



ウラン廃棄物の余裕深度処分概念の検討(6)

Study of Sub-surface Disposal Concepts for Uranium Waste (6)

中谷 隆良 石戸谷 公英 船橋 英之 佐々木 良一 黒沢 満

Takayoshi NAKATANI, Kimihide ISHITOYA, Hideyuki FUNABASHI Ryoichi SASAKI and Mitsuru KUROSAWA

> バックエンド推進部門 バックエンド技術開発ユニット

Nuclear Cycle Backend Technology Development Unit Nuclear Cycle Backend Directorate

February 2011

日本原子力研究開発機構

Japan Atomic Energy Agency

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(<u>http://www.jaea.go.jp</u>) 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

© Japan Atomic Energy Agency, 2011

ウラン廃棄物の余裕深度処分概念の検討(6)

日本原子力研究開発機構 バックエンド推進部門 バックエンド技術開発ユニット 中谷 隆良、石戸谷 公英^{**}、船橋 英之、 佐々木 良一*、黒沢 満*

(2010年11月25日受理)

ウラン廃棄物は、その主要な汚染核種が長半減期のウランであり、また、廃棄体からの放射線 の影響をほとんど考慮しなくてよいという特徴を持っている。本検討は、これらの特徴を考慮し たウラン廃棄物の具体的な余裕深度処分概念の成立可能性について検討したものである。

平成19年7月に原子力安全委員会が取りまとめた「低レベル放射性廃棄物埋設に関する安全規制の基本的考え方(中間報告)」が示された。過去の2ヵ年には、同中間報告を参考に、3区分のシナリオ分類のうち「基本シナリオ」及び「変動シナリオ」について、サイトが不確定であることを念頭に、評価シナリオの検討、パラメータ設定及び予察的な被ばく線量評価を実施した。

平成21年度は、「人為・稀頻度事象シナリオ」について、既往文献を参考に評価シナリオの検 討、パラメータ設定及び予察的な被ばく線量評価を実施した。その結果、最大被ばく線量につい ては、全てのケースで人為・稀頻度事象シナリオのめやす(参考とする)値である10mSv/y~ 100mSv/yを下回ることを確認した。

合わせて、過去2ヶ年に実施した「基本シナリオ」及び「変動シナリオ」の評価の結果を参考 に同中間報告で示された3区分のシナリオ分類の考え方を適用した場合、全ての評価結果はそれ ぞれのめやすを下回り、ウラン廃棄物の合理的な余裕深度処分が成立することを確認した。

ただし、平成22年4月1に原子力安全委員会で承認された「余裕深度処分の管理期間終了以後における安全評価に関する考え方」を「人為・稀頻度事象シナリオ」の評価結果に適用した場合、同中間報告の考え方に基づき実施した本検討との直接の比較は困難ではあるが、一部の評価シナリオの結果は最新の安全評価に関する考え方で示されているめやすを超えたことから、更なる検討を要する。

本報告書は、三菱マテリアル株式会社が日本原子力研究開発機構との契約により実施した業務成果に基づくものである。

核燃料サイクル工学研究所(駐在):〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33

※ 技術開発協力員

* 三菱マテリアル株式会社 エネルギー事業センター

i

Study of Sub-surface Disposal Concepts for Uranium Waste (6)

Takayoshi NAKATANI, Kimihide ISHITOYA^{**}, Hideyuki FUNABASHI Ryoichi SASAKI^{**} and Mitsuru KUROSAWA^{**}

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

(Received November 25,2010)

The purpose of this study was an examination on the possibility of sub-surface disposal for "Uranium waste" that has not been discussed enough up to now. We examined a reasonable sub-surface disposal concept considering features of the uranium waste that the half-life of uranium was very long and the radiation from uranium waste package was not almost needed to consider. A reasonable disposal system was suggested in past our study.

In July 2007, the Nuclear Safety Commission of Japan (NSC) formulated "Basic Policy for Safety Regulation Concerning Land Disposal of Low-Level Radioactive Waste (Interim Report)". Referring to this report, some scenarios for safety assessment and the parameters were developed and their dose values were calculated for "Likely Scenarios" and "Less-likely Scenarios" in our past couple years' study.

In this study, some scenarios for safety assessment were developed as "Inadvertent Human Intrusion or Rare Natural Event Scenarios" according to the NSC's deliberative document, etc. , and dose values were calculated for them.

As the result, dose values of all cases for "Human Intrusion or Rare Natural Event Scenarios" were less than 10mSv/y~100mSv/y (the standard dose value of "Inadvertent Human Intrusion or Rare Natural Event Scenarios" in the Interim Report).

But some of the results exceeded the standard dose value of the latest report formulated by NSC. Because the policy concerning the safety assessment was changed in the latest report, the further study is necessary.

Keywords: Uranium Waste, Sub-surface Disposal Concepts, Inadvertent Human Intrusion or Rare Natural Event Scenarios

This work was based on the study performed by Mitsubishi Materials Corporation under contract with the Japan Atomic Energy Agency.

^{*} Collaborating Engineer

^{*} Energy Project & Technology Center, Mitsubishi Materials Corporation

1. はじめに1
2. 実施内容
2.1 検討項目
2.2 検討内容2
3. ウラン廃棄物余裕深度処分における人為・稀頻度事象シナリオの検討
3.1 シナリオの設定について
3.2 評価シナリオの概要
4. 人為・稀頻度事象シナリオにおける予察的な被ばく線量評価14
4.1 評価パラメータの設定及び設定値14
4.2 被ばく線量評価式
4.3 評価結果
5. 人為・稀頻度事象シナリオの評価結果のとりまとめ
6. 一連の検討結果とウラン廃棄物の合理的な余裕深度処分概念の成立可能性
6.13区分のシナリオ分類に関する成果のまとめ
6.2 被ばく線量評価結果と処分の可能性について101
7. まとめと今後の課題102
参考文献103

目 次

Contents

1. Introduction
2. Objectives
2.1 List of study
2.2 Substance of study
3. Set-up of "Inadvertent Human Intrusion or Rare Natural Event Scenarios" for the
sub-surface disposal of Uranium waste
3.1 View of scenarios set-up
3.2 Scenarios outline
4. Prospective dose assessment for "Inadvertent Human Intrusion or Rare Natural
Event Scenarios"
4.1 Parameter set-up for dose assessment
4.2 Dose assessment models
4.3 Results
5. Result of "Inadvertent Human Intrusion or Rare Natural Event Scenarios"
6. Possibility of reasonable sub-surface disposal concepts of uranium waste
6.1 Summary of "Classification of Scenarios into Three Types"
6.2 Result and possibility of reasonable sub-surface disposal for uranium waste 101
7. Summary and future issue
References

図目次

図	3.2.1-1	地下水シナリオ(基本シナリオ)の評価モデル 5)
図	3.2.2-1	ボーリング孔放置シナリオの概念
図	$3.2.5 \cdot 1$	処分施設露呈の概念図(希釈なし)
図	3.2.5 - 2	処分施設露呈の概念図(希釈考慮)
図	3.2.6-1	大規模土地利用シナリオにおける掘削範囲(希釈小)10
义	3.2.6-2	大規模土地利用シナリオにおける掘削範囲(希釈大)10
図	$3.2.7 \cdot 1$	トンネル掘削作業の概念図11
図	3.2.8-1	処分施設内の核種を含む間隙水移行の概念図12
図	3.2.9-1	想定した断層の概念図13
义	4.1.1-1	合理化処分概念 C16
义	4.1.1-2	廃棄体本数 10 万本の場合の処分施設レイアウト16
义	4.1.5-1	隆起・侵食シナリオ(希釈考慮)の処分坑道及び非汚染土壌の配置
义	4.1.6-1	掘削範囲内の処分坑道及び非汚染土壌の配置(希釈小)
义	4.1.6-2	掘削範囲内の処分坑道及び非汚染土壌の配置(希釈大)
义	4.1.9-1	脆性帯(多孔質媒体)における物質移行の概念図
义	4.1.9-2	開口亀裂(亀裂性媒体)における物質移行の概念図
义	4.3.1-1	移移行経路短絡シナリオ・直接流出(ボーリング孔充填物有り):"河川岸農耕・外
		部"の被ばく線量経時変化42
义	4.3.1-2	移移行経路短絡シナリオ・直接流出(ボーリング孔充填物有り):"河川岸農耕・塵
		挨吸入"の被ばく線量経時変化43
义	4.3.1-3	移行経路短絡シナリオ・直接流出(ボーリング孔充填物有り):"河川岸農耕・農作
		物摂取"の被ばく線量経時変化44
义	4.3.1-4	移行経路短絡シナリオ・直接流出(ボーリング孔充填物有り):"河川岸農耕・畜産
		物摂取"の被ばく線量経時変化45
义	4.3.1-5	移行経路短絡シナリオ・直接流出(ボーリング孔充填物有り):"河川水飲用"の被
		ばく線量経時変化
义	4.3.1-6	処分施設内の各核種の放射能量
义	4.3.1-7	移行経路短絡シナリオ・直接流出(ボーリング孔充填物無し):"河川岸農耕・外部"
		の被ばく線量経時変化49
义	4.3.1-8	移行経路短絡シナリオ・直接流出(ボーリング孔充填物無し):"河川岸農耕・塵挨
		吸入"の被ばく線量経時変化50
义	4.3.1-9	移行経路短絡シナリオ・直接流出(ボーリング孔充填物無し):"河川岸農耕・農作
		物摂取"の被ばく線量経時変化
义	4.3.1-10	移行経路短絡シナリオ・直接流出(ボーリング孔充填物無し):"河川岸農耕・畜産
		物摂取"の被ばく線量経時変化52
义	4.3.1-11	移行経路短絡シナリオ・直接流出(ボーリング孔充填物無し):"河川水飲用"の被
		ばく線量経時変化

义	4.3.1-12	移行経路短絡シナリオ・直接流出(ボーリング孔充填物無し)における核種の生物
		圏への放出フラックス(10万年経過後にボーリング孔設置の場合)54
义	4.3.1-13	移行経路短絡シナリオ・直接流出(ボーリング孔充填物有り)における核種の生物
		圏への放出フラックス(10万年経過後にボーリング孔設置の場合)54
义	4.3.1-14	移行経路短絡シナリオ・帯水層移行(ボーリング孔充填物有り):"河川岸農耕・外
		部"の被ばく線量経時変化57
义	4.3.1-15	移行経路短絡シナリオ・帯水層移行(ボーリング孔充填物有り):"河川岸農耕・塵
		埃吸入"の被ばく線量経時変化
义	4.3.1-16	移行経路短絡シナリオ・帯水層移行(ボーリング孔充填物有り):"河川岸農耕・農
		作物摂取"の被ばく線量経時変化59
义	4.3.1-17	移行経路短絡シナリオ・帯水層移行(ボーリング孔充填物有り):"河川岸農耕・畜
		産物摂取"の被ばく線量経時変化60
义	4.3.1-18	移行経路短絡シナリオ・帯水層移行(ボーリング孔充填物有り):"河川水飲用"の
		被ばく線量経時変化61
义	4.3.1-19	移行経路短絡シナリオ・帯水層移行(ボーリング孔充填物無し): "河川岸農耕・外
		部"の被ばく線量経時変化62
义	4.3.1-20	移行経路短絡シナリオ・帯水層移行(ボーリング孔充填物無し):"河川岸農耕・塵
		埃吸入"の被ばく線量経時変化63
义	4.3.1-21	移行経路短絡シナリオ・帯水層移行(ボーリング孔充填物無し):"河川岸農耕・農
		作物摂取"の被ばく線量経時変化64
义	4.3.1- 22	移行経路短絡シナリオ・帯水層移行(ボーリング孔充填物無し):"河川岸農耕・畜
		産物摂取"の被ばく線量経時変化65
义	4.3.1-23	移行経路短絡シナリオ・帯水層移行(ボーリング孔充填物無し): "河川水飲用"の
		被ばく線量経時変化
义	4.3.1-24	地表水浸入シナリオ:"河川岸農耕・外部"の被ばく線量経時変化68
义	4.3.1 - 25	地表水浸入シナリオ:"河川岸農耕・塵埃吸入"の被ばく線量経時変化69
义	4.3.1-26	地表水浸入シナリオ:"河川岸農耕・農作物摂取"の被ばく線量経時変化70
义	4.3.1-27	地表水浸入シナリオ:"河川岸農耕・畜産物摂取"の被ばく線量経時変化71
义	4.3.1-28	地表水浸入シナリオ:"河川水飲用"の被ばく線量経時変化72
义	4.3.2-1	ボーリングコア観察シナリオ:各被ばく経路における被ばく線量の経時変化75
义	4.3.3-1	井戸水飲用シナリオ:井戸水飲用による内部被ばく線量の経時変化77
义	4.3.4-1	隆起・侵食シナリオ:"建設作業・外部"の被ばく線量経時変化(希釈無し)80
义	4.3.4-2	隆起・侵食シナリオ:"建設作業・塵埃吸入"の被ばく線量経時変化(希釈無し)
义	4.3.4-3	隆起・侵食シナリオ:"居住・外部"の被ばく線量経時変化(希釈無し)82
义	4.3.4-4	隆起・侵食シナリオ:"居住・塵埃吸入"の被ばく線量経時変化(希釈無し)83
义	4.3.4-5	隆起・侵食シナリオ: "農作物摂取"の被ばく線量経時変化(希釈無し)
义	4.3.6-1	処分施設貫通トンネル掘削シナリオ:経路毎の被ばく線量経時変化

図 4.3.7-1 処分施設近傍トンネル掘削シナリオ:"河川岸農耕・外部"の被ばく線量経時変化
図 4.3.7-2 処分施設近傍トンネル掘削シナリオ:"河川岸農耕・塵埃吸入"の被ばく線量経時変
化
図 4.3.7-3 処分施設近傍トンネル掘削シナリオ:"河川岸農耕・農作物摂取"の被ばく線量経時
変化
図 4.3.7-4 処分施設近傍トンネル掘削シナリオ:"河川岸農耕・畜産物摂取"の被ばく線量経時
変化
図 4.3.7-5 処分施設近傍トンネル掘削シナリオ:"河川水飲用"の被ばく線量経時変化93
図 4.3.8-1 地震断層シナリオ・脆性帯:"河川水飲用"の被ばく線量経時変化
図 4.3.8-2 地震断層シナリオ・開口亀裂:"河川水飲用"の被ばく線量経時変化
図 6.1-1 3ヵ年で整理した3区分のシナリオ分類のまとめ100

主	FT.	$\gamma \rightarrow$
衣	Ħ.	化
•		~ ·

表	4.1.1-1	検討対象ウラン廃棄物の核種組成(放射能比)	14
表	4.1.1-2	評価対象核種	14
表	4.1.1-3	評価対象核種に対して放射平衡を仮定した子孫核種	15
表	4.1.1-4	処分施設に関するパラメータ	17
表	4.1.1-5	各元素の処分施設からの放出係数及び分配係数	17
表	4.1.1-6	天然バリア中の移行経路に関するパラメータ	17
表	4.1.1-7	天然バリアの分配係数(処分施設近傍、処分施設近傍以外)	18
表	4.1.1-8	地下水シナリオ(基本シナリオ)におけるパラメータの変動時期及び変動幅の設定.	18
表	4.1.2-1	ボーリング孔に関するパラメータ	19
表	4.1.2-2	ボーリング孔充填物に関するパラメータ	19
表	4.1.2-3	ボーリング孔放置により早期酸化した場合の分配係数の変化率	20
表	4.1.2-4	ボーリング孔放置により早期酸化した場合の酸化性条件における分配係数	20
表	4.1.2-5	農作物摂取に関するパラメータ	21
表	4.1.2-6	畜産物摂取に関するパラメータ(その1)	22
表	4.1.2-6	畜産物摂取に関するパラメータ(その2)	22
表	4.1.2-7	畜産物への移行係数	23
表	4.1.2-8	農耕作業に関するパラメータ	24
表	4.1.2-9	河川水飲用に関するパラメータ	24
表	4.1.3-1	ボーリングコア形状に関するパラメータ	24
表	4.1.3-2	ボーリングコア観察に関するパラメータ	25
表	4.1.4-1	井戸水飲用に関するパラメータ	25
表	4.1.5-1	帯水層に関するパラメータ	26
表	4.1.5-2	建設作業に関するパラメータ	27
表	$4.1.5 \cdot 3$	居住に関するパラメータ	27
表	$4.1.5 \cdot 4$	隆起・侵食シナリオ(希釈考慮)における希釈率	27
表	4.1.6-1	大規模土地利用シナリオに関するパラメータ	29
表	4.1.6-2	被ばく線量の大規模土地利用シナリオの隆起・侵食シナリオ(希釈なし)に対す	-2
		倍率	29
表	4.1.7-1	NATM 工法における掘進速度事例	30
表	4.1.7-2	トンネル掘削における作業時間の算出	30
表	4.1.8-1	処分施設近傍トンネルに関するパラメータ	31
表	4.1.9-1	脆性帯に関するパラメータ	31
表	4.1.9-2	開口亀裂に関するパラメータ	32
表	4.1.10-1	外部被ばく線量換算係数	34
表	4.1.10-2	塵挨吸入による内部被ばく線量換算係数	35
表	4.1.10-3	経口摂取による内部被ばく線量換算係数	35
表	4.3.1-1	移行経路短絡シナリオ・直接流出(ボーリング孔充填物有り)の評価結果(河川岸	農

		耕経路及び河川水飲用経路)	41
表	4.3.1-2	移行経路短絡シナリオ・直接流出(ボーリング孔充填物無し)の評価結果(可川岸
		農耕経路及び河川水飲用経路)	48
表	4.3.1-3	移行経路短絡シナリオ・帯水層移行(ボーリング孔充填物有り)の評価結果	(河川
		岸農耕経路及び河川水飲用経路)	56
表	4.3.1-4	移行経路短絡シナリオ・帯水層移行(ボーリング孔充填物無し)の評価結果	(河川
		岸農耕経路及び河川水飲用経路)	56
表	4.3.1-5	地表水浸入シナリオの評価結果	67
表	4.3.2-1	ボーリングコア観察シナリオにおける事象発生時刻毎の被ばく線量	74
表	4.3.2-2	経路毎の最大被ばく線量と発生時刻	74
表	4.3.3-1	井戸水飲用シナリオにおける事象発生時刻毎の被ばく線量	76
表	4.3.3-2	井戸水飲用シナリオにおける最大被ばく線量と発生時刻	76
表	4.3.4-1	隆起・侵食シナリオにおける露呈時刻毎の評価結果(希釈無し)	78
表	4.3.4-2	隆起・侵食シナリオにおける露呈時刻毎の評価結果(希釈考慮)	79
表	$4.3.5 \cdot 1$	大規模土地利用シナリオの評価結果(希釈小)	85
表	$4.3.5 \cdot 2$	大規模土地利用シナリオの評価結果(希釈大)	85
表	4.3.6-1	処分施設貫通トンネル掘削シナリオの評価結果	86
表	4.3.6-2	処分施設貫通トンネル掘削シナリオの評価結果(最大被ばく線量と発生時刻)	86
表	4.3.7-1	処分施設近傍トンネル掘削シナリオの評価結果	88
表	4.3.8-1	地震・断層シナリオの評価結果(脆性帯)	94
表	4.3.8-2	地震・断層シナリオの評価結果(開口亀裂)	94
表	5-1 [2	めやす」とシナリオ想定との関係	97

1.はじめに

平成19年7月12日に原子力安全委員会が取りまとめた「低レベル放射性廃棄物埋設に関する 安全規制の基本的考え方(中間報告)」¹⁾(以下、「安全規制中間報告」という。)では、事象毎に 発生の可能性とその影響の程度を組み合わせてリスク評価する線量/確率分解アプローチ手法を 参考とした3区分のシナリオ分類(基本シナリオ、変動シナリオ及び人為・稀頻度事象シナリオ) の考え方と対応する区分の線量めやす値(10μSv/年、300μSv/年及び 10mSv/年から 100mSv/ (年)が示された。しかしながら、「安全規制中間報告」においては「いわゆるウラン廃棄物につい ては、天然起源の核種を主たる組成とする廃棄物であり、天然の放射能との関連なども考慮する 必要があると考えられることから、濃度上限値の試算とともに、そのような廃棄物を対象とする 埋設計画が具体化する段階で検討することとする」としているが、評価シナリオ区分や評価の目 的等はウラン廃棄物に対してそのまま適用される可能性も考えられるため、平成19年度は3区 分のシナリオ分類のうち、基本シナリオについて評価シナリオの検討、パラメータ設定及び予察 的な被ばく線量評価を実施した(「ウラン廃棄物の余裕深度処分概念の検討(4)」²⁾、以下、「ウラ ン検討(4)」という)。これに引き続き、平成20年度は、日本原子力学会において策定された「日 本原子力学会標準 余裕深度処分の安全評価手法:2008」3) (以下、「学会標準」という。)を参 考に、3区分のシナリオ分類のうち、変動シナリオについて「ウラン検討(4)」にて検討した基本 シナリオの再整理を含めた評価シナリオの検討、パラメータ設定及び予察的な被ばく線量評価を 実施した(「ウラン廃棄物の余裕深度処分概念の検討(5)」4、以下、「ウラン検討(5)」という)。

平成 21 年度(以下、「本検討」という。)は、過去 2 カ年に実施した基本シナリオ及び変動シ ナリオに係る検討に引き続き、人為・稀頻度事象シナリオについて、「安全規制中間報告」、「学会 標準」等の考え方に加えて審議中であった原子力安全委員会 放射性廃棄物・廃止措置専門部会 第二種廃棄物埋設分科会(以下、「埋設分科会」という。)での審議内容も参考に、評価シナリオ の検討、パラメータ設定及び予察的な被ばく線量評価を実施した。

また、これまで実施した一連の検討結果を参考に、「安全規制中間報告」で示された 3 区分の シナリオ分類の考え方を適用した場合のウラン廃棄物の合理的余裕深度処分の成立可能性につい て整理・考察した。

2. 実施内容

2.1 検討項目

本検討では、以下の項目を実施した。

- (1) ウラン廃棄物余裕深度処分における人為・稀頻度事象シナリオの検討
- (2) 人為・稀頻度事象シナリオにおける予察的な被ばく線量評価
- (3) ウラン廃棄物の余裕深度処分概念の成立可能性の検討

2.2 検討内容

2.2.1 ウラン廃棄物余裕深度処分における人為・稀頻度事象シナリオの検討

「安全規制中間報告」、「学会標準」等におけるシナリオの分類に関する考え方や、主として余 裕深度処分における安全規制の基本的考え方の検討を目的に設立された埋設分科会での審議内容 を参考に、ウラン廃棄物の余裕深度処分において想定される処分システムの状態の変化(隆起・ 侵食による処分施設の地表接近、ボーリング掘削による核種の移行経路短絡等)及び被ばく経路 (井戸水飲用、ボーリングコア観察等)の可能性を考慮し、本検討における人為・稀頻度事象シナ リオを検討した。

2.2.2 人為・稀頻度事象シナリオにおける予察的な被ばく線量評価

前項で検討した人為・稀頻度事象シナリオについて、被ばくが発生するまでの処分システムの 状態(地下水流速、移行経路など)や事象が発生する時刻など、それぞれのシナリオに即したパ ラメータを設定し、一般公衆や特定の接近者に対する予察的な被ばく線量評価を実施した。なお、 パラメータの設定にあたっては、現時点でサイトが不確定であることも考慮した。

2.2.3 ウラン廃棄物の余裕深度処分概念の成立可能性の検討

これまでの一連の検討結果をもとに、「安全規制中間報告」で示された 3 区分のシナリオ分類 (基本シナリオ、変動シナリオ及び人為・稀頻度事象シナリオ)の考え方を取り入れた場合にお ける、ウラン廃棄物の合理的な余裕深度処分概念の成立可能性について整理した。また、最新の 安全規制の考え方を適用した場合の課題について考察した。 3. ウラン廃棄物余裕深度処分における人為・稀頻度事象シナリオの検討

3.1 シナリオの設定について

管理期間終了以後の長期間経過するなかで発生すると考えられる人為事象及び稀頻度事象と しては、学術的または取水などを目的とするボーリング孔が処分施設に到達する場合や、隆起・ 侵食により処分施設が地表に接近した時点での大規模な土地利用による建設作業・居住などが 考えられる。

本検討では、「安全規制中間報告」、「学会標準」、埋設分科会における審議資料等を参考に、 評価シナリオを以下のように選定した。

- ボーリング孔放置シナリオ
- ・ ボーリングコア観察シナリオ
- ・ 井戸水飲用シナリオ
- ・ 隆起・侵食シナリオ
- 大規模土地利用シナリオ
- ・ 処分施設貫通トンネル掘削シナリオ
- ・ 処分施設近傍トンネル掘削シナリオ
- ・ 地震・断層シナリオ

これらの人為・稀頻度事象シナリオが発生する時期については、管理期間終了以後、時間の 経過とともに処分事業が行われたことの認識は低下すると想定されるが認識の完全欠如が何時 になるのか、また、処分システムや想定した地質環境条件の変化に関する不確実性が増大する ことが考えられることから、これらを定量的に設定することは困難である。そこで本検討にお いては、これまでの検討結果から、ウラン系列の子孫核種の生成・累積により放射能量が数 10 万年にわたって増大することを考慮して、人為・稀頻度事象シナリオが発生する時期について、 全ての評価シナリオで以下の様に設定した。

・人為・稀頻度事象シナリオが発生する時期:1万年後、10万年後、30万年後

なお、埋設分科会では人工バリアの設置されている処分施設を対象とした安全評価について 検討されているが、本検討では人工バリアを合理化した施設概念(人工バリアを設置しない処 分概念)を対象としていることから、埋設分科会において想定されている評価目的が、全て本 検討に反映されているわけではない。しかしながら、時間の経過とともに発生すると考えられ る事象は同じであると仮定して検討を進めた。また、埋設分科会の一部の評価シナリオにおい て評価の対象とされている人工バリアの周辺に存在する掘削影響領域(以下、「EDZ」 (Excavation Disturbed Zone)という。)については、本検討における処分概念では廃棄体層 と岩盤の間に人工バリアが存在せず、核種フラックスの算出上、移流及び拡散による核種放出 量を移流支配の領域へ受け渡す中間領域が不要なことから EDZ を設定していないため、評価 対象としていない。

また、処分施設が地表に露呈、あるいは地下の処分施設に人が接近した際等に、ウランの子 孫核種であるラドン吸入被ばくが想定されるが、現状、取り扱いが明確にされておらず、評価 結果の妥当性を担保することができない。そのため、本検討ではラドン吸入被ばくについては 考慮しないこととした。

3.2 評価シナリオの概要

本検討では、処分施設が閉鎖され、さらに管理期間が終了した後に発生する人為・稀頻度事 象シナリオを想定し、そのシナリオ毎の核種移行条件や核種移行経路を設定するが、その事象 が発生するまでの期間は、地下水シナリオにより核種が処分施設から移行すると仮定した。地 下水シナリオの条件は、「ウラン検討(5)」において「確からしい処分システムの状態」と定 義した基本シナリオ(気候変動・寒冷化シナリオ)とした。気候変動・寒冷化シナリオは、「今後、 地球環境は寒冷化の方向に進み、これに伴い降水量が減少し、海水準が低下する。また、降水 量の減少から降雨涵養量が減少して地下水流速が低下する」と想定したものである。

3.2.1 地下水シナリオの評価モデル

処分システムは「低レベル放射性固体廃棄物の陸地処分の安全規制に関する基準値について (第3次中間報告)」⁵⁾(原子力安全委員会、平成12年9月14日)(以下、「第3次中間報告」 という。)に示された評価モデルを参考とし、処分施設から放出された核種が岩盤中の"処分施 設近傍の領域"及び"処分施設近傍以外の領域"内を地下水とともに移動して生物圏(河川等) に放出されると想定した。評価モデルの概要を図 3.2.1-1 に示す。



図 3.2.1-1 地下水シナリオ(基本シナリオ)の評価モデル 5)

3.2.2 ボーリング孔放置シナリオ

ボーリング孔放置シナリオでは、処分施設に到達するボーリングが実施された後、そのボー リング孔が放置された場合に発生する被ばくについて検討した。 ボーリング孔が放置された場合に生じる核種移行経路としては、2種類の経路が考えられる。 ひとつは、処分施設まで到達したボーリング孔が放置されることにより、処分施設から生物圏 への移行経路が短絡化される場合である。この場合、核種は処分施設から生物圏へボーリング 孔を経由して阻害されること無く移行することや、ボーリング孔に充填物があったとしても天 然バリアよりは高透水性であり速やかに生物圏まで移行して被ばくをもたらすことが考えられ る。このシナリオを「移行経路短絡シナリオ」と呼ぶこととした。

「移行経路短絡シナリオ」における評価では、処分施設を貫通したボーリング孔を短絡経路 として、核種を含む処分施設内間隙水が直接生物圏へ流出することを想定するが、ボーリング 孔からの水は通常水質的、量的に直接利用できるものではないと考えられることから、帯水層 や河川等により希釈されたものの利用を想定した。このようなモデルにおけるボーリング孔の 状態設定については、例えば埋設分科会資料 二分第 11-2 号「代表的な安全評価の解析例の再 解析について」⁶(以下、このような資料を「二分第 11-2 号」という。)では、「ボーリング孔 内が処分施設周辺よりも透水性の高い周囲土壌で充填される」状態と、さらに仮想的なシナリ オとして、「ボーリング孔内では移行に関して抵抗が何もない」状態を設定している。また、二 分第 23-1 号「余裕深度処分の管理期間終了以後における安全評価に関する考え方(案)」のでも、 「埋設施設近傍の水理地質構造に基づき高透水性の構造等をできるだけ確からしく設定する場 合と、貫通した処分空洞内の間隙水が短期間で直接生活圏に至ると保守的な想定をする場合の

評価を実施することとする」とされており、本検討でも2通りの状態設定をすることとした(前 者を「ボーリング孔充填物有り」、後者を「ボーリング孔充填物無し」と称する)。

以上の検討を参考に、「移行経路短絡シナリオ」について、以下の核種移行ケースを設定した。

- ボーリング孔を介して、核種が直接河川へ流出するケース(ボーリング孔充填物有り/ 充填物無し)。
- ② ボーリング孔を介して、核種が地表付近の帯水層へ移行し、帯水層中の地下水によって 河川へ流出するケース(ボーリング孔充填物有り/充填物無し)。
- ※「ボーリング孔充填物有り」では、施設内間隙水が設定したボーリング孔の条件で地表 水系または帯水層に移行し、「ボーリング孔充填物無し」では、施設内間隙水がまった く阻害無く(瞬時に)地表水系または帯水層に移行するものと設定した。

もうひとつは、処分施設まで到達したボーリング孔を介し、地表付近の溶存酸素に富む降雨 由来の地下水が処分施設に浸入することによって、処分施設内の化学的環境が還元性から酸化 性に変化するとともに、施設から流出する酸化性地下水により移行経路である岩盤の化学的環 境も還元性から酸化性に変化し、核種移行条件が変化する場合である。このシナリオを「地表 水浸入シナリオ」と呼ぶこととした。

「地表水浸入シナリオ」では、ボーリング孔を通って溶存酸素に富む地表水が処分施設に浸 入することを想定した。これにより、処分施設内及び移行経路の化学的環境が還元性から酸化 性に変化すると想定した。 図 3.2.2-1 にボーリング孔放置シナリオの概念を示す。



図 3.2.2-1 ボーリング孔放置シナリオの概念

被ばく経路としては、「ウラン検討(4)」及び「ウラン検討(5)」と同様に、以下の河川岸農耕 経路及び河川水飲用経路を考慮した。

- ・ 河川岸農耕による外部被ばく
- ・ 河川岸農耕時の塵埃吸入による内部被ばく
- ・ 農作物摂取による内部被ばく
- ・ 畜産物摂取による内部被ばく
- ・ 河川水飲用による内部被ばく

3.2.3 ボーリングコア観察シナリオ

ボーリングコア観察シナリオでは、コア採取を目的とするボーリングが処分施設を貫通して 実施され、作業者が廃棄体を含むボーリングコアを観察することによって発生する被ばくにつ いて検討した。

本評価シナリオでは、採取したコア1本を観察するものと仮定した(核種は処分施設内に均 ーに分布されているものと想定した)。

被ばく経路としては、以下の被ばく経路を考慮した。

- ・ ボーリングコア観察時の外部被ばく
- ・ ボーリングコア観察時の塵埃吸入による内部被ばく
- ・ ボーリングコア観察時の塵埃の経口摂取による内部被ばく

3.2.4 井戸水飲用シナリオ

井戸水飲用シナリオでは、飲用水用取水井戸が処分施設に到達する深度まで設置された場合 に発生する被ばくについて検討した。「ウラン廃棄物の余裕深度処分概念の検討(2)」⁸⁾(以下、 「ウラン検討(2)」という。)では、2 本の処分坑道が平行に地中に設置される処分施設概念を 検討し、本検討でも同様の処分施設レイアウトを設定した。本評価シナリオでは、1 本の処分 坑道に飲用水取水用の井戸が直接設置されるとし、設置された井戸には、処分坑道1本分の間 隙水が浸入することを想定した。このような井戸から採取される水は質的、量的に飲用可能な 水であるかどうかは明確ではないが、ここでは保守的に採取される水は全て処分坑道内間隙水 であると想定し、周囲の地下水による希釈は考慮しないこととした。

被ばく経路は、以下の被ばく経路を考慮した。

・ 井戸水飲用による内部被ばく

3.2.5 隆起・侵食シナリオ

隆起・侵食シナリオでは、処分施設が長期に亘る隆起及び侵食によって地表に接近した場合 に、その地表付近で行われる人間活動(建設、居住など)によって発生する被ばくについて検 討した。

本評価シナリオでは、処分施設が隆起・侵食によって地表に接近することにより、特定の作 業者や一般公衆が処分施設と接触または近接した場合の被ばく(例えば、処分施設が地表へ近 接した地点での掘削作業や、掘削土上での居住などによる被ばく)を想定した。

このような想定について、「二分第 11-2 号」では「大規模土地利用シナリオ・地表掘削シナ リオ」として評価が実施されており、「実際の大規模土地利用においては、種々の事前調査が行 われ、何らかの形で掘削前に異常が認知されると思われるが、ここでは隆起・侵食により埋設 深度が 50m 以浅となり離間距離の確保が困難になった場合や、最終的に地表面に接近して風化 作用により処分坑道が周辺岩盤あるいは土壌と一体となった場合を想定して評価を行う」と設 定されている。また、「二分第 23-1 号」では「埋設施設が地表付近に近接することが想定され る期間」を検討するに際して、「埋設施設形状・風化帯(地質、地形、化学的環境、降雨涵養量)・ 生物圏の変化を考慮した、適切なパラメータ設定が必要である」としている。

このような評価シナリオの考え方は、本検討に対しても同様と考えられるが、現時点では検討のための情報が十分ではない。それは例えば隆起速度、化学的環境が変化する深度、風化作用の影響の程度などである。そこで、本評価シナリオにおいては、まず処分施設がその形状を維持したまま地表に露呈すると想定した(図 3.2.5-1)。

次いで、このようにして得られた結果に対して、処分施設とその周辺の非汚染土壌との混合 による希釈を考慮した場合を想定した(図 3.2.5-2)。両者の違いは希釈の有無による土壌中の 核種濃度であり、希釈考慮の場合の評価は、希釈なしの被ばく線量評価結果に希釈率を乗ずる ことで結果が得られる。

処分施設が地表に露呈するまでの核種の移行条件は「基本シナリオ(気候変動-寒冷化シナリオ)」と同じであるとし、露呈後は地表付近の地下水によって核種は移行するものと想定した。

また、露呈後の処分施設からの核種の放出係数については、初期の還元性条件から酸化性条件 の値に変化するものと想定した。



図 3.2.5-1 処分施設露呈の概念図(希釈なし)



図 3.2.5-2 処分施設露呈の概念図(希釈考慮)

被ばく経路は、処分施設が地表に接近するという事象と状況の類似している「平成17年度 放射性廃棄物処分の長期的評価手法の調査(2/2)[ウラン・TRU 廃棄物の基準整備に係る調査]」 ⁹⁾(以下、「JAEA・H17長期的評価手法」という。)のウラン廃棄物のトレンチ処分における跡 地利用経路を参考とした。この処分施設跡地利用の被ばく線量評価検討では、決定的な経路は 建設作業の外部・塵埃吸入経路、居住時の外部・塵埃吸入・農作物摂取経路であるとされてい る。これを参考に、本評価シナリオでは、以下の居住及び建設作業による被ばくを考慮した。

- ・ 建設作業による外部被ばく
- ・ 建設作業時の塵埃吸入による内部被ばく
- ・ 居住による外部被ばく
- ・ 農作物摂取による内部被ばく
- ・ 居住時の塵埃吸入による内部被ばく

3.2.6 大規模土地利用シナリオ

大規模土地利用シナリオは、隆起・侵食等により処分施設が地表近傍に接近することが想定 される場合において、その場所で大規模な建設工事などによって発生する被ばくについて検討 した。ここでは、処分施設全体(処分坑道2本)が地表に接近することを想定して大規模な建 設工事の影響範囲を設定した。

本評価シナリオでは、「二分第23-1号」の「大規模土地利用シナリオの設定」を参考に、処 分坑道間に存在する非汚染土壌(希釈土壌)を含めた処分施設全体を包絡する形で掘削する大 規模な建設工事が行われる場合を想定し、工事の範囲として核種濃度が高くなるように掘削範 囲を想定したケース(図 3.2.6-1)と、より広範囲で建設工事が行われるとして掘削範囲を処 分施設の外側の部分まで想定したケース(図 3.2.6-2)を設定した。

被ばく経路としては、以下の建設作業による被ばく経路を考慮した。

- ・ 建設作業による外部被ばく
- ・ 建設作業時の塵埃吸入による内部被ばく

本評価シナリオでは、被ばく線量を決定する処分坑道内の核種濃度のプロファイルは 3.2.5 項の隆起・侵食シナリオと同じであることから、隆起・侵食シナリオの建設作業における被ば く線量の評価結果に対し、本評価シナリオと異なるパラメータである非汚染土壌による希釈率 (-)、年間建設作業時間(h/y)及び建設作業中の空気中ダスト濃度(g/m³)との補正係数(倍 率)を設定し乗ずることで評価した。

隆起・侵食シナリオでは、最も核種濃度が高くなるように「掘削される土壌は全て処分施設 土壌(廃棄体)」としていることから、本評価シナリオにおける被ばくに係る掘削土壌中の核種 濃度は、隆起・侵食シナリオのモデル(希釈無しのケース)における土壌中の核種濃度に対し て掘削範囲における非汚染土壌による倍率"X"を乗ずることで算出することができる。さら に作業時間及び建設作業中の空気中のダスト濃度の隆起・侵食シナリオに対する倍率をそれぞ れ"Y"及び"Z"とすると、各経路における被ばく線量は以下の計算式で算出できる。

"建設作業時の外部被ばく線量"

= "隆起・侵食シナリオ(希釈なし)における被ばく線量"×X×Y

"建設作業時の塵埃吸入による内部被ばく線量"

= "隆起・侵食シナリオ(希釈なし)における被ばく線量"×X×Y×Z







図 3.2.6-2 大規模土地利用シナリオにおける掘削範囲(希釈大)

3.2.7 処分施設貫通トンネル掘削シナリオ

処分施設貫通トンネル掘削シナリオでは、地下トンネルが1本の処分坑道を長手方向に貫通 するように掘削される場合を想定した。そのような場合、トンネル掘削に携わる作業者はトン ネル外周の核種を含む土壌による外部被ばくや、体内に塵埃を取り込むことによる内部被ばく を受けると考えられる。このようにトンネル掘削によって発生する作業者の被ばくについて検 討した。

「二分第23-1号」における埋設施設貫通トンネル掘削シナリオでは、「人工バリアの認知性 が喪失された段階において、処分施設と認識されずに処分空洞を貫通する掘削行為が行われる と想定することが最も保守的であり、その時期のトンネル掘削を想定する」としている。さら に、「掘削によって発生する掘削残土が地表に放置され、降雨によって核種が移行することで一 般公衆が被ばくすること」を想定している。

これを参考に本評価シナリオでは、処分坑道を貫通するトンネルの掘削において最も保守的 な評価となる場合として、掘削したトンネルが処分坑道の長手方向に沿って掘削されている(ト ンネルが処分坑道内に収まっている)場合を想定し、そのようなトンネル掘削が実施された場合を設定した(図 3.2.7-1)。作業時間(=被ばく時間)は一般的なトンネル掘削工事に要する時間(1日あたりの掘進速度と処分施設延長から算出)を想定した。

掘削残土によって発生すると考えられる被ばくについては、評価に必要なパラメータとして 残土の定置方法、範囲などの情報が必要であるが、これらについて現時点では明確な値が定ま らず、評価自体の有意性が希薄になってしまうと考え、本評価シナリオを検討対象とはしない こととした。

被ばく経路としては、以下の掘削作業外部被ばく及び内部被ばくを考慮した。

- ・ 掘削作業における外部被ばく
- ・ 掘削作業中の塵埃吸入による内部被ばく
- ・ 掘削作業中の塵埃経口摂取による内部被ばく



図 3.2.7-1 トンネル掘削作業の概念図

3.2.8 処分施設近傍トンネル掘削シナリオ

処分施設近傍トンネル掘削シナリオでは、処分施設近傍の上部空間にトンネルが掘削された 場合を想定した。そのようなトンネルが存在する場合、処分施設内の間隙水が湧水としてトン ネルに流出することが考えられる。そのため、湧水処理として地表へ排出される地下水には核 種が含まれることになると考えられる。

本評価シナリオではこのような水が集水され河川に排水される場合に発生する被ばくについ て検討した。

「二分第23-1号」における「埋設施設近傍トンネル掘削シナリオ」では、「処分施設の上部 空間にトンネルが掘削された場合、そのトンネルに向かう地下水の流れが形成されることが想 定されており、処分施設から流出する核種がトンネルへ集水され、一括して沢、河川等に排出 される」と想定されている。また、「本シナリオは、処分施設とトンネルの離間距離と人工バリ アの防護機能に関する状態設定に依存するとし、掘削するトンネルの深さを規定することなく、 安全上の保守性にたって評価するとし、人工バリアによる核種移行抑制機能が喪失した時点で トンネルとの離間距離も喪失していると仮定する」としている。

これを参考に本評価シナリオでは、処分施設を通過した地下水が最も多くトンネルに流入す るよう、トンネルが処分施設近傍に掘削された場合、全ての処分施設(処分坑道2本)から流 出する核種を含む間隙水がトンネル内に湧出すると想定した(図 3.2.8-1)。このとき、処分施 設とトンネルの離間距離は一意に定まらないことから離間距離は考慮しないものとし、トンネ ル内に湧出する地下水は全て処分施設内の間隙水であると想定した。



図 3.2.8-1 処分施設内の核種を含む間隙水移行の概念図

トンネルから排出された水は、直接利用されることは考えられず、一旦河川等へ排水された 後、河川水として利用されると考えられる。被ばく経路としては、以下の河川岸農耕経路及び 河川水飲用経路に関する被ばく経路を考慮した。

- ・ 河川岸農耕による外部被ばく
- ・ 河川岸農耕時の塵埃吸入による内部被ばく
- ・ 農作物摂取による内部被ばく
- ・ 畜産物摂取による内部被ばく
- ・ 河川水飲用による内部被ばく

3.2.9 地震・断層シナリオ

地震・断層シナリオでは、突発的な大規模地震の発生により処分施設のうち、1本の処分坑 道を寸断する亀裂が生じた場合に発生する被ばくについて検討した。

二分第 10-2 号「我が国の地質環境等の変動に関する時間スケールと安全規制上の取扱いについて(案)」¹⁰における「地震・断層活動」に関する考察では、処分システムへの影響として「岩盤の破砕・破断とこれに伴う地下水移行経路の形成」「地震動による岩盤や地下水の性質の変化」が挙げられている。

これを参考に本評価シナリオでは突発事象により発生した亀裂が、処分施設から生物圏まで 連結した場合を想定した。このような状況下では地下水の水質変化も考えられるが、連結した 亀裂内では透水性が増大することが考えられることから、極めて大きな流速で亀裂内を核種が 移行するものとした(図 3.2.9-1)。

発生する亀裂の状態としては、細かい亀裂の集合体として物理的に弱い部分が連続した領域 が形成される場合と、開口した割れ目が形成される場合について検討した。本検討では前者を 「脆性帯」、後者を「開口亀裂」と呼ぶこととした。

被ばく経路としては、亀裂が処分施設から河川への短絡経路を形成することを考え、河川水 を飲用とした場合の内部被ばくを考慮した。

・ 河川水飲用による内部被ばく





4.人為・稀頻度事象シナリオにおける予察的な被ばく線量評価4.1 評価パラメータの設定及び設定値

4.1.1 基本条件

(1)解析ソフト

解析には、「ウラン廃棄物の余裕深度処分概念の検討(3)」¹¹⁾(以下、「ウラン検討(3)」という。)と同様に、核種移行解析の実行が可能である"GoldSim"¹²⁾を用いた。

(2)対象廃棄物

検討対象とするウラン廃棄物は、天然ウランの核種組成を持つものとした。ウラン廃棄物の核種組成(放射能比)を表 4.1.1-1 に示す。

評価対象とする核種は、U-238、U-234 及び U-235 と、これらを親核種とする子孫核種 とした。評価対象核種を表 4.1.1-2 に示す。半減期が短く子孫核種と放射平衡として扱える 核種については、生物圏評価の被ばく線量算出にあたり、親核種の線量換算係数に娘核種の 影響を包含させることで考慮することとした。評価対象核種に対して放射平衡を仮定した子 孫核種について表 4.1.1-3 に示す。

表 4.1.1-1 検討対象ウラン廃棄物の核種組成(放射能比)

対象ウラン廃棄物	核種	放射能比
	U-234	0.49
天然ウラン	U-235	0.023
	U-238	0.49

表 4.1.1-2 評価対象核種

U-238 系列	U-238(親核種)→Th-234→U-234→Th-230→Ra-226→Pb-210→Po-210
U-234 系列	U-234(親核種)→Th-230→Ra-226→Pb-210→Po-210
U-235 系列	U-235(親核種)→Pa-231→Ac-227→Th-227→Ra-223

核種	線量換算係数に含まれる子孫核種	
U-238	—	
Th-234	Pa-234m、Pa-234	
U-234	—	
Th-230	—	
Ra-226	Rn-222, Po-218, At-218, Rn-218, Pb-214, Bi-214, Po-214, Tl-210	
Pb-210	Bi-210	
Po-210	Hg-206、Tl-206	
U-235	Th-231	
Pa-231	_	
Ac-227	Fr-223、At-219	
Th-227	—	
Ra-223	Rn-219、Po-215、Pb-211、Bi-211、Po-211、Tl-207	

表 4.1.1-3 評価対象核種に対して放射平衡を仮定した子孫核種

(3)廃棄物物量及び初期インベントリ

検討対象とするウラン廃棄物の物量は、「ウラン検討(3)」と同様に、「JAEA・H17 長期的 評価手法」を参考に、JAEA (旧核燃料サイクル開発機構・東海事業所及び人形峠環境技術 センター、2048 年度末まで)、JNFL (2050 年度末まで)及びウラン燃料加工事業者 (2050 年度末まで)において排出されるウラン廃棄物のうち、濃度が 1Bq/g 以上の全てのウラン廃 棄物を対象とした場合の物量 99,920 本 (200L ドラム缶換算)を参考に、10 万本と設定し た。初期インベントリは、1.25×10¹³Bq に設定した。

(4)処分施設

処分施設の形状は「ウラン廃棄物の余裕深度処分概念の検討」¹³⁾ (以下、「ウラン検討 (1)」という。)における合理化処分概念 C に従うとした。図 4.1.1-1 に合理化処分概念 C を示す。また、図 4.1.1-2 に処分施設のレイアウトを示す。被ばく線量評価上の処分施設 モデルは「ウラン検討(2)」と同様に、幅 10m×高さ 10m×長さ 240m の処分坑道 2 本と した。また、処分坑道の離間距離は 28m とした。



図 4.1.1-1 合理化処分概念 C



図 4.1.1-2 廃棄体本数 10 万本の場合の処分施設レイアウト

(5) 処分施設に関するパラメータ

処分施設に含まれる核種は、処分施設全体に均一に分布すると想定した。処分施設の密度 及び間隙率は、「第3次中間報告」を参考に、見かけ密度2,500kg/m³、間隙率0.2(処分施 設は周辺地質環境と同等の特性であると仮定)と設定した。処分施設からの放出係数につい ては、還元性である条件(基本値)における値を設定した。設定値を表4.1.1-4及び表4.1.1-5 に示す。

施設浸入水量は「第3次中間報告」における選定方法を参考として設定した。処分施設近 傍の地下水実流速が 0.001m/d、間隙率が 0.2(表 4.1.1-4 から)のとき、施設浸入水量は 0.073m³/m²/y となる。これをパラメータが変動する前の基本値とした。

パラメータ		設定値
見かけ密度 [kg/m ³]		2,500
間隙率 [-]		0.2
	高さ [m]	10
	幅 [m]	10
処分施設の形状	長さ [m]	240
	処分坑道の離間距離[m]	28

表 4.1.1-4 処分施設に関するパラメータ

表 4.1.1-5 各元素の処分施設からの放出係数及び分配係数

元素	放出係数 [-]	分配係数 [m ³ /kg]
U		
Th		
Ra		
Pb	3.0×10^{-4}	1.3
Ро		
Pa		
Ac		

(6) 天然バリアに関するパラメータ

地下水シナリオの移行経路に関するパラメータは、「第3次中間報告」を参考として設 定した。それぞれのパラメータ設定値を表4.1.1-6及び表4.1.1-7に示す。天然バリアの 分配係数(Kd)は還元性環境での値とした。これらのパラメータは、基本シナリオにおい てパラメータが変動する前の基本値である。

表 4.1.1-6 天然バリア中の移行経路に関するパラメータ

パラメータ	設定値
処分施設近傍の天然バリア・密度 [kg/m ³]	2,600
処分施設近傍の天然バリア・間隙率 [-]	0.2
処分施設近傍の地下水実流速 [m/day]	0.001
処分施設近傍の地下水の移行距離 [m]	200
処分施設近傍以外の天然バリア・密度 [kg/m ³]	2,600
処分施設近傍以外の天然バリア・間隙率 [-]	0.3
処分施設近傍以外の地下水実流速 [m/day]	0.01
処分施設近傍以外の地下水の移行距離 [m]	300

元素	分配係数 [m ³ /kg]
U	0.1
Th	1.0
Ra	0.05
Pb	0.1
Ро	0.1
Ра	0.1
Ac	1.0

表 4.1.1-7 天然バリアの分配係数(処分施設近傍、処分施設近傍以外)

(7) 地下水シナリオにおけるパラメータの変動時期及び変動幅の設定

地下水シナリオは、「ウラン検討(5)」で基本シナリオと設定した"気候変動・寒冷化シナ リオ"(地球環境が寒冷化の方向に進み降水量が減少し、これに伴い降雨涵養量が減少して 地下水流速が低下する)とし、前述の各パラメータのうち、処分施設近傍及び処分施設近 傍以外での地下水流速が10万年経過後に基本値の1/10まで徐々に減少することを想定し た。表 4.1.1-8 に地下水シナリオにおけるパラメータの変動時期及び変動幅の設定値を示 す。

パラメータ	パラメータの変動時期	変動幅
放出係数	変化なし	基本値
天然バリアの分配係数	変化なし	基本値
処分施設近傍の地下水流速	減少 (10 万年経過後)	基本值×0.1
処分施設近傍以外の地下水流速	減少 (10 万年経過後)	基本值×0.1
河川までの距離	変化なし	基本值

表 4.1.1-8 地下水シナリオ(基本シナリオ)におけるパラメータの変動時期及び変動幅の設定

4.1.2 ボーリング孔放置シナリオ

ボーリング孔放置シナリオにおいては、ボーリング孔の物性、処分施設及び天然バリアの酸 化性条件における物性及び被ばく経路毎の生物圏に関するパラメータが必要となる。 移行経路短絡シナリオのうちボーリング孔充填物有りの場合では、ボーリング孔の形状は「二 分第11-2号」を、ボーリング孔内の流速は「学会標準」を参考として設定した(表 4.1.2-1)。 また、ボーリング孔充填物の物性(表 4.1.2-2)は帯水層土壌と同じとし、値は日本原子力研 究開発機構「平成18年度 放射性廃棄物処分の長期的評価手法の調査(2/2) [TRU・ウラン廃 棄物の処分対策調査]」¹⁴⁾(以下、「JAEA・H18長期的評価手法」という。)を参考とした。ボ ーリング孔放置により早期酸化した場合の分配係数の変化率、分配係数は、「ウラン検討(5)」 に従い設定した(表 4.1.2-3 及び表 4.1.2-4)。生物圏に関するパラメータ(農作物摂取、畜産 物摂取、畜産物への移行係数、農耕作業及び河川水飲用)についても「ウラン検討(5)」と同じ く設定した。これらを表 4.1.2-5~表 4.1.2-9 に示す。被ばく線量換算係数は「JAEA・H18 長 期的評価手法」を参考とした。被ばく線量換算係数については 4.1.10 項に示す。

パラメータ	設定値
ボーリング孔の長さ [m]	$100 \ ^{**}1$
ボーリング孔の直径 [mm]	72
ボーリング孔内土壌の飽和度 [-]	1 * 2
ボーリング孔内部の流速 [m/y]	32

表 4.1.2-1 ボーリング孔に関するパラメータ

※1:処分施設設置深度を100mと想定した。※2:ボーリング孔は水みちとなっていると想定した。

パラメータ		設定値
充填物密度 [kg/m ³]		2,600
充填物間隙率 [-]		0.3
充填物の分配係数 [m³/kg]	U	0.1
	Th	1.0
	Ra	0.05
	Pb	0.1
	Po	0.01
	Pa	0.1
	Ac	1.0

表 4.1.2-2 ボーリング孔充填物に関するパラメータ

元素	酸化による処分施設の分配係数 の変化率	酸化による天然バリアの分配係数 の変化率
U	0.1	0.005
Th	1	1
Ra	1	0.1
Pb	1	1
Ро	1	1
Pa	1	0.005
Ac	1	1

表 4.1.2-3 ボーリング孔放置により早期酸化した場合の分配係数の変化率

表 4.1.2-4 ボーリング孔放置により早期酸化した場合の酸化性条件における分配係数

二主	酸化性条件における	酸化性条件における
兀杀	処分施設の分配係数[m³/kg]	天然バリアの分配係数[m³/kg]
U	0.13	0.0005
Th	1.3	1.0
Ra	1.3	0.005
Pb	1.3	0.1
Ро	1.3	0.1
Pa	1.3	0.0005
Ac	1.3	1.0

パラメータ		設定値
	*	71
	葉菜	12
展作物の核収重 [Kg/y]	非葉菜	45
	果実	22
	U	1.1×10^{-3}
	Th	1.9×10^{-5}
- 	Ra	6.6×10^{-4}
辰作初の移行休致(工場から木・)	Pb	4.0×10 ⁻³
[(Dq/g-wet//Dq/g-ury)]	Ро	2.0×10^{-3}
	Pa	4.0×10^{-2}
	Ac	1.0×10^{-3}
	U	2.4×10^{-3}
	Th	2.2×10^{-4}
農作物の移行係数	Ra	1.2×10^{-2}
(土壌から葉菜、非葉菜、果実へ)	Pb	3.4×10^{-3}
[(Bq/g-wet)/(Bq/g-dry)]	Ро	1.5×10^{-3}
	Pa	4.0×10^{-2}
	Ac	1.0×10 ⁻³
農作物の市場係数 [-]		1
農作物の輸送時間 [day]		0
農作物の経根吸収係数 [-]		1

表 4.1.2-5 農作物摂取に関するパラメータ

パラメータ		設定値
	牛乳	44
畜産物の摂取量	牛肉	8
[(牛肉・豚肉・鶏肉・鶏卵)kg/y]	豚肉	9
[(牛乳)L/y]	鶏肉	7
	鶏卵	16
	U	2.3×10^{-2}
	Th	1.1×10 ⁻²
飼料への移行係数	Ra	8.0×10 ⁻²
(土壌から飼料へ)	Pb	1.1×10 ⁻³
[(Bq/g-wet)/(Bq/g-dry)]	Ро	9.0×10 ⁻²
	Pa	1.0×10 ⁻¹
	Ac	4.0×10 ⁻³
	肉牛	7.2
家畜の飼料摂取量	乳牛	16.1
[kg-dry/day]	豚	2.4
	鶏	0.07
	肉牛	50
家畜の飼育水摂取量	乳牛	60
[L/day]	豚	10
	鶏	0.3

表 4.1.2・6 畜産物摂取に関するパラメータ (その1)

表 4.1.2-6 畜産物摂取に関するパラメータ (その 2)

パラメータ	設定値
畜産物の市場係数 [-]	1
畜産物の輸送時間 [day]	0
放射性物質を含む飼料の混合割合 [-]	1

パラメータ		設定値
	U	4.0×10 ⁻⁴
	Th	5.0×10^{-6}
畜産物への移行係数	Ra	1.3×10 ⁻³
(飼料・飼育水から畜産物・牛乳へ)	Pb	3.0×10 ⁻⁴
[day/L]	Po	3.4×10^{-4}
	Pa	5.0×10^{-6}
	Ac	2.0×10^{-5}
	U	3.0×10^{-4}
	Th	1.0×10^{-4}
畜産物への移行係数	Ra	9.0×10^{-4}
(飼料・飼育水から畜産物・牛肉へ)	Pb	4.0×10 ⁻⁴
[day/kg]	Po	5.0×10^{-3}
	Pa	1.0×10 ⁻³
	Ac	2.0×10^{-5}
	U	6.2×10^{-2}
	Th	4.6×10 ⁻³
畜産物への移行係数	Ra	3.5×10^{-2}
(飼料・飼育水から畜産物・豚肉へ)	Pb	3.1×10^{-2}
[day/kg]	Po	3.1×10 ⁻²
	Pa	1.1×10 ⁻⁴
	Ac	1.7×10^{-4}
	U	1.0×10^{0}
	Th	1.8×10 ⁻¹
畜産物への移行係数	Ra	4.8×10 ⁻¹
(飼料・飼育水から畜産物・鶏肉へ)	Pb	1.2×10^{0}
[day/kg]	Po	1.2×10^{0}
	Pa	4.1×10 ⁻³
	Ac	6.6×10 ⁻³
	U	1.0×10^{0}
	Th	1.8×10^{-1}
畜産物への移行係数	Ra	2.5×10^{-1}
(飼料・飼育水から畜産物・鶏卵へ)	Pb	1.2×10^{0}
[day/kg]	Po	1.2×10^{0}
	Pa	4.1×10 ⁻³
	Ac	1.6×10^{-2}

表 4.1.2-7 畜産物への移行係数

パラメータ	設定値
汚染土壤混合割合 [-]	1
年間の農耕作業時間 [h/y]	500
農耕作業時の空気中ダスト濃度 [g/m ³]	$5.0 imes 10^{-4}$
農耕作業時の農耕作業者の呼吸量 [m ³ /h]	1.2
農耕作業時の遮蔽係数 [-]	1
吸入可能な粒子への濃縮係数 [-]	4

表 4.1.2-8 農耕作業に関するパラメータ

表 4.1.2-9 河川水飲用に関するパラメータ

パラメータ	設定値
河川水飲用量 [m³/y]	0.6
河川流量 [m³/y]	$1.0 imes 10^{8}$

4.1.3 ボーリングコア観察シナリオ

ボーリングコア観察シナリオにおいて必要となるボーリングコア形状に関するパラメータに ついては「JAEA・H17長期的評価手法」、ボーリングコア観察に関するパラメータは「学会標 準」を参考として設定した。これらを表 4.1.3・1 及び表 4.1.3・2 に示す。外部被ばく線量換算 係数については「JAEA・H17長期的評価手法」を、経口摂取による内部被ばくについては 「JAEA・H18長期的評価手法」を参考とした。被ばく線量換算係数については 4.1.10項に示 す。

パラメータ	設定値
コア径 [m]	0.072
コア長 [m]	5
コア密度 [g/cm ³]	2.5

表 4.1.3-1 ボーリングコア形状に関するパラメータ
パラメータ	設定値
コア観察時の観察距離 [m]	0.5
	0.5
コア観察時の遮蔽係数 [-]	1
コアに占める廃棄物の割合	1
コア観察時の空気中ダスト濃度 [g/m ³]	5.0×10^{-4}
ダストの希釈係数 [-]	1
コア観察時の呼吸量 [m ³ /h]	1.2
コア観察時の経口摂取量 [g/h]	0.01

表 4.1.3-2 ボーリングコア観察に関するパラメータ

4.1.4 井戸水飲用シナリオ

井戸水飲用に関するパラメータは「JAEA・H18 長期的評価手法」を参考とした。これを表 4.1.4-1 に示す。被ばく線量換算係数については 4.1.10 項に示す。

表 4.1.4-1 井戸水飲用に関するパラメータ

パラメータ	設定値
井戸水摂取量 [m³/y]	0.61
井戸水の希釈率 [-]	1

4.1.5 隆起・侵食シナリオ

隆起・侵食シナリオでは、処分施設が地表に露呈した後の核種の移行は、帯水層中において 行われると想定した。また、処分施設の分配係数及び施設浸入水量は帯水層のものとなると想 定した(表 4.1.5-1)。生物圏(建設作業及び居住)に関するパラメータは、「ウラン検討(3)」 と同じ設定とした(表 4.1.5-2及び表 4.1.5-3)。

また、希釈を考慮した場合の周辺土壌の規模は図 4.1.5-1 に示すように、処分坑道の離間距離の 1/2 (14m)を想定した。この条件で設定した希釈率を表 4.1.5-4 に示す。

被ばく線量換算係数は、「JAEA・H18長期的評価手法」を参考とした。被ばく線量換算係数 については 4.1.10 項に示す。



図 4.1.5-1 隆起・侵食シナリオ(希釈考慮)の処分坑道及び非汚染土壌の配置

パラメータ	設定値	
帯水層土壤密度 [kg/m	1 ³]	2,600
帯水層土壤間隙率 [-]	0.3
帯水層中の地下水流速 [n	n/day]	0.3
移行距離 [m]		500
帯水層中での処分施設浸入水	0.3	
	U	0.1
	Th	1.0
	Ra	0.05
帯水層の分配係数 [m³/kg]	Pb	0.1
	Ро	0.01
	Pa	0.1
	Ac	1.0

表 4.1.5-1 帯水層に関するパラメータ

表 4.1.5-2 建設作業に関するパラメータ

パラメータ	設定値
建設作業時の空気中ダスト濃度 [g/m ³]	5×10 ⁻⁴
建設作業時の遮蔽係数 [-]	0.5
建設作業の年間作業時間 [h/y]	500
建設作業時の建設作業者の呼吸量 [m ³ /h]	1.2
吸入可能な粒子への濃縮係数 [-]	4

表 4.1.5-3 居住に関するパラメータ

パラメータ	設定値
居住時の遮蔽係数 [-]	0.2
年間居住時間 [h/y]	8,760

表 4.1.5-4 隆起・侵食シナリオ(希釈考慮)における希釈率

パラメータ	設定値	設定方法
希釈率 [-]	0.26	土壌規模(希釈なし)/土壌規模(希釈考慮) =(10m×10m×240m) /(38m×10m×240m) =0.26

※:土壌規模は、幅[m]×高さ[m]×長さ[m]で算出。

4.1.6 大規模土地利用シナリオ

大規模土地利用シナリオの評価モデルは、3.2.6 項に既述したとおり、隆起・侵食シナリオと 同じ評価モデルであるが、掘削範囲の設定、建設作業中の空気中のダスト濃度及び年間作業時 間が異なる。掘削範囲(希釈小)及び掘削範囲(希釈大)の処分坑道及び非汚染土壌の配置を それぞれ図 4.1.6-1 及び図 4.1.6-2 に示す。

本評価に必要なパラメータを表 4.1.6-1 に示す。また、3.2.6 項に示した計算式に用いる倍率 (X、Y及びZ)を表 4.1.6-2 に示す。掘削範囲以外のパラメータ(建設作業時の空気中ダスト 濃度及び建設作業の年間作業時間)は「二分第 11-2 号」を参考とした。

被ばく線量換算係数については 4.1.10 項に示す。



図 4.1.6-1 掘削範囲内の処分坑道及び非汚染土壌の配置(希釈小)



図 4.1.6-2 掘削範囲内の処分坑道及び非汚染土壌の配置(希釈大)

パラメータ	設定値
掘削範囲(希釈小)	幅 48m×長さ 240m×深さ 10m _{坑道幅 離間距離 坑道幅} (幅の設定:10m+28m+10m)
掘削範囲(希釈大)	幅 76m×長さ 240m×深さ 10m ^{離間距離/2} 坑道幅 離間距離 坑道幅 離間距離/2 (幅の設定:14m+10m+28m+10m+14m)
建設作業時の空気中ダスト濃度 [g/m ³]	3.0×10^{-3}
建設作業の年間作業時間 [h/y]	1,500

表 4.1.6-1 大規模土地利用シナリオに関するパラメータ

表 4.1.6-2 被ばく線量の大規模土地利用シナリオの隆起・侵食シナリオ

(希釈なし) に対する倍率

倍率設定項目		設定値	設定方法
土壌中 核種濃度の希釈	X	 (希釈小) 0.42 (希釈大) 0.26 	非汚染土壌による希釈率 (10m×10m×240m×2) /(48m×10m×240m) = 0.42 非汚染土壌による希釈率 (10m×10m×240m×2) /(76m×10m×240m) = 0.26
建設作業時間	Y	3	建設作業時間の違いによる倍率 1500h/y / 500h/y = 3
 建設作業中の 空気中 ダスト濃度 	Z	6	空気中ダスト濃度の違いによる倍率 3×10 ⁻³ g/m ³ /5×10 ⁻⁴ g/m ³ = 6

4.1.7 処分施設貫通トンネル掘削シナリオ

処分施設貫通トンネル掘削シナリオにおけるパラメータのうち、建設作業時の空気中ダスト 濃度、建設作業時の遮蔽係数、建設作業時の建設作業者の呼吸量及び吸入可能な粒子への濃縮 係数は、隆起・侵食シナリオの建設作業におけるパラメータと同じ設定とした。作業時間につ いては、「二分第 19・1 号添付資料 "人間侵入シナリオ"の様式化(案)」¹⁵⁾において、処分施 設貫通トンネル掘削シナリオの評価に当たって、様式化が必要と考えられるパラメータとして、 「建設作業者の作業時間」を取り上げており、設定方法については、「想定される掘削工法と坑 道長に基づき設定」としている。この考え方に基づき、国内における道路トンネル及び鉄道ト ンネルの施工実績を参考に設定することとした。ここでトンネルの掘削対象となる地盤は岩盤 であるので、岩盤を対象とした主要な掘削工法である NATM 工法(New Austrian Tunneling Method の略。主に山岳部におけるトンネル工法のひとつ。)の実績を参考とすることにした。 表 4.1.7・1 に、トンネル掘進速度に関する個別データ及び全体を取りまとめたデータを示す。 表 4.1.7・1 から、掘進速度を保守的に 60m/月と設定し、1 ヶ月あたりの作業時間を 8 時間と仮定し、トンネル掘削における作業時間を 9 出した。処分坑道 の長さについては、図 4.1.1・2 に示すように、2 本の処分坑道を並列にした構成としたことか ら、そのうち1本(240m)を貫通するものとした。以上を基に算出した作業時間の設定値を 表 4.1.7-2 に示す。

外部被ばく線量換算係数については、「二分第 11-2 号」における考え方を参考に、建設作業 に関する外部被ばく線量換算係数に形状補正係数 2.1 を乗じることで設定した。被ばく線量換 算係数については 4.1.10 項に示す。

	事例		実績	備考
	国道 201 号新仲哀トンネル	平均月進 最大月進	70 m/月 112m/月	トンネルと地下 410 号 ¹⁶⁾
	第二東名 清水第四トンネル	平均月進	77m /月	トンネルと地下410号 (3車線トンネル、導坑拡幅工事、 "H14.9~ H16.6で1,700m掘進"から算出。)
掘進速	北陸新幹線 峰山トンネル	平均月進 最大月進	170 m/月 307 m/月	岩の力学News №082 ¹⁷⁾
度	北陸新幹線 五里ケ峯トンネル	平均月進 最大月進	約 150 m/月 281 m/月	笹島建設株式会社HP ¹⁸⁾
	鉄道トンネル	標準月進	62 m	岩の力学 News №082
	2車線道路トンネル	平均月進	60~100m	長崎大学工学部社会開発工学科地盤環境研究 室Database ¹⁹⁾

表 4.1.7-1 NATM 工法における掘進速度事例

表 4.1.7-2 トンネル掘削における作業時間の算出

パラメータ	設定値
掘進速度 [m/月]	60
1ヶ月あたりの作業日数 [日/月]	22
1日あたりの作業時間 [h/日]	8
トンネル掘削の作業時間 [h]	704 ((240m/(60m/月))×22 日/月×8h/日)

4.1.8 処分施設近傍トンネル掘削シナリオ

処分施設近傍トンネル掘削シナリオにおいては、トンネルが処分施設の上部区間に掘削され た場合、全ての処分施設(処分坑道2本)から流出する核種がトンネルに湧出すると想定した。 また、トンネルへの湧水は他の地下水による希釈及び処分施設からトンネルまでの距離は考慮 しないこととした。これらを表 4.1.8-1 に示す。

表 4.1.8-1 処分施設近傍トンネルに関するパラメータ

パラメータ	設定値
湧水の希釈率 [-]	1
処分施設からトンネルまでの距離 [m]	0

4.1.9 地震・断層シナリオ

地震・断層シナリオの脆性帯ケースにおいては、地震によって発生する亀裂のうち核種の地 下水移行に関与する領域として、その深度方向の延長を処分施設の設置深度から地表までと設 定した。

脆性帯ケースについては、地下水が移行する領域の幅は処分施設を中心に、左右に坑道の離 間距離の 1/2 の幅を設けて設定した。その領域における地下水流速は、透水性が高い部分であ ることを考慮し、処分施設近傍以外の地下水流速の 10 倍と仮定した。脆性帯の厚さは1 m と し、物性は帯水層と同様(表 4.1.5-1 参照)に設定した。

開口亀裂ケースについては、核燃料サイクル開発機構「わが国における高レベル放射性廃棄 物地層処分の技術的信頼性 – 地層処分研究開発第2次取りまとめー分冊3 地層処分システム の安全評価」²⁰⁾における亀裂性岩盤における核種移行の評価モデルの考え方を参考にした。亀 裂は、開口幅が 0.634mm の亀裂性媒体であり、亀裂面への核種の収着及びマトリクス拡散は 考慮しなかった。これらを表 4.1.9-1 及び表 4.1.9-2 に示す。被ばく線量換算係数については 4.1.10 項に示す。

なお、参考として、多孔質媒体及び亀裂性媒体における物質移行の概念を図 4.1.9-1 及び 図 4.1.9-2 に示す。

パラメータ	設定値
脆性帯の長さ [m]	100
脆性帯の幅 [m]	38 (10m+28m/2+28m/2)
脆性帯の厚さ [m]	1
充填物の物性	帯水層と同様(表 4.1.5-1 参照)
脆性体内流速 [m/day]	0.10

表 4.1.9-1 脆性帯に関するパラメータ

JAEA-Research 2010-050

表 4.1.9-2 開口亀裂に関するパラメータ

パラメータ	設定値	
開口亀裂の長さ [m]	100	
透水量係数 [m²/s]	$1.0 imes 10^{-7}$	
開口亀裂の幅 [m]	38 (10m+28m/2+28m/2)	
亀裂の開口幅 [m]	$6.32 imes 10^{-4}$	
開口亀裂内流速 [m/day]	0.14	

注) 亀裂面への核種の分配係数はゼロと設定した。



図 4.1.9-1 脆性帯(多孔質媒体)における物質移行の概念図

核燃料サイクル開発機構「わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 -地層処分研究開発第2次取りまとめ-分冊3 地層処分システムの安全評価」²⁰⁾より引用。



図 4.1.9・2 開口亀裂(亀裂性媒体)における物質移行の概念図

核燃料サイクル開発機構「わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 -地層処分研究開発第2次取りまとめ-分冊1 地層処分システムの安全評価」²⁰⁾より引用。 ただし、本評価では収着及びマトリクス拡散については考慮しない。

4.1.10 被ばく線量換算係数

各評価シナリオの被ばく線量評価で用いた被ばく線量換算係数を、外部被ばくについて表 4.1.10-1 に、塵埃吸入による内部被ばくについて表 4.1.10-2 に、経口摂取による内部被ばくに ついて表 4.1.10-3 に示す。

表	4.1.10-1	外部被ばく線量換算係数	外部被ばく線量換算係
---	----------	-------------	------------

パラメータ		設定値
U-238		2.7×10 ⁻⁴
	Th-234	7.2×10 ⁻³
	U-234	2.7×10 ⁻⁵
	Th-230	9.0×10-5
	Ra-226	5.0×10-1
建設・農耕作業の	Pb-210	1.8×10 ⁻⁴
外部被はく線量換算係数 ——	Po-210	2.5×10^{-6}
$[(\mu Sv/h)/(Bq/g)]$	U-235	5.1×10-2
	Pa-231	1.1×10 ⁻²
	Ac-227	2.1×10-4
	Th-227	3.1×10 ⁻²
	Ra-228	8.7×10-2
	U-238	5.5×10 ⁻¹²
	Th-234	1.7×10 ⁻¹⁰
	U-234	1.1×10 ⁻¹²
	Th-230	3.2×10^{-12}
ボーリングコア観察の	Ra-226	9.5×10-9
外部被ばく線量換算係数	Pb-210	1.0×10 ⁻¹¹
[(Sv/h)/(Bq/g)]	Po-210	5.0×10 ⁻¹⁴
	U-235	1.3×10 ⁻⁹
※字柄調査・5,000× φ 72 の円柱	Pa-231	2.6×10^{-10}
	Ac-227	6.4×10^{-12}
	Th-227	7.5×10^{-10}
	Ra-228	2.1×10 ⁻⁹
	U-238	9.1×10 ⁻⁶
	Th-234	1.8×10-4
	U-234	3.2×10-8
	Th-230	1.7×10 ⁻⁷
	Ra-226	2.2×10 ⁻²
居住の	Pb-210	3.6×10^{-11}
	Po-210	7.4×10 ⁻⁸
[(µSv/n//(Bq/g)]	U-235	2.3×10 ⁻⁴
	Pa-231	1.1×10 ⁻⁴
	Ac-227	1.4×10^{-6}
	Th-227	2.4×10 ⁻⁴
	Ra-228	1.0×10 ⁻³
	U-238	$5.7 imes 10^{-4}$
	Th-234	$1.5 imes 10^{-2}$
	U-234	$5.7 imes 10^{-5}$
	Th-230	$1.9 imes 10^{-4}$
	Ra-226	1.1×10^{0}
貝理トンイル掘削作業の	Pb-210	3.8×10^{-4}
21印版はN	Po-210	5.3×10^{-6}
[(\\\D\\II)/(D\(\\B)]	U-235	1.1×10^{-1}
	Pa-231	2.3×10^{-2}
	Ac-227	4.4×10 ⁻⁴
	Th-227	$6.5 imes 10^{-2}$
	Ra-228	$1.8 imes 10^{-1}$

パラメータ		設定値
	U-238	5.7×10^{-6}
	Th-234	5.8×10^{-9}
	U-234	6.8×10^{-6}
	Th-230	2.8×10^{-5}
建設・農耕作業・ボーリング	Ra-226	1.2×10^{-5}
コア観察時の塵埃吸入による 内部被ばく線量換算係数 [Sv/Bq]	Pb-210	1.2×10^{-6}
	Po-210	2.2×10^{-6}
	U-235	6.1×10^{-6}
	Pa-231	8.9×10^{-5}
	Ac-227	6.3×10^{-4}
	Th-227	7.6×10^{-6}
	Ra-228	5.7×10^{-6}

表 4.1.10-2 塵挨吸入による内部被ばく線量換算係数

表 4.1.10-3 経口摂取による内部被ばく線量換算係数

パラメータ		設定値
	U-238	4.5×10^{-8}
	Th-234	3.4×10 ⁻⁹
	U-234	4.9×10 ⁻⁸
电炉柜 大文柜 过度上示汉	Th-230	2.1×10 ⁻⁷
晨作物・ 台座物・ 内川水の 経 ロ 現 取 に ト ス	Ra-226	2.8×10 ⁻⁷
日接取による	Pb-210	6.9×10^{-7}
内部彼はく禄里換昇係数	Po-210	1.2×10^{-6}
[Sw/Ba]	U-235	4.7×10 ⁻⁸
[57/104]	Pa-231	7.1×10^{-7}
	Ac-227	1.1×10^{-6}
	Th-227	8.8×10 ⁻⁹
	Ra-228	1.0×10^{-7}
	U-238	$4.4 imes 10^{-8}$
	Th-234	$3.4 imes 10^{-9}$
	U-234	$4.9 imes 10^{-8}$
	Th-230	$2.1 imes 10^{-7}$
建設作業・ボーリングコア観	Ra-226	$2.8 imes 10^{-7}$
察時の経口摂取による	Pb-210	$6.8 imes 10^{-7}$
内部被ばく線量換算係数	Po-210	$2.4 imes 10^{-7}$
[Sv/Bq]	U-235	$4.6 imes 10^{-8}$
	Pa-231	$7.1 imes 10^{-7}$
	Ac-227	$1.1 imes 10^{-6}$
	Th-227	$8.9 imes 10^{-9}$
	Ra-228	$1.0 imes 10^{-7}$

4.2 被ばく線量評価式

4.2.1 外部被ばく線量

農耕作業、建設作業、ボーリングコア観察及び居住が行われる土地において、その土壌に廃 棄物が含まれている場合、人間がその土壌から受ける外部被ばく線量は次式により算出される。

ここで、

D_{E}	$_{CXT,i}(t)$: k	종種iの直接γ	,線による外部被ば	く線量 [Sv/y]
C_i	(t) : \pm	:壊中の核種 i	濃度 [Bq/g]	
S	: 近	庶蔽係数 [−]		
Т	: 左	F間作業時間	または年間居住時間	f[h/y]
D	CF _{EXT,i} :核	核種iの外部被	びばく線量換算係数	[(Sv/h)/(Bq/g)]
である。	-			

4.2.2 塵埃吸入による内部被ばく線量

建設作業、農耕作業及びボーリングコア観察において掘削された土壌に廃棄物が含まれてい る場合、建設作業者等がその塵埃を吸入することによる内部被ばく線量は、次式により算出さ れる。

$$D_{INH,i}(t) = C_i(t) \cdot f \cdot B \cdot T \cdot C \cdot DCF_{INH,i} \qquad \cdot \cdot \cdot (\vec{\mathfrak{X}} 4.2 \cdot 2)$$

ここで、

$D_{INH,i}(t)$: 核種 i の吸入による内部被ばく線量 [Sv/y]
$C_i(t)$: 土壌中の核種 i 濃度 [Bq/g]
f	:建設作業時または農耕作業時のダスト濃度 [g/m ³]
В	:建設作業時または農耕作業時の呼吸量 [m³/h]
Т	:建設作業または農耕作業の年間作業時間 [h/y]
С	:吸入可能な粒子に対する濃縮係数 [·]
$DCF_{INH,i}$: 核種 i の塵埃吸入による内部被ばく線量換算係数 [Sv/Bq]

である。

4.2.3 水の飲用による内部被ばく線量

放射性核種を含む地下水が流入する河川または沢において、その水を飲用することによる内 部被ばく線量は、次式により算出される。

処分場下端から距離x_Rの地点に存在する河川における核種濃度は、次式により算出される。

$$C_{Rw,i}(t) = \frac{C_{gw,i}(x_R, t) \cdot h_s \cdot W_w \cdot \varepsilon_s \cdot U_{gw}}{V_R} \cdot \cdot \cdot (\ddagger 4.2 \cdot 3)$$

ここで、

$C_{Rw,i}(t)$: 河川水中核種 i 濃度 [Bq/m³]
$C_{gw,i}(x_R,t)$:距離x _R における地下水中の核種 i 濃度 [Bq/m ³]
h_s	: 帯水層厚さ [m]
$W_{_W}$: 処分場の幅 [m]
\mathcal{E}_{s}	:帯水層空隙率 [-]
U_{gw}	:地下水実流速 [m/y]
V_{R}	:河川の流量 [m³/y]
A	

である。

この河川水を飲用することによる内部被ばく線量は、下式により算出される。

$$D_{ING,i}(t) = C_{Rw,i}(t) \cdot Q_w \cdot DCF_{ING,i} \quad \cdot \quad \cdot \quad (\ddagger 4.2-4)$$

ここで、

である。

$D_{ING,i}(t)$: 核種 i の河川水の飲用による内部被ばく線量[Sv/y]
$C_{Rw,i}(t)$:河川水中核種 i 濃度 [Bq/m³]
Q_w	:飲料水摂取量 [m³/y]
$DCF_{ING,i}$:核種iの経口摂取による内部被ばく線量換算係数 [Sv/Bq]

井戸水飲用による被ばくの場合、*C_{Rwi}(t)*は井戸水中の核種濃度となる。

4.2.4 農作物の摂取による内部被ばく線量

耕作において掘り返された土壌に廃棄物が含まれている場合、その土壌において生産された 農作物を摂取することによる内部被ばく線量は、以下のとおり算出される。

農作物の可食部における核種濃度は次式より算出される。農作物の種類は米、葉菜、非葉菜 及び果実類を想定した。

 $C_{i,i}(t) = C_i(t) \cdot T_{i,i} \cdot A_{i,i} \cdot \cdot \cdot ($ (式 4.2-5)

ここで、

 $C_{ii}(t)$: 農作物jの可食部における核種i濃度 [Bq/kg]

 $C_i(t)$: 土壌中の核種 i 濃度 [Bq/g]

 $T_{j,i}$:核種iの土壌から農作物jへの移行係数 [(Bq/kg)/(Bq/kg)]

*A*_{*ii} : 核種 i の*農作物 j の経根吸収係数 [-]</sub>

農作物の摂取による内部被ばく線量は次式により算出される。

$$D_{ING,i}(t) = \sum C_{j,i}(t) \cdot Q_j \cdot G_j \cdot exp(-\lambda_i \cdot t_{v,j}) \cdot DCF_{ING,i} \cdot \cdot \cdot (\ddagger 4.2-6)$$

$$\subset \subset \mathcal{O}_{n}$$

 $D_{ING,i}(t)$: 核種 i の経口摂取による内部被ばく線量 [Sv/y] $C_{j,i}(t)$: 農作物 j の可食部における核種 i 濃度 [Bq/kg] Q_j : 農作物 j の年間摂取量 [kg/y] G_j : 農作物 j の市場係数 [-] λ_j : 核種 i の崩壊定数 [1/y] $t_{v,j}$: 農作物 j の輸送時間 [y] $DCF_{ING,i}$: 核種 i の経口摂取による内部被ばく線量換算係数 [Sv/Bq] である。

4.2.5 畜産物の摂取による内部被ばく線量

核種を含む地下水が流入する河川において、その河川水(飼育水)と核種を含む飼料を用い て育成される畜産物を摂取することによる内部被ばく線量は、次式により算出される。

核種を含む飼料を用いて飼育される畜産物中の核種濃度は、次式より算出される。畜産物の 種類は鶏卵、牛肉、豚肉、鶏肉を想定した。

$$C_{Fn,i}(t) = C_{j,i}(t) \cdot T_{n,i} \cdot M_F \cdot Q_{Fn} \quad \cdot \quad \cdot \quad (\ddagger 4.2-7)$$

ここで、

 $C_{Fn,i}(t)$: 飼料を経由した畜産物 n 中の核種 i 濃度 [Bq/kg or Bq/L] $T_{n,i}$: 核種 i の飼料及び飼育水から畜産物 n への移行係数 [d/kg or d/L] M_F : 放射性核種を含む飼料の混合割合 [-] $C_{j,i}(t)$: 飼料の可食部における核種 i 濃度 [Bq/kg] Q_{Fn} : 畜産物 n を生産する家畜の飼料摂取量 [kg-dry/d] である。

核種を含む畜産物を摂取することによる人の内部被ばく線量は、次式より算出される。

$$D_{ING,i}(t) = \sum_{n} C_{Fn,i}(t) \cdot Q_{n} \cdot G_{n} \cdot \exp(-\lambda_{i} \cdot t_{Fn}) \cdot DCF_{ING,i} \cdot \cdot \cdot (\pm 4.2 \cdot 8)$$
ここで、
$$D_{ING,i}(t) : 核種 i の経口摂取による内部被ばく線量 [Sv/y]$$

$$C_{Fn,i}(t) : 飼料を経由した畜産物 n 中の核種 i 濃度 [Bq/kg or Bq/L]$$

$$Q_{n} : 畜産物 n の摂取量 [kg/y or L/y]$$

$$G_{n} : 畜産物 n の市場係数 [-]$$

$$\lambda_{i} : 核種 i の崩壊定数 [1/y]$$

$$t_{Fn} : 畜産物 n の輸送時間 [y]$$

$$DCF_{ING,i} : 核種 i の経口摂取による内部被ばく線量換算係数 [Sv/Bq]$$
である。

4.3 評価結果

前節までに設定した人為・稀頻度事象の各評価シナリオの被ばく線量評価結果について、シ ナリオ毎に示す。

4.3.1 ボーリング孔放置シナリオ

ボーリング孔放置シナリオでは、処分施設に到達するボーリングが実施された後、そのボー リング孔が放置された場合の事象として、移行経路短絡シナリオと地表水浸入シナリオを想定 して評価を行った。さらに、移行経路短絡シナリオについては、埋設施設近傍の水理地質構造 に基づき高透水性の構造等をできるだけ確からしく設定する場合と、貫通した処分坑道内の間 隙水が短期間で直接生活圏に至ると保守的な想定をする場合の2通りの状態(前者を「ボーリ ング孔充填物有り」、後者を「ボーリング孔充填物無し」)を設定して評価を行った。

以下に設定した評価シナリオを示す。

- ①ボーリング孔を介して、核種が直接河川へ流出するケース(ボーリング孔充填物有り/ 充填物無し)。(以降、「移行経路短絡シナリオ・直接流出(ボーリング孔充填物有り/ 無し)」と称する。)
- ②ボーリング孔を介して、核種が地表付近の帯水層へ移行し、帯水層中の地下水によって 河川へ流出するケース(ボーリング孔充填物有り/充填物無し)。(以降、「移行経路短 絡シナリオ・帯水層移行(ボーリング孔充填物有り/無し)」と称する。)

③地表水浸入シナリオ

(1)移行経路短絡シナリオ・直接流出(ボーリング孔充填物有り)

ここでは、処分施設にまで到るボーリング孔によって、処分施設中の間隙水がボーリング孔 内を移行して地表に到った場合(ボーリング孔内は周囲岩盤と同じ物性の充填物で充填されて いると想定した)の被ばくについて評価を行った。対象とする被ばく経路は河川岸農耕経路及 び河川水飲用経路とした。

被ばく線量評価結果として、河川岸農耕経路及び河川水飲用経路の評価結果を表 4.3.1-1 に 示す。また、各被ばく経路の被ばく線量経時変化を図 4.3.1-1~図 4.3.1-5 に示す。

表 4.3.1・1 より、最も被ばく線量が大きい経路は河川岸農耕・農作物摂取経路であり、2.7× 10⁻⁷~6.3×10⁻⁷Sv/y であった。また、被ばく線量はボーリング孔の設置時期が1万年経過後ケ ースで最も大きく、10万年経過後及び30万年経過後ケースでは同程度であった。これは、被 ばく線量に対して支配的である核種(以下「支配核種」という。)の影響によるものであり、そ れは地下水流速の時間的な変化の影響も受ける。例えば河川岸農耕・農作物摂取経路の場合、 1万年経過後ケースで被ばく線量に対して最も支配的な核種は Po210[U234](例えば、U-234 から生成される Po-210 については、"Po210[U234]"と表記する。以下、全ての核種について 同様に表記する。)であり、次いで Po210[U238]であった。10万年経過後及び30万年経過後 においても支配核種は同様であったが、この時刻になると親核種の減衰に伴い Po210[U234] の影響が小さくなる。さらに、1万年経過後ケースにおいては、地下水流速が減少の過渡期に あり、初期に近い処分施設浸入水量を保っている間にボーリングが設置されるのに対し、10万 年経過後および 30万年経過後ケースは十分に処分施設浸入水量が低減された後にボーリング 孔が設置される。処分施設浸入水量は施設からの核種の放出フラックスに影響を与えるパラメ ータであることから、処分施設からの核種の放出フラックスが大きい1万年経過後ケースで最 大被ばく線量は最も大きくなる結果となった。その他の経路についても、U-234の子孫核種が 1万年経過後のケースでは影響が大きく、10万年経過後のケースではU-238とU-234の子孫 核種が同程度、30万年経過後のケースではU-234の減衰によりU-238の子孫核種の影響が大 きくなる傾向が見られた。

なお、図 4.3.1-1 及び図 4.3.1-2 の 1 万年経過後にボーリングが行われた場合で、被ばく線 量グラフの立ち上がりが事象発生時期をわずかに経過した時点で見られている。1 万年経過後 のケースでは、10 万年経過後及び 30 万年経過後のケースに比べてこれは、ボーリング孔内の 充填物による核種移行が遅延すること、支配核種である Ra-226(河川岸農耕・外部)及び Th-230 (河川岸農耕・塵埃吸入)のビルドアップが十分進んでいないこと等が原因と考えられる。10 万年経過後及び 30 万年経過後においても、同様の遅延は発生しているものの、時間軸を対数 表記としたことで、図からは上記原因による影響が確認できない。

また、全ての経時変化のグラフで、事象発生後のグラフの立ち上がりがステップ状ではなく、 緩やかになっているが、これもボーリング孔内の充填物により核種移行が遅延することによる 影響と考えられる。

図 4.3.1-6 に処分施設内の各核種の放射能量の経時変化を示す。図 4.3.1-6 より、1 万年経 過後にボーリング孔を設置した場合、U-234の子孫核種の放射能量は増加を続けており、30 万年よりやや早い時期にピークを迎え、それ以降は減少していることが確認できる。そのため、 U-234 及び U-238 の子孫核種の重畳により約5万年経過後に最大被ばく線量を示す結果となっ たものと考えられる。一方、10万年経過後及び30万年経過後にボーリング孔を設置した場合、 たとえば、河川岸農耕・塵埃吸入経路(図 4.3.1-2)において 1 万年経過後で支配核種となっ た Th230[U234]の放射能量は減少傾向にあり、増加傾向にある Th230[U238]の放射能量が最 大被ばく線量に支配的な要素となる。そのため、10万年経過後ケース及び30万年経過後ケー スは同様の経時変化を示す結果となったと考えられる。これは、支配核種は異なるものの、全 ての被ばく経路について同様のことが言える。1 万年経過時点では地下水流速は初期値と比較 してそれほど大幅な低減とはなっていない(例えば、処分施設近傍の地下水流速の初期値 0.001m/day、1万年経過後の流速 0.0009m/day)。対して 10 万年経過後及び 30 万年経過後で は、地下水流速は十分に低減している(10万年後までに初期値の1/10まで低減、その後一定 値という条件のため)。そのため、1 万年経過後ケースと 10 万年及び 30 万年経過後ケースで は、ビルドアップと処分施設浸入水量の2つのパラメータがそれぞれどのような値となってい るかによって、被ばく線量及びピーク時刻の違いが現れてくる。

	最大被ばく線量[Sv/y] (ピーク時刻[y])		
被ばく経路	1万年後に事象発生	10 万年後に事象発生	30 万年後に事象発生
河川巴典耕,內如	2.6×10^{-8}	1.1×10^{-8}	1.1×10^{-8}
何川厈辰枡・クトネレ	(4.9×10^4)	(4.1×10^5)	(4.1×10^5)
河川岸農耕・塵埃	4.3×10 ⁻⁸	1.8×10^{-8}	1.8×10^{-8}
吸入	(5.2×10^4)	(4.1×10^5)	(4.1×10^5)
河川岸農耕・農作	6.3×10^{-7}	2.7×10^{-7}	2.7×10^{-7}
物摂取	(5.0×10^4)	(4.1×10^5)	(4.1×10^5)
河川岸農耕・畜産	4.4×10^{-7}	1.9×10^{-7}	1.9×10^{-7}
物摂取	(5.0×10^4)	(4.1×10^5)	(4.1×10^5)
河川水飲田	1.6×10^{-7}	6.9×10^{-8}	6.9×10^{-8}
們川小跃用	(5.0×10^4)	(4.1×10^5)	(4.1×10^5)

表 4.3.1-1 移行経路短絡シナリオ・直接流出(ボーリング孔充填物有り)の評価結果 (河川岸農耕経路及び河川水飲用経路)



図 4.3.1-1 移移行経路短絡シナリオ・直接流出(ボーリング孔充填物有り): "河川岸農耕・外部"の被ばく線量経時変化



図 4.3.1-2 移移行経路短絡シナリオ・直接流出(ボーリング孔充填物有り): "河川岸農耕・塵挨吸入"の被ばく線量経時変化



図 4.3.1-3 移行経路短絡シナリオ・直接流出(ボーリング孔充填物有り): "河川岸農耕・農作物摂取"の被ばく線量経時変化



図 4.3.1-4 移行経路短絡シナリオ・直接流出(ボーリング孔充填物有り): "河川岸農耕・畜産物摂取"の被ばく線量経時変化



図 4.3.1-5 移行経路短絡シナリオ・直接流出(ボーリング孔充填物有り): "河川水飲用"の被ばく線量経時変化



図 4.3.1-6 処分施設内の各核種の放射能量

(2)移行経路短絡シナリオ・直接流出(ボーリング孔充填物無し)

ここで評価したシナリオは、処分施設にまで到るボーリング孔によって、処分施設中の間隙 水がボーリング孔を通って地表に到る場合を想定したものであるが、ボーリング孔の物理的影響を排除するために、処分施設の間隙水がそのまま直接地表に流出した場合の被ばくを評価した。対象とする被ばく経路は、河川岸農耕経路と河川水飲用経路とした。

被ばく線量評価結果を表 4.3.1-2 に、また各被ばく経路の被ばく線量経時変化を図 4.3.1-7 ~図 4.3.1-11 に示す。

表 4.3.1-2 より、4.3.1(1)のボーリング孔充填物有りの場合と比較して、最大被ばく線量はや や小さくなっていた。

被ばく線量に関わるボーリング孔からの核種の放出フラックスを比較すると、ボーリング孔 充填物有りの場合はボーリング孔内における核種の収着がある点でボーリング孔充填物無しの 場合と異なる。ボーリング孔充填物有りの場合では充填物による核種の収着効果を考慮してお り、「第3次中間報告」を参考に親核種であるUの分配係数は大きく、Ra、Po等子孫核種の 分配係数は小さく設定した。このため、親核種であるUはボーリング孔内で長期間留まり、ビ ルドアップが進行する。一方、ボーリング孔充填物無しの場合、ボーリング孔内で全ての核種 は留まらず、瞬時に表層水に移行するものと仮定した。その結果、ボーリング孔充填物有りの 場合では、ボーリング孔からの放出フラックスは、ボーリング孔充填物無しの場合に比べ、ビ ルドアップで生成した Po、Ra等の影響で被ばく線量が大きくなる傾向を示したものと考えら れる(図 4.3.1-12 及び図 4.3.1-13 参照)。河川岸農耕・農作物摂取経路(図 4.3.1-9)の場 合、最大被ばく線量に対する支配核種は Pb210[U234]であった。ここでの Pb210[U234]の放 出フラックスは、前項で評価したボーリング孔充填物有りの場合における支配核種 Po210[U234]の放出フラックスよりも小さいため、被ばく線量が小さくなっていた。一方、農 耕作業・塵埃吸入経路(図 4.3.1-8)の場合ではTh230[U234]またはTh230[U238]が支配核種 であり、ボーリング孔内での収着による減損の差は多少あるもののビルドアップの効果が大き く、それぞれのフラックスが充填物有りの場合と充填物無しの場合と同程度であるため、被ば く線量が同程度となったものと考えられる。

表 4.3.1-2	移行経路短絡シナリオ・直接流出(ボーリング孔充填物無し)	の評価結果
	(河川岸農耕経路及び河川水飲用経路)	

	最大被ばく線量[Sv/y] (ピーク時刻[y])		
被ばく経路	1万年後に事象発生	10 万年後に事象発生	30 万年後に事象発生
河川巴典耕,內如	2.3×10 ⁻⁸	5.5×10^{-9}	5.5×10^{-9}
何川戸辰耕・外司	(2.1×10^4)	(3.6×10^5)	(3.6×10^5)
河川岸農耕・塵埃	4.5×10^{-8}	1.8×10^{-8}	1.8×10^{-8}
吸入	(4.6×10^4)	(4.0×10^5)	(4.0×10^5)
河川岸農耕・農作	1.7×10^{-7}	7.0×10^{-8}	7.0×10^{-8}
物摂取	(4.7×10^4)	(4.0×10^5)	(4.0×10^5)
河川岸農耕・畜産	3.0×10^{-8}	1.4×10^{-8}	1.4×10^{-8}
物摂取	(4.9×10^4)	(4.1×10^5)	(4.1×10^5)
河山水御田	2.1×10^{-8}	8.4×10^{-9}	$8.4 \times 10^{.9}$
1月7日/八民人/円	(4.5×10^4)	(4.0×10^5)	(4.0×10^5)



図 4.3.1-7 移行経路短絡シナリオ・直接流出(ボーリング孔充填物無し): "河川岸農耕・外部"の被ばく線量経時変化



図 4.3.1-8 移行経路短絡シナリオ・直接流出(ボーリング孔充填物無し): "河川岸農耕・塵挨吸入"の被ばく線量経時変化



図 4.3.1-9 移行経路短絡シナリオ・直接流出(ボーリング孔充填物無し): "河川岸農耕・農作物摂取"の被ばく線量経時変化



図 4.3.1-10 移行経路短絡シナリオ・直接流出(ボーリング孔充填物無し): "河川岸農耕・畜産物摂取"の被ばく線量経時変化



図 4.3.1-11 移行経路短絡シナリオ・直接流出(ボーリング孔充填物無し): "河川水飲用"の被ばく線量経時変化



図 4.3.1-12 移行経路短絡シナリオ・直接流出(ボーリング孔充填物無し)におけ る核種の生物圏への放出フラックス

(10万年経過後にボーリング孔設置の場合)



図 4.3.1-13 移行経路短絡シナリオ・直接流出(ボーリング孔充填物有り)におけ

る核種の生物圏への放出フラックス

(10万年経過後にボーリング孔設置の場合)

(3) 移行経路短絡シナリオ・帯水層移行(ボーリング孔充填物有り/充填物無し)

ここでは、処分施設にまで到るボーリング孔によって、処分施設中の間隙水がボーリング孔 を経由して帯水層に流入し、さらに帯水層を経由して河川まで移行した場合の被ばくについて 評価を行った。帯水層に到るまでのボーリング孔の状態は、ボーリング孔を介して直接河川に 流出した場合と同様に「ボーリング孔充填物有り」と「ボーリング孔充填物無し」の2通りの 状態での被ばくを評価した。対象とする被ばく経路は河川岸農耕経路と河川水飲用経路とした。

ボーリング孔充填物有りの場合の被ばく線量評価結果を表 4.3.1-3 に、各被ばく経路の被ば く線量経時変化を図 4.3.1-14~図 4.3.1-18 に示す。本シナリオでは、処分施設内の核種は事 象発生前までは処分施設近傍及び処分施設近傍以外の地下水を経由し、河川に移行するが、事 象発生直後から全ての核種の移行経路はボーリング孔及び帯水層を経由して河川に流入すると 想定しており、各被ばく経路の被ばく線量経時変化は事象発生以後(1万年後、10万年後及び 30万年後)に、ボーリング孔及び帯水層を経由した核種が流入した河川での利用による被ばく 線量変化を示している。表 4.3.1-3より、最も被ばく線量が大きいのは河川岸農耕・農作物摂 取経路であり、9.2×10⁻⁷~2.0×10⁻⁶Sv/yであった。また、被ばく線量はボーリング孔の設置が 1万年経過後ケースで最も大きく、10万年経過後及び 30万年経過後ケースでは小さくなって いた。これは、経過時間によって、地下水流速の変化に連動する施設浸入水量の低下により、 ボーリング孔へ流出する核種の放出フラックスが減少したことが主な原因と考えられる。

ボーリング孔充填物無しの場合の被ばく線量評価結果を表 4.3.1-4 に、各被ばく経路の被ば く線量経時変化を図 4.3.1-19~図 4.3.1-23 に示す。直接流出の場合と同様に、ボーリング孔 充填物有りの場合では、ボーリング孔充填物無しの場合よりもやや大きい被ばく線量であった。

なお、移行経路短絡シナリオ・帯水層移行の全ての被ばく線量経時変化のグラフにおいて、 1万年経過後にボーリングが行われた場合、被ばく線量グラフの立ち上がりが事象発生時期を 少し経過した時点で見られている。これは、事象発生時に流出した核種が河川に到達するまで の帯水層移行に時間を要すること等が原因と考えられる。10万年経過後及び30万年経過後に おいても、同様の遅延は発生しているものの、時間軸を対数表記としたことで、図からは上記 原因による影響が確認できない。

JAEA-Research 2010-050

	最大被ばく線量[Sv/y] (ピーク時刻[y])			
被はく経路	1万年後に事象発生	10万年後に事象発生	30 万年後に事象発生	
河川岸農耕・外部	7.8×10 ⁻⁸	3.6×10^{-8}	3.6×10^{-8}	
	(8.3×10^4)	(4.4×10^5)	(4.4×10^5)	
河川岸農耕・塵埃吸	4.0×10 ⁻⁸	1.9×10^{-8}	1.9×10^{-8}	
入	(9.5×10^4)	(4.5×10^5)	(4.5×10^5)	
河川岸農耕・農作物	2.0×10^{-6}	9.2×10^{-7}	9.2×10 ⁻⁷	
摂取	(8.3×10^4)	(4.4×10^5)	(4.4×10^5)	
河川岸農耕・畜産物	1.4×10^{-6}	6.7×10^{-7}	6.7×10 ⁻⁷	
摂取	(8.4×10^4)	(4.4×10^5)	(4.4×10^5)	
河川水飲用	5.1×10^{-7}	2.4×10^{-7}	2.4×10^{-7}	
	(8.4×10^4)	(4.4×10^5)	(4.4×10^5)	

表 4.3.1-3 移行経路短絡シナリオ・帯水層移行(ボーリング孔充填物有り)の評価結果 (河川岸農耕経路及び河川水飲用経路)

表 4.3.1-4 移行経路短絡シナリオ・帯水層移行(ボーリング孔充填物無し)の評価結果 (河川岸農耕経路及び河川水飲用経路)

被ばく経路	最大被ばく線量[Sv/y] (ピーク時刻[y])		
	1万年後に事象発生	10 万年後に事象発生	30 万年後に事象発生
河川岸農耕・外部	7.7×10 ⁻⁸	3.6×10^{-8}	3.6×10^{-8}
	(7.9×10^4)	(4.4×10^5)	(4.4×10^5)
河川岸農耕・塵埃	4.1×10 ⁻⁸	1.9×10^{-8}	1.9×10^{-8}
吸入	(9.0×10^4)	(4.5×10^5)	(4.5×10^5)
河川岸農耕・農作	1.9×10^{-6}	9.0×10 ⁻⁷	9.0×10 ⁻⁷
物摂取	(7.9×10^4)	(4.4×10^5)	(4.4×10^5)
河川岸農耕・畜産	1.4×10^{-6}	6.6×10 ⁻⁷	6.6×10 ⁻⁷
物摂取	(8.0×10^4)	(4.4×10^5)	(4.4×10^5)
河川水飲用	5.1×10 ⁻⁷	2.3×10 ⁻⁷	2.3×10 ⁻⁷
	(8.0×10^4)	(4.4×10^5)	(4.4×10^5)



図 4.3.1-14 移行経路短絡シナリオ・帯水層移行(ボーリング孔充填物有り): "河川岸農耕・外部"の被ばく線量経時変化



図 4.3.1-15 移行経路短絡シナリオ・帯水層移行(ボーリング孔充填物有り): "河川岸農耕・塵埃吸入"の被ばく線量経時変化



図 4.3.1-16 移行経路短絡シナリオ・帯水層移行(ボーリング孔充填物有り): "河川岸農耕・農作物摂取"の被ばく線量経時変化



図 4.3.1-17 移行経路短絡シナリオ・帯水層移行(ボーリング孔充填物有り): "河川岸農耕・畜産物摂取"の被ばく線量経時変化


図 4.3.1-18 移行経路短絡シナリオ・帯水層移行(ボーリング孔充填物有り): "河川水飲用"の被ばく線量経時変化



図 4.3.1-19 移行経路短絡シナリオ・帯水層移行(ボーリング孔充填物無し): "河川岸農耕・外部"の被ばく線量経時変化



図 4.3.1-20 移行経路短絡シナリオ・帯水層移行(ボーリング孔充填物無し): "河川岸農耕・塵埃吸入"の被ばく線量経時変化



図 4.3.1-21 移行経路短絡シナリオ・帯水層移行(ボーリング孔充填物無し): "河川岸農耕・農作物摂取"の被ばく線量経時変化



図 4.3.1-22 移行経路短絡シナリオ・帯水層移行(ボーリング孔充填物無し): "河川岸農耕・畜産物摂取"の被ばく線量経時変化



図 4.3.1-23 移行経路短絡シナリオ・帯水層移行(ボーリング孔充填物無し): "河川水飲用"の被ばく線量経時変化

(4) 地表水浸入シナリオ

ここでは、処分施設にまで到るボーリング孔によって、地表付近の溶存酸素を含んだ水が処 分施設に浸入することによって処分施設内及び天然バリア(核種の移行経路)の化学的環境が 還元性から酸化性となった場合の被ばくについて評価を行った。対象とする被ばく経路は河川 岸農耕経路と河川水飲用経路とした。

被ばく線量評価結果として、河川岸農耕経路及び河川水飲用経路の評価結果を表 4.3.1-5 に、 各被ばく経路の被ばく線量経時変化を図 4.3.1-24~図 4.3.1-28 に示す。表 4.3.1-5 より、最も 被ばく線量が大きいのは河川岸農耕・農作物摂取経路であり、4.0×10⁻⁷~1.0×10⁻⁶Sv/y であっ た。また、被ばく線量はボーリング孔の設置が遅いほど大きくなっていた。

なお、処分施設の状態を決定する基本シナリオでは、処分施設及び天然バリアの化学的環境 は還元性で維持されているが、1万年経過後、10万年経過後及び30万年経過後に、ボーリン グ孔が設置された時点で処分施設及び天然バリアの化学的環境が酸化性に変化するため、核種 の分配係数が急激に小さくなる。その結果、処分施設及び天然バリア内に留まっていた核種が 急激に生物圏へ移行し、事象発生時に被ばく線量の急激な増加(立ち上がり)が見られた。こ れは評価上のパラメータ変化の取り扱いではあるが、地表付近の溶存酸素を含んだ水の浸入水 量(浸入する速度)やそれの処分施設内への広がりを考慮すると、現実的には処分施設及び天 然バリアの分配係数が事象発生と同時に急変することは想定し難く、本評価シナリオにおける 最大被ばく線量の取り扱いには注意が必要である。

	最大被ばく線量[Sv/y] (ピーク時刻[y])		
被ばく経路	1万年後に事象発生	10 万年後に事象発生	30 万年後に事象発生
典 耕作業,从 如	1.2×10^{-8}	7.1×10^{-9}	7.5×10^{-9}
辰研旧末・25印	(5.0×10^4)	(2.7×10^5)	(4.2×10^5)
典批优光, 再长四, 1	1.9×10^{-8}	2.2×10^{-8}	3.0×10^{-8}
辰 耕作美・壁	(1.4×10^4)	(1.4×10^5)	(3.4×10^5)
農作物摂取	4.0×10 ⁻⁷	7.4×10^{-7}	1.0×10^{-6}
	(1.4×10^4)	(1.4×10^5)	(3.4×10^5)
畜産物摂取	6.0×10^{-9}	3.5×10^{-9}	4.6×10^{-9}
	(4.3×10^4)	(1.4×10^5)	(3.4×10^5)
河川水飲用	3.1×10 ⁻⁷	1.6×10^{-7}	2.0×10^{-7}
	(1.4×10^4)	(1.4×10^5)	(3.4×10^5)

表 4.3.1-5 地表水浸入シナリオの評価結果



図 4.3.1-24 地表水浸入シナリオ:"河川岸農耕・外部"の被ばく線量経時変化



図 4.3.1-25 地表水浸入シナリオ:"河川岸農耕・塵埃吸入"の被ばく線量経時変化



図 4.3.1-26 地表水浸入シナリオ:"河川岸農耕・農作物摂取"の被ばく線量経時変化



図 4.3.1-27 地表水浸入シナリオ:"河川岸農耕・畜産物摂取"の被ばく線量経時変化



図 4.3.1-28 地表水浸入シナリオ:"河川水飲用"の被ばく線量経時変化

4.3.2 ボーリングコア観察シナリオ

ここでは、調査ボーリングが処分施設にまで達した場合、そのボーリングコアを観察するこ とで受ける被ばくについて評価を行った。対象とする被ばく経路は、作業者のボーリングコア 観察中の外部被ばく、塵埃吸入による内部被ばく及び経口摂取による内部被ばくとした。

ボーリングコア観察シナリオでは、被ばく線量はボーリングコアを採取した時点におけるボ ーリングコア中の核種濃度によって決まる。

被ばく線量評価結果として、ボーリングコアの採取時期が1万年経過後、10万年経過後及び 30万年経過後の場合の被ばく線量を表 4.3.2-1 に、それぞれの経路における最大被ばく線量と 最大被ばく線量発生時刻を表 4.3.2-2 に示す。また、それぞれの経路の被ばく線量の経時変化 を図 4.3.2-1 に示す。なお、本評価シナリオにおける被ばく線量は、基本シナリオの条件で得 られる処分坑道内の土壌中核種濃度で決定される。そのため、核種濃度の経時変化を基にした 連続した被ばく線量のグラフから、事象発生時刻として設定した1万年経過後、10万年経過後 及び 30 万年経過後の被ばく線量を読み取ることで評価できる。図中に各事象発生時刻を青矢 印で示す。

これらより、最も被ばく線量が大きいのは塵埃吸入経路であり 1.4×10⁻⁶~4.6×10⁻⁶Sv/y で あった。それぞれの経路で被ばく線量が最大となる時刻は表 4.3.2⁻² に示すように 33~41 万 年経過後であった。外部、塵埃吸入、経口摂取の各被ばく経路の支配核種は、それぞれ Ra226[U234]及び Ra226[U238]、Ac227[U235]並びに Pb210[U234]及び Pb210[U238]であっ た。外部被ばく経路及び経口摂取経路の場合では、10 万年経過時点では U-234(半減期 24.6 万 年)の子孫核種が支配的であったが、その後は減衰し 30 万年経過時点では U-238(半減期 45 億 年)の子孫核種が支配的となっていた。この両時刻では、どちらの核種も同程度の被ばく線量と なっており、結果として 10 万年経過時点と 30 万年経過時点では被ばく線量は大きく異なるこ とがなかった。よって、さらに時間が経過すれば最大被ばく線量は小さくなった。一方、塵埃 吸入経路の場合、10 万年経過時点及び 30 万年経過時点において支配核種はアクチニウム系列 (4n+3 系列)の子孫核種である Ac227[U235]であり、上記の 2 経路のように他のウラン系列 (4n+2 系列)の子孫核種が支配核種になることはなかった。

JAEA-Research 2010-050

表 4.3.2-1 ボーリングコア観察シナリオにおける事象発生時刻毎の被ばく線量

		最大被ばく線量[Sv/y]	
彼はく 経路	1万年経過時点	10 万年経過時点	30万年経過時点
外部	2.3×10^{-8}	1.4×10^{-7}	2.0×10-7
塵埃吸入	1.4×10^{-6}	3.7×10^{-6}	4.6×10^{-6}
経口摂取	5.4×10^{-8}	2.3×10 ⁻⁷	3.3×10 ⁻⁷

表 4.3.2-2 経路毎の最大被ばく線量と発生時刻

被ばく経路	最大被ばく線量[Sv/y]	(ピーク時刻[y])
外部	2.0×10 ⁻⁷	(4.1×10^5)
塵埃吸入	4.6×10^{-6}	(3.3×10^5)
経口摂取	3.3×10 ⁻⁷	(4.0×10^5)



図 4.3.2-1 ボーリングコア観察シナリオ:各被ばく経路における被ばく線量の経時変化

4.3.3 井戸水飲用シナリオ

ここでは、飲料水の取得を目的とした井戸が処分施設に到り、処分坑道1本分の間隙水が井 戸に浸入した場合の井戸水飲用による被ばくについて評価を行った。対象とする被ばく経路は、 井戸水飲用による被ばく経路とした。

評価結果として、井戸の設置が1万年経過後、10万年経過後及び30万年経過後である場合 の被ばく線量を表4.3.3-1に示す。また、被ばく線量の経時変化を図4.3.3-1に示す。なお、 本評価シナリオにおける被ばく線量は、基本シナリオの条件で得られる処分坑道内の間隙水中 核種濃度で決定される。そのため、核種濃度の経時変化を基にした連続した被ばく線量のグラ フから、事象発生時刻として設定した1万年経過後、10万年経過後及び30万年経過後の被ば く線量を読み取ることで評価できる。図中に各事象発生時刻における被ばく線量を青矢印で示 す。

表 4.3.3・1 に示すとおり、被ばく線量は 6.5×10・3~4.8×10・2Sv/y であった。表 4.3.3・2 には 被ばく線量の最大値とその発生時刻を示した。このシナリオでは被ばくは井戸が設置された時 点に発生するが、1 万年経過時点、10 万年経過時点と徐々に被ばく線量が大きくなり、40 万 年経過時点でピークに到った。40 万年以降は、U-234 及びその子孫核種の減少により被ばく線 量は小さくなると考えられる。

表 4.3.3-1	井戸水飲用シナリオにおける事象発生時刻毎の被ば	く線量
-----------	-------------------------	-----

かたぞくないな	最大被ばく線量[Sv/y]		
彼はく産路	1万年経過時点	10 万年経過時点	30万年経過時点
井戸水飲用	$6.5 imes 10^{-3}$	3.3×10^{-2}	4.8×10^{-2}

表 4.3.3-2 井戸水飲用シナリオにおける最大被ばく線量と発生時刻

被ばく経路	最大被ばく線量[Sv/y]	(ピーク時刻[y])
井戸水飲用	4.9×10 ⁻²	(4.0×10 ⁵)



図 4.3.3-1 井戸水飲用シナリオ:井戸水飲用による内部被ばく線量の経時変化

4.3.4 隆起・侵食シナリオ

ここでは、処分施設が隆起や侵食の作用によって地表近傍に接近した場合に、その地表で行われる人間活動によって受ける被ばくについて評価を行った。対象とする被ばく経路は処分施 設跡地利用経路として建設作業による被ばく及び居住による被ばくとした。

評価は処分施設が地表に接近し、露呈した場合(希釈無し)を仮定し、露呈時刻が1万年経 過後、10万年経過後及び30万年経過後である場合について行った。被ばく線量評価結果を表 4.3.4-1に示す。また、図 4.3.4-1~図 4.3.4-5 に希釈なしの場合の各被ばく経路における被ば く線量経時変化を示す。

表 4.3.4-1 より、被ばく線量が大きいのは、建設作業・塵埃吸入経路で 1.6×10⁻³~4.1× 10⁻³Sv/y、建設作業・外部被ばく経路で 8.5×10⁻⁴~5.2×10⁻³Sv/y であった。

また、露呈後に非汚染土壌による希釈を考慮した場合、建設作業・塵埃吸入経路で 4.1×10⁻⁴ ~1.1×10⁻³Sv/y、建設作業・外部被ばく経路で 2.2×10⁻⁴~1.4×10⁻³Sv/y となり、希釈なしの 被ばく線量の約 1/4 に低減した。その他の経路も含めて、非汚染土壌との混合希釈を考慮した 場合の被ばく線量を表 4.3.4-2 に示す。

	最大被ばく線量[Sv/y] (ピーク時刻[y])		
被ばく経路	1万年後に露呈	10万年後に露呈	30 万年後に露呈
冲 现 佐 类 • 从 却	8.5×10^{-4}	3.5×10^{-3}	5.2×10^{-3}
建成作素,21的	(2.6×10^4)	(1.0×10^5)	(3.0×10^5)
建設作業・塵埃吸	1.6×10^{-3}	3.6×10^{-3}	4.1×10 ⁻³
入	(1.0×10^4)	(1.0×10^5)	(3.0×10^5)
民住,从却	2.5×10^{-4}	1.1×10^{-3}	1.6×10^{-3}
四任・26時	(2.7×10^4)	(1.0×10^5)	(3.0×10^5)
足什,鹿坮咽 λ	1.5×10^{-4}	4.4×10^{-4}	5.2×10^{-4}
居住・塵侠奴八	(1.2×10^4)	(1.0×10^5)	(3.0×10^5)
曲体惊讶克	4.0×10^{-4}	1.6×10^{-3}	2.4×10^{-3}
辰TF初採収	(2.6×10^4)	(1.0×10^5)	(3.0×10^5)

表 4.3.4-1 隆起・侵食シナリオにおける露呈時刻毎の評価結果(希釈無し)

	最大被ばく線量[Sv/y] (ピーク時刻[y])		
被ばく経路	1万年後に露呈	10万年後に露呈	30 万年後に露呈
建乳化类,从如	2.2×10^{-4}	9.2×10^{-4}	1.4×10^{-3}
建成作業・21部	(2.6×10^4)	(1.0×10^5)	(3.0×10^5)
建設作業・塵埃吸	4.1×10 ⁻⁴	9.3×10^{-4}	1.1×10^{-3}
入	(1.0×10^4)	(1.0×10^5)	(3.0×10^5)
居住・外部	6.5×10^{-5}	2.7×10^{-4}	4.1×10 ⁻⁴
	(2.7×10^4)	(1.0×10^5)	(3.0×10^5)
民分, 鹿 坮 哂 ٦	3.8×10^{-5}	1.1×10^{-4}	1.4×10^{-4}
居住・塵侠奴八	(1.2×10^4)	(1.0×10^5)	(3.0×10^5)
農作物摂取	1.0×10 ⁻⁴	4.2×10 ⁻⁴	6.2×10^{-4}
	(2.6×10^4)	(1.0×10^5)	(3.0×10^5)

表 4.3.4-2 隆起・侵食シナリオにおける露呈時刻毎の評価結果(希釈考慮)

注) 被ばく線量のピーク時刻 [y]は、希釈を考慮しないケース(表 4.3.4·1)と同様である。



図 4.3.4-1 隆起・侵食シナリオ:"建設作業・外部"の被ばく線量経時変化(希釈無し)



図 4.3.4-2 隆起・侵食シナリオ:"建設作業・塵埃吸入"の被ばく線量経時変化(希釈無し)



図 4.3.4-3 隆起・侵食シナリオ: "居住・外部"の被ばく線量経時変化(希釈無し)



図 4.3.4-4 隆起・侵食シナリオ: "居住・塵埃吸入"の被ばく線量経時変化(希釈無し)



図 4.3.4-5 隆起・侵食シナリオ: "農作物摂取"の被ばく線量経時変化(希釈無し)

4.3.5 大規模土地利用シナリオ

ここでは、処分施設が隆起や侵食の作用によって地表近傍に接近した場合に、その地表で行われる人間活動のうち、大規模な土地利用が行われた場合に受ける被ばくについて評価を行った。対象とする被ばく経路は大規模土地利用における建設作業を想定し、その外部被ばく及び 塵埃吸入による内部被ばくとした。

本評価シナリオは、モデル体系としては隆起・侵食シナリオの建設経路と同じ評価手法であ り、被ばく線量を算出するためのパラメータのうち、「希釈土壌の割合」、「建設作業時の空気中 のダスト濃度」及び「建設作業の年間作業時間」が異なるのみである(表 4.1.6-2 参照)。よっ て、本評価シナリオの被ばく線量は、隆起・侵食シナリオ(希釈なし)の被ばく線量評価結果 に対して、両パラメータの違いを考慮することで評価した。

その結果、掘削領域における非汚染土壌を2本の処分坑道の間とした場合(希釈小)の被ば く線量は、外部被ばくでは $1.1 \times 10^{-3} \sim 6.6 \times 10^{-3}$ Sv/y、塵埃吸入による内部被ばくでは 1.2×10^{-2} $\sim 3.1 \times 10^{-2}$ Sv/y であった。さらに掘削領域における非汚染土壌を2本の処分坑道の外側までと した場合(希釈大)、被ばく線量は外部被ばくでは $6.6 \times 10^{-4} \sim 4.1 \times 10^{-3}$ Sv/y、塵埃吸入による 内部被ばくでは $7.3 \times 10^{-3} \sim 1.9 \times 10^{-2}$ Sv/y であった。これらを表 4.3.5-1及び表 4.3.5-2に示す。

	最大被ばく線量[Sv/y] (ピーク時刻[y])		
被ばく経路	1万年後に露呈	10万年後に露呈	30万年後に露呈
建設作業・外部	1.1×10 ⁻³	4.4×10 ⁻³	6.6×10 ⁻³
	(2.6×10^4)	(1.0×10^5)	(3.0×10^5)
建設作業・塵埃吸	1.2×10^{-2}	2.7×10^{-2}	3.1×10^{-2}
入	(1.0×10^4)	(1.0×10^5)	(3.0×10^5)

表 4.3.5-1 大規模土地利用シナリオの評価結果(希釈小)

表 4.3.5-2 大規模土地利用シナリオの評価結果(希釈大)

	最大被ばく線量[Sv/y] (ピーク時刻[y])		
被ばく経路	1万年後に露呈	10万年後に露呈	30万年後に露呈
建設作業・外部	6.6×10^{-4}	2.7×10 ⁻³	4.1×10 ⁻³
	(2.6×10^4)	(1.0×10^5)	(3.0×10^5)
建設作業・塵埃吸	7.3×10^{-3}	1.7×10^{-2}	1.9×10^{-2}
入	(1.0×10^4)	(1.0×10^5)	(3.0×10^5)

4.3.6 処分施設貫通トンネル掘削シナリオ

ここでは、地下に設置するトンネルが処分施設を貫通するように掘削された場合、その建設 作業者が受ける被ばくについて評価を行った。対象とする被ばく経路は建設作業時の外部被ば く、塵埃吸入による内部被ばく及び経口摂取による内部被ばくとした。

評価結果として、トンネル掘削が1万年経過後、10万年経過後及び30万年経過後である場合の被ばく線量を表 4.3.6-1 に示す。最も被ばく線量が大きいのは塵埃吸入による内部被ばくであり、1.2×10⁻²~3.9×10⁻²Sv/y であった。図 4.3.6-1 に被ばく線量の経時変化を示す。

なお、本評価シナリオでは、ボーリングコア観察シナリオと同様に、基本シナリオの条件で 得られる処分坑道内の土壌中核種濃度で決定される。そのため、核種濃度の経時変化を基にし た連続した被ばく線量のグラフから、事象発生時刻として設定した1万年経過後、10万年経過 後及び30万年経過後の被ばく線量を読み取ることで被ばく線量を評価できる。図4.3.6-1に各 事象発生時刻における被ばく線量を青矢印で示す。

外部、塵埃吸入及び経口摂取の各被ばく経路において被ばく線量に対する支配核種は、それ ぞれ、Ra226[U234]及び Ra226[U238]、Ac227[U235]、並びに、Pb[U234]及び Pb210[U238] であった。また、図 4.3.6-1 を参照すると、設定した事象発生時刻ではなく、30~40 万年付近 で被ばく線量が最大となることがわかる。被ばく線量の最大値及びその時刻を表 4.3.6-2 に示 す。

かた チンジン 公 収	最大被ばく線量[Sv/y]		
彼はく 産路	1万年経過時点	10 万年経過時点	30万年経過時点
外部	1.7×10^{-3}	1.0×10^{-2}	1.5×10^{-2}
塵埃吸入	1.2×10^{-2}	3.2×10^{-2}	3.9×10^{-2}
経口摂取	7.6×10^{-5}	3.2×10^{-4}	4.6×10^{-4}

表 4.3.6-1 処分施設貫通トンネル掘削シナリオの評価結果

表 4.3.6-2 処分施設貫通トンネル掘削シナリオの評価結果(最大被ばく線量と発生時刻)

被ばく経路	最大被ばく線量[Sv/y] (ピーク時刻[y])
外部	1.6×10^{-2} (4.1×10 ⁵)
塵埃吸入	3.9×10^{-2} (3.3×10^{5})
経口摂取	4.7×10^{-4} (4.0×10 ⁵)



図 4.3.6-1 処分施設貫通トンネル掘削シナリオ:経路毎の被ばく線量経時変化

4.3.7 処分施設近傍トンネル掘削シナリオ

ここでは、地下に設置するトンネルが処分施設近傍に掘削された場合、そのトンネル内に処 分施設を通過した地下水が湧出することによって発生する被ばくについて評価を行った。対象 とする被ばく経路は、湧水が直接河川へ流入すると考え、河川岸農耕経路及び河川水飲用経路 とした。

評価結果として、近傍トンネル掘削が1万年経過後、10万年経過後及び30万年経過後であ る場合の被ばく線量を表4.3.7-1に示す。表4.3.7-1より、被ばく線量が最も大きいのは河川 岸農耕・農作物摂取経路であり、1.4×10⁻⁷~3.4×10⁻⁷Sv/yであった。本評価シナリオでは、被 ばくはトンネル掘削時点から始まるが、いずれの事象発生時期も、直後ではまだ被ばく線量は ピークに到っておらず、1万年経過後の場合で2~5万年経過時点、10万年経過後及び30万年 経過後では30~40万年経過時点で最大となった。これは、ボーリング孔放置シナリオの移行 経路短絡シナリオと同様、処分施設から近傍トンネルへの核種の放出フラックスは、基本シナ リオの経時変化に依存するためである。図4.3.7-1~図4.3.7-5に事象発生時刻毎の各被ばく経 路の被ばく線量経時変化を示す。

本評価シナリオでは、処分施設からトンネルまでの地下水の移行に関しては、明確に与えら れないパラメータ(例えば処分施設とトンネルの距離、トンネルへの地下水の湧出量など)の 影響を排除するために、トンネル湧水=処分施設間隙水と想定している。そのため、ウラン廃 棄物特有のビルドアップの影響も排除されてしまっているが、本評価結果より、30~40万年経 過後にトンネル内へ湧出する地下水によって受ける被ばく線量が最大被ばく線量であり、土壌 への収着などを考慮すればその値は本評価よりも小さくなる可能性が考えられる。また、近傍 のトンネルに湧出する地下水は、現実的には処分施設を通過した地下水だけでなく、側面や天 井方向からの地下水も含まれると考えられることから、これらによる希釈も考えられる。

r	1			
被ばく経路	最大被ばく線量[Sv/y] (ピーク時刻[y])			
	1万年後に事象発生	10 万年後に事象発生	30 万年後に事象発生	
河川岸農耕・外部	4.6×10 ⁻⁸	1.1×10 ⁻⁸	1.1×10 ⁻⁸	
	(2.1×10^4)	(3.6×10^5)	(3.6×10^5)	
河川岸農耕・塵埃	8.9×10 ⁻⁸	3.6×10^{-8}	3.6×10^{-8}	
吸入	(4.7×10^4)	(4.0×10^5)	(4.0×10^5)	
河川岸農耕・農作	3.4×10^{-7}	1.4×10 ⁻⁷	1.4×10^{-7}	
物摂取	(4.7×10^4)	(4.0×10^5)	(4.0×10^5)	
河川岸農耕・畜産	6.0×10 ⁻⁸	2.7×10^{-8}	2.7×10^{-8}	
物摂取	(4.9×10^4)	(4.1×10^5)	(4.1×10^5)	
河川水飲用	4.1×10 ⁻⁸	1.7×10 ⁻⁸	1.7×10^{-8}	
	(4.5×10^4)	(4.0×10^5)	(4.0×10^5)	

表 4.3.7-1 処分施設近傍トンネル掘削シナリオの評価結果



図 4.3.7-1 処分施設近傍トンネル掘削シナリオ:"河川岸農耕・外部"の被ばく線量経時変化



図 4.3.7-2 処分施設近傍トンネル掘削シナリオ:"河川岸農耕・塵埃吸入"の 被ばく線量経時変化



図 4.3.7-3 処分施設近傍トンネル掘削シナリオ:"河川岸農耕・農作物摂取"の 被ばく線量経時変化



図 4.3.7-4 処分施設近傍トンネル掘削シナリオ:"河川岸農耕・畜産物摂取"の 被ばく線量経時変化



図 4.3.7-5 処分施設近傍トンネル掘削シナリオ:"河川水飲用"の被ばく線量経時変化

4.3.8 地震・断層シナリオ

ここでは、大規模な地震などの突発的な事象により発生した亀裂が、処分施設の処分坑道(1本)から河川まで連結した場合に受ける被ばくについて評価を行った。対象とする被ばく経路 は河川水の飲用による内部被ばくとした。

ここで考える亀裂の性質として、"細かい亀裂が連結し、岩盤の脆性帯として存在する場合(充 填物の物性は帯水層と同様)"及び"狭い幅の開口亀裂として存在する場合(亀裂性媒体であり、 収着とマトリクス拡散は考慮しない)"を想定し、評価を行った。

評価結果として、亀裂の発生が1万年経過後、10万年経過後及び30万年経過後である場合のそれぞれについて、亀裂が脆性帯として存在する場合の被ばく線量を表4.3.8-1に、開口亀裂として存在する場合の被ばく線量を表4.3.8-2に示す。

表 4.3.8-1 及び表 4.3.8-2 より、最大被ばく線量は脆性帯ケースで 6.0×10⁻⁸~1.4×10⁻⁷Sv/y、 開口亀裂ケースで 8.4×10⁻⁹~2.1×10⁻⁸Sv/y であった。図 4.3.8-1 及び図 4.3.8-2 に、設定した 事象発生時期毎の河川水飲用による被ばく線量の経時変化を示す。

表 4.3.8-1 地震・断層シナリオの評価結果(脆性帯)

被ばく経路	最大被ばく線量[Sv/y] (ピーク時刻[y])			
	1万年後に事象発生	10 万年後に事象発生	30 万年後に事象発生	
河川水飲用	1.4×10^{-7}	6.0×10 ⁻⁸	6.0×10 ⁻⁸	
	(4.9×10^4)	(4.1×10^5)	(4.1×10^5)	

表 4.3.8-2 地震・断層シナリオの評価結果(開口亀裂)

被ばく経路	最大被ばく線量[Sv/y] (ピーク時刻[y])			
	1万年後に事象発生	10 万年後に事象発生	30 万年後に事象発生	
河川水飲用	2.1×10 ⁻⁸	8.4×10 ⁻⁹	8.4×10 ⁻⁹	
	(4.5×10^4)	(4.0×10^5)	(4.0×10^5)	



図 4.3.8-1 地震断層シナリオ・脆性帯:"河川水飲用"の被ばく線量経時変化



図 4.3.8-2 地震断層シナリオ・開口亀裂:"河川水飲用"の被ばく線量経時変化
5. 人為・稀頻度事象シナリオの評価結果のとりまとめ

人為·稀頻度事象シナリオの判断のめやすは、「安全規制中間報告」では10mSv/年から100mSv/ 年とされている。このめやすに対して、本検討の評価結果はすべて下回ることを確認した。

(10mSv/y を下回ったもの)

- ・ボーリング孔放置シナリオ
- ・ボーリングコア観察シナリオ
- ・ 隆起・侵食シナリオ
- ・ 処分施設近傍トンネル掘削シナリオ
- ・ 地震・断層シナリオ

上記のシナリオのうち、隆起・侵食シナリオの希釈を考慮しないケースにおける建設作業・外部、建設作業・塵埃吸入、居住・外部及び農作物摂取経路を除いた全ての被ばく経路については、 1mSv/y も下回っていた。

(10mSv/y を上回ったが、100mSv/y は下回ったもの)

- ・井戸水飲用シナリオ
- ・大規模土地利用シナリオ
- ・処分施設貫通トンネル掘削シナリオ

しかし、平成22年4月1に原子力安全委員会で承認された「余裕深度処分の管理期間終了以後 における安全評価に関する考え方」²¹⁾(以下、「安全評価に関する考え方」という。)では、偶発 的な人為事象の評価においては、「周辺住民」と「作業者などの特定の接近者個人」に分け、且つ、 「できるだけ確からしい想定」と「不確かさを考慮した保守的な想定」を行い評価するとの方針 が示されている。評価条件に応じた「めやす」を表5-1に示す。

シナリオ区分		「めやす」の考え方
人為事象	国际存居	確からしい想定:1mSv/年以下
	周辺住氏	不確かさを考慮した保守的な想定:10mSv/年以下
	特定の接近者個人	確からしい想定:10mSv以下
		不確かさを考慮した保守的な想定:100mSv以下
稀頻度事象		基本的に 10mSv/年を超えず、また大きくても 100mSv/年以下であること

表 5-1 「めやす」とシナリオ想定との関係

ここで、表 5-1 の「めやす」を参考に、本検討の人為・稀頻度事象シナリオの評価結果を整理 すると、以下のようになる。なお、本検討は、サイトが不確定な現状での評価であり、確からし い想定か保守的な想定かの分類は困難である。ここでは確からしい想定でのめやすを参考に整理 した。

ただし、本検討で設定した隆起・侵食シナリオは、「安全規制中間報告」によれば、稀頻度事象 として扱われる。しかし、「安全評価に関する考え方」では、"隆起・侵食、海水準変動に伴い埋 設施設が地表付近に近接することが想定される"として、基本シナリオ及び変動シナリオとして 区分される。そのため、評価結果の整理に当たっては、隆起・侵食シナリオは除外した。

(確からしい想定でのめやすを下回ったもの)

- ・ボーリング孔放置シナリオ
- ・ボーリングコア観察シナリオ
- ・処分施設近傍トンネル掘削シナリオ
- ・地震・断層シナリオ

(確からしい想定でのめやすは超えたものの、保守的な想定でのめやすを下回ったもの)

- ・井戸水飲用シナリオ
- ・大規模土地利用シナリオ
- ・処分施設貫通トンネル掘削シナリオ

表 5-1 を参考に、本検討の評価結果を再整理した結果、周辺住民を対象とした被ばく経路に区 分されるボーリング孔放置シナリオ及び処分施設近傍トンネル掘削シナリオ、作業者などの特定 の接近者個人を対象とした被ばく経路に区分されるボーリングコア観察シナリオ、並びに稀頻度 事象シナリオに区分される地震・断層シナリオは、確からしい想定での「めやす」を下回った。

しかし、作業者などの特定の接近者個人を対象とした被ばく経路に区分される井戸水飲用シナ リオ、大規模土地利用シナリオ及び処分施設貫通トンネル掘削シナリオは、保守的な想定での「め やす」は下回ったものの、確からしい想定での「めやす」を超える結果となった。 6. 一連の検討結果とウラン廃棄物の合理的な余裕深度処分概念の成立可能性

平成 19 年度から実施した一連の検討(「ウラン検討(4)」、「ウラン検討(5)」及び本検討)にお いて、「安全規制中間報告」で示された 3 区分のシナリオ分類(基本シナリオ、変動シナリオ及 び人為・稀頻度事象シナリオ)の考え方を取り入れた場合における、評価シナリオの検討、パラ メータ設定及び予察的な被ばく線量評価を実施した。

検討に当たっては、ウラン廃棄物の処分施設概念は、人工バリアに期待しない合理的な余裕深 度処分概念を前提とした。

6.1 3区分のシナリオ分類に関する成果のまとめ

評価シナリオの設定について、「ウラン検討(4)」では、「安全規制中間報告」において示された 評価シナリオ区分や各シナリオにおける評価の目的、それぞれのシナリオに対する評価上のめや すを参考として、ウラン廃棄物の余裕深度処分における基本シナリオを設定するための考え方を 検討し、その結果として設定した複数の評価ケースからなる基本シナリオを設定した。

「ウラン検討(5)」では、「ウラン検討(4)」において設定した複数のケースからなる基本シナリ オについて、「学会標準」における「基本シナリオにおいて設定する処分システムの可能性の高い 状態(基本状態)は原則として一つ」との考え方に基づいてシナリオを再整理した。その結果、 基本シナリオは、今後10万年程度は地球環境は寒冷化に向かう、との知見から、"寒冷化シナリ オ"を設定し、"寒冷化に伴い降水量が減少し、そのため地下水流速が減少する"及び"寒冷化に 伴い降水量が減少し、そのため海水準が低下する"ものとした。早期の寒冷化及び寒冷化以外の シナリオは変動シナリオとして再整理するとともに、新たなシナリオの追加とパラメータの変動 様式の見直し(ステップ状の変動から線形変動に変更)を行った。

本検討では、「安全規制中間報告」、「学会標準」及び埋設分科会審議資料を参考に、人為・稀頻 度事象シナリオを設定した。

以上3ヵ年で整理した基本シナリオ、変動シナリオ及び人為・稀頻度事象シナリオの整理結果 を図 6.1-1 に示す。



図 6.1-1 3ヵ年で整理した3区分のシナリオ分類のまとめ

6.2 被ばく線量評価結果と処分の可能性について

前節で記述したように、一連の検討で設定した基本シナリオ、変動シナリオ及び人為・稀頻度 事象シナリオの 3 区分のシナリオについて、「安全規制中間報告」を参考に、予察的な被ばく線 量評価を実施した。その結果とめやすを比較すると、以下の通りである。

・基本シナリオ

基本シナリオとして定義した"寒冷化シナリオ"では、「安全規制中間報告」に示された基本 シナリオのめやすである 10µSv/y を下回った。

・変動シナリオ

変動シナリオとして定義した全ての評価シナリオにおいて、「安全規制中間報告」に示された変動シナリオのめやすである 300µSv/y を下回った。

・人為・稀頻度事象シナリオ

評価対象とした 8 つの評価シナリオについて、「安全規制中間報告」に示された人為・稀 頻度事象シナリオに用いられる判断のめやすである 10mSv/y から 100mSv/y を下回った。

以上のことから、「安全規制中間報告」を参考とした場合、3区分のシナリオ分類として設定し たすべての評価シナリオ(基本シナリオ、変動シナリオ及び人為・稀頻度事象シナリオ)におい て、それぞれのシナリオ分類に適用されるめやすを下回ることを確認したが、現在は最新の原子 力安全委員会報告書である「安全評価に関する考え方」に示された評価の方針を適用することが 適当と考えられる。しかし、過去2ヶ年に実施した「ウラン検討(4)」及び「ウラン検討(5)」では 「安全規制中間報告」の考え方を参考に検討を実施しており、3区分のシナリオ分類についての安 全評価の考え方の一貫性を考慮して、本検討においてもこれを踏襲した。

ただし、「安全評価に関する考え方」を適用した場合、5章にも既述したとおり、本検討での各 評価シナリオの状態設定が保守的な、あるいは確からしい想定かの区分は困難であるものの、人 為・稀頻度シナリオとして設定した評価シナリオの一部は「めやす」を超える結果を示したこと から、更なる検討を要する。

なお、「安全評価に関する考え方」によると、具体的な評価方法やめやすは提示されていないも のの、「埋設施設が地表付近に近接することが想定される期間」における評価として、ウラン系列 の放射性物質のラドンの影響について別途評価することとされている。ラドン被ばく評価の考え 方やサイト条件が不確定な現状では、定量的な評価は困難であることから、ラドン吸入被ばくに ついては考慮していない。

7.まとめと今後の課題

本検討ではウラン廃棄物の余裕深度処分を想定した場合の安全評価として、「安全規制中間報告」で示された3区分のシナリオ分類の内、人為・稀頻度事象シナリオについて、評価シナリオの 検討、パラメータ設定及び予察的な被ばく線量評価を実施したが、平成22年4月1日に「安全評価 に関する考え方」が示されており、この評価の方針を適用することが適当と考えられる。しかし、

「ウラン検討(4)」及び「ウラン検討(5)」では「安全規制中間報告」の考え方を参考に検討を実施 しており、3区分のシナリオ分類についての安全評価の考え方の一貫性を考慮して、本検討におい てもこれを踏襲した。評価の結果、最大被ばく線量については、全てのケースで「安全規制中間 報告」で示された人為・稀頻度事象シナリオのめやす(参考とする)値である10mSv/y~100mSv/y を下回ることを確認した。

ただし、「安全評価に関する考え方」を適用した場合、サイトが不確定な条件下で設定した各評 価シナリオの状態設定やパラメータが、「安全評価に関する考え方」に示されている考え方におけ る保守的な、あるいは確からしい想定かの区分は困難であるものの、本検討において人為・稀頻 度事象シナリオとして設定した評価シナリオの一部で、めやすを超える結果が示されたことから、 更なる検討を要する。

なお、これまでの一連の検討において参考とした「安全規制中間報告」、「埋設分科会資料」及 び「安全評価に関する考え方」は、いずれもウラン廃棄物を対象としたものではない。そのため、 今後、ウラン廃棄物の余裕深度処分に係る議論が進み、ウランの特徴を考慮した安全評価の考え 方、評価条件の様式(処分システムの状態設定)、ラドンの取り扱いや評価手法、具体的なサイト 条件等が明確に示された時点で、改めてシナリオ検討、パラメータ設定及び被ばく線量評価を行 い、設定した合理的な余裕深度処分概念の成立可能性を再検討することが重要と考える。

参考文献

- 1) 原子力安全委員会:「低レベル放射性廃棄物埋設に関する安全規制の基本的考え方(中間 報告)」(平成 19 年 7 月)
- 2) 石戸谷公英、中谷隆良、船橋英之、佐々木良一、高瀬敏郎、黒沢満:「ウラン廃棄物の余 裕深度処分概念の検討(4)」、JAEA-Research 2008-092 (2008)
- 3) 社団法人日本原子力学会:「日本原子力学会標準 余裕深度処分の安全評価手法:2008」、 AESJ-SC-F012:2008、(2008)
- 4) 中谷隆良、石戸谷公英、船橋英之、佐々木良一、黒沢満:「ウラン廃棄物の余裕深度処分 概念の検討(5)」、JAEA-Research 2009-028(2009)
- 5) 原子力安全委員会:「低レベル放射性固体廃棄物の陸地処分の安全規制に関する基準値に ついて(第3次中間報告)」(平成12年9月14日)
- 6) 原子力安全委員会 放射性廃棄物・廃止処分措置専門部会 第二種廃棄物埋設分科会:二 分第11-2号「代表的な安全評価シナリオの解析例の再解析について」
- 7) 原子力安全委員会 放射性廃棄物・廃止処分措置専門部会 第二種廃棄物埋設分科会:二 分第23-1号「余裕深度処分の管理期間終了後についての安全評価に関する考え方(案)」
- 8) 辻村誠一、船橋英之、石橋純、高瀬敏郎、黒沢満:「ウラン廃棄物の余裕深度処分概念 の検討(2)」、JAEA-Research 2006-029(2006)
- 9) 日本原子力研究開発機構:「平成 17 年度 放射性廃棄物処分の長期的評価手法の調査報告書[ウラン・TRU 廃棄物の基準整備に係る調査]」(2006)
- 10) 原子力安全委員会 放射性廃棄物・廃止処分措置専門部会 第二種廃棄物埋設分科会:二 分第 10・2 号「我が国の地質環境等の変動に関する時間スケールと安全規制上の取り扱い について(案)」
- 11) 辻村誠一、船橋英之、石橋純、高瀬敏郎、黒沢満:「ウラン廃棄物の余裕深度処分概念の 検討(3)」、JAEA-Research 2007-030 (2007)
- 12) GoldSim Technology Group LLC : "Monte Carlo Simulation Software for Decision and Risk Analysis"、 http://www.goldsim.com/
- 13) 山本正幸、石橋純:「ウラン廃棄物の余裕深度処分概念の検討」、JNC TJ8440 2005-001(2005)
- 14) 日本原子力研究開発機構:「平成 18 年度 放射性廃棄物処分の長期的評価手法の調査報告 書[TRU・ウラン廃棄物の処分対策調査]」(2007)
- 15) 原子力安全委員会 放射性廃棄物・廃止処分措置専門部会 第二種廃棄物埋設分科会:二 分第19-1 号添付資料「"人間侵入シナリオ"の様式化(案)」
- 16) トンネル技術協会:トンネルと地下 410 号(2004 年 10 月)
- 17) 岩の力学 News No.082 : http://rocknet-japan.org/JCRMN/RMN_082/RMN_082-6.htm
- 18) 笹島建設株式会社:http://www.sasajimakennsetsu.co.jp/sekou02.html
- 19) 長崎大学工学部社会開発工学科地盤環境研究室 Database: http://www.civil.nagasaki-u.ac.jp/jiban/J/data-j.html
- 20) 核燃料サイクル開発機構:「わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼 性 一地層処分研究開発第2次取りまとめ一分冊3地層処分システムの安全評価」、JNC TN1400 99-021(1999)

21) 原子力安全委員会:「余裕深度処分の管理期間終了以後における安全評価に関する考え方」 (平成 22 年 4 月)

表 1. SI 基本単位					
甘大昌	SI 基本単位				
巫平里	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	А			
熱力学温度	ケルビン	Κ			
物質量	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						
ar the SI 表	基本単位					
和立重 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 さ , 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 キログラム毎立法	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	1					
比 透 磁 率 (b) (数字の) 1	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

	SI 組立単位				
組立量	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 隹	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m	
· 体 催	ステラジア、(b)	er ^(c)	1 (b)	m^{2/m^2}	
周 波 数	ヘルツ ^(d)	Hz	1	s ¹	
力 力	ニュートン	N		m kg s ⁻²	
压力, 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	С		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	ジーメンス	s	A/V	$m^{-2} kg^{-1} s^3 A^2$	
磁東	ウエーバ	Wb	Vs	$m^2 kg s^{-2} A^{-1}$	
磁束密度	テスラ	Т	Wb/m ²	$kg s^{2} A^{1}$	
インダクタンス	ヘンリー	Н	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	
光東	ルーメン	lm	cd sr ^(c)	cd	
照度	ルクス	lx	lm/m^2	m ⁻² cd	
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,	グレイ	Gv	J/kg	m ² s ⁻²	
カーマ		, and	0.115		
線量当量,周辺線量当量,方向	SUNCE (g)	Sv	J/kg	m ² a ⁻²	
性線量当量, 個人線量当量		50	orkg	III 8	
酸素活性	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

(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、ベクレルは放射性抜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。
 (e)セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度で表すために使用される。
 (f)数単位を通の大きさは同一である。したがって、温度差や温度問隔を表す数値はとちらの単位で表しても同じである。
 (f)数単性核種の放射能(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

	SI 組立単位			
組立量	名称	記号	SI 基本単位による 表し方	
粘质	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹	
カのモーメント	ニュートンメートル	N m	$m^2 kg s^2$	
表 面 張 九	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²	
角 速 度	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ =s ⁻¹	
角 加 速 度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s^2	$m m^{-1} s^{-2} = s^{-2}$	
熱流密度,放射照度	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³	
熱容量、エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	$m^2 kg s^{2} K^{1}$	
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	$m^2 s^{-2} K^{-1}$	
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	$m^{2} s^{-2}$	
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹	
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²	
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m kg s ⁻³ A ⁻¹	
電 荷 密 度	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ sA	
表 面 電 荷	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² sA	
電 束 密 度 , 電 気 変 位	クーロン毎平方メートル	C/m^2	m ⁻² sA	
誘 電 卒	ファラド毎メートル	F/m	$m^{-3} kg^{-1} s^4 A^2$	
透 磁 率	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²	
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	$m^2 kg s^2 mol^1$	
モルエントロピー,モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	$m^{2} kg s^{2} K^{1} mol^{1}$	
照射線量(X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ sA	
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	$m^{2} s^{-3}$	
放射 強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	$m^4 m^{-2} kg s^{-3} = m^2 kg s^{-3}$	
放射輝 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	
酵素活性濃度	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}	э 9	Y	10^{-1}	デシ	d
10^{21}	ゼタ	Z	10^{-2}	センチ	с
10^{18}	エクサ	Е	10^{-3}	ミリ	m
10^{15}	ペタ	Р	10^{-6}	マイクロ	μ
10^{12}	テラ	Т	10^{-9}	ナーノ	n
10^{9}	ギガ	G	10^{-12}	ピョ	р
10^{6}	メガ	М	10^{-15}	フェムト	f
10^{3}	キロ	k	10^{-18}	アト	а
10^{2}	ヘクト	h	10^{-21}	ゼプト	z
10^{1}	デ カ	da	10^{-24}	ヨクト	У

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	1h =60 min=3600 s				
日	d	1 d=24 h=86 400 s				
度	۰	1°=(п/180) rad				
分	,	1'=(1/60)°=(п/10800) rad				
秒	"	1"=(1/60)'=(п/648000) rad				
ヘクタール	ha	1ha=1hm ² =10 ⁴ m ²				
リットル	L, 1	1L=11=1dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³				
トン	t	$1t=10^3 \text{ kg}$				

_

表7.	SIに属さないが、	SIと併用される単位で、	SI単位で
	まとわて粉は	ぶ 中 瞬時 ほう や て そ の	

衣される剱値が美駅的に待られるもの						
名称	記号	SI 単位で表される数値				
電子ボルト	eV	1eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J				
ダルトン	Da	1Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg				
統一原子質量単位	u	1u=1 Da				
天 文 単 位	ua	1ua=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	1	ル	bar	1 bar=0.1MPa=100kPa=10 ⁵ Pa		
水銀	柱ミリメー	トル	mmHg	1mmHg=133.322Pa		
オン	グストロー	- 4	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 ⁻¹⁰ m		
海		里	М	1 M=1852m		
バ	-	\sim	b	1 b=100fm ² =(10 ⁻¹² cm)2=10 ⁻²⁸ m ²		
1	ッ	ŀ	kn	1 kn=(1852/3600)m/s		
ネ	-	パ	Np			
ベ		N	В	▶ 51 単位との 叙 値的 な 阕徐 は 、 対 数 量の 定 義 に 依 存.		
デ	ジベ	N	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				
エルグ	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J				
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N				
ポアズ	Р	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1Pa s				
ストークス	St	$1 \text{ St} = 1 \text{ cm}^2 \text{ s}^{\cdot 1} = 10^{\cdot 4} \text{ m}^2 \text{ s}^{\cdot 1}$				
スチルブ	$^{\mathrm{sb}}$	$1 \text{ sb} = 1 \text{ cd} \text{ cm}^{-2} = 10^4 \text{ cd} \text{ m}^{-2}$				
フォト	ph	1 ph=1cd sr cm ⁻² 10 ⁴ lx				
ガル	Gal	$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm s}^{-2} = 10^{-2} \text{ ms}^{-2}$				
マクスウェル	Mx	$1 \text{ Mx} = 1 \text{ G cm}^2 = 10^{-8} \text{Wb}$				
ガウス	G	$1 \text{ G} = 1 \text{Mx cm}^{2} = 10^{4} \text{T}$				
エルステッド ^(c)	Oe	1 Oe ≙ (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	ユ		IJ	ĺ	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq	
$\scriptstyle u$	ン	ŀ	ゲ	\sim	R	$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{C/kg}$	
ラ				ド	rad	1 rad=1cGy=10 ⁻² Gy	
$\scriptstyle u$				ム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv	
ガ		$\boldsymbol{\mathcal{V}}$		7	γ	1 γ =1 nT=10-9T	
フ	Ŧ		N	11		1フェルミ=1 fm=10-15m	
メー	- トル	系	カラゞ	ット		1メートル系カラット = 200 mg = 2×10-4kg	
ŀ				ル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa	
標	準	大	気	圧	atm	1 atm = 101 325 Pa	
力			IJ	ļ	cal	1cal=4.1858J(「15℃」カロリー), 4.1868J (「IT」カロリー)4.184J(「熱化学」カロリー)	
Ξ	ク			ン	μ	$1 \mu = 1 \mu m = 10^{-6} m$	

この印刷物は再生紙を使用しています