

**TRU 核種を含む放射性廃棄物及びウラン廃棄物の  
ピット処分に対する濃度上限値の評価  
(受託研究)**

Estimation of Radioactivity Concentration Limit for Concrete Vault Disposal  
of Transuranium and Uranium Wastes  
(Contract Research)

澤口 拓磨 武田 聖司 佐々木 利久  
落合 透 渡邊 正敏 木村 英雄

Takuma SAWAGUCHI, Seiji TAKEDA, Toshihisa SASAKI  
Toru OCHIAI, Masatoshi WATANABE and Hideo KIMURA

安全研究センター  
廃棄物・廃止措置安全評価研究グループ

Waste Disposal and Decommissioning Safety Research Group  
Nuclear Safety Research Center

March 2008

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

© Japan Atomic Energy Agency, 2008

TRU 核種を含む放射性廃棄物及びウラン廃棄物のピット処分に対する濃度上限値の評価  
(受託研究)

日本原子力研究開発機構安全研究センター 原子力エネルギー関連施設安全評価研究ユニット  
澤口 拓磨・武田 聖司・佐々木 利久<sup>1</sup>・落合 透<sup>2</sup>・渡邊 正敏<sup>1</sup>・木村 英雄

(2008 年 2 月 22 日受理)

濃度上限値とは、埋設事業の許可申請を行うことができる放射性廃棄物に含まれる放射性核種濃度の最大値である。再処理施設、MOX 燃料施設等から発生する TRU 核種を含む放射性廃棄物(「TRU 廃棄物」)及びウラン廃棄物に対する処分方法については、原子力委員会による処分方策の検討に関する報告書において、放射性核種の種類と放射能濃度に応じた 3 種類の埋設処分方法(トレンチ処分、ピット処分、余裕深度処分)が報告されており、当該廃棄物の将来の処分を見据え、それらの廃棄物に対する埋設処分方式別の濃度上限値の整備が必要である。

本報告では、TRU 廃棄物及びウラン廃棄物を対象に、3 種類の処分方法のうち「ピット処分」に対する濃度上限値算出の考え方及び評価手法(シナリオ、モデル/コード、パラメータ)について整理するとともに、整備した評価手法を用いて評価対象核種に対する濃度上限値の算出結果を提示した。

なお、本研究の TRU 廃棄物に対するピット処分の濃度上限値の算出結果は、原子力安全委員会「低レベル放射性固体廃棄物の埋設処分に係る放射能濃度上限値について」(平成 19 年 5 月)に反映された。

---

本報告は、経済産業省原子力安全・保安院の委託により実施した研究成果の一部である。  
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 特定課題推進員(株)ダブル・インフォメーション・センター)
- 2 特定課題推進員(三菱原子燃料株)

*Estimation of Radioactivity Concentration Limit for Concrete Vault Disposal  
of Transuranium and Uranium Wastes*  
( Contract Research )

Takuma SAWAGUCHI, Seiji TAKEDA, Toshihisa SASAKI <sup>1</sup>, Toru OCHIAI <sup>2</sup>  
Masatoshi WATANABE <sup>1</sup> and Hideo KIMURA

Nuclear Facility Safety Research Unit  
Nuclear Safety Research Center  
Japan Atomic Energy Agency  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received February 22, 2008)

Spent nuclear fuel reprocessing and MOX fuel manufacturing generate radioactive wastes rich in transuranic nuclides (transuranium waste). Uranium enrichment and fuel manufacturing generate radioactive wastes composed mainly of uranium isotopes and their daughter nuclides (uranium waste). The Atomic Energy Commission of Japan states that the transuranium waste and uranium waste are to be disposed of by either near surface disposal without artificial barrier (trench disposal), near surface disposal with artificial barrier (concrete vault disposal), or intermediate depth disposal, depending on the radionuclides and their radioactivity concentration in the wastes. The ranges of radioactivity concentration for these different disposal concepts are, therefore, required to be determined for the regulation. The radioactivity concentration limits define the upper bound of radioactivity concentrations for licensing application of the disposal of radioactive waste.

This document summaries the concept and method (scenario selection, model/code description and parameter selection) for estimation of the radioactivity concentration limits for concrete vault disposal of transuranium and uranium wastes, and provides the derived values of the radioactivity concentration limits for each radionuclide in the wastes. The values for the transuranium waste have been published in a Nuclear Safety Commission of Japan report.

Keywords :

Radioactivity Concentration Limit, Concrete Vault Disposal, Near Surface Disposal, Transuranium Waste, Uranium Waste

---

Studies reported in this paper were supported in part by the Nuclear and industrial safety Agency in Ministry of Economy, Trade and Industry.

1 Special Topic Researcher (from Visible Information Center, Inc.)

2 Special Topic Researcher (from Mitsubishi Nuclear Fuel Co., Ltd.)

目 次

1. はじめに	1
2. ピット処分に対する濃度上限値算出のための基本的考え方及び評価手法	2
2.1 濃度上限値算出の基本方針	2
2.2 評価対象核種の設定	2
2.3 評価シナリオ及び被ばく経路	6
2.4 評価モデル/コードの概要	8
2.5 評価パラメータの設定	10
2.6 濃度上限値試算のための目安線量	11
2.7 評価期間	11
2.8 解析ケース	12
3. ピット処分の濃度上限値算出結果	12
3.1 TRU 核種を含む放射性廃棄物の基準線量相当濃度	12
3.2 濃度上限値評価における重要核種の推定	20
3.3 ウラン廃棄物の基準線量相当濃度	24
3.4 ラドンガス吸入経路の線量影響	30
4. ピット処分の濃度上限値算出結果のまとめ	31
参考文献	32
Appendix-1 ピット処分の濃度上限値評価モデル	34
Appendix-2 ピット処分の評価パラメータ	49

Contents

1. Introduction .....	1
2. Basic concept and assessment methods for deriving radioactivity concentration limit of concrete vault disposal .....	2
2.1 Basic policy for deriving radioactivity concentration limit .....	2
2.2 Selection of assessment radionuclide .....	2
2.3 Assessment scenarios and exposure pathways .....	6
2.4 Outline of assessment models and codes .....	8
2.5 Selection of assessment parameters .....	10
2.6 Dose criterion for deriving radioactivity concentration limit .....	11
2.7 Assessment period .....	11
2.8 Analysis case .....	12
3. Analysis result of radioactivity concentration limit for concrete vault disposal .....	12
3.1 Dose criterion concentration of transuranium waste .....	12
3.2 Estimation of relatively important radionuclides .....	20
3.3 Dose criterion concentration of uranium waste .....	24
3.4 Dose effect of radon gas inhalation exposure .....	30
4. Summary on radioactivity concentration limit estimated for concrete vault disposal .....	31
References .....	32
Appendix-1 Models to derive radioactivity concentration limits for concrete vault disposal .....	34
Appendix-2 Parameters and parameter values for deriving radioactivity concentration limits for concrete vault disposal .....	49

## 1. はじめに

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（第3次中間報告）」報告書<sup>(1)</sup>によると、「濃度上限値」とは、管理型処分による廃棄物埋設事業の許可申請が可能な低レベル放射性廃棄物の範囲を明確化することを意図して定められたものであり、廃棄物埋設事業の許可申請を行うことができる当該廃棄物に含まれる放射性核種濃度の最大値のことである。ただし、埋設事業の許可申請に記載された放射性廃棄物に含まれる核種濃度がその最大値（濃度上限値）を全て下回る場合であっても、直ちに埋設事業の許可がされるものではなく、事業許可の際の安全審査によって、個々の埋設処分場ごとの安全性が見極められ、その可否が判断されることとなる。

これまでに、原子炉施設の運転及び解体に伴い発生する放射性廃棄物（以下、「原子炉廃棄物」と記す。）を対象に、発生する廃棄物の性状、及び3種類の埋設処分方式別に濃度上限値が導出されている<sup>(1),(2),(3)</sup>。3種類の埋設処分方式とは、人工構築物を設置しない廃棄物埋設施設に浅地中処分する方法の「トレンチ処分」、浅地中にコンクリートピット等の人工構築物を設置して埋設する方法の「ピット処分」、及び一般的であると考えられる地下利用に対して十分余裕を持った深度（例えば、50～100m程度）や放射性核種の移行抑制機能の高い地中へ人工構築物を設置した埋設施設への処分の「余裕深度処分」である。再処理施設、MOX燃料施設等から発生するTRU核種を含む放射性廃棄物（以下、「TRU廃棄物」と記す。）及びウラン廃棄物に対する処分方法についても、原子力委員会による処分方策の検討に関する報告書において、放射性核種の種類と放射能濃度に応じた前述の3種類の埋設処分方法が報告されている<sup>(4),(5)</sup>。しかしながら、それら当該廃棄物に対する濃度上限値は基準値として定められていない状況である。

独立行政法人日本原子力研究開発機構安全研究センターでは、長寿命核種を有意に含んでいるTRU廃棄物及びウラン廃棄物の処分に備え、トレンチ処分やピット処分等の各埋設処分方式に処分可能な当該廃棄物の範囲を明確化するための濃度上限値（濃度区分値）検討の必要性を認識し、経済産業省・原子力安全・保安院からの受託研究「放射性廃棄物処分の長期的評価手法の調査」において、当該廃棄物の特徴を踏まえた濃度上限値算出のための評価用データや評価コードの整備を進め、各濃度上限値の評価を実施してきた。

本報告書では、TRU廃棄物及びウラン廃棄物を対象に、3種類の処分方法のうち「ピット処分」に対する濃度上限値算出の考え方及び評価手法（シナリオ、モデル/コード、パラメータ）について述べるとともに、整備した評価手法を用いた廃棄体中の基準線量に相当する評価対象の核種濃度（以下、「基準線量相当濃度」と記す。）の算出結果を示す。原子炉廃棄物を対象とした既往の政令濃度上限値は基準線量相当濃度を基に決められており、原子炉廃棄物に対して、原子力安全委員会では基準線量相当濃度の10倍の値を濃度上限値として導出している<sup>(1),(2),(3)</sup>。

なお、本研究のTRU廃棄物に対するピット処分の濃度上限値の算出結果は、原子力安全委員会「低レベル放射性固体廃棄物の埋設処分に係る放射能濃度上限値について」（平成19年5月21日）<sup>(6)</sup>に反映されている。本報告書はその濃度上限値の導出に至る評価手法及び算出結果の詳細について取りまとめたものである。

## 2. ピット処分に対する濃度上限値算出のための基本的考え方及び評価手法

### 2.1 濃度上限値算出の基本方針

原子力安全委員会では、原子炉施設の運転及び解体に伴い発生する固型化コンクリート等廃棄物を、人工構築物を設置して廃棄物埋設施設に浅地中処分する場合について、濃度上限値を算出している(以下、「現行の政令ピット処分評価」と記す。)<sup>(2),(3)</sup>。TRU 廃棄物に含まれるいくつかの放射性核種は現行の政令ピット処分評価に共通しており、対象とする TRU 廃棄物及びウラン廃棄物の種類も主にコンクリート等であることから、現行の政令ピット処分評価の考え方及び処分概念は本解析においても踏襲が可能と考えられる。

放射性廃棄物処分では、人工バリアと天然バリアの性能が相俟って最終的な性能目標を達成するものであり、両者がバリア性能を補完しあって全体の性能を確保すれば良い。濃度上限値評価において、人工バリアの具体的な仕様や天然バリアである地質媒体の条件を特定することは処分場の立地・設計の自由度を制限することであり、必ずしも好ましいことではない。

そこで、本解析では、天然バリアの分配係数や廃棄物層からの放射性核種の放出係数等、処分場の立地・設計に係わるパラメータについては、原子炉廃棄物を対象とした現行の政令ピット処分評価と整合を取ることとし、その評価における既往値を採用することとした。また、半減期、線量換算係数、農畜産物への移行係数等は最新の知見に基づいた値を採用することとした。

### 2.2 評価対象核種の設定

本解析の TRU 廃棄物のピット処分濃度上限値評価における評価対象核種の一覧を表 2.1 に示す。これら 66 核種は、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)<sup>(1)</sup>における余裕深度処分及び非固形化金属のトレンチ処分評価における核種選定の方法に準拠し、半減期1ヶ月以上の放射性核種である。一方、ウラン廃棄物の評価対象核種は、その中心核種である U-234、U-235、U-238 の3核種であるが、これらの核種も上記66核種に含まれている。

表 2.1 TRU 廃棄物・ウラン廃棄物のピット処分濃度上限値評価における対象核種一覧

No.	核種	半減期(y)	No.	核種	半減期(y)	No.	核種	半減期(y)	No.	核種	半減期(y)
1	H-3	1.2E+01	18	Mo-93	4.0E+03	35	Eu-155	4.8E+00	52	U-238	4.5E+09
2	Be-10	1.6E+06	19	Tc-99	2.1E+05	36	Ho-166m	1.2E+03	53	Np-237	2.1E+06
3	C-14	5.7E+03	20	Ru-106	1.0E+00	37	Pb-210	2.2E+01	54	Pu-238	8.8E+01
4	Cl-36	3.0E+05	21	Pd-107	6.5E+06	38	Po-210	3.8E-01	55	Pu-239	2.4E+04
5	Ca-41	1.0E+05	22	Ag-108m	4.2E+02	39	Ra-226	1.6E+03	56	Pu-240	6.6E+03
6	Mn-54	8.6E-01	23	Sn-121m	5.5E+01	40	Ra-228	5.8E+00	57	Pu-241	1.4E+01
7	Fe-55	2.7E+00	24	Sn-126	1.0E+05	41	Ac-227	2.2E+01	58	Pu-242	3.7E+05
8	Fe-59	1.2E-01	25	Sb-125	2.8E+00	42	Th-228	1.9E+00	59	Am-241	4.3E+02
9	Co-58	1.9E-01	26	Te-125m	1.6E-01	43	Th-229	7.3E+03	60	Am-242m	1.4E+02
10	Co-60	5.3E+00	27	I-129	1.6E+07	44	Th-230	7.5E+04	61	Am-243	7.4E+03
11	Ni-59	7.6E+04	28	Cs-134	2.1E+00	45	Th-232	1.4E+10	62	Cm-242	4.5E-01
12	Ni-63	1.0E+02	29	Cs-135	2.3E+06	46	Pa-231	3.3E+04	63	Cm-243	2.9E+01
13	Se-79	3.0E+05	30	Cs-137	3.0E+01	47	U-232	6.9E+01	64	Cm-244	1.8E+01
14	Sr-90	2.9E+01	31	Ce-144	7.8E-01	48	U-233	1.6E+05	65	Cm-245	8.5E+03
15	Zr-93	1.5E+06	32	Sm-151	9.0E+01	49	U-234	2.5E+05	66	Cm-246	4.7E+03
16	Nb-93m	1.4E+01	33	Eu-152	1.4E+01	50	U-235	7.0E+08			
17	Nb-94	2.0E+04	34	Eu-154	8.6E+00	51	U-236	2.3E+07			

(半減期の参考文献：Richard B. Firestone, "Table of Isotopes Eighth Edition", (1996)より設定。ただし、Se-79については ENSDF, Nuclear Data Sheets 96, 1, (2002)を参照)



表 2.1 の評価対象核種のうち、No.37～66 までの 30 核種は、図 2.1 及び図 2.2 に示す 4n 系列から 4n+3 系列に属する核種である。これらの核種については、崩壊連鎖によって生成及び累積する子孫核種の影響を考慮した。また、核種移行評価の対象とする子孫核種は、生物圏での核種移行の影響を考慮し、半減期が 10 日 (2.7E-2 年) 以上の表 2.2 に示す核種とした。半減期が 10 日に満たない核種については、その親核種と放射平衡状態にあると仮定し、評価時に線量換算係数を足しあわせることにより、親核種に含めて評価した。なお、Se-79 の半減期については、最新の評価済み核構造・崩壊データファイル ENSDF(2002)<sup>(7)</sup> のデータシートに記載されている値 (3.0E+5 年) を設定した。

表 2.2 TRU 廃棄物・ウラン廃棄物のピット処分濃度上限値評価において考慮する系列核種一覧

核種	半減期(year)	放射平衡を仮定した短寿命子孫核種	
4N系列	Cm-244	1.8E+01	-
	Pu-240	6.6E+03	-
	U-236	2.3E+07	-
	Th-232	1.4E+10	-
	Ra-228	5.8E+00	Ac-228,Fr-224
	U-232	6.9E+01	-
Th-228	1.9E+00	Ra-224,Rn-220,Po-216,Pb-212,Bi-212,Po-212,Tl-208	
4N+1系列	Cm-245	8.5E+03	-
	Pu-241	1.4E+01	U-237
	Am-241	4.3E+02	-
	Np-237	2.1E+06	-
	Pa-233	7.4E-02	-
	U-233	1.6E+05	-
	Th-229	7.3E+03	-
	Ra-225	4.1E-02	-
Ac-225	2.7E-02	Fr-221,At-217,Rn-217,Bi-213,Po-213,Tl-209,Pb-209	
4N+2系列	Cm-246	4.7E+03	-
	Am-242m	1.4E+02	Am-242,Np-238
	Cm-242	1.6E+02	-
	Pu-242	3.7E+05	-
	Pu-238	8.8E+01	-
	U-238	4.5E+09	-
	Th-234	6.6E-02	Pa-234m,Pa-234
	U-234	2.5E+05	-
	Th-230	7.5E+04	-
	Ra-226	1.6E+03	Rn-222,Po-218,At-218,Rn-218,Pb-214,Bi-214,Po-214,Tl-210
	Pb-210	2.2E+01	Bi-210,Hg-206,Tl-206
Po-210	3.8E-01	-	
4N+3系列	Cm-243	2.9E+01	-
	Am-243	7.4E+03	Np-239
	Pu-239	2.4E+04	-
	U-235	7.0E+08	Th-231
	Pa-231	3.3E+04	-
	Ac-227	2.2E+01	Fr-223,At-219
	Th-227	5.1E-02	-
	Ra-223	3.1E-02	Rn-219,Po-215,Pb-211,Bi-211,Po-211,Tl-207

(半減期の参考文献 Richard B.Firestone,"Table of Isotopes Eighth Edition",1996)

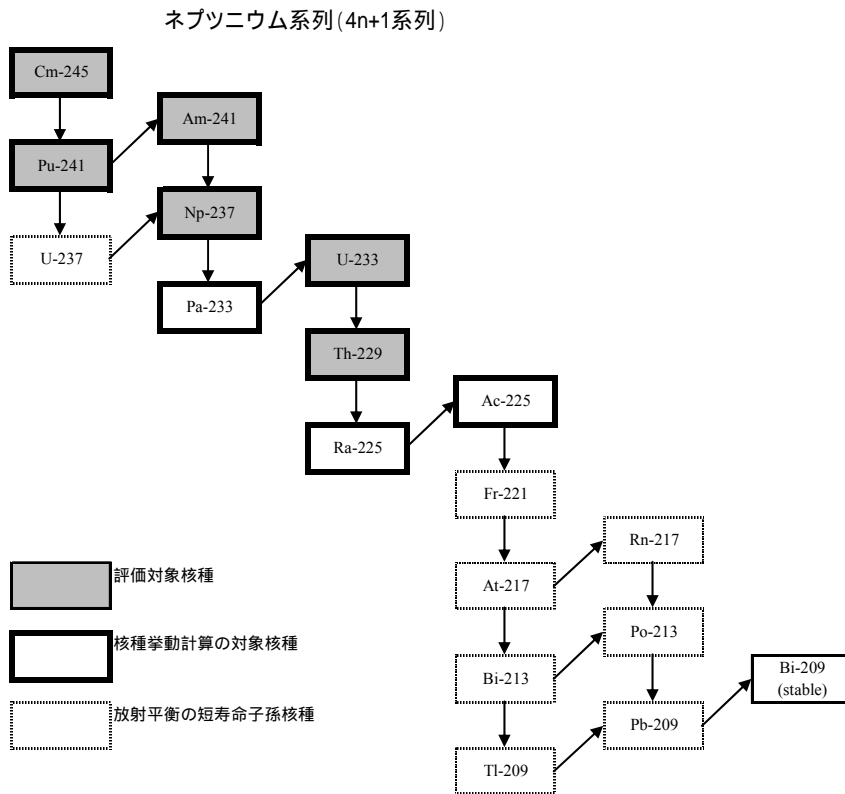
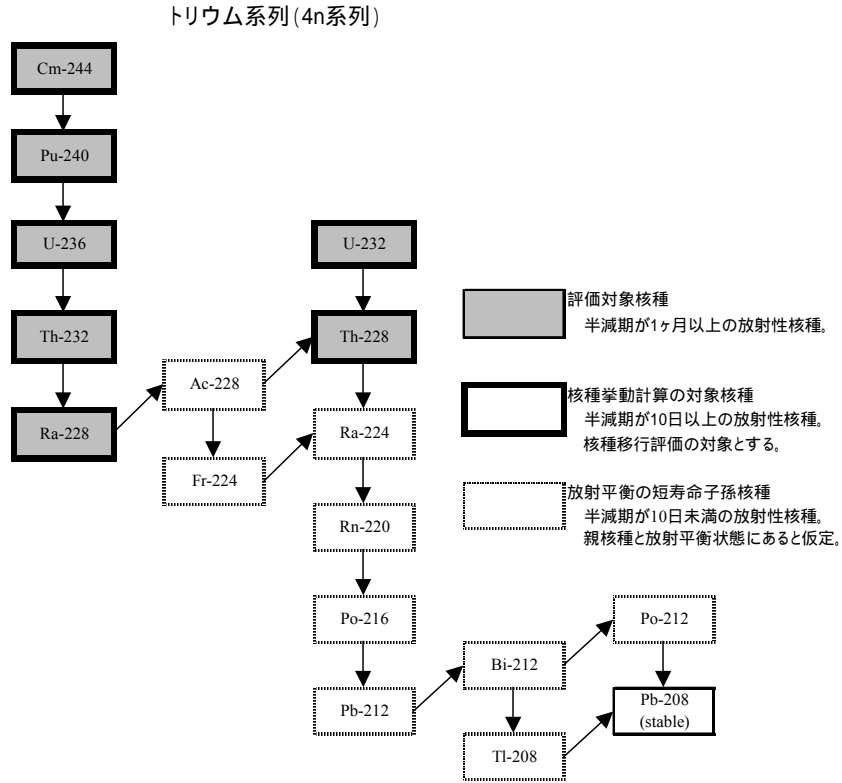


図 2.1 濃度上限値評価における対象核種 (4n 系列、4n+1 系列)

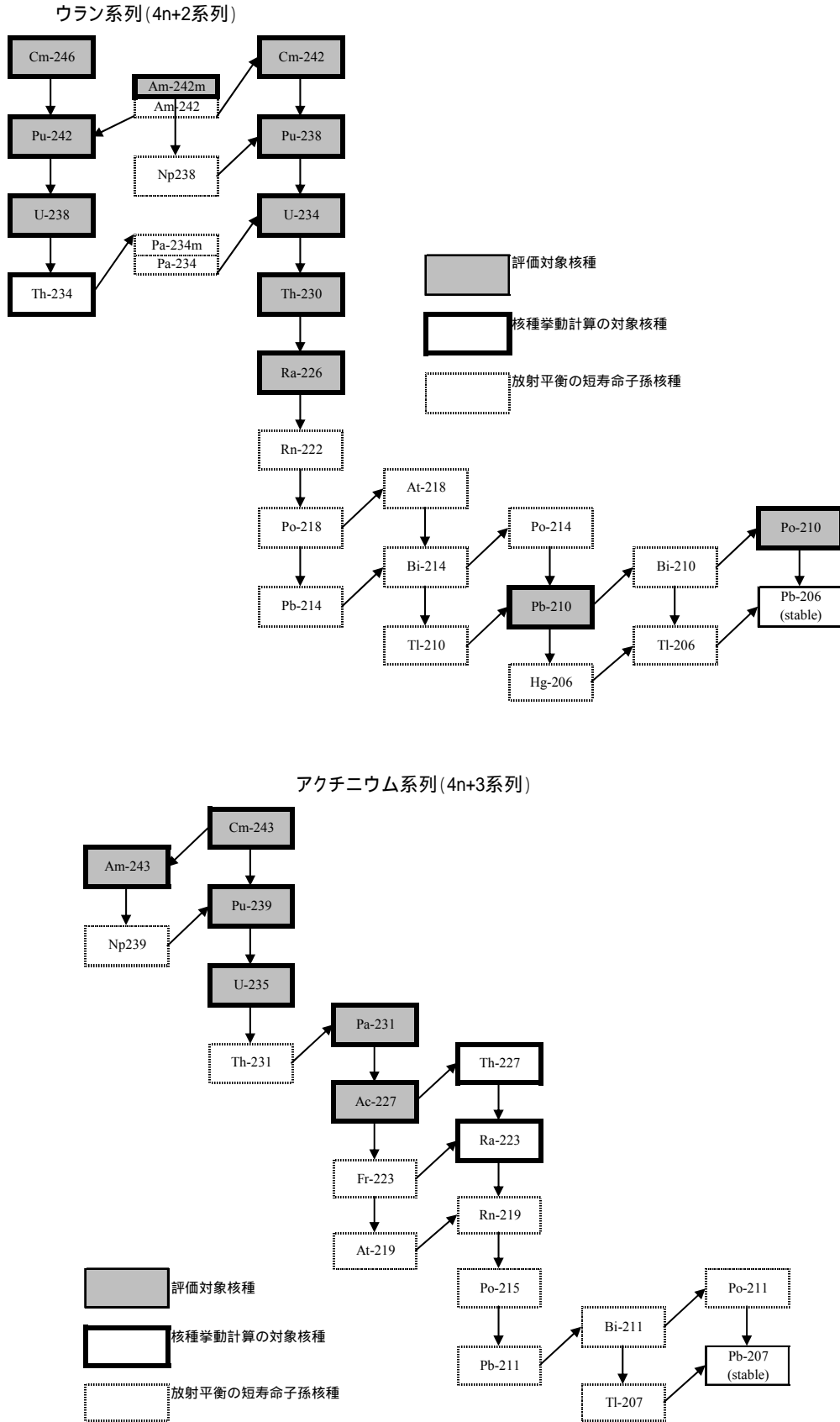


図 2.2 濃度上限値評価における対象核種 (4n+2 系列、4n+3 系列)

### 2.3 評価シナリオ及び被ばく経路

TRU 廃棄物及びウラン廃棄物のピット処分の評価では、原子炉廃棄物を対象とした現行の政令ピット処分評価よりも評価対象とする核種の種類が多くなり、また、その半減期が長期にわたる等の特徴を踏まえた評価シナリオ及び被ばく経路の検討を行う必要がある。現行の政令ピット処分評価では、濃度上限値算出のための評価シナリオとして、以下の4つのシナリオが選定されている。

処分場の操業中のスカイシャインを対象とした評価シナリオ（操業中シナリオ）

制度的管理期間（300年を想定）終了後の処分サイトの再利用に伴う被ばく事象を対象とした評価シナリオ（建設シナリオ・居住シナリオ）

処分施設から地下水への核種の漏洩に伴い発生する被ばく事象を対象とした評価シナリオ（河川水利用シナリオ）

これらの4つの評価シナリオは、「一般的事象を想定したシナリオ」（発生頻度が高く、一般公衆が被ばくを受ける可能性の懸念されるシナリオ）として考えられ、TRU 廃棄物及びウラン廃棄物を含むピット処分の場合においても、これら4つの評価シナリオは同様に「一般的事象を想定したシナリオ」であることに変わりはないことから、それらを実評価シナリオとして設定する。TRU 廃棄物及びウラン廃棄物のピット処分における評価シナリオ及び被ばく経路を表2.3に示す。また、表2.3に示した評価シナリオの概念図を図2.3（管理期間終了後の評価シナリオ）及び図2.4（操業中シナリオ）に示す。

表 2.3 ピット処分における評価シナリオ及び被ばく経路

評価シナリオ	形態	被汚染物	線量評価対象者	被ばく形態	経路番号
建設シナリオ	処分場跡地の再利用	覆土の掘削された廃棄物層	建設作業員	土壌直接線・外部	1
居住シナリオ		覆土で覆われた廃棄物層	居住者	農作物(果実)摂取・内部	2
				土壌直接線・外部	3
河川水利用シナリオ	河川水利用	河川水	河川水利用者	河川水飲用・内部	4
			河川産物消費者	河川産物摂取・内部	5
		飼育水	畜産物消費者	畜産物摂取・内部	6
操業中シナリオ	処分場操業	廃棄物	居住者(敷地境界)	スカイシャイン・外部	7

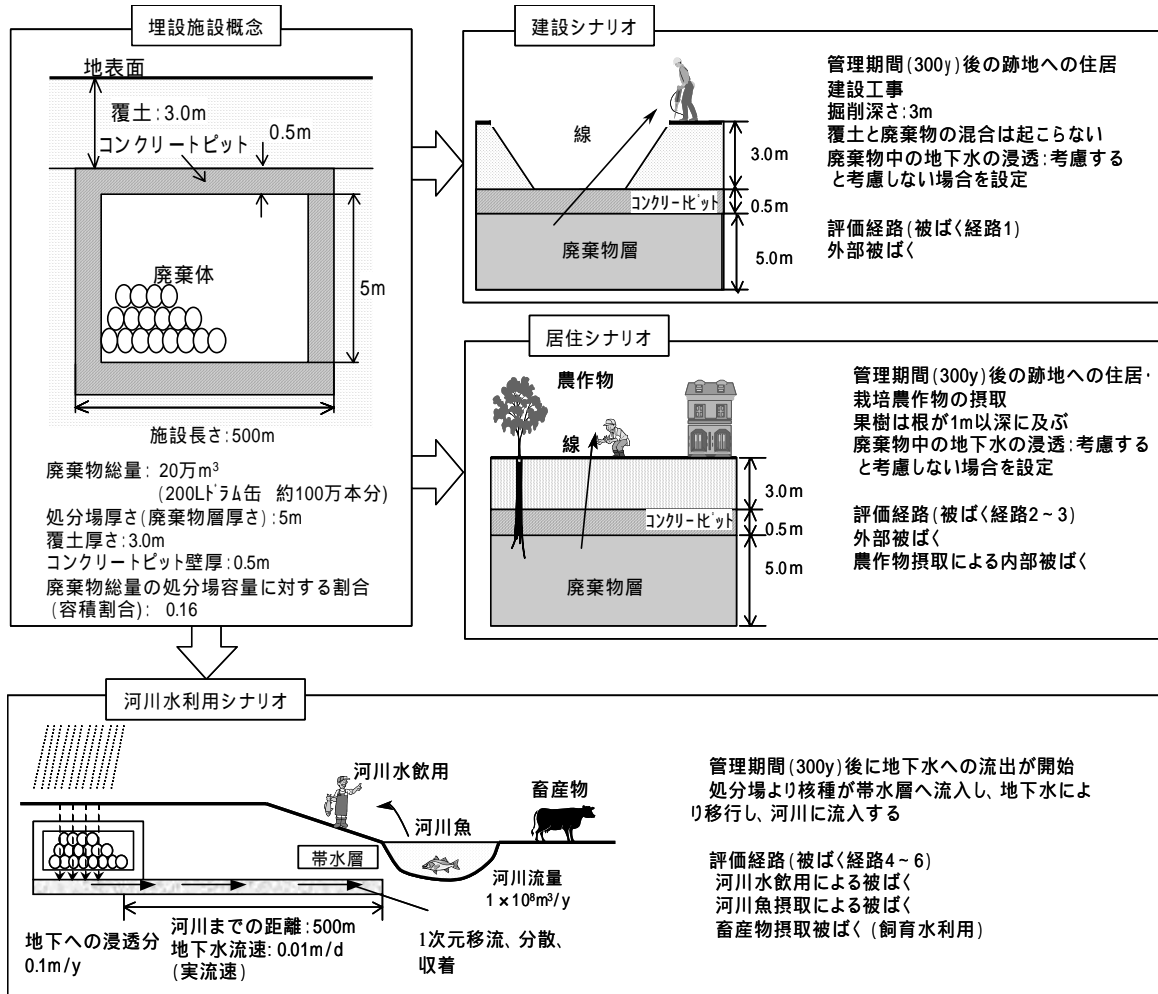


図 2.3 管理期間終了後の評価シナリオ概念図(ピット処分)

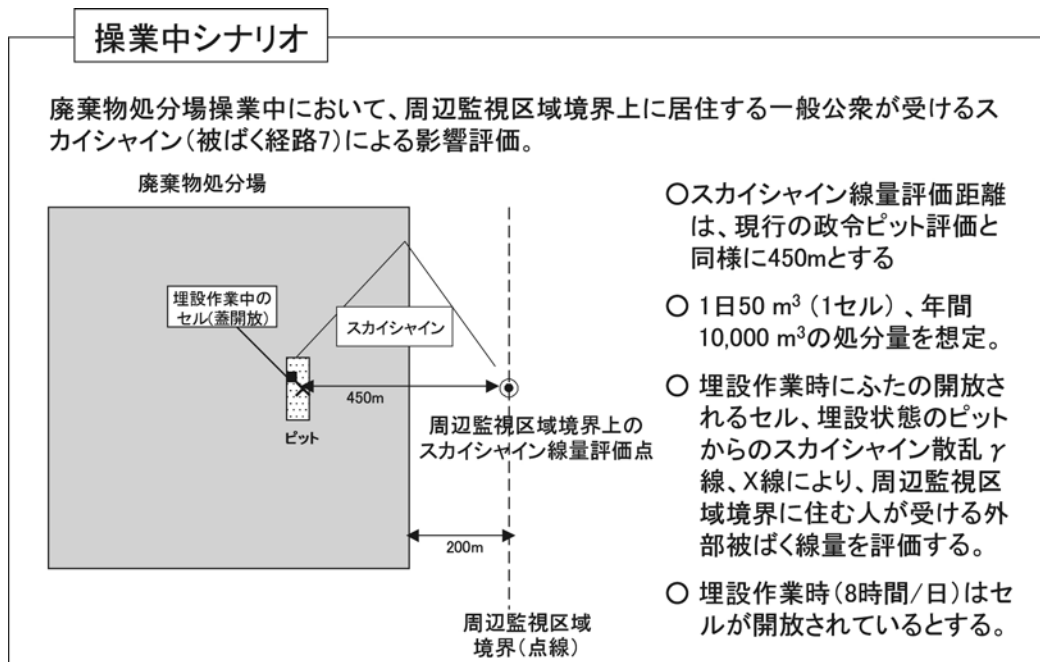


図 2.4 操作中シナリオ概念図(ピット処分)

## 2.4 評価モデル/コードの概要

ピット処分における跡地利用に関するシナリオ（建設シナリオ・居住シナリオ）及び地下水による核種移行に関するシナリオ（河川水利用シナリオ）の濃度上限値評価では、「低レベル放射性廃棄物の埋設処分安全評価コード：GSA-GCL2」<sup>(8)</sup>を使用した。GSA-GCL2は、トレンチ・ピット処分等の比較的浅い地中への処分（浅地中処分）から一般的であると考えられる地下利用に対して十分余裕を持った深度への処分（余裕深度処分）までを対象範囲に含めたコードであり、内蔵されている評価モデル（ソースタムモデル、天然バリアモデル及び生物圏モデル）は、トレンチ処分、ピット処分、余裕深度処分に関する現行の政令濃度上限値評価<sup>(1),(2),(3)</sup>において使用されているモデルと基本的に同一のものである。また、処分場の操業中における周辺居住者のスカイシャインを対象とした評価シナリオ（操業中シナリオ）の線量評価には、「処分操業中シナリオのスカイシャイン線量評価コードシステム：SKY-OSD」<sup>(9)</sup>を使用した。本コードは、1次元Sn法輸送計算コードANISN<sup>(10)</sup>及び2次元Sn法輸送計算コードDOT3.5<sup>(11)</sup>から構成されている。

各評価コード及びモデルの概要については、以下に述べる。なお、ピット処分の濃度上限値評価において使用した各評価モデルの詳細については、Appendix-1に記載した。

### （1）低レベル放射性廃棄物の埋設処分安全評価コード：GSA-GCL2

図 2.5 は、GSA-GCL2 において、ピット処分の濃度上限値算出に使用した各モデルの関係を模式的に表したものである。まず、ソースタムモデルでは、処分施設をコンパートメントとして表現し、崩壊系列、移流、収着等を考慮した非定常的な施設内の核種量の変化を動的コンパートメントモデルにより、廃棄物層中の核種濃度（跡地利用シナリオ評価）及び処分施設から天然バリアへ漏洩する核種の移行フラックス（地下水移行シナリオ評価）を計算する。また、天然バリアモデルは、処分施設より漏洩した核種の帯水層中における移行を評価し、生態圏に流入する核種移行量を評価するモデルである。帯水層中の核種移行は、分配平衡を仮定した1次元移流分散モデルにより表される。さらに、生物圏モデルは、ラドンガスの汚染土壌からの散逸量や屋内外のラドン濃度を評価するモデル（ラドンガス移行評価モデル）や河川に流入した放射性核種の、環境媒体中での移行を評価するモデル（環境媒体中の核種移行評価モデル）、各経路における一般公衆の被ばく線量の算出するモデル（被ばく線量評価モデル）の3つのサブモデルから構成されている。

### （2）処分操業中シナリオのスカイシャイン線量評価コードシステム：SKY-OSD

図 2.6 は、SKY-OSD における処分場操業時の周辺居住者のスカイシャインによる外部被ばく線量の評価の流れを模式的に表したものである。SKY-OSD では、処分場操業中における周辺居住者のスカイシャインによる外部被ばく線量は、廃棄物中の放射性核種から放出された光子（線及びX線）が、評価地点に到達するまでの輸送計算を行うことにより算出される。この輸送計算は、廃棄体領域における光子の輸送計算と、空気領域における光子輸送計算の2つに分け、前者は1次元無限平板モデルとしてSn法による1次元輸送計算コードANISN<sup>(10)</sup>を用いて行い、後者は2次元円柱モデルとして2次元輸送計算コードDOT3.5<sup>(11)</sup>を用いて行う。輸送方程式を解くためのエネルギー群構造は、ORIGEN-2<sup>(12)</sup>コードの18群構造とし、評価に用いた断面積ライブラリは、PHOTX<sup>(13)</sup>断面積ライブラリである。また、評価地点における周辺居住者のスカイシャインによる外部被ばく線量は、DOT3.5により計算された評価地点における処分場単位面積、単位時間当りのスカイシャイン線量に対して、想定した廃棄物処分量、埋設作業時間等を考慮することにより算出される。

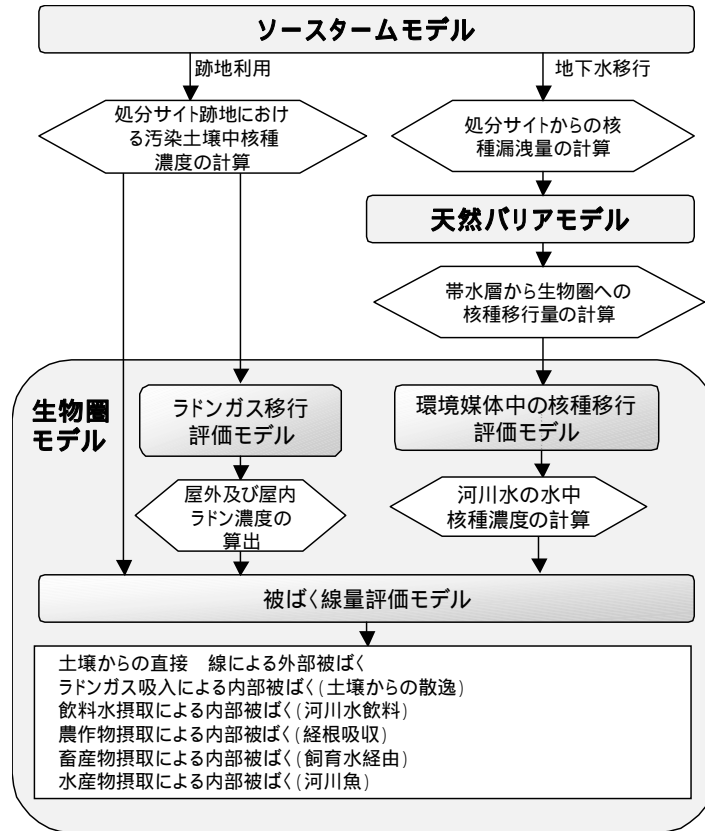


図 2.5 GSA-GCL2 コードにおける濃度上限値算出のための各評価モデルの関係

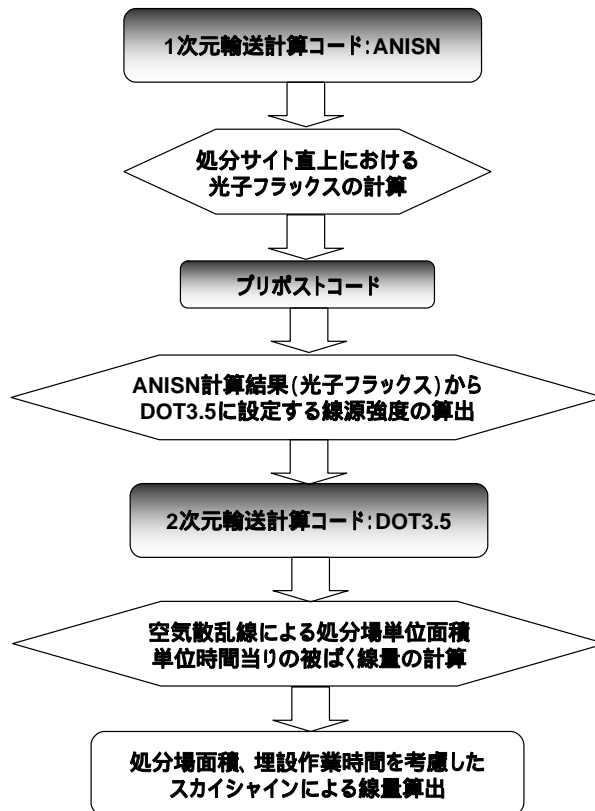


図 2.6 SKY-OSD コードにおけるスカイシャイン線量評価の流れ

## 2.5 評価パラメータの設定

本解析における TRU 廃棄物及びウラン廃棄物の濃度上限値評価では、半減期、線量換算係数、農畜産物への移行係数等のパラメータについては最新の知見に基づいた値を採用することとし、現行の政令濃度上限値の評価（62 年中間報告<sup>(2)</sup>、第 2 次中間報告<sup>(3)</sup>、第 3 次中間報告<sup>(1)</sup>）から見直しを行った。また、当該廃棄物を対象にしたことで新たに追加された評価対象核種についても同様の方法により各パラメータを設定した。以下に、見直し、追加を行ったパラメータ及びその設定方法を示す。

### 半減期

- Table of Isotopes Eighth Edition, (1996)<sup>(14)</sup>より設定。ただし、Se-79 については ENSDF, Nuclear Data Sheets 96, 1, (2002)<sup>(7)</sup>を参照。
- 崩壊連鎖を考慮した核種移行の解析を行い、子孫核種の生成の寄与を考慮。

### 線量換算係数（内部被ばく、外部被ばく）

- 内部被ばく線量換算係数（経口摂取）  
ICRP Publ.72<sup>(15)</sup>における一般公衆に対する値を設定。
- 外部被ばく線量換算係数  
QAD-CGGP2<sup>(16)</sup>により JAERI-Data/Code 2001-004<sup>(17)</sup>の線及び X 線の放出エネルギー及び放出率を直接使用し算出。実効線量 ICRP Publ.74<sup>(18)</sup>の導入。

### 農作物・畜産物への移行係数、河川産物への濃縮係数

- Derivation of activity limits for the disposal of radioactive waste in near surface disposal facilities, IAEA-TECDOC-1380 (2003)<sup>(19)</sup>における選定値を基本にパラメータの見直しを実施。

### 人の摂取量

- 河川水の飲用量：IAEA SRS No.19<sup>(20)</sup>より設定。
- 農作物及び畜産物の摂取量：農作物の種類を、果実のみ、畜産物の種類を、牛乳、牛肉、豚肉、鶏肉、鶏卵とし、平成 15 年度の国民健康・栄養調査報告<sup>(21)</sup>の各摂取量に対して、汚染された農作物及び畜産物以外の摂取と食習慣の変動を考慮して 0.1 を乗じた値を設定。
- 河川産物の摂取量：平成 15 年度の国民健康・栄養調査報告<sup>(21)</sup>の魚介類消費量から、保守的に半分が河川産物（淡水産物）として摂取するとし、汚染された河川産物以外の摂取と食習慣の変動を考慮して 0.1 を乗じた値を設定。

### 家畜の飼育水の摂取量

- 家畜の飼育水摂取量：肉牛、乳牛は IAEA SRS No.19<sup>(20)</sup>より設定し、豚、鶏は PNL-3209<sup>(22)</sup>より設定。

また、操業シナリオのスカイシャインによる一般公衆の外部被ばくの評価では、現行の政令ピット処分評価と同様の評価条件（処分量、埋設条件、敷地境界までの距離等）を設定し、ANISN<sup>(10)</sup>及び DOT3.5<sup>(11)</sup>により JAERI-Data/Code 2001-004<sup>(17)</sup>の線及び X 線の放出エネルギー及び放出率を直接使用した。

本解析で使用した評価パラメータの一覧については、Appendix-2 に記載した。



## 2.6 濃度上限値試算のための目安線量

現行の政令ピット処分評価では、操業中シナリオに対しては、公衆の線量限度である 1mSv/y を目安線量として設定している。また、一般的と考えられる事象である河川水利用シナリオと跡地利用シナリオ（建設シナリオ・居住シナリオ）については、目安線量として規制除外線量である 10 $\mu$ Sv/y を設定している。TRU 廃棄物及びウラン廃棄物のピット処分の濃度上限値算出に対しても同様に、操業中シナリオ及び管理期間終了後の各シナリオに対して、線量の目安値 1mSv/y 及び 10 $\mu$ Sv/y を、それぞれ設定した。現行の政令ピット処分評価における濃度上限値の算出手順を図 2.7 に示す。本試算においても、基本的にこの算出手順に従うものとしたが、本評価では、現行の政令ピット処分評価のように、決定シナリオの基準線量相当濃度を 10 倍して濃度上限値とすることは行わず、基準線量相当濃度そのものを計算結果として示した。

なお、相対重要度(D/C)による重要核種の選定に必要な検討対象とする廃棄物の平均濃度(D)に関するデータは、文献(6)より引用した。

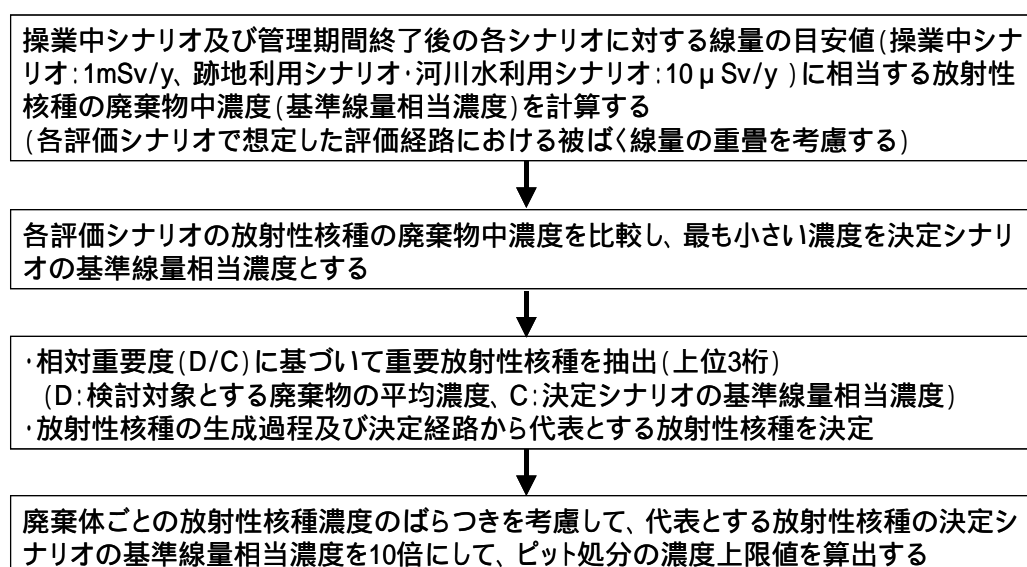


図 2.7 現行のピット処分における政令濃度上限値算出フロー

## 2.7 評価期間

現行の政令ピット処分評価では、各評価経路に対する被ばく線量の最大値が現れるまで計算し、その被ばく線量の最大値から濃度上限値の検討を行っている。評価期間については、本解析においても、同様に、被ばく線量の最大値が現れる時点までの評価を基本とした。

また、操業中シナリオの評価は、処分場操業期間中の限られた短期間におけるシナリオであることから、特にその期間の子孫核種の生成の影響は考慮する必要はないと判断し、廃棄物の埋設作業直後における処分場敷地境界上に居住する一般公衆の被ばく線量を最大値として評価した。

処分場の跡地利用を想定した建設シナリオ及び居住シナリオの被ばく経路では、現行の政令ピット処分評価と同様に、当該廃棄物に対しても 300 年の管理期間を仮定して、評価期間を管理期間終了後から被ばく線量の最大値が現れる時点までとした。

また、河川水利用シナリオの評価期間は、300 年の管理期間終了後に地下水への核種流出が開始するものとし、管理期間終了後から被ばく線量の最大値が現れる時点までとした。

## 2.8 解析ケース

管理期間終了後のピット処分の評価シナリオは、跡地利用シナリオ（建設シナリオ・居住シナリオ）と地下水移行シナリオ（河川水利用シナリオ）に大別される。これらの評価シナリオに対する評価期間は、ウラン核種の子孫核種の生成によるビルドアップを考慮すると数万年以上の長期にわたることになる。また、跡地利用シナリオ評価において、雨水等による地下水の浸透によって処分場の状態が変化し、処分場から核種漏洩が生じて廃棄物層中の核種濃度の減衰が現実的に生じると考えられる。そこで、 $4n$  系列から  $4n+3$  系列に属する核種（以下、「核種」と記す。）に対する評価で、以下の解析ケースを設定した。

- ・ 処分場跡地の利用に伴う被ばく経路の評価において、極めて保守的な条件として長期的に降雨浸透による核種漏洩を想定しない場合「流出なし」と、現実的な前提条件として降雨浸透による核種漏洩を想定する場合「流出あり」の影響解析を実施した。「流出あり」のケースでは、廃棄物層からの核種の浸出率を表す放出係数のデータを設定した。
- ・ ウラン廃棄物の中心核種である U-234、U-235 及び U-238 は長寿命核種であり、それらの被ばく線量については、子孫核種のビルドアップによる影響が大きいと考えられる。そのため、その評価においては、処分場からの核種漏洩の程度を表すパラメータの感度解析を行うこととし、前述の廃棄物層からの核種の浸出率を表す放出係数のデータを設定した「流出あり・放出係数ケース」の他に、評価の長期性を踏まえ、廃棄物層の劣化を考慮してより核種が流出しやすい条件に相当する砂に対する分配係数のデータ（IAEA TRS-364<sup>(23)</sup>）を設定した「流出あり・分配係数ケース」の解析を実施した。また、河川水利用シナリオの評価においても、処分場からの核種の漏洩量の計算には「放出係数」と「砂に対する分配係数」を使用した解析を実施した。

なお、表 2.1 における 核種以外の No.1～No.36 までの核種（以下、「核種」と記す。）については、処分場跡地の評価では、核種漏洩の有無の前提条件に依存せず管理期間終了時点が最大線量となるため、核種漏洩を想定しない場合のみの解析とした。

また、ウラン廃棄物のうち、U-234 及び U-238 に関しては、上記の解析ケースで得られた基準線量相当濃度でピット処分された場合を想定し、ラドンガス吸入による内部被ばくの線量影響の程度を把握することを目的とした解析を実施した。

## 3. ピット処分の濃度上限値算出結果

### 3.1 TRU 核種を含む放射性廃棄物の基準線量相当濃度

TRU 廃棄物に含まれる 66 核種を対象としたピット処分の各評価シナリオ・評価経路の基準線量相当濃度結果を表 3.1 に示す。「核種」については、処分場跡地の利用に伴う被ばく経路の評価において、極めて保守的な条件として長期的に降雨浸透による核種漏洩を想定しない場合「流出なし」と、現実的な前提条件として降雨浸透による核種漏洩を想定する場合「流出あり」の条件に対する結果を併記している。「核種」に対しては、処分場跡地の評価では、核種漏洩の有無の前提条件に依存せず管理期間終了時点が最大線量となるため、核種漏洩を想定しない場合のみの解析結果である。

TRU 廃棄物を対象としたことで、原子炉廃棄物に関する現行の政令ピット処分濃度上限値評価から

新しく基準線量相当濃度として計算された核種は、「核種」では Sn-126、I-129 等の 9 核種、「核種」では U-238、Pu-241 等の 24 核種が挙げられ、核種が多く追加されているのが特徴である。

また、ピット処分に関する現行の政令濃度上限値に定められている設定核種を対象に、本解析と現行の政令ピット処分評価の基準線量相当濃度における主な評価パラメータの変更点を整理した結果を表 3.2 に示す。

政令ピット処分濃度上限値に定められている「核種」については、パラメータの見直しにより、基準線量相当濃度は 0.4~14 倍程度変化した。変更起因した主なパラメータは、内部被ばくに関しては内部被ばく線量換算係数、半減期、果実・河川産物の摂取量、果実への移行係数及び河川産物への濃縮係数である。スカイシャイン外部被ばくに関しては、政令ピット処分評価では 0.3 MeV 以上の代表的な線源エネルギーに対する線量評価であるのに対し、本解析では 10 keV 以上の各エネルギー線束を対象とした Origen18 群ライブラリによる評価であることが主な要因である。

「核種」についての政令ピット処分濃度上限値評価では、子孫核種を考慮しておらず、また、全核種を被ばく線量が最も厳しい Am-241 で代表させている。パラメータの見直し・子孫核種の考慮をした本解析では、Am-241 の決定経路は政令評価と同じく農作物摂取経路となるが、基準線量相当濃度は、政令評価と比べると 25 倍程度高くなる。この変更起因した主なパラメータは、子孫核種を考慮しても、農作物摂取経路で最大線量示す核種であった Am-241 自身の内部被ばく線量換算係数、果実への移行係数、果実の摂取量である。

その他の核種（政令ピット処分濃度上限値に定められていない核種）については、最新のパラメータに変更することで、政令ピット処分評価における基準線量相当濃度は 1 桁程度変化し、その主な要因は、政令濃度上限値に定められている核種と同様に、被ばく線量換算係数や摂取量等であった。

また、「核種」の跡地利用のシナリオ（建設シナリオ及び居住シナリオ）の評価において、処分場からの核種流出の有無が決定経路の基準線量相当濃度に有意な影響（オーダーまたは有効数字 1 桁目の変化）を与える核種は、U-233、U-234、U-235、U-238 及び Np-237 の 5 核種であり、これらの基準線量相当濃度は、核種の流出を想定することにより、U-233 で 1.2 倍、U-234 及び U-235 で 2 倍、Np-237 で 4.3 倍、U-238 で 13 倍程度高くなった。

これは子孫核種生成の影響が関係している。例として Np-237 について、その決定経路である農作物摂取経路の線量経時変化を図 3.1 に示す。「流出なし」ケースのピーク出現時間は処分場から 50 万年経過後であり、子孫核種の 1 つである Ra-225 の被ばく線量の増大により、管理期間終了時（300 年後）の被ばく線量を超える結果となっている。また、「流出あり」ケースでは、Np-237 が流出することによって子孫核種の被ばく線量の増大が抑えられ、「流出なし」ケースと比較すると、1/4 程度に最大被ばく線量が低下する結果となっている。

一方、上記 5 核種以外の核種には流出の有無の影響がみられなかった。Pu-239 及び Th-232 の決定経路である農作物摂取経路の線量経時変化を図 3.2 及び図 3.3 に示す。Pu-239 では、子孫核種の 1 つである Pa-231 が放射平衡に達しても、その被ばく線量は管理期間直後の Pu-239 の線量より低く、当該経路の基準線量相当濃度は、核種流出の有無に影響しない。また、Th-232 では、子孫核種の 1 つである Ra-228 が管理期間終了時である 300 年より前に Th-232 と放射平衡に達し、最大の被ばく線量を示している。その後被ばく線量が増大することはないため、当該経路の基準線量相当濃度は、核種流出の有無に影響しないことが分かる。

以上より、上記 5 核種については、長期的評価におけるより現実的な考え方として処分場からの核種流出を想定することにより、基準線量相当濃度が数倍から十数倍程度大きくなる可能性が示された。

表 3.1 TRU 廃棄物のピット処分における各評価シナリオ・評価経路の基準線量相当濃度結果一覧(1/4)

核種	半減期 (y)	現行の政令評価の 基準線量相当濃度		パラメータ見直しによる各評価シナリオ・評価経路における基準線量相当濃度 <sup>*1</sup> (Bq/ton)						パラメータ見直しによ る決定シナリオの基準 線量相当濃度			
		濃度 (Bq/ton)	決定 シナリオ	居住シナリオ			河川水利用シナリオ			重量 レベル	操作 シナリオ	濃度 (Bq/ton)	決定 シナリオ
				外部	農作物	重量 レベル	飲料水	河川産物	畜産物				
H-3	1.2E+01	1.5E+16	居住	-	2.8E+16	2.8E+16	-	-	-	-	-	2.8E+16	居住
Be-10	1.6E+06	-	*2	-	1.4E+11	1.4E+11	3.0E+11	1.1E+12	7.0E+14	2.3E+11	-	1.4E+11	居住
C-14	5.7E+03	3.5E+09	河川水利用	-	2.8E+09	2.8E+09	9.4E+11	7.1E+09	6.7E+13	7.0E+09	-	2.8E+09	居住
Cl-36	3.0E+05	7.8E+06	居住	1.3E+13	3.4E+07	3.4E+07	7.3E+10	5.5E+11	5.4E+12	6.3E+10	2.3E+17	3.4E+07	居住
Ca-41	1.0E+05	3.1E+08	居住	-	1.6E+09	1.6E+09	2.9E+12	5.5E+12	1.8E+15	1.9E+12	-	1.6E+09	居住
Mn-54	8.6E-01	2.3E+13	操業中	-	-	-	-	-	-	-	3.3E+13	3.3E+13	操業中
Fe-55	2.7E+00	3.7E+18	操業中	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe-59	1.2E-01	9.3E+12	操業中	-	-	-	-	-	-	-	1.4E+13	1.4E+13	操業中
Co-58	1.9E-01	3.1E+13	操業中	-	-	-	-	-	-	-	2.8E+13	2.8E+13	操業中
Co-60	5.3E+00	4.1E+12	操業中	-	-	-	-	-	-	-	6.8E+12	6.8E+12	操業中
Ni-59	7.6E+04	2.9E+10	居住	1.2E+14	8.3E+10	8.3E+10	5.0E+13	1.9E+14	7.3E+15	3.9E+13	2.2E+18	8.3E+10	居住
Ni-63	1.0E+02	8.9E+10	居住	-	3.0E+11	3.0E+11	-	-	-	-	-	3.0E+11	居住
Se-79	3.0E+05	-	-	-	5.4E+08	5.4E+08	3.3E+11	6.1E+11	1.5E+13	2.1E+11	-	5.4E+08	居住
Sr-90	2.9E+01	6.7E+09	居住	-	9.0E+10	9.0E+10	-	-	-	-	-	9.0E+10	居住
Zr-93	1.5E+06	1.5E+10	居住	-	2.8E+10	2.8E+10	1.2E+12	1.5E+12	6.6E+16	6.4E+11	-	2.8E+10	居住
Nb-93m	1.4E+01	1.9E+17	居住	-	9.5E+17	9.5E+17	-	-	-	-	-	9.5E+17	居住
Nb-94	2.0E+04	1.1E+09	建設	4.5E+08	9.3E+09	9.3E+09	8.3E+13	1.0E+14	4.3E+18	4.6E+13	1.7E+13	4.5E+08	建設
Mo-93	4.0E+03	7.8E+08	居住	-	2.6E+08	2.6E+08	-	-	-	-	-	2.6E+08	居住

\*1 天然/人工の分配係数や放出係数など処分場の立地・設計に関するパラメータは現行の政令ピット評価における既往値を使用するとし、線量換算係数、半減期、果実の摂取量、果実への移行係数、河川水飲用量、河川魚摂取量、家畜の飼育水摂取量、畜産物摂取量、飼育水から畜産物への移行係数、河川魚への濃縮係数の値を最新の知見に基づいた値を採用して評価した結果である。

\*2 現行の政令評価において「-」は検討対象外核種であることを示す。また、本解析における「-」は基準線量相当濃度が $1.0 \times 10^{20}$  Bq/ton以上であることを示す。

表 3.1 TRU 廃棄物のピット処分における各評価シナリオ・評価経路の基準線量相当濃度結果一覧(2/4)

核種	半減期 (y)	現行の政令評価の 基準線量相当濃度		パラメータ見直しによる各評価シナリオ・評価経路における基準線量相当濃度 <sup>*1</sup> (Bq/ton)				パラメータ見直しによる 決定シナリオの基準 線量相当濃度					
		濃度 (Bq/ton)	決定 シナリオ	建設 シナリオ	居住シナリオ			河川水利用シナリオ		操作中 シナリオ	濃度 (Bq/ton)	決定 シナリオ	
Tc-99	2.1E+05	1.9E+07	居住	1.8E+19	-	2.4E+07	2.4E+07	1.1E+11	2.0E+12	1.1E+14	1.0E+11	2.4E+07	居住
Ru-106	1.0E+00	- <sup>*2</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.5E+14	操作中
Pd-107	6.5E+06	-	-	-	-	2.8E+10	2.8E+10	3.1E+13	1.2E+15	1.5E+16	3.0E+13	2.8E+10	居住
Ag-108m	4.2E+02	4.1E+08	居住	1.2E+09	-	5.7E+08	5.7E+08	-	-	-	-	5.7E+08	居住
Sn-121m	5.5E+01	1.6E+12	居住	-	-	1.3E+11	1.3E+11	-	-	-	-	1.4E+11	居住
Sn-126	1.0E+05	-	-	5.7E+08	-	3.1E+08	3.1E+08	4.1E+11	5.2E+10	7.6E+14	4.6E+10	3.1E+08	居住
Sb-125	2.8E+00	2.9E+14	操作中	-	-	-	-	-	-	-	-	1.1E+14	操作中
Te-125m	1.6E-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.2E+17	操作中
I-129	1.6E+07	-	-	-	-	1.4E+07	1.4E+07	5.9E+08	5.5E+09	7.2E+10	5.3E+08	1.4E+07	居住
Cs-134	2.1E+00	1.9E+13	操作中	-	-	-	-	-	-	-	-	2.0E+13	操作中
Cs-135	2.3E+06	-	-	-	-	2.6E+09	2.6E+09	5.3E+12	1.0E+12	4.1E+14	8.4E+11	2.6E+09	居住
Cs-137	3.0E+01	9.3E+10	居住	2.0E+12	-	5.2E+11	5.2E+11	-	-	-	-	7.7E+13	居住
Ce-144	7.8E-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.9E+14	操作中
Sm-151	9.0E+01	2.0E+12	居住	-	-	8.7E+12	8.7E+12	-	-	-	-	8.7E+12	居住
Eu-152	1.4E+01	4.8E+13	操作中	2.0E+15	-	3.7E+17	3.7E+17	-	-	-	-	2.0E+13	操作中
Eu-154	8.6E+00	3.3E+13	操作中	1.0E+19	-	-	-	-	-	-	-	1.6E+13	操作中
Eu-155	4.8E+00	1.6E+16	操作中	-	-	-	-	-	-	-	-	5.9E+15	操作中
Ho-166m	1.2E+03	7.0E+09	居住	6.2E+08	-	3.6E+10	3.6E+10	-	-	-	-	1.7E+13	建設

\*1 天然バリアの分配係数や放出係数など処分場の立地・設計に関するパラメータは現行の政令ピット評価における既往値を使用するとし、線量換算係数、半減期、果実の摂取量、果実への移行係数、河川水飲用量、河川魚摂取量、家畜の飼育水摂取量、畜産物摂取量、飼育水から畜産物への移行係数、河川魚への濃縮係数の値を最新の知見に基づいた値を採用して評価した結果である。

\*2 現行の政令評価において「-」は検討対象外核種であることを示す。また、本解析における「-」は基準線量相当濃度が $1.0 \times 10^{60}$  Bq/ton以上であることを示す。

表 3.1 TRU 廃棄物のピット処分における各評価シナリオ・評価経路の基準線量相当濃度結果一覧 (3/4)

核種	半減期 (y)	核種流出者慮の有無	現行の政令評価の基準線量相当濃度		パラメータ見直しによる各評価シナリオ・評価経路における基準線量相当濃度 <sup>*1</sup> (Bq/ton)						パラメータ見直しによる決定シナリオの基準線量相当濃度			
			濃度 (Bq/ton)	決定シナリオ	建設シナリオ		居住シナリオ		河川水利用シナリオ		操業中シナリオ		濃度 (Bq/ton)	決定シナリオ
					外部	外部	農作物	重量レベル	飲料水	河川産物	畜産物	重量レベル		
Pb-210	2.2E+01	流出なし	-	-	9.1E+17	-	3.4E+11	3.4E+11	-	-	-	1.0E+18	3.4E+11	居住
			-	-	9.1E+17	-	3.4E+11	3.4E+11	-	-	-	1.0E+18	3.4E+11	居住
Po-210	3.8E-01	流出なし	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.7E+18	2.7E+18	操業中
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.7E+18	2.7E+18	操業中
Ra-226	1.6E+03	流出あり	-	-	1.5E+08	1.1E+17	9.7E+06	9.7E+06	-	-	-	8.7E+15	9.7E+06	居住
			-	-	1.5E+08	1.1E+17	9.7E+06	9.7E+06	-	-	-	8.7E+15	9.7E+06	居住
Ra-228	5.8E+00	流出なし	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ac-227	2.2E+01	流出なし	-	-	1.5E+14	-	6.0E+11	6.0E+11	-	-	-	2.6E+18	6.0E+11	居住
			-	-	1.5E+14	-	6.0E+11	6.0E+11	-	-	-	2.6E+18	6.0E+11	居住
Th-228	1.9E+00	流出なし	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.9E+16	6.9E+16	操業中
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.9E+16	6.9E+16	操業中
Th-229	7.3E+03	流出なし	-	-	3.9E+09	9.7E+19	3.8E+07	3.8E+07	-	-	-	9.0E+14	3.8E+07	居住
			-	-	3.9E+09	9.7E+19	3.8E+07	3.8E+07	-	-	-	9.0E+14	3.8E+07	居住
Th-230	7.5E+04	流出なし	-	-	1.5E+08	1.1E+17	9.2E+06	9.2E+06	9.9E+13	5.9E+14	4.6E+16	8.5E+13	9.2E+06	居住
			-	-	1.6E+08	1.1E+17	9.7E+06	9.7E+06	9.9E+13	5.9E+14	4.6E+16	8.5E+13	9.7E+17	9.7E+06
Th-232	1.4E+10	流出あり	-	-	6.2E+07	4.3E+15	5.6E+06	5.6E+06	4.4E+08	3.2E+09	2.9E+11	3.9E+08	5.6E+06	居住
			-	-	6.2E+07	4.3E+15	5.6E+06	5.6E+06	4.4E+08	3.2E+09	2.9E+11	3.9E+08	3.1E+18	5.6E+06
Pa-231	3.3E+04	流出なし	-	-	1.0E+10	-	4.7E+06	4.7E+06	1.4E+11	2.6E+12	4.1E+14	1.3E+11	4.7E+06	居住
			-	-	1.0E+10	-	4.7E+06	4.7E+06	1.4E+11	2.6E+12	4.1E+14	1.3E+11	6.8E+14	4.7E+06
U-232	6.9E+01	流出なし	-	-	1.4E+09	8.7E+16	8.8E+09	8.8E+09	-	-	-	-	1.4E+09	建設
			-	-	1.4E+09	8.7E+16	8.8E+09	8.8E+09	-	-	-	-	1.1E+18	1.4E+09
U-233	1.6E+05	流出あり	2.2E+08	居住	4.4E+09	-	4.2E+07	4.2E+07	1.3E+10	9.2E+10	8.9E+12	1.1E+10	4.2E+07	居住
			-	-	5.3E+09	-	5.0E+07	5.0E+07	1.3E+10	9.2E+10	8.9E+12	1.1E+10	3.6E+17	5.0E+07
U-234	2.5E+05	流出なし	2.2E+08	居住	2.3E+08	1.7E+17	1.4E+07	1.4E+07	2.6E+08	1.6E+09	1.2E+11	2.2E+08	1.4E+07	居住
			-	-	4.8E+08	3.6E+17	3.0E+07	3.0E+07	2.6E+08	1.6E+09	1.2E+11	2.2E+08	3.7E+18	3.0E+07
U-235	7.0E+08	流出あり	-	-	9.6E+09	-	4.7E+06	4.7E+06	1.1E+09	2.0E+10	2.8E+12	1.0E+09	4.7E+06	居住
			-	-	1.9E+10	-	9.2E+06	9.2E+06	1.1E+09	2.0E+10	2.8E+12	1.0E+09	4.6E+14	9.2E+06
U-236	2.3E+07	流出なし	-	-	3.7E+10	2.6E+18	3.3E+09	3.3E+09	2.4E+10	9.0E+11	1.2E+13	2.3E+10	3.3E+09	居住
			-	-	2.0E+13	-	3.3E+09	3.3E+09	2.4E+10	9.0E+11	1.2E+13	2.3E+10	7.7E+18	3.3E+09

\*1 天然バリアの分配係数や放出係数など処分場の立地・設計に関するパラメータは現行の政令ピット評価における既往値を使用するとし、線量換算係数、半減期、果実の摂取量、果実への移行係数、河川水飲用量、河川水飲用量、家畜の飼育水摂取量、畜産物摂取量、飼育水から畜産物への移行係数、河川魚への濃縮係数の値を最新の知見に基づいた値を採用して評価した結果である。

\*2 現行の政令評価において「-」は検討対象外核種であることを示す。また、本解析における「-」は基準線量相当濃度が $1.0 \times 10^{20}$  Bq/ton以上であることを示す。

表 3.1 TRU 廃棄物のピット処分ににおける各評価シナリオ・評価経路の基準線量相当濃度結果一覧 (4/4)

核種	半減期 (y)	核種流出考慮の有無	現行の政令評価の基準線量相当濃度				パラメータ見直しによる各評価シナリオ・評価経路における基準線量相当濃度 <sup>*1</sup> (Bq/ton)										パラメータ見直しによる決定シナリオの基準線量相当濃度			
			濃度 (Bq/ton)		シナリオ		建設シナリオ		居住シナリオ				河川水利用シナリオ				操業中シナリオ		濃度 (Bq/ton)	決定シナリオ
			濃度 (Bq/ton)	シナリオ	外部	農作物	重量レベル	外部	飲料水	河川産物	畜産物	重量レベル	スカイシャイン外部	重量レベル	重量レベル	重量レベル				
U-238	4.5E+09	流出なし	-	-	1.4E+08	1.0E+17	8.4E+06	8.4E+06	8.4E+06	1.3E+08	2.2E+08	1.0E+11	1.0E+11	1.9E+08	3.3E+16	8.4E+06	居住			
		流出あり	-	-	1.8E+09	1.3E+18	1.1E+08	1.1E+08	1.1E+08	1.3E+08	2.2E+08	1.0E+11	1.0E+11	1.9E+08	3.3E+16	1.1E+08	居住			
Np-237	2.1E+06	流出なし	-	-	4.3E+09	-	4.4E+07	4.4E+07	4.4E+07	3.8E+09	3.8E+09	3.2E+10	3.7E+12	3.4E+09	1.3E+16	4.4E+07	居住			
		流出あり	-	-	1.7E+10	-	1.9E+08	1.9E+08	1.9E+08	3.8E+09	3.8E+09	3.2E+10	3.7E+12	3.4E+09	1.3E+16	1.9E+08	居住			
Pu-238	8.8E+01	流出なし	8.1E+08	居住	6.4E+11	-	7.9E+09	7.9E+09	7.9E+09	7.3E+11	7.3E+11	4.4E+12	3.4E+14	6.3E+11	8.1E+19	7.9E+09	居住			
		流出あり	-	-	1.3E+12	-	7.9E+09	7.9E+09	7.9E+09	7.3E+11	7.3E+11	4.4E+12	3.4E+14	6.3E+11	8.1E+19	7.9E+09	居住			
Pu-239	2.4E+04	流出なし	6.7E+07	居住	1.8E+14	-	6.3E+08	6.3E+08	6.3E+08	3.0E+13	3.0E+13	5.7E+14	7.8E+16	2.8E+13	2.1E+18	6.3E+08	居住			
		流出あり	-	-	1.8E+14	-	6.3E+08	6.3E+08	6.3E+08	3.0E+13	3.0E+13	5.7E+14	7.8E+16	2.8E+13	2.1E+18	6.3E+08	居住			
Pu-240	6.6E+03	流出なし	7.0E+07	居住	1.3E+14	-	6.5E+08	6.5E+08	6.5E+08	8.6E+13	8.6E+13	3.2E+15	4.4E+16	8.3E+13	1.4E+19	6.5E+08	居住			
		流出あり	-	-	7.8E+14	-	6.5E+08	6.5E+08	6.5E+08	8.6E+13	8.6E+13	3.2E+15	4.4E+16	8.3E+13	1.4E+19	6.5E+08	居住			
Pu-241	1.4E+01	流出なし	-	-	6.4E+14	-	3.7E+10	3.7E+10	3.7E+10	5.6E+14	5.6E+14	4.8E+15	5.5E+17	5.0E+14	-	3.7E+10	居住			
		流出あり	-	-	2.5E+15	-	3.7E+10	3.7E+10	3.7E+10	5.6E+14	5.6E+14	4.8E+15	5.5E+17	5.0E+14	-	3.7E+10	居住			
Pu-242	3.7E+05	流出なし	-	-	1.6E+12	-	6.5E+08	6.5E+08	6.5E+08	8.0E+11	8.0E+11	9.9E+12	2.9E+15	7.4E+11	3.4E+17	6.5E+08	居住			
		流出あり	-	-	5.9E+12	-	6.5E+08	6.5E+08	6.5E+08	8.0E+11	8.0E+11	9.9E+12	2.9E+15	7.4E+11	3.4E+17	6.5E+08	居住			
Am-241	4.3E+02	流出なし	5.2E+07	居住	2.1E+13	-	1.3E+09	1.3E+09	1.3E+09	1.9E+13	1.9E+13	1.6E+14	1.8E+16	1.7E+13	1.2E+17	1.3E+09	居住			
		流出あり	-	-	8.4E+13	-	1.3E+09	1.3E+09	1.3E+09	1.9E+13	1.9E+13	1.6E+14	1.8E+16	1.7E+13	1.2E+17	1.3E+09	居住			
Am-242m	1.4E+02	流出なし	-	-	5.9E+11	-	1.6E+09	1.6E+09	1.6E+09	5.5E+11	5.5E+11	3.3E+12	2.6E+14	4.7E+11	5.2E+17	1.6E+09	居住			
		流出あり	-	-	7.5E+11	-	1.6E+09	1.6E+09	1.6E+09	5.5E+11	5.5E+11	3.3E+12	2.6E+14	4.7E+11	5.2E+17	1.6E+09	居住			
Am-243	7.4E+03	流出なし	-	-	1.3E+11	-	7.9E+08	7.9E+08	7.9E+08	9.5E+13	9.5E+13	1.8E+15	2.5E+17	9.1E+13	1.0E+16	7.9E+08	居住			
		流出あり	-	-	1.3E+11	-	7.9E+08	7.9E+08	7.9E+08	9.5E+13	9.5E+13	1.8E+15	2.5E+17	9.1E+13	1.0E+16	7.9E+08	居住			
Cm-242	4.5E-01	流出なし	-	-	1.3E+14	-	1.5E+12	1.5E+12	1.5E+12	1.4E+14	1.4E+14	8.6E+14	6.8E+16	1.2E+14	1.2E+19	1.5E+12	居住			
		流出あり	-	-	2.7E+14	-	1.5E+12	1.5E+12	1.5E+12	1.4E+14	1.4E+14	8.6E+14	6.8E+16	1.2E+14	1.2E+19	1.5E+12	居住			
Cm-243	2.9E+01	流出なし	-	-	2.5E+14	-	5.1E+11	5.1E+11	5.1E+11	2.5E+16	2.5E+16	4.8E+17	6.6E+19	2.4E+16	8.8E+14	5.1E+11	居住			
		流出あり	-	-	2.5E+14	-	5.1E+11	5.1E+11	5.1E+11	2.5E+16	2.5E+16	4.8E+17	6.6E+19	2.4E+16	8.8E+14	5.1E+11	居住			
Cm-244	1.8E+01	流出なし	-	-	4.8E+16	-	2.3E+11	2.3E+11	2.3E+11	3.1E+16	3.1E+16	1.2E+18	1.6E+19	3.0E+16	1.7E+18	2.3E+11	居住			
		流出あり	-	-	2.6E+17	-	2.3E+11	2.3E+11	2.3E+11	3.1E+16	3.1E+16	1.2E+18	1.6E+19	3.0E+16	1.7E+18	2.3E+11	居住			
Cm-245	8.5E+03	流出なし	-	-	1.1E+12	-	7.3E+08	7.3E+08	7.3E+08	9.4E+11	9.4E+11	7.9E+12	9.2E+14	8.4E+11	1.9E+15	7.3E+08	居住			
		流出あり	-	-	3.0E+12	-	7.4E+08	7.4E+08	7.4E+08	9.4E+11	9.4E+11	7.9E+12	9.2E+14	8.4E+11	1.9E+15	7.4E+08	居住			
Cm-246	4.7E+03	流出なし	-	-	1.4E+11	-	3.5E+09	3.5E+09	3.5E+09	6.2E+13	6.2E+13	7.7E+14	2.3E+17	5.7E+13	7.9E+15	3.5E+09	居住			
		流出あり	-	-	1.4E+11	-	3.5E+09	3.5E+09	3.5E+09	6.2E+13	6.2E+13	7.7E+14	2.3E+17	5.7E+13	7.9E+15	3.5E+09	居住			

\*1 天然バリアの分配係数や放出係数など処分場の立地・設計に関するパラメータは現行の政令ピット評価における既往値を使用するとし、線量換算係数、半減期、果実の摂取量、果実への移行係数、河川水飲用量、家畜の飼育水摂取量、畜産物摂取量、飼育水から畜産物への移行係数、河川魚への濃縮係数の値を最新の知見に基づいた値を採用して評価した結果である。

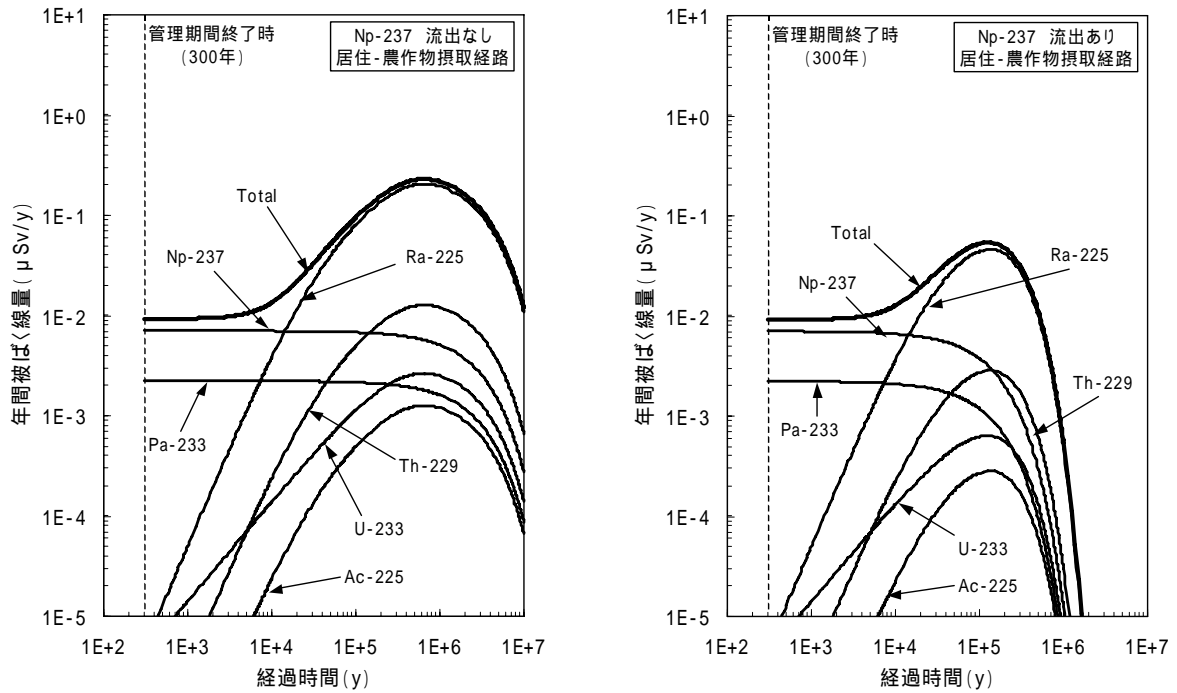
\*2 現行の政令評価において「-」は検討対象外核種であることを示す。また、本解析における「-」は基準線量相当濃度が $1.0 \times 10^{20}$  Bq/ton以上であることを示す。

表 3.2 現行の政令ピット処分濃度上限値に定められている核種の基準線量相当濃度新旧比較表

核種	半減期 (y)	現行の政令評価の基準線量相当濃度		パラメータ見直しによる基準線量相当濃度 <sup>*1</sup>		政令評価と本解析の基準線量相当濃度における主なパラメータの変更点
		濃度 (Bq/ton)	決定シナリオ	濃度 (C) (Bq/ton)	決定シナリオ	
C-14	5.7E+03	3.5E+09	河川水利用	2.8E+09	居住	C-14では、政令評価においては河川水利用シナリオのうち河川産物摂取による内部被ばく、本解析においては居住シナリオのうち農作物(果実)摂取による内部被ばく(経路の線量寄与が大きさい。基準線量相当濃度の違いは、内部被ばく線量換算係数、河川産物への濃縮係数、果実への移行係数、河川産物の摂取量、果実の摂取量の違いにより、本解析では河川産物摂取経路の最大被ばく線量が小さくなり、かつ農作物摂取経路の最大被ばく線量が大きくなったことが主な要因である。
Ca-41	1.0E+05	3.1E+08	居住	1.6E+09	居住	Ca-41では、居住シナリオのうち農作物(果実)摂取による内部被ばく(経路の線量寄与が大きさい。基準線量相当濃度の違いは、内部被ばく線量換算係数、果実への移行係数、果実の摂取量の違いが主な要因である。
Co-60	5.3E+00	4.1E+12	操業中	6.8E+12	操業中	Co-60では、操業中シナリオのスカイシヤイン外部被ばくによる線量寄与が大きさい。基準線量相当濃度の違いは、政令評価は0.3 MeV以上の代表的な線源エネルギーに対する線量評価であるのに対し、本解析は10 keV以上の各エネルギー線束を対象としたOrigen18群ラィブラリによる評価であることが主な要因である。
Ni-63	1.0E+02	8.9E+10	居住	3.0E+11	居住	Ni-63では、居住シナリオのうち農作物(果実)摂取による内部被ばく(経路の線量寄与が大きさい。基準線量相当濃度の違いは、果実への移行係数、果実の摂取量の違いが主な要因である。
Sr-90	2.9E+01	6.7E+09	居住	9.0E+10	居住	Sr-90では、居住シナリオのうち農作物(果実)摂取による内部被ばく(経路の線量寄与が大きさい。基準線量相当濃度の違いは、半減期、内部被ばく線量換算係数、果実への移行係数、果実の摂取量の違いが主な要因である。
Cs-137	3.0E+01	9.3E+10	居住	5.2E+11	居住	Cs-137では、居住シナリオのうち農作物(果実)摂取による内部被ばく(経路の線量寄与が大きさい。基準線量相当濃度の違いは、内部被ばく線量換算係数、果実への移行係数、果実の摂取量の違いが主な要因である。
全 (Am-241で代表)	4.3E+02	5.2E+07	居住	1.3E+09	居住	政令評価では、核種の子孫核種を考慮していないのに対し、本解析では、当該核種の崩壊系列を考慮した解析を行っている。Am-241については、居住シナリオのうち農作物(果実)摂取による内部被ばく(経路の線量寄与が大きさい。基準線量相当濃度の違いは、内部被ばく線量換算係数、果実への移行係数、果実の摂取量の違いが主な要因である。

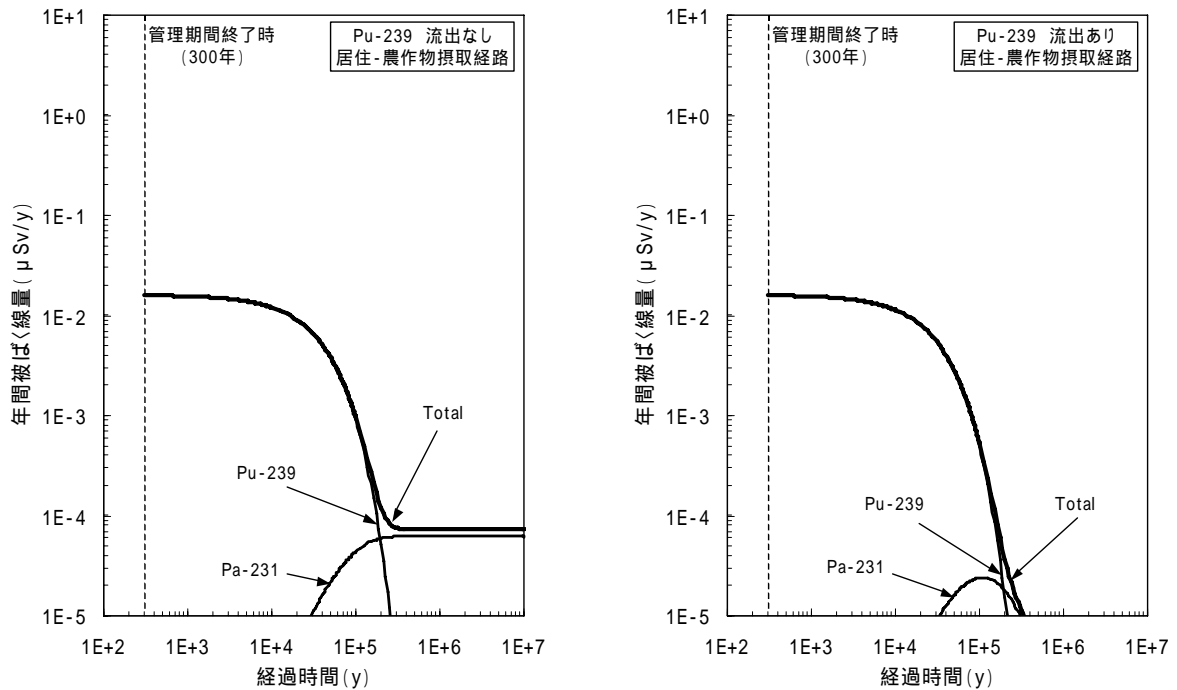
\*1 天然バリアの分配係数や放出係数など処分場の立地・設計に関するパラメータにおける既往値を使用するとし、線量換算係数、半減期、果実の摂取量、果実への移行係数、河川水飲用量、河川魚摂取量、家畜の飼育水摂取量、飼育水から畜産物への移行係数、河川魚への濃縮係数の値を最新の知見に基づいた値を採用して評価した結果である。





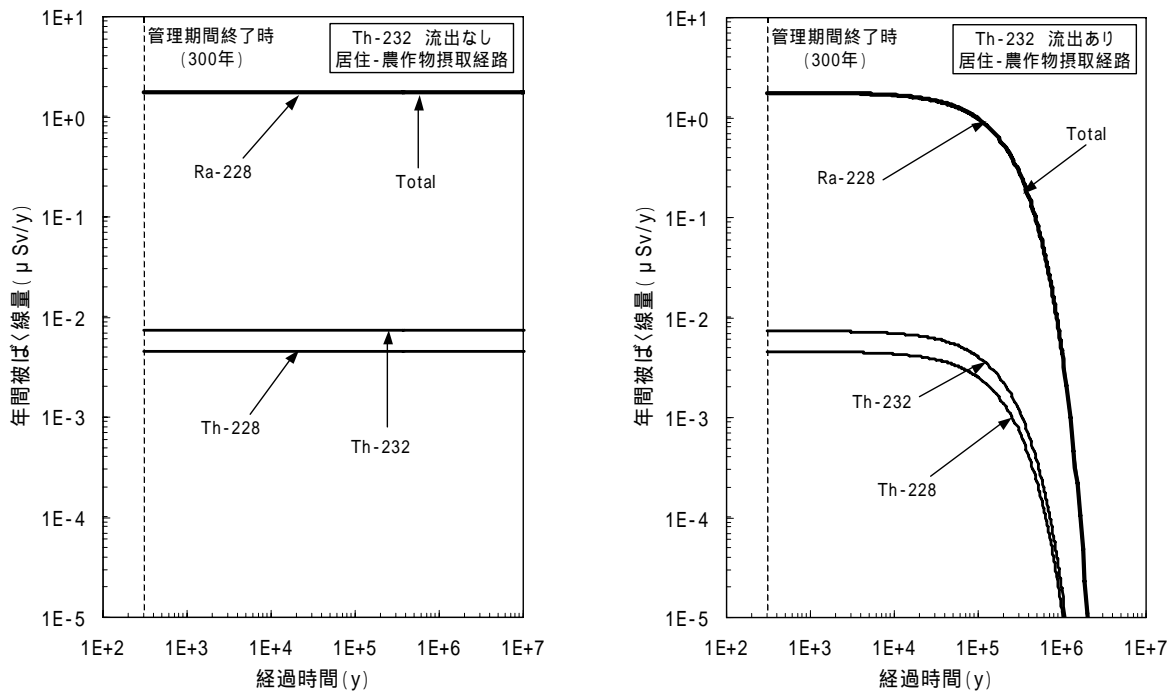
(注) 廃棄体中の Np-237 の初期濃度を 1Bq/g に設定した場合の被ばく線量経時変化である

図 3.1 決定経路 (居住シナリオ・農作物摂取経路) における線量の経時変化 (Np-237)



(注) 廃棄体中の Pu-239 の初期濃度を 1Bq/g に設定した場合の被ばく線量経時変化である

図 3.2 決定経路 (居住シナリオ・農作物摂取経路) における線量の経時変化 (Pu-239)



(注) 廃棄体中の Th-232 の初期濃度を 1Bq/g に設定した場合の被ばく線量経時変化である

図 3.3 決定経路 (居住シナリオ・農作物摂取経路) における線量の経時変化 (Th-232)

### 3.2 濃度上限値評価における重要核種の推定

TRU 廃棄物のピット処分で想定される廃棄物中の平均放射能濃度 (D) と基準線量相当濃度 (C) により計算される相対重要度 (D/C) を表 3.3 に示す。廃棄物中の平均放射能濃度 (D) については、原子力安全委員会「低レベル放射性固体廃棄物の埋設処分に係る放射性濃度上限値について」(平成 19 年 5 月 21 日) の参考資料 2「原子炉廃棄物、サイクル廃棄物の放射性核種組成及び濃度分布について」<sup>(6)</sup> に示されている、「原子炉廃棄物」、「サイクル廃棄物」、及び「原子炉廃棄物とサイクル廃棄物の合計」のピット処分で想定される平均濃度の値を使用した。(原子力安全委員会の同報告書では、「TRU 廃棄物」のことを「サイクル廃棄物」と呼んでいるが、本報告書では、「TRU 廃棄物」に統一して表記する。) また、濃度上限値設定のための相対重要度 (D/C) については、TRU 廃棄物が単独で処分される場合のみだけでなく、従来評価の対象である原子炉廃棄物が単独で処分される場合、TRU 廃棄物と原子炉廃棄物が一緒に処分される場合を考慮した。そのため、「原子炉廃棄物」、「TRU 廃棄物」、及び「原子炉廃棄物と TRU 廃棄物の合計」を対象とした平均放射能濃度 (D) のケースに対し、相対重要度 (D/C) の検討を行った。各ケースにおいて D/C の値が上位 3 桁の範囲に入るものを重要核種として抽出した結果を、核種流出を考慮しない場合 (「流出なし」) と考慮する場合 (「流出あり」) に分けて、表 3.4 及び表 3.5 に示す。

本解析から得られた基準線量相当濃度 (C) により計算される相対重要度 (D/C) の特徴は以下のようによまとめられる。

表 3.3 原子炉廃棄物及び TRU 廃棄物に対するピット処分の相対重要度 (1/2)

核種	半減期(y)	現行の政令評価の基準線量相当濃度		パラメータ見直しによる基準線量相当濃度 <sup>*1</sup>		対象廃棄物の平均濃度(D) (Bq/ton)			対象廃棄物のD/C		
		濃度 (Bq/ton)	決定 シナリオ	濃度(C) (Bq/ton)	決定 シナリオ	原子炉 廃棄物	TRU 廃棄物	原子炉廃棄物 + TRU廃 棄物	原子炉 廃棄物	TRU 廃棄物	原子炉廃棄物 + TRU廃 棄物
H-3	1.2E+01	1.5E+16	居住	2.8E+16	居住	9.9E+08	3.1E+08	7.4E+08	3.6E-08	1.1E-08	2.7E-08
Be-10	1.6E+06	- <sup>*2</sup>		1.4E+11	居住	0.0E+00	4.5E-03	1.7E-03	0.0E+00	3.2E-14	1.2E-14
C-14	5.7E+03	3.5E+09	河川水利用	2.8E+09	居住	3.5E+07	6.5E+06	2.4E+07	1.2E-02	2.3E-03	8.6E-03
Cl-36	3.0E+05	7.8E+06	居住	3.4E+07	居住	2.8E+03	2.0E+04	9.3E+03	8.2E-05	5.9E-04	2.8E-04
Ca-41	1.0E+05	3.1E+08	居住	1.6E+09	居住	3.9E+05	5.5E+02	2.4E+05	2.4E-04	3.3E-07	1.5E-04
Mn-54	8.6E-01	2.3E+13	操業中	3.3E+13	操業中	5.2E+08	2.5E+01	3.2E+08	1.6E-05	7.6E-13	9.7E-06
Fe-55	2.7E+00	3.7E+18	操業中	-	-	4.8E+09	3.0E+09	4.1E+09	-	-	-
Fe-59	1.2E-01	9.3E+12	操業中	1.4E+13	操業中	2.5E+08	9.1E-02	1.6E+08	1.8E-05	6.6E-15	1.1E-05
Co-58	1.9E-01	3.1E+13	操業中	2.8E+13	操業中	7.9E+08	4.4E+03	4.9E+08	2.9E-05	1.6E-10	1.8E-05
Co-60	5.3E+00	4.1E+12	操業中	6.8E+12	操業中	8.5E+08	5.6E+09	2.7E+09	1.2E-04	8.2E-04	3.9E-04
Ni-59	7.6E+04	2.9E+10	居住	8.3E+10	居住	7.6E+05	4.6E+06	2.2E+06	9.2E-06	5.6E-05	2.7E-05
Ni-63	1.0E+02	8.9E+10	居住	3.0E+11	居住	1.2E+08	7.1E+08	3.4E+08	4.1E-04	2.4E-03	1.2E-03
Se-79	3.0E+05	-		5.4E+08	居住	0.0E+00	7.1E+03	2.7E+03	0.0E+00	1.3E-05	5.0E-06
Sr-90	2.9E+01	6.7E+09	居住	9.0E+10	居住	1.6E+08	3.3E+09	1.4E+09	1.8E-03	3.7E-02	1.5E-02
Zr-93	1.5E+06	1.5E+10	居住	2.8E+10	居住	4.8E+04	2.7E+05	1.3E+05	1.7E-06	9.5E-06	4.6E-06
Nb-93m	1.4E+01	1.9E+17	居住	9.5E+17	居住	4.0E+03	4.9E+02	2.7E+03	4.2E-15	5.2E-16	2.8E-15
Nb-94	2.0E+04	1.1E+09	建設	4.5E+08	建設	5.9E+03	1.3E+06	4.9E+05	1.3E-05	2.9E-03	1.1E-03
Mo-93	4.0E+03	7.8E+08	居住	2.6E+08	居住	1.0E+03	3.6E+04	1.4E+04	3.9E-06	1.4E-04	5.5E-05
Tc-99	2.1E+05	1.9E+07	居住	2.4E+07	居住	2.9E+04	1.3E+06	5.1E+05	1.2E-03	5.3E-02	2.1E-02
Ru-106	1.0E+00	-		1.5E+14	操業中	1.1E+09	1.0E+10	4.6E+09	7.4E-06	6.9E-05	3.1E-05
Pd-107	6.5E+06	-		2.8E+10	居住	2.4E+02	1.8E+03	8.3E+02	8.6E-09	6.4E-08	3.0E-08
Ag-108m	4.2E+02	4.1E+08	居住	5.7E+08	居住	5.4E-12	7.2E+02	2.7E+02	9.5E-21	1.3E-06	4.8E-07
Sn-121m	5.5E+01	1.6E+12	居住	1.4E+11	居住	4.7E+00	6.1E+05	2.3E+05	3.4E-11	4.4E-06	1.7E-06
Sn-126	1.0E+05	-		3.1E+08	居住	1.6E+03	5.8E+04	2.3E+04	5.2E-06	1.9E-04	7.5E-05
Sb-125	2.8E+00	2.9E+14	操業中	1.1E+14	操業中	2.9E+07	6.4E+08	2.6E+08	2.6E-07	5.8E-06	2.4E-06
Te-125m	1.6E-01	-		6.2E+17	操業中	0.0E+00	1.6E+08	5.9E+07	0.0E+00	2.5E-10	9.5E-11
I-129	1.6E+07	-		1.4E+07	居住	6.9E+01	2.9E+04	1.1E+04	4.9E-06	2.0E-03	7.8E-04
Cs-134	2.1E+00	1.9E+13	操業中	2.0E+13	操業中	3.2E+08	7.8E+08	4.9E+08	1.6E-05	4.0E-05	2.5E-05
Cs-135	2.3E+06	-		2.6E+09	居住	1.0E+03	2.1E+04	8.6E+03	3.9E-07	8.1E-06	3.3E-06
Cs-137	3.0E+01	9.3E+10	居住	5.2E+11	居住	2.2E+08	4.6E+09	1.9E+09	4.3E-04	9.0E-03	3.7E-03
Ce-144	7.8E-01	-		3.9E+14	操業中	2.1E+09	4.8E+08	1.5E+09	5.5E-06	1.2E-06	3.9E-06
Sm-151	9.0E+01	2.0E+12	居住	8.7E+12	居住	7.9E+05	5.3E+06	2.5E+06	9.1E-08	6.1E-07	2.9E-07
Eu-152	1.4E+01	4.8E+13	操業中	2.0E+13	操業中	2.1E+07	7.4E+03	1.3E+07	1.0E-06	3.8E-10	6.5E-07
Eu-154	8.6E+00	3.3E+13	操業中	1.6E+13	操業中	2.3E+07	1.4E+08	6.7E+07	1.4E-06	8.4E-06	4.1E-06
Eu-155	4.8E+00	1.6E+16	操業中	5.9E+15	操業中	1.4E+07	7.0E+07	3.5E+07	2.4E-09	1.2E-08	6.0E-09
Ho-166m	1.2E+03	7.0E+09	居住	6.2E+08	建設	2.2E-10	9.8E-01	3.7E-01	3.5E-19	1.6E-09	5.9E-10

\*1 天然バリアの分配係数や放出係数など処分場の立地・設計に関するパラメータは現行の政令ピット評価における既往値を使用するとし、線量換算係数、半減期、果実の摂取量、果実への移行係数、河川水飲用量、河川魚摂取量、家畜の飼育水摂取量、畜産物摂取量、飼育水から畜産物への移行係数、河川魚への濃縮係数の値を最新の知見に基づいた値を採用して評価した結果

\*2 現行の政令評価において、「-」は検討対象外核種であることを示す。また、本解析におけるFe-55の「-」は基準線量相当濃度が $1.0 \times 10^{20}$  Bq/ton以上であることを示す。

最大値 下線付きの数値がD/Cの最大値。

1桁 D/Cの最大値となった核種と同じ桁のもの。

2桁 D/Cの最大値となった核種の桁から2桁目のもの。

3桁 D/Cの最大値となった核種の桁から3桁目のもの。

表 3.3 原子炉廃棄物及び TRU 廃棄物に対するピット処分の相対重要度 (2 / 2)

核種	半減期(y)	核種流出 考慮の有無	現行の政令評価の 基準線量相当濃度		パラメータ見直しによる 基準線量相当濃度*1		対象廃棄物の平均濃度(D) (Bq/ton)			対象廃棄物のD/C		
			濃度 (Bq/ton)	決定 シナリオ	濃度(C) (Bq/ton)	決定 シナリオ	原子炉 廃棄物	TRU 廃棄物	原子炉廃棄物 + TRU廃 棄物	原子炉 廃棄物	TRU 廃棄物	原子炉廃棄物 + TRU廃 棄物
Pb-210	2.2E+01	流出なし	-	*2	3.4E+11	居住	0.0E+00	1.6E-05	5.9E-06	0.0E+00	4.7E-17	1.8E-17
		流出あり			3.4E+11					0.0E+00	4.7E-17	1.8E-17
Po-210	3.8E-01	流出なし	-	-	2.7E+18	操業中	0.0E+00	4.2E-03	1.6E-03	0.0E+00	1.6E-21	5.9E-22
		流出あり			2.7E+18					0.0E+00	1.6E-21	5.9E-22
Ra-226	1.6E+03	流出なし	-	-	9.7E+06	居住	9.0E-08	2.1E-04	8.0E-05	9.2E-15	2.2E-11	8.3E-12
		流出あり			9.7E+06					9.2E-15	2.2E-11	8.3E-12
Ra-228	5.8E+00	流出なし	-	-	-	-	6.2E-09	3.2E-08	1.6E-08	-	-	-
		流出あり			-					-	-	-
Ac-227	2.2E+01	流出なし	-	-	6.0E+11	居住	1.5E-04	3.1E-03	1.3E-03	2.5E-16	5.3E-15	2.1E-15
		流出あり			6.0E+11					2.5E-16	5.3E-15	2.1E-15
Th-228	1.9E+00	流出なし	-	-	6.9E+16	操業中	0.0E+00	1.1E+01	4.3E+00	0.0E+00	1.7E-16	6.2E-17
		流出あり			6.9E+16					0.0E+00	1.7E-16	6.2E-17
Th-229	7.3E+03	流出なし	-	-	3.8E+07	居住	0.0E+00	1.3E-03	4.9E-04	0.0E+00	3.4E-11	1.3E-11
		流出あり			3.8E+07					0.0E+00	3.4E-11	1.3E-11
Th-230	7.5E+04	流出なし	-	-	9.2E+06	居住	0.0E+00	1.4E-01	5.1E-02	0.0E+00	1.5E-08	5.6E-09
		流出あり			9.7E+06					0.0E+00	1.4E-08	5.3E-09
Th-232	1.4E+10	流出なし	-	-	5.6E+06	居住	5.5E-08	1.1E-07	7.5E-08	9.8E-15	1.9E-14	1.3E-14
		流出あり			5.6E+06					9.8E-15	1.9E-14	1.3E-14
Pa-231	3.3E+04	流出なし	-	-	4.7E+06	居住	0.0E+00	2.1E-02	8.0E-03	0.0E+00	4.5E-09	1.7E-09
		流出あり			4.7E+06					0.0E+00	4.5E-09	1.7E-09
U-232	6.9E+01	流出なし	-	-	1.4E+09	建設	0.0E+00	3.3E+03	1.2E+03	0.0E+00	2.3E-06	8.6E-07
		流出あり			1.4E+09					0.0E+00	2.3E-06	8.6E-07
U-233	1.6E+05	流出なし	2.2E+08	居住	4.2E+07	居住	2.1E+01	2.0E-01	1.3E+01	4.9E-07	4.6E-09	3.1E-07
		流出あり	-	5.0E+07	0.0E+00					3.9E-09	2.6E-07	
U-234	2.5E+05	流出なし	2.2E+08	居住	1.4E+07	居住	0.0E+00	4.1E+03	1.6E+03	0.0E+00	2.9E-04	1.1E-04
		流出あり	-	3.0E+07	0.0E+00					1.4E-04	5.2E-05	
U-235	7.0E+08	流出なし	-	-	4.7E+06	居住	0.0E+00	3.1E+02	1.2E+02	0.0E+00	6.7E-05	2.5E-05
		流出あり			9.2E+06					0.0E+00	3.4E-05	1.3E-05
U-236	2.3E+07	流出なし	-	-	3.3E+09	居住	0.0E+00	5.2E+03	1.9E+03	0.0E+00	1.5E-06	5.9E-07
		流出あり			3.3E+09					0.0E+00	1.5E-06	5.9E-07
U-238	4.5E+09	流出なし	-	-	8.4E+06	居住	7.6E+02	4.4E+03	2.1E+03	9.0E-05	5.2E-04	2.5E-04
		流出あり			1.1E+08					6.8E-06	3.9E-05	1.9E-05
Np-237	2.1E+06	流出なし	-	-	4.4E+07	居住	0.0E+00	2.5E+04	9.4E+03	0.0E+00	5.7E-04	2.2E-04
		流出あり			1.9E+08					0.0E+00	1.3E-04	5.1E-05
Pu-238	8.8E+01	流出なし	8.1E+08	居住	7.9E+09	居住	4.5E+06	5.6E+07	2.4E+07	5.7E-04	7.1E-03	3.0E-03
		流出あり	-	7.9E+09	5.7E-04					7.1E-03	3.0E-03	
Pu-239	2.4E+04	流出なし	6.7E+07	居住	6.3E+08	居住	7.3E+05	5.0E+06	2.3E+06	1.2E-03	7.9E-03	3.7E-03
		流出あり	-	6.3E+08	1.2E-03					7.8E-03	3.7E-03	
Pu-240	6.6E+03	流出なし	7.0E+07	居住	6.5E+08	居住	1.2E+06	7.9E+06	3.7E+06	1.9E-03	1.2E-02	5.8E-03
		流出あり	-	6.5E+08	1.9E-03					1.2E-02	5.8E-03	
Pu-241	1.4E+01	流出なし	-	-	3.7E+10	居住	2.9E+08	2.0E+09	9.5E+08	7.7E-03	5.5E-02	2.5E-02
		流出あり			3.7E+10					7.7E-03	5.5E-02	2.5E-02
Pu-242	3.7E+05	流出なし	-	-	6.5E+08	居住	0.0E+00	3.3E+04	1.2E+04	0.0E+00	5.0E-05	1.9E-05
		流出あり			6.5E+08					0.0E+00	5.0E-05	1.9E-05
Am-241	4.3E+02	流出なし	5.2E+07	居住	1.3E+09	居住	3.2E+05	1.7E+07	6.5E+06	2.5E-04	1.3E-02	5.1E-03
		流出あり	-	1.3E+09	2.5E-04					1.3E-02	5.1E-03	
Am-242m	1.4E+02	流出なし	-	-	1.6E+09	居住	0.0E+00	9.2E+05	3.5E+05	0.0E+00	5.7E-04	2.2E-04
		流出あり			1.6E+09					0.0E+00	5.7E-04	2.2E-04
Am-243	7.4E+03	流出なし	-	-	7.9E+08	居住	0.0E+00	3.9E+05	1.5E+05	0.0E+00	4.9E-04	1.8E-04
		流出あり			7.9E+08					0.0E+00	4.9E-04	1.8E-04
Cm-242	4.5E-01	流出なし	-	-	1.5E+12	居住	9.3E+07	1.6E+06	5.9E+07	6.1E-05	1.0E-06	3.8E-05
		流出あり			1.5E+12					6.1E-05	1.0E-06	3.8E-05
Cm-243	2.9E+01	流出なし	-	-	5.1E+11	居住	0.0E+00	3.5E+05	1.3E+05	0.0E+00	6.9E-07	2.6E-07
		流出あり			5.1E+11					0.0E+00	6.9E-07	2.6E-07
Cm-244	1.8E+01	流出なし	-	-	2.3E+11	居住	3.8E+06	4.1E+07	1.8E+07	1.6E-05	1.8E-04	7.7E-05
		流出あり			2.3E+11					1.6E-05	1.8E-04	7.7E-05
Cm-245	8.5E+03	流出なし	-	-	7.3E+08	居住	0.0E+00	4.9E+03	1.9E+03	0.0E+00	6.8E-06	2.6E-06
		流出あり			7.4E+08					0.0E+00	6.7E-06	2.5E-06
Cm-246	4.7E+03	流出なし	-	-	3.5E+09	居住	0.0E+00	3.8E+00	1.4E+00	0.0E+00	1.1E-09	4.1E-10
		流出あり			3.5E+09					0.0E+00	1.1E-09	4.1E-10

\*1 天然ハリアの分配係数や放出係数など処分場の立地・設計に関するパラメータは現行の政令ピット評価における既往値を使用するとし、線量換算係数、半減期、果実の摂取量、果実への移行係数、河川水飲用量、河川魚摂取量、家畜の飼育水摂取量、畜産物摂取量、飼育水から畜産物への移行係数、河川魚への濃縮係数の値を最新の知見に基づいた値を採用して評価した結果

\*2 現行の政令評価において、「-」は検討対象外核種であることを示す。また、本解析におけるRa-228の「-」は基準線量相当濃度が $1.0 \times 10^{20}$  Bq/ton以上であることを示す。

最大値 下線付きの数値がD/Cの最大値。

1桁 D/Cの最大値となった核種と同じ桁のもの。

2桁 D/Cの最大値となった核種の桁から2桁目のもの。

3桁 D/Cの最大値となった核種の桁から3桁目のもの。

表 3.4 ピット処分に対する上 3 桁の相対重要度の抽出結果（流出なし）

	対象廃棄物のD/C		
	原子炉廃棄物	TRU廃棄物	原子炉廃棄物 + TRU廃棄物
1桁目	<u>C-14</u>	<u>Pu-241</u> Tc-99 Sr-90 Am-241 Pu-240	<u>Pu-241</u> Tc-99 Sr-90
2桁目	Pu-241 Pu-240 Sr-90 Tc-99 Pu-239	Cs-137 Pu-239 Pu-238 Nb-94 Ni-63 C-14 I-129	C-14 Pu-240 Am-241 Pu-239 Cs-137 Pu-238 Ni-63 Nb-94
3桁目	Pu-238 Cs-137 Ni-63 Am-241 Ca-41 Co-60	Co-60 Cl-36 Np-237 Am-242m U-238 Am-243 U-234 Sn-126 Cm-244 Mo-93	I-129 Co-60 Cl-36 U-238 Np-237 Am-242m Am-243 Ca-41 U-234

(注) 下線の核種は、D/Cの値が最大であった核種を表す。

表 3.5 ピット処分に対する上位 3 桁の相対重要度の抽出結果（流出あり）

	対象廃棄物のD/C		
	原子炉廃棄物	TRU廃棄物	原子炉廃棄物 + TRU廃棄物
1桁目	<u>C-14</u>	<u>Pu-241</u> Tc-99 Sr-90 Am-241 Pu-240	<u>Pu-241</u> Tc-99 Sr-90
2桁目	Pu-241 Pu-240 Sr-90 Tc-99 Pu-239	Cs-137 Pu-239 Pu-238 Nb-94 Ni-63 C-14 I-129	C-14 Pu-240 Am-241 Pu-239 Cs-137 Pu-238 Ni-63 Nb-94
3桁目	Pu-238 Cs-137 Ni-63 Am-241 Ca-41 Co-60	Co-60 Cl-36 Am-242m Am-243 Sn-126 Cm-244 Mo-93 U-234 Np-237	I-129 Co-60 Cl-36 Am-242m Am-243 Ca-41

(注) 下線の核種は、D/Cの値が最大であった核種を表す。

原子炉廃棄物：D/Cにより抽出された核種は、1桁目にC-14、2桁目にPu-241、Pu-240、Sr-90等、3桁目にCs-137、Ni-63、Am-241、Ca-41、Co-60等が挙がり、ピット処分に対する現行の政令濃度上限値評価の選定核種は、上位3桁の範囲に全て入る結果となった。

TRU廃棄物：1桁目にPu-241、Am-241等、2桁目にPu-239、I-129等、3桁目にNp-237、U-234等が挙がり、TRU廃棄物に特徴的な核種の相対重要度が高くなる傾向があった。

原子炉廃棄物とTRU廃棄物の合計：Sn-126、Cm-244、Mo-93を除き、「原子炉廃棄物」、「TRU廃棄物」で挙がった核種が上位3桁の範囲に入る結果となった。

核種流出の前提の影響：核種流出の有無が重要核種の抽出に有意な影響を与える核種は、U-234、U-238及びNp-237の3核種であった。これらの核種の相対重要度(D/C)は、核種の流出を想定することにより、U-234で1/2、U-238で1/13、Np-237で1/4程度小さくなるため、「流出あり」の場合においては「TRU廃棄物」の3桁目にU-234及びNp-237が挙がるだけとなった。しかしながら、これらの3核種の相対重要度(D/C)は、Pu-241やAm-241と比べると2桁以上小さく、TRU廃棄物の重要核種の選定に関しては、核種流出の有無による影響は小さいと考えられる。

### 3.3 ウラン廃棄物の基準線量相当濃度

上述のTRU廃棄物における検討より、特にU-238に対しては核種流出の前提が基準線量相当濃度に与える影響が大きいことが分かる。また、ウラン廃棄物を対象としたピット処分の評価では、長期的な評価の観点から、跡地利用シナリオにおいて長期的な降雨浸透による廃棄物層からの核種の漏洩を想定することは現実的な設定であると考えられる。そこで、ウラン廃棄物の評価では、TRU廃棄物の評価で設定した、極めて保守的な「流出なし」ケース、「現実的な評価シナリオの解析」として、長期的な降雨浸透による処分場からの核種の漏洩を想定した「流出あり」のケース(放出係数ケース)に加え、評価の長期性を踏まえ廃棄物層の劣化を考慮し、「砂に対する分配係数」(IAEA TRS-364<sup>(23)</sup>)を設定した、より核種が流出しやすい条件(分配係数ケース)についても検討した。なお、河川水利用シナリオの評価においても、処分場からの核種の漏洩量の計算には「放出係数」と「砂に対する分配係数」を使用した。

ピット処分におけるU-234、U-235、U-238の基準線量相当濃度の算出結果を表3.6に示す。表3.6は、表3.1よりU-234、U-235、U-238を抽出し、分配係数ケースの結果を追加した結果表である。極めて保守的な条件である「流出なし」の場合、U-234、U-235、U-238のピット処分に対する基準線量相当濃度は、それぞれ、 $1.4\text{E}+7$  Bq/ton、 $4.7\text{E}+6$  Bq/ton、 $8.4\text{E}+6$  Bq/tonとなった。

図3.4～3.6に跡地利用シナリオと河川水利用シナリオの主要経路に対する、U-234、U-235、U-238の被ばく線量の経時変化を示す。各図とも、廃棄体中のU-234、U-235、U-238の初期濃度を1Bq/gに設定した場合の被ばく線量経時変化である。図より、処分場からの核種漏洩を想定した場合、跡地利用シナリオのピーク線量は、「放出係数ケース」ではU-234及びU-235で1/2、U-238で1/13、「分配係数ケース」ではU-234及びU-235で1/20、U-238で1/400程度低下することが分かった。

一方、河川水利用シナリオの線量については、「分配係数ケース」の方が「放出係数ケース」よりも処分場からの核種漏洩速度が速く、流出量も多いため(図3.7参照)被ばく線量のピークは数万年早く現れ、ピーク線量の値は2倍程度大きくなった。また、各シナリオのピーク線量を比較してみると、U-234、U-238の「流出あり・分配係数ケース」では河川水利用シナリオのピーク線量が最大となり、その他の解析ケースにおいては、跡地利用シナリオのピーク線量が最大となった。

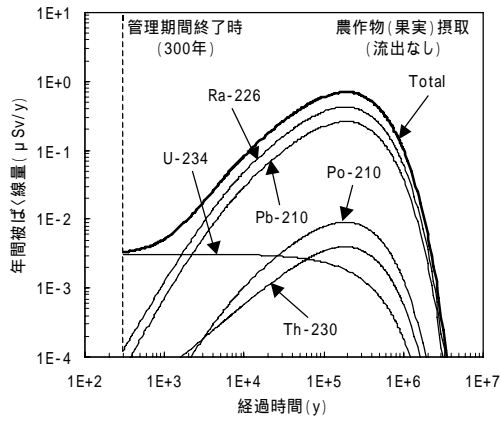
以上より、「現実的な評価シナリオの解析」として、地下水の浸透による処分場からの核種の漏洩を想定した場合、U-234、U-235、U-238のピット処分に対する基準線量相当濃度は、極めて保守的な条件である「流出なし」よりも、数倍～数十倍程度高くなり、以下ようになる。

表 3.6 ウラン廃棄物のピット処分における各評価経路の基準線量相当濃度結果一覧

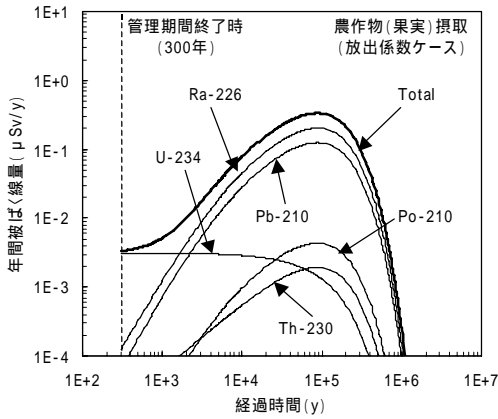
核種	半減期 (y)	核種流出考慮の有無	処分場からの流出条件	現行の政令評価の基準線量相当濃度		パラメータ見直しによる各評価シナリオ・評価経路における基準線量相当濃度 <sup>*1</sup> (Bq/ton)						パラメータ見直しによる決定シナリオの基準線量相当濃度					
				濃度 (Bq/ton)	決定シナリオ	建設シナリオ	居住シナリオ			河川水利用シナリオ			作業中シナリオ	濃度 (Bq/ton)	決定シナリオ		
						外部	農作物	重量レベル	飲料水	河川産物	畜産物	重量レベル	スカイシャイン外部				
U-234	2.5E+05	流出なし	放出係数	2.2E+08	居住	2.3E+08	1.7E+17	1.4E+07	1.4E+07	2.6E+08	1.6E+09	1.2E+11	2.2E+08	3.7E+18	1.4E+07	居住	
			分配係数	- <sup>*2</sup>	-	2.3E+08	1.7E+17	1.4E+07	1.4E+07	1.2E+08	7.1E+08	5.5E+10	1.0E+08	3.7E+18	3.7E+18	1.4E+07	居住
		流出あり	放出係数	- <sup>*2</sup>	-	4.8E+08	3.6E+17	3.0E+07	3.0E+07	2.6E+08	1.6E+09	1.2E+11	2.2E+08	3.7E+18	3.7E+18	3.0E+07	居住
			分配係数	-	-	5.0E+09	3.7E+18	3.1E+08	3.1E+08	1.2E+08	7.1E+08	5.5E+10	1.0E+08	1.0E+08	3.7E+18	3.7E+18	1.0E+08
U-235	7.0E+08	流出なし	放出係数	-	-	9.6E+09	-	4.7E+06	4.7E+06	1.1E+09	2.0E+10	2.8E+12	1.0E+09	4.6E+14	4.7E+06	居住	
			分配係数	-	-	9.6E+09	-	4.7E+06	4.7E+06	5.8E+08	1.1E+10	1.5E+12	5.5E+08	4.6E+14	4.6E+14	4.7E+06	居住
		流出あり	放出係数	-	-	1.9E+10	-	9.2E+06	9.2E+06	1.1E+09	2.0E+10	2.8E+12	1.0E+09	4.6E+14	4.6E+14	9.2E+06	居住
			分配係数	-	-	1.6E+11	-	8.3E+07	8.3E+07	5.8E+08	1.1E+10	1.5E+12	5.5E+08	4.6E+14	4.6E+14	8.3E+07	居住
U-238	4.5E+09	流出なし	放出係数	-	-	1.4E+08	1.0E+17	8.4E+06	8.4E+06	2.2E+08	1.3E+09	1.0E+11	1.9E+08	3.3E+16	8.4E+06	居住	
			分配係数	-	-	1.4E+08	1.0E+17	8.4E+06	8.4E+06	1.4E+08	8.5E+08	6.7E+10	1.2E+08	3.3E+16	8.4E+06	居住	
		流出あり	放出係数	-	-	1.8E+09	1.3E+18	1.1E+08	1.1E+08	2.2E+08	1.3E+09	1.0E+11	1.9E+08	3.3E+16	3.3E+16	1.1E+08	居住
			分配係数	-	-	2.3E+10	-	3.4E+09	3.4E+09	1.4E+08	8.5E+08	6.7E+10	1.2E+08	3.3E+16	3.3E+16	1.2E+08	河川水利用

\*1 天然バリアの分配係数や放出係数など処分場の立地・設計に関するパラメータは現行の政令ピット評価における既往値を使用するとし、線量換算係数、半減期、果実の摂取量、果実への移行係数、河川水飲用量、河川魚摂取量、家畜の飼育水摂取量、畜産物摂取量、飼育水から畜産物への移行係数、河川魚への濃縮係数の値を最新の知見に基づいた値を採用して評価した結果である。ただし、「分配係数ケース」においては、長期的な廃棄体の劣化を考慮し、砂に対する分配係数の値を使用して核種の流出を評価した結果である。

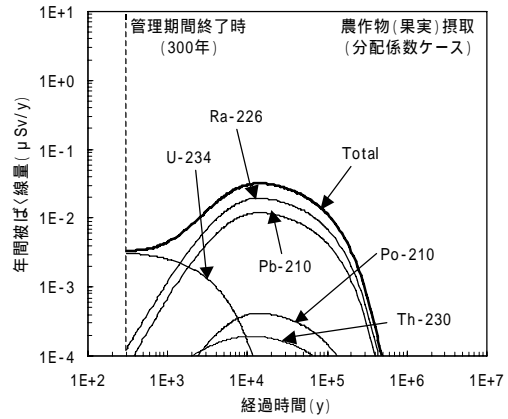
\*2 現行の政令評価において「-」は検討対象外核種であることを示す。また、本解析における「-」は基準線量相当濃度が $1.0 \times 10^{20}$  Bq/ton以上であることを示す。



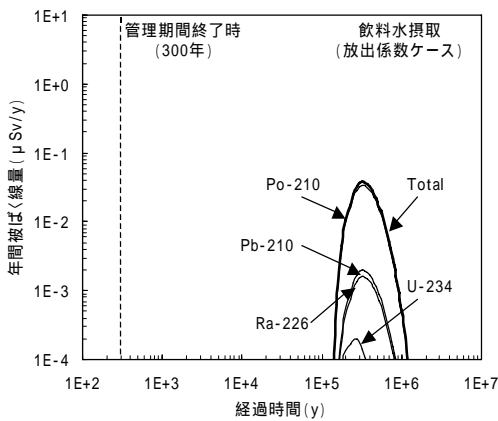
(a) 跡地利用シナリオ 流出なし



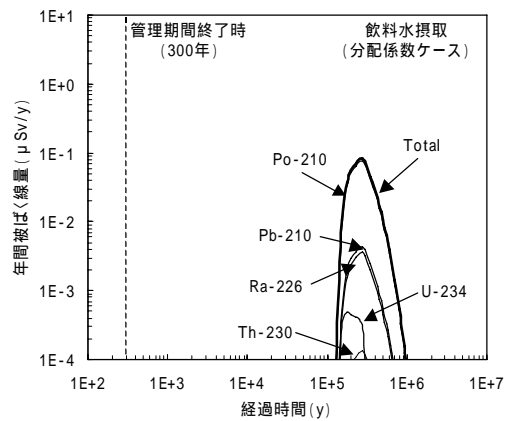
(b) 跡地利用シナリオ 流出あり  
(放出係数ケース)



(c) 跡地利用シナリオ 流出あり  
(分配係数ケース)



(d) 河川水利用シナリオ  
(放出係数ケース)

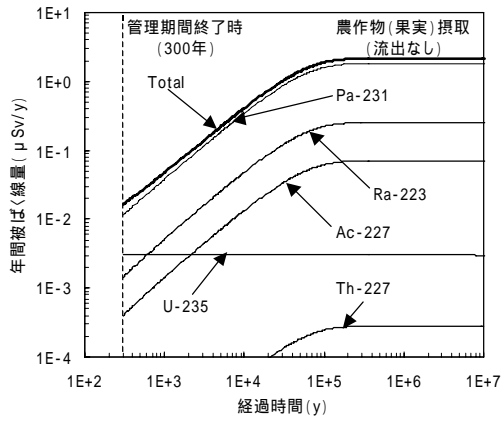


(e) 河川水利用シナリオ  
(分配係数ケース)

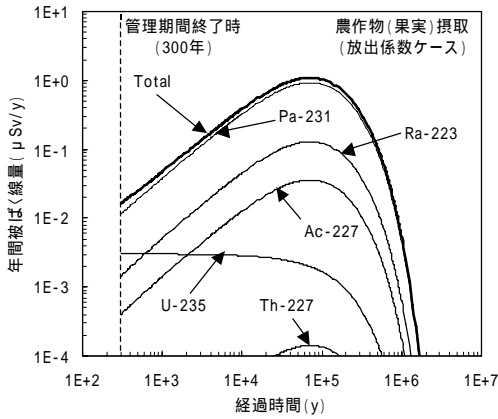
(注) 廃棄体中の U-234 の初期濃度を 1Bq/g に設定した場合の被ばく線量経時変化である

図 3.4 跡地利用シナリオ及び河川水利用シナリオの主要経路における線量の経時変化 (U-234)

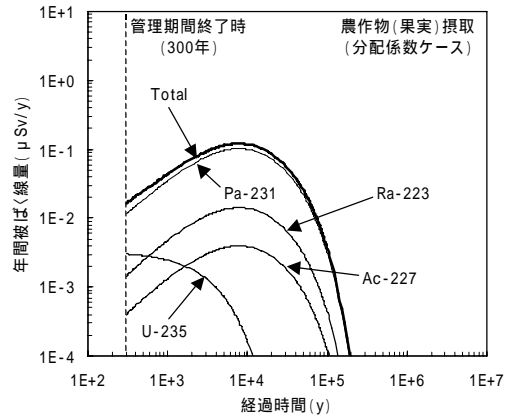




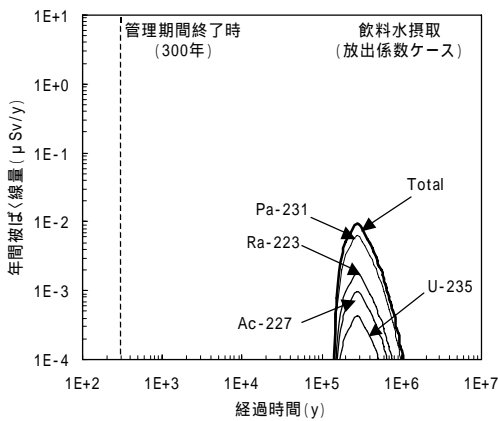
(a) 跡地利用シナリオ 流出なし



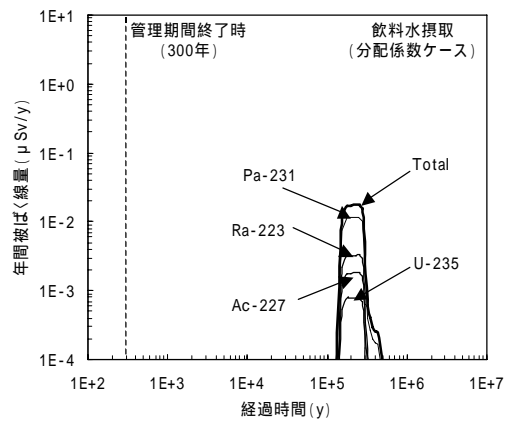
(b) 跡地利用シナリオ 流出あり  
(放出係数ケース)



(c) 跡地利用シナリオ 流出あり  
(分配係数ケース)

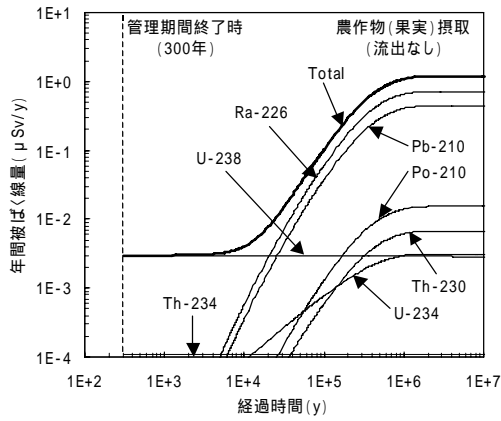


(d) 河川水利用シナリオ  
(放出係数ケース)

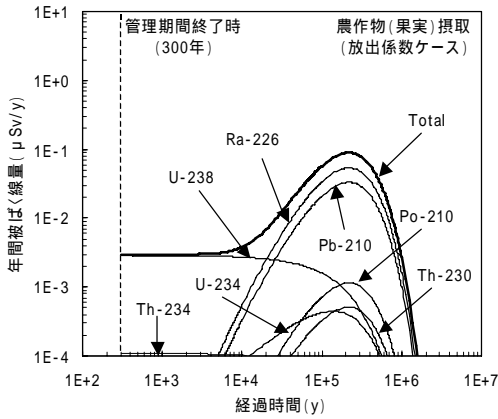


(e) 河川水利用シナリオ  
(分配係数ケース)

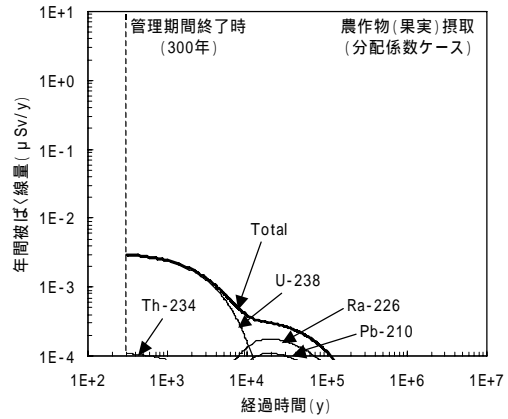
(注) 廃棄体中の U-235 の初期濃度を 1Bq/g に設定した場合の被ばく線量経時変化である  
図 3.5 跡地利用シナリオ及び河川水利用シナリオの主要経路における線量の経時変化(U-235)



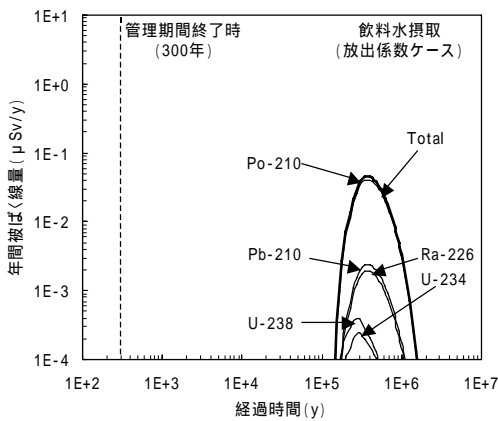
(a) 跡地利用シナリオ 流出なし



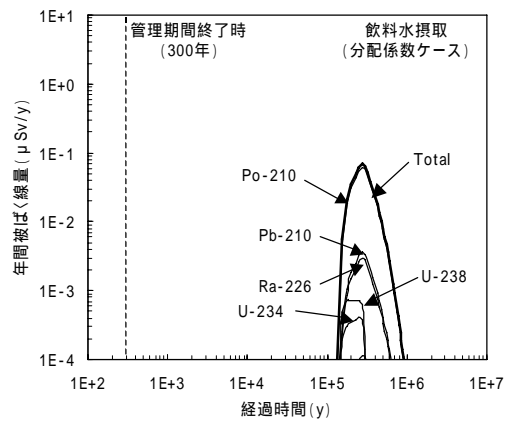
(b) 跡地利用シナリオ 流出あり (放出係数ケース)



(c) 跡地利用シナリオ 流出あり (分配係数ケース)

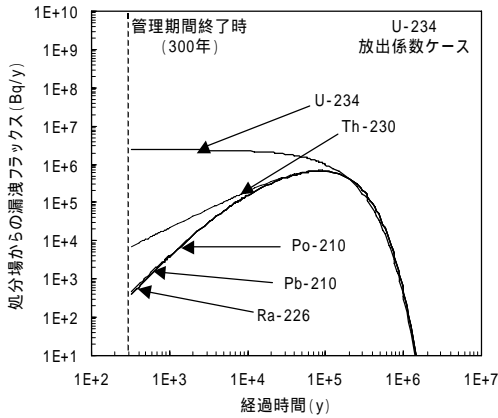


(d) 河川水利用シナリオ (放出係数ケース)

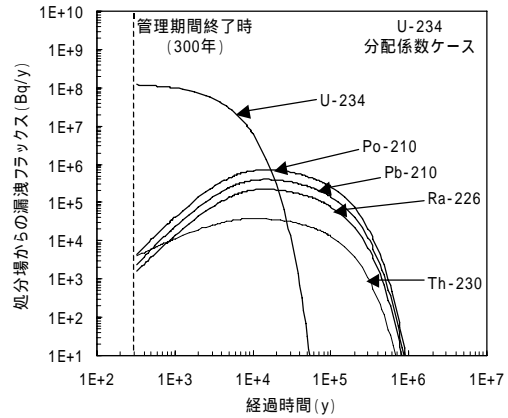


(e) 河川水利用シナリオ (分配係数ケース)

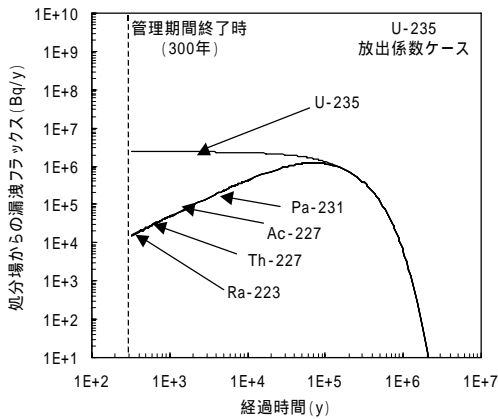
(注) 廃棄体中の U-238 の初期濃度を 1Bq/g に設定した場合の被ばく線量経時変化である  
 図 3.6 跡地利用シナリオ及び河川水利用シナリオの主要経路における線量の経時変化 (U-238)



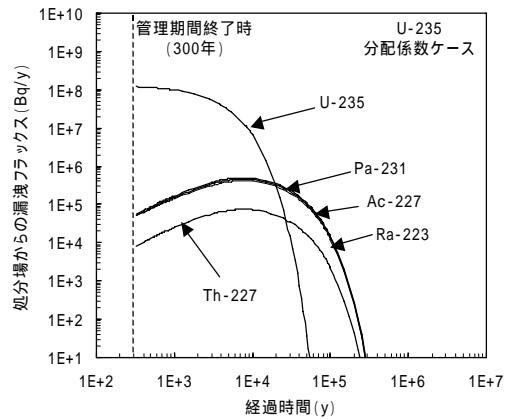
(a) U-234 放出係数ケース



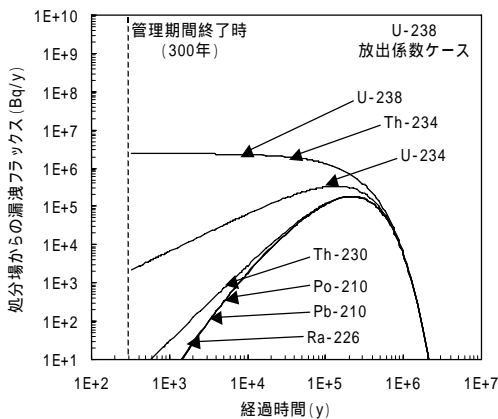
(b) U-234 分配係数ケース



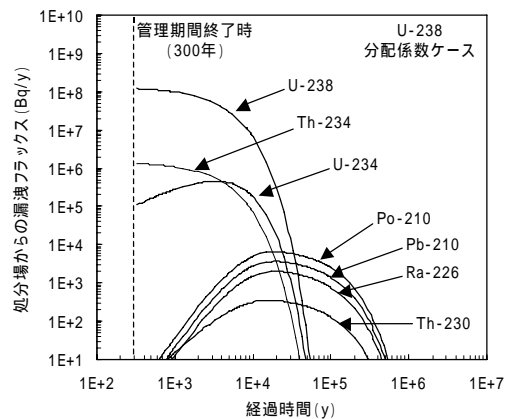
(c) U-235 放出係数ケース



(d) U-235 分配係数ケース



(e) U-238 放出係数ケース



(f) U-238 分配係数ケース

(注) 廃棄体中の初期濃度を 1Bq/g に設定した場合の核種濃度及び漏洩フラックスである  
 図 3.7 処分場からの漏洩フラックスの経時変化 (U-234、U-235、U-238)

【放出係数ケース】

U-234 : 3.0E+7 Bq/ton ( 居住シナリオ )  
 U-235 : 9.2E+6 Bq/ton ( 居住シナリオ )  
 U-238 : 1.1E+8 Bq/ton ( 居住シナリオ )

【分配係数ケース】

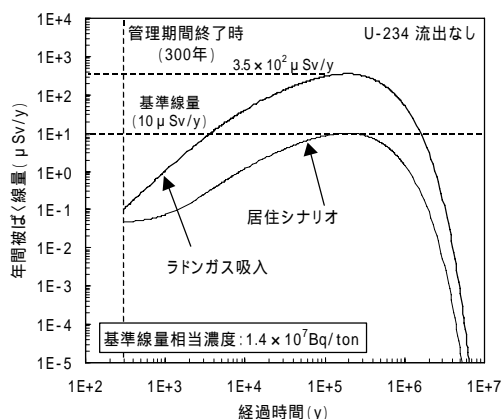
U-234 : 1.0E+8 Bq/ton ( 河川水利用シナリオ )  
 U-235 : 8.3E+7 Bq/ton ( 居住シナリオ )  
 U-238 : 1.2E+8 Bq/ton ( 河川水利用シナリオ )

ただし、ウラン廃棄物の主要核種である U-234、U-235、U-238 は、土壌等の天然環境中に存在しており、ウラン廃棄物に対する濃度上限値としての重要核種の選定及びその濃度値については、天然起源の放射能レベルとの関連性等を考慮しつつ、今後検討すべきであると考えられる。

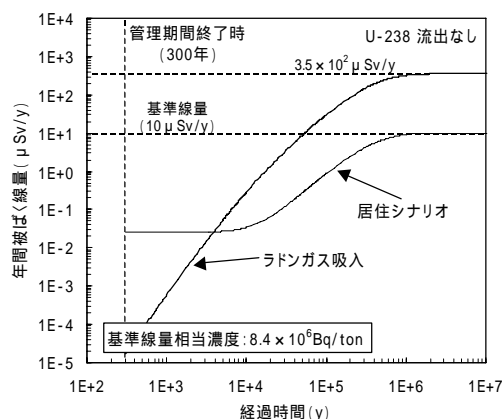
3.4 ラドンガス吸入経路の線量影響

ウラン廃棄物の中心的な核種のうち U-234 及び U-238 に関しては、上記のように算出した決定シナリオの基準線量相当濃度でピット処分した場合を想定し、ウラン廃棄物に特有なラドンガス吸入による内部被ばくの線量影響の程度を把握することを目的とした解析を実施した。評価経路としては、居住シナリオにおける居住者のラドンガス吸入被ばく経路を設定した。「流出なし」の場合、「流出あり・放出係数ケース」及び「流出あり・分配係数ケース」の場合における、U-234 及び U-238 のラドンガス吸入被ばく経路による被ばく線量の経時変化を決定シナリオの経時変化とともに図 3.8 に示す。

ピット処分において基準線量相当濃度の U-234 及び U-238 を埋設したとき、ラドンガス吸入被ばく経路のピーク線量は、「流出なし」及び「流出あり・放出係数ケース」の場合は両核種とも 350  $\mu$ Sv/y、「流出あり・分配係数ケース」の場合は U-234 で 110  $\mu$ Sv/y、U-238 で 1.3  $\mu$ Sv/y となり、U-238 の「流出あり・分配係数ケース」を除いて、決定シナリオのピーク線量 ( 10  $\mu$ Sv/y = 基準線量 ) より数十数倍程度大きくなる可能性があることが分かる。

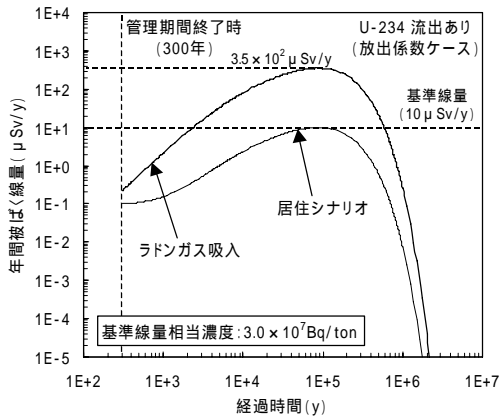


(a) U-234 流出なし

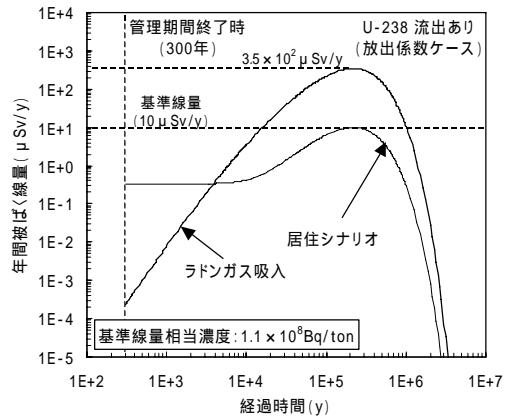


(b) U-238 流出なし

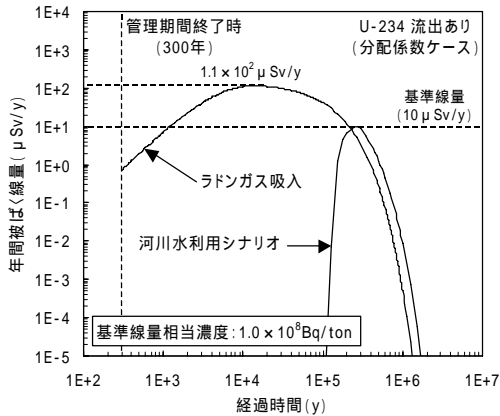
(注) 廃棄体中の U-234、U-238 の初期濃度を基準線量相当濃度に設定した場合の被ばく線量経時変化である  
 図 3.8 ピット処分におけるラドンガス吸入経路の線量の経時変化 (U-234、U-238) (1/2)



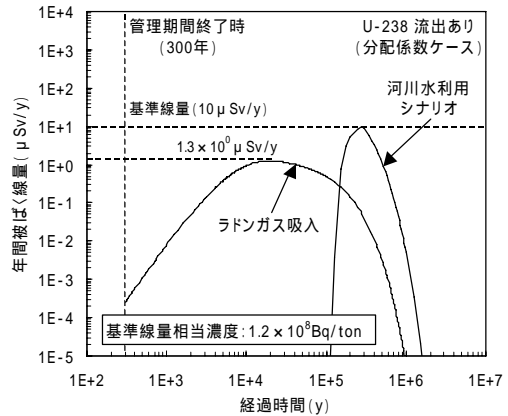
(c) U-234 放出係数ケース



(d) U-238 放出係数ケース



(e) U-234 分配係数ケース



(f) U-238 分配係数ケース

(注) 廃棄体中の U-234、U-238 の初期濃度を基準線量相当濃度に設定した場合の被ばく線量経時変化である  
 図 3.8 ピット処分におけるラドンガス吸入経路の線量の経時変化 (U-234、U-238)(2/2)

#### 4. ピット処分の濃度上限値算出結果のまとめ

本報告書では、TRU 廃棄物及びウラン廃棄物を対象としたピット処分の基準線量相当濃度を算出し、今後の濃度上限値の検討の基礎データを提示した。その試算結果をまとめると以下のようになる。

従来の原子炉廃棄物を対象とした現行の政令ピット処分評価と比較して、「核種」では Sn-126、I-129 等 9 核種、「核種」では U-238、Pu-241 等 24 核種が TRU 廃棄物に特徴的な核種であり、原子炉廃棄物にも共通な核種を含め全 66 核種に対する基準線量相当濃度を算出し、今後の濃度上限値の検討の基礎データとなる基準線量相当濃度を提示した。ピット処分に関する現行の政令濃度上限値に定められている設定核種 (C-14、Ca-41、Co-60、Ni-63、Sr-90、Cs-137、全核種の代表として Am-241) を対象に、本解析と現行の政令ピット処分評価の基準線量相当濃度における主な評価パラメータの変更点を整理した。

TRU 廃棄物において、処分場からの核種流出の有無が決定経路の基準線量相当濃度に有意な影響を与える核種は、子孫核種生成の影響が関係する U-233、U-234、U-235、U-238 及び Np-237 の 5 核種であり、核種の流出を想定することにより、U-238 で 1 桁程度、その他の 4 核種で数倍程度大きくなる可能性があることが分かった。

TRU 廃棄物の他に原子炉廃棄物を対象とした相対重要度 (D/C) を計算した。その結果、原子炉廃棄物を対象とした D/C により上位 3 桁に抽出された核種中に、現行の政令ピット処分評価における選定核種は全て含まれていた。また、TRU 廃棄物を対象とした D/C により抽出された核種は、上位 1 桁目に Pu-241、Am-241 等、2 桁目に Pu-239、I-129 等、3 桁目に Np-237、U-234 等が挙がり、TRU 廃棄物に特徴的な核種の相対重要度が高くなる傾向を確認した。

核種流出の有無が重要核種の抽出に有意な影響を与える核種は、U-234、U-238 及び Np-237 の 3 核種であった。しかしながら、これらの 3 核種の相対重要度 (D/C) は、Pu-241 や Am-241 と比べると 2 桁以上小さく、TRU 廃棄物の重要核種の選定に関しては、核種流出の有無による影響は小さいと考えられる。

ウラン廃棄物のピット処分に対する解析では、極めて保守的な「流出なし」のケースの他に、「現実的な評価シナリオの解析」として、降雨浸透による処分場からの核種の漏洩を想定する「流出あり」のケースを設定した。その際の処分場からの代表的な核種漏洩のパラメータ条件として、廃棄物層からの浸出率データである「放出係数」を設定する場合と、長期的な廃棄体の劣化を考慮してより核種が流出しやすい条件に相当する「砂に対する分配係数」を設定する場合の 2 ケースを想定した。その解析から、「流出あり」のケースでは、U-234、U-235、U-238 のピット処分に対する基準線量相当濃度は、極めて保守的な条件である「流出なし」よりも、1~2 オーダー程度高くなった。

U-234 及び U-238 を上記の基準線量相当濃度でピット処分した場合を想定し、ウラン廃棄物に特有なラドンガス吸入の線量影響の程度を把握することを目的とした解析を行った。その結果、ラドンガス吸入による線量は、基準線量 (= 10  $\mu$  Sv/y) より数十倍程度大きくなる可能性があることが分かった。

なお、ウラン廃棄物の主要核種である U-234、U-235、U-238 は、土壌等の天然環境中に存在しており、ウラン廃棄物に対する濃度上限値としての重要核種の選定及びその濃度値については、天然起源の放射能レベルとの関連性等を考慮しつつ、今後検討すべきであると考えられる。

#### 参考文献

- (1) 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”, (2000).
- (2) 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(中間報告) 昭和62年2月26日”, (1987).
- (3) 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2次中間報告) 平成4年6月18日”, (1992).
- (4) 原子力委員会：“超ウラン核種を含む放射性廃棄物処理処分の基本的考え方について 平成12年3月23日”, (2000).
- (5) 原子力委員会：“ウラン廃棄物処理処分の基本的考え方について 平成12年12月14日”, (2000).

- (6) 原子力安全委員会：“低レベル放射性固体廃棄物の埋設処分に係る放射能濃度上限値について平成19年5月21日”，(2007).
- (7) B. Singh：“Nuclear Data Sheets for A = 79”，Nuclear Data Sheets, Volume 96, Issue 1, (2002).
- (8) 武田聖司, 澤口拓磨, 佐々木利久, 木村英雄：“低レベル放射性廃棄物処分に対する濃度上限値評価コードGSA-GCL第2版の開発”，JAEA-Data/Code, 準備中.
- (9) 渡邊正敏, 武田聖司, 澤口拓磨, 木村英雄：“処分場操業シナリオのスカイシャイン線量評価コードシステムSKY-OSDの開発”，JAEA-Data/Code, 準備中.
- (10) K. Koyama, Y. Taji：“ANISN-JR, A One-Dimensional Discrete Ordinates Code for Neutron and Gamma-ray Transport Calculations” JAERI-M 6954, (1977).
- (11) W. A. Rhoades：“DOT3.5 Two Dimensional Discrete Ordinates Radiation Transport Code”，ORNL/RISC/CCC-276, (1975).
- (12) A. G. Croff：“A User’s Manual for the ORIGEN-2 Computer Code”，ORNL/TM-7175, (1980).
- (13) Radiation Shielding Information Center (RSIC)：“DLC-136/PHOTX: Photon Interaction Cross Section Library (contributed by National Institute of Standards and Technology)”，(1989).
- (14) R. B. Firestone and V. S. Shirley：“Table of Isotopes 8th Edition”，John Wiley & Sons, New York, (1996).
- (15) ICRP：“Age-dependent Doses to the Members of the Public from Intake of Radionuclides：Part 5. Compilation of Ingestion and Inhalation Coefficients”，ICRP Publication 72, (1996).
- (16) Y. Sakamoto and S. Tanaka：“QAD-CGGP2 and G33-GP2：Revised Versions of QAD-CGGP and G33-GP Code with Conversion Factors from Exposure to Ambient and Maximum Dose Equivalents”，JAERI-M 90-110, (1990).
- (17) A. Endo and Y. Yamaguchi：“Compilation of Nuclear Decay Data Used for Dose Calculation: Revised Data for Radionuclides Listed in ICRP Publication 38”，JAERI-Data/Code 2001-004, (2001).
- (18) ICRP：“Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation”，ICRP Publication 74, (1996).
- (19) IAEA：“Derivation of Activity Limits for the Disposal of Radioactive Waste in Near Surface Disposal Facilities”，IAEA-TECDOC-1380, (2003).
- (20) IAEA：“Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharge of Radioactive Substances to the Environment”，IAEA Safety Reports Series No.19, (2001).
- (21) 厚生労働省：“平成15年度 国民健康・栄養調査報告 平成17年8月”，(2005).
- (22) B. A. Napier, W. E. Kennedy Jr. and J. K. Soldat：“Assessment of Effectiveness of Geologic Isolation Systems PABLM-A Computer Program to Calculate Accumulated Radiation Dose from Radionuclides in the Environment”，PNL-3209, Pacific Northwest Laboratory, (1980).
- (23) IAEA：“Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Temperate Environments”，IAEA Technical Reports Series No.364, (1994).

Appendix-1

ピット処分の濃度上限値評価モデル

本報告書におけるピット処分の濃度上限値の解析には、「低レベル放射性廃棄物処分の濃度上限値評価コード：GSA-GCL2」<sup>(1)</sup>と「処分場操業シナリオのスカイシャイン線量評価コードシステム：SKY-OSD」<sup>(2)</sup>を使用した。GSA-GCL2は、浅地中処分の跡地利用に関するシナリオ（跡地利用シナリオ）と地下水による核種移行に関するシナリオ（地下水移行シナリオ）を評価するためのコードであり、決定論的解析及び確率論的解析が可能なコードである。本解析では、GSA-GCL2の構成コードの一部である、跡地利用シナリオ評価コード及び地下水移行シナリオ評価コードを使用して、ピット処分に対する決定論的な解析を実施した。また、SKY-OSDは、処分場の操業中における周辺居住者のスカイシャインを対象とした評価シナリオ（操業中シナリオ）の解析用のコードである。ここでは、TRU廃棄物及びウラン廃棄物のピット処分濃度上限値評価において設定した一連の評価シナリオに対する各評価モデルの詳細について記述する。

1. 低レベル放射性廃棄物処分の濃度上限値評価コード GSA-GCL2

1.1 跡地利用シナリオ評価コード

跡地利用シナリオ評価コードの構成を図 A1.1 に示す。跡地利用シナリオ評価コードは、ソースタームモデル、及び生物圏モデルにより構成されている。

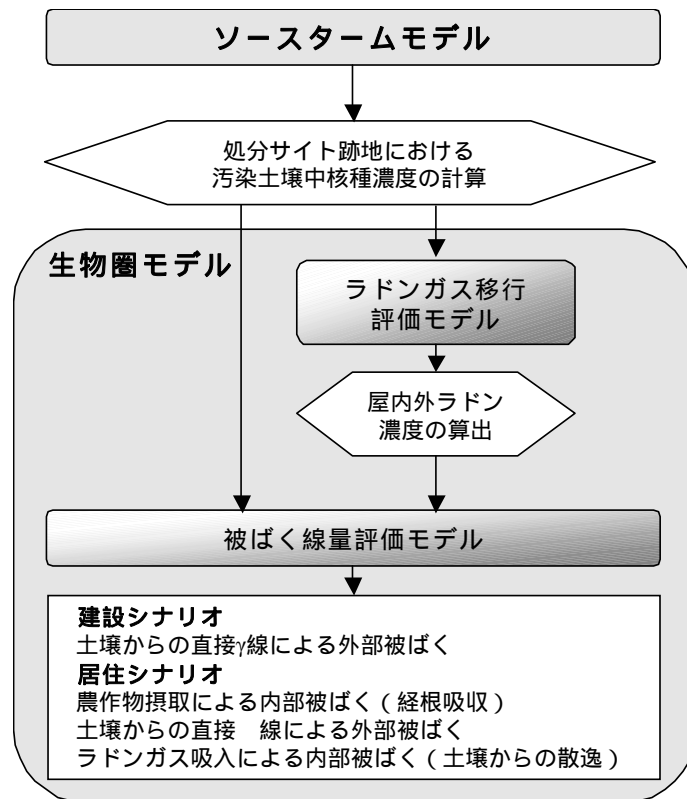


図 A1.1 ピット処分の跡地利用シナリオに関する評価モデルの構成



### 1.1.1 ソースタームモデル

跡地利用シナリオ評価コードにおけるソースタームモデルでは、処分場施設内を均一な濃度分布である廃棄物層と仮定したコンパートメントとし、崩壊系列を考慮した非定常的な廃棄物層の核種量の変化を動的コンパートメントモデルにより解析する。動的コンパートメントモデルは、以下の常微分方程式により記述される。常微分方程式の解法として、数値逆ラプラス変換法の一つである FILT (Fast Inverse Laplace Transform) 法<sup>(3)</sup>を使用している。

$$\frac{d}{dt} A_{d,i}(t) = -(\eta_i + \lambda_i) \cdot A_{d,i}(t) + \lambda_{i-1} \cdot A_{d,i-1}(t) \quad (1)$$

ここで、

- $A_{d,i}(t)$  : 廃棄物層の核種  $i$  量 (Bq)
- $\lambda_i$  : 核種  $i$  の崩壊定数 (1/y)
- $\eta_i$  : 核種  $i$  の廃棄物層からの漏洩率 (1/y)

である。

廃棄物層からの漏洩率  $\eta_i$  は、IAEA 技術文書「IAEA-TECDOC-401<sup>(4)</sup>」における放出係数モデルを使用すると、式(2)により求められる。分配係数モデルを使用する場合には、式(3)により得られる放出係数を用いて式(2)により求める。なお、保守的に廃棄物層からの核種の漏洩を考慮しない場合は漏洩率  $\eta_i$  をゼロとして計算する。

$$\eta_i = \frac{P}{H_w} \cdot R_{c,i} \quad (2)$$

$$R_{c,i} = \frac{1}{\varepsilon_w \cdot \left( 1 + \frac{1 - \varepsilon_w}{\varepsilon_w} \cdot \rho_w \cdot Kd_{w,i} \right)} \quad (3)$$

ここで、

- $\eta_i$  : 核種  $i$  の廃棄物層からの漏洩率 (1/y)
- $P$  : 廃棄物層浸透水量 (m/y)
- $H_w$  : 廃棄物層の厚さ (m)
- $R_{c,i}$  : 核種  $i$  の放出係数 (-)
- $\varepsilon_w$  : 廃棄物層の空隙率 (-)
- $\rho_w$  : 廃棄物層の真密度 (kg/m<sup>3</sup>)
- $Kd_{w,i}$  : 廃棄物層の核種  $i$  の分配係数 (m<sup>3</sup>/kg)

である。

式(1)の初期条件は、以下の式で表される。

$$C_{d,i} = \frac{A_{d,i}}{W \cdot \rho_w \cdot (1 - \varepsilon_w)} \cdot D_w \cdot 10^{-3} \quad (4)$$

$$D_w = \frac{W}{L_w \cdot W_w \cdot H_w} \quad (5)$$

ここで、

- $C_{d,i}(t)$  : 廃棄物層の核種  $i$  濃度 (Bq/g)

- $W$  : 処分された放射性廃棄物総量 ( $m^3$ )
- $D_w$  : 放射性廃棄物処分総量の処分場容量に対する割合 (-)
- $L_w$  : 処分場の長さ (m)
- $W_w$  : 処分場の幅 (m)
- $H_w$  : 処分場 (= 廃棄物層) の厚さ (m)

である。

### 1.1.2 生物圏モデル

#### 1.1.2.1 ラドンガス移行評価モデル

ラドンガス移行評価モデルの構成を図 A1.2 に示す。ラドンガス移行評価モデルは、大気中へのラドンガスの散逸率、屋外大気中ラドン濃度、床下空間ラドン濃度及び屋内空間ラドン濃度を評価する4つのモデルより構成されている。

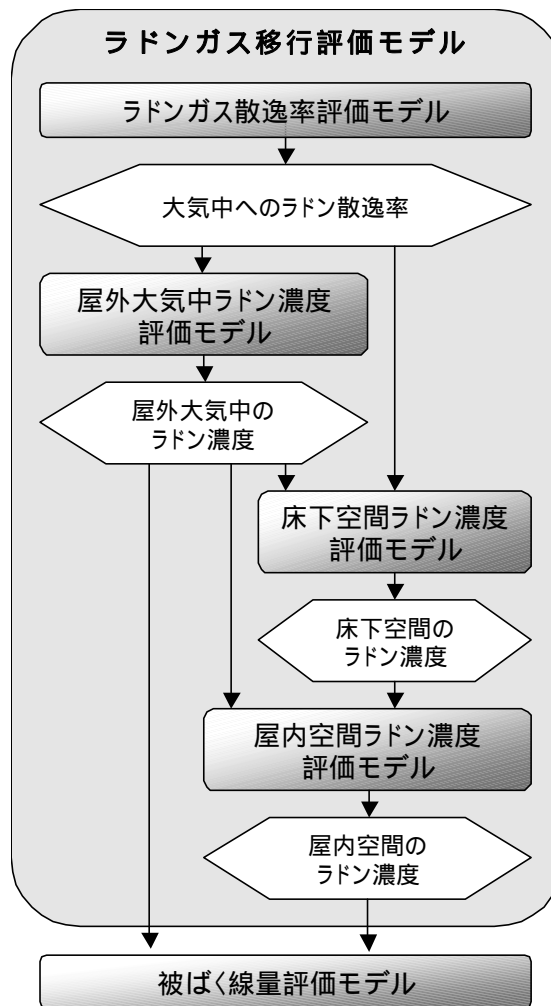


図 A1.2 ラドンガス移行評価モデルの構成

#### (1) ラドンガス散逸率評価モデル

ラドン ( $^{222}\text{Rn}$ ) は、廃棄物中に含まれるウランの子孫核種であるラジウム ( $^{226}\text{Ra}$ ) の壊変によ

り発生する。廃棄物中に含まれるラジウムから発生したラドンガスは廃棄物層から拡散により土壌空気（空隙）中に入り込む。その土壌空気中のラドンガスは、さらに土壌空気中を拡散によって移動し、一部が地表面から大気中に散逸する。汚染土壌からのラドンガス散逸率  $J_w$  は、以下の式で表される<sup>(5),(6),(7)</sup>。

$$J_w(t) = C_{Ra}(t) \cdot \rho \cdot F \cdot \lambda_{Rn} \cdot \sqrt{\frac{D_w}{\lambda_{Rn}}} \cdot \tanh \frac{X_w}{\sqrt{\frac{D_w}{\lambda_{Rn}}}} \quad (6)$$

ここで、

- $J_w(t)$  : 汚染土壌からのラドンガス散逸率 (Bq/m<sup>2</sup>/s)
- $C_{Ra}(t)$  : 土壌中ラジウム濃度 (Bq/kg)
- : 土壌密度 (高密度) (kg/m<sup>3</sup>)
- $F$  : 散逸能 (-)
- $\lambda_{Rn}$  : ラドンの崩壊定数 (1/s)
- $D_w$  : ラドンガスの汚染土壌中拡散係数 (m<sup>2</sup>/s)
- $X_w$  : 発生源の厚さ (m)

である。

本解析でのピット処分においては、ラドンガスの発生源として、廃棄物層のみを考慮する。土壌密度 及びラドンガスの汚染土壌中拡散係数  $D_w$  については、廃棄物層の密度及び拡散係数を用いて、廃棄物層からの散逸率  $J_w$  を求める。

また、ピット処分においては廃棄物層の上にコンクリート蓋と覆土を想定しており、大気中へのラドン散逸率  $J_c$  は以下の式で表される。

$$J_c(t) = J_w \cdot \exp \left( - \frac{X_c}{\sqrt{\frac{D_c}{\lambda_{Rn}}}} \right) \quad (7)$$

ここで、

- $J_c(t)$  : 大気中へのラドン散逸率 (Bq/m<sup>2</sup>/s)
- $J_w$  : 廃棄物層からのラドン散逸率 (Bq/m<sup>2</sup>/s)
- $X_c$  : コンクリート蓋 + 覆土の厚さ (m)
- $D_c$  : コンクリート蓋中及び覆土中のラドンガスの拡散係数 (m<sup>2</sup>/s)

である。

## (2) 屋外大気中ラドン濃度評価モデル

地表面から散逸したラドンガスは、様々な気象条件に影響されながら大気中に拡散する。現在、大気汚染の環境評価では、大気中の物質の輸送モデルとして拡散モデルが広く使用されている。拡散モデルとして一般的なものは、面源を対象としたボックスモデル、点源を対象としたパフモデル、プルームモデル等である<sup>(8),(9),(10)</sup>。本解析においては、汚染源から発生する汚染物質の大気中濃度を比較的簡単に算出することができるボックスモデルを用いて、ラジウムを含む廃棄物から発生するラドンの大気中濃度を算出する。ボックスモデルとは、対象とする地域をあまり多く

ない数の空間（ボックス）に分割し、それぞれのボックスについて対象物質の収支を計算するモデルである。この時、各ボックスの中では濃度が一様であると考えて、濃度を算出する。処分場直上において、ある評価高さを仮定した場合、この領域内におけるラドン放射能の収支は、地表面からの散逸、ラドンの崩壊、大気による交換を想定し、以下の式で表される。

$$\frac{\partial Co_{Rn}(t)}{\partial t} = \frac{J_c(t)}{H} - \left( \lambda_{Rn} + \frac{U}{a} \right) \cdot Co_{Rn}(t) \quad (8)$$

ここで、

- $Co_{Rn}(t)$  : 屋外大気中ラドン濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)
- $J_c(t)$  : 大気中へのラドン散逸率 (Bq/m<sup>2</sup>/s)
- $H$  : 評価高さ (m)
- $\lambda_{Rn}$  : ラドンの崩壊定数(1/s)
- $U$  : 風速 (m/s)
- $a$  : 発生源長さ (風向方向) (m)

である。

$U/a = \lambda_U$ とおき、 $t = 0$ で $Co_{Rn} = 0$ として、式(9)を解くと、時刻 $t$ における屋外大気中ラドン濃度 $Co_{Rn}$ は、以下のように表される。

$$Co_{Rn}(t) = \frac{J_c(t) \cdot [1 - \exp\{-(\lambda_{Rn} + \lambda_U) \cdot t\}]}{H \cdot (\lambda_{Rn} + \lambda_U)} \quad (9)$$

### (3) 床下空間ラドン濃度評価モデル

処分場跡地の敷地内に居住することを仮定すると、廃棄物層から発生し、地表面より散逸したラドンの一部は、住居の床下空間に放出される。また、我が国の住居には除湿等の目的で床下に換気孔が設けられているため、床下換気による屋外大気中ラドンの侵入、及び除去が考えられる。これらの床下空間におけるラドンガスの収支について、式(9)と同様のボックスモデルを適用すると、床下空間ラドン濃度は、以下の式で表される。

$$Cc_{Rn}(t) = \frac{J_c(t) \cdot [1 - \exp\{-(\lambda_{Rn} + \lambda_c) \cdot t\}]}{h_c \cdot (\lambda_{Rn} + \lambda_c)} + \frac{Co_{Rn}(t) \cdot \lambda_c}{\lambda_{Rn} + \lambda_c} \quad (10)$$

ここで、

- $Cc_{Rn}(t)$  : 床下空間ラドン濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)
- $J_c(t)$  : 大気中へのラドン散逸率 (Bq/m<sup>2</sup>/s)
- $\lambda_{Rn}$  : ラドンの崩壊定数(1/s)
- $\lambda_c$  : 床下空間換気率 (1/s)
- $h_c$  : 床下空間高さ (m)

である。

### (4) 屋内ラドン濃度評価モデル

廃棄物中の核種を起源とするラドンの屋内空間への侵入経路としては、床下空間のラドンの侵入や、換気による屋外大気中ラドンの侵入及び生活水中ラドンの散逸<sup>(11)</sup>が考えられる。ラドンガスは床下から屋内に侵入率 $I$ で侵入すると仮定すると、屋内ラドン濃度は以下の式で表される。

$$C_{i_{Rn}}(t) = \frac{C_{c_{Rn}}(t) \cdot I \cdot h_c}{h_{in} \cdot (\lambda_{Rn} + \lambda_{in})} + \frac{C_{o_{Rn}}(t) \cdot \lambda_{in}}{\lambda_{Rn} + \lambda_{in}} + \frac{C_{w_{Rn}}(t) \cdot Q_w \cdot G}{V \cdot (\lambda_{Rn} + \lambda_{in})} \quad (11)$$

ここで、

- $C_{i_{Rn}}(t)$  : 屋内ラドン濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)
- $C_{c_{Rn}}(t)$  : 床下空間ラドン濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)
- $I$  : 床下空間から屋内へのラドン侵入率 (1/s)
- $h_c$  : 床下空間高さ (m)
- $h_{in}$  : 屋内空間高さ (m)
- $\lambda_{Rn}$  : ラドンの崩壊定数 (1/s)
- $\lambda_{in}$  : 屋内換気率 (1/s)
- $C_{o_{Rn}}(t)$  : 屋外大気中ラドン濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)
- $C_{w_{Rn}}(t)$  : 生活水中ラドン濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)
- $Q_w$  : 生活用水の使用量 (m<sup>3</sup>/s)
- $G$  : ガス化率 (-)
- $V$  : 居住空間体積 (m<sup>3</sup>)

である。

ただし、本解析でのピット処分においては、生活水中ラドンの散逸による寄与を考慮していないため、最後の項はゼロとした。

#### 1.1.2.2 被ばく線量評価モデル

跡地利用シナリオ評価コードで使用される生物圏モデルでは、廃棄物層中の核種濃度及び核種量に基づき被ばく線量評価を行う。

##### (1) 建設シナリオ

廃棄物層からの直接線による外部被ばく経路

建設シナリオにおける廃棄物層からの直接線による外部被ばく線量は、次式により求める。

$$D_{EXT,i}(t) = C_{d,i}(t) \cdot S \cdot T \cdot DCF_{EXT,i} \quad (12)$$

ここで、

- $D_{EXT,i}(t)$  : 直接線による外部被ばく線量 (Sv/y)
- $C_{d,i}(t)$  : 廃棄物層の核種  $i$  濃度 (Bq/g)
- $S$  : 遮へい係数 (-)
- $T$  : 年間被ばく時間 (h/y)
- $DCF_{EXT,i}$  : 核種  $i$  の外部被ばく線量換算係数 (Sv/h per Bq/g)

である。

##### (2) 居住シナリオ

農作物摂取による内部被ばく経路

処分場跡地において栽培された農作物の摂取を想定する場合、廃棄物層からの経根吸収による農作物への移行のみを考慮する。農作物中の核種  $i$  濃度は、以下の式で表される。

$$C_{j,i}(t) = C_{d,i}(t) \cdot T_{j,i} \cdot 10^3 \quad (13)$$

ここで、

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

$C_{d,i}(t)$  : 廃棄物層の核種  $i$  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 per Bq/kg)

である。

ピット処分を想定した本解析では、農作物として果実のみを考慮する。また、核種を含む農作物を摂取することによる人の内部被ばく線量は、次式で計算する。

$$D_{ING,i}(t) = \sum_j C_{j,i}(t) \cdot Q_j \cdot K_j \cdot DCF_{ING,i} \quad (14)$$

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)  
 $C_{j,i}(t)$  : 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)  
 $K_j$  : 農作物  $j$  の経根吸収係数 (-)  
 $DCF_{ING,i}$  : 核種  $i$  の経口内部被ばく線量換算係数 (Sv/Bq)

である。

廃棄物層からの直接線による外部被ばく線量

居住シナリオにおける廃棄物層からの直接線による外部被ばく線量は、(1)建設シナリオと同様であり式(12)により求める。ただし、遮へい係数、年間被ばく時間、外部被ばく線量換算係数については、建設シナリオ及び居住シナリオにそれぞれ対応したパラメータ値を設定している。

ラドンガス吸入による内部被ばく経路

ラドンガス吸入による内部被ばく線量は、通常その子孫核種濃度(平衡等価ラドン濃度)によって評価され、平衡等価ラドン濃度は、ラドン濃度に平衡ファクタを乗じることによって求められる。ラドンの吸入による内部被ばく線量は、以下の式で表される<sup>(6),(12),(13)</sup>。

$$D_{Rn}(t) = \{R_r \cdot Co_{Rn}(t) \cdot Fo + (1 - R_r) \cdot Ci_{Rn} \cdot Fi\} \cdot K \cdot T \quad (15)$$

ここで、

$D_{Rn}(t)$  : ラドンの吸入による内部被ばく線量 (Sv/y)  
 $R_r$  : 居住係数(屋外にいる割合) (-)  
 $Co_{Rn}(t)$  : 屋外大気中ラドン濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)  
 $Fo$  : 屋外平衡ファクタ (-)  
 $Ci_{Rn}(t)$  : 屋内ラドン濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)  
 $Fi$  : 屋内平衡ファクタ (-)  
 $T$  : 年間被ばく時間 (h/y)  
 $K$  : 線量換算係数 (Sv per Bq·h/m<sup>3</sup>)

である。

## 1.2 地下水移行シナリオ評価コード

地下水移行シナリオ評価コードの構成を図 A1.3 に示す。地下水移行シナリオ評価コードは、ソースタームモデル、天然バリアモデル及び生物圏モデルにより構成されている。

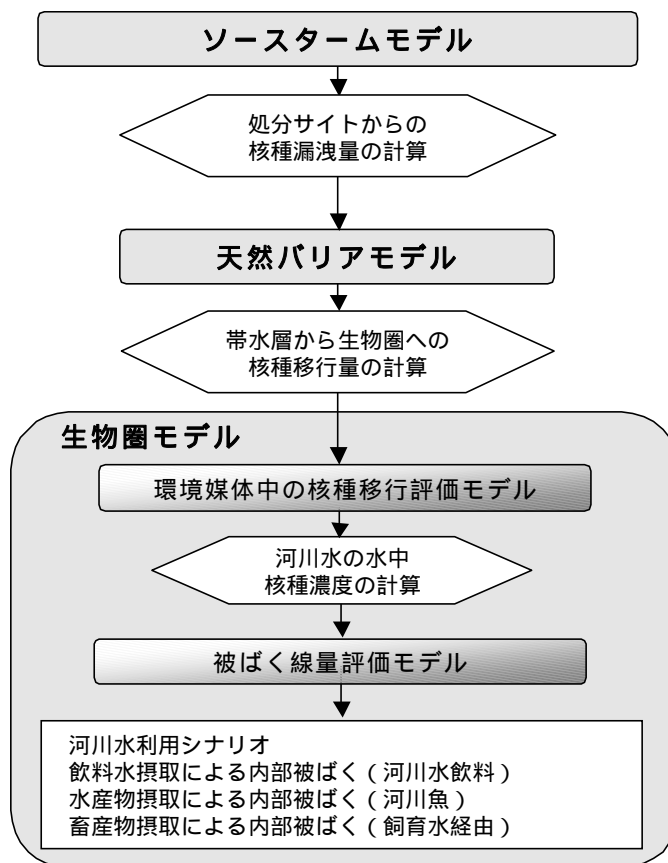


図 A1.3 地下水移行シナリオ評価コードの構成

### 1.2.1 ソースタームモデル

地下水移行シナリオ評価コードにおけるソースタームモデルについては、跡地利用シナリオ評価コードにおけるソースタームモデルと同様で、処分場施設内を均一な濃度分布である廃棄物層と仮定したコンパートメントとし、崩壊系列を考慮した非定常的な廃棄物層の核種量の変化を動的コンパートメントモデルにより解析する。常微分方程式についても式(1)と同様である。

処分場からの漏洩量である核種フラックスについては、次式により表される。

$$J_i = \eta_i \cdot A_i \tag{16}$$

ここで、

- $J_i$  : 核種  $i$  のフラックス (Bq/y)
- $\eta_i$  : 核種  $i$  の廃棄物層からの漏洩率 (1/y)
- $A_i$  : 核種  $i$  の廃棄物層の核種量 (Bq)

である。

核種  $i$  の廃棄物層からの漏洩率  $\eta_i$  については、式(2)と式(3)を組み合わせた分配係数モデルとし、放出係数に相当する分配係数を設定して解析を行った。

### 1.2.2 天然バリアモデル

天然バリアモデルは、埋設施設より漏洩した核種に対し、天然バリア中における 1 次元の核種移行を評価し、生物圏に流入する核種移行量を評価するモデルである。天然バリア中の核種移行

は、堆積岩で代表される多孔質媒体とした地質媒体中における、移流 - 分散、平衡吸着による遅延及び崩壊連鎖を考慮した次の 1 次元移流分散モデルにより表される。

$$\frac{\partial}{\partial t} Rt_i \cdot C_{gw,i}(x,t) = D_x \cdot \frac{\partial^2 C_{gw,i}(x,t)}{\partial x^2} - U_{gw} \cdot \frac{\partial C_{gw,i}(x,t)}{\partial x} - Rt_i \cdot \lambda_i \cdot C_{gw,i}(x,t) + Rt_{i-1} \cdot \lambda_{i-1} \cdot C_{gw,i-1}(x,t) + Q_i(t) \quad (17)$$

ここで、

$Rt_i$  : 核種  $i$  の帯水層遅延係数 (-)

$$Rt_i = 1 + \frac{1 - \varepsilon_s}{\varepsilon_s} \cdot \rho_s \cdot Kd_{s,i}$$

$\varepsilon_s$  : 帯水層空隙率 (-)

$\rho_s$  : 帯水層真密度 (g/cm<sup>3</sup>)

$Kd_{s,i}$  : 帯水層分配係数 (ml/g)

$C_{gw,i}(x,t)$  : 地点  $x$ 、時刻  $t$  における核種  $i$  の濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)

$D_x$  : 分散係数 (m<sup>2</sup>/y)

$$D_x = D_l \cdot U_{gw} + D_m$$

$D_l$  : 分散長 (m)

$D_m$  : 分子分散係数 (=  $3.15 \times 10^{-2}$  m<sup>2</sup>/y)

$U_{gw}$  : 地下水実流速 (m/y)

$\lambda_i$  : 核種  $i$  の崩壊定数 (1/y)

$Q_i(t)$  : 核種  $i$  の人工バリアから天然バリアへの流入量 (Bq/m<sup>3</sup>/y)

である。

1 次元天然バリアからの核種移行フラックスは、単位面積としての流量が保存されるものとして天然バリア出口における核種濃度を換算し算出する。

本解析のピット処分における地下水移行については、処分場下端から河川までの距離に、処分場の長さ  $L_w$  を 10 等分して各中点から処分場下端までの距離を加えて移行距離とし、10 種類の地点  $x$  までの核種移行計算を行った後、重ね合わせにより核種  $i$  の河川へのフラックスを評価する。

## 1.2.3 生物圏モデル

### 1.2.3.1 環境媒体中の核種移行評価モデル

地下水移行シナリオ評価コードで使用される環境媒体中の核種移行評価モデルでは、処分施設から漏出した放射性核種が、帯水層を通過して河川に流入し、様々な環境媒体中における核種濃度を計算する。ピット処分において対象とする環境媒体は河川であり、処分場下端から  $x_R$  (m) 地点にある河川水中の核種濃度は、以下の式で表される。

$$C_{Rw,i}(t) = \frac{C_{f,i}(t)}{V_R} \quad (19)$$

ここで、

$C_{Rw,i}(t)$  : 河川水中核種  $i$  濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)

$C_{f,i}(t)$  : 核種  $i$  の河川へのフラックス (Bq/y)

$V_R$  : 河川水流量 (m<sup>3</sup>/y)

である。



### 1.2.3.2 被ばく線量評価モデル

地下水移行シナリオ評価コードで使用される被ばく線量評価モデルでは、環境媒体中における核種濃度に基づき被ばく線量評価を行う。ピット処分において対象とする環境媒体は河川であり、各経路における被ばく線量は以下の通りとなる。

#### 河川水飲用による内部被ばく経路

飲料水として河川水を想定すると、飲料水摂取による内部被ばく線量は、以下の式で表される。

$$D_{ING,i}(t) = C_{Rw,i}(t) \cdot Q_W \cdot DCF_{ING,i} \quad (20)$$

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)

$C_{Rw,i}(t)$  : 河川水中核種  $i$  濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)

$Q_W$  : 年間飲料水摂取量 (m<sup>3</sup>/y)

$DCF_{ING,i}$  : 核種  $i$  の経口内部被ばく線量換算係数 (Sv/Bq)

である。

#### 河川産物摂取による内部被ばく経路

河川産物中の核種  $i$  濃度は、水中の核種濃度に依存し、両者の間に平衡関係が成立しているものとする濃縮係数法によって求める。河川産物中核種  $i$  濃度については次式により計算する。

$$C_{m,i}(t) = C_{Rw,i}(t) \cdot 10^{-3} \cdot T_{m,i} \quad (21)$$

ここで、

$C_{m,i}(t)$  : 河川産物  $m$  中の核種  $i$  濃度 (Bq/kg)

$C_{Rw,i}(t)$  : 河川水中核種  $i$  濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)

$T_{m,i}$  : 核種  $i$  の水産物  $m$  への濃縮係数 (L/kg)

である。

本解析でのピット処分においては、河川産物として魚類の 1 種類を考慮する。また、河川産物摂取による内部被ばく線量は、次式で計算する。

$$D_{ING,i}(t) = \sum_m C_{m,i}(t) \cdot Q_m \cdot DCF_{ING,i} \quad (22)$$

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)

$C_{m,i}(t)$  : 河川産物  $m$  中の核種  $i$  濃度 (Bq/kg)

$Q_m$  : 河川産物  $m$  の摂取量 (kg/y)

$DCF_{ING,i}$  : 核種  $i$  の経口内部被ばく線量換算係数 (Sv/Bq)

である。

#### 畜産物摂取（飼育水経由）による内部被ばく経路

放射性核種を含む河川水を飼育水として利用して生産される畜産物中の核種  $i$  濃度は次式で計算する。

$$C_{FWn,i}(t) = C_{Rw,i}(t) \cdot T_{n,i} \cdot Q_{Wn} \cdot 10^{-3} \quad (23)$$

ここで、

- $C_{FWn,i}(t)$  : 飼育水を経由した畜産物  $n$  中の核種  $i$  濃度 (Bq/kg または Bq/L)
- $C_{Rw,i}(t)$  : 河川水中核種  $i$  濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)
- $T_{n,i}$  : 核種  $i$  の飼育水から畜産物  $n$  への移行係数 (d/kg または d/L)
- $Q_{Wn}$  : 畜産物  $n$  の飼育水摂取量 (L/d)

である。

本解析でのピット処分においては、畜産物として牛乳、牛肉、豚肉、鶏肉及び鶏卵の 5 種類を考慮する。また、畜産物摂取による内部被ばく線量は、次式で計算する。

$$D_{ING,i}(t) = \sum_n C_{FWn,i}(t) \cdot Q_n \cdot DCF_{ING,i} \quad (24)$$

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)
- $C_{FWn,i}(t)$  : 飼育水を経由した畜産物  $n$  中の核種  $i$  濃度 (Bq/kg または Bq/L)
- $Q_n$  : 畜産物  $n$  の摂取量 (kg/y または L/y)
- $DCF_{ING,i}$  : 核種  $i$  の経口内部被ばく線量換算係数 (Sv/Bq)

である。

## 2. 処分場操業シナリオのスカイシャイン線量評価コード SKY-OSD

### 2.1 ピット処分におけるスカイシャイン線量評価

処分操業中シナリオのスカイシャイン線量評価コードシステム SKY-OSD<sup>(2)</sup>では、処分場操業中における周辺監視区域上のスカイシャイン線量は、廃棄物中の放射性核種から放出された光子が、周辺監視区域上の評価点に到達するまでの輸送計算を行うことにより算出する。この輸送計算は、廃棄体領域における光子の輸送計算と、空気領域における光子輸送計算の 2 つに分け、前者は 1 次元無限平板モデルとして Sn 法<sup>(14)</sup>による 1 次元輸送計算コード ANISN<sup>(15)</sup>を用いて行い、後者は 2 次元円柱モデルとして 2 次元輸送計算コード DOT3.5<sup>(16)</sup>を用いて行う。SKY-OSD におけるこれらの一連のスカイシャイン線量評価の流れを以下の図 A1.4 に示す。

### 2.2 スカイシャイン線量評価モデルの構成

#### 2.2.1 廃棄体領域における光子の輸送計算モデル

廃棄体領域における光子の輸送計算モデル<sup>(14)</sup>は、次式により表される。廃棄体領域における光子の輸送は、1 次元無限平板としてモデル化し、ANISN コードにより計算する。

$$\begin{aligned} & \cdot \nabla_x (x, y, z, E) + \mu(E) \phi(x, y, z, E) = \\ & \int_4 d\Omega' \int_E \left( \Omega' \rightarrow \Omega, E' \rightarrow E \right) \cdot \phi(x, y, z, E') dE' + S(x, y, z, E) \end{aligned} \quad (25)$$

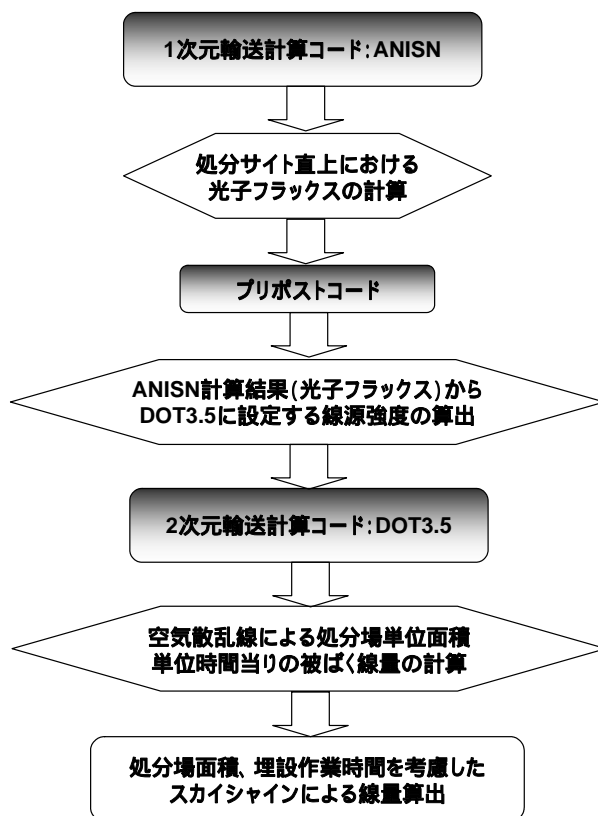


図 A1.4 SKY-OSD におけるスカイシャイン線量評価の流れ

ここで、

- $\phi(x, \Omega, E)$  : 光子フラックス ( $1/(s \cdot cm^2)$ )
- $S(x, \Omega, E)$  : 線源光子フラックス ( $1/(s \cdot cm^2)$ )
- $x$  : 空間座標
- $\Omega$  : 散乱後の光子の進行方向単位ベクトル
- $E$  : 散乱後の光子エネルギー (MeV)
- $\sigma(\Omega', E', E)$  : 方向  $\Omega'$ 、エネルギー  $E'$ (MeV)の光子が、散乱により方向  $\Omega$ 、エネルギー  $E$ (MeV)に変化する場合の巨視的散乱断面積 ( $1/cm$ )
- $\mu(E)$  : 媒質の線減衰係数 ( $1/cm$ )

である。

また、DOT3.5 コードに設定する方向セグメント  $n$ 、エネルギー群  $E_g$  に対する点線源強度  $F(n, E_g)(1/(s \cdot cm^2))$ は、ANISN コードにより算出した廃棄体領域直上における光子フラックス  $\phi_n(r, \Omega_n, E_g)$  ( $n=1,2, \dots, N, g=1,2, \dots, G$ )と、 $n$ に対する方向余弦  $\mu_n$ との積として次式でプリポストコードにより算出する。

$$F(n, E_g) = \phi_n(r, \Omega_n, E_g) \cdot \mu_n \quad (26)$$

ここで、

- $\phi_n(r, \Omega_n, E_g)$  : 廃棄体領域直上の光子フラックス ( $1/(s \cdot cm^2)$ )
- $\mu_n$  : 方向セグメント  $n$ に対する方向余弦

N : Sn 分点数  
 G : エネルギー群数

である。

### 2.2.2 空気領域における光子の輸送計算モデル

空気領域における光子の輸送計算モデルは、廃棄体領域における輸送計算モデルと同様に式(25)式により表される。空気領域における光子の輸送は 2 次元円柱としてモデル化し DOT3.5 コードにより計算する。

式(25)を解くことにより得られる光子フラックスは、光子の進行方向に依存した量であるために、換算係数を乗じてスカイシャイン線量を求めるには方向に依存した光子フルエンスを進行方向で積分する必要がある(式(27))。さらに、式(28)により評価距離  $r(m)$ におけるスカイシャイン線量  $D(r)(\mu Sv/h)$ を求める。

$$\phi(r, E) = \int_4 \phi(r, \Omega, E_g) d\Omega \quad (27)$$

$$D(r) = \sum_{g=1}^G CF(E_g) \cdot \phi(r, E_g) \quad (28)$$

ここで、

$\phi(r, E)$  : 処分場単位面積当りの光子フラックス ( $1/(s \cdot cm^2)/m^2$ )  
 $CF(E)$  : 光子フラックスから線量への換算係数 ( $\mu Sv/h \cdot (s \cdot cm^2)$ )  
 $D(r)$  : 処分場単位面積当りのスカイシャイン線量 ( $\mu Sv/h/m^2$ )

である。

### 2.2.3 スカイシャイン線量評価モデル

2.2.1、2.2.2 により求められるコンクリート部単位面積当りのスカイシャイン線量を  $D_{shield}(r)$ 、埋設作業中の開放部単位面積当りのスカイシャイン線量を  $D_{open}(r)$ に対して、コンクリート部の表面積(埋設作業中:  $S_{shiled}$ 、埋設作業中以外:  $S'_{shield}$ )埋設作業中の開放部の表面積  $S_{open}(m^2)$ 、1日の埋設作業時間  $T(h/d)$ 及び年間埋設作業日数  $w_d(d/y)$ を考慮することにより、式(29)により周辺監視区域境界上に居住する一般公衆(評価距離  $r(m)$ )が被ばくするスカイシャイン線量  $D_{SKY}(r)(\mu Sv/y)$ を求める。また、 $S_{shiled}$ 、 $S'_{shiled}$ 、 $S_{open}$ 、 $w_d$ は、それぞれ式(30)、(31)、(32)により求める。

$$D_{SKY}(r) = (F - w_d \cdot T) \cdot S_{shield} \cdot D_{shield}(r) \cdot d + w_d \cdot T \cdot (S'_{shield} \cdot D_{shield}(r) + S_{open} \cdot D_{open}(r)) \cdot d \quad (29)$$

$$\begin{cases} S_{shield} = S - S_{open} & (\text{埋設作業中}) \\ S_{shield} = S & (\text{埋設作業中以外}) \end{cases} \quad (30)$$

$$S_{open} = \frac{2S}{w_d} \quad (31)$$

$$w_d = \frac{V_y}{V_d} \quad (32)$$

ここで、

$D_{SKY}(r)$	: 周辺監視区域境界上に居住する一般公衆が被ばくするスカイシャイン線量 ( $\mu\text{ Sv/y per } 1\text{ Bq/m}^3$ )
$D_{\text{shield}}(r)$	: コンクリート部の単位面積当りのスカイシャイン線量 ( $\mu\text{ Sv/h/m}^2 \text{ per } 1\text{ Bq/m}^3$ )
$D_{\text{open}}(r)$	: 廃棄物の埋設作業中の開放部単位面積当りのスカイシャイン線量 ( $\mu\text{ Sv/h/m}^2 \text{ per } 1\text{ Bq/m}^3$ )
$S_{\text{shield}}$	: コンクリート部の表面積 (埋設作業中) ( $\text{m}^2$ )
$S'_{\text{shield}}$	: コンクリート部の表面積 (埋設作業以外) ( $\text{m}^2$ )
$S_{\text{open}}$	: 廃棄物の埋設作業中の開放部に相当する表面積 ( $\text{m}^2/\text{d}$ )
$F$	: 年間被ばく時間 (h/y)
$w_d$	: 年間埋設作業日数 (d/y)
$T$	: 1日の埋設作業時間 (h/d)
$S$	: 処分場の単位区画面積 ( $\text{m}^2$ )
$V_y$	: 年間の廃棄物処分量 ( $\text{m}^3$ )
$V_d$	: 1日当りの廃棄物処分量 ( $\text{m}^3$ )
$d$	: 希釈率 (-)

である。

なお、本解析では政令ピット処分評価に倣い、一年間に埋設される廃棄物は2ピット(単位区画)に分割して埋設され、1ピットの埋設が終わる毎に3mの覆土で覆われるものとし、埋設作業時に蓋の開放されるセル、及び埋設状態のピットからのスカイシャイン線量を評価する。また、埋設作業中以外の箇所は常に廃棄物が存在するとし、保守的な評価とする。

#### Appendix-1 の参考文献

- (1) 武田聖司, 澤口拓磨, 佐々木利久, 木村英雄: “低レベル放射性廃棄物処分に対する濃度上限値評価コード GSA-GCL 第2版の開発”, JAEA-Data/Code, 準備中.
- (2) 渡邊正敏, 武田聖司, 澤口拓磨, 木村英雄: “処分場操業シナリオのスカイシャイン線量評価コードシステム SKY-OSD の開発”, JAEA-Data/Code, 準備中.
- (3) T. Hosono: “Numerical inversion of Laplace transform and some applications to wave optics”, International U.R.S.I.-Symposium 1980 on Electromagnetic Waves, Munich, (1980).
- (4) IAEA: “Exemption of Radiation Sources and Practices from Regulatory Control”, IAEA-TECDOC-401, (1987).
- (5) OECD/NEA: “Shallow Land Disposal of Radioactive Waste, Reference Levels for The Acceptance of Long-Lived Radionuclides”, OECD, Paris, (1987).
- (6) UNSCEAR: “1988 Report; Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation”, (1988).
- (7) UNSCEAR: “2000 Report; Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation”, (2000).
- (8) 磯野謙治: “大気汚染物質の動態”, 東京大学出版会, (1979).
- (9) 藤波直人: “簡易混合層モデルを用いた大気中ラドン娘核種濃度の日変化解析”, 続 大気中のラドン族と環境放射, ラドン族調査研究委員会, (1990).
- (10) 西川嗣男, 青木正義, 岡部茂: “大気中ラドン娘核種濃度の日変化と気温の逆転層との関係”, 続 大気中のラドン族と環境放射能, ラドン族調査研究委員会, (1990).
- (11) E. P. Lawrence, R. B. Wanty and P. Nyberg: “Contribution of  $^{222}\text{Rn}$  in Domestic Water Supplies to  $^{222}\text{Rn}$  Indoor Air in Colorado Homes”, Health Physics, Vol.62, No.2, pp.171-177, (1992).

- (12) UNSCEAR : “1982 Report ; Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects”, (1982).
- (13) UNSCEAR : “1993 Report ; Sources and Effects of Ionizing Radiation”, (1993).
- (14) 小林啓祐 : “ 原子炉物理 ” , コロナ社, (1996).
- (15) K. Koyama, Y. Taiji : “ANISN-JR A One-Dimensional Discrete Ordinates Code for Neutron and Gamma-ray Transport Calculations”, JARI-M 6954, (1977).
- (16) W. A. Rhoades : “DOT3.5 Two Dimensional Discrete Ordinates Radiation Transport Code”, ORNL/RSIC/CCC-276, (1975).

Appendix-2 ピット処分の評価パラメータ

表 A2.1 ピット処分における評価シナリオ及び被ばく経路

評価シナリオ	形態	被汚染物	線量評価対象者	被ばく形態	経路番号
建設シナリオ	処分場跡地の再利用	覆土の掘削された廃棄物層	建設作業員	土壌直接線・外部	1
居住シナリオ		覆土で覆われた廃棄物層	居住者	農作物（果実）摂取・内部 土壌直接線・外部	2 3
河川水利用シナリオ	河川水利用	河川水	河川水利用者	河川水飲用・内部	4
			河川産物消費者	河川産物摂取・内部	5
		飼育水	畜産物消費者	畜産物摂取・内部	6
操業中シナリオ	処分場操業	廃棄物	居住者（敷地境界）	スカイシャイン・外部	7

表 A2.2 ピット処分の評価シナリオに関するパラメータ

シナリオ	全シナリオ
パラメータ名	処分された放射性廃棄物総量
設定値（単位）	2.0 E +05 (m <sup>3</sup> )
【設定値根拠】	
対象となる廃棄物総量は様々な値を取り得るので、第2次中間報告書の固型化コンクリート処分に対する設定を踏襲する。	

シナリオ	全シナリオ
パラメータ名	処分場規模
設定値（単位）	500 (m) × 500 (m)
【設定値根拠】	
廃棄物総量に応じて設定する処分方法に係るパラメータであり、第2次中間報告書の固型化コンクリート処分に対する設定を踏襲する。	

シナリオ	全シナリオ
パラメータ名	処分された放射性廃棄物の厚さ
設定値（単位）	5 (m)
【設定値根拠】	
廃棄物総量と処分場規模に応じて設定する処分方法に係るパラメータであり、第2次中間報告書の固型化コンクリート処分に対する設定を踏襲する。	

設定値根拠欄における報告書名

「第2次中間報告書」：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2次中間報告）」、平成4年6月18日

シナリオ	全シナリオ
パラメータ名	放射性廃棄物処分総量の処分容量に対する割合
設定値（単位）	16（％）
<b>【設定値根拠】</b> 放射性廃棄物総量 / 処分場容積 = $(2.0E+05 \text{ m}^3) / (500 \text{ m} \times 500 \text{ m} \times 5 \text{ m}) = 0.16$ （第2次中間報告書を踏襲）	

シナリオ	全シナリオ
パラメータ名	埋設された廃棄物の見かけ密度
設定値（単位）	2.0（g/cm <sup>3</sup> ）
<b>【設定値根拠】</b> IAEA-TECDOC-401。（第2次中間報告書を踏襲）	

シナリオ	全シナリオ
パラメータ名	地表面から放射性廃棄物表面までの距離
設定値（単位）	3.5（m）
<b>【設定値根拠】</b> 第2次中間報告書の固型化コンクリート処分に対する設定を踏襲する。 （覆土：3.0 m + コンクリートピット蓋：0.5 m）	

シナリオ	建設シナリオ～建設作業～建設作業外部
パラメータ名	建設開始時期
設定値（単位）	300（y）
<b>【設定値根拠】</b> 処分場閉鎖（管理期間 300 年）後、直ちに侵入し、住居の建設開始を仮定。（第2次中間報告書を踏襲）	

シナリオ	建設シナリオ～建設作業～建設作業外部
パラメータ名	建設掘削深さ
設定値（単位）	3（m）
<b>【設定値根拠】</b> IAEA-TECDOC-401。（第2次中間報告書を踏襲）	

シナリオ	建設シナリオ～建設作業～建設作業外部
パラメータ名	掘削残土中放射能濃度の廃棄物中放射能濃度に対する比率
設定値（単位）	0（-）
<b>【設定値根拠】</b> 覆土と廃棄物の混合は起こらない。（第2次中間報告書を踏襲）	



シナリオ	建設シナリオ～建設作業～建設作業外部
パラメータ名	建設作業時における遮蔽係数
設定値（単位）	0.5（-）
【設定値根拠】 IAEA-TECDOC-401。（第2次中間報告書を踏襲）	

シナリオ	建設シナリオ～建設作業～建設作業外部
パラメータ名	建設作業による年間作業時間
設定値（単位）	500（h/y）
【設定値根拠】 IAEA-TECDOC-401。（第2次中間報告書を踏襲）	

シナリオ	居住シナリオ～全経路
パラメータ名	建設掘削深さ
設定値（単位）	3（m）
【設定値根拠】 IAEA-TECDOC-401。（第2次中間報告書を踏襲）	

シナリオ	居住シナリオ～全経路
パラメータ名	掘削残土中放射能濃度の廃棄物中放射能濃度に対する比率
設定値（単位）	0（-）
【設定値根拠】 覆土と廃棄物の混合は起こらない。（第2次中間報告書を踏襲）	

シナリオ	居住シナリオ～居住～農作物摂取
パラメータ名	汚染農作物の摂取開始時期
設定値（単位）	310（y）
【設定値根拠】 処分場閉鎖（管理期間300年）後、住居の周囲で栽培した農作物を摂取すると仮定。ただし、果樹の栽培期間を考慮して、果実の摂取開始は処分場閉鎖の10年後からとする。（第2次中間報告書を踏襲）	

シナリオ	居住シナリオ～居住～農作物摂取
パラメータ名	農作物の経根吸収係数：果実
設定値（単位）	0.1（-）
【設定値根拠】 地表面から放射性廃棄物表面までの距離（3.5 m）を考慮し、経根吸収係数を0.1に設定。（第2次中間報告書を踏襲）	

シナリオ	居住シナリオ～居住～農作物摂取
パラメータ名	農作物摂取量
設定値（単位）	果実：4（kg/y）
<b>【設定値根拠】</b> 「平成 15 年国民健康・栄養調査報告」に示された摂取量に対して、汚染された農作物以外の摂取と食習慣の変動を考慮して 0.1 を乗じて設定。果実：1 人 1 日当たりの摂取量 115.1 g に 0.1 を乗じて設定。 $(115.1(\text{g}) \times 365(\text{日}) \times 0.1 = 4.2(\text{kg/y}))$ を四捨五入してまるめた	

シナリオ	居住シナリオ～居住～居住外部
パラメータ名	居住シナリオ時の遮蔽係数
設定値（単位）	0.2（-）
<b>【設定値根拠】</b> IAEA-TECDOC-401 を参考に、居住シナリオ者は居住シナリオ時間の 20%を戸外で過ごす と仮定。	

シナリオ	居住シナリオ～居住～居住外部
パラメータ名	年間居住被ばく時間
設定値（単位）	8760（h/y）
<b>【設定値根拠】</b> 処分場跡地に建設した住居に 1 年中居住すると仮定。	

シナリオ	河川水利用シナリオ～全経路
パラメータ名	移行開始年
設定値（単位）	管理期間（300 y）後
<b>【設定値根拠】</b> 現行の政令ピット評価より設定。（第 2 次中間報告書を踏襲）	

シナリオ	河川水利用シナリオ～全経路
パラメータ名	廃棄物層浸透水量
設定値（単位）	0.1（m/y）
<b>【設定値根拠】</b> 現行の政令ピット評価より設定。（第 2 次中間報告書を踏襲）	

シナリオ	河川水利用シナリオ～全経路
パラメータ名	河川までの距離
設定値（単位）	500（m）
<b>【設定値根拠】</b> IAEA-TECDOC-401 は、パラメーター一覧の中で 100～1000 m の範囲を示し、試算には 500 m を使っている。この値を採用した。（第 2 次中間報告書を踏襲）	

シナリオ	河川水利用シナリオ～全経路
パラメータ名	帯水層土壌空隙率
設定値(単位)	0.2(-)
【設定値根拠】 「水理公式集」に示された土壌の有効空隙率の値の内、最大値である砂層の値を採用した。	

シナリオ	河川水利用シナリオ～全経路
パラメータ名	地下水流速
設定値(単位)	実流速：0.01(m/d) ダルシー流速：2.0E-03(m/d)
【設定値根拠】 「日本の地下水」(1996)によると、帯水層中を流れる地下水流速は、1日当たり数cmから数百mと記述されている。政令濃度上限値の特性を鑑み、事業許可申請の条件を不必要に制限しないことから、我が国において存在する範囲のうち被ばく線量試算結果が小さくなる値として、上記地下水流速の範囲の小さい値である0.01m/dに設定する。(第2次中間報告書を踏襲)	

シナリオ	河川水利用シナリオ～全経路
パラメータ名	標準拡散係数
設定値(単位)	1(m)
【設定値根拠】 NCRP Report No.76(1984)では、土壌中の標準拡散係数として幅広く分布(0.034～134.1m)するが、概ね平均的と考えられる値を1mとみて、この値を採用した。(第2次中間報告書を踏襲)	

シナリオ	河川水利用シナリオ～全経路
パラメータ名	帯水層土壌真密度
設定値(単位)	2.6(g/cm <sup>3</sup> )
【設定値根拠】 「土質工学ハンドブック」に示された砂の土粒子の真密度を基に設定。(第2次中間報告書を踏襲)	

シナリオ	河川水利用シナリオ～全経路
パラメータ名	河川水流量
設定値(単位)	1.0E+08(m <sup>3</sup> /y)
【設定値根拠】 「流量年表」(建設省河川局編1978年)では、平均流量が1.0E+08m <sup>3</sup> /y以上の河川水系数(流量観測点数)が全体の97%を占めており、河川水系の大部分を包含する値の最小の値である1.0E+08m <sup>3</sup> /yに設定する。(第2次中間報告書を踏襲)	

シナリオ	河川水利用シナリオ～河川水利用～河川水飲用
パラメータ名	人の河川水飲用量
設定値（単位）	0.6 (m <sup>3</sup> /y)
【設定値根拠】 IAEA SRS No.19 より Far East における値を設定。	

シナリオ	河川水利用シナリオ～河川産物消費～河川産物摂取
パラメータ名	河川魚摂取量
設定値（単位）	魚類：1.6 (kg/y)
【設定値根拠】 平成 15 年度の「国民健康・栄養調査報告」の魚介類消費量（1 日あたり 86.7 g）から、保守的に半分が河川産物として摂取するとし、汚染された河川産物以外の摂取と食習慣の変動を考慮して 0.1 を乗じた値を淡水産物の摂取量として設定。 (86.7 (g) × 0.5 × 365 (日) × 0.1 = 1.582 (kg/y))	

シナリオ	河川水利用シナリオ～飼育水利用～畜産物摂取
パラメータ名	家畜の河川水飲用
設定値（単位）	乳牛：60 (L/d) 肉牛：40 (L/d) 豚：10 (L/d) 鶏：0.3 (L/d)
【設定値根拠】 肉牛、乳牛については、IAEA SRS No.19 において採用された値を設定。豚、鶏については、PNL-3209(1980)に使用された値を設定。	

シナリオ	河川水利用シナリオ～飼育水利用～畜産物摂取
パラメータ名	畜産物摂取量
設定値（単位）	牛乳：4 (L/y) 牛肉：1 (kg/y) 豚肉：1 (kg/y) 鶏肉：1 (kg/y) 鶏卵：1 (kg/y)
【設定値根拠】 「平成 15 年国民健康・栄養調査報告」に示された摂取量に対して、汚染された畜産物以外の摂取と食習慣の変動を考慮して 0.1 を乗じて設定。 牛乳：1 人 1 日当たりの牛乳摂取量 96.1 g（牛乳の密度を 1 g/mL）に 0.1 を乗じて設定 (96.1 (g) × 365 (日) × 0.1 = 3.5 (L/y) を四捨五入してまるめた) 牛肉：1 人 1 日当たりの牛肉摂取量 15.8 g に 0.1 を乗じて設定 (15.8 (g) × 365 (日) × 0.1 = 0.6 (kg/y) を四捨五入してまるめた) 豚肉：1 人 1 日当たりの豚肉摂取量 26.9 g に 0.1 を乗じて設定 (26.9 (g) × 365 (日) × 0.1 = 1.0 (kg/y) を四捨五入してまるめた) 鶏肉：1 人 1 日当たりの鶏肉摂取量 20.4 g に 0.1 を乗じて設定 (20.4 (g) × 365 (日) × 0.1 = 0.7 (kg/y) を四捨五入してまるめた) 鶏卵：1 人 1 日当たりの鶏卵摂取量 36.4 g に 0.1 を乗じて設定 (36.4 (g) × 365 (日) × 0.1 = 1.3 (kg/y) を四捨五入してまるめた)	

シナリオ	操業中シナリオ～スカイシャイン～居住外部
パラメータ名	敷地境界までの距離
設定値（単位）	450（m）
<b>【設定値根拠】</b> 処分方法に係るパラメータであり、第2次中間報告書の固型化コンクリート処分に対する設定（敷地の中央から境界までの距離）を踏襲する。	

シナリオ	操業中シナリオ～スカイシャイン～居住外部
パラメータ名	廃棄物処分量
設定値（単位）	年間：10,000（m <sup>3</sup> /y） 1日当り：50（m <sup>3</sup> /d）
<b>【設定値根拠】</b> 処分方法に係るパラメータであり、第2次中間報告書の固型化コンクリート処分に対する設定を踏襲する。	

シナリオ	操業中シナリオ～スカイシャイン～居住外部
パラメータ名	希釈率
設定値（単位）	0.3（-）
<b>【設定値根拠】</b> 処分方法に係るパラメータであり、固型化コンクリート廃棄物処分の上限値検討における設定と同様に、廃棄物を処分する単位区画面に対する年間処分量の割合に、一年間における処分の開始から終了までの係数（2単位区画分）を考慮して設定された、第2次中間報告書の設定（下式）を踏襲する。なお、単位区画規模は135×25×5（mL×mW×mH）である。 $10,000 \text{ m}^3 / (135 \text{ m} \times 25 \text{ m} \times 5 \text{ m}) \times 1/2 = 0.3$	

シナリオ	操業中シナリオ～スカイシャイン～居住外部
パラメータ名	埋設作業時間
設定値（単位）	8（h/d）
<b>【設定値根拠】</b> 廃棄物総量に応じて設定する処分方法に係るパラメータであり、第2次中間報告書の固型化コンクリート処分に対する設定を踏襲する。	

シナリオ	操業中シナリオ～スカイシャイン～居住外部
パラメータ名	遮蔽係数
設定値（単位）	（-）
<b>【設定値根拠】</b> 処分方法に係るパラメータであり、第2次中間報告書の固型化コンクリート処分に対する設定（密度：2 g/cm <sup>3</sup> 、厚さ：0.5 mのコンクリートピット蓋を考慮し、ANISNコードで核種毎に計算）を踏襲する。	

表 A2.3 ラドン評価に関するパラメータ一覧

パラメータ		単位	設定値	設定値根拠
ラドン崩壊定数		s <sup>-1</sup>	2.1E-06	UNSCEAR1993
散逸能		-	0.2	UNSCEAR1993
埋設された廃棄物の見かけ密度		kg/m <sup>3</sup>	2000	IAEA-TECDOC-401 (政令評価では固型化コンクリート廃棄物の高密度を保守的に2000 kg/m <sup>3</sup> としている。)
拡散係数	覆土	m <sup>2</sup> /s	2.0E-06	UNSCEAR1993、及びANL/EAIS-8,1993の設定値
	コンクリート蓋			
	廃棄物層			
評価高さ		m	3	クリアンレベル評価のトリチウムの飛散評価において用いられている有効高さと同様に設定
風速		m/s	3	日本統計年間(平成13年)に報告されている日本の平均風速より設定
発生源長さ		m	564	NUREG/CR-3585において、処分場へ投入した未梱包廃棄物からの大気中への飛散評価で使用されているwidth of the working areaの計算法を参考に、処分場面積と同面積となる円の直径を発生源長さとして設定 $2 \times (\text{処分場面積} / 3.14)^{0.5} = 2 \times (500 \text{ m} \times 500 \text{ m} / 3.14)^{0.5}$ 564
床下空間高さ		m	0.45	建築基準法施行令第22条、において定められている基準値より設定
屋内空間高さ		m	2.5	UNSCEAR1988に報告されている、reference houseの値より設定
換気率	床下空間	s <sup>-1</sup>	9.9E-04	吉沢ら(1988)、の報告より、居住状態の一般的な家屋における実測値を設定
	屋内	s <sup>-1</sup>	1.1E-04	
床下空間から屋内へのラドン侵入率		s <sup>-1</sup>	1.0E-04	吉沢ら(1988)、が、CO <sub>2</sub> をトレーサーとして用いて「床下空間から屋内へのガス侵入率」を測定した結果より設定
平衡ファクタ	屋外	-	0.6	UNSCEAR2000の推奨値
	屋内	-	0.4	
被ばく時間		h/y	8760 (屋内：7008) (屋外：1752)	保守的に1年間絶えず処分場の跡地で居住していることとし、居住時間の20%を屋外で過ごす仮定
線量換算係数	屋内	Sv/(Bq*h*m <sup>-3</sup> )	9.0E-09	UNSCEAR1988,1993
	屋外		9.0E-09	

備考：ウラン廃棄物を対象とした、居住シナリオ・ラドンガス吸入経路において使用している値

表 A2.4 内部・外部被ばく線量換算係数

核種	半減期 (year)	内部被ばく線量換算係数		外部被ばく線量換算係数		放射平衡を仮定した子孫核種(*1)
		ICRP Pub.72 (Sv/Bq)		JAEA-Data/Code 2008-003 ( $\mu\text{Sv/h per Bq/g-soil}$ )(*3)		
		経口(*2)	吸入	建設作業者	居住者	
4N系列	Cm-244	1.8E+01	1.2E-07	8.3E-09	0.0E+00	-
	Pu-240	6.6E+03	2.5E-07	3.3E-10	0.0E+00	-
	U-236	2.3E+07	4.7E-08	7.4E-12	0.0E+00	-
	U-232	6.9E+01	3.3E-07	8.0E-10	0.0E+00	-
	Th-232	1.4E+10	2.3E-07	4.6E-11	0.0E+00	-
	Ra-228	5.8E+00	6.9E-07	5.7E-04	3.0E-15	Ac-228,Fr-224
	Th-228	1.9E+00	1.4E-07	3.5E-03	8.2E-12	Ra-224,Rn-220,Po-216,Pb-212,Bi-212,Po-212,Tl-208
4N+1系列	Cm-245	8.5E+03	2.1E-07	8.4E-08	0.0E+00	-
	Pu-241	1.4E+01	4.8E-09	1.9E-11	0.0E+00	U-237
	Am-241	4.3E+02	2.0E-07	7.8E-15	0.0E+00	-
	Np-237	2.1E+06	1.1E-07	1.8E-08	0.0E+00	-
	Pa-233	7.4E-02	8.7E-10	6.2E-06	0.0E+00	-
	U-233	1.6E+05	5.1E-08	3.8E-09	0.0E+00	-
	Th-229	7.3E+03	4.9E-07	1.8E-07	0.0E+00	-
	Ra-225	4.1E-02	9.9E-08	0.0E+00	0.0E+00	-
	Ac-225	2.7E-02	2.4E-08	6.5E-05	3.8E-16	Fr-221,At-217,Rn-217,Bi-213,Po-213,Tl-209,Pb-209
4N+2系列	Cm-246	4.7E+03	2.1E-07	1.9E-06	0.0E+00	-
	Am-242m	1.4E+02	1.9E-07	1.5E-06	2.5E-20	Am-242,Np-238
	Cm-242	4.5E-01	1.2E-08	3.7E-10	0.0E+00	-
	Pu-242	3.7E+05	2.4E-07	4.2E-08	0.0E+00	-
	Pu-238	8.8E+01	2.3E-07	1.2E-11	0.0E+00	-
	U-238	4.5E+09	4.5E-08	4.5E-07	0.0E+00	-
	Th-234	6.6E-02	3.4E-09	1.1E-05	1.3E-16	Pa-234m,Pa-234
	U-234	2.5E+05	4.9E-08	3.0E-11	0.0E+00	-
	Th-230	7.5E+04	2.1E-07	8.0E-10	0.0E+00	-
	Ra-226	1.6E+03	2.8E-07	1.8E-03	3.6E-13	Rn-222,Po-218,At-218,Rn-218,Pb-214,Bi-214,Po-214,Tl-210
	Pb-210	2.2E+01	6.9E-07	2.1E-14	0.0E+00	Bi-210
	Po-210	3.8E-01	1.2E-06	3.0E-09	0.0E+00	Hg-206,Tl-206
4N+3系列	Cm-243	2.9E+01	1.5E-07	1.5E-06	0.0E+00	-
	Am-243	7.4E+03	2.0E-07	2.0E-06	0.0E+00	Np-239
	Pu-239	2.4E+04	2.5E-07	1.4E-09	0.0E+00	-
	U-235	7.0E+08	4.7E-08	8.9E-07	0.0E+00	Th-231
	Pa-231	3.3E+04	7.1E-07	1.1E-06	0.0E+00	-
	Ac-227	2.2E+01	1.1E-06	3.6E-08	0.0E+00	Fr-223,At-219
	Th-227	5.1E-02	8.8E-09	2.1E-06	0.0E+00	-
	Ra-223	3.1E-02	1.0E-07	2.2E-05	1.2E-19	Rn-219,Po-215,Pb-211,Bi-211,Po-211,Tl-207
非系列	H-3	1.2E+01	4.2E-11	0.0E+00	0.0E+00	-
	Be-10	1.6E+06	1.1E-09	0.0E+00	0.0E+00	-
	C-14	5.7E+03	5.8E-10	0.0E+00	0.0E+00	-
	Cl-36	3.0E+05	9.3E-10	1.9E-08	0.0E+00	-
	Ca-41	1.0E+05	1.9E-10	0.0E+00	0.0E+00	-
	Mn-54	8.6E-01	7.1E-10	3.3E-04	3.1E-19	-
	Fe-55	2.7E+00	3.3E-10	1.4E-16	0.0E+00	-
	Fe-59	1.2E-01	1.8E-09	1.0E-03	3.8E-16	-
	Co-58	1.9E-01	7.4E-10	3.3E-04	2.6E-16	-
	Co-60	5.3E+00	3.4E-09	2.4E-03	1.5E-15	-
	Ni-59	7.6E+04	6.3E-11	2.0E-09	0.0E+00	-
	Ni-63	1.0E+02	1.5E-10	0.0E+00	0.0E+00	-
	Se-79	3.0E+05	2.9E-09	0.0E+00	0.0E+00	-
	Sr-90	2.9E+01	3.1E-08	0.0E+00	0.0E+00	Y-90
	Zr-93	1.5E+06	1.1E-09	0.0E+00	0.0E+00	-
	Nb-93m	1.4E+01	1.2E-10	0.0E+00	0.0E+00	-
	Nb-94	2.0E+04	1.7E-09	5.6E-04	7.0E-19	-
	Mo-93	4.0E+03	3.2E-09	0.0E+00	0.0E+00	Nb-93m
	Tc-99	2.1E+05	6.4E-10	1.4E-14	0.0E+00	-
	Ru-106	1.0E+00	7.0E-09	5.3E-05	3.2E-15	Rh-106
	Pd-107	6.5E+06	3.7E-11	0.0E+00	0.0E+00	-
	Ag-108m	4.2E+02	2.3E-09	3.3E-04	3.2E-20	Ag-108
	Sn-121m	5.5E+01	5.6E-10	0.0E+00	0.0E+00	Sn-121
	Sn-126	1.0E+05	5.1E-09	4.4E-04	2.9E-17	Sb-126m,Sb-126
	Sb-125	2.8E+00	1.3E-09	5.9E-05	0.0E+00	Te-125m
	Te-125m	1.6E-01	8.7E-10	7.7E-11	0.0E+00	-
	I-129	1.6E+07	1.1E-07	0.0E+00	0.0E+00	-
	Cs-134	2.1E+00	1.9E-08	4.7E-04	6.4E-17	-
	Cs-135	2.3E+06	2.0E-09	0.0E+00	0.0E+00	-
	Cs-137	3.0E+01	1.3E-08	1.3E-04	0.0E+00	Ba-137m
	Ce-144	7.8E-01	5.2E-09	5.3E-05	1.8E-14	Pr-144m,Pr-144
	Sm-151	9.0E+01	9.8E-11	0.0E+00	0.0E+00	-
	Eu-152	1.4E+01	1.4E-09	7.6E-04	7.9E-16	-
	Eu-154	8.6E+00	2.0E-09	8.2E-04	9.7E-16	-
	Eu-155	4.8E+00	3.2E-10	4.4E-09	0.0E+00	-
	Ho-166m	1.2E+03	2.0E-09	4.8E-04	4.9E-17	-

\*1 : 本表の各核種に対する内部・外部被ばく線量換算係数は、これらの子孫核種の影響を含めた値である。

\*2 : ICRP Pub.72 経口は、全ての経口摂取経路の評価に用いる。

\*3 : 佐々木ら, “埋設処分における濃度上限値評価のための外部被ばく線量換算係数”, JAEA-Data/Code 2008-003 (2008)より設定。  
 なお、外部被ばく換算係数が、1.0E-20( $\mu\text{Sv/h per Bq/g-soil}$ )以下の場合には0.0E+00としている。

表 A2.5 処分場の放出係数、帯水層土壌の分配係数

元素	放出係数(-)		帯水層土壌の分配係数 (ml/g)	
	設定値	設定値根拠	設定値	設定値根拠
H	5.0E+00 (*1)	IAEA-TECDOC-401	0.0E+00 (*1)	加藤他、原子力学会誌Vol.28 No.4
Be	3.0E-02 (*1)	同族元素のCaと同じとした。	5.0E+01 (*1)	同族元素のCaと同じとした。
C	1.0E-01 (*1)	IAEA-TECDOC-401	1.0E+01 (*1)	加藤他、原子力学会誌Vol.28 No.4
Cl	1.0E-01 (*1)	同族元素のIと同じとした。	1.0E+01 (*1)	同族元素のIと同じとした。
Ca	3.0E-02 (*1)	IAEA-TECDOC-401	5.0E+01 (*1)	加藤他、原子力学会誌Vol.28 No.4
Mn	3.0E-02 (*1)	IAEA-TECDOC-401	1.0E+02 (*1)	加藤他、原子力学会誌Vol.28 No.4
Fe	3.0E-02 (*1)	同族元素のCoと同じとした。	1.0E+02 (*1)	加藤他、原子力学会誌Vol.28 No.4
Co	3.0E-02 (*1)	IAEA-TECDOC-401	1.0E+02 (*1)	加藤他、原子力学会誌Vol.28 No.4
Ni	3.0E-02 (*1)	同族元素のCoと同じとした。	1.0E+02 (*1)	同族元素のCoと同じとした。
Se	3.0E-02 (*1)	同族元素のS (IAEA-TECDOC-401)と同じとした。	1.0E+02 (*1)	IAEA TRS No.364(砂)をまるめた。
Sr	3.0E-02 (*1)	IAEA-TECDOC-401	5.0E+01 (*1)	加藤他、原子力学会誌Vol.28 No.4
Zr	3.0E-04 (*1)	NRPB-R161	1.0E+02 (*1)	加藤他、原子力学会誌Vol.28 No.4
Nb	3.0E-02 (*1)	Coと同じとした。	1.0E+02 (*1)	Zrと同じとした。
Mo	3.0E-02 (*1)	Mnと同じとした。	1.0E+02 (*1)	Mnと同じとした。
Tc	1.0E-01 (*1)	NRPB-R161	1.0E+01 (*1)	加藤他、原子力学会誌Vol.28 No.4
Ru	3.0E-02 (*1)	IAEA-TECDOC-401	1.0E+02 (*1)	同族元素のCoと同じとした。
Pd	3.0E-04	NRPB-R161	1.0E+02	同族元素のCoと同じとした。
Ag	3.0E-04 (*1)	NRPB-R161	1.0E+02 (*1)	同じ遷移元素のCoと同じとした。
Sn	3.0E-02 (*1)	Coと同じとした。	1.0E+02 (*1)	IAEA TRS No.364(砂)をまるめた。
Sb	3.0E-04 (*1)	NRPB-R161	1.0E+01 (*1)	同族元素のPと同じとした。
Te	3.0E-04 (*1)	NRPB-R161	1.0E+01 (*1)	同族元素のSと同じとした。
I	1.0E-01 (*1)	IAEA-TECDOC-401	1.0E+01 (*1)	加藤他、原子力学会誌Vol.28 No.4
Cs	1.0E-02 (*1)	IAEA-TECDOC-401	1.0E+03 (*1)	加藤他、原子力学会誌Vol.28 No.4
Ce	3.0E-04 (*1)	IAEA-TECDOC-401	1.0E+02 (*1)	加藤他、原子力学会誌Vol.28 No.4
Sm	3.0E-02 (*1)	Coと同じとした。	1.0E+02 (*1)	同じランタノイドのPmと同じとした。
Eu	3.0E-04 (*1)	NRPB-R161	1.0E+02 (*1)	同じランタノイドのPmと同じとした。
Ho	3.0E-02 (*1)	Coと同じとした。	1.0E+02 (*1)	同じランタノイドのPmと同じとした。
Pb	3.0E-04	NRPB-R161	1.0E+02	同族元素のSnと同じとした。
Po	3.0E-04	NRPB-R161	1.0E+01	同族元素のS (加藤他)と同じとした。
Ra	3.0E-04	NRPB-R161	5.0E+01	同族元素のSrと同じとした。
Ac	3.0E-04	NRPB-R161	1.0E+03	同じアクチノイドのAmと同じとした。
Th	3.0E-04	NRPB-R161	1.0E+03	加藤他、原子力学会誌Vol.28 No.4
Pa	3.0E-04	NRPB-R161	1.0E+02	同じアクチノイドのNpと同じとした。
U	3.0E-04 (*1)	NRPB-R161	1.0E+02 (*1)	加藤他、原子力学会誌Vol.28 No.4
Np	3.0E-04 (*1)	IAEA-TECDOC-401	1.0E+02 (*1)	加藤他、原子力学会誌Vol.28 No.4
Pu	3.0E-04 (*1)	IAEA-TECDOC-401	1.0E+03 (*1)	加藤他、原子力学会誌Vol.28 No.4
Am	3.0E-04 (*1)	IAEA-TECDOC-401	1.0E+03 (*1)	加藤他、原子力学会誌Vol.28 No.4
Cm	3.0E-04 (*1)	NRPB-R161	1.0E+03 (*1)	同じアクチノイドのAmと同じとした。
(設定根拠手順)	・以下に示す文献に基づき設定した。 IAEA-TECDOC-401 NRPB-R161 ・及び ない元素については、元素の類似性を考慮して設定した。		・以下に示す文献に基づき設定した。 加藤他、原子力学会誌Vol.28 No.4 ・ ない元素については、元素の類似性を考慮して設定した。	

\*1：政令評価において対象元素となっている元素については同一の値を設定する。

備考：河川水利用シナリオ及び跡地利用シナリオ（流出あり・放出係数ケース）において使用している値

表 A2.6 ウラン廃棄物評価の「分配係数ケース」で使用した処分場の分配係数

元素	分配係数 (ml/g)		設定手順 (根拠)
	設定値	設定値根拠	
Pb	2.7E+02	IAEA-TRS-No.364 (砂)	・IAEAの文献に記載されている値より設定することを基本とし、以下に示す文献の順番で設定した。 IAEA-TRS-No.364 IAEA-SS-No.57 IAEA-TECDOC-401 IAEA-TECDOC-1000
Po	1.5E+02	IAEA-TRS-No.364 (砂)	
Ra	4.9E+02	IAEA-TRS-No.364 (砂)	
Ac	4.5E+02	IAEA-TRS-No.364 (砂)	
Th	3.0E+03	IAEA-TRS-No.364 (砂)	
Pa	5.4E+02	IAEA-TRS-No.364 (砂)	
U	3.3E+01	IAEA-TRS-No.364 (砂)	

備考：ウラン廃棄物を対象とした、河川水利用シナリオ及び跡地利用シナリオ（流出あり・分配係数ケース）において使用している値



表 A2.7 ピット処分における土壌から農作物（果実）への移行係数

土壌から農作物への移行係数		
元素	果実 ( (Bq/g-wet)/(Bq/g-dry) )	
	設定値	設定値根拠
H	5.0E+00	IAEA-TECDOC-1380
Be	1.0E-03	IAEA-TECDOC-1380
C	1.0E-01	IAEA-TECDOC-1380
Cl	5.0E+00	NUREG/CR-3585
Ca	5.0E-01	IAEA-TECDOC-1380
Mn	5.0E-01	IAEA-TECDOC-1380
Fe	3.0E-04	IAEA-TECDOC-1380
Co	3.0E-02	IAEA-TECDOC-1380
Ni	3.0E-02	IAEA-TECDOC-1380
Se	1.0E-01	IAEA-TECDOC-1000
Sr	9.0E-02	IAEA-TECDOC-1380
Zr	5.0E-03	IAEA-TECDOC-1380
Nb	1.0E-02	IAEA-TECDOC-1380
Mo	2.0E-01	IAEA-TECDOC-1000
Tc	1.0E+01	IAEA-TECDOC-1380
Ru	1.0E-02	IAEA-TECDOC-1380
Pd	1.5E-01	ORNL-5786
Ag	2.0E-01	IAEA-TECDOC-1380
Sn	1.0E-01	IAEA-TECDOC-1380
Sb	1.0E-02	IAEA-TECDOC-1380
Te	1.0E+00	IAEA-TECDOC-1380
I	1.0E-01	IAEA-TECDOC-1380
Cs	3.0E-02	IAEA-TECDOC-1380
Ce	3.0E-03	IAEA-TECDOC-1380
Sm	2.0E-03	IAEA-TECDOC-1380
Eu	3.0E-03	IAEA-TECDOC-1380
Ho	2.6E-03	UCRL 50163 Part IV
Pb	1.0E-02	IAEA-TECDOC-1380
Po	2.0E-04	IAEA-TECDOC-1380
Ra	4.0E-02	IAEA-TECDOC-1380
Ac	1.0E-03	IAEA-TECDOC-1380
Th	5.0E-04	IAEA-TECDOC-1380
Pa	4.0E-02	IAEA-TECDOC-1380
U	1.0E-03	IAEA-TECDOC-1380
Np	1.0E-03	IAEA-TECDOC-1380
Pu	1.0E-03	IAEA-TECDOC-1380
Am	1.0E-03	IAEA-TECDOC-1380
Cm	2.2E-04	IAEA TRS No.364 (根菜)
設定手順 (根拠)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・以下に示す文献に基づき設定した。</li> <li>IAEA-TECDOC-1380 ( Root Vegetables )</li> <li>IAEA-TRS-No.364</li> <li>IAEA-SS-No.57</li> <li>IAEA-TECDOC-401</li> <li>IAEA-TECDOC-1000</li> <li>・上記文献に値が示されていないことから、Clは、NUREG/CR-3585より、HoはUCRL 50163 Part IVより、PdはORNL-5786より設定した。</li> </ul>	

備考：居住シナリオ・農作物摂取において使用している値

表 A2.8 飼料・飼育水から畜産物への移行係数 (1/2)

元素	牛乳 (d/L)		牛肉 (d/kg)		豚肉 (d/kg)	
	設定値	設定値根拠	設定値	設定値根拠	設定値	設定値根拠
H	1.5E-02	IAEA-TECDOC-1380	2.9E-02	IAEA-TECDOC-1380	2.9E-02	牛肉と同じとした。
Be	2.6E-06	IAEA-TECDOC-1380	6.6E-04	IAEA-TECDOC-1380	1.0E-02	PNL-3209
C	1.0E-02	IAEA-TECDOC-1380	1.2E-01	IAEA-TECDOC-1380	1.2E-01	牛肉と同じとした。
Cl	1.7E-02	NUREG/CR-3585	8.0E-02	NUREG/CR-3585	8.0E-02	牛肉と同じとした。
Ca	3.0E-03	IAEA-TECDOC-1380	2.0E-03	IAEA-TECDOC-1380	3.3E-03	PNL-3209
Mn	3.0E-05	IAEA-TECDOC-1380	5.0E-04	IAEA-TECDOC-1380	3.6E-03	NUREG/CR-2976
Fe	3.0E-05	IAEA-TECDOC-1380	2.0E-02	IAEA-TECDOC-1380	2.6E-02	NUREG/CR-2976
Co	3.0E-04	IAEA-TECDOC-1380	1.0E-02	IAEA-TECDOC-1380	1.7E-01	NUREG/CR-2976
Ni	1.6E-02	IAEA-TECDOC-1380	5.0E-03	IAEA-TECDOC-1380	5.0E-03	PNL-3209
Se	1.0E-03	IAEA-TECDOC-1000	1.0E-01	IAEA-TECDOC-1000	3.2E-01	IAEA-TRS-No.364
Sr	2.8E-03	IAEA-TECDOC-1380	8.0E-03	IAEA-TECDOC-1380	3.9E-02	NUREG/CR-2976
Zr	5.5E-07	IAEA-TECDOC-1380	1.0E-06	IAEA-TECDOC-1380	1.0E-03	PNL-3209
Nb	4.1E-07	IAEA-TECDOC-1380	3.0E-07	IAEA-TECDOC-1380	1.0E-03	PNL-3209
Mo	1.7E-03	IAEA-TRS-No.364	6.8E-03	NUREG/CR-3585	2.0E-02	PNL-3209
Tc	2.3E-05	IAEA-TECDOC-1380	1.0E-04	IAEA-TECDOC-1380	9.9E-04	PNL-3209
Ru	3.3E-06	IAEA-TECDOC-1380	5.0E-02	IAEA-TECDOC-1380	6.6E-01	IAEA-TRS-No.364
Pd	5.0E-03	PNL-3209	1.0E-03	PNL-3209	5.0E-03	PNL-3209
Ag	5.0E-05	IAEA-TECDOC-1380	3.0E-03	IAEA-TECDOC-1380	9.9E-04	PNL-3209
Sn	1.0E-03	IAEA-TECDOC-1380	1.9E-03	IAEA-TECDOC-1380	9.9E-04	PNL-3209
Sb	2.5E-05	IAEA-TECDOC-1380	4.0E-05	IAEA-TECDOC-1380	7.0E-03	PNL-3209
Te	4.5E-04	IAEA-TECDOC-1380	7.0E-03	IAEA-TECDOC-1380	1.0E-02	PNL-3209
I	1.0E-02	IAEA-TECDOC-1380	4.0E-02	IAEA-TECDOC-1380	3.3E-03	NUREG/CR-2976
Cs	7.9E-03	IAEA-TECDOC-1380	5.0E-02	IAEA-TECDOC-1380	2.5E-01	PNL-3209
Ce	3.0E-05	IAEA-TECDOC-1380	2.0E-05	IAEA-TECDOC-1380	1.0E-04	IAEA-TRS-No.364
Sm	2.0E-05	IAEA-TECDOC-1380	5.1E-04	IAEA-TECDOC-1380	5.0E-03	PNL-3209
Eu	5.0E-05	IAEA-TECDOC-1380	4.7E-04	IAEA-TECDOC-1380	5.0E-03	PNL-3209
Ho	2.5E-06	PNL 3209	5.0E-03	PNL-3209	5.0E-03	PNL-3209
Pb	3.0E-04	IAEA-TECDOC-1380	4.0E-04	IAEA-TECDOC-1380	3.1E-02	DOE/RW/88.083
Po	3.4E-04	IAEA-TECDOC-1380	5.0E-03	IAEA-TECDOC-1380	3.1E-02	Pbと同一に設定
Ra	1.3E-03	IAEA-TECDOC-1380	9.0E-04	IAEA-TECDOC-1380	3.5E-02	DOE/RW/88.083
Ac	4.0E-07	IAEA-TECDOC-1380	1.6E-04	IAEA-TECDOC-1380	1.7E-04	DOE/RW/88.083
Th	5.0E-06	IAEA-TECDOC-1380	2.7E-03	IAEA-TECDOC-1380	4.6E-03	DOE/RW/88.083
Pa	5.0E-06	IAEA-TECDOC-1380	5.0E-05	IAEA-TECDOC-1380	1.1E-04	DOE/RW/88.083
U	4.0E-04	IAEA-TECDOC-1380	3.0E-04	IAEA-TECDOC-1380	4.0E-02	NUREG/CR-2976
Np	5.0E-06	IAEA-TECDOC-1380	1.0E-03	IAEA-TECDOC-1380	1.0E-02	PNL-3209
Pu	1.1E-06	IAEA-TECDOC-1380	1.0E-05	IAEA-TECDOC-1380	1.0E-02	PNL-3209
Am	1.5E-06	IAEA-TECDOC-1380	4.0E-05	IAEA-TECDOC-1380	1.0E-02	PNL-3209
Cm	2.0E-05	IAEA-SS-No.57	2.0E-05	IAEA-SS-No.57	1.0E-02	PNL-3209
設定手順 (根拠)	・以下に示す文献に基づき設定した。 IAEA-TECDOC-1380 IAEA-SS-No.57 IAEA-TECDOC-401 NUREG/CR-3585 NUREG/CR-2976 PNL-3209 (NUREG/CR-3160) IAEA-TRS-No.364 IAEA-TECDOC-1000 ORNL-5786		・以下に示す文献に基づき設定した。 IAEA-TECDOC-1380 IAEA-SS-No.57 IAEA-TECDOC-401 NUREG/CR-3585 NUREG/CR-2976 PNL-3209 (NUREG/CR-3160) IAEA-TRS-No.364 IAEA-TECDOC-1000 ORNL-5786		・以下に示す文献に基づき設定した。 IAEA-SS-No.57 IAEA-TECDOC-401 NUREG/CR-3585 NUREG/CR-2976 PNL-3209 (NUREG/CR-3160) IAEA-TRS-No.364 ・Pb, Po, Ra, Ac, Th, Paについては、PNL-3209に値が示されているが、DOE/RW/88.083の推奨する値を設定した。	

備考：河川水利用シナリオ・畜産物摂取において使用している値

表 A2.8 飼料・飼育水から畜産物への移行係数 (2/2)

元素	鶏肉 (d/kg)		鶏卵 (d/kg)	
	設定値	設定値根拠	設定値	設定値根拠
H	2.9E-02	牛肉と同じとした。	2.9E-02	牛肉(鶏肉)と同じとした。
Be	4.0E-01	PNL-3209	2.0E-02	PNL-3209
C	1.2E-01	牛肉と同じとした。	1.2E-01	牛肉(鶏肉)と同じとした。
Cl	8.0E-02	牛肉と同じとした。	8.0E-02	牛肉(鶏肉)と同じとした。
Ca	3.3E-03	PNL-3209	4.4E-01	NUREG/CR-2976
Mn	5.1E-02	NUREG/CR-2976	6.5E-02	NUREG/CR-2976
Fe	1.5E+00	NUREG/CR-2976	1.3E+00	NUREG/CR-2976
Co	1.0E-03	PNL-3209	1.0E-01	PNL-3209
Ni	1.0E-03	PNL-3209	1.0E-01	PNL-3209
Se	9.0E+00	IAEA-TRS-No.364	9.0E+00	IAEA-TRS-No.364
Sr	3.5E-02	NUREG/CR-2976	2.2E-01	IAEA-SM-237/54
Zr	1.0E-04	PNL-3209	1.2E-03	PNL-3209
Nb	2.0E-03	NUREG/CR-2976	3.0E-03	NUREG/CR-2976
Mo	5.0E-02	NUREG/CR-2976	5.0E-01	NUREG/CR-2976
Tc	6.3E-02	NUREG/CR-2976	1.9E+00	NUREG/CR-2976
Ru	8.0E+00	IAEA-TRS-No.364	5.0E-03	IAEA-TRS-No.364
Pd	3.0E-04	PNL-3209	4.0E-03	PNL-3209
Ag	9.9E-04	PNL-3209	9.9E-04	PNL-3209
Sn	9.9E-04	PNL-3209	9.9E-04	PNL-3209
Sb	6.0E-03	PNL-3209	7.0E-02	PNL-3209
Te	6.0E-01	IAEA-TRS-No.364	5.0E+00	IAEA-TRS-No.364
I	4.0E-03	PNL-3209	2.8E+00	NUREG/CR-2976
Cs	4.4E+00	NUREG/CR-2976	4.9E-01	NUREG/CR-2976
Ce	4.0E-03	IAEA-TRS-No.364	9.0E-05	IAEA-TRS-No.364
Sm	4.0E-03	PNL-3209	7.0E-03	PNL-3209
Eu	4.0E-03	PNL-3209	7.0E-03	PNL-3209
Ho	4.0E-03	PNL-3209	7.0E-03	PNL-3209
Pb	1.2E+00	DOE/RW/88.083	1.2E+00	DOE/RW/88.083
Po	1.2E+00	Pbと同一に設定	1.2E+00	Pbと同一に設定
Ra	4.8E-01	DOE/RW/88.083	2.5E-01	DOE/RW/88.083
Ac	6.6E-03	DOE/RW/88.083	1.6E-02	DOE/RW/88.083
Th	1.8E-01	DOE/RW/88.083	1.8E-01	DOE/RW/88.083
Pa	4.1E-03	DOE/RW/88.083	4.1E-03	DOE/RW/88.083
U	1.2E+00	NUREG/CR-2976	9.9E-01	NUREG/CR-2976
Np	4.0E-03	PNL-3209	2.0E-03	PNL-3209
Pu	1.6E-04	NUREG/CR-2976	7.6E-03	NUREG/CR-2976
Am	1.8E-04	NUREG/CR-2976	8.5E-03	NUREG/CR-2976
Cm	4.0E-03	PNL-3209	2.0E-03	PNL-3209
設定手順(根拠)	・以下に示す文献に基づき設定した。 IAEA-SS-No.57 IAEA-TECDOC-401 NUREG/CR-3585 NUREG/CR-2976 PNL-3209 (NUREG/CR-3160) IAEA-TRS-No.364 ・Pb、Po、Ra、Ac、Th、Paについては、PNL-3209に値が示されているが、DOE/RW/88.083の推奨する値を設定した。		・以下に示す文献に基づき設定した。 NUREG/CR-2976 PNL-3209 (NUREG/CR-3160) IAEA-SM-237/54 IAEA-TRS-No.364 ・Pb、Po、Ra、Ac、Th、Paについては、PNL-3209に値が示されているが、DOE/RW/88.083の推奨する値を設定した。	

備考：河川水利用シナリオ・畜産物摂取において使用している値

表 A.2.9 河川産物への濃縮係数

元素	魚類 (L/kg)	
	設定値	設定値根拠
H	1.0E+00	IAEA-TECDOC-1380
Be	1.0E+02	IAEA-TECDOC-1380
C	5.0E+04	IAEA-TECDOC-1380
Cl	5.0E+01	NUREG/CR-3585
Ca	2.0E+02	IAEA-TECDOC-1380
Mn	4.0E+02	IAEA-TECDOC-1380
Fe	2.0E+02	IAEA-TECDOC-1380
Co	3.0E+02	IAEA-TECDOC-1380
Ni	1.0E+02	IAEA-TECDOC-1380
Se	2.0E+02	IAEA-TECDOC-1000
Sr	6.0E+01	IAEA-TECDOC-1380
Zr	3.0E+02	IAEA-TECDOC-1380
Nb	3.0E+02	IAEA-TECDOC-1380
Mo	1.0E+01	NUREG/CR-3585
Tc	2.0E+01	IAEA-TECDOC-1380
Ru	1.0E+01	IAEA-TECDOC-1380
Pd	1.0E+01	UCRL-50564 Rev.1
Ag	5.0E+00	IAEA-TECDOC-1380
Sn	3.0E+03	IAEA-TECDOC-1380
Sb	1.0E+02	IAEA-TECDOC-1380
Te	4.0E+02	IAEA-TECDOC-1380
I	4.0E+01	IAEA-TECDOC-1380
Cs	2.0E+03	IAEA-TECDOC-1380
Ce	3.0E+01	IAEA-TECDOC-1380
Sm	3.0E+02	IAEA-TECDOC-1380
Eu	5.0E+01	IAEA-TECDOC-1380
Ho	2.5E+01	UCRL 50564 Rev.1
Pb	3.0E+02	IAEA-TECDOC-1380
Po	5.0E+01	IAEA-TECDOC-1380
Ra	5.0E+01	IAEA-TECDOC-1380
Ac	3.0E+01	IAEA-TECDOC-1380
Th	1.0E+02	IAEA-TECDOC-1380
Pa	1.0E+01	IAEA-TECDOC-1380
U	1.0E+01	IAEA-TECDOC-1380
Np	3.0E+01	IAEA-TECDOC-1380
Pu	3.0E+01	IAEA-TECDOC-1380
Am	3.0E+01	IAEA-TECDOC-1380
Cm	3.0E+01	IAEA-TRS-No.364
設定手順(根拠)	・以下に示す文献に基づき設定した。 IAEA-TECDOC-1380 IAEA-SS-No.57 IAEA-TECDOC-401 NUREG/CR-3585 UCRL 50564 Rev.1 IAEA-TRS-No.364 IAEA-TECDOC-1000	

備考：河川水利用シナリオ・河川産物摂取において使用している値

# 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

組立量	SI 基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m <sup>2</sup>
体積	立方メートル	m <sup>3</sup>
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s <sup>2</sup>
波数	毎メートル	m <sup>-1</sup>
密度 (質量密度)	キログラム毎立方メートル	kg/m <sup>3</sup>
質量体積 (比体積)	立方メートル毎キログラム	m <sup>3</sup> /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m <sup>2</sup>
電界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
(物質質量の)濃度	モル毎立方メートル	mol/m <sup>3</sup>
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m <sup>2</sup>
屈折率	(数の) 1	1

表5. SI 接頭語

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

表3. 固有の名称とその独自の記号で表される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 <sup>(a)</sup>	rad		m <sup>2</sup> ・m <sup>-2</sup> =1 <sup>(b)</sup>
立体角	ステラジアン <sup>(a)</sup>	sr <sup>(c)</sup>		m <sup>2</sup> ・m <sup>-2</sup> =1 <sup>(b)</sup>
周波数	ヘルツ	Hz		s <sup>-1</sup>
力	ニュートン	N		m <sup>2</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>-2</sup>
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m <sup>2</sup>	m <sup>-1</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>-2</sup>
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N・m	m <sup>2</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>-2</sup>
工率, 放射束	ワット	W	J/s	m <sup>2</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>-3</sup>
電荷, 電気量	クーロン	C		s <sup>2</sup> ・A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m <sup>2</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>-3</sup> ・A <sup>-1</sup>
静電容量	ファラド	F	C/V	m <sup>-2</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>4</sup> ・A <sup>2</sup>
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m <sup>2</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>-3</sup> ・A <sup>-2</sup>
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V	m <sup>-2</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>3</sup> ・A <sup>2</sup>
磁束	ウェーバ	Wb	V・s	m <sup>2</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>-2</sup> ・A <sup>-1</sup>
磁束密度	テスラ	T	Wb/m <sup>2</sup>	kg <sup>-1</sup> ・s <sup>-2</sup> ・A <sup>-1</sup>
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m <sup>2</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>-2</sup> ・A <sup>-2</sup>
セルシウス温度	セルシウス度 <sup>(d)</sup>	°C		K
光照射度	ルーメン	lm	cd・sr <sup>(c)</sup>	m <sup>2</sup> ・m <sup>-2</sup> ・cd=cd
(放射性核種の)放射能	ベクレル	Bq	lm/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> ・m <sup>-4</sup> ・cd=m <sup>-2</sup> ・cd
吸収線量, 質量エネルギー分与, カーマ線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量, 組織線量当量	グレイ	Gy	J/kg	s <sup>-1</sup>
	シーベルト	Sv	J/kg	m <sup>2</sup> ・s <sup>-2</sup>

- (a) ラジアン及びステラジアンの使用は、同じ次元であっても異なった性質をもった量を区別するときの組立単位の表し方として利点がある。組立単位を形作る際のいくつかの用例は表4に示されている。
- (b) 実際には、使用する際には記号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“1”は明示されない。
- (c) 測光学では、ステラジアンの名称と記号srを単位の表し方の中にそのまま維持している。
- (d) この単位は、例としてミリセルシウス度m°CのようにSI接頭語を併せて用いても良い。

表4. 単位の中に固有の名称とその独自の記号を含む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 <sup>-1</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>-1</sup>
表面張力	ニュートンメートル	N・m	m <sup>2</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>-2</sup>
角速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg <sup>-1</sup> ・s <sup>-2</sup>
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s	m <sup>2</sup> ・m <sup>-1</sup> ・s <sup>-1</sup> =s <sup>-1</sup>
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎平方秒	rad/s <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> ・m <sup>-1</sup> ・s <sup>-2</sup> =s <sup>-2</sup>
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m <sup>2</sup>	kg <sup>-1</sup> ・s <sup>-3</sup>
質量熱容量 (比熱容量), 質量エントロピー (比エネルギー)	ジュール毎キログラム	J/kg	m <sup>2</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>-2</sup> ・K <sup>-1</sup>
熱伝導率	ジュール毎キログラム	J/kg	m <sup>2</sup> ・s <sup>-2</sup> ・K <sup>-1</sup>
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m <sup>3</sup>	m <sup>-1</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>-2</sup>
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m <sup>2</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>-3</sup> ・A <sup>-1</sup>
体積電荷	クーロン毎立方メートル	C/m <sup>3</sup>	m <sup>-3</sup> ・s <sup>2</sup> ・A
電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	m <sup>-2</sup> ・s <sup>2</sup> ・A
誘電率	ファラド毎メートル	F/m	m <sup>-3</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>4</sup> ・A <sup>2</sup>
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	m <sup>2</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>-2</sup> ・A <sup>-2</sup>
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	m <sup>2</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>-2</sup> ・mol <sup>-1</sup>
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 <sup>2</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>-2</sup> ・K <sup>-1</sup> ・mol <sup>-1</sup>
照射線量 (X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	kg <sup>-1</sup> ・s <sup>2</sup> ・A
吸収線量	グレイ 毎秒	Gy/s	m <sup>2</sup> ・s <sup>-3</sup>
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m <sup>2</sup> ・m <sup>-2</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>-3</sup> =m <sup>2</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>-3</sup>
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m <sup>2</sup> ・sr)	m <sup>2</sup> ・m <sup>-2</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>-3</sup> =kg <sup>-1</sup> ・s <sup>-3</sup>

表6. 国際単位系と併用されるが国際単位系に属さない単位

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=86400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	′	1′=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	″	1″=(1/60)′=(π/648000) rad
リットル	l, L	1 l=1 dm <sup>3</sup> =10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
トン	t	1 t=10 <sup>3</sup> kg
ネーパ	Np	1 Np=1
ベル	B	1 B=(1/2) ln10 (Np)

表7. 国際単位系と併用されこれに属さない単位で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 単位であらわされる数値
電子ボルト	eV	1 eV=1.60217733(49)×10 <sup>-19</sup> J
統一原子質量単位	u	1 u=1.6605402(10)×10 <sup>-27</sup> kg
天文単位	ua	1 ua=1.49597870691(30)×10 <sup>11</sup> m

表8. 国際単位系に属さないが国際単位系と併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
海里		1 海里=1852m
ノット		1 ノット=1 海里毎時=(1852/3600)m/s
アール	a	1 a=1 dam <sup>2</sup> =10 <sup>2</sup> m <sup>2</sup>
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm <sup>2</sup> =10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>
バール	bar	1 bar=0.1MPa=100kPa=1000hPa=10 <sup>5</sup> Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=10 <sup>-10</sup> m
バイン	b	1 b=100fm <sup>2</sup> =10 <sup>-28</sup> m <sup>2</sup>

表9. 固有の名称を含むCGS組立単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
エルグ	erg	1 erg=10 <sup>-7</sup> J
ダイン	dyn	1 dyn=10 <sup>-5</sup> N
ポアズ	P	1 P=1 dyn・s/cm <sup>2</sup> =0.1Pa・s
ストークス	St	1 St=1cm <sup>2</sup> /s=10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> /s
ガウス	G	1 G ≡ 10 <sup>4</sup> T
エルステッド	Oe	1 Oe ≡ (1000/4π) A/m
マクスウェル	Mx	1 Mx ≡ 10 <sup>-8</sup> Wb
スチルブ	sb	1 sb =1cd/cm <sup>2</sup> =10 <sup>4</sup> cd/m <sup>2</sup>
ホト	ph	1 ph=10 <sup>4</sup> lx
ガル	Gal	1 Gal =1cm/s <sup>2</sup> =10 <sup>-2</sup> m/s <sup>2</sup>

表10. 国際単位に属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 <sup>10</sup> Bq
レントゲン	R	1 R = 2.58×10 <sup>-4</sup> C/kg
ラド	rad	1 rad=1cGy=10 <sup>-2</sup> Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 <sup>-2</sup> Sv
X線単位	IX unit	1 IX unit=1.002×10 <sup>-4</sup> nm
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 <sup>-9</sup> T
ジャンスキー	Jy	1 Jy=10 <sup>-26</sup> W・m <sup>-2</sup> ・Hz <sup>-1</sup>
フェルミ	f	1 fermi=1 fm=10 <sup>-15</sup> m
メートル系カラット	metric carat	1 metric carat = 200 mg = 2×10 <sup>-4</sup> 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	
マイクロン	μ	1 μ = 1μm=10 <sup>-6</sup> m

