

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

Estimation of Radioactivity Concentration Limit for Intermediate Depth Disposal  
of Transuranium and Uranium Wastes  
(Contract Research)

武田 聖司 佐々木 利久 澤口 拓磨 落合 透 木村 英雄

Seiji TAKEDA, Toshihisa SASAKI, Takuma SAWAGUCHI  
Toru OCHIAI 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

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

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

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

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

© 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余裕深度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  
武田 聖司・佐々木 利久<sup>※1</sup>・澤口 拓磨・落合 透<sup>※2</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、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」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。また、本研究の TRU 廃棄物に対する余裕深度処分の濃度上限値の算出結果は、原子力安全委員会の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関する報告書（2007年）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（株式会社グローバル・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㈱）

*Estimation of Radioactivity Concentration Limit for Intermediate Depth Disposal  
of Transuranium and Uranium Wastes*

(Contract Research)

Seiji TAKEDA, Toshihisa SASAKI<sup>※1</sup>, Takuma SAWAGUCHI, Toru OCHIAI<sup>※2</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 concentrations 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 summarizes the concept and method (scenario selection, model/code description and parameter selection) for estimation of the radioactivity concentration limits for intermediate depth disposal of transuranium and uranium wastes, and provides the derived values of the radioactivity concentration limit 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, Intermediate Depth Disposal, Transuranium Waste, Uranium Waste, GSA-GCL Code, Safety Assessment

---

This work was performed by JAEA under contract with 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. 余裕深度処分に対する濃度上限値算出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的考え方 .....	2
2.2 評価対象核種の設定 .....	2
2.3 評価シナリオ及び経路 .....	3
2.4 評価モデル/コードの概要 .....	9
2.5 評価パラメータの設定 .....	9
2.6 濃度上限値試算の目安線量 .....	11
2.7 評価期間 .....	12
2.8 解析ケース .....	12
3. 余裕深度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 .....	18
3.3 ウラン廃棄物の基準線量相当濃度 .....	21
4. 余裕深度処分の濃度上限値算出結果のまとめ .....	24
参考文献 .....	25
Appendix- I 余裕深度処分の濃度上限値評価モデル .....	26
Appendix- II 余裕深度処分の濃度上限値評価パラメーター一覧 .....	40
Appendix-III 余裕深度処分におけるラドンガス吸入経路の線量影響 .....	60

## Contents

1. Introduction.....	1
2. Concept and Methods for Deriving Radioactivity Concentration Limit.....	2
2.1 Concept.....	2
2.2 Radionuclide Selection .....	2
2.3 Selection of Scenario and Exposure Pathway.....	3
2.4 Outline of Assessment Model and Code.....	9
2.5 Input Parameter Selection.....	9
2.6 Dose Criterion.....	11
2.7 Assessment Period.....	12
2.8 Analysis case .....	12
3. Analysis Result of Radioactivity Concentration Limit for Intermediate Depth Disposal.....	12
3.1 Radioactivity Concentration in Transuranium Waste Corresponding to Dose Criterion.....	12
3.2 Estimate of Relatively Important Radionuclides .....	18
3.3 Radioactivity Concentration in Uranium Waste Corresponding to Dose Criterion.....	21
4. Summary on Radioactivity Concentration Limit estimated for Intermediate Depth Disposal .....	24
References.....	25
Appendix- I Modelling for Deriving Radioactivity Concentration Limit.....	26
Appendix- II Parameter selection for Deriving Radioactivity Concentration Limit .....	40
Appendix-III Dose Effect for Radon Gas Inhalation Exposure in Intermediate Depth Disposal.....	60

## 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、①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」、②浅地中にコンクリートピットなど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③一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が<sup>(4), (5)</sup>、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など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「余裕深度処分」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（ $10\mu\text{Sv/y}$ ）に相当する評価対象の核種濃度（以下、「基準線量相当濃度」）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、再処理事業計画等の核燃料サイクル事業計画の進展に伴い、それらの事業から発生する核燃料サイクル廃棄物（TRU廃棄物と同義）を対象とした埋設事業が計画されていることから、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>において原子炉廃棄物だけでなく、TRU廃棄物を含めた共通的に

適用しうる処分方式ごとの濃度上限値を報告している（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）。本研究の TRU 廃棄物に対する余裕深度処分の濃度上限値の算出結果は、原子力安全委員会の濃度上限値に関する最新報告書<sup>(6)</sup>に反映され、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. 余裕深度処分に対する濃度上限値算出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的考え方

TRU 廃棄物及びウラン廃棄物の余裕深度処分を対象とした濃度上限値の算出においては、当該廃棄物の特徴を踏まえつつ、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)」<sup>(4)</sup>の報告書の中で示されている余裕深度処分評価(以下、「現行の余裕深度処分評価」)の基本的考え方及び処分概念を基本とした。

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放出係数など処分場の立地・設計に関す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余裕深度処分評価と整合を取ることであり、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など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

TRU 廃棄物における評価対象核種は、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>に記載されている 66 核種である。これら核種は、第 3 次中間報告書<sup>(4)</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。なお、原子炉廃棄物を対象とした一連の政令の濃度上限値が示されている放射性核種は全て 66 核種に含まれている。また、ウラン廃棄物の評価対象核種は、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。当該廃棄物の余裕深度処分に対する濃度上限値評価における対象核種の一覧を Table2-1 に示す。

Table2-1 余裕深度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(year)	No.	核種	半減期(year)	No.	核種	半減期(year)
1	H-3	1.2E+01	23	Sn-121m	5.5E+01	45	Th-232	1.4E+10
2	Be-10	1.6E+06	24	Sn-126	1.0E+05	46	Pa-231	3.3E+04
3	C-14	5.7E+03	25	Sb-125	2.8E+00	47	U-232	6.9E+01
4	Cl-36	3.0E+05	26	Te-125m	1.6E-01	48	U-233	1.6E+05
5	Ca-41	1.0E+05	27	I-129	1.6E+07	49	U-234	2.5E+05
6	Mn-54	8.6E-01	28	Cs-134	2.1E+00	50	U-235	7.0E+08
7	Fe-55	2.7E+00	29	Cs-135	2.3E+06	51	U-236	2.3E+07
8	Fe-59	1.2E-01	30	Cs-137	3.0E+01	52	U-238	4.5E+09
9	Co-58	1.9E-01	31	Ce-144	7.8E-01	53	Np-237	2.1E+06
10	Co-60	5.3E+00	32	Sm-151	9.0E+01	54	Pu-238	8.8E+01
11	Ni-59	7.6E+04	33	Eu-152	1.4E+01	55	Pu-239	2.4E+04
12	Ni-63	1.0E+02	34	Eu-154	8.6E+00	56	Pu-240	6.6E+03
13	Se-79	3.0E+05	35	Eu-155	4.8E+00	57	Pu-241	1.4E+01
14	Sr-90	2.9E+01	36	Ho-166m	1.2E+03	58	Pu-242	3.7E+05
15	Zr-93	1.5E+06	37	Pb-210	2.2E+01	59	Am-241	4.3E+02
16	Nb-93m	1.4E+01	38	Po-210	3.8E-01	60	Am-242m	1.4E+02
17	Nb-94	2.0E+04	39	Ra-226	1.6E+03	61	Am-243	7.4E+03
18	Mo-93	4.0E+03	40	Ra-228	5.8E+00	62	Cm-242	4.5E-01
19	Tc-99	2.1E+05	41	Ac-227	2.2E+01	63	Cm-243	2.9E+01
20	Ru-106	1.0E+00	42	Th-228	1.9E+00	64	Cm-244	1.8E+01
21	Pd-107	6.5E+06	43	Th-229	7.3E+03	65	Cm-245	8.5E+03
22	Ag-108m	4.2E+02	44	Th-230	7.5E+04	66	Cm-246	4.7E+03

(Richard B. Firestone, "Table of Isotopes Eighth Edition", (1996)<sup>(7)</sup>より設定。ただし、Se-79については ENSDF, Nuclear Data Sheets 96, 1, (2002)<sup>(8)</sup>を参照)

これらの評価対象核種のうち、No.37～66までの30核種は、Fig.2-1及びFig.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する。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等の影響を考慮し、半減期が10日(2.7×10<sup>-2</sup>年)以上のTable2-2に示す核種とする。また、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する。また、No.1～36までの核種についても、子孫核種の生成があれば、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た評価としている。なお、Se-79の半減期については、最新の評価済み核種構造・崩壊データファイル ENSDF(2002)<sup>(8)</sup>のデータシートに記載されている値、2.95E+5yを設定した。

### 2.3 評価シナリオ及び経路

余裕深度処分評価における処分概念は、原子力安全委員会による現行の余裕深度処分の濃度上限値評価において検討されている処分概念を基本的に踏襲した (Fig.2-3 参照)。現行の余裕深度処分評価では、一般的であると考えられる地下利用に十分余裕を持った深度 (例えば、地表から50～100m程度) において、放射性核種の移行抑制機能の高い地中への処分が考えられており、浅地中処分の処分概念であるトレンチ処分やピット処分の評価で検討された「建設シ

ナリオ」や「居住シナリオ」等のシナリオによって人間が廃棄物に接近することは一般的に想定し難い。しかしながら、埋設された廃棄物に含まれる放射性核種は、徐々に地下水に移行し、河川に流入することが想定される。

したがって、現行の余裕深度処分濃度上限値評価では、廃棄物中に含まれる放射性核種の地下水への移行によって生じる一般的と考えられる事象について、適切な地下水移行経路を設定し、濃度上限値を算出するためのシナリオ（地下水移行シナリオ）として選定している。また、余裕深度処分における操業中シナリオについては、廃棄体の埋設施設への定置作業が50～100m程度の地下で行われるため、廃棄体からの一般公衆へのスカイシャインによる被ばくは無視できるほど低いとし、現行の余裕深度処分評価では評価シナリオとして選定していない。

Table2-2 ウラン・TRU 廃棄物の濃度上限値評価において考慮する系列核種

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)

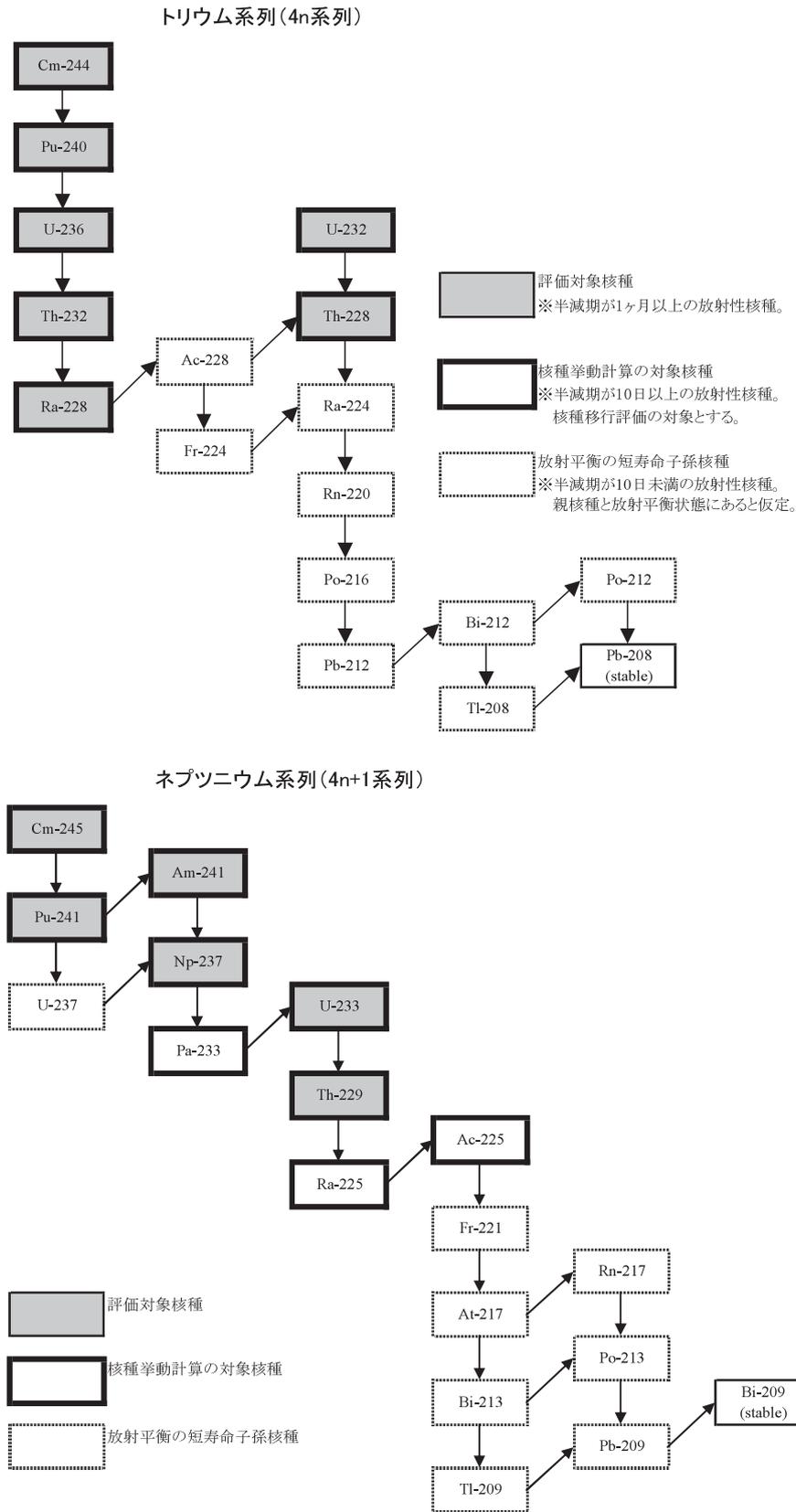


Fig.2-1 濃度上限値評価における対象核種と崩壊系列 (4n 系列、4n+1 系列)

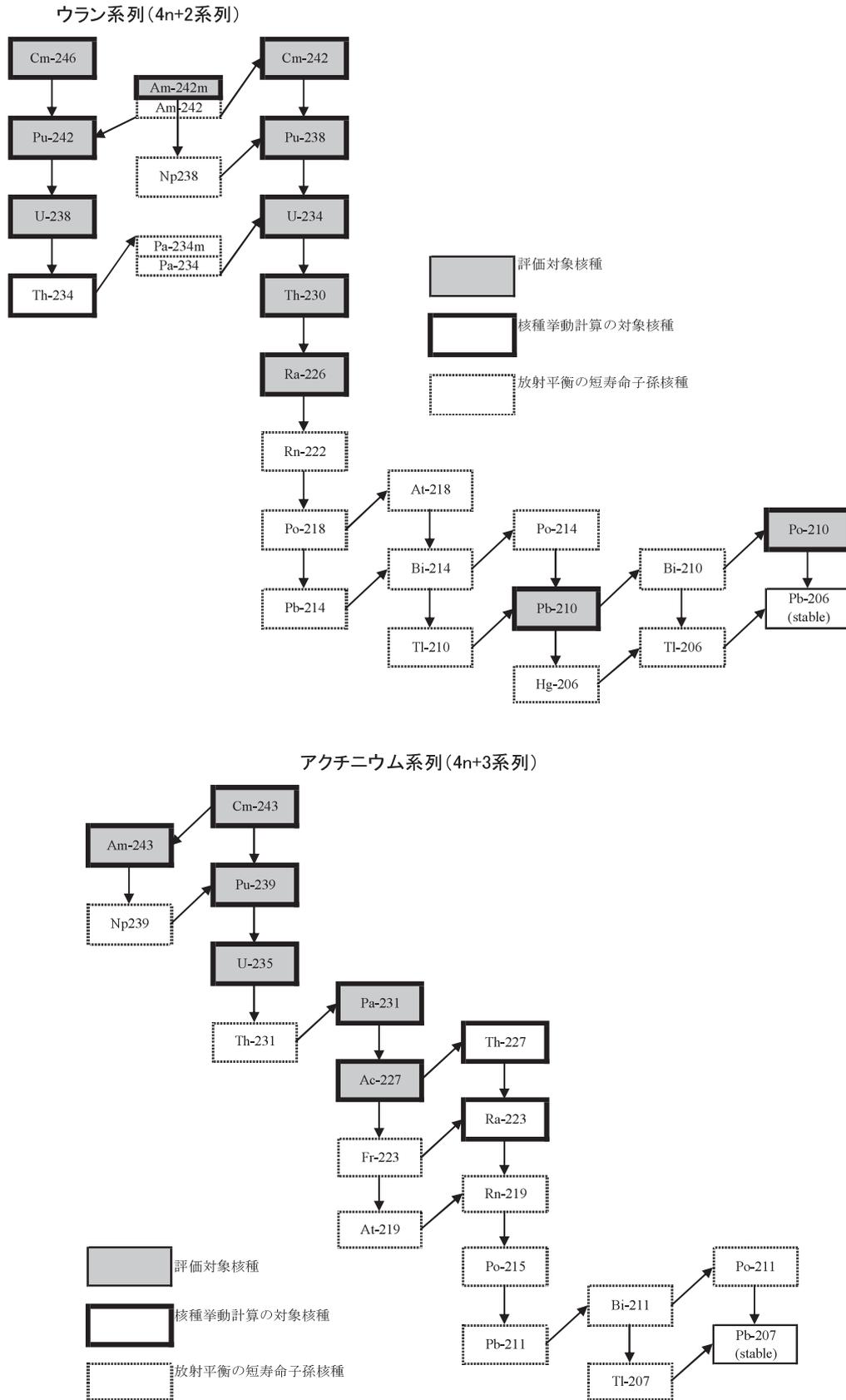


Fig.2-2 濃度上限値評価における対象核種と崩壊系列 (4n+2 系列、4n+3 系列)

本評価においても、「地下水移行シナリオ」を「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、評価シナリオとして選定した。また、処分場跡地における「建設シナリオ」や「居住シナリオ」等の人間接近シナリオは一般的とは想定し難いとして濃度上限値評価のためのシナリオとして選定しない。また、操業中シナリオについても、現行の余裕深度処分評価に倣い評価対象としない。

本評価の被ばく経路は、現行の余裕深度処分評価で選定されている 14 の被ばく経路を選定した。本評価において選定した被ばくシナリオの一覧を Table2-3 に示す。また「地下水移行シナリオ」は、河川水の利用に伴う評価経路「河川水利用経路」と河川岸における人間活動に伴う 3 つの評価経路（「河川岸建設作業経路」、「河川岸居住経路」、「河川岸農耕経路」）から構成されるものとし、以上 4 つの評価経路では Table2-3 に示すような被ばく経路の重畳を考慮する。また、これら 4 つの評価経路の概念図を Fig.2-4 に示す。

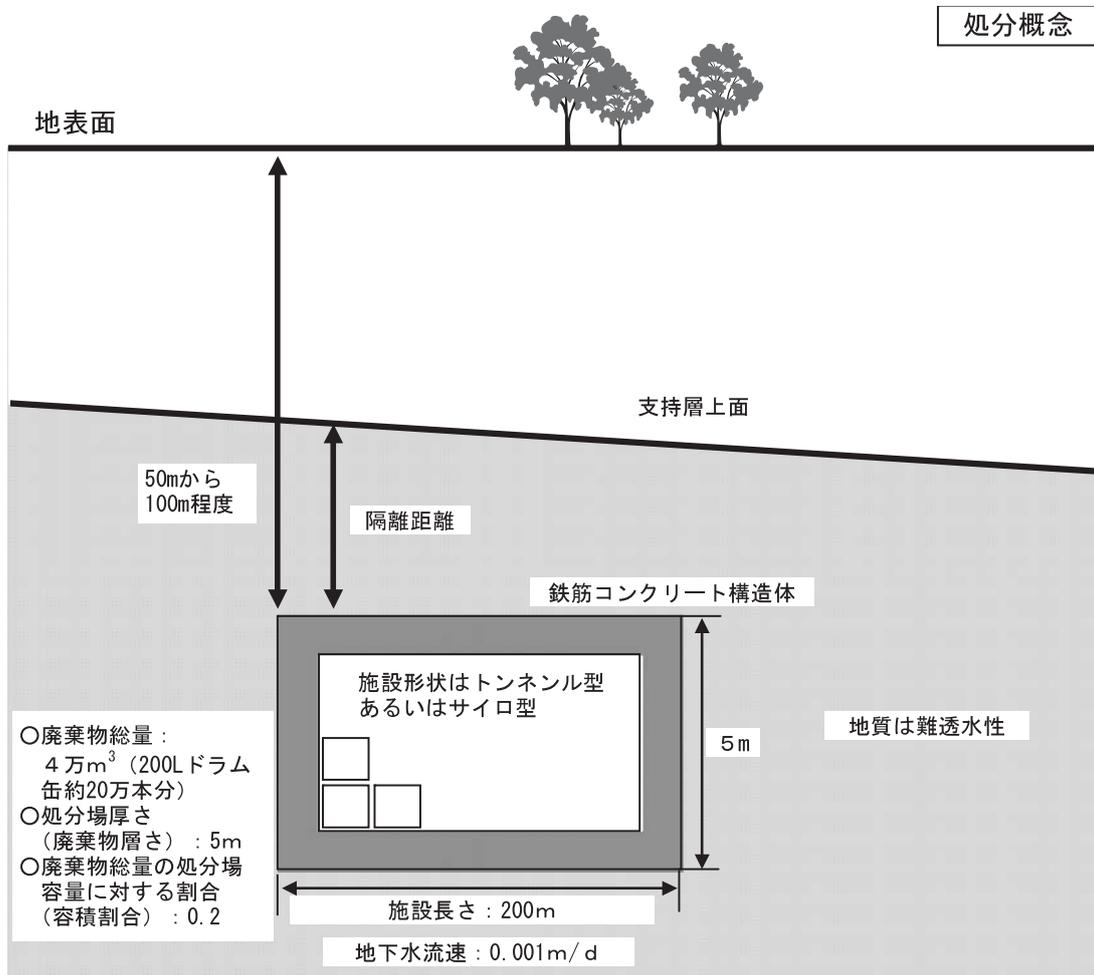


Fig.2-3 余裕深度処分概念図

Table2-3 余裕深度処分の評価シナリオ及び評価経路

評価シナリオ	評価経路	利用形態	線量評価対象者	被ばく形態	経路番号	
地下水移行シナリオ	河川水利用経路	河川水	飲料水利用	飲料水利用者	飲料水摂取・内部	1
			灌漑水利用	農耕作業	農作物摂取・内部	2
		農作物消費者		農作物摂取・内部	3	
		飼育水利用	畜産物消費者	畜産物摂取・内部	4	
		河川産物消費	河川産物消費者	河川産物摂取・内部	5	
		河川岸建設作業経路	建設作業	建設作業	建設作業	土壌直接線・外部
	建設作業			建設作業	塵埃吸入・内部	8
	居住		居住者	土壌直接線・外部	9	
	河川岸農耕経路	農耕作業	農耕作業	農作物摂取・内部	11	
			農耕作業	農作物摂取・内部	12	
		農作物消費	農作物消費者	農作物摂取・内部	13	
		畜産物消費	畜産物消費者	畜産物摂取・内部	14	

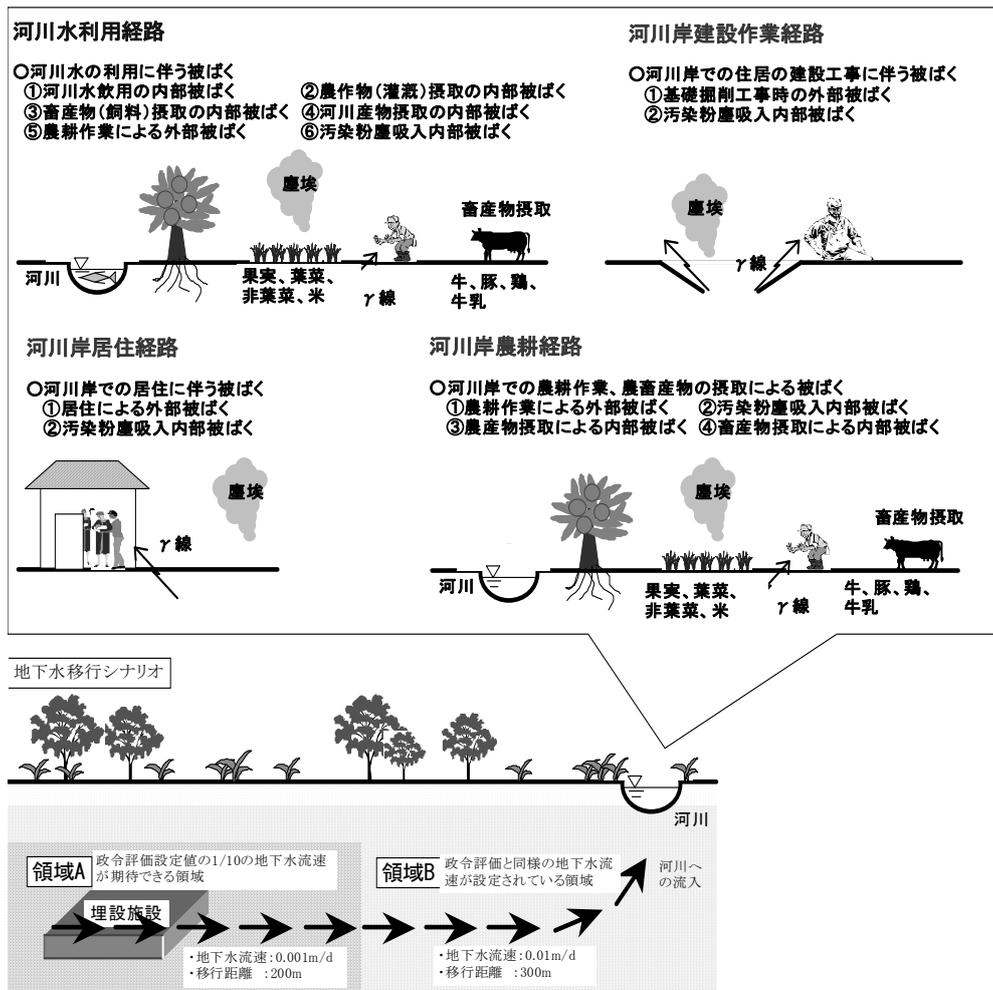


Fig.2-4 余裕深度処分の評価シナリオ及び評価経路の概念図

## 2.4 評価モデル/コードの概要

余裕深度処分に対する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>9)</sup>を使用した。GSA-GCL2 コードは、低レベル放射性廃棄物に対する3種類の処分方法（トレンチ処分、ピット処分、余裕深度処分）の濃度上限値評価のために開発したコードであり、トレンチ処分及びピット処分の跡地利用に関する評価シナリオ（建設シナリオ、居住シナリオ）と、余裕深度処分を含めた3つの処分方法に共通な地下水による核種移行に関するシナリオに対する解析が可能である。

Fig.2-5 は、GSA-GCL2 コードにおいて「余裕深度処分」の濃度上限値算出に使用した各サブモデルの関係を模式的に表したものである。まず、ソースタームモデルでは、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、収着等を考慮した動的コンパートメントモデルにより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を計算する。余裕深度処分における天然バリアモデルは、処分施設より漏洩した核種の岩盤内における移行を評価し、生物圏に流入する核種移行量を評価するモデルである。岩盤内の核種移行は、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、土壌などの環境媒体中の核種移行を計算するモデル（環境媒体中の核種移行評価モデル）、ラドンガスの汚染土壌からの散逸量や屋内等のラドン濃度の評価モデル（ラドンガス移行評価モデル）、一般公衆の被ばく線量を算出するモデル（被ばく線量評価モデル）の3つのサブモデルより構成されている。

余裕深度処分の濃度上限値評価において使用した GSA-GCL2 コードにおける各評価モデルの詳細については、Appendix- I において記載した。

## 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、人の摂取量など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>4)</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。

### ① 半減期

- Table of Isotopes Eighth Edition, (1996)<sup>7)</sup>より設定。ただし、Se-79 については ENSDF, Nuclear Data Sheets 96, 1, (2002)<sup>8)</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。

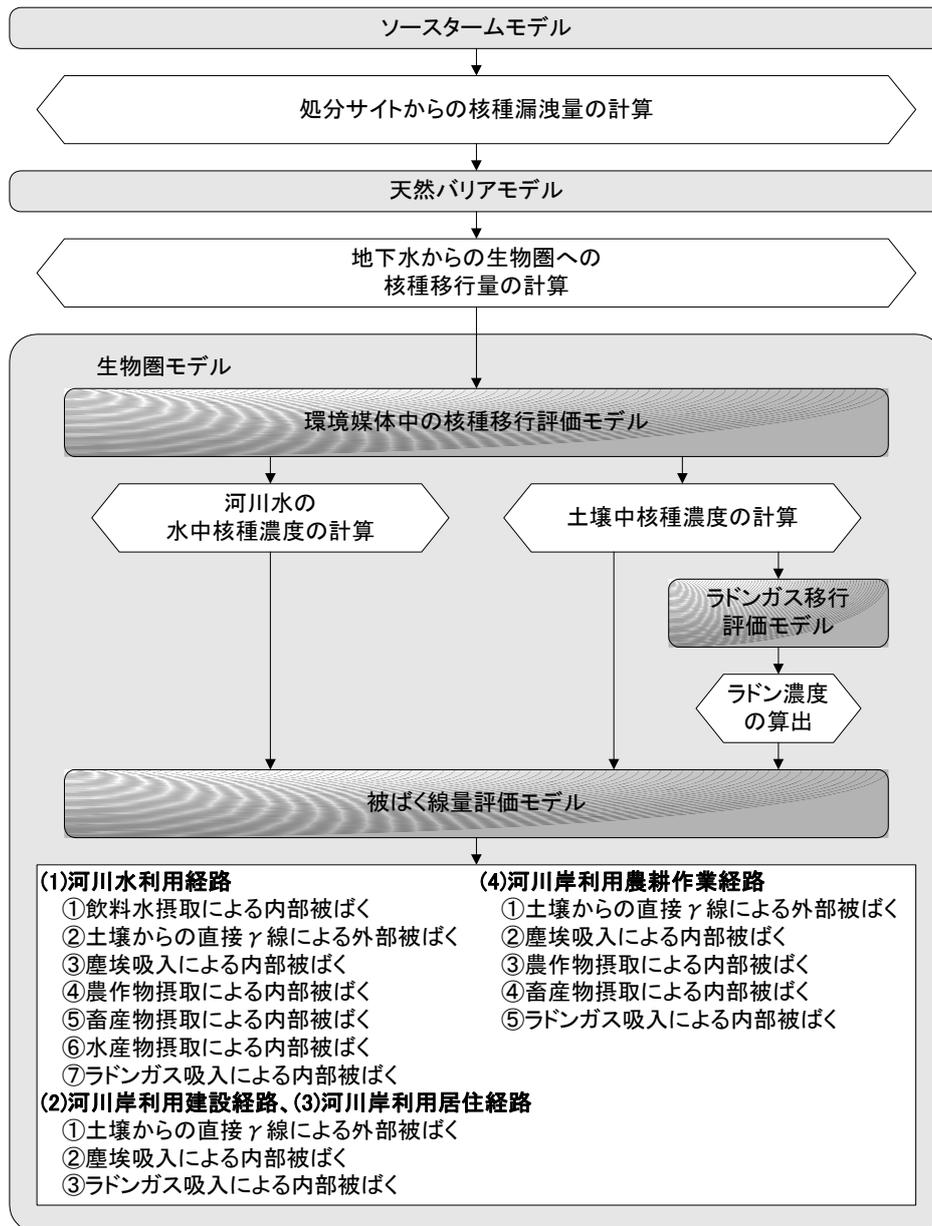


Fig.2-5 GSA-GCL2 コードにおける余裕深度処分濃度上限値算出のための各評価モデルの関係

② 線量換算係数

- ・ 内部被ばく線量換算係数（経口摂取、吸入）

作業者に対しては ICRP Publ.68<sup>(10)</sup>、一般公衆に対しては ICRP Publ.72<sup>(11)</sup>を設定。

- ・ 外部被ばく線量換算係数：

QAD-CGGP2<sup>(12)</sup>により JAERI-Data/Code 2001-004<sup>(13)</sup>の $\gamma$ 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>(14)</sup>の導入。

③ 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>(15)</sup> における選定値を基本にパラメータの見直しを実施。

#### ④ 人の摂取量

- ・ 河川水の飲用量：IAEA SRS No.19<sup>(16)</sup> より (0.73→0.6m<sup>3</sup>/y)
- ・ 農作物及び畜産物の摂取量：農作物の種類を、米、葉菜、非葉菜、果実、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>(17)</sup>の各摂取量に対し、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>(17)</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。
- ・ 呼吸量：ICRP Publ.71<sup>(18)</sup>による最新の居住者の呼吸量のデータを設定(0.96→0.93m<sup>3</sup>/h)。

#### ⑤ 家畜の飼育水及び飼料の摂取量

- ・ 家畜の飼育水摂取量：肉牛、乳牛は IAEA SRS No.19<sup>(16)</sup> より設定し、豚、鶏は PNL-3209<sup>(19)</sup>より設定。
- ・ 家畜の飼料摂取量：肉牛、乳牛は IAEA SRS No.19<sup>(21)</sup>より設定し、豚、鶏は IAEA TRS No.364<sup>(20)</sup>より設定。

なお、余裕深度処分の濃度上限値の計算に使用した評価パラメータの一覧については、Appendix-II において示している。

## 2.6 濃度上限値試算の目安線量

現行の余裕深度処分評価<sup>(1)</sup>においては、一般的と考えられる事象である地下水移行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。ウラン廃棄物及び TRU 廃棄物の余裕深度処分の濃度上限値算出に対しても同様に、線量の目安値 10  $\mu$  Sv/y を設定する。

現行の余裕深度処分評価における濃度上限値の算出手順を Fig.2-6 に示す。本評価においても、基本的にこの算出手順に従うものとするが、本評価では、従来の決定シナリオの濃度を 10 倍して濃度上限値とすることは行わず、目安線量に相当する濃度（以下、「基準線量相当濃度」）としての計算結果を示すものとする。

なお、相対重要度 (D/C) による重要核種の選定に必要となる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。

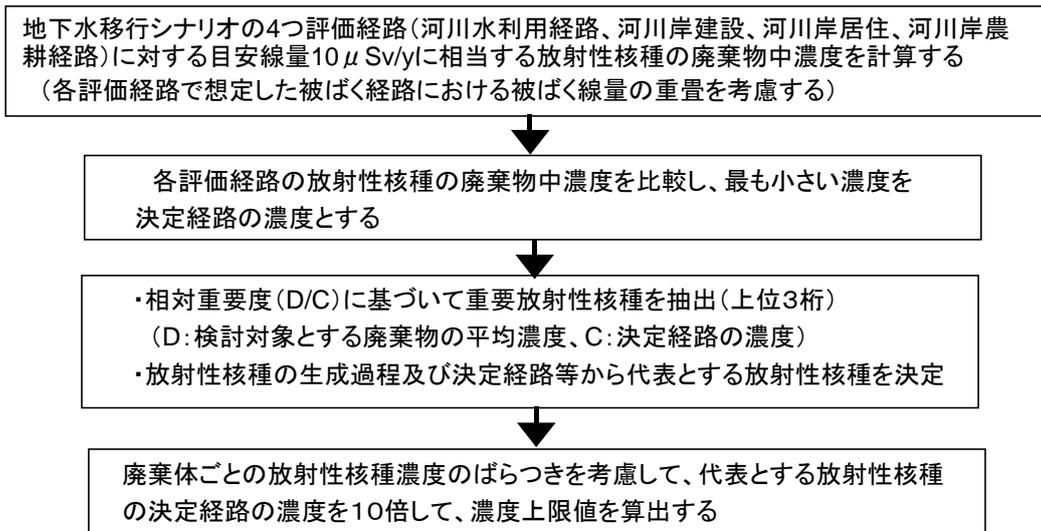


Fig.2-6 現行の余裕深度処分における政令濃度上限値算出フロー

## 2.7 評価期間

現行の余裕深度処分の評価は、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、当該廃棄物に対する余裕深度処分の地下水移行シナリオの評価でも、被ばく線量の最大値が現れる時点までの評価とする。

## 2.8 解析ケース

TRU 廃棄物及びウラン廃棄物に対する余裕深度処分の濃度上限値評価の解析ケースは、現行の余裕深度処分評価で検討された同様の解析条件のケースのみの評価とする。

また、ウラン廃棄物に関しては、上記の解析ケースで計算した基準線量相当の廃棄体中の U-234 及び U-238 濃度の条件により余裕深度処分した場合を想定し、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についても実施する。

# 3. 余裕深度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 核種を含む放射性廃棄物 (TRU 廃棄物) に含まれる 66 核種を対象とした余裕深度処分の基準線量相当濃度結果を Table 3-1 に示す。Table 3-1 は、「河川水利用」、「河川岸建設作業」、「河川岸居住」、「河川岸農耕作業」の 4 つの評価経路、さらに、各評価経路において対象とした被ばく経路ごとの基準線量相当濃度の結果を示している。

評価対象核種 66 核種のうち、計算した基準線量相当濃度の値が各核種の無担体の放射性核種の比放射能を越える核種は、37 核種である。また、TRU 廃棄物を対象としたことで、余裕深度処分に関する現行の政令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、4n 系列～4n+3 系列に属していない核種（以下、「 $\beta\gamma$ 核種」）では Sn-126 あり、4n 系列～4n+3 系列に属する放射性核種（以下、「 $\alpha$ 核種」）では Th-232、U-235、U-238 など 16 核種が挙げられ、4n 系列～4n+3 系列核種が多く追加されているのが特徴である。なお、ウラン廃棄物にも共通する対象核種の U-234、U-235、U-238 については、「3.3 ウラン廃棄物の基準線量相当濃度」において、結果の詳細を述べる。

また、余裕深度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、Cl-36、Tc-99、Np-237) については、本解析と現行の政令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 (Table 3-2 参照)。その結果は以下ようになる。

- C-14：河川水利用経路のうち、河川産物摂取の内部被ばく経路が決定経路である。基準線量相当濃度の違いは、線量換算係数、河川産物への濃縮係数、河川産物の摂取量の違いによるものである
- Cl-36：河川岸農耕経路のうち農作物と畜産物の摂取による内部被ばく経路の線量寄与が大きい。基準線量相当濃度の違いは、内部被ばく線量換算係数、農作物（米、非葉菜）及び畜産物（牛乳、牛肉）への移行係数、摂取量の違いが主な要因である。
- Tc-99：河川水利用経路のうち、飲料水と農作物の摂取による内部被ばく経路の線量寄与が大きい。基準線量相当濃度の違いは、内部被ばく線量換算係数、農作物（米、非葉菜）への移行係数、摂取量の違いが主な要因である。
- Np-237：政令評価では Np-237 の子孫核種の移行解析は行わず、線量係数の加算による方法を採用しているのに対し、本解析では、Np-237 の崩壊系列を考慮した移行解析を行っており、河川水中の核種濃度が異なっている。政令評価では河川水利用経路が決定経路となっていたが、本解析では有効数字 2 桁目の大小関係で、河川岸農耕経路が決定経路となった。Np-237 では、河川岸農耕経路の農作物の摂取、農耕作業時の外部及び吸入被ばく、畜産物の摂取の 4 種類の経路の線量寄与が大きい、中でも農作物摂取経路の寄与が最も高い。4n+1 系列のうち農作物摂取経路の最大線量示す核種は Ra-225 であり、Ra-225 の内部被ばく線量換算係数、農作物への移行係数、摂取量の違いが主な要因である。

Table 3-1 TRU 廃棄物の余裕深度処分における各評価経路の基準線量相当濃度結果一覧 (1/4)

半減期 (y)		核種																			
		H-3	Be-10	C-14	Cl-36	Ca-41	Mn-54	Fe-55	Fe-59	Co-58	Co-60	Ni-59	Ni-63	Se-79	Sr-90	Zr-93	Nb-93m	Nb-94	Mo-93		
頭行の政令評価の基準線量相当濃度 <sup>*1</sup>	濃度 (Bq/ton)	1.2E+01	1.6E+06	5.7E+03	3.0E+05	1.0E+05	8.6E-01	2.7E+00	1.2E-01	1.9E-01	5.3E+00	7.6E+04	1.0E+02	3.0E+05	2.9E+01	1.5E+06	1.4E+01	2.0E+04	4.0E+03		
	決定経路	-	4.0E+11	5.2E+13	1.0E+10	1.8E+13	河川水利用	河川水利用													
評価経路レベル <sup>*2</sup> 及び重量レベルにおける基準線量相当濃度	河川水利用	飲料水	-	5.3E+12	1.2E+16	1.3E+12	3.4E+14	-	-	-	-	-	-	2.1E+13	-	1.8E+13	-	-	-	-	
		外部	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		吸入	-	2.7E+14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	河川岸建設作業	農作物	-	1.4E+13	8.0E+16	2.4E+11	1.5E+14	-	-	-	-	-	-	-	3.0E+12	-	1.1E+13	-	-	-	-
		畜産物	-	-	-	9.7E+13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		水産物	-	2.0E+13	8.7E+13	9.8E+12	6.4E+14	-	-	-	-	-	-	-	3.9E+13	-	2.2E+13	-	-	-	-
	河川岸居住	外部	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		吸入	-	2.1E+14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		外部	-	-	-	3.3E+14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	河川岸農耕	外部	-	-	-	1.2E+15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		吸入	-	2.1E+14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		農作物	-	1.8E+13	-	2.0E+11	1.3E+14	-	-	-	-	-	-	-	2.4E+12	-	1.0E+13	-	-	-	-
河川水利用	畜産物	-	-	-	1.9E+11	2.1E+15	-	-	-	-	-	-	-	2.1E+12	-	-	-	-	-	-	
	外部	-	3.2E+12	8.7E+13	2.0E+11	9.0E+13	-	-	-	-	-	-	-	2.4E+12	-	5.2E+12	-	-	-	-	
	河川岸建設	-	2.1E+14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
河川岸農耕	外部	-	6.9E+14	-	3.3E+14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	吸入	-	1.7E+13	-	9.6E+10	1.2E+14	-	-	-	-	-	-	-	1.1E+12	-	9.5E+12	-	-	-	-	
	農作物	-	3.2E+12	8.7E+13	9.6E+10	9.0E+13	-	-	-	-	-	-	-	1.1E+12	-	5.2E+12	-	-	-	-	
決定経路	河川水利用	河川水利用	河川水利用	河川水利用	河川水利用	河川水利用	河川水利用	河川水利用	河川水利用	河川水利用	河川水利用	河川水利用	河川水利用	河川水利用	河川水利用	河川水利用	河川水利用	河川水利用	河川水利用	河川水利用	

\*1 基準線量相当濃度の値が「-」の核種は、計算値が無担体の放射性核種の比放射能を超えており、基準線量相当濃度として存在し得ない値であったことを示す。また、現行の政令評価の基準線量相当濃度の値が空白の核種は、評価対象外であることを示す。

\*2 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余裕深度処分に関する現行の政令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・農作物の採取量・農作物への移行係数、河川水飲用量、家畜の飼料及び飼育水摂取量、畜産物摂取量、飼料及び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。





Table 3-1 TRU 廃棄物の余裕深度処分における各評価経路の基準線量相当濃度結果一覧 (4/4)

半減期(y)		核種															
		U-238	Np-237	Pu-238	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242	Am-241	Am-242m	Am-243	Cm-242	Cm-243	Cm-244	Cm-245	Cm-246	
現行の政令評価の基準線量相当濃度*	濃度 (Bq/ton)	4.5E+09	2.1E+06	8.8E+01	2.4E+04	6.6E+03	1.4E+01	3.7E+05	4.3E+02	1.4E+02	7.4E+03	4.5E-01	2.9E+01	1.8E+01	8.5E+03	4.7E+03	
	決定経路	-	1.3E+09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
評価経路レベル及び重畳レベルにおける基準線量相当濃度	河川水利用	飲料水	1.2E+09	4.0E+10	4.3E+13	3.4E+14	9.6E+14	5.9E+15	1.0E+13	2.0E+14	3.2E+13	8.4E+15	2.8E+17	3.5E+17	1.0E+13	1.3E+15	
		外部	9.7E+09	6.0E+10	3.4E+14	6.9E+14	-	8.9E+15	1.3E+14	2.6E+14	2.3E+15	6.7E+16	5.9E+17	-	1.5E+13	1.0E+16	
		吸入	-	1.3E+11	5.0E+15	2.1E+14	-	1.9E+16	-	3.8E+15	6.8E+14	9.9E+17	1.8E+17	-	3.3E+13	-	
		農作物	2.9E+09	2.0E+10	1.0E+14	4.2E+13	6.5E+15	3.0E+15	4.0E+13	1.0E+14	7.8E+13	1.4E+14	2.0E+16	3.6E+16	2.4E+18	5.1E+12	3.1E+15
		畜産物	-	-	2.0E+16	-	-	-	-	1.5E+16	-	-	3.9E+18	-	-	-	-
		水産物	7.2E+09	3.3E+11	2.5E+14	-	-	4.9E+16	9.8E+13	1.6E+15	1.9E+14	-	5.0E+16	-	-	8.2E+13	7.7E+15
	河川岸建設・居住	外部	-	6.1E+10	5.6E+14	1.1E+15	-	9.0E+15	-	3.0E+14	4.2E+14	3.6E+15	1.1E+17	9.3E+17	-	1.5E+13	-
		吸入	-	4.9E+10	2.4E+15	7.0E+14	-	7.3E+15	-	2.4E+14	1.8E+15	2.3E+15	4.7E+17	5.9E+17	-	1.2E+13	-
		外部	2.2E+09	8.7E+09	8.0E+13	1.6E+14	-	1.3E+15	3.0E+13	4.3E+13	6.0E+13	5.1E+14	1.6E+16	1.3E+17	-	2.2E+12	2.3E+15
	河川岸農耕・作業	吸入	-	2.9E+11	1.8E+16	-	-	4.3E+16	-	1.4E+15	1.4E+16	-	3.6E+18	-	-	7.2E+13	-
		外部	7.6E+09	3.0E+10	2.8E+14	5.5E+14	-	4.5E+15	1.0E+14	1.5E+14	2.1E+14	1.8E+15	5.5E+16	4.7E+17	-	7.6E+12	8.2E+15
		吸入	-	4.9E+10	2.4E+15	7.0E+14	-	7.3E+15	-	2.4E+14	1.8E+15	2.3E+15	4.7E+17	5.9E+17	-	1.2E+13	-
重畳レベル	農作物	1.5E+09	1.5E+10	5.3E+13	3.6E+13	-	2.3E+15	2.0E+13	2.0E+13	4.0E+13	1.2E+14	1.0E+16	3.0E+16	-	3.8E+12	1.6E+15	
	畜産物	4.1E+09	7.8E+11	1.5E+14	-	-	1.2E+17	5.6E+13	3.9E+15	1.1E+14	-	2.9E+16	-	-	2.0E+14	4.4E+15	
	河川水利用	7.0E+08	9.8E+09	2.5E+13	3.0E+13	8.0E+14	1.5E+15	9.6E+12	4.9E+13	1.9E+13	9.9E+13	4.9E+15	2.6E+16	2.9E+17	2.5E+12	7.5E+14	
	河川岸建設	1.2E+10	2.7E+10	4.5E+14	4.3E+14	-	4.0E+15	-	1.3E+14	3.4E+14	1.4E+15	8.9E+16	3.6E+17	-	6.8E+12	-	
河川岸農耕	河川岸居住	2.2E+09	8.4E+09	7.9E+13	1.5E+14	-	1.3E+15	3.0E+13	4.2E+13	6.0E+13	4.9E+14	1.6E+16	1.3E+17	-	2.1E+12	2.3E+15	
	河川岸農耕	9.4E+08	8.3E+09	3.3E+13	3.2E+13	-	1.2E+15	1.3E+13	4.1E+13	2.5E+13	1.0E+14	6.6E+15	2.7E+16	-	2.1E+12	1.0E+15	
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)	7.0E+08	8.3E+09	2.5E+13	3.0E+13	8.0E+14	1.2E+15	9.6E+12	4.1E+13	1.9E+13	9.9E+13	4.9E+15	2.6E+16	2.9E+17	2.1E+12	7.5E+14	
決定経路	河川水利用	河川水利用	河川水利用	河川水利用	河川水利用	河川水利用	河川岸農耕	河川水利用	河川岸農耕	河川水利用	河川水利用	河川水利用	河川水利用	河川水利用	河川岸農耕	河川水利用	

\*1 基準線量相当濃度の値が「-」の核種は、計算値が無担体の放射性核種の比較放射能を超えており、基準線量相当濃度として存在し得ない値であったことを示す。また、現行の政令評価の基準線量相当濃度の値が空白の核種は、評価対象外であることを示す。

\*2 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余裕深度処分に関する現行の政令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、農作物の摂取量、農作物への移行係数、河川水飲用量、河川魚摂取量、家畜の飼料及び飼育水摂取量、畜産物摂取量、飼料及び飼育水摂取量、畜産物摂取量、河川魚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。

Table 3-2 政令濃度上限値に定められている核種の基準線量相当濃度比較表（余裕深度処分）

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 (物量:20万本)*1		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	5.2E+13	河川水利用	8.7E+13	河川水利用	C-14では河川水利用経路のうち、河川産物摂取の内部被ばく経路が決定経路である。基準線量相当濃度の違いは、線量換算係数、河川産物への濃縮係数、河川産物の摂取量の違いによるものである
Cl-36	3.0E+05	1.0E+10	河川岸農耕	9.6E+10	河川岸農耕	Cl-36では、河川岸農耕経路のうち農作物と畜産物の摂取による内部被ばく経路の線量寄与が大きい。基準線量相当濃度の違いは、内部被ばく線量換算係数、農作物(米、非葉菜)及び畜産物(牛乳、牛肉)への移行係数、摂取量の違いが主な要因である。
Tc-99	2.1E+05	8.2E+10	河川岸農耕	1.1E+12	河川水利用	Tc-99では、河川水利用経路のうち、飲料水と農作物の摂取による内部被ばく経路の線量寄与が大きい。基準線量相当濃度の違いは、内部被ばく線量換算係数、農作物(米、非葉菜)への移行係数、摂取量の違いが主な要因である。
Np-237	2.1E+06	1.3E+09	河川水利用	8.3E+09	河川岸農耕	政令評価ではNp-237の子孫核種の移行解析は行わず、線量係数の加算による方法を採用しているのに対し、本解析では、Np-237の崩壊系列を考慮した移行解析を行っているのに対し、河川水中の核種濃度が異なっている。政令評価では河川水利用経路が決定経路となっていたが、本解析では有効数字2桁目の大小関係で、河川岸農耕経路が決定経路となった。Np-237では、河川岸農耕経路の農作物の摂取、農耕作業時の外部及び吸入被ばく、畜産物の摂取の4種類の経路の線量寄与が大きい。中でも農作物摂取経路の寄与が最も高い。4n+1系列のうち農作物摂取経路の最大線量示す核種はRa-225であり、Ra-225の内部被ばく線量換算係数、農作物への移行係数、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は余裕深度処分に関する現行の政令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、農作物の摂取量、農作物への移行係数、河川水飲用量、河川魚摂取量、家畜の飼料及び飼育水摂取量、畜産物摂取量、飼料及び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。

### 3.2 濃度上限値評価における重要核種の推定

TRU 核種を含む放射性廃棄物 (TRU 廃棄物) の余裕深度処分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 Table 3-3 に示す。相対重要度 (D/C) の検討は、TRU 廃棄物のみだけでなく、従来評価の対象である原子炉廃棄物も含めた濃度上限値設定のための検討とした。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。また、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、その結果を Table 3-4 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まとめられる。

- 原子炉廃棄物 : D/C により抽出された核種は、Cl-36 (1 桁目)、C-14 (2 桁目)、Tc-99 (3 桁目) の 3 核種のみである。これらの核種は余裕深度処分に対する現行の政令評価の選定核種と変わりはない。
- TRU 廃棄物 : 1 桁目に U-238 と Pu-238、2 桁目に Pu-241、I-129、Np-237 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っている。
- 原子炉廃棄物と TRU 廃棄物の合計 : 両者を合計した平均放射能濃度 (D) に対しては、最重要核種が Cl-36 となり、それ以下の上位 3 桁の範囲の核種は、原子炉廃棄物及び TRU 廃棄物のそれぞれに見られた核種と共通である。

Table 3-3 原子炉廃棄物及び TRU 廃棄物に対する余裕深度処分の相対重要度 (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*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)	決定経路	濃度 (C) (Bq/ton)	決定経路	原子炉廃棄物	サイクル廃棄物	原子炉廃棄物+サイクル廃棄物	原子炉廃棄物	サイクル廃棄物	原子炉廃棄物+サイクル廃棄物
H-3	1.2E+01	-		-		6.8E+11	8.5E+09	7.3E+10			
Be-10	1.6E+06	4.0E+11	河川水利用	3.2E+12	河川水利用	3.2E+03	2.0E+00	3.1E+02	9.9E-10	6.2E-13	9.6E-11
C-14	5.7E+03	5.2E+13	河川水利用	8.7E+13	河川水利用	2.3E+11	1.9E+09	2.4E+10	2.7E-03	2.2E-05	2.8E-04
Cl-36	3.0E+05	1.0E+10	河川岸農耕	9.6E+10	河川岸農耕	3.1E+09	3.3E+07	3.3E+08	3.2E-02	3.4E-04	3.4E-03
Ca-41	1.0E+05	1.8E+13	河川水利用	9.0E+13	河川水利用	3.8E+08	4.1E+06	4.0E+07	4.2E-06	4.5E-08	4.5E-07
Mn-54	8.6E-01			-		1.6E+11	1.0E+04	1.6E+10			
Fe-55	2.7E+00			-		1.5E+12	1.0E+13	9.6E+12			
Fe-59	1.2E-01			-		1.3E+07	3.1E+02	1.2E+06			
Co-58	1.9E-01			-		6.2E+06	5.7E+06	5.7E+06			
Co-60	5.3E+00	-		-		2.2E+14	3.6E+12	2.4E+13			
Ni-59	7.6E+04	-		-		1.3E+12	7.6E+09	1.3E+11			
Ni-63	1.0E+02	-		-		1.6E+14	1.2E+12	1.6E+13			
Se-79	3.0E+05	1.0E+14	河川岸農耕	1.1E+12	河川岸農耕	9.7E+05	3.3E+06	3.1E+06	8.6E-07	3.0E-06	2.8E-06
Sr-90	2.9E+01	-		-		6.7E+09	8.7E+11	7.9E+11			
Zr-93	1.5E+06	1.8E+12	河川水利用	5.2E+12	河川水利用	1.2E+08	8.8E+08	8.0E+08	2.3E-05	1.7E-04	1.6E-04
Nb-93m	1.4E+01			-		7.5E+07	2.1E+05	7.4E+06			
Nb-94	2.0E+04	-		-		9.0E+09	6.7E+08	1.5E+09			
Mo-93	4.0E+03	-		-		1.4E+08	2.5E+07	3.6E+07			
Tc-99	2.1E+05	8.2E+10	河川岸農耕	1.1E+12	河川水利用	5.3E+08	2.4E+08	2.7E+08	4.6E-04	2.1E-04	2.4E-04
Ru-106	1.0E+00			-		1.4E+06	2.8E+11	2.6E+11			
Pd-107	6.5E+06			-		1.7E+02	2.1E+05	1.9E+05			
Ag-108m	4.2E+02	-		-		6.0E+10	2.1E+07	5.8E+09			
Sn-121m	5.5E+01	-		-		1.5E+08	3.5E+09	3.2E+09			
Sn-126	1.0E+05			5.9E+11	河川岸居住	9.9E+02	1.4E+07	1.3E+07	1.7E-09	2.4E-05	2.1E-05
Sb-125	2.8E+00			-		3.8E+09	3.1E+12	2.8E+12			
Te-125m	1.6E-01			-		8.3E+08	7.7E+11	6.9E+11			
I-129	1.6E+07	3.1E+09	河川水利用	6.7E+09	河川水利用	7.8E+04	5.8E+06	5.3E+06	1.2E-05	8.7E-04	7.8E-04
Cs-134	2.1E+00			-		3.5E+08	2.9E+11	2.6E+11			
Cs-135	2.3E+06			-		1.1E+03	5.4E+06	4.9E+06			
Cs-137	3.0E+01	-		-		1.7E+10	1.2E+12	1.1E+12			
Ce-144	7.8E-01			-		7.0E+05	1.8E+11	1.6E+11			
Sm-151	9.0E+01	-		-		4.8E+06	2.0E+09	1.8E+09			
Eu-152	1.4E+01			-		3.8E+10	3.2E+06	3.7E+09			
Eu-154	8.6E+00			-		1.7E+10	5.1E+10	4.7E+10			
Eu-155	4.8E+00			-		4.4E+07	2.6E+10	2.3E+10			
Ho-166m	1.2E+03	-		-		5.6E+06	4.3E+02	5.4E+05			

\*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余裕深度処分に関する現行の政令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、農作物の摂取量、農作物への移行係数、河川水飲用量、河川魚摂取量、家畜の飼料及び飼育水摂取量、畜産物摂取量、飼料及び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 基準線量相当濃度の値が「-」の核種は、計算値が無担体の放射性核種の比放射能を超えており、基準線量相当濃度として存在し得ない値であったことを示す。また、現行の政令評価の基準線量相当濃度の値が空白の核種は、評価対象外であることを示す。

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。

Table 3-3 原子炉廃棄物及び TRU 廃棄物に対する余裕深度処分の相対重要度 (2/2)

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*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)	決定経路	濃度 (C) (Bq/ton)	決定経路	原子炉廃棄物	サイクル廃棄物	原子炉廃棄物+サイクル廃棄物	原子炉廃棄物	サイクル廃棄物	原子炉廃棄物+サイクル廃棄物
Pb-210	2.2E+01			-		6.1E-01	7.9E-03	6.6E-02			
Po-210	3.8E-01			-		6.2E-01	2.1E+00	2.0E+00			
Ra-226	1.6E+03			-		5.3E-02	1.1E-01	1.1E-01			
Ra-228	5.8E+00			-		5.2E+01	1.7E-05	5.0E+00			
Ac-227	2.2E+01			-		5.3E+02	1.6E+00	5.2E+01			
Th-228	1.9E+00			-		2.5E+05	5.9E+03	2.9E+04			
Th-229	7.3E+03			-		9.8E+01	1.6E+01	2.4E+01			
Th-230	7.5E+04			-		1.3E+01	7.1E+01	6.5E+01			
Th-232	1.4E+10			6.3E+08	河川岸居住	5.9E+01	5.6E-05	5.7E+00	9.5E-08	8.9E-14	9.1E-09
Pa-231	3.3E+04			-		1.9E+03	1.1E+01	2.0E+02			
U-232	6.9E+01	-		-		2.6E+05	1.4E+05	1.5E+05			
U-233	1.6E+05	3.8E+12	河川水利用	4.4E+11	河川岸農耕	8.0E+04	2.8E+04	3.3E+04	1.8E-07	6.4E-08	7.6E-08
U-234	2.5E+05	1.0E+12	河川水利用	8.9E+09	河川水利用	2.4E+03	6.5E+06	5.8E+06	2.7E-07	7.3E-04	6.6E-04
U-235	7.0E+08			1.0E+09	河川水利用	1.4E+01	3.0E+05	2.7E+05	1.4E-08	2.9E-04	2.6E-04
U-236	2.3E+07	6.9E+10	河川水利用	2.2E+11	河川水利用	1.9E+01	1.3E+06	1.2E+06	8.6E-11	5.9E-06	5.3E-06
U-238	4.5E+09	-		7.0E+08	河川水利用	3.7E+02	1.5E+06	1.4E+06	5.3E-07	2.2E-03	2.0E-03
Np-237	2.1E+06	1.3E+09	河川水利用	8.3E+09	河川岸農耕	8.2E+01	6.7E+06	6.1E+06	9.9E-09	8.2E-04	7.4E-04
Pu-238	8.8E+01	-		2.5E+13	河川水利用	7.3E+05	3.1E+10	2.8E+10	2.9E-08	1.2E-03	1.1E-03
Pu-239	2.4E+04	-		3.0E+13	河川水利用	1.6E+08	7.2E+09	6.5E+09	5.2E-06	2.4E-04	2.1E-04
Pu-240	6.6E+03	-		8.0E+14	河川水利用	3.3E+05	8.4E+09	7.6E+09	4.1E-10	1.1E-05	9.5E-06
Pu-241	1.4E+01			1.2E+15	河川岸農耕	1.8E+07	1.1E+12	1.0E+12	1.4E-08	9.1E-04	8.2E-04
Pu-242	3.7E+05	-		9.6E+12	河川水利用	1.9E+03	2.2E+07	2.0E+07	2.0E-10	2.3E-06	2.1E-06
Am-241	4.3E+02	-		4.1E+13	河川岸農耕	5.8E+07	1.7E+10	1.5E+10	1.4E-06	4.2E-04	3.8E-04
Am-242m	1.4E+02	-		1.9E+13	河川水利用	5.6E+03	2.1E+08	1.9E+08	3.0E-10	1.1E-05	1.0E-05
Am-243	7.4E+03	-		9.9E+13	河川水利用	5.5E+04	9.5E+07	8.6E+07	5.5E-10	9.6E-07	8.6E-07
Cm-242	4.5E-01			4.9E+15	河川水利用	5.0E+03	3.9E+08	3.5E+08	1.0E-12	8.0E-08	7.3E-08
Cm-243	2.9E+01			2.6E+16	河川水利用	5.7E+03	8.8E+07	7.9E+07	2.2E-13	3.4E-09	3.1E-09
Cm-244	1.8E+01	-		2.9E+17	河川水利用	2.5E+07	1.0E+10	9.2E+09	8.7E-11	3.5E-08	3.2E-08
Cm-245	8.5E+03			2.1E+12	河川岸農耕	3.2E+03	1.2E+06	1.1E+06	1.5E-09	5.8E-07	5.2E-07
Cm-246	4.7E+03			7.6E+14	河川水利用	1.5E+04	2.9E+03	4.0E+03	2.0E-11	3.8E-12	5.3E-12

\*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余裕深度処分に関する現行の政令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、農作物の摂取量、農作物への移行係数、河川水飲用量、河川魚摂取量、家畜の飼料及び飼育水摂取量、畜産物摂取量、飼料及び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 基準線量相当濃度の値が「-」の核種は、計算値が無担体の放射性核種の比放射能を超えており、基準線量相当濃度として存在し得ない値であったことを示す。また、現行の政令評価の基準線量相当濃度の値が空白の核種は、評価対象外であることを示す。

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。

Table 3-4 余裕深度処分に対する上位3桁の相対重要度の抽出結果

	対象廃棄物のD/C		
	原子炉廃棄物	サイクル廃棄物	原子炉廃棄物+ サイクル廃棄物
1桁目	<u>Cl-36</u>	<u>U-238</u> Pu-238	<u>Cl-36</u> U-238 Pu-238
2桁目	C-14	Pu-241 I-129 Np-237 U-234 Am-241 Cl-36 U-235 Pu-239 Tc-99 Zr-93	Pu-241 I-129 Np-237 U-234 Am-241 C-14 U-235 Tc-99 Pu-239 Zr-93
3桁目	Tc-99	Sn-126 C-14 Pu-240 Am-242m	Sn-126 Am-242m

(注)下線の核種は、D/Cの値が最大であった核種を表す。

### 3.3 ウラン廃棄物の基準線量相当濃度

余裕深度処分における U-234、U-235、U-238 の基準線量相当濃度の算出結果を Table 3-5 に示す。Table 3-5 は、「河川水利用」、「河川岸建設作業」、「河川岸居住」、「河川岸農耕作業」の4つの評価経路、さらに、各評価経路において対象とした被ばく経路ごとの基準線量相当濃度の結果を示している。なお、Table 3-5 は、前述の Table 3-3 より U-234、U-235、U-238 を抽出した結果表である。U-234、U-235、U-238 とともに、「河川水利用経路」が決定経路である。各基準線量相当濃度の算出結果は以下ようになる。

- U-234 : 8.9E+9 Bq/ton (河川水利用経路)
- U-235 : 1.0E+9 Bq/ton (河川水利用経路)
- U-238 : 7.0E+8Bq/ton (河川水利用経路)

次に、決定経路である「河川水利用経路」を対象に、その経路内訳の線量の経時変化を Fig.3-1 に示す。U-234 は、河川水利用経路のうち、飲料水摂取と農作物摂取の内部被ばく経路が特に線量影響が大きい結果である。さらに、最も被ばく線量の高い飲料水摂取経路を対象に、U-234 の子孫核種の内訳をみると、Po-210 が支配的であることがわかる。また、U-235 については、河川水利用経路のうち農作物摂取と農耕作業時の塵埃吸入の内部被ばく経路が主要経路である。U-235 の解析における農作物摂取被ばく経路の支配核種は Pa-231 である。U-238 については、

各被ばく経路の線量の大小関係は U-234 と同様であり、飲料水摂取被ばくが最も線量が高い。さらに、U-238 の解析における飲料水摂取経路の支配核種についても、U-234 と同様に Po-210 である。

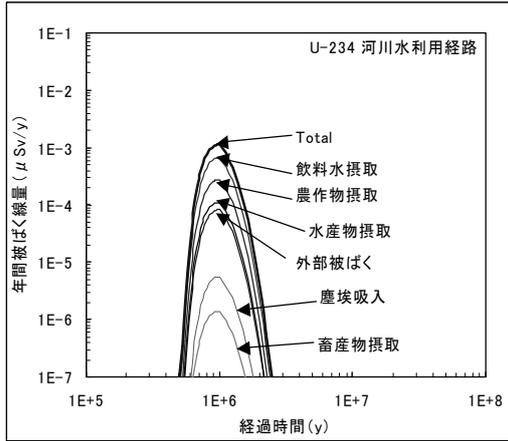
Table 3-5 ウラン廃棄物の余裕深度処分における各評価経路の基準線量相当濃度結果一覧

		核種					
		U-234		U-235		U-238	
半減期(y)		2.5E+05		7.0E+08		4.5E+09	
現行の政令評価の 基準線量相当濃度*1	濃度 (Bq/ton)	1.0E+12					
	決定経路	河川水利用					
評価経路		パラメータ見直しによる評価経路レベル及び重畳レベルの基準線量相当濃度*2					
		評価経路レベル	重畳レベル	評価経路レベル	重畳レベル	評価経路レベル	重畳レベル
河川水利用	飲料水	1.5E+10	8.9E+09	1.2E+10	1.0E+09	1.2E+09	7.0E+08
	外部	1.2E+11		2.4E+10		9.7E+09	
	吸入	1.8E+12		7.1E+09		-	
	農作物	3.7E+10		1.5E+09		2.9E+09	
	畜産物	7.2E+12		-		-	
	水産物	9.1E+10		-		7.2E+09	
河川岸建設作業	外部	2.0E+11	1.6E+11	3.8E+10	1.5E+10	-	1.2E+10
	吸入	8.5E+11		2.4E+10		-	
河川岸居住	外部	2.9E+10	2.8E+10	5.4E+09	5.1E+09	2.2E+09	2.2E+09
	吸入	6.5E+12		-		-	
河川岸農耕作業	外部	1.0E+11	1.2E+10	1.9E+10	1.1E+09	7.6E+09	9.4E+08
	吸入	8.5E+11		2.4E+10		-	
	農作物	1.9E+10		1.2E+09		1.5E+09	
	畜産物	5.2E+10		-		4.1E+09	
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)	8.9E+09		1.0E+09		7.0E+08	
	決定経路	河川水利用		河川水利用		河川水利用	

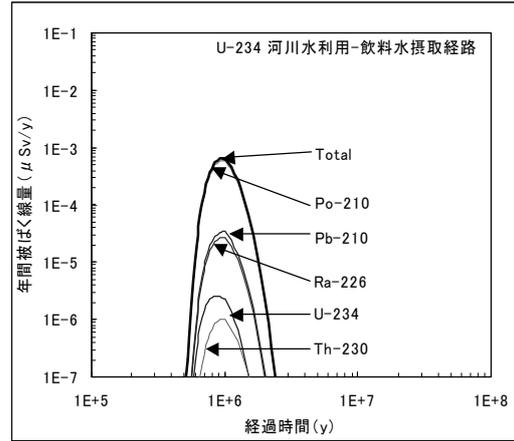
\*1 基準線量相当濃度の値が「-」の核種は、計算値が無担体の放射性核種の比放射能を超えており、基準線量相当濃度として存在し得ない値であったことを示す。また、現行の政令評価の基準線量相当濃度の値が空白の核種は、評価対象外であることを示す。

\*2 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余裕深度処分に関する現行の政令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、農作物の摂取量、農作物への移行係数、河川水飲用量、河川魚摂取量、家畜の飼料及び飼育水摂取量、畜産物摂取量、飼料及び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。

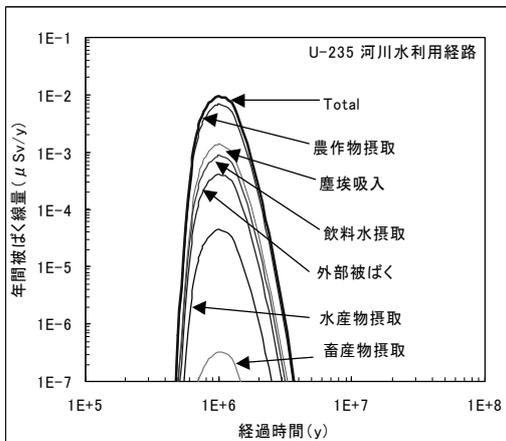
なお、ウラン廃棄物のうち U-234 及び U-238 に関しては、上記のように算出した基準線量相当濃度で余裕深度処分した場合を想定し、ウラン廃棄物に特有なラドンガス吸入による内部被ばくの線量影響の程度を把握することを目的とした解析を実施した。その結果については、Appendix-III に掲載した。



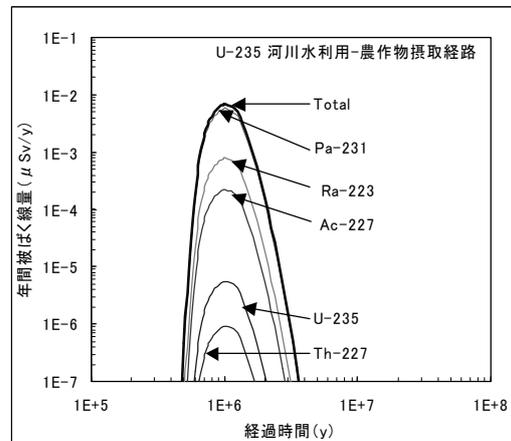
(a) U-234 河川水利用経路



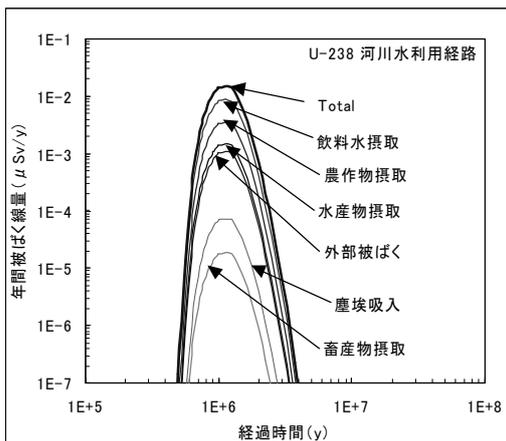
(b) U-234 河川水利用-飲料水摂取経路



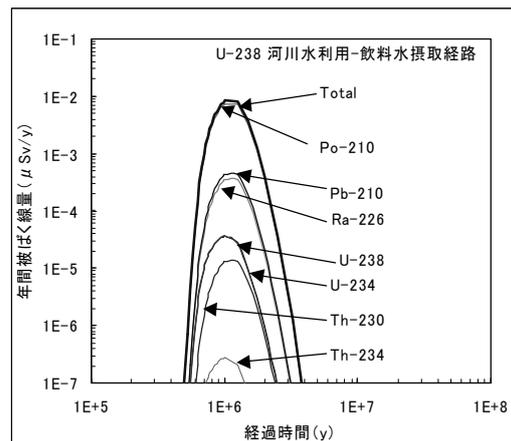
(c) U-235 河川水利用経路



(d) U-235 河川水利用-農作物摂取経路



(e) U-238 河川水利用経路



(f) U-238 河川水利用-飲料水摂取経路

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

Fig.3-1 決定経路における被ばく線量の経時変化 (経路内訳、核種内訳)

#### 4. 余裕深度処分の濃度上限値算出結果のまとめ

濃度上限値とは、処分方式別に最終的な埋設処分の可能な放射性廃棄物の範囲を定めたものであり、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。また、埋設事業の許可申請時における処分環境条件や施設設計条件をもとに埋設処分場ごとの安全審査によって、その埋設処分の良否が判断される。

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。保守的な値を採用することで、余裕深度処分の各処分概念ごとの濃度上限値を厳しく制限することは、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。

このため、濃度上限値算出においては包絡的な条件設定が好ましいと考えられ、本調査の濃度上限値算出において、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濃度上限値評価における既往値を使用するとし、半減期、線量換算係数、農畜産物への移行係数などは最新の知見に基づいた値を採用することとし、TRU 廃棄物及びウラン廃棄物を対象とした余裕深度処分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計算した。その算出結果をまとめると以下のようになる。

- TRU 廃棄物に含まれる 66 核種を対象に余裕深度処分に対する基準線量相当濃度を計算した。その結果、従来の原子炉施設を対象とした政令評価と比較して、「 $\beta$   $\gamma$  核種」では Sn-126、「 $\alpha$  核種」では Th-232、U-235、U-238 など 16 核種が TRU 廃棄物に特徴的な核種として新たに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各対象核種の基準線量相当濃度を提示した。
- 余裕深度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、Cl-36、Tc-99、Np-237) を対象に、本解析と現行の政令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 廃棄物の他に原子炉廃棄物を含めた平均放射能濃度 (D) と基準線量相当濃度 (C) により相対重要度 (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 位に抽出された核種は、Cl-36 (1 桁目)、C-14 (2 桁目)、Tc-99 (3 桁目) の 3 核種のみであり、これらの核種は余裕深度処分に対する現行の政令評価の選定核種と変わりはないことを示した。
- TRU 廃棄物を対象とした相対重要度 (D/C) は、上位 1 桁目に U-238 と Pu-238、2 桁目に Pu-241、I-129、Np-237 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。
- 余裕深度処分におけるウラン廃棄物 (U-234、U-235、U-238) の基準線量相当濃度は、それぞれ U-234 : 8.9E+9 Bq/ton、U-235 : 1.0E+9 Bq/ton、U-238 : 7.0E+8Bq/ton となり、全て「河川水利用経路」が決定経路となった。

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などを考慮しつつ、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) R. B. Firestone and V. S. Shirley：“Table of Isotopes 8th Edition”，John Wiley & Sons, New York, (1996).
- (8) B. Singh：“Nuclear Data Sheets for A = 79”，Nuclear Data Sheets, Volume 96, Issue 1, (2002).
- (9) 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.
- (10)ICRP：“Dose Coefficients for Intakes of Radionuclides by Workers”，ICRP Publication 68, (1994).
- (11)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).
- (12)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).
- (13)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).
- (14)ICRP：“Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation”，ICRP Publication 74, (1996).
- (15)IAEA, “Derivation of Activity Limits for the Disposal of Radioactive Waste in Near Surface Disposal Facilities”，IAEA-TECDOC-1380, (2003).
- (16)IAEA：“Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharge of Radioactive Substances to the Environment”，IAEA Safety Reports Series No.19, (2001).
- (17)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).
- (18)ICRP：“Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides : Part 4. Inhalation Dose Coefficients”，ICRP Publication 71, (1995).
- (19)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).
- (20)IAEA：“Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Temperate Environments”，IAEA Technical Reports Series No.364, (1994).

## Appendix- I

### 余裕深度処分の濃度上限値評価モデル

余裕深度処分に対する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>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、地下水移行シナリオ評価コードを使用して、余裕深度処分に対する決定論的な解析を実施した。ここでは、TRU 廃棄物及びウラン廃棄物の濃度上限値評価において設定した地下水移行シナリオ（河川水の利用に伴う河川水利用経路と河川岸における人間活動に伴う 3 つの評価経路：①河川岸建設経路、②河川岸居住経路、③河川岸農耕作業経路）におけ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

地下水移行シナリオ評価コードの構成を Fig.A1-1 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。

##### 1.1 ソースタームモデル

GSA-GCL2 コードは、簡略化した廃棄物埋設施設からの核種漏洩評価モデル（ソースタームモデル）として、廃棄体層（廃棄体、充填材、構造材等を含む）及び緩衝材層から構成されるコンパートメントモデルを採用している。すなわち、廃棄体層及び緩衝材をそれぞれ 1 つのコンパートメントとして考え、その中での核種濃度及び物性値は一定とし、その上で、各コンパートメント間の移流、拡散及び崩壊による物質収支を考えている。また、緩衝材外側の周辺地層では拡散による核種のフラックス（濃度勾配）が最大となるよう保守的に核種濃度 0 を仮定した境界条件を設定している。

なお、本解析では、緩衝材コンパートメントを無視し、廃棄体層のみの解析とした。また、廃棄体コンパートメント中の核種の移行は移流によって支配されると仮定し、拡散による核種移行を無視した。緩衝材の効果が無いものとするれば、廃棄体中の核種量は次式で表される。

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

ここで、

- $A_{w,i}$  : 廃棄体中の核種  $i$  の量 (Bq)
- $\eta_i$  : 核種  $i$  の移行率 (1/y)
- $\lambda_i$  : 核種  $i$  の崩壊定数 (1/y)

である。

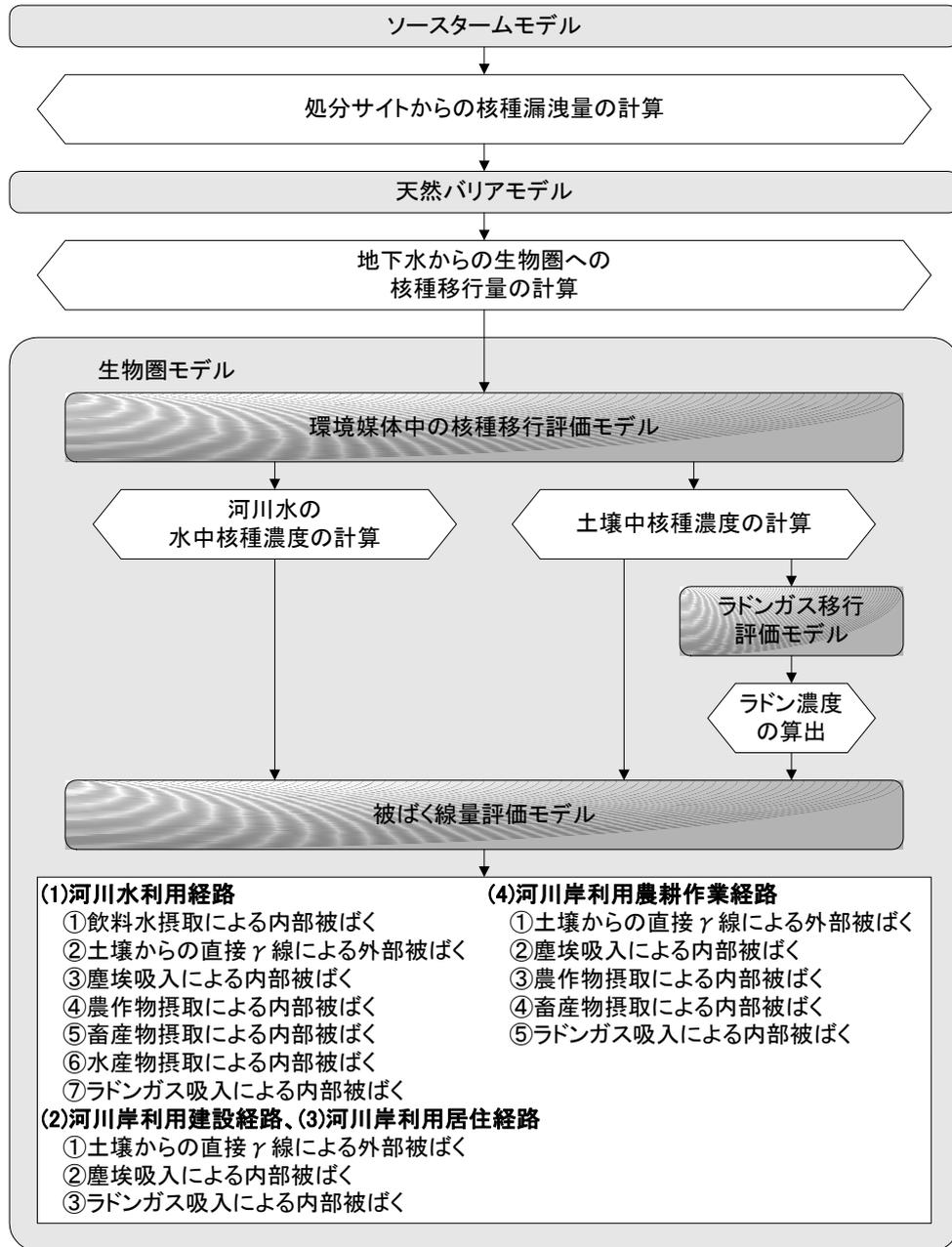


Fig.A1-1 地下水移行シナリオ評価コードの構成

埋設施設からの漏洩率  $\eta_i$  は、IAEA 技術文書「IAEA- TECDOC-401<sup>(2)</sup>」における放出係数モデルを使用すると、以下の式により求められる。

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

ここで、

- $\eta_i$  : 核種  $i$  の処分場からの漏洩率 (1/y)
- $V_{in}$  : 浸透水量 (m/y)
- $H_w$  : 埋設施設の高さ (m)
- $R_{c,i}$  : 核種  $i$  の放出係数 (-)

である。

本解析では、核種  $i$  の放出係数  $R_{c,i}$  と遅延係数  $R_{w,i}$  との関係を(3)及び(4)式のように定義し、核種  $i$  の放出係数  $R_{c,i}$  に相当する廃棄体中核種  $i$  の分配係数を用いて処分施設からの漏洩率を求めることで、放出係数モデルと同等とした。

$$R_{c,i} = \frac{1}{\varepsilon_w \cdot R_{w,i}} \quad (3)$$

$$R_{w,i} = 1 + \frac{1 - \varepsilon_w}{\varepsilon_w} \cdot \rho_w \cdot Kd_{w,i} \quad (4)$$

ここで、

- $\varepsilon_w$  : 廃棄体の空隙率 (-)
- $R_{w,i}$  : 廃棄体中における核種  $i$  の遅延係数 (-)
- $\rho_w$  : 廃棄体の真密度 ( $\text{kg/m}^3$ )
- $Kd_{w,i}$  : 廃棄体中における核種  $i$  の分配係数 ( $\text{m}^3/\text{kg}$ )

である。

処分施設からの移行フラックスは、次式により表される。

$$J_i = \eta_i \cdot A_{w,i} \quad (5)$$

ここで、

- $J_i$  : 処分施設からの移行フラックス ( $\text{Bq/y}$ )

である。

## 1.2 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式の1次元移流分散モデルにより表される。

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} Rt_i \cdot C_{gw,i}(x,t) = D_x \cdot \frac{\partial^2 C_{gw,i}(x,t)}{\partial x^2} - U_{gw} \cdot \frac{\partial C_{gw,i}(x,t)}{\partial x} \\ - Rt_i \cdot \lambda_i \cdot C_{gw,i}(x,t) + Rt_{i-1} \cdot \lambda_{i-1} \cdot C_{gw,i-1}(x,t) + Q_i(t) \end{aligned} \quad (6)$$

ここで、

- $Rt_i$  : 核種  $i$  の地質媒体中における遅延係数 (-)
- $Rt_i = 1 + \frac{1 - \varepsilon_s}{\varepsilon_s} \cdot \rho_s \cdot Kd_{s,i}$
- $\varepsilon_s$  : 地質媒体の空隙率 (-)
- $\rho_s$  : 地質媒体の真密度 ( $\text{g/cm}^3$ )

- $Kd_{s,i}$  : 地質媒体における核種  $i$  の分配係数 (ml/g)  
 $C_{gw,i}(x,t)$  : 地点  $x$ 、時刻  $t$  における核種量 (Bq/m<sup>3</sup>)  
 $D_x$  : 地下水流方向 ( $x$  方向) の分散係数 (m<sup>2</sup>/y)  
 $D_x = D_l \cdot U_{gw} + D_m$   
 $D_l$  : 地下水流方向 ( $x$  方向) の分散長 (m)  
 $D_m$  : 分子分散係数 (=3.15×10<sup>-2</sup> 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。

本解析では、埋設施設から生物圏までの領域を政令評価設定値の1/10の地下水流速が期待できる領域Aと、政令評価設定値と同様の地下水流速が設定されている領域Bとに分け、核種移行を評価している。なお、埋設施設内の核種移行を考慮するため、地下水の流れの方向に対して埋設施設長さを10分割し、各中点から埋設施設下端までの距離を加算して移行距離とし、それぞれの移行距離に対する核種移行計算を行った後、重ね合わせにより核種*i*の河川への移行フラックスを評価する。

### 1.3 生物圏モデル

#### 1.3.1 環境媒体中の核種移行評価モデル

##### (1) 河川水の水核種濃度

埋設施設から地下水を経由し生物圏に到達した放射性核種の河川水中濃度は、河川水流量の希釈により以下の式で表される。

$$C_{Rw,i}(t) = \frac{C_{f,i}(t)}{V_R} \quad (7)$$

ここで、

- $C_{Rw,i}(t)$  : 河川水中核種  $i$  濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)  
 $C_{f,i}(x,t)$  : 天然バリア出口の核種  $i$  の移行フラックス (Bq/y)  
 $V_R$  : 河川水流量 (m<sup>3</sup>/y)

である。

##### (2) 土壌中核種濃度

放射性核種を含む河川水を灌漑水として利用する河川水利用経路の場合、水中の放射性核種が土壌に残留する濃度は、動的コンパートメントモデルを適用して、以下の常微分方程式で記述される。

$$\frac{dC_{s,i}(t)}{dt} = -(K_i + \lambda_i) \cdot C_{s,i}(t) + \lambda_{i-1} \cdot C_{s,i-1}(t) + Q_i(t) \quad (8)$$

ここで、

- $C_{s,i}(t)$  : 灌漑土壌中の核種  $i$  の濃度 (Bq/g)
- $K_i$  : 核種  $i$  の灌漑土壌からの浸透による減衰率 (1/y)
- $\lambda_i$  : 核種  $i$  の崩壊定数 (1/y)
- $Q_i(t)$  : 灌漑土壌への核種移行量 (Bq/g/y)

である。

核種  $i$  の灌漑土壌からの浸透による減衰率  $K_i$  及び核種移行量  $Q_i(t)$  は、以下の式で表される。

$$K_i = \frac{P_s + Ir_s}{H_s \cdot (\varepsilon_s + \rho_s \cdot Kd_{s,i})} \quad (9)$$

$$Q_i(t) = C_{ww,i}(t) \cdot \frac{Ir_s}{H_s \cdot \rho_s \cdot 10^6} \quad (10)$$

ここで、

- $P_s$  : 灌漑土壌への浸透水量 (m/y)
- $Ir_s$  : 灌漑水量 (m/y)
- $H_s$  : 実効土壌深さ (m)
- $\varepsilon_s$  : 灌漑土壌空隙率 (-)
- $\rho_s$  : 灌漑土壌嵩密度 (g/cm<sup>3</sup>)
- $Kd_{s,i}$  : 灌漑土壌分配係数 (ml/g)
- $C_{ww,i}(t)$  : 灌漑水中核種  $i$  濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)

である。

なお、河川岸利用経路の場合には、河川岸土壌中の核種濃度は、河川水中の核種濃度と瞬時に分配平衡状態に達すると仮定すると次式により求められる。

$$C_{r,i}(t) = Kd_{s,i} \cdot C_{Rw,i}(t) \quad (11)$$

ここで、

- $C_{r,i}(t)$  : 核種  $i$  の河川岸土壌中濃度 (Bq/kg)
- $Kd_{s,i}$  : 核種  $i$  の河川岸土壌中における分配係数 (m<sup>3</sup>/kg)

である。

### 1.3.2 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 Fig.A1-2 に示す。ラドンガス移行評価モデルは、土壌から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の各評価モデルより構成されている。

(1) ラドンガス散逸率評価モデル

ラドン ( $^{222}\text{Rn}$ ) は、汚染土壌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。汚染土壌中に含まれるラジウムから発生したラドンガスは土壌粒子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>(3),(4),(5)</sup>。

$$J_w(t) = C_{Ra}(t) \cdot \rho \cdot F \cdot \lambda_{Rn} \cdot \sqrt{\frac{D_w}{\lambda_{Rn}}} \cdot \tanh \frac{X_w}{\sqrt{\frac{D_w}{\lambda_{Rn}}}} \quad (12)$$

ここで、

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

である。

また、汚染土壌の上に覆土等の非汚染土壌を想定した場合、大気中へのラドン散逸率  $J_c$  は以下の式で表される。

$$J_c(t) = J_w(t) \cdot \exp \left( - \frac{X_c}{\sqrt{\frac{D_c}{\lambda_{Rn}}}} \right) \quad (13)$$

ここで、

- $J_c(t)$  : 大気中へのラドン散逸率 ( $\text{Bq/m}^2/\text{s}$ )
- $J_w(t)$  : 汚染土壌からのラドンガス散逸率 ( $\text{Bq/m}^2/\text{s}$ )
- $X_c$  : 非汚染土壌の厚さ (m)
- $D_c$  : ラドンガスの非汚染土壌中拡散係数 ( $\text{m}^2/\text{s}$ )
- $\lambda_{Rn}$  : ラドンの崩壊定数 ( $\text{s}^{-1}$ )

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>(6),(7),(8)</sup>。本報告書においては、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、ウラン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。

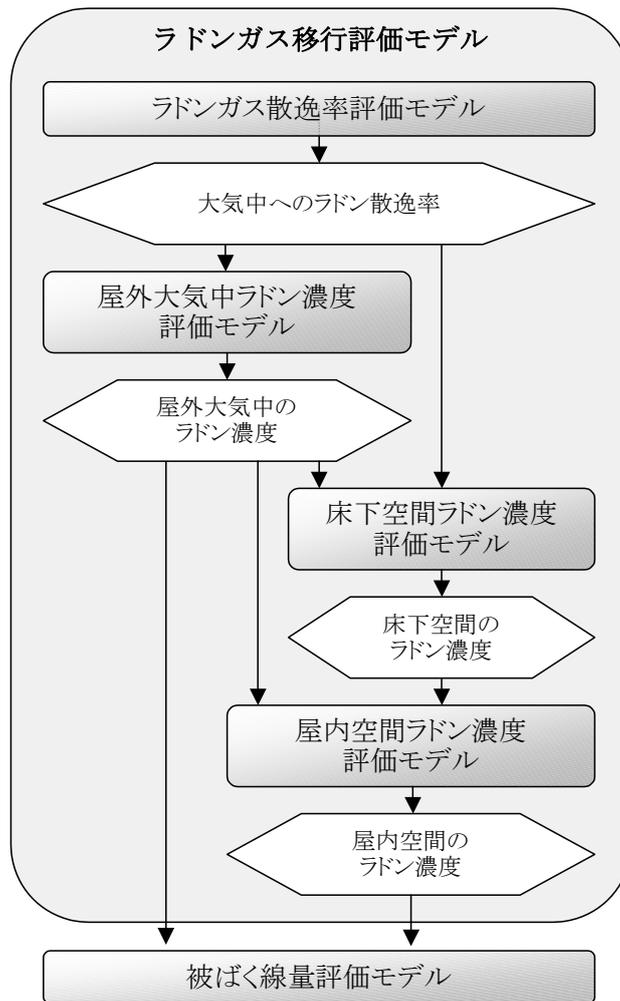


Fig.A1-2 ラドンガス移行に関する評価モデル構成

$$\frac{\partial C_{o_{Rn}}(t)}{\partial t} = \frac{J_c(t)}{H} - \left( \lambda_{Rn} + \frac{U}{a} \right) \cdot C_{o_{Rn}}(t) \quad (14)$$

ここで、

$C_{o_{Rn}}(t)$  : 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 (s<sup>-1</sup>)
- $U$  : 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(14)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。

$$Co_{Rn}(t) = \frac{J_c(t) \cdot [1 - \exp\{-(\lambda_{Rn} + \lambda_U) \cdot t\}]}{H \cdot (\lambda_{Rn} + \lambda_U)} \quad (15)$$

### (3) 床下空間ラドン濃度評価モデル

汚染土壌の上に居住することを仮定すると、汚染土壌から発生し、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(14)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。

$$Cc_{Rn}(t) = \frac{J_c(t) \cdot [1 - \exp\{-(\lambda_{Rn} + \lambda_c) \cdot t\}]}{h_c \cdot (\lambda_{Rn} + \lambda_c)} + \frac{Co_{Rn}(t) \cdot \lambda_c}{\lambda_{Rn} + \lambda_c} \quad (16)$$

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 (s<sup>-1</sup>)
- $\lambda_c$  : 床下空間換気率 (s<sup>-1</sup>)
- $h_c$  : 床下空間高さ (m)

である。

### (4) 屋内ラドン濃度評価モデル

汚染土壌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>(9)</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。

$$Ci_{Rn}(t) = \frac{Cc_{Rn}(t) \cdot I \cdot h_c}{h_{in} \cdot (\lambda_{Rn} + \lambda_{in})} + \frac{Co_{Rn}(t) \cdot \lambda_{in}}{\lambda_{Rn} + \lambda_{in}} + \frac{Cw_{Rn}(t) \cdot Q_w \cdot G}{V \cdot (\lambda_{Rn} + \lambda_{in})} \quad (17)$$

ここで、

$Ci_{Rn}(t)$	: 屋内ラドン濃度 (Bq/m <sup>3</sup> )
$Cc_{Rn}(t)$	: 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 (s <sup>-1</sup> )
$h_c$	: 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 (s <sup>-1</sup> )
$\lambda_{in}$	: 屋内換気率 (s <sup>-1</sup> )
$CO_{Rn}(t)$	: 屋外大気中ラドン濃度 (Bq/m <sup>3</sup> )
$CW_{Rn}(t)$	: 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、本解析での余裕深度処分においては、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、最後の項は寄与は除外した。

### 1.3.3 被ばく線量評価モデル

#### (1) 河川水利用経路

##### ① 飲料水摂取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、次式で計算する。

$$D_{ING,i}(t) = C_{Rw,i}(t) \cdot Q_w \cdot DCF_{ING,i} \quad (18)$$

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。

##### ② 土壌からの直接 $\gamma$ 線による外部被ばく経路

土壌からの直接  $\gamma$  線による外部被ばく線量は、次式により求める。

$$D_{EXT,i}(t) = C_i(t) \cdot S \cdot T \cdot DCF_{EXT,i} \quad (19)$$

ここで、

$D_{EXT,i}(t)$	: 直接 $\gamma$ 線による外部被ばく線量 (Sv/y)
$C_i(t)$	: 土壌中核種 $i$ 濃度

- $S$  : 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。

なお、土壌中核種濃度  $C_i$  として、灌漑土壌中核種濃度  $C_{s,i}$  を使用する。

### ③ 塵埃吸入による内部被ばく経路

塵埃の吸入による内部被ばく線量は、以下の式により表される。

$$D_{INH,i}(t) = C_i(t) \cdot f \cdot B \cdot T \cdot DCF_{INH,i} \quad (20)$$

ここで、

- $D_{INH,i}(t)$  : 核種  $i$  の吸入による内部被ばく線量 (Sv/y)  
 $C_i(t)$  : 土壌中核種  $i$  濃度  
 $f$  : 空气中ダスト濃度 ( $\text{g}/\text{m}^3$ )  
 $B$  : 呼吸量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ )  
 $T$  : 年間被ばく時間 (h/y)  
 $DCF_{INH,i}$  : 核種  $i$  の吸入内部被ばく線量換算係数 (Sv/Bq)

である。

なお、土壌中核種  $i$  濃度  $C_i$  として、灌漑土壌中核種濃度  $C_{s,i}$  を使用する。

### ④ 農作物摂取による内部被ばく経路

農作物は、汚染土壌からの経根吸収と、灌漑水中核種の植物表面への沈着により汚染される。植物表面への沈着に関しては、降雨などにより核種が除去されることを想定する。農作物中の核種  $i$  濃度は、以下の式で表される。

$$C_{j,i}(t) = C_i(t) \cdot T_{j,i} \cdot 10^3 + C_{Rw,i}(t) \cdot \frac{Ir_j \cdot R_v \cdot [1 - \exp(-\lambda_{e,i} \cdot t_{ir,j})]}{Y_j \cdot \lambda_{e,i}} \quad (21)$$

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)  
 $C_i(t)$  : 土壌中核種  $i$  濃度 (Bq/g)  
 $C_{Rw,i}(t)$  : 河川水中核種  $i$  濃度 ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ )  
 $T_{j,i}$  : 核種  $i$  の土壌から農作物  $j$  への移行係数 (Bq/kg per Bq/kg)  
 $Ir_j$  : 農作物  $j$  の灌漑水量 ( $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{y}$ )  
 $R_v$  : 植物表面への沈着割合 (-)  
 $\lambda_{e,i}$  : 沈着した核種  $i$  の実効減衰係数 (1/y)  
 $\lambda_{e,i} = \lambda_i + \lambda_w$   
 $\lambda_w$  : weathering による表面沈着核種の除去係数 (1/y)  
 $t_{ir,j}$  : 農作物  $j$  の灌漑期間 (y)  
 $Y_j$  : 農作物  $j$  の栽培密度 ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )

である。

なお、土壤中核種  $i$  濃度  $C_i(t)$  として、灌漑土壤中核種濃度  $C_{s,i}(t)$  を使用する。  
農作物摂取による内部被ばく線量は、次式で計算する。

$$D_{ING,i}(t) = \sum_j C_{j,i}(t) \cdot Q_j \cdot DCF_{ING,i} \quad (22)$$

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)

$C_{j,i}(t)$  : 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)

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

である。

#### ⑤ 畜産物摂取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。畜産物の種類としては、卵、牛乳、牛肉、豚肉、鶏肉を想定する。

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

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  $i$  の飼料及び飼育水から畜産物  $n$  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。

核種を含む畜産物を摂取することによる人の内部被ばく線量は、次式で計算する。

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

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)

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

$C_{FWn,i}(t)$  : 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。なお、飼育水経由であるため、飼料を経由した畜産物  $n$  中の核種  $i$  濃度  $C_{Fn,i}(t)$  はゼロとする。

⑥ 水産物摂取による内部被ばく経路

水産物中の核種  $i$  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で計算する。

$$C_{m,i}(t) = C_{Rw,i}(t) \cdot 10^{-3} \cdot T_{m,i} \quad (25)$$

ここで、

- $C_{m,i}(t)$  : 水産物  $m$  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。

水産物摂取による内部被ばく線量は、次式で計算する。

$$D_{ING,i}(t) = \sum_m C_{m,i}(t) \cdot Q_m \cdot DCF_{ING,i} \quad (26)$$

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)
- $C_{m,i}(t)$  : 水産物  $m$  中の核種  $i$  濃度 (Bq/kg)
- $Q_m$  : 水産物  $m$  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。

⑦ 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>(4),(10),(11)</sup>。

$$D_{Rn}(t) = \{R_r \cdot C_{O_{Rn}}(t) \cdot Fo + (1 - R_r) \cdot C_{i_{Rn}} \cdot Fi\} \cdot K \cdot T \quad (27)$$

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) (-)
- $C_{O_{Rn}}(t)$  : 屋外大気中ラドン濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)
- $Fo$  : 屋外平衡ファクタ (-)
- $C_{i_{Rn}}(t)$  : 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/(Bq·h·m<sup>-3</sup>))

である。

(2) 河川岸利用建設経路、河川岸利用居住経路

① 土壌からの直接 $\gamma$ 線による外部被ばく経路

河川岸利用建設経路、河川岸利用居住経路とも、土壌からの直接 $\gamma$ 線による外部被ばく線量は、「(1) 河川水利用経路」の「②土壌からの直接 $\gamma$ 線による外部被ばく経路」と同様に、式(19)によって求める。ただし、土壌中核種濃度  $C_i$  としては、河川岸土壌中核種濃度  $C_{r,i}$  を使用する。

② 塵埃吸入による内部被ばく経路

河川岸利用建設経路、河川岸利用居住経路とも、塵埃吸入による内部被ばく線量は、「(1) 河川水利用経路」の「③塵埃吸入による内部被ばく経路」と同様に、式(20)によって求める。ただし、土壌中核種濃度  $C_i$  としては、河川岸土壌中核種濃度  $C_{r,i}$  を使用する。

③ ラドンガス吸入による内部被ばく経路

河川岸利用建設経路、河川岸利用居住経路とも、ラドンガス吸入による内部被ばく線量は、「(1) 河川水利用経路」の「⑦ラドンガス吸入による内部被ばく経路」と同様に、式(27)によって求める。

(3) 河川岸利用農耕作業経路

① 土壌からの直接 $\gamma$ 線による外部被ばく経路

土壌からの直接 $\gamma$ 線による外部被ばく線量は、「(1) 河川水利用経路」の「②土壌からの直接 $\gamma$ 線による外部被ばく経路」と同様に、式(19)によって求める。ただし、土壌中核種濃度  $C_i$  としては、河川岸土壌中核種濃度  $C_{r,i}$  を使用する。

② 塵埃吸入による内部被ばく経路

塵埃吸入による内部被ばく線量は、「(1) 河川水利用経路」の「③塵埃吸入による内部被ばく経路」と同様に、式(20)によって求める。ただし、土壌中核種濃度  $C_i$  としては、河川岸土壌中核種濃度  $C_{r,i}$  を使用する。

③ 農作物摂取による内部被ばく経路

農作物摂取による内部被ばく線量は、「(1) 河川水利用経路」の「④農作物摂取による内部被ばく経路」と同様に、式(21)及び式(22)によって求める。ただし、土壌中核種濃度  $C_i$  としては、河川岸土壌中核種濃度  $C_{r,i}$  を使用する。また、灌漑水利用による表面汚染を考慮しないため、式(21)の最後の項はゼロとした。

④ 畜産物摂取による内部被ばく経路

畜産物摂取による内部被ばく線量は、「(1) 河川水利用経路」の「⑤畜産物摂取による内部被ばく経路」と同様に、式(24)によって求める。なお、飼料経由であるため、飼育水を経由した畜産物  $n$  中の核種  $i$  濃度  $C_{Fwm,i}(t)$  はゼロとする。また、飼料経由の畜産物中核種濃度は、式(28)によって求める。農作物  $j$  (飼料) の可食部における核種  $i$  濃度  $C_{j,i}(t)$  については、同経路の「③農作物摂取による内部被ばく経路」と同様に、灌漑水利用による表面汚染を考慮しない。畜産物の種類としては、

飼育水経由と同様に卵、牛乳、牛肉、豚肉、鶏肉を想定する。

$$C_{Fn,i}(t) = T_{n,i} \cdot M_F \cdot C_{j,i}(t) \cdot 10^3 \cdot Q_{Fn} \quad (28)$$

ここで、

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

である。

#### ⑤ 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、「(1) 河川水利用経路」の「⑦ラドンガス吸入による内部被ばく経路」と同様に、式(27)によって求める。

#### Appendix- I 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) IAEA: “Exemption of Radiation Sources and Practices from Regulatory Control”, IAEA- TECDOC -401, (1987).
- (3) OECD/NEA: “Shallow Land Disposal of Radioactive Waste, Reference Levels for The Acceptance of Long-Lived Radionuclides”, OECD, Paris, (1987).
- (4) UNSCEAR: “1988 Report ; Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation”, (1988).
- (5) UNSCEAR: “2000 Report ; Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation”, (2000).
- (6) 磯野謙治: “大気汚染物質の動態”, 東京大学出版会, (1979).
- (7) 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).
- (8) 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).
- (9) 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).
- (10) UNSCEAR: “1982 Report ; Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects”, (1982).
- (11) UNSCEAR: “1993 Report ; Sources and Effects of Ionizing Radiation”, (1993).

Appendix- II

余裕深度処分の濃度上限値評価パラメータ一覧

Table A2-1 余裕深度処分に係る評価経路

評価シナリオ	評価経路	利用形態	線量評価対象者	被ばく形態	経路No.	
地下水移行シナリオ	河川水利用経路	河川水	飲料水利用	飲料水利用者	飲料水摂取・内部	1
			灌漑水利用	農耕作業	土壌直接線・外部	2
		塵埃吸入・内部			3	
		農作物消費		農作物消費者	農作物摂取・内部	4
		飼育水利用	畜産物消費者	畜産物摂取・内部	5	
	河川産物消費	河川産物消費者	水産物摂取・内部	6		
	河川岸建設経路	河川岸	建設作業	建設作業	土壌直接線・外部	7
					塵埃吸入・内部	8
	河川岸居住経路	河川岸	居住	居住者	土壌直接線・外部	9
					塵埃吸入・内部	10
	河川岸農耕作業経路	河川岸	農耕作業	農耕作業	土壌直接線・外部	11
					塵埃吸入・内部	12
			農作物消費	農作物消費者	農作物摂取・内部	13
			畜産物消費	畜産物消費者	畜産物摂取・内部	14

Table A2-2 余裕深度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	施設形状
設定値 (単位)	200 × 200 × 5 (mL×mW×mH)
<p><b>【設定値根拠】</b></p> <p>以下の手順で設定する (20 万本、40,000m<sup>3</sup>)。(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日を踏襲、以下の表では、「第3次中間報告書」とする)</p> <p>①処分場の長さとは幅は同程度とする。</p> <p>②処分場の高さは現行の政令濃度上限値検討と同様に 5m とし、廃棄物を設置する構造体の内高さとする。</p> <p>③トンネル型施設を念頭に施設形状を決定する。</p> <p>④トンネル型施設の場合、工学的にトンネル間の離間距離をトンネル直径の2倍以上取る必要がある。仮に構造体両側に 1.5m の幅を想定してトンネル型施設を設置すれば、仮に 8 本のトンネルを設置するためには 8m × 3 × 8 本 = 192m の処分場の幅が必要となる。</p> <p>⑤以上より、20 万本 4 万 m<sup>3</sup> が寸法 200mL × 200mW × 5mH の処分場の処分されると設定する。</p>	

シナリオ	全シナリオ
パラメータ名	処分施設容量
設定値 (単位)	40,000 (m <sup>3</sup> )
<b>【設定値根拠】</b> 対象となる廃棄物総量は様々な値を取り得るので、第3次中間報告書の余裕深度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	施設浸入水量
設定値 (単位)	0.073 (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /y)
<b>【設定値根拠】</b> 施設は周辺地質環境と同等の特性であると仮定し、施設近傍の地下水流速 (ダルシー流速) と同等の 0.001m/d の実流速から、浸入水量を計算し設定。(第3次中間報告書を踏襲)	

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場容量に対する割合
設定値 (単位)	0.2 (-)
<b>【設定値根拠】</b> 放射性廃棄物総量/処分容積 (= 処分場幅×処分場長さ×廃棄物層厚さ)	

シナリオ	全シナリオ
パラメータ名	廃棄体見かけ密度 (施設見かけ密度)
設定値 (単位)	2.5 (g/cm <sup>3</sup> )
<b>【設定値根拠】</b> 政令余裕深度処分評価に準拠 (第3次中間報告書を踏襲) $50,000 \text{ ton} / 20,000 \text{ m}^3 = 2.5 \text{ g/cm}^3$	

シナリオ	全シナリオ
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> 対象廃棄物の処分施設は、支持層上面から十分な隔離距離を確保した例えば数十 m の深度に設置されているので、河川水系までの移行距離は、500m よりもずっと大きい値が想定できるが、評価においては、現行の政令濃度上限値の設定値と同じ値である 500m に設定する。(第3次中間報告書を踏襲)	

シナリオ	全シナリオ
パラメータ名	施設近傍の地下水実流速
設定値 (単位)	0.001 (m/d)
<p><b>【設定値根拠】</b></p> <p>支持層以深、例えば地下 50~100 m 程度の深さの地質における各物性値は</p> <p>①空隙率 (有効間隙率): 「地下水ハンドブック」、現行の政令濃度上限値検討及び JNC 「地層処分研究第 2 次取りまとめ」での設定を踏まえ 20% に設定。</p> <p>②透水係数: 「地下水ハンドブック」、JNC 「地層処分研究第 2 次取りまとめ」での透水係数分布を踏まえ、<math>1E-7</math> m/s に設定。</p> <p>③動水勾配: JNC 「地層処分研究第 2 次取りまとめ」、地質調査所版の井戸水データベースを参考に、十分期待できる数値として 1/100 に設定。</p> <p>これらを基に、ダルシーの法則を適用し算出。(第 3 次中間報告書を踏襲)</p>	

シナリオ	全シナリオ
パラメータ名	実流速が 0.001m/d である移行距離
設定値 (単位)	200 (m)
<p><b>【設定値根拠】</b></p> <p>実流速 (0.001m/d) が期待される領域は処分施設から限られた領域とするが、その領域は十分に地下環境が把握されている敷地内と考える。現行の政令濃度上限値の検討においては、200m を想定しており、処分施設の深度の差はあるが、対象廃棄物の処分施設も敷地境界から同程度の距離を確保されるものと考え、200m に設定する。(第 3 次中間報告書を踏襲)</p>	

シナリオ	全シナリオ
パラメータ名	施設近傍以外の地下水実流速
設定値 (単位)	0.01 (m/d)
<p><b>【設定値根拠】</b></p> <p>「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 3 次中間報告書を踏襲)</p>	

シナリオ	全シナリオ
パラメータ名	実流速が 0.01m/d である移行距離
設定値 (単位)	300 (m)
<p><b>【設定値根拠】</b></p> <p>河川までの距離を 500m とし、実流速が 0.001m/d である移行距離を 200m に設定したことから、実流速が 0.01m/d である移行距離は残りの 300m に設定する。(第 3 次中間報告書を踏襲)</p>	

シナリオ	全シナリオ
パラメータ名	天然バリア空隙率
設定値 (単位)	0.2 (-)
<p><b>【設定値根拠】</b></p> <p>「地下水ハンドブック」(1998)に記載されている岩盤の空隙率データ(括弧内は風化が進んだ場合又は固結度の低いもの、単位は%)を踏まえ 0.2 に設定する。(第3次中間報告書を踏襲)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・花崗岩 : 0.3~5 (10~25)</li> <li>・はんれい岩 : 0.2~1 (3~18)</li> <li>・石灰岩 : 0.5~1 (10~27)</li> <li>・頁岩 : 0.4~3 (3~10)</li> <li>・安山岩 : 1~7</li> <li>・玄武岩 : 0.1~5 (5~7)</li> <li>・タフ : 20~25 (25~50)</li> <li>・砂岩 : 0.6~7 (20~42)</li> </ul>	

シナリオ	全シナリオ
パラメータ名	天然バリア真密度
設定値 (単位)	2.6 (g/cm <sup>3</sup> )
<p><b>【設定値根拠】</b></p> <p>「土質工学ハンドブック」(土質工学科編、1982)に記載されている砂及び鉱物のデータ(単位は g/cm<sup>3</sup>)をもとに設定する。(第3次中間報告書を踏襲)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・豊浦標準砂 : 2.64</li> <li>・浦安標準砂 : 2.65</li> <li>・相模砂 : 2.76</li> <li>・日川砂 : 2.73</li> <li>・梅田沖積砂 : 2.65</li> <li>・風化珪砂 : 2.60</li> <li>・石炭 : 2.60~2.70</li> <li>・長石 : 2.55~2.75</li> <li>・クロライト : 2.60~2.96</li> <li>・雲母 : 2.70~3.10</li> <li>・角閃石 : 3.1</li> <li>・磁鉄鋼 : 5.2</li> </ul>	

シナリオ	全シナリオ
パラメータ名	流水方向の標準拡散係数
設定値 (単位)	1 (m)
<p><b>【設定値根拠】</b></p> <p>現行の政令濃度上限値検討と同様に、NCRP Report No.76 (1984)に記載されている分散長(標準拡散係数)の範囲である 0.034~134.1m の概ね平均的な値として 1m に設定する。(第3次中間報告書を踏襲)</p>	

シナリオ	全シナリオ
パラメータ名	移行開始年
設定値 (単位)	300 (y)
<p><b>【設定値根拠】</b></p> <p>現行政令濃度上限値検討と同様に、評価においては管理期間終了後に核種の移行が開始するものとして 300 年に設定する。(第3次中間報告書を踏襲)</p>	

シナリオ	全シナリオ
パラメータ名	河川水流量
設定値 (単位)	1.0E+08 (m <sup>3</sup> /y)
<p><b>【設定値根拠】</b>  「流量年表」(建設省河川局編、1978年)では、平均流量が1E+8 m<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1E+8 m<sup>3</sup>/yに設定する。(第3次中間報告書を踏襲)</p>	

シナリオ	河川水利用シナリオ共通
パラメータ名	河川への地下水流入地点から着目地点までの移動時間
設定値 (単位)	0 (d)
<p><b>【設定値根拠】</b>  保守的に0日に設定する。(第3次中間報告書を踏襲)</p>	

シナリオ	河川水利用シナリオ～飲料水利用～飲料水摂取
パラメータ名	河川水飲用量
設定値 (単位)	0.6 (m <sup>3</sup> /y)
<p><b>【設定値根拠】</b>  IAEA SRSNo.19よりFar Eastにおける値を設定。</p>	

シナリオ	河川水利用シナリオ～灌漑水利用～農作物摂取 河川岸利用シナリオ～農作物消費～農作物摂取
パラメータ名	農作物の年間摂取量
設定値 (単位)	米：13 (kg/y) 葉菜：3 (kg/y) 非葉菜：9 (kg/y) 果実：4 (kg/y)
<p><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を考慮して0.1を乗じて設定。  ・米：1人1日当たりの米類の摂取量350.4gに0.1を乗じて設定(350.4(g)×365(日)×0.1=12.8(kg/y)を四捨五入してまるめた)  ・葉菜：1人1日当たりの葉菜類(ほうれん草20.5g、キャベツ21.3g、白菜19.1g、葉類つげもの6.4g)の摂取量67.3gに0.1を乗じて設定(67.3(g)×365(日)×0.1=2.5(kg/y)を四捨五入してまるめた)  ・非葉菜：1人1日当たりのいも類59.7g、緑黄色野菜94.2g及びその他の野菜161.0gの合計314.9gから葉菜の摂取量(67.3g)を除いた247.6gを非葉菜の摂取量とし0.1を乗じて設定(247.6(g)×365(日)×0.1=9.0(kg/y)を四捨五入してまるめた)  ・果実：1人1日当たりの果実の摂取量115.1gに0.1を乗じて設定(115.1(g)×365(日)×0.1=4.2(kg/y)を四捨五入してまるめた)</p>	

シナリオ	河川水利用シナリオ～灌漑水利用～農作物摂取
パラメータ名	灌漑水量（田）
設定値（単位）	田：2.4 (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /y)
<p><b>【設定値根拠】</b>                  田について、「日本の農業用水」（農業水利研究会編、(株)地球社、1980年）に示された水田に対する平均単位用水量 24 mm/d と年間灌漑日数 100 日程度に基づいて選定した。（第3次中間報告書を踏襲）</p>	

シナリオ	河川水利用シナリオ～灌漑水利用～農作物摂取・農耕作業外部及び吸入
パラメータ名	灌漑水量（畑）
設定値（単位）	畑：1.2 (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /y)
<p><b>【設定値根拠】</b>                  畑について、「日本の農業用水」（農業水利研究会編、(株)地球社、1980年）に示された畑地に対する平均単位用水量 4 mm/d と年間灌漑日数 300 日程度に基づいて選定した。（第3次中間報告書を踏襲）</p>	

シナリオ	河川水利用シナリオ～灌漑水利用～農作物摂取
パラメータ名	土壌水分飽和度（田）
設定値（単位）	田：1 (-)
<p><b>【設定値根拠】</b>                  田の土壌水分飽和度は、水田を想定して 1 に設定する。（第3次中間報告書を踏襲）</p>	

シナリオ	河川水利用シナリオ～灌漑水利用～農作物摂取・農耕作業外部及び吸入
パラメータ名	土壌水分飽和度（畑）
設定値（単位）	畑：0.2 (-)
<p><b>【設定値根拠】</b>                  畑の土壌水分飽和度は、原研東海研敷地内（砂層）における測定結果より設定する。（第3次中間報告書を踏襲）</p>	

シナリオ	河川水利用シナリオ～灌漑水利用～農作物摂取・農耕作業外部及び吸入
パラメータ名	灌漑水浸透水量
設定値（単位）	0.4 (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /y)
<p><b>【設定値根拠】</b>                  「地下水ハンドブック」（建設産業調査会、1998）に示された我が国の平均年地下水流出量約 400 mm に設定する。（第3次中間報告書を踏襲）</p>	

シナリオ	河川水利用シナリオ～灌漑水利用～農作物摂取・農耕作業外部及び吸入
パラメータ名	灌漑土壌真密度
設定値（単位）	2.6 (g/cm <sup>3</sup> )
<p><b>【設定値根拠】</b>  「土質工学ハンドブック」（土木工学科編、1982）に示された砂の土粒子の真密度を基に選定した。（第3次中間報告書を踏襲）</p>	

シナリオ	河川水利用シナリオ～灌漑水利用～農作物摂取・農耕作業外部及び吸入
パラメータ名	実効土壌深さ
設定値（単位）	15 (cm)
<p><b>【設定値根拠】</b>  U.S.NRC ; Regulatory Guide 1.109, (1977) に示されている 15cm に設定する。（第3次中間報告書を踏襲）</p>	

シナリオ	河川水利用シナリオ～灌漑水利用～農作物摂取・農耕作業外部及び吸入
パラメータ名	放射性核種の土壌残留係数
設定値（単位）	1 (-)
<p><b>【設定値根拠】</b>  保守的に、全ての灌漑水中の放射性核種が土壌に残留するものとし、1 に設定する。（第3次中間報告書を踏襲）</p>	

シナリオ	河川水利用シナリオ～灌漑水利用～農作物摂取・農耕作業外部及び吸入
パラメータ名	灌漑土壌空隙率
設定値（単位）	0.3 (-)
<p><b>【設定値根拠】</b>  「水理公式集」（土木学会、1971 年）に示された土壌の有効空隙率の値のうち、最大値である砂層の値として 0.3 に設定する。（第3次中間報告書を踏襲）</p>	

シナリオ	河川水利用シナリオ～灌漑水利用～農作物摂取
パラメータ名	農作物（葉菜）の栽培密度
設定値（単位）	2.3 (kg/m <sup>2</sup> )
<p><b>【設定値根拠】</b>  「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針について」に示された値に設定する。（第3次中間報告書を踏襲）</p>	

シナリオ	河川水利用シナリオ～灌漑水利用～農作物摂取
パラメータ名	核種の農作物（葉菜）表面への沈着割合
設定値（単位）	1（-）
<p><b>【設定値根拠】</b>                  保守的に全ての放射性核種が、農作物表面へ沈着するとして1に設定する。（第3次中間報告書を踏襲）</p>	

シナリオ	河川水利用シナリオ～灌漑水利用～農作物摂取
パラメータ名	灌漑水年間生育期間
設定値（単位）	60（d/y）
<p><b>【設定値根拠】</b>                  「発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般公衆の線量当量評価について」に示された葉菜に関する栽培期間の値（60 d/y）に設定する。（第3次中間報告書を踏襲）</p>	

シナリオ	河川水利用シナリオ～灌漑水利用～農作物摂取
パラメータ名	weathering 効果による植物表面沈着核種の除去係数
設定値（単位）	18.07（1/y）
<p><b>【設定値根拠】</b>                  「発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般公衆の線量当量評価について」に基づき、weathering half-life を14日として計算した。（第3次中間報告書を踏襲）</p>	

シナリオ	河川水利用シナリオ～灌漑水利用～農耕作業吸入 河川岸利用シナリオ～農耕作業～農耕作業吸入
パラメータ名	農耕作業時のダスト濃度
設定値（単位）	5.0E-04（g/m <sup>3</sup> ）
<p><b>【設定値根拠】</b>                  建設作業者と同等と考え、IAEA-TECDOC-401で提案されている、米国環境保護庁や英国のHamilton等が提案した範囲1E-04～1E-03g/m<sup>3</sup>の中央値に設定する。（第3次中間報告書を踏襲）</p>	

シナリオ	河川水利用シナリオ～灌漑水利用～農耕作業吸入 河川岸利用シナリオ～農耕作業～農耕作業吸入
パラメータ名	農耕作業者の呼吸量
設定値（単位）	1.2（m <sup>3</sup> /h）
<p><b>【設定値根拠】</b>                  ICRP Publ.68に示されている標準作業（軽作業）として設定する。（着座時の呼吸率0.54m<sup>3</sup>/h×2.5時間＋軽運動時の呼吸率1.5m<sup>3</sup>/h×5.5時間）÷（2.5時間＋5.5時間）＝1.2m<sup>3</sup>/h</p>	

シナリオ	河川水利用シナリオ～灌漑水利用～農耕作業外部 河川岸利用シナリオ～農耕作業～農耕作業外部
パラメータ名	農耕作業時の遮蔽係数
設定値（単位）	1 (-)
<b>【設定値根拠】</b> 保守的に遮蔽を考慮しない。（第3次中間報告書を踏襲）	

シナリオ	河川水利用シナリオ～灌漑水利用～農耕作業外部及び吸入 河川岸利用シナリオ～農耕作業～農耕作業外部及び吸入
パラメータ名	農耕作業時の年間作業時間
設定値（単位）	500 (h/y)
<b>【設定値根拠】</b> 「日本の統計 1997年版」（総務庁統計局編、1998年）に記載されている1戸あたりの平均経営耕地面積と水稻及び小麦 10aあたりの労働時間をもとに設定する。（第3次中間報告書を踏襲）	

シナリオ	河川水利用シナリオ～飼育水利用～畜産物摂取 河川岸利用シナリオ～畜産物消費～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)
<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。 「平成15年国民健康・栄養調査報告」に示された値に基づき設定。 ・牛乳：1人1日当たりの牛乳摂取量 96.1 g（牛乳の密度を 1g/mL）に 0.1 を乗じて設定（96.1 (g) ×365 (日) ×0.1=3.51 (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=0.58 (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=0.98 (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=0.74 (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=1.33kg/y を四捨五入してまるめた）	

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	家畜の飼育水摂取量
設定値（単位）	乳牛：60 (L/d) 肉牛：40 (L/d) 豚：10 (L/d) 鶏：0.3 (L/d)
<p><b>【設定値根拠】</b> 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。</p>	

シナリオ	河川水利用シナリオ～河川産物消費～水産物摂取
パラメータ名	河川産物の年間摂取量
設定値（単位）	魚類：1.6 (kg/y)
<p><b>【設定値根拠】</b> 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。<math>(86.7 \text{ (g)} \times 0.5 \times 365 \text{ (日)} \times 0.1 = 1.582 \text{ kg/y})</math></p>	

シナリオ	河川岸利用シナリオ共通
パラメータ名	汚染土壌混合割合
設定値（単位）	1 (-)
<p><b>【設定値根拠】</b> 保守的に 1 に設定する。（第 3 次中間報告書を踏襲）</p>	

シナリオ	河川岸利用シナリオ～建設作業～建設作業外部及び吸入
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)
<p><b>【設定値根拠】</b> IAEA-TECDOC-401 で提案されている値に設定する。（第 3 次中間報告書を踏襲）</p>	

シナリオ	河川岸利用シナリオ～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 (-)
<p><b>【設定値根拠】</b> IAEA-TECDOC-401 では、居住建設作業時間の半分を戸外過ごし、半分を戸内で過ごすものとしている。このうち、戸内作業については、20cm 厚さのコンクリート土台による遮蔽を考慮することができる。この土台によって、外部被ばくは遮断されていない線源の強さの 1%未満になることから、戸内での被ばくを無視できるとしている。これにより、住居建設作業全体の遮蔽係数を 0.5 としている。（第 3 次中間報告書を踏襲）</p>	

シナリオ	河川岸利用シナリオ～建設作業～建設作業吸入
パラメータ名	建設作業時のダスト濃度
設定値（単位）	5.0E-04 (g/m <sup>3</sup> )
<p><b>【設定値根拠】</b>                      IAEA-TECDOC-401 で提案されている、米国環境保護庁や英国の Hamilton 等が提案した範囲 1E-04～1E-03g/m<sup>3</sup> の中央値である 5E-04g/m<sup>3</sup> に設定する。(第 3 次中間報告書を踏襲)</p>	

シナリオ	河川岸利用シナリオ～建設作業～建設作業吸入
パラメータ名	建設作業者の呼吸量
設定値（単位）	1.2 (m <sup>3</sup> /h)
<p><b>【設定値根拠】</b>                      ICRP Publ.68 に示されている標準作業者(軽作業者)として設定する。(着座時の呼吸率 0.54m<sup>3</sup>/h×2.5 時間+軽運動時の呼吸率 1.5m<sup>3</sup>/h×5.5 時間)÷(2.5 時間+5.5 時間)=1.2m<sup>3</sup>/h</p>	

シナリオ	河川岸利用シナリオ～居住～居住外部及び吸入
パラメータ名	住居時間
設定値（単位）	8760 (h/y)
<p><b>【設定値根拠】</b>                      住居に 1 年間で居住すると仮定して、8760h/y に設定する。(第 3 次中間報告書を踏襲)</p>	

シナリオ	河川岸利用シナリオ～居住～居住外部
パラメータ名	居住時の遮蔽係数
設定値（単位）	0.2 (-)
<p><b>【設定値根拠】</b>                      IAEA-TECDOC-401 を参考に、居住者は居住時間の 20%を戸外で過ごすとは仮定し、その間は遮蔽を考慮しないが、屋内にいる間は建物により完全に遮蔽されると仮定して、0.2 に設定する。(第 3 次中間報告書を踏襲)</p>	

シナリオ	河川岸利用シナリオ～居住～居住吸入
パラメータ名	居住時のダスト濃度
設定値（単位）	6.0E-06 (g/m <sup>3</sup> )
<p><b>【設定値根拠】</b>                      IAEA-TECDOC-401 で提案されている居住時のダスト濃度に設定する。(第 3 次中間報告書を踏襲)</p>	

シナリオ	河川岸利用シナリオ～居住～居住吸入
パラメータ名	居住者の呼吸量
設定値（単位）	0.93 (m <sup>3</sup> /h)
<p><b>【設定値根拠】</b>                  ICRP Pub.71 で示される標準人の 1 日の数値 22.2 (m<sup>3</sup>/d) を基に設定。22.2 (m<sup>3</sup>/d) ÷24 (h/d) =0.93 (m<sup>3</sup>/h)</p>	

シナリオ	河川岸利用シナリオ～畜産物消費～畜産物摂取
パラメータ名	家畜の飼料摂取量
設定値（単位）	乳牛：16 (kg-dry/d) 肉牛：12 (kg-dry/d) 豚：2.4 (kg-dry/d) 鶏：0.07 (kg-dry/d)
<p><b>【設定値根拠】</b>                  乳牛、肉牛については、IAEA SRS No.19 に記載されている値を設定。豚、鶏については、IAEA TRS No.364 に記載されている値を設定。</p>	

Table 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
土壌見かけ密度		kg/m <sup>2</sup>	1820	灌漑土壌真密度(2600 kg/m <sup>3</sup> )及び灌漑土壌空隙率(0.3)から算出
土壌拡散係数		m <sup>2</sup> /s	2.0E-06	UNSCEAR1993 (実効拡散係数: 5E-7 m <sup>2</sup> /s、空隙率: 0.25より算出)
評価高さ		m	3	クリアンス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	160	「日本統計年鑑」(平成16年)より、我が国における総農家戸数は約225万戸、耕地面積(田畑)は約5E+10 m <sup>2</sup> であり、これらより1戸あたりの耕地面積は約2.12E+4 m <sup>2</sup> と試算される。これらを基に、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の計算法により、耕地面積と同面積となる円の直径を発生源長さとして設定 $2 \times (\text{処分場面積} / 3.14)^{0.5} = 2 \times (2.12E+4 / 3.14)^{0.5} \approx 160$
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	建設作業員	h/y	500	IAEA-TECDOC-401で提案されている値に設定する(建設作業員による年間作業時間と同一に設定)。
	居住者	h/y	8760 (屋内: 7008) (屋外: 1752)	住居に1年間中居住すると仮定して、8760 h/yに設定(屋内及び屋外における各居住時間は、居住時の遮蔽係数0.2より設定)
	農耕作業者	h/y	500	「日本の統計 1997年版」(総務庁統計局編、1998年)に記載されている1戸あたりの平均経営耕地面積と水稲及び小麦10aあたりの労働時間を基に設定
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、河川水利用シナリオ及び河川岸利用シナリオ(河川岸建設・河川岸居住・河川岸農耕)のラドンガス吸入経路において使用している値

Table A2-4 内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				放射平衡を仮定した子孫核種(*1)
		ICRP Pub.68 (Sv/Bq)		ICRP Pub.72 (Sv/Bq)		
		吸入(*2)	吸入(*3)	経口(*4)		
4N系列	Cm-244	1.8E+01	1.7E-05	2.7E-05	1.2E-07	-
	Pu-240	6.6E+03	3.2E-05	5.0E-05	2.5E-07	-
	U-236	2.3E+07	6.3E-06	3.2E-06	4.7E-08	-
	U-232	6.9E+01	2.6E-05	7.8E-06	3.3E-07	-
	Th-232	1.4E+10	2.9E-05	2.5E-05	2.3E-07	-
	Ra-228	5.8E+00	1.7E-06	2.6E-06	6.9E-07	Ac-228,Fr-224
	Th-228	1.9E+00	3.4E-05	4.4E-05	1.4E-07	Ra-224,Rn-220,Po-216,Pb-212,Bi-212,Po-212,Tl-208
4N+1系列	Cm-245	8.5E+03	2.7E-05	4.2E-05	2.1E-07	-
	Pu-241	1.4E+01	5.8E-07	9.0E-07	4.8E-09	U-237
	Am-241	4.3E+02	2.7E-05	4.2E-05	2.0E-07	-
	Np-237	2.1E+06	1.5E-05	2.3E-05	1.1E-07	-
	Pa-233	7.4E-02	3.2E-09	3.3E-09	8.7E-10	-
	U-233	1.6E+05	6.9E-06	3.6E-06	5.1E-08	-
	Th-229	7.3E+03	6.9E-05	7.1E-05	4.9E-07	-
	Ra-225	4.1E-02	4.8E-06	6.3E-06	9.9E-08	-
	Ac-225	2.7E-02	6.5E-06	8.5E-06	2.4E-08	Fr-221,At-217,Rn-217,Bi-213,Po-213,Tl-209,Pb-209
4N+2系列	Cm-246	4.7E+03	2.7E-05	4.2E-05	2.1E-07	-
	Am-242m	1.4E+02	2.4E-05	3.7E-05	1.9E-07	Am-242,Np-238
	Cm-242	4.5E-01	3.7E-06	5.2E-06	1.2E-08	-
	Pu-242	3.7E+05	3.1E-05	4.8E-05	2.4E-07	-
	Pu-238	8.8E+01	3.0E-05	4.6E-05	2.3E-07	-
	U-238	4.5E+09	5.7E-06	2.9E-06	4.5E-08	-
	Th-234	6.6E-02	5.8E-09	7.7E-09	3.4E-09	Pa-234m,Pa-234
	U-234	2.5E+05	6.8E-06	3.5E-06	4.9E-08	-
	Th-230	7.5E+04	2.8E-05	1.4E-05	2.1E-07	-
	Ra-226	1.6E+03	1.2E-05	3.5E-06	2.8E-07	Rn-222,Po-218,At-218,Rn-218,Pb-214,Bi-214,Po-214,Tl-210
	Pb-210	2.2E+01	1.2E-06	1.2E-06	6.9E-07	Bi-210
	Po-210	3.8E-01	2.2E-06	3.3E-06	1.2E-06	Hg-206,Tl-206
4N+3系列	Cm-243	2.9E+01	2.0E-05	3.1E-05	1.5E-07	-
	Am-243	7.4E+03	2.7E-05	4.1E-05	2.0E-07	Np-239
	Pu-239	2.4E+04	3.2E-05	5.0E-05	2.5E-07	-
	U-235	7.0E+08	6.1E-06	3.1E-06	4.7E-08	Th-231
	Pa-231	3.3E+04	8.9E-05	1.4E-04	7.1E-07	-
	Ac-227	2.2E+01	6.3E-04	5.5E-04	1.1E-06	Fr-223,At-219
	Th-227	5.1E-02	7.6E-06	1.0E-05	8.8E-09	-
	Ra-223	3.1E-02	5.7E-06	7.4E-06	1.0E-07	Rn-219,Po-215,Pb-211,Bi-211,Po-211,Tl-207
非系列	H-3	1.2E+01	4.1E-11	4.5E-11	4.2E-11	-
	Be-10	1.6E+06	1.9E-08	3.5E-08	1.1E-09	-
	C-14	5.7E+03	5.8E-10	2.0E-09	5.8E-10	-
	Cl-36	3.0E+05	5.1E-09	7.3E-09	9.3E-10	-
	Ca-41	1.0E+05	1.9E-10	9.5E-11	1.9E-10	-
	Mn-54	8.6E-01	1.2E-09	1.5E-09	7.1E-10	-
	Fe-55	2.7E+00	9.2E-10	3.8E-10	3.3E-10	-
	Fe-59	1.2E-01	3.2E-09	3.7E-09	1.8E-09	-
	Co-58	1.9E-01	1.7E-09	1.6E-09	7.4E-10	-
	Co-60	5.3E+00	1.7E-08	1.0E-08	3.4E-09	-
	Ni-59	7.6E+04	2.2E-10	1.3E-10	6.3E-11	-
	Ni-63	1.0E+02	5.2E-10	4.8E-10	1.5E-10	-
	Se-79	3.0E+05	3.1E-09	1.1E-09	2.9E-09	-
	Sr-90	2.9E+01	7.9E-08	3.8E-08	3.1E-08	Y-90
	Zr-93	1.5E+06	2.9E-08	1.0E-08	1.1E-09	-
	Nb-93m	1.4E+01	8.6E-10	5.1E-10	1.2E-10	-
	Nb-94	2.0E+04	2.5E-08	1.1E-08	1.7E-09	-
	Mo-93	4.0E+03	2.3E-09	1.1E-09	3.2E-09	Nb-93m
	Tc-99	2.1E+05	3.2E-09	4.0E-09	6.4E-10	-
	Ru-106	1.0E+00	3.5E-08	2.8E-08	7.0E-09	Rh-106
	Pd-107	6.5E+06	2.9E-10	8.5E-11	3.7E-11	-
	Ag-108m	4.2E+02	1.9E-08	7.4E-09	2.3E-09	Ag-108
	Sn-121m	5.5E+01	3.5E-09	4.7E-09	5.6E-10	Sn-121
	Sn-126	1.0E+05	1.8E-08	2.8E-08	5.1E-09	Sb-126m,Sb-126
	Sb-125	2.8E+00	4.0E-09	5.8E-09	1.3E-09	Te-125m
	Te-125m	1.6E-01	2.9E-09	3.4E-09	8.7E-10	-
	I-129	1.6E+07	5.1E-08	3.6E-08	1.1E-07	-
	Cs-134	2.1E+00	9.6E-09	6.6E-09	1.9E-08	-
	Cs-135	2.3E+06	9.9E-10	6.9E-10	2.0E-09	-
	Cs-137	3.0E+01	6.7E-09	4.6E-09	1.3E-08	Ba-137m
	Ce-144	7.8E-01	2.9E-08	3.6E-08	5.2E-09	Pr-144m,Pr-144
	Sm-151	9.0E+01	2.6E-09	4.0E-09	9.8E-11	-
	Eu-152	1.4E+01	2.7E-08	4.2E-08	1.4E-09	-
	Eu-154	8.6E+00	3.5E-08	5.3E-08	2.0E-09	-
Eu-155	4.8E+00	4.7E-09	6.9E-09	3.2E-10	-	
Ho-166m	1.2E+03	7.8E-08	1.2E-07	2.0E-09	-	

\*1 : 本表の各核種に対する内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.68 吸入は、建設作業員、農耕作業員の塵埃吸入経路の評価に用いる。

\*3 : ICRP Pub.72 吸入は、居住者の塵埃吸入経路の評価に用いる。

\*4 : ICRP Pub.72 経口は、全ての経口摂取経路の評価に用いる。

Table A2-5 外部被ばく線量換算係数

核種		外部被ばく線量換算係数	
		JAEA-Data/Code 2008-003 ( $\mu\text{Sv/h per Bq/g-soil}$ )(*2)	放射平衡を仮定した子孫核種(*1)
		建設作業員、居住者、農耕作業員	
4N系列	Cm-244	9.9E-06	-
	Pu-240	7.1E-06	-
	U-236	1.3E-05	-
	U-232	6.3E-05	-
	Th-232	3.8E-05	-
	Ra-228	2.7E-01	Ac-228,Fr-224
	Th-228	4.5E-01	Ra-224,Rn-220,Po-216,Pb-212,Bi-212,Po-212,Tl-208
4N+1系列	Cm-245	2.5E-02	-
	Pu-241	1.4E-06	U-237
	Am-241	3.5E-03	-
	Np-237	5.8E-03	-
	Pa-233	6.1E-02	-
	U-233	8.5E-05	-
	Th-229	2.4E-02	-
	Ra-225	7.3E-04	-
	Ac-225	6.8E-02	Fr-221,At-217,Rn-217,Bi-213,Po-213,Tl-209,Pb-209
4N+2系列	Cm-246	1.1E-03	-
	Am-242m	4.6E-03	Am-242,Np-238
	Cm-242	7.1E-06	-
	Pu-242	3.2E-05	-
	Pu-238	6.6E-06	-
	U-238	2.7E-04	-
	Th-234	7.2E-03	Pa-234m,Pa-234
	U-234	2.7E-05	-
	Th-230	9.0E-05	-
	Ra-226	5.0E-01	Rn-222,Po-218,At-218,Rn-218,Pb-214,Bi-214,Po-214,Tl-210
	Pb-210	1.8E-04	Bi-210
Po-210	2.5E-06	Hg-206,Tl-206	
4N+3系列	Cm-243	3.8E-02	-
	Am-243	6.2E-02	Np-239
	Pu-239	1.5E-05	-
	U-235	5.1E-02	Th-231
	Pa-231	1.1E-02	-
	Ac-227	2.1E-04	Fr-223,At-219
	Th-227	3.1E-02	-
	Ra-223	8.7E-02	Rn-219,Po-215,Pb-211,Bi-211,Po-211,Tl-207
非系列	H-3	0.0E+00	-
	Be-10	0.0E+00	-
	C-14	0.0E+00	-
	Cl-36	4.6E-05	-
	Ca-41	0.0E+00	-
	Mn-54	2.5E-01	-
	Fe-55	5.0E-11	-
	Fe-59	3.5E-01	-
	Co-58	2.9E-01	-
	Co-60	7.3E-01	-
	Ni-59	4.9E-06	-
	Ni-63	0.0E+00	-
	Se-79	0.0E+00	-
	Sr-90	2.2E-09	Y-90
	Zr-93	0.0E+00	-
	Nb-93m	3.3E-06	-
	Nb-94	4.7E-01	-
	Mo-93	2.2E-05	Nb-93m
	Tc-99	1.5E-07	-
	Ru-106	6.1E-02	Rh-106
	Pd-107	0.0E+00	-
	Ag-108m	4.9E-01	Ag-108
	Sn-121m	1.0E-04	Sn-121
	Sn-126	6.0E-01	Sb-126,Sb-126m
	Sb-125	1.3E-01	Te-125m
	Te-125m	8.0E-04	-
	I-129	7.2E-04	-
	Cs-134	4.7E-01	-
	Cs-135	0.0E+00	-
	Cs-137	1.7E-01	Ba-137m
	Ce-144	1.4E-02	Pr-144m, Pr-144
Sm-151	3.8E-08	-	
Eu-152	3.3E-01	-	
Eu-154	3.6E-01	-	
Eu-155	1.4E-02	-	
Ho-166m	5.2E-01	-	

\*1：本表の各核種に対する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：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。

Table A2-6 処分場の放出係数、帯水層土壌の分配係数、農耕土壌の分配係数

元素	処分場の放出係数、帯水層土壌の分配係数、農耕土壌の分配係数					
	放出係数(-)		帯水層土壌の分配係数 (ml/g)		農耕土壌の分配係数 (ml/g)	
	設定値	設定値根拠	設定値	設定値根拠	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	0.0E+00 (*1)	IAEA-TECDOC-401
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。	3.0E+03 (*1)	IAEA TRS No.364 (有機土)
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	2.0E+00 (*1)	IAEA-TECDOC-401
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。	2.7E+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	1.1E+02 (*1)	IAEA TRS No.364 (有機土)
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	4.9E+02	IAEA TRS No.364 (有機土)
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	4.9E+03	IAEA TRS No.364 (有機土)
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	9.9E+02 (*1)	IAEA TRS No.364 (有機土)
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。	1.1E+03 (*1)	IAEA TRS No.364 (有機土)
Se	3.0E-02 (*1)	同族元素のTe (IAEA-TECDOC-401)と同じとした。	1.0E+02 (*1)	IAEA TRS No.364(砂)をまるめた。	1.8E+03 (*1)	IAEA TRS No.364 (有機土)
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	1.5E+02 (*1)	IAEA TRS No.364 (有機土)
Zr	3.0E-04 (*1)	NRPB-R161	1.0E+02 (*1)	加藤他、原子力学会誌Vol.28 No.4	7.3E+03 (*1)	IAEA TRS No.364 (有機土)
Nb	3.0E-02 (*1)	Coと同じとした。	1.0E+02 (*1)	Zrと同じとした。	2.0E+03 (*1)	IAEA TRS No.364 (有機土)
Mo	3.0E-02 (*1)	Mnと同じとした。	1.0E+02 (*1)	Mnと同じとした。	2.7E+01 (*1)	IAEA TRS No.364 (有機土)
Tc	1.0E-01 (*1)	NRPB-R161	1.0E+01 (*1)	加藤他、原子力学会誌Vol.28 No.4	1.5E+00 (*1)	IAEA TRS No.364 (有機土)
Ru	3.0E-02 (*1)	IAEA-TECDOC-401	1.0E+02 (*1)	同族元素のCoと同じとした。	6.6E+04	IAEA TRS No.364 (有機土)
Pd	3.0E-04	NRPB-R161	1.0E+02	同族元素のCoと同じとした。	6.7E+02	IAEA TRS No.364 (有機土)
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。	1.5E+04 (*1)	IAEA TRS No.364 (有機土)
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。	1.6E+03 (*1)	IAEA TRS No.364 (有機土)
Sb	3.0E-04 (*1)	NRPB-R161	1.0E+01 (*1)	同族元素のPと同じとした。	5.4E+02	IAEA TRS No.364 (有機土)
Te	3.0E-04 (*1)	NRPB-R161	1.0E+01 (*1)	同族元素のSと同じとした。	3.0E+02	ORNL-5786
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	2.7E+01 (*1)	IAEA TRS No.364 (有機土)
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	2.7E+02 (*1)	IAEA TRS No.364 (有機土)
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	3.0E+03	IAEA TRS No.364 (有機土)
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。	3.0E+03 (*1)	IAEA TRS No.364 (有機土)
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。	6.5E+02	ORNL-5786
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。	3.0E+03 (*1)	IAEA TRS No.364 (有機土)
Pb	3.0E-04	NRPB-R161	1.0E+02	同族元素のSnと同じとした。	2.2E+04	IAEA TRS No.364 (有機土)
Po	3.0E-04	NRPB-R161	1.0E+01	同族元素のS (加藤他)と同じとした。	6.6E+03	IAEA TRS No.364 (有機土)
Ra	3.0E-04	NRPB-R161	5.0E+01	同族元素のSrと同じとした。	2.4E+03	IAEA TRS No.364 (有機土)
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。	5.4E+03	IAEA TRS No.364 (有機土)
Th	3.0E-04	NRPB-R161	1.0E+03	加藤他、原子力学会誌Vol.28 No.4	8.9E+04	IAEA TRS No.364 (有機土)
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。	6.6E+03	IAEA TRS No.364 (有機土)
U	3.0E-04 (*1)	NRPB-R161	1.0E+02 (*1)	加藤他、原子力学会誌Vol.28 No.4	4.0E+02 (*1)	IAEA TRS No.364 (有機土)
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	1.2E+03 (*1)	IAEA TRS No.364 (有機土)
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	1.8E+03 (*1)	IAEA TRS No.364 (有機土)
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	1.1E+05 (*1)	IAEA TRS No.364 (有機土)
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。	1.2E+04 (*1)	IAEA TRS No.364 (有機土)
選定手順 (根拠)	・以下に示す文献に基づき設定した。 ① IAEA-TECDOC-401 ② NRPB-R161 ・①及び②に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。 ① 加藤他、原子力学会誌Vol.28 No.4 ・①に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。 ① IAEA TRS No.364 ② IAEA-TECDOC-401 ③ ORNL-5786 ・Clについては、同族元素のIと同じ値に設定した。	

\*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1: 放出係数及び帯水層土壌の分配係数は、全シナリオにおいて使用している値

備考2: 農耕土壌の分配係数は、河川水利用経路の灌漑水利用及び河川岸利用に関する経路 (河川岸建設、河川岸居住、河川岸農耕) の評価で使用している値

Table A2-7 土壌から農作物（米及び葉菜、非葉菜、果実並びに飼料）への移行係数

元素	土壌から農作物への移行係数					
	米 ((Bq/g-wet)/(Bq/g-dry))		葉菜、非葉菜、果実 ((Bq/g-wet)/(Bq/g-dry))		飼料(Bq/g-dry)/(Bq/g-dry))	
	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	5.0E+00	IAEA-TECDOC-1380	5.0E+00	IAEA-TECDOC-1380	5.0E+00	IAEA-TECDOC-401
Be	2.0E-03	IAEA-TECDOC-1380	2.0E-03 (*2)	IAEA-TECDOC-1380	2.0E-02	NCRP-129
C	1.0E-01	IAEA-TECDOC-1380	1.0E-01	IAEA-TECDOC-1380	2.8E+00	農作物wetの5倍
Cl	5.0E+00	NUREG/CR-3585	5.0E+00	NUREG/CR-3585	7.0E+01	ORNL-5786
Ca	5.0E-01	IAEA-TECDOC-1380	5.0E-01	IAEA-TECDOC-1380	3.5E+00	ORNL-5786
Mn	5.0E-01	IAEA-TECDOC-1380	5.0E-01	IAEA-TECDOC-1380	9.8E+00	IAEA-TRS-No.364(アブラナ科)
Fe	4.0E-04	IAEA-TECDOC-1380	3.0E-04 (*1)	IAEA-TECDOC-1380	4.0E-03	IAEA-TRS-No.364
Co	3.0E-02	IAEA-TECDOC-1380	3.0E-02	IAEA-TECDOC-1380	1.1E+00	IAEA-TRS-No.364(アブラナ科)
Ni	5.0E-02	IAEA-TECDOC-1380	3.0E-02	IAEA-TECDOC-1380	5.1E-01	IAEA-TRS-No.364(アブラナ科)
Se	1.0E-01	IAEA-TECDOC-1000	1.0E-01	IAEA-TECDOC-1000	1.0E+00	IAEA-TECDOC-1000
Sr	8.0E-02	IAEA-TECDOC-1380	3.0E+00 (*2)	IAEA-TECDOC-1380	1.7E+00	IAEA-TRS-No.364(牧草)
Zr	5.0E-03	IAEA-TECDOC-1380	5.0E-03	IAEA-TECDOC-1380	2.0E-02	IAEA-SS-No.57
Nb	1.0E-02	IAEA-TECDOC-1380	1.0E-02	IAEA-TECDOC-1380	5.0E-02	IAEA-TRS-No.364 (油菜)
Mo	2.0E-01	IAEA-TECDOC-1000	2.0E-01	IAEA-TECDOC-1000	1.0E+00	IAEA-TECDOC-1000
Tc	1.0E+01	IAEA-TECDOC-1380	1.0E+01	IAEA-TECDOC-1380	7.6E+01	IAEA-TRS-No.364(牧草)
Ru	4.0E-02	IAEA-TECDOC-1380	1.0E-02 (*1)	IAEA-TECDOC-1380	9.0E-02	IAEA-SS-No.57
Pd	1.5E-01	ORNL-5786	1.5E-01	ORNL-5786	1.5E-01	ORNL-5786
Ag	2.0E-01	IAEA-TECDOC-1380	2.0E-01	IAEA-TECDOC-1380	1.0E+00	IAEA-SS-No.57
Sn	2.0E-01	IAEA-TECDOC-1380	1.0E-01	IAEA-TECDOC-1380	1.0E+00	NCRP-129
Sb	1.0E-02	IAEA-TECDOC-1380	1.0E-02	IAEA-TECDOC-1380	4.0E-02	IAEA-SS-No.57
Te	1.0E+00	IAEA-TECDOC-1380	1.0E+00	IAEA-TECDOC-1380	2.0E+00	IAEA-SS-No.57
I	1.0E-01	IAEA-TECDOC-1380	1.0E-01	IAEA-TECDOC-1380	3.4E-03	IAEA-TRS-No.364(牧草)
Cs	2.0E-02	IAEA-TECDOC-1380	3.0E-02	IAEA-TECDOC-1380	5.3E-01	IAEA-TRS-No.364(牧草)
Ce	3.0E-03	IAEA-TECDOC-1380	3.0E-03	IAEA-TECDOC-1380	4.0E-02	IAEA-SS-No.57
Sm	2.0E-03	IAEA-TECDOC-1380	2.0E-03	IAEA-TECDOC-1380	4.0E-02	IAEA-SS-No.57
Eu	3.0E-03	IAEA-TECDOC-1380	3.0E-03	IAEA-TECDOC-1380	4.0E-02	IAEA-SS-No.57
Ho	2.6E-03	UCRL 50163 Part IV	2.6E-03	UCRL 50163 Part IV	5.0E-02	NCRP-129
Pb	1.0E-02	IAEA-TECDOC-1380	1.0E-02	IAEA-TECDOC-1380	1.1E-03	IAEA-TRS-No.364(飼料)
Po	2.0E-04	IAEA-TECDOC-1380	2.0E-04	IAEA-TECDOC-1380	9.0E-02	IAEA-TRS-No.364(牧草)
Ra	4.0E-02	IAEA-TECDOC-1380	4.0E-02	IAEA-TECDOC-1380	8.0E-02	IAEA-TRS-No.364(牧草)
Ac	1.0E-03	IAEA-TECDOC-1380	1.0E-03	IAEA-TECDOC-1380	4.0E-03	IAEA-SS-No.57
Th	5.0E-04	IAEA-TECDOC-1380	5.0E-04	IAEA-TECDOC-1380	1.1E-02	IAEA-TRS-No.364(牧草)
Pa	4.0E-02	IAEA-TECDOC-1380	4.0E-02	IAEA-TECDOC-1380	1.0E-01	IAEA-SS-No.57
U	1.0E-04	IAEA-TECDOC-1380	1.0E-03	IAEA-TECDOC-1380	2.3E-02	IAEA-TRS-No.364(牧草)
Np	3.0E-04	IAEA-TECDOC-1380	1.0E-02 (*2)	IAEA-TECDOC-1380	6.9E-02	IAEA-TRS-No.364(牧草)
Pu	3.0E-05	IAEA-TECDOC-1380	1.0E-03 (*1)	IAEA-TECDOC-1380	8.0E-04	IAEA-TRS-No.364(アブラナ科)
Am	1.0E-05	IAEA-TECDOC-1380	1.0E-03	IAEA-TECDOC-1380	1.2E-03	IAEA-TRS-No.364(牧草)
Cm	1.8E-05	IAEA TRS No.364 (シリアル)	2.2E-04	IAEA TRS No.364 (根菜)	1.1E-03	IAEA-TRS-No.364(牧草)
設定手順(根拠)	・以下に示す文献に基づき設定した。 ① IAEA-TECDOC-1380 ② IAEA-TRS-No.364 ③ IAEA-SS-No.57 ④ IAEA-TECDOC-401 ⑤ IAEA-TECDOC-1000 ・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。		・以下に示す文献に基づき設定した。 ① IAEA-TECDOC-1380 ② IAEA-TRS-No.364 ③ IAEA-SS-No.57 ④ IAEA-TECDOC-401 ⑤ IAEA-TECDOC-1000 ・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。 *1:Root Vegetables *2:Green Vegetables		・以下に示す文献に基づき設定した。 ① IAEA TRS No.364 ② IAEA-SS-No.57 ③ IAEA-TECDOC-401 ④ NUREG/CR-3585 ⑤ IAEA-TECDOC-1000 ⑥ ORNL-5786 ⑦ NCRP-129 ・Clについては、IAEA-TECDOC-401に値が示されているが、NUREG/CR-3585の推奨する値を基に、水分含有率を80%として計算。	

備考1：米、葉菜、非葉菜、果実への移行係数は、河川水利用経路の灌漑水利用農作物摂取と河川岸利用経路の農作物摂取において使用している値

備考2：飼料への移行係数は、河川岸利用経路の畜産物摂取において使用している値

Table A2-8 飼料・飼育水から畜産物への移行係数 (1/2)

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。 ① IAEA-TECDOC-1380 ② IAEA-SS-No.57 ③ IAEA-TECDOC-401 ④ NUREG/CR-3585 ⑤ NUREG/CR-2976 ⑥ PNL-3209 (NUREG/CR-3160) ⑦ IAEA-TRS-No.364 ⑧ IAEA-TECDOC-1000 ⑨ ORNL-5786		・以下に示す文献に基づき設定した。 ① IAEA-TECDOC-1380 ② IAEA-SS-No.57 ③ IAEA-TECDOC-401 ④ NUREG/CR-3585 ⑤ NUREG/CR-2976 ⑥ PNL-3209 (NUREG/CR-3160) ⑦ IAEA-TRS-No.364 ⑧ IAEA-TECDOC-1000 ⑨ ORNL-5786		・以下に示す文献に基づき設定した。 ① IAEA-SS-No.57 ② IAEA-TECDOC-401 ③ NUREG/CR-3585 ④ NUREG/CR-2976 ⑤ PNL-3209 (NUREG/CR-3160) ⑥ 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：河川水利用経路の灌漑水利用畜産物摂取と河川岸利用経路の畜産物摂取において使用している値

Table A2-8 飼料・飼育水から畜産物への移行係数 (2/2)

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。 ① IAEA-SS-No.57 ② IAEA-TECDOC-401 ③ NUREG/CR-3585 ④ NUREG/CR-2976 ⑤ PNL-3209 (NUREG/CR-3160) ⑥ 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。 ① NUREG/CR-2976 ② PNL-3209 (NUREG/CR-3160) ③ IAEA-SM-237/54 ④ 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：河川水利用経路の灌漑水利用畜産物摂取と河川岸利用経路の畜産物摂取において使用している値

Table A2-9 河川産物への濃縮係数

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。 ① IAEA-TECDOC-1380 ① IAEA-SS-No.57 ② IAEA-TECDOC-401 ③ NUREG/CR-3585 ④ UCRL 50564 Rev.1 ⑤ IAEA-TRS-No.364 ⑥ IAEA-TECDOC-1000	

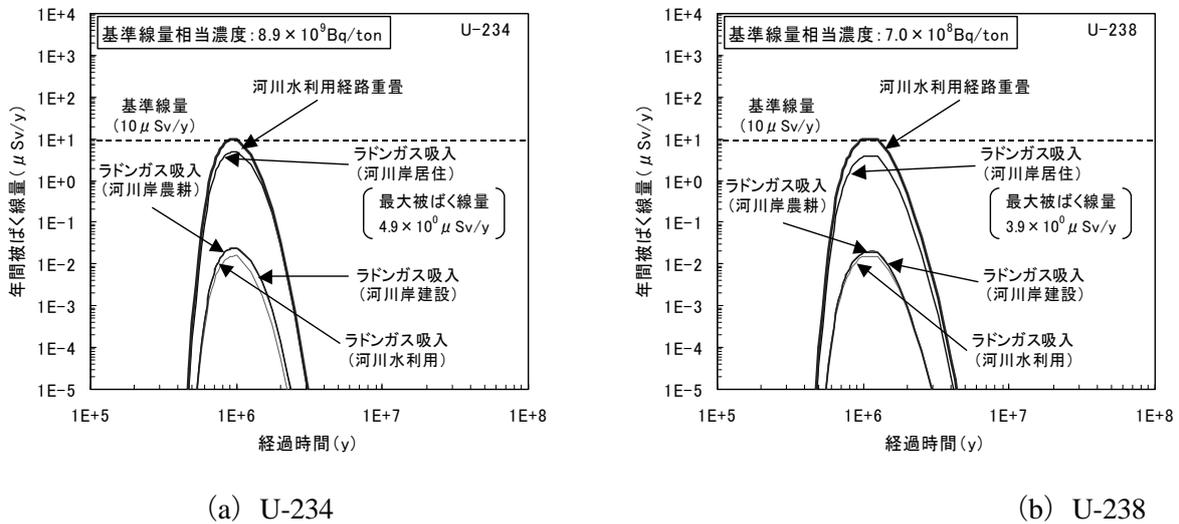
備考：河川水利用経路の水産物摂取において使用している値

Appendix-III

余裕深度処分におけるラドンガス吸入経路の線量影響

ウラン廃棄物のうち U-234 及び U-238 に関しては、本研究において算出した基準線量相当濃度（本文の Table3-5 の算出結果）で余裕深度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。本解析では、「河川水利用（農耕作業）」、「河川岸建設作業」、「河川岸居住」、「河川岸農耕作業」の4つの評価経路において、それぞれラドン吸入被ばく経路を想定した。「河川岸居住」において、屋内での居住者のラドンガス吸入被ばく経路を設定し、それ以外の3経路では、農耕作業あるいは建設作業に伴う屋外でのラドンガス吸入被ばく経路を設定した。また、廃棄物中の U-234 及び U-238 の初期濃度は、Table3-5 に示した基準線量相当濃度の算出結果より、U-234 :  $8.9\text{E}+9 \text{ Bq/ton}$ 、U-238 :  $7.0\text{E}+8 \text{ Bq/ton}$  に設定した。なお、設定した評価パラメータについては、Appendix- II の Table A2-3 に示した。

Fig.3A-1 に計算した上記4つのラドンガス吸入経路の経時変化を示す。「河川岸居住」における居住者のラドンガス吸入被ばくの線量が最も高く、その最大線量は U-234 に対して  $4.9 \mu \text{ Sv/y}$ 、U-238 に対しては  $3.9 \mu \text{ Sv/y}$  となった。よって、ラドンガス吸入による線量は、決定経路である重畳された河川水利用経路の最大線量 ( $10 \mu \text{ Sv/y}$ =基準線量) を越えず、余裕深度処分の地下水移行のシナリオにおいて、ラドンガス吸入被ばくの影響は顕著では無いと言える。



(注) 廃棄体中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

Fig.A3-1 余裕深度処分におけるラドンガス吸入経路の線量の経時変化

# 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・m <sup>-1</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・kg・s <sup>-2</sup>
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m <sup>2</sup>	m <sup>-1</sup> ・kg・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・s <sup>-2</sup>
工率, 放射束	ワット	W	J/s	m <sup>2</sup> ・kg・s <sup>-3</sup>
電荷, 電気量	クーロン	C		s・A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m <sup>2</sup> ・kg・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
磁束密度	テスラ	T	Wb/m <sup>2</sup>	kg・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	m <sup>2</sup> ・s <sup>-2</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	ニュートンメートル	N・m	m <sup>2</sup> ・kg・s <sup>-2</sup>
表面張力	ニュートン毎メートル	N/m	kg・s <sup>-2</sup>
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	m・m <sup>-1</sup> ・s <sup>-1</sup> =s <sup>-1</sup>
角加速度	ラジアン毎平方秒	rad/s <sup>2</sup>	m・m <sup>-1</sup> ・s <sup>-2</sup> =s <sup>-2</sup>
熱流密度, 放射照度	ワット毎平方メートル	W/m <sup>2</sup>	kg・s <sup>-3</sup>
熱容量, エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m <sup>2</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>-2</sup> ・K <sup>-1</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毎ケルビン	J/(kg・K)	m <sup>2</sup> ・s <sup>-2</sup> ・K <sup>-1</sup>
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m・K)	m・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>-3</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・s <sup>-2</sup>
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m・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・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・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・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>1</sup> ・m <sup>-2</sup> ・kg・s <sup>-3</sup> =m <sup>-1</sup> ・kg・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>0</sup> ・m <sup>-2</sup> ・kg・s <sup>-3</sup> =kg・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	1h=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	1l=1 dm <sup>3</sup> =10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
トン	t	1t=10 <sup>3</sup> kg
ネーパ	Np	1Np=1
ベル	B	1B=(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	1eV=1.60217733(49)×10 <sup>-19</sup> J
統一原子質量単位	u	1u=1.6605402(10)×10 <sup>-27</sup> kg
天文単位	ua	1ua=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	1a=1 dam <sup>2</sup> =10 <sup>2</sup> m <sup>2</sup>
ヘクタール	ha	1ha=1 hm <sup>2</sup> =10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>
バール	bar	1bar=0.1MPa=100kPa=1000hPa=10 <sup>5</sup> Pa
オングストローム	Å	1Å=0.1nm=10 <sup>-10</sup> m
バイン	b	1b=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
ガリ	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	X unit	1 X unit=1.002×10 <sup>-4</sup> nm
ガンマ	γ	1γ=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		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

