 年で、地方自治体の同意が得られなければ制度的管理を続ける。

1.1 制度的管理期間中は誰が処分場を管理するのか。

まだ確定していない。政府機関となると思うが明確にはなっていない。

1.2 跡地はどのように活用されるか。

特に決まっていない。処分場で事故があった場合には、その土地には制限がかかる。

2. グリタ処分場の記録は誰が管理するのか。

SSM である。最終的に誰が管理するかはまだ決まっていない。

2.1 管理期間は誰が管理するのか。

まだ確定していない。

2.2 管理期間終了後は誰が管理するのか。

まだ確定していない。

Q9. ウラン回収

ランスタッドミネラル社が過去ウラン回収を実施してきたと聞いているが、どの程度の回収を実施したのか。現在のウラン回収の現状はどうか。

数百トン程度処理したのではないかと聞いている。現在はスタズビックの熱分解炉で焼却したウラン廃棄物の焼却灰からウランを回収する計画はあるがあまりうまくいっていない。

Q10. 廃棄物受け入れ基準

1. 過去の SSI の調査によると、リサンゲン処分場で 6000ppm 程度の濃度の高いウラン廃棄物が確認されているが処分場の基準は平均 250ppm、最大で 600ppm である(参考図 2)。どのようにしてこのような濃度の廃棄物がリサンゲンに受け入れられたのか。

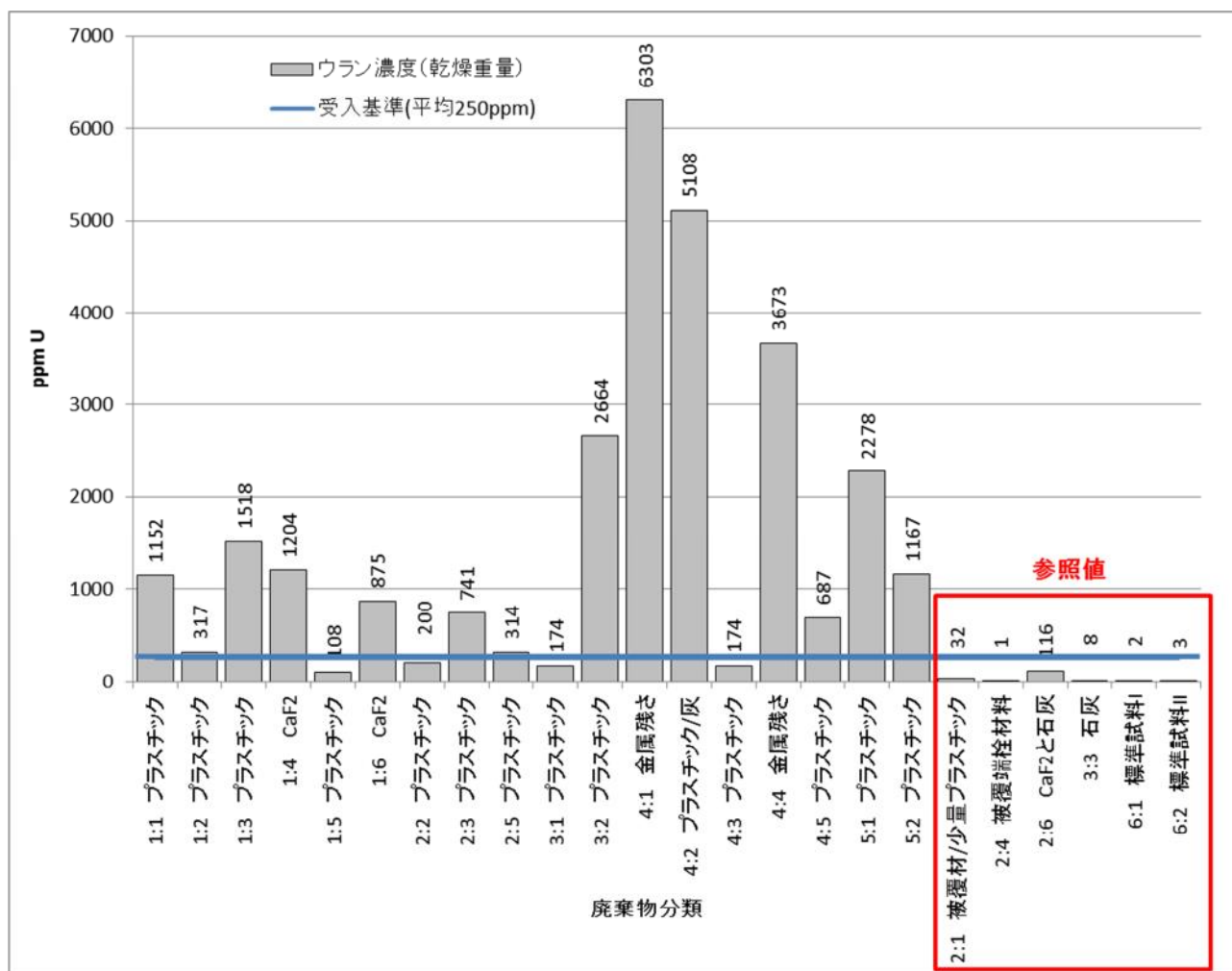
これは SSI が確認してみようということで確認した結果問題が発覚した。現在検察が起訴するかどうか検討している。これがただちに違反となるかどうかは不明。

1.1 クリアランスレベルの 10Bq/g とどのように整合するのか。

この事例は問題があった事例である。

2. 誰がグリタ処分場のウラン含有量に責任を持つのか。齟齬がある場合安全当局はどのように対応するか。

本件は起訴するかどうか検討中である。量的な規制もあり必ずしも起訴されるかどうかは分からない。



参考図 2 リサンゲン処分場の廃棄物分類別ウラン濃度分布 39)

Q11. ステークホルダーの関与

1. 過去、グリタ処分場は長期間ウラン廃棄物を受け入れなかったが再開している。再開するために住民への説明を実施しているのか。また、SMM の役割はどうか。SMM は住民と対話をしているのか。

グリタ処分場の停止は技術的なもので特に大きな理由で停止したものではない。

2. サカブ処分場で最近ウラン廃棄物の受け入れを停止しているが、どのような背景があるのか。

サカブ処分場で住民と問題になっていると聞いている。

補助的な指標としてウランの流出濃度を用いているが、補助的指標は一般には理解しにくいと考えるがどうか。

一般をどう考えるかだが、線量の目標値があり、ウランの流出を最小にするという

ことで理解は得られると考える。ウランの処分は最初のケースであり、ウランの測定を行い、原子力からのウランの影響が小さいことを確認している。

付録 2 略語・用語集

ANDRA	Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs フランス放射性廃棄物管理機関
ASN	Autorité de Sûreté Nucléaire 原子力安全機関
BNFL	British Nuclear Fuels plc. 英国核燃料公社
Cigéo	Centre industriel de stockage géologique 高レベル及び長寿命中レベル放射性廃棄物の地層処分産業センター (フランス)
CEA	Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives フランス原子力・代替エネルギー庁
EA	Environmental Agency 環境省 (英国)
EDF	Électricité de France フランス電力
EPR2010	The Environmental Permitting (England and Wales) Regulations 2010 2010年イングランド及びウェールズにおける環境許可規制
ESC	Environmental Safety Case 環境セーフティーケース
FA-VL	Faible Activité massique à Vie Longue 長寿命低レベル放射性 (廃棄物) (フランス)
HAZOP	HAZard and OPerability studies ハゾップ (危険シナリオ分析法)
HCTISN	Haut Comité pour la Transparence et l'Information sur la Sécurité Nucléaire 原子力安全情報と透明性に関する高等委員会 (フランス)
HDPE	High Density Polyethylene 高密度ポリエチレン
HPA	Health Protection Agency 英国健康保護庁
HV-VLLW	High Volume-Very Low Level radioactive Waste 大容量極低レベル放射性廃棄物 (英国)
ICPE	Installations Classées Pour la protection de l'Environnement 環境保護指定施設 (フランス)
ICRP	International Commission on Radiological Protection 国際放射線防護委員会
INB	Installations Nucléaires de Base 原子力基本施設 (フランス)
GRA	Near-surface Disposal Facilities on Land for Solid Radioactive Wastes Guidance on Requirements for Authorisation 2009 2009年 放射性固体廃棄物を対象とする浅地中処分場-許可要件に関する ガイダンス-
legacy waste	歴史廃棄物
LLW	Low Level radioactive Waste 低レベル放射性廃棄物
NDA	Nuclear Decommissioning Authority 原子力廃止措置機関 (英国)
NORM	Naturally Occurring Radioactive Material 自然起源放射性物質

ONR	Office for Nuclear Regulation 原子力規制局 (英国)
PNGMDR	Plan National de Gestion des Matières et des Déchets Radioactifs 放射性物質及び放射性廃棄物管理国家計画 (フランス)
RSA93	Radioactive Substances Act 1993 1997年放射性物質法 (英国)
SCI	Stockage sous Couverture Intacte 非損傷被覆層での処分 (フランス) ……余裕深度処分相当
SCR	Stockage sous Couverture Remaniée 再生被覆層下での処分 (フランス) ……浅地中処分相当
SEPA	Scottish Environment Protection Agency スコットランド環境保護局
SFL	Slutförvaret för långlivat radioaktivt avfall (Final repository for long-lived radioactive waste) 長寿命放射性廃棄物最終処分場 (スウェーデン)
SFR	Slutförvar för kortlivat radioaktivt avfall (Final repository for short-lived radioactive waste) 短寿命放射性廃棄物最終処分場 (スウェーデン)
SNIFFER	Scotland and Northern Ireland Forum For Environmental Research 環境調査のためのスコットランド及び北アイルランドフォーラム
SSM	Strålsäkerhetsmyndigheten (Swedish Radiation Safety Authority) スウェーデン放射性安全機関
UKAEA	UK Atomic Energy Authority 英国原子力公社
10CFR61	Code of Federal Regulations (10 CFR) PART 61-Licensing Requirements for Land Disposal of Radioactive Waste 米国原子力規制委員会連邦規則 放射性廃棄物の陸地処分のための許認可要件

国際単位系 (SI)

表1. SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質の量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m ²
体積	立法メートル	m ³
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²
波数	毎メートル	m ⁻¹
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m ²
比体積	立方メートル毎キログラム	m ³ /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m ²
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 ^(a) , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率 ^(b)	(数字の)	1
比透磁率 ^(b)	(数字の)	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。
 (b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(c)	1 ^(b)	m ² /m ²
周波数	ヘルツ ^(d)	Hz		s ⁻¹
力	ニュートン	N		m kg s ⁻²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²	m ⁻¹ kg s ⁻²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m	m ² kg s ⁻²
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s	m ² kg s ⁻³
電荷, 電気量	クーロン	C		s A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻¹
静電容量	ファラド	F	C/V	m ² kg ⁻¹ s ⁴ A ²
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻²
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V	m ² kg ⁻¹ s ³ A ²
磁束	ウェーバ	Wb	Vs	m ² kg s ⁻² A ⁻¹
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²	kg s ⁻² A ⁻¹
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m ² kg s ⁻² A ⁻²
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C		K
光照射度	ルーメン	lm	cd sr ^(c)	cd
放射線量	グレイ	Gy	J/kg	m ² s ⁻²
放射性核種の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq		s ⁻¹
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	m ² s ⁻²
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト ^(g)	Sv	J/kg	m ² s ⁻²
酸素活性化	カタール	kat		s ⁻¹ mol

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
 (b) ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。
 (c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
 (d) ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
 (e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の間には1:1の関係がある。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
 (f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
 (g) 単位シーベルト (PV.2002.70,205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘力のモーメント	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
表面張力	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
角速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ = s ⁻¹
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²	m m ⁻¹ s ⁻² = s ⁻²
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m ² kg s ⁻² K ⁻¹
比エネルギー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m ² s ⁻² K ⁻¹
熱伝導率	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² s ⁻²
体積エネルギー	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
電界の強さ	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電荷密度	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m kg s ⁻³ A ⁻¹
電表面電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ s A
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
誘電率	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
透磁率	ファラド毎メートル	F/m	m ³ kg ⁻¹ s ⁴ A ²
モルエネルギー	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル	J/mol	m ² kg s ⁻² mol ⁻¹
照射線量 (X線及びγ線)	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
吸収線量率	ジュール毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ s A
放射線強度	グレイ毎秒	Gy/s	m ² s ⁻³
放射輝度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m ⁴ m ⁻² kg s ⁻³ = m ² kg s ⁻³
酵素活性濃度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² sr)	m ² m ⁻² kg s ⁻³ = kg s ⁻³
	カタール毎立方メートル	kat/m ³	m ³ s ⁻¹ mol

表5. SI 接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10 ²⁴	ヨタ	Y	10 ¹	デシ	d
10 ²¹	ゼタ	Z	10 ⁻²	センチ	c
10 ¹⁸	エクサ	E	10 ⁻³	ミリ	m
10 ¹⁵	ペタ	P	10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ¹²	テラ	T	10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁹	ギガ	G	10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁶	メガ	M	10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ³	キロ	k	10 ⁻¹⁸	アト	a
10 ²	ヘクト	h	10 ⁻²¹	ゼプト	z
10 ¹	デカ	da	10 ⁻²⁴	ヨクト	y

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1 L=1 dm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1 t=10 ³ kg

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位で表される数値
電子ボルト	eV	1 eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1 Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原子質量単位	u	1 u=1 Da
天文単位	ua	1 ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1 MPa=100 kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg=133.322 Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1 nm=100 pm=10 ⁻¹⁰ m
海里	M	1 M=1852 m
バイン	b	1 b=100 fm ² =(10 ¹² cm) ² =10 ⁻²⁸ m ²
ノット	kn	1 kn=(1852/3600) m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的関係は、 対数量の定義に依存。
ベクレル	B	
デジベル	dB	

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
エル	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1 Pa s
ストークス	St	1 St=1 cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
スチルブ	sb	1 sb=1 cd cm ⁻² =10 ⁴ cd m ⁻²
フオト	ph	1 ph=1 cd sr cm ⁻² =10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1 cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウェル	Mx	1 Mx=1 G cm ² =10 ⁻⁸ Wb
ガウス	G	1 G=1 Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T
エルステッド ^(c)	Oe	1 Oe _e =(10 ³ /4π) A m ⁻¹

(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「△」は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 ⁻⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=1 cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
フェルミ	f	1 フェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット		1メートル系カラット=200 mg=2×10 ⁻⁴ kg
トル	Torr	1 Torr=(101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm=101 325 Pa
カロリ	cal	1 cal=4.1858 J (「15°C」カロリ), 4.1868 J (「IT」カロリ), 4.184 J (「熱化学」カロリ)
マイクロン	μ	1 μ=1 μm=10 ⁻⁶ m

