

## 溶出モデルを用いたトレンチ処分施設における 核種移行評価

Evaluation of Nuclides Migration for Trench-type Disposal by  
a Calculation Method Taking Leaching into Consideration

戸塚 真義 黒澤 亮平 坂井 章浩 仲田 久和  
林 宏一 天澤 弘也

Masayoshi TOTSUKA, Ryohei KUROSAWA, Akihiro SAKAI, Hisakazu NAKATA  
Hirokazu HAYASHI and Hiroya AMAZAWA

バックエンド研究開発部門  
廃棄物対策・埋設事業統括部

Radioactive Waste Management and Disposal Project Department  
Sector of Decommissioning and Radioactive Waste Management

March 2017

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは国立研究開発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。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 研究連携成果展開部 研究成果管理課  
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方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  
Institutional Repository Section,  
Intellectual Resources Management and R&D Collaboration Department,  
Japan Atomic Energy Agency.  
2-4 Shirakata, 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, 2017

溶出モデルを用いたトレンチ処分施設における核種移行評価

日本原子力研究開発機構 バックエンド研究開発部門 廃棄物対策・埋設事業統括部

戸塚 真義<sup>\*1</sup>、黒澤 亮平<sup>\*1</sup>、坂井 章浩、仲田 久和、林 宏一、天澤 弘也

(2017年1月6日受理)

日本原子力研究開発機構では、国内の研究施設などから発生する低レベルの放射性廃棄物（以下、「研究施設等廃棄物」という）の浅地中埋設処分を計画している。

本稿は、研究施設等廃棄物のトレンチ処分施設における地下水シナリオの評価において、トレンチ処分施設からの放射性物質の浸出モデルとして、放射性物質が廃棄物から一定の溶出率で処分施設内の充填土層へ溶出するモデルを開発し、これを用いて線量及び基準線量相当濃度の評価を実施した。この線量評価結果とこれまで用いられてきた分配平衡モデルの線量を比較し溶出の影響を評価した。また、トレンチ処分対象で安定5品目以外のセメント固化体等は、遮水層を設置したトレンチ処分施設に処分することを想定しており、この遮水層による浸透水量の低減効果をパラメータとしてトレンチ処分施設における地下水シナリオの線量及び基準線量相当濃度への影響を評価した。

---

旧本部事務所：〒319-1112 茨城県那珂郡東海村村松 4-49

※1 技術開発協力員

\*1 (株) ヴィジブルインフォメーションセンター

Evaluation of Nuclides Migration for Trench-type Disposal by  
a Calculation Method Taking Leaching into Consideration

Masayoshi TOTSUKA<sup>※1</sup>, Ryohei KUROSAWA<sup>\*1</sup>, Akihiro SAKAI, Hisakazu NAKATA,  
Hirokazu HAYASHI and Hiroya AMAZAWA

Radioactive Waste Management and Disposal Project Department  
Sector of Decommissioning and Radioactive Waste Management  
Japan Atomic Energy Agency  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received January 6, 2017)

Japan Atomic Energy Agency (JAEA) is planning for the near surface disposal of very low and low level radioactive wastes generated from research, industrial and medical facilities industry in Japan.

This document provides the values of radioactivity concentrations equivalent to dose criterion for trench-type disposal and its doses. These values are derived based on the safety assessment for ground water scenarios under generic site conditions by using a mathematical model which is newly developed. The model describes the release of radionuclides from wastes to a cover soil caused by elution having constant rates. These newly derived concentrations are compared with concentrations previously calculated by a model that describe the nuclide release mechanisms as solid-liquid partitioning equilibrium. Additionally, the change in the concentrations and its doses related to the safety assessment for ground water scenarios is evaluated when the amount of water percolating into a disposal facility with impermeable layers varies according to its impermeability performance, because such a disposal facility is under consideration in order to be disposed of cement-solidified waste packages with very low radioactivity concentration.

Keywords: Radioactivity Concentration Limit, Trench, Near Surface Disposal, GSA-GCL Code, Safety Assessment

---

※1 Collaboration Engineer

\*1 Visible Information Center, Inc.

## 目次

1.	はじめに.....	1
2.	溶出モデルの開発.....	2
3.	トレンチ処分の基準線量相当濃度の評価方法.....	4
3.1	評価の目的.....	4
3.2	評価対象核種.....	4
3.3	評価シナリオ及び経路.....	4
3.4	評価モデル.....	4
3.5	評価コードの概要.....	4
3.6	評価パラメータの設定.....	4
3.7	基準線量相当濃度を評価するための基準線量.....	5
3.8	評価期間.....	6
3.9	評価ケース.....	6
4.	トレンチ処分の基準線量相当濃度算出結果及び感度解析結果.....	7
4.1	単位放射能濃度あたりの最大被ばく線量率計算結果.....	7
4.2	基準線量相当濃度算出結果.....	7
4.3	感度解析結果.....	8
5.	まとめ.....	9
	謝辞.....	9
	参考文献.....	10

Contents

1.	Introduction.....	1
2.	Development of a leaching model.....	2
3.	Calculation method for radioactivity concentration equivalent to a dose criteria.....	4
3.1	Assessment purpose .....	4
3.2	Nuclide concerned .....	4
3.3	Analysis case .....	4
3.4	Assessment senario and exposure passway .....	4
3.5	Calculation model.....	4
3.6	Concept of calculation code .....	4
3.7	Assessment parameter.....	5
3.8	Dose criteria to calculate the activity concentration to the dose criteria .....	6
3.9	Evaluation period.....	6
4.	Calculation results of the radioactivity concentration limits .....	7
4.1	Maximum dose rate per radioactivity concentration in a waste matrix.....	7
4.2	Dose rate per radioactivity concentration in a waste matrix over time .....	7
4.3	Radioactivity concentration equivalent to a dose criteria .....	8
5.	Summary .....	9
	Acknowledgement.....	9
	References.....	10

## 1. はじめに

日本原子力研究開発機構（以下、「原子力機構」という）廃棄物対策・埋設事業統括部では、改正独立行政法人日本原子力研究開発機構法（平成 20 年法律第 51 号）に基づき、原子力機構及び国内の研究施設などから発生する低レベルの放射性廃棄物（以下、「研究施設等廃棄物」という）の浅地中処分を計画している。

研究施設等廃棄物の浅地中処分においては、埋設した廃棄物に含まれる放射性物質に起因する一般公衆への線量が国の定めるめやす値以下であることを確認する必要がある。低レベル放射性固体廃棄物の陸地処分に係る放射能濃度上限値について<sup>1)</sup>（以下、「原子力安全委員会報告書」という）において、浅地中処分施設の線量評価は、処分施設からの浸出水に伴って放射性物質が浸出し、地下水とともに移行し、河川等に流出して、一般公衆がその河川を利用することにより被ばくする地下水シナリオと、処分施設の管理期間終了後に埋設地を利用するために掘削等の行為によって被ばくする跡地利用シナリオが用いられている。

浅地中処分施設のうちトレンチ処分施設における地下水シナリオの評価において、トレンチ処分施設からの放射性物質の浸出モデルは、処分施設内が均一な物質で放射能も均一に分布していると想定し、処分施設内の浸透水に一定の割合で浸出する放出係数モデル<sup>1)</sup>、放射性物質が浸透水と処分施設内構成材料との分配平衡により浸出する分配平衡モデル<sup>2)</sup>及び、処分施設内の放射性物質が短期間で全て浸透水に浸出し帯水層に流出する全量漏えいモデル<sup>3)</sup>が用いられてきた。

一方、東京電力福島第一原子力発電所の事故により環境へ放出された Cs は、土壌層の一部の成分に取り込まれて溶出が小さいという研究が報告されている<sup>4)</sup>。また、余裕深度処分の安全評価<sup>5),6)</sup>では、放射化金属廃棄物は、放射性物質が金属内部まで分布することから、表面の金属が腐食することによって放射性物質が浸透水へ溶出する、廃棄物からの溶出を考慮した浸出モデル（以下、「溶出モデル」という）が考案されており、過去には均一固化体からの放射性物質の浸出率の研究も行われてきた<sup>7)</sup>。

これらの状況を踏まえ、本稿では、トレンチ処分施設における地下水シナリオの評価において、トレンチ処分施設の放射性物質の浸出を、廃棄体<sup>a</sup>から放射性物質が一定の溶出率で処分施設内の充填土層に経時的に放出され、充填土層内で浸透水量と分配平衡となり、帯水層の地下水へ移行する溶出モデルを用いて線量評価を実施し、基準線量相当濃度を算出した。また、線量評価結果を用いて、溶出モデルとこれまで用いられてきた分配平衡モデルの比較と、溶出率をパラメータとした感度解析を行った。さらに、原子力機構が検討<sup>8)</sup>した産業廃棄物の安定 5 品目以外の廃棄物を管理型処分相当の処分施設（以下、「付加機能型トレンチ処分施設」という）に処分することを想定し、付加機能型トレンチ処分施設における遮水層による浸透水量の低減効果もパラメータとして考慮して、トレンチ処分施設における地下水シナリオの線量への影響を評価した。

---

<sup>a</sup> 本稿ではトレンチ処分を行うコンクリート等廃棄物も含め廃棄体と呼ぶこととする。

## 2. 溶出モデルの開発

トレンチ処分施設における地下水シナリオの評価は、原子力機構で開発された GSA-GCL2 コード<sup>9)</sup>に基づき行った。GSA-GCL2 の地下水移行評価用ソースタームモデルは、放射性物質が廃棄体と充填材を混合した層（以下、「廃棄体充填材混合層」という）に均一に分布し、廃棄体充填材混合層に浸透した水と廃棄体充填材混合層の分配平衡によって浸出するモデルとなっている。

本稿は、放射性物質が廃棄体から充填材へ経時的に溶出するモデルを用いて地下水シナリオの線量評価を行うため、廃棄体充填材混合層を廃棄体のみからなる層（廃棄体層）と充填材のみからなる層（充填材層）に分割し、放射性物質が廃棄体層から一定の溶出率で充填材層に溶出し、溶出した放射性物質が充填材層と分配平衡になった浸透水により、帯水層中の地下水へ浸出するモデルを作成した。図 2-1 に分配平衡モデルと溶出モデルの概念図を示す。

廃棄体層の放射性物質  $i$  の原子数の変化率は(1)式で表される。この(1)式に溶出フラックスにより減少する項を加えた。また充填材層の放射性物質  $i$  の原子数の変化率は(2)式で表され、廃棄体層からの溶出フラックスにより増加する項を加えた。廃棄体層からの溶出フラックス(atom  $y^{-1}$ )は、(3)の通り放射性物質  $i$  の廃棄体層からの溶出率  $\eta_i(y^{-1})$  と廃棄体層における放射性物質  $i$  の原子数の積である。また、充填材層からの移流フラックスは、(4)式のように、本モデルでは放射性物質  $i$  が充填材層と分配平衡になった浸透水より移行する原子数とした。

$$\frac{dA_w^i}{dt} = -\lambda_i A_w^i + \lambda_{i-1} A_w^{i-1} - j_{s,w}^i \quad (1)$$

$$\frac{dA_c^i}{dt} = -j_{ad,r}^i - \lambda_i A_c^i + \lambda_{i-1} A_c^{i-1} + j_{s,w}^i \quad (2)$$

$$j_{s,w}^i = \eta_i \cdot A_w^i \quad (3)$$

$$j_{ad,r}^i = \frac{v_c}{\varepsilon_c \cdot H_c \cdot \left(1 + \frac{1 - \varepsilon_c}{\varepsilon_c} \cdot \rho_c \cdot Kd_{i,c}\right)} \cdot A_c^i \quad (4)$$

ここで、

$\eta_i$  : 放射性物質  $i$  の廃棄体層からの溶出率 ( $y^{-1}$ )

$j_{s,w}^i$  : 溶出フラックス (atom  $y^{-1}$ )

$j_{ad,r}^i$  : 充填材層からの移流フラックス (atom  $y^{-1}$ )

$A_w^i$  : 廃棄体層における放射性物質  $i$  の原子数 (atom)

$A_c^i$  : 充填材層における放射性物質  $i$  の原子数 (atom)

$\lambda_i$  : 放射性物質  $i$  の崩壊定数 ( $y^{-1}$ )

$v_c$  : 充填材層における浸透水量 ( $m y^{-1}$ )

$\varepsilon_c$  : 充填材層の空隙率 (—)

$H_c$  : 充填材層の高さ (m)

$\rho_c$  : 充填材層の真密度 ( $kg m^{-3}$ )

$Kd_{i,c}$  : 放射性物質  $i$  の充填材層における分配係数( $m^3 kg^{-1}$ )

である。



本モデルは、式(1)から(4)に示すように、廃棄体層から溶出した放射性物質は充填材層で均一に分布し、充填材層から分配平衡モデルや放出係数モデルで処分施設外に浸出するモデルである。そのため、放射性物質が廃棄体層から充填材層に浸出する位置や、充填材層での濃度分布などは持たず均質のモデルである。それらの影響を考慮するためにはモデルを細分化する必要があるが、本稿は均質のモデルを開発し、溶出の影響を評価した。

なお、溶出モデルは、充填材層が汚染していないことを考慮する場合に有効なモデルである。一方、廃棄体層と充填材層が均一に放射性物質で汚染されているとみなす場合は、分配平衡モデルにより評価してもよい。また、開発した溶出モデルは、GSA-GCL2のソースタームの分配平衡モデルを溶出モデルに置き換えることにより動作し、線量評価に用いることができる。

### 3. トレンチ処分の基準線量相当濃度の評価方法

#### 3.1 評価の目的

溶出モデルを導入することによる、トレンチ処分の地下水シナリオにおける単位放射能濃度あたりの最大被ばく線量率及び基準線量相当濃度への影響を評価するため、感度解析を実施した。この際、溶出率の他に付加機能型トレンチ処分施設における上部遮水層を考慮して、浸透水量が小さいケースにおける評価も実施した。

また、溶出モデルと分配平衡モデルで計算された線量を比較し、溶出による線量への影響を評価した。

#### 3.2 評価対象核種

評価核種は、代表的な核種を評価に用いた。原子力安全委員会報告書の試算結果で基準線量相当濃度が最も低い値であった Sr-90 と研究施設等廃棄物において重要な核種であり、かつ、東京電力福島第一原子力発電所の事故により除去土壌等に多く含有している Cs-137 とし、参考に Cs-134 についても実施した。

#### 3.3 評価シナリオ及び経路

低レベル放射性廃棄物のトレンチ処分の基準線量相当濃度の評価に用いられている代表的な地下水シナリオは、河川水利用シナリオである。その河川水利用シナリオは、飲用、畜産物摂取、河川産物摂取に限定されているため、本稿では、将来の立地条件を考慮して評価経路の範囲を広げて評価することとした。具体的には、余裕深度処分の基準線量相当濃度の評価に用いられている河川水利用シナリオの評価経路を用いて評価することとした。図 3-1 に埋設施設概念図、図 3-2 に評価シナリオ概念図を示す。また、表 3-1 に評価経路と被ばく形態、図 3-3 に評価経路概念図を示す。

#### 3.4 評価モデル

トレンチ処分施設からの放射性物質の浸出量の評価において、2 章で示した溶出モデルを用いた評価と、分配平衡モデルを用いた評価を行った。

#### 3.5 評価コードの概要

線量及び基準線量相当濃度の計算には、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 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、コンクリートピット処分、余裕深度処分）の濃度上限値評価のために開発されたコードであり、トレンチ処分の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。溶出モデルを使用して計算する場合は、GSA-GCL2 のソースタームの分配平衡モデルを溶出モデルに置き換えて評価に用いた。

#### 3.6 評価パラメータの設定

##### (1) 処分施設に係るパラメータ

処分施設及び処分施設からの放射性物質の浸出量の評価に用いるパラメータを表 3-2 に示す。廃棄物総量は、第 1 期事業における研究施設等廃棄物のトレンチ処分対象の廃棄体本数として設定されている 200L ドラム缶換算で 38 万本とした。

施設形状は、研究施設等廃棄物浅地中処分施設の概念設計<sup>8)</sup>（以下、「概念設計」という）から高さを 4m、放射性廃棄物の処分総量の処分場容量に対する割合を 0.3 とした。これら設定及び廃

棄物総量から、長さと同幅が同じとなるよう処分場の形状を求めた。

また、処分施設において、高さを 4m、放射性廃棄物の処分総量の処分場容量に対する割合を 0.3 としたことから、廃棄体層の高さを 1.2m、充填材層の高さを 2.8m に設定した。

(2) 帯水層の移行に係るパラメータ

帯水層の移行にかかわるパラメータを表 3-3 に示す。河川までの距離は、概念設計の想定と同じ 100m に設定した。その他のパラメータは、概念設計、クリアランスレベルの評価<sup>1)</sup>、原子力学会標準<sup>2)</sup>を参照して設定した。本評価における帯水層の移行では地下水流速が大きいいため、分散による移行が放射能濃度の最大値に与える影響は小さいと考えられるため、移流による移行のみを評価した。

(3) 生物圏及び人間活動に係るパラメータ

生物圏及び人間活動に係るパラメータを表 3-4～表 3-6 に示す。生物圏及び人間活動に係るパラメータは、概念設計、クリアランスレベルの評価、日本原子力学会標準を参照して設定した。

(4) 溶出率

整備した溶出モデルでは、溶出率から溶出フラックスを算出することとなる。しかし、廃棄体からの溶出率は、評価に適用できるデータが調査で得られなかったことから、廃棄体の分配係数を仮定して溶出率を求めることとした。

すなわち、Cs、Sr の溶出率は、廃棄体の分配係数、厚さ及び浸透水量から次式により求める。

$$\eta_i = \frac{v_w}{\varepsilon_w \cdot H_w \cdot \left( 1 + \frac{1 - \varepsilon_w}{\varepsilon_w} \cdot \rho_w \cdot Kd_{i,w} \right)} \quad (5)$$

ここで、

$\eta_i$  : 放射性物質  $i$  の廃棄体層からの溶出率 ( $y^{-1}$ )

$v_w$  : 廃棄体層における浸透水量 ( $m y^{-1}$ )

$H_w$  : 廃棄体層の厚さ (m)

$Kd_{i,w}$  : 放射性物質  $i$  の廃棄体層における分配係数 ( $m^3 kg^{-1}$ )

$\varepsilon_w$  : 廃棄体層の空隙率 (—)

$\rho_w$  : 廃棄体層の密度 ( $kg m^{-3}$ )

である。

(5) 元素依存パラメータ

評価対象核種の元素に依存するパラメータとして分配係数、土壌から農作物への移行係数、飼料・飼育水から畜産物への移行係数及び、河川産物への濃縮係数がある。これを表 3-7～表 3-11 に示す。また、評価対象核種の半減期、内部被ばく線量換算係数、外部被ばく線量換算係数及び、放射平衡を仮定した子孫核種を表 3-12 に示す。

3.7 基準線量相当濃度を評価するための基準線量

原子力安全委員会報告書において、現行のトレンチ処分の基準線量相当濃度の評価では、一般的と考えられる事象である河川水利用シナリオと跡地利用シナリオ（建設及び居住シナリオ）に

については、基準線量として  $10 \mu\text{Sv/y}$  を設定している。このため、本評価における基準線量に  $10 \mu\text{Sv/y}$  を設定した。一方で、現在、原子力規制委員会の「廃棄物埋設の放射線防護基準に関する検討チーム」では、線量拘束値である  $300 \mu\text{Sv/y}$  を線量基準とする検討も進められていることから、 $300 \mu\text{Sv/y}$  についても基準線量として設定した。

### 3.8 評価期間

現行のトレンチ処分の基準線量相当濃度の評価では、各評価経路に対する被ばく線量の最大値が現れる時刻まで計算し、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。したがって、本評価においても被ばく線量の最大値が現れる時期を含むよう評価を行った。また、地下水シナリオの評価の開始は、全ての廃棄物が減衰を考慮せずに処分された後とし、線量率の最大値（最大被ばく線量率）は、地下水シナリオの評価開始以降（0年以降）における最大値とした。

### 3.9 評価ケース

#### (1) 溶出率6ケースの評価

廃棄体層からの溶出率の感度解析のため溶出率をパラメータとした。3.6節④の通り、溶出率は廃棄体の分配係数を想定したうえで分配係数と浸透水量から求めるため、分配係数を IAEA TRS No.364<sup>23)</sup>で示された土の分配係数データの範囲から、3ケース（ケース番号1、2、3）の値を選定した。選定した廃棄体層の分配係数を表 3-13 に示す。また、廃棄体の浸透水量は、JAEA-Technology 2016-019<sup>10)</sup>で廃棄体層への浸透水量として評価された  $0.55\text{m/y}$  及び、遮水層を設定した場合に評価された浸透水量  $0.001\text{m/y}$  の2通りを選定した。浸透水量の2ケース（ケース番号 a、b）を表 3-14 に示す。以上から評価ケースは計6ケースとした。評価ケース番号とその設定条件を表 3-15 に示す。

なお、各ケースにおける廃棄体層と充填材層の空隙率、密度、浸透水量は同一とした。

#### (2) 溶出率4ケースの評価（分配係数同一条件）

(1)の評価は溶出モデルにおいて廃棄体層と充填材層の分配係数を独立した異なる設定としたため、分配係数を同一条件とする分配平衡モデルと比較できない条件であった。ここでは、溶出モデルと分配平衡モデルの比較を行うため、各ケースにおいて、溶出モデルでは、廃棄体層と充填材層の分配係数を同じ値を基に設定し、分配平衡モデルでは廃棄体充填材混合層の分配係数をそれらと同じ値で設定した。ケース数として、分配係数2ケース、浸透水量2ケースの計4ケースを設定した。分配係数の2ケース（ケース番号4、5）を表 3-16 に示す。浸透水量は表 3-14 と同様とし、2ケース（ケース番号 a、b）を設定した。これらから(1)と同様に溶出率を求め、計4ケースの評価ケース番号とその設定条件を表 3-17 に示す。

なお、各ケースにおける廃棄体層と充填材層の空隙率、密度、浸透水量は同一とした。

## 4. トレンチ処分の基準線量相当濃度算出結果及び感度解析結果

### 4.1 単位放射能濃度あたりの最大被ばく線量率計算結果

基準線量相当濃度を算出するためにGSA-GCL2で算出した最大被ばく線量率の計算結果を以下に示す。ここで、最大被ばく線量率を表 4-1～表 4-3 に示した。

#### (1) 溶出率 6 ケースの評価

溶出モデルの単位放射能濃度あたりの最大被ばく線量率を表 4-1 に示す。Sr-90 において被ばく線量が最大となる経路（以下、「決定経路」という）は、「河川水利用経路-農作物消費」となり、Cs-137 における決定経路は「河川岸居住経路-外部」となった。Sr-90 では、葉菜、非葉菜、果実への移行係数が大きいなど、農作物へ移行しやすいため当経路が決定経路となったと考えられる。また、Cs-137 は、表 3-12 に示すように、外部被ばく線量換算係数は、建設作業、居住者及び農耕作業で同じ値を設定しているが、居住者の被ばく時間が一番長いことため決定経路になったと考えられる。なお、Cs-134 の最大被ばく線量率は非常に小さく、有意な値は得られなかったが、これは、Cs-134 の半減期が約 2 年と短く、処分施設から河川への移行中に減衰するためと考えられる。

#### (2) 溶出率 4 ケースの評価（分配係数同一条件）

溶出モデルと分配平衡モデルの比較のため、廃棄体層と充填材層の分配係数を同一に設定した 4 ケースの溶出モデルの最大被ばく線量率計算結果を表 4-2 に、分配平衡モデルの結果を表 4-3 に示す。各核種の決定経路は(1)と同様であった。

### 4.2 基準線量相当濃度算出結果

4.1 節で示した最大被ばく線量率から、廃棄体中の基準線量  $10 \mu \text{Sv y}^{-1}$  及び  $300 \mu \text{Sv y}^{-1}$  に相当する基準線量相当濃度を求めた。これを以下に示す。ここで、基準線量相当濃度を表 4-4～表 4-9 に示した。

#### (1) 溶出率 6 ケースの評価

基準線量  $10 \mu \text{Sv y}^{-1}$  の相当濃度を

表 4-4 に、基準線量  $300 \mu \text{Sv y}^{-1}$  の相当濃度を表 4-7 に示す。溶出モデルにおいて、浸透水量  $0.55 \text{m/y}$  のケース(ケース番号 a)では、溶出率の違いにより Sr-90 の決定経路の基準線量相当濃度(基準線量  $10 \mu \text{Sv y}^{-1}$  以下同じ)は、 $5.4 \times 10^6 \sim 8.3 \times 10^7 \text{Bqt}^{-1}$  の範囲、Cs-137 では、 $2.4 \times 10^{11} \sim 1.4 \times 10^{13} \text{Bqt}^{-1}$  の範囲となった。本稿では、廃棄体層の分配係数として IAEA TRS No.364<sup>23)</sup>の土の分配係数に基づき設定し、分配係数から溶出率を求めている。将来的には溶出率の値を決定して評価することが必要である。なお、設定した分配係数の範囲の中央値を用いて評価した結果は、Sr-90 で  $1.2 \times 10^7 \text{Bqt}^{-1}$ 、Cs-137 で  $1.5 \times 10^{12} \text{Bqt}^{-1}$  である。

溶出モデルの浸透水量  $0.001 \text{m/y}$  のケース(ケース番号 b)では、溶出率の違いにより Sr-90 の決定経路の基準線量相当濃度は、 $2.4 \times 10^{11} \sim 2.0 \times 10^{13} \text{Bqt}^{-1}$  の範囲、Cs-137 では、 $4.2 \times 10^{16} \sim 4.1 \times 10^{18} \text{Bqt}^{-1}$  の範囲となった。

浸透水量が  $0.55 \text{m/y}$  と  $0.001 \text{m/y}$  で溶出モデルの基準線量相当濃度を比較すると、浸透水量が小さい  $0.001 \text{m/y}$  のケースは、 $0.55 \text{m/y}$  と比べ Sr-90 で約  $10^5$  倍、Cs-137 も同じく  $10^5$  倍ほど基準線量相当濃度が大きくなる結果となった。



## (2) 溶出率 4 ケースの評価 (分配係数同一条件)

分配平衡モデルと比較のため廃棄体層と充填材層の分配係数を同一に設定した溶出モデルの基準線量相当濃度を表 4-5 及び表 4-8 に示す。分配平衡モデルの基準線量相当濃度を表 4-6 及び表 4-9 に示す。

## 4.3 感度解析結果

4.1 節で計算した全 10 ケースの中から、溶出率、モデル及び、浸透水量に着目し、これらをパラメータとして、経過時間に対する単位放射能濃度あたりの線量率に対する感度解析を行った。評価対象核種は、単位放射能濃度あたりの最大被ばく線量率の結果 (表 4-1、表 4-2) において  $1.0 \times 10^{-20} (\mu \text{Sv y}^{-1}) / (\text{Bq g}^{-1})$  以下となる Cs-134 を除く Sr-90 及び Cs-137 とする。これを次に示す。

### (1) 溶出モデルにおける溶出率による比較

溶出モデルにおいて、決定経路となった Sr-90 の「河川水利用経路-農作物消費」と、Cs-137 の「河川岸居住経路-外部」について、経過時間に対する線量率を 3 ケース (ケース番号 1、2、3) の溶出率で比較した。比較した図を図 4-1 ~ 図 4-4 に示す。Sr-90 では溶出率が小さいほど、最大被ばく線量率が小さくなり、最大被ばく線量率を与える経過時間が遅くなる。この傾向は Cs-137 でも同様に見られる。これは、溶出率が小さい場合、時間をかけて廃棄体層から充填材層に放射性物質が浸出することで、移行に要する時間が長くなることから最大線量率を与える経過時間が遅くなることによるものである。また、これによって放射能の減衰の影響が現れること、放射性物質の浸出が時間的に分散されるため最大線量率が小さくなる結果となっている。

### (2) 溶出モデルと分配平衡モデルの比較

決定経路となった Sr-90 の「河川水利用経路-農作物消費」と、Cs-137 の「河川岸居住経路-外部」について、経過時間に対する線量率を、溶出モデルと分配平衡モデルで比較した。この図を図 4-5 ~ 図 4-8 に示す。これは溶出モデルで廃棄体層と充填材層の分配係数及び、分配平衡モデルの廃棄体充填材混合層の分配係数が全て同一 (ケース番号 4、Sr :  $0.001 \text{m}^3/\text{kg}$ 、Cs :  $0.01 \text{m}^3/\text{kg}$ ) 条件のケースである。このケースでは溶出が速いため、Sr-90 では溶出モデルと分配平衡モデルの時間経過に対する線量率は同程度の結果となった。

また、全ての分配係数が一桁大きく溶出が遅いケース (ケース番号 5、Sr :  $0.01 \text{m}^3/\text{kg}$ 、Cs :  $0.1 \text{m}^3/\text{kg}$ ) を図 4-9 ~ 図 4-12 に示す。このケースでは、溶出モデルは分配平衡モデルと比べ最大線量率が小さく、経過時間が遅い結果となった。

### (3) 溶出モデルにおける浸透水量による比較

決定経路となった Sr-90 の「河川水利用経路-農作物消費」と、Cs-137 の「河川岸居住経路-外部」について、経過時間に対する線量率を、浸透水量  $0.55 \text{m}/\text{y}$  と  $0.001 \text{m}/\text{y}$  (ケース番号 a、b) で比較した。これを図 4-13 ~ 図 4-18 に示す。核種及び分配係数の条件に関わらず全てのケースで浸透水量  $0.55 \text{m}/\text{y}$  に対し、 $0.001 \text{m}/\text{y}$  では最大線量率が非常に小さい結果となった。これは浸透水量  $0.001 \text{m}/\text{y}$  では  $0.55 \text{m}/\text{y}$  の場合と比べ、溶出率が 3 桁小さいためである。なお、浸透水量  $0.55 \text{m}/\text{y}$  は遮水層のない場合の浸透水量であり、 $0.001 \text{m}/\text{y}$  は遮水層を設置した場合の浸透水量を想定したものであり、遮水層により、地下水シナリオでは最大被ばく線量率が十分低くなることが予想される。

## 5. まとめ

研究施設等廃棄物のトレンチ処分にあたり、地下水シナリオのソースターム評価でこれまで用いられた分配平衡モデルの廃棄体充填材混合層を廃棄体層と充填材層に分割し、廃棄体層から充填材層への放射性物質の経時的な溶出を考慮することのできる溶出モデルを開発した。これを用いて溶出率に対する線量の感度解析を行った結果、溶出率が大きいケースでは分配平衡モデルと同等の線量結果となることを確認した。また、溶出率が小さくなるに従い、最大線量率が小さくなり、最大線量率を与える経過時間が遅くなることを確認した。最大線量率から求めた基準線量相当濃度は、溶出率を 1/100 にすると、10~100 倍となることを確認した。これらから、分配平衡モデルでは保守的な基準線量相当濃度の結果を与えていたケースで、溶出を考慮することにより、より高い基準線量相当濃度となることが確認できた。また溶出モデルにおける浸透水量が線量評価結果に与える影響を確認し、浸透水量が小さい場合に、線量評価結果が極めて小さい結果になることが確認できた。

本稿では溶出率を浸透水量、分配係数等から関係式を用いて設定したが、今後は溶出率の測定値を用いて評価を行い、線量率への影響を評価する必要がある。また、溶出モデルについては放射性物質の廃棄体層から充填材層に浸出する位置や、充填材層等における濃度分布の影響を考慮するため、2次元または3次元のモデルについて検討する。

## 謝辞

溶出モデルのプログラム作成にあたり、ご助力をいただいた（株）ヴィジブルインフォメーションセンターの菅野光大氏に感謝いたします。原稿の改善に有益な提案を頂いた中谷隆良氏に感謝いたします。

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に係る放射能濃度上限値について”，平成 19 年 5 月 21 日。
- 2) 日本原子力学会；“浅地中トレンチ処分の安全評価手法：2013”，（2014 年 3 月）。
- 3) 日本原子力研究所；“日本原子力研究所東海研究所廃棄物埋設事業許可申請書”，（平成 6 年 11 月一部補正）。
- 4) 山口 紀子他；“土壌-植物系における放射性セシウムの挙動とその変動要因”，農業環境技術研究所報告. 31, pp. 75-129 (2012)。
- 5) 辻 智之他；“余裕深度処分における溶出率による影響評価について”，JAEA-Technology 2015-014, (2015), 34p.
- 6) 日本原子力学会；“余裕深度処分の安全評価手法：2008”，AESJ-SC-F012:2008 (2009 年 5 月)。
- 7) 関 晋；“761. 廃棄物固化体からの放射性核種の浸出”，日本原子力学会誌, Vol.25, No.7, (1983) pp. 571-576.
- 8) 天澤 弘也他；“研究施設等廃棄物浅地中処分施設の概念設計”，JAEA-Technology 2012-031, (2012)。
- 9) 武田 聖司他；“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（受託研究）”，JAEA-Data/Code 2011-008, (2011), 116p.
- 10) 坂井 章浩他；“研究施設等廃棄物のトレンチ処分施設における遮水機能の設計検討（共同研究）”，JAEA-Technology 2016-019, (2016), 134p.
- 11) 原子力安全委員会；“主な原子炉施設におけるクリアランスレベルについて”，平成 11 年 3 月 17 日。
- 12) IAEA : “Exemption of Radiation Sources and Practices from Regulatory Control - INTERIM REPORT”, IAEA-TECDOC-401 (1987) .
- 13) 山本 壮毅著；“新版 地下水調査法”，(1985)。
- 14) 土質工学会編；“土質工学ハンドブック 1982 年版”，(1982)。
- 15) 土木学会水理公式集改訂委員会；“水理公式集”，(1971)。
- 16) IAEA : “Generic models for use in assessing the impact of discharges of radioactive substances to the environment”, IAEA-SRS No.19(2001) .
- 17) 厚生省；“国民栄養の現状 平成 8 年国民栄養調査成績”，（平成 10 年 9 月）。
- 18) 厚生労働省；“平成 16 年国民健康・栄養調査報告”，（平成 18 年 9 月）。
- 19) B.A.Napier, W.E.Kennedy Jr., et al. : “Assessment of effectiveness of Geologic Isolation Systems”, PNL-3209, 1980.
- 20) 厚生労働省；“平成 15 年国民健康・栄養調査報告”，（平成 17 年 8 月）。
- 21) 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。
- 22) ICRP : “Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection : Reference Values”, ICRP Publication 89, 2002.
- 23) IAEA : “Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Temperate Environments”, IAEA Technical Reports Series No.364 (1994).
- 24) IAEA : “Derivation of Activity Limits for the Disposal of Radioactive Waste in Near Surface Disposal Facilities”, IAEA-TECDOC-1380(2003).



- 25) IAEA : “Generic of Models and Parameters for Assessing the Environmental Transfer of Radionuclides from Routine Releases”, IAEA Safety Series No.57(1985).
- 26) ICRP : “Dose Coefficients for Intakes of Radionuclides by Workers” , ICRP Publication 68 (1994).
- 27) 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).
- 28) 佐々木 利久他, ; “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 (受託研究)”, JAEA-Data/Code 2008-003, (2008), 29p.
- 29) 武田 聖司他, ; “TRU 核種を含む放射性廃棄物及びウラン廃棄物のトレンチに対する濃度上限値の評価 (受託研究)”, JAEA-Research 2008-044, (2008), 64p.

表 3-1 基準線量相当濃度の評価シナリオ

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	備考		
地下水移行シナリオ	河川水利用経路	河川水	飲料水利用	飲料水摂取・内部			
			灌漑水利用	農耕業者	土壌直接線・外部		
		飼育水利用	農作物消費者	塵埃吸入・内部			
		河川産物消費	畜産物消費者	農作物摂取・内部	米、葉菜、非葉菜、果実		
			河川産物消費者	畜産物摂取・内部	牛肉、豚肉、鶏肉、鶏卵、牛乳		
			建設作業	河川産物摂取・内部	魚、無脊椎動物		
	河川岸建設作業経路 河川岸居住経路 河川岸農耕経路	河川岸	建設作業	建設業者	土壌直接線・外部		
			居住	居住者	塵埃吸入・内部		
		河川岸農耕経路	河川岸	農耕作業	農耕業者	土壌直接線・外部	
				農作物消費	農作物消費者	塵埃吸入・内部	
			河川岸	農作物消費	農作物消費者	農作物摂取・内部	果実、葉菜、非葉菜
				畜産物消費	畜産物消費者	畜産物摂取・内部	牛肉、豚肉、鶏肉、鶏卵、牛乳

表 3-2 処分施設に係るパラメータ

パラメータ名	単位	値	根拠
施設形状	mL×mW×mH	250×250×4	高さは概念設計に基づき 4m とする。長さとは幅は「廃棄体量」と「廃棄体量の処分場に対する割合」から算出。
廃棄物の初期濃度	Bq g <sup>-1</sup>	1	放射能濃度単位として設定
廃棄体量	m <sup>3</sup>	76,000 <sup>*1</sup>	200L ドラム缶 38 万本
廃棄体層の高さ	m	1.2 <sup>*1</sup>	放射性廃棄物処分量の処分場容量に対する割合から算定
放射性廃棄物処分量の処分場容量に対する割合	—	0.3 <sup>*1</sup>	概念設計
廃棄体層の真密度	kg m <sup>-3</sup>	2,600	帯水層土壌の真密度と同じ
廃棄体層の空隙率	—	0.3	帯水層土壌の空隙率と同じ
廃棄体層における浸透水量	m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> y <sup>-1</sup>	0.55、0.001	評価ケースとして選定した値
充填材層の高さ	m	2.8	処分施設の高さ－廃棄物層の高さ
充填材層の真密度	kg m <sup>-3</sup>	2,600	帯水層土壌の真密度と同じ
充填材層の空隙率	—	0.3	帯水層土壌の空隙率と同じ
充填材層における浸透水量	m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> y <sup>-1</sup>	0.55、0.001	評価ケースとして選定した値

\*1：処分施設の大きさ、廃棄体量から放射性廃棄物処分量の処分場容量に対する割合は、0.304 となるが、丸めて 0.3 として設定した。そのため、モデル上は廃棄体層の領域は、75,000m<sup>3</sup> として設定した。

表 3-3 帯水層における移行に係るパラメータ

パラメータ名	単位	値	根拠
河川までの距離	m	100	概念設計
河川水流量	m <sup>3</sup> y <sup>-1</sup>	1.0×10 <sup>8</sup>	概念設計
帯水層における地下水実流速	m y <sup>-1</sup>	1,217	新版地下水調査法 <sup>13)</sup> (ダルシー流速 = 1 m/d)
帯水層の真密度	kg m <sup>-3</sup>	2,600	土質工学ハンドブック <sup>14)</sup> : 砂
帯水層の空隙率	—	0.3	水理公式集 <sup>15)</sup> : 砂層の有効空隙率

表 3-4 生物圏及び人間活動に係るパラメータ (その1)

シナリオ	パラメータ名	単位	決定値	根拠
河川水利用シナリオ	河川への地下水流入地点から着目地点までの移動時間	d	0	保守的に0日を設定
河川水利用シナリオ～飲料水利用者	河川水飲用量	m <sup>3</sup> y <sup>-1</sup>	0.6	IAEA SRS No.19 <sup>16)</sup>
河川水利用シナリオ～農作物消費者 河川岸利用シナリオ～農作物消費者	農作物年間摂取量	米	71	主な原子炉施設におけるクリアランスレベルについて <sup>11)</sup> の値を引用(「平成8年版 国民栄養の現状」 <sup>17)</sup> に基づいた平均的な値。ただし、葉菜、非葉菜、果実は汚染率を1/2として選定。)
		葉菜	12	
		非葉菜	45	
		果実	22	
河川水利用シナリオ～農作物消費者	農作物年間摂取量の摂取割合(市場希釈係数)	米	1	—
		葉菜	1	—
		非葉菜	1	—
		果実	1	—
河川水利用シナリオ～農作物消費者	農作物根からの放射性核種の吸収割合	—	1	本評価では客土無しのため1とする。
河川水利用シナリオ～農作物消費者	灌漑水量	m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> y <sup>-1</sup>	2.4	
河川水利用シナリオ～農作物消費者	灌漑水量	m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> y <sup>-1</sup>	1.2	主な原子炉施設におけるクリアランスレベルについて <sup>11)</sup>
河川水利用シナリオ～農作物消費者	土壌水分飽和度	—	1.0	
河川水利用シナリオ～農作物消費者	土壌水分飽和度	—	0.2	
河川水利用シナリオ～農作物消費者 河川岸利用シナリオ～農作物消費者	灌漑浸透水量	m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> y <sup>-1</sup>	0.4	
	灌漑土壌：真密度	kg m <sup>-3</sup>	2,600	
	灌漑土壌：空隙率	—	0.3	
	実効土壌深さ	m	0.15	
	放射性核種の土壌残留係数	—	1	

表 3-5 生物圏及び人間活動に係るパラメータ (その2)

シナリオ	パラメータ名	単位	値	根拠	
河川水利用シナリオ～農作物消費者	農作物(葉菜)の栽培密度	kg m <sup>-2</sup>	2.3	主な原子炉施設におけるクリアランスレベルについて <sup>1)</sup>	
	核種の農作物(葉菜)表面への沈着割合	—	1		
	灌漑水年間生育期間	d y <sup>-1</sup>	60		
	weathering 効果による植物表面沈着核種の除去係数	y <sup>-1</sup>	18.07		
	農耕作業時のダスト濃度	g m <sup>-3</sup>	5.0E-04		
河川水利用シナリオ～農耕作業者 河川岸利用シナリオ～農耕作業者	農耕作業者の呼吸量	m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	1.2	主な原子炉施設におけるクリアランスレベルについて <sup>1)</sup>	
	農耕作業時の遮蔽係数	—	1		
	農耕作業時の年間作業時間	h y <sup>-1</sup>	500		
河川水利用シナリオ～畜産物消費者 河川岸利用シナリオ～畜産物消費者	畜産物年間摂取量	牛乳	L y <sup>-1</sup>	38	原子力学会標準 <sup>2)</sup> で設定されている値(平成16年国民健康・栄養調査報告 <sup>18)</sup> )
		牛肉	kg y <sup>-1</sup>	6	
		豚肉	kg y <sup>-1</sup>	12	
		鶏肉	kg y <sup>-1</sup>	7	
		鶏卵	kg y <sup>-1</sup>	13	
河川水利用シナリオ～畜産物消費者	家畜の飼育水摂取量	乳牛	L d <sup>-1</sup>	60	IAEA SRS No.19
		肉牛	L d <sup>-1</sup>	40	IAEA SRS No.19
		豚	L d <sup>-1</sup>	10	PNL-3209
		鶏	L d <sup>-1</sup>	0.3	PNL-3209
河川水利用シナリオ～河川産物消費者	河川産物の年間摂取量	魚類	kg y <sup>-1</sup>	1.6	TRU 核種を含む放射性廃棄物及びびウラン廃棄物のトレンチに対する濃度上限値の評価 <sup>29)</sup> で設定されている値(平成15年度「国民健康・栄養調査報告」 <sup>20)</sup> の魚介類消費量(1日あたり86.7g)から、保守的に半分が河川産物として摂取するとし、汚染された河川産物以外の摂取と食習慣の変動を考慮して0.1を乗じた値を淡水産物の摂取量として設定。(86.7g×0.5×365日×0.1=1.582kg/y)
		無脊椎	kg y <sup>-1</sup>	0.25	

表 3-6 生物圏及び人間活動に係るパラメータ (その3)

シナリオ	パラメータ名	単位	値	根拠
河川岸利用シナリオ共通	汚染土壌混合割合	—	1	保守的に1に設定
	河川岸土壌：真密度	kg m <sup>-3</sup>	2,600	帯水層土壌と同じとした。
	河川岸土壌：空隙率	—	0.3	帯水層土壌と同じとした。
	建設作業による年間作業時間	h y <sup>-1</sup>	500	IAEA TECDOC-401 <sup>12)</sup>
河川岸利用シナリオ ～建設業者	建設作業時の遮蔽係数	—	0.5	第3次中間報告書 <sup>21)</sup>
	建設作業時のダスト濃度	g m <sup>-3</sup>	5.0E-04	第3次中間報告書 <sup>21)</sup>
	建設業者者の呼吸量	m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	1.2	ICRP Pub.89 <sup>22)</sup>
	居住時間	h y <sup>-1</sup>	8,760	保守的に1年間全て
河川岸利用シナリオ ～居住者	居住時の遮蔽係数	—	0.2	第3次中間報告書を踏襲
	居住時のダスト濃度	g m <sup>-3</sup>	6.0E-06	IAEA TECDOC-401 <sup>12)</sup>
	居住者の呼吸量	m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	0.93	ICRP Pub.89 <sup>22)</sup>
			0	米は対象外とする
河川岸シナリオ ～農作物消費者	農作物年間摂取量の摂取割合 (市場希釈係数)	米	—	米は対象外とする
		葉菜	—	保守的に1とする
		非葉菜	—	保守的に1とする
		果実	—	保守的に1とする
河川岸利用シナリオ ～畜産物消費者	家畜の飼料摂取量	乳牛	kg-dry d <sup>-1</sup>	IAEA SRS No.19 <sup>16)</sup>
		肉牛	kg-dry d <sup>-1</sup>	IAEA SRS No.19 <sup>16)</sup>
		豚	kg-dry d <sup>-1</sup>	IAEA TRS No.364 <sup>23)</sup>
		鶏	kg-dry d <sup>-1</sup>	IAEA TRS No.364 <sup>23)</sup>
				0.07

表 3-7 元素依存パラメータ：分配係数

元素	分配係数 ( $m^3 kg^{-1}$ )							
	充填材層		帯水層土壌		農耕土壌		河川岸土壌	
	値	根拠	値	根拠	値	根拠	値	根拠
Sr	1.3E-02	IAEA TRS No.364 <sup>23)</sup> (砂)	1.3E-02	IAEA TRS No.364 <sup>23)</sup> (砂)	1.5E-01	IAEA TRS No.364 <sup>23)</sup> (有機土)	1.3E-02	IAEA TRS No.364 <sup>23)</sup> (砂)
	2.7E-01	IAEA TRS No.364 <sup>23)</sup> (砂)	2.7E-01	IAEA TRS No.364 <sup>23)</sup> (砂)	2.7E-01	IAEA TRS No.364 <sup>23)</sup> (有機土)	2.7E-01	IAEA TRS No.364 <sup>23)</sup> (砂)

表 3-8 元素依存パラメータ：土壌から農作物への移行係数

元素	土壌から農作物への移行係数					
	米		葉菜・非葉菜・果実		飼料	
	値	根拠	値	根拠	値	根拠
Sr	8.0E-02	IAEA-TECDOC-1380 <sup>24)</sup>	3.0E+00	IAEA-TECDOC-1380 <sup>24)</sup>	1.0E+01	IAEA SRS No.19 <sup>16)</sup>
	2.0E-02	IAEA-TECDOC-1380 <sup>24)</sup>	3.0E-02	IAEA-TECDOC-1380 <sup>24)</sup>	1.0E+00	IAEA SRS No.19 <sup>16)</sup>

表 3-9 元素依存パラメータ：飼料・飼育水からの畜産物への移行係数 (その 1)

元素	飼料・飼育水から畜産物への移行係数					
	牛乳 ( $dL^{-1}$ )		牛肉 ( $d kg^{-1}$ )		豚肉 ( $d kg^{-1}$ )	
	値	根拠	値	根拠	値	根拠
Sr	2.8E-03	IAEA-TECDOC-1380 <sup>24)</sup>	1.0E-02	IAEA SRS No.19 <sup>16)</sup>	4.0E-02	IAEA TRS No.364 <sup>23)</sup>
	7.9E-03	IAEA-TECDOC-1380 <sup>24)</sup>	5.0E-02	IAEA SRS No.19 <sup>16)</sup>	2.4E-01	IAEA TRS No.364 <sup>23)</sup>



表 3-10 元素依存パラメータ：飼料・飼育水からの畜産物への移行係数（その2）

元素	飼料・飼育水から畜産物への移行係数			
	鶏肉 ( $\text{d kg}^{-1}$ )		鶏卵 ( $\text{d kg}^{-1}$ )	
	値	根拠	値	根拠
Sr	0.08	IAEA TRS No.364 <sup>23)</sup>	0.2	IAEA TRS No.364 <sup>23)</sup>
Cs	10	IAEA TRS No.364 <sup>23)</sup>	0.4	IAEA TRS No.364 <sup>23)</sup>

表 3-11 元素依存パラメータ：河川産物への濃縮係数

元素	河川産物への濃縮係数			
	魚類 ( $\text{L kg}^{-1}$ )		無脊椎動物 ( $\text{L kg}^{-1}$ )	
	値	根拠	値	根拠
Sr	6.0E+01	IAEA-TECDOC-1380 <sup>24)</sup>	3.0E+02	IAEA S.S. No.57 <sup>25)</sup>
Cs	2.0E+03	IAEA-TECDOC-1380 <sup>24)</sup>	1.0E+03	IAEA S.S. No.57 <sup>25)</sup>

表 3-12 核種依存パラメータ

核種	半減期 (y)	内部被ばく線量換算係数 ( $\text{Sv Bq}^{-1}$ )			外部被ばく線量 換算係数 ( $\mu\text{Sv Bq}^{-1} / (\text{Bq g}^{-1})$ )	放射平衡を仮定 した子孫核種
		作業員 <sup>26)</sup>	居住者 <sup>27)</sup>			
		吸入	吸入	経口	建設作業員・ 居住者・ 農耕作業員 <sup>28)</sup>	
Sr-90	2.9E+01	7.9E-08	3.8E-08	3.1E-08	2.2E-09	Y-90
Cs-134	2.1E+00	9.6E-09	6.6E-09	1.9E-08	4.7E-01	—
Cs-137	3.0E+01	6.7E-09	4.6E-09	1.3E-08	1.7E-01	Ba-137m

表 3-13 評価ケース毎の廃棄体層の分配係数の設定

ケース番号	1	2	3
廃棄体層分配係数 ( $m^3kg^{-1}$ )	Sr	0.01	0.1
	Cs	0.1	1
(備考) 表 3-7 より： 充填材層分配係数 ( $m^3kg^{-1}$ )	Sr	1.3E-02	
	Cs	2.7E-01	

表 3-14 評価ケース毎の廃棄体層の浸透水量の設定

ケース番号	a	b
浸透水量( $m/y$ )	0.55	0.001

表 3-15 設定した評価ケースの種類

ケース番号	1-a	2-a	3-a	1-b	2-b	3-b
廃棄体層からの溶 出率 ( $y^{-1}$ )	Sr	$2.2 \times 10^{-1}$	$2.5 \times 10^{-2}$	$2.5 \times 10^{-3}$	$3.9 \times 10^{-4}$	$4.5 \times 10^{-5}$
	Cs	$2.5 \times 10^{-2}$	$2.5 \times 10^{-3}$	$2.5 \times 10^{-4}$	$4.5 \times 10^{-5}$	$4.6 \times 10^{-6}$
廃棄体層分配係数 ( $m^3kg^{-1}$ )	Sr	0.001	0.01	0.1	0.001	0.01
	Cs	0.01	0.1	1	0.01	0.1
浸透水量( $m/y$ )	0.55			0.001		

表 3-16 評価ケース毎の廃棄体層の分配係数の設定 (分配係数同一条件)

ケース番号		4	5
廃棄体層分配係数 ( $m^3kg^{-1}$ )	Sr	0.001	0.01
	Cs	0.01	0.1
充填材層分配係数 ( $m^3kg^{-1}$ )	Sr	0.001	0.01
	Cs	0.01	0.1

表 3-17 設定した評価ケースの種類 (分配係数同一条件)

ケース番号	4-a	5-a	4-b	5-b
廃棄体層からの溶出率 ( $y^{-1}$ )	Sr	$2.2 \times 10^{-1}$	$3.9 \times 10^{-4}$	$4.5 \times 10^{-5}$
	Cs	$2.5 \times 10^{-2}$	$4.5 \times 10^{-5}$	$4.6 \times 10^{-6}$
廃棄体層及び充填材層 分配係数 ( $m^3kg^{-1}$ )	Sr	0.001	0.001	0.01
	Cs	0.01	0.1	0.1
浸透水量( $m/y$ )	0.55		0.001	

表 4-1 溶出モデル：単位放射能濃度あたりの最大被ばく線量率  
(埋設処分後 (0 年)からの最大値)

単位：(μSv y<sup>-1</sup>) per (Bq g<sup>-1</sup>)

核種	ケース番号	河川水利用経路						河川岸建設作業経路		河川岸居住経路		河川岸農耕経路			
		飲料水利用者 経口摂取	農耕 作業者	農作物 消費者	経口摂取	畜産物 消費者	河川産物 消費者	建設 作業者		居住者		農耕 作業者		農作物 消費者	畜産物 消費者
								外部	吸入	外部	吸入	外部	吸入		
Sr-90	1-a	9.0E-02	4.0E-10	8.6E-06	1.8E+00	2.2E-03	2.6E-02	3.5E-11	1.5E-06	2.5E-10	1.2E-07	7.0E-11	1.5E-06	4.7E-01	7.5E-02
	2-a	3.3E-02	1.7E-10	3.7E-06	8.2E-01	8.1E-04	9.5E-03	1.3E-11	5.6E-07	9.1E-11	4.4E-08	2.6E-11	5.6E-07	1.7E-01	2.8E-02
	3-a	4.6E-03	2.5E-11	5.3E-07	1.2E-01	1.1E-04	1.3E-03	1.8E-12	7.8E-08	1.3E-11	6.1E-09	3.6E-12	7.8E-08	2.4E-02	3.9E-03
	1-b	1.6E-06	-	1.8E-10	4.2E-05	3.8E-08	4.5E-07	-	2.7E-11	-	2.1E-12	-	2.7E-11	8.2E-06	1.3E-06
	2-b	1.8E-07	-	2.1E-11	4.9E-06	4.5E-09	5.2E-08	-	3.1E-12	-	2.4E-13	-	3.1E-12	9.6E-07	1.5E-07
	3-b	1.9E-08	-	2.2E-12	5.0E-07	4.6E-10	5.4E-09	-	3.2E-13	-	-	-	3.2E-13	9.8E-08	1.6E-08
Cs-134	1-a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2-a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3-a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1-b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2-b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3-b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cs-137	1-a	4.1E-06	6.1E-06	1.4E-10	4.9E-06	5.6E-07	2.4E-05	6.0E-06	2.9E-10	4.2E-05	3.2E-11	1.2E-05	2.9E-10	4.4E-06	3.8E-05
	2-a	6.6E-07	9.9E-07	2.3E-11	8.0E-07	9.0E-08	3.8E-06	9.7E-07	4.6E-11	6.8E-06	5.2E-12	1.9E-06	4.6E-11	7.1E-07	6.1E-06
	3-a	7.0E-08	1.1E-07	2.5E-12	8.6E-08	9.6E-09	4.1E-07	1.0E-07	4.9E-12	7.3E-07	5.5E-13	2.1E-07	4.9E-12	7.5E-08	6.5E-07
	1-b	2.3E-11	3.5E-11	-	2.8E-11	3.2E-12	1.3E-10	3.4E-11	-	2.4E-10	-	6.9E-11	-	2.5E-11	2.2E-10
	2-b	2.4E-12	3.6E-12	-	2.9E-12	3.2E-13	1.4E-11	3.5E-12	-	2.5E-11	-	7.0E-12	-	2.5E-12	2.2E-11
	3-b	2.4E-13	3.6E-13	-	2.9E-13	-	1.4E-12	3.5E-13	-	2.5E-12	-	7.0E-13	-	2.5E-13	2.2E-12

※ 網掛けは決定経路であることを示す。

※ 「一」は最大被ばく線量率が1×10<sup>-13</sup> (μSv y<sup>-1</sup>) per (Bq g<sup>-1</sup>) 未満であることを示す。



表 4-3 分配平衡モデル：単位放射能濃度あたりの最大被ばく線量率  
(埋設処分後 (0 年)からの最大値)

単位：( $\mu\text{Sv y}^{-1}$ ) per ( $\text{Bq g}^{-1}$ )

核種	ケース 番号	河川水利用経路				河川岸建設作業経路		河川岸居住経路		河川岸農耕経路					
		飲料水 利用者 経口摂取	農耕 作業者 外部	農耕 作業者 吸入	農作物 消費者 経口摂取	畜産物 消費者 経口摂取	河川産物 消費者 経口摂取	建設 作業者 外部	建設 作業者 吸入	居住者 外部	居住者 吸入	農耕 作業者 外部	農耕 作業者 吸入	農作物 消費者 経口摂取	畜産物 消費者 経口摂取
Sr-90	4-a	5.8E-01	2.2E-09	4.8E-05	9.8E+00	1.4E-02	1.6E-01	2.3E-10	9.7E-06	1.6E-09	7.6E-07	4.5E-10	9.7E-06	3.0E+00	4.8E-01
	5-a	1.0E-01	4.2E-10	9.0E-06	1.9E+00	2.5E-03	2.9E-02	4.0E-11	1.7E-06	2.8E-10	1.3E-07	8.0E-11	1.7E-06	5.3E-01	8.5E-02
	4-b	1.7E-03	7.2E-12	1.6E-07	3.3E-02	4.2E-05	4.9E-04	6.7E-13	2.9E-08	4.7E-12	2.3E-09	1.3E-12	2.9E-08	8.9E-03	1.4E-03
	5-b	2.0E-04	8.3E-13	1.8E-08	3.8E-03	4.8E-06	5.6E-05	-	3.3E-09	5.4E-13	2.6E-10	1.5E-13	3.3E-09	1.0E-03	1.6E-04
Cs-134	4-a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5-a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4-b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5-b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cs-137	4-a	1.4E-04	2.0E-04	4.8E-09	1.6E-04	2.0E-05	8.3E-04	2.1E-04	1.0E-08	1.5E-03	1.1E-09	4.2E-04	1.0E-08	1.5E-04	1.3E-03
	5-a	1.7E-05	2.4E-05	5.7E-10	1.9E-05	2.3E-06	9.6E-05	2.5E-05	1.2E-09	1.7E-04	1.3E-10	4.9E-05	1.2E-09	1.8E-05	1.6E-04
	4-b	3.0E-07	4.3E-07	1.0E-11	3.5E-07	4.1E-08	1.7E-06	4.4E-07	2.1E-11	3.1E-06	2.4E-12	8.9E-07	2.1E-11	3.2E-07	2.8E-06
	5-b	3.1E-08	4.4E-08	1.0E-12	3.5E-08	4.2E-09	1.8E-07	4.5E-08	2.1E-12	3.2E-07	2.4E-13	9.0E-08	2.1E-12	3.3E-08	2.8E-07

※ 網掛けは決定経路であることを示す。

※ 「-」は最大被ばく線量率が  $1 \times 10^{-13}$  ( $\mu\text{Sv y}^{-1}$ ) per ( $\text{Bq g}^{-1}$ ) 未満であることを示す。

表 4-4 溶出モデル：基準線量相当濃度（基準線量  $10 \mu \text{Sv/y}$ ）

単位： $\text{Bq t}^{-1}$

核種	ケース番号	河川水利用経路						河川岸建設作業経路				河川岸居住経路				河川岸農耕経路			
		飲料水利用者	農耕業者		農作物消費者		畜産物消費者	河川産物消費者	建設業者		居住者		農耕業者		農作物消費者		畜産物消費者		
		経口摂取	外部	吸入	経口摂取	経口摂取	経口摂取	外部	吸入	外部	吸入	外部	吸入	外部	吸入	外部	吸入	外部	吸入
Sr-90	1-a	1.1E+08	2.5E+16	1.2E+12	5.4E+06	4.6E+09	3.9E+08	2.8E+17	6.6E+12	4.1E+16	8.4E+13	1.4E+17	6.6E+12	1.4E+17	6.6E+12	2.1E+07	1.3E+08		
	2-a	3.0E+08	5.9E+16	2.7E+12	1.2E+07	1.2E+10	1.1E+09	7.7E+17	1.8E+13	1.1E+17	2.3E+14	3.8E+17	1.8E+13	3.8E+17	1.8E+13	5.8E+07	3.5E+08		
	3-a	2.2E+09	4.1E+17	1.9E+13	8.3E+07	8.9E+10	7.6E+09	5.5E+18	1.3E+14	1.6E+15	1.6E+15	2.8E+18	1.3E+14	1.3E+14	1.3E+14	4.2E+08	2.6E+09		
	1-b	6.3E+12	-	5.4E+16	2.4E+11	2.6E+14	2.2E+13	-	3.8E+17	-	4.8E+18	-	3.8E+17	-	3.8E+17	1.2E+12	7.6E+12		
	2-b	5.4E+13	-	4.7E+17	2.0E+12	2.2E+15	1.9E+14	-	3.2E+18	-	4.1E+19	-	3.2E+18	-	3.2E+18	1.0E+13	6.6E+13		
	3-b	5.3E+14	-	4.6E+18	2.0E+13	2.2E+16	1.9E+15	-	3.2E+19	-	-	-	3.2E+19	-	3.2E+19	1.0E+14	6.2E+14		
Cs-134	1-a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	2-a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	3-a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	1-b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	2-b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	3-b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Cs-137	1-a	2.4E+12	1.7E+12	7.0E+16	2.1E+12	1.8E+13	4.2E+11	1.7E+12	3.5E+16	2.4E+11	3.1E+17	8.3E+11	3.5E+16	8.3E+11	3.5E+16	2.3E+12	2.6E+11		
	2-a	1.5E+13	1.0E+13	4.3E+17	1.2E+13	1.1E+14	2.6E+12	1.0E+13	2.2E+17	1.5E+12	1.9E+18	5.1E+12	2.2E+17	5.1E+12	2.2E+17	1.4E+13	1.6E+12		
	3-a	1.4E+14	9.5E+13	4.0E+18	1.2E+14	1.0E+15	2.5E+13	9.6E+13	2.0E+18	1.4E+13	1.8E+19	4.8E+13	2.0E+18	4.8E+13	2.0E+18	1.3E+14	1.5E+13		
	1-b	4.3E+17	2.9E+17	-	3.5E+17	3.2E+18	7.5E+16	2.9E+17	-	4.2E+16	-	1.5E+17	-	1.5E+17	-	4.0E+17	4.7E+16		
	2-b	4.2E+18	2.8E+18	-	3.5E+18	3.1E+19	7.3E+17	2.9E+18	-	4.1E+17	-	1.4E+18	-	1.4E+18	-	3.9E+18	4.5E+17		
	3-b	4.2E+19	2.8E+19	-	3.5E+19	-	7.3E+18	2.9E+19	-	4.1E+18	-	1.4E+19	-	1.4E+19	-	3.9E+19	4.5E+18		

※ 網掛けは決定経路であることを示す。

※ 「-」は基準線量相当濃度が  $1 \times 10^{20} \text{Bq t}^{-1}$  以上であることを示す。







表 4-7 溶出モデル：基準線量相当濃度（基準線量 300  $\mu$  Sv/y）

単位：Bq t<sup>-1</sup>

核種	ケース番号	河川水利用経路						河川岸建設作業経路		河川岸居住経路		河川岸農耕経路			
		飲料水利用者	農耕作業者	農作物消費者	畜産物消費者	河川産物消費者	建設作業者	外部	吸入	外部	吸入	外部	農耕作業者	農作物消費者	畜産物消費者
Sr-90	1-a	3.3E+09	7.5E+17	3.5E+13	1.7E+08	1.4E+11	8.6E+18	2.0E+14	1.2E+18	2.5E+15	4.3E+18	2.0E+14	6.4E+08	4.0E+09	
	2-a	9.1E+09	1.8E+18	8.1E+13	3.7E+08	3.7E+11	2.3E+19	5.4E+14	3.3E+18	6.8E+15	1.2E+19	5.4E+14	1.8E+09	1.1E+10	
	3-a	6.5E+10	1.2E+19	5.7E+14	2.5E+09	2.7E+12	-	3.8E+15	2.3E+19	4.9E+16	8.3E+19	3.8E+15	1.3E+10	7.8E+10	
	1-b	1.9E+14	-	1.7E+18	7.1E+12	7.9E+15	-	1.1E+19	-	-	-	1.1E+19	3.7E+13	2.3E+14	
	2-b	1.7E+15	-	1.4E+19	6.1E+13	6.7E+16	-	9.7E+19	-	-	-	9.7E+19	3.1E+14	2.0E+15	
	3-b	1.6E+16	-	-	6.0E+14	6.5E+17	-	-	-	-	-	-	3.1E+15	1.9E+16	
Cs-134	1-a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	2-a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	3-a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	1-b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	2-b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	3-b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cs-137	1-a	7.3E+13	4.9E+13	2.1E+18	6.1E+13	5.4E+14	5.0E+13	1.0E+18	7.1E+12	9.4E+18	2.5E+13	1.0E+18	6.8E+13	7.8E+12	
	2-a	4.5E+14	3.0E+14	1.3E+19	3.8E+14	3.3E+15	3.1E+14	6.5E+18	4.4E+13	5.8E+19	1.6E+14	6.5E+18	4.2E+14	4.9E+13	
	3-a	4.3E+15	2.7E+15	-	3.5E+15	3.1E+16	3.0E+15	6.1E+19	4.1E+14	-	1.4E+15	6.1E+19	4.0E+15	4.6E+14	
	1-b	1.3E+19	8.6E+18	-	1.1E+19	9.4E+19	8.8E+18	-	1.3E+18	-	4.3E+18	-	1.2E+19	1.4E+18	
	2-b	-	8.3E+19	-	-	-	8.6E+19	-	1.2E+19	-	4.3E+19	-	-	1.4E+19	
	3-b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

※ 網掛けは決定経路であることを示す。

※ 「-」は基準線量相当濃度が  $1 \times 10^{20}$  Bq t<sup>-1</sup> 以上であることを示す。

表 4-8 溶出モデル（廃棄体層と充填材層の分配係数を同一に設定）：基準線量相当濃度（基準線量 300  $\mu$  Sv/y）

単位：Bq t<sup>-1</sup>

核種	ケース 番号	河川水利用経路						河川岸建設作業経路				河川岸居住経路				河川岸農耕経路															
		飲料水 利用者		農耕 作業者		農作物 消費者		畜産物 消費者		河川産物 消費者		建設 作業者		居住者		農耕 作業者		農作物 消費者		畜産物 消費者											
		経口摂取	外部	吸入	経口摂取	外部	吸入	経口摂取	外部	吸入	経口摂取	外部	吸入	外部	吸入	外部	吸入	外部	吸入	外部	吸入	外部	吸入								
Sr-90	4-a	5.2E+08	1.3E+17	6.2E+12	3.0E+07	3.0E+07	2.2E+10	1.8E+09	1.3E+18	3.1E+13	1.9E+17	4.0E+14	6.7E+17	3.1E+13	1.0E+08	6.3E+08	7.2E+09	1.4E+18	6.6E+13	2.9E+08	2.9E+08	2.5E+10	1.8E+19	4.3E+14	2.6E+18	5.5E+15	9.2E+18	4.3E+14	1.4E+09	8.6E+09	
	4-b	1.7E+13	-	1.4E+17	6.3E+11	6.3E+11	6.9E+14	5.9E+13	-	1.0E+18	-	1.3E+19	-	1.0E+18	3.2E+12	2.0E+13	1.7E+13	-	1.4E+17	1.4E+17	6.3E+11	6.3E+11	5.9E+13	-	1.0E+18	3.2E+12	2.0E+13	1.7E+13	-	1.4E+17	1.4E+17
	5-b	1.3E+15	-	1.1E+19	4.7E+13	4.7E+13	5.2E+16	4.4E+15	-	7.5E+19	-	1.1E+19	-	7.5E+19	2.4E+14	1.5E+15	1.3E+15	-	1.1E+19	1.1E+19	4.7E+13	4.7E+13	4.4E+15	-	7.5E+19	2.4E+14	1.5E+15	1.3E+15	-	1.1E+19	1.1E+19
	4-a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cs-134	5-a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4-b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5-b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cs-137	4-a	3.5E+12	2.4E+12	1.0E+17	3.0E+12	3.0E+12	2.6E+13	6.0E+11	2.4E+12	5.0E+16	3.4E+11	4.5E+17	1.2E+12	5.0E+16	3.3E+12	3.7E+11	4.9E+17	1.1E+14	4.8E+18	1.4E+14	1.4E+14	1.3E+15	3.0E+13	1.2E+14	2.5E+18	2.2E+19	5.8E+13	2.5E+18	1.6E+14	1.8E+13	
	5-a	1.7E+14	1.1E+14	4.8E+18	1.4E+14	1.4E+14	1.3E+15	3.0E+13	1.2E+14	2.5E+18	1.7E+13	2.2E+19	5.8E+13	2.5E+18	1.6E+14	1.8E+13	4.9E+17	3.2E+17	-	4.0E+17	4.0E+17	3.6E+18	8.5E+16	3.3E+17	-	1.6E+17	-	4.5E+17	5.2E+16		
	4-b	4.9E+17	3.2E+17	-	4.0E+17	4.0E+17	3.6E+18	8.5E+16	3.3E+17	-	4.7E+16	-	1.6E+17	-	4.5E+17	5.2E+16	4.9E+17	3.2E+17	-	4.0E+17	4.0E+17	3.6E+18	8.5E+16	3.3E+17	-	1.6E+17	-	4.5E+17	5.2E+16		
	5-b	4.7E+19	3.1E+19	-	3.8E+19	3.8E+19	-	8.1E+18	8.1E+18	3.2E+19	4.5E+18	-	1.6E+19	-	4.4E+19	5.0E+18	4.7E+19	3.1E+19	-	3.8E+19	3.8E+19	-	8.1E+18	8.1E+18	3.2E+19	-	1.6E+19	-	4.4E+19	5.0E+18	

※ 網掛けは決定経路であることを示す。

※ 「-」は基準線量相当濃度が  $1 \times 10^{20}$  Bq t<sup>-1</sup> 以上であることを示す。

表 4-9 分配平衡モデル：基準線量相当濃度（基準線量 300  $\mu$  Sv/y）

単位：Bq t<sup>-1</sup>

核種	ケース番号	河川水利用経路						河川岸建設作業経路				河川岸居住経路				河川岸農耕経路			
		飲料水利用者		農耕作業者		農作物消費者		河川産物消費者		建設作業者		居住者		農耕作業者		農作物消費者		畜産物消費者	
		経口摂取	外部	吸入	経口摂取	外部	吸入	経口摂取	外部	吸入	外部	吸入	外部	吸入	外部	吸入	外部	吸入	外部
Sr-90	4-a	5.2E+08	1.3E+17	6.2E+12	3.1E+07	2.1E+10	1.8E+09	1.3E+18	3.1E+13	1.9E+17	4.0E+14	6.7E+17	3.1E+13	1.0E+08	6.2E+08				
	5-a	2.9E+09	7.2E+17	3.3E+13	1.6E+08	1.2E+11	1.0E+10	7.5E+18	1.7E+14	1.1E+18	2.2E+15	3.8E+18	1.7E+14	5.6E+08	3.5E+09				
	4-b	1.8E+11	4.2E+19	1.9E+15	9.0E+09	7.2E+12	6.1E+11	-	1.0E+16	6.4E+19	1.3E+17	-	1.0E+16	3.4E+10	2.1E+11				
	5-b	1.5E+12	-	1.7E+16	7.9E+10	6.3E+13	5.4E+12	-	9.1E+16	-	1.2E+18	-	9.1E+16	2.9E+11	1.8E+12				
	4-a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
Cs-134	5-a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
	4-b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
	5-b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
	4-a	2.1E+12	1.5E+12	6.3E+16	1.8E+12	1.5E+13	3.6E+11	1.4E+12	3.0E+16	2.0E+11	2.7E+17	7.1E+11	3.0E+16	2.0E+12	2.3E+11				
Cs-137	5-a	1.8E+13	1.3E+13	5.3E+17	1.6E+13	1.3E+14	3.1E+12	1.2E+13	2.6E+17	1.7E+12	2.3E+18	6.1E+12	2.6E+17	1.7E+13	1.9E+12				
	4-b	9.9E+14	6.9E+14	2.9E+19	8.6E+14	7.3E+15	1.7E+14	6.8E+14	1.4E+19	9.6E+13	-	3.4E+14	1.4E+19	1.1E+14					
	5-b	9.8E+15	6.8E+15	-	8.5E+15	7.2E+16	1.7E+15	6.7E+15	-	9.5E+14	-	3.3E+15	-	9.2E+15	1.1E+15				
	4-a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				

※ 網掛けは決定経路であることを示す。

※ 「-」は基準線量相当濃度が  $1 \times 10^{20}$  Bq t<sup>-1</sup> 以上であることを示す。

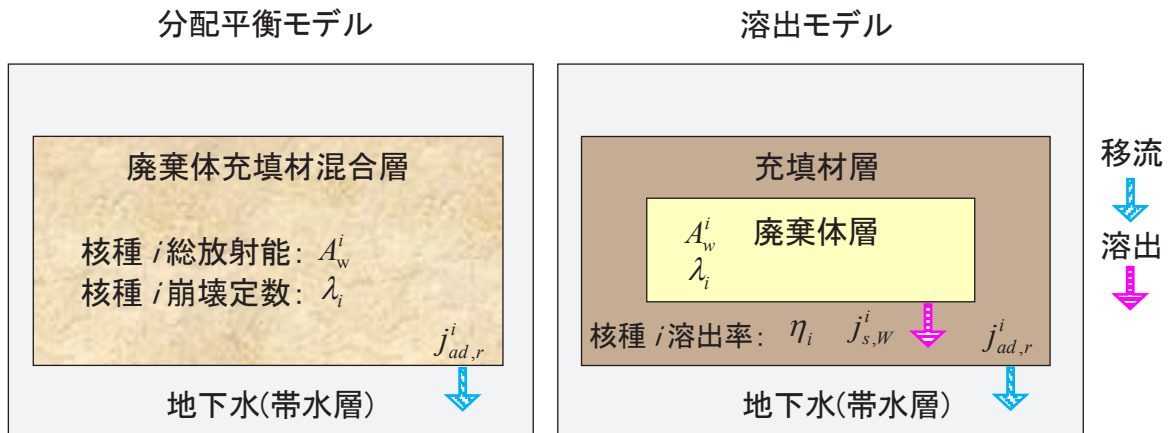


図 2-1 分配平衡モデル・溶出モデル概念図

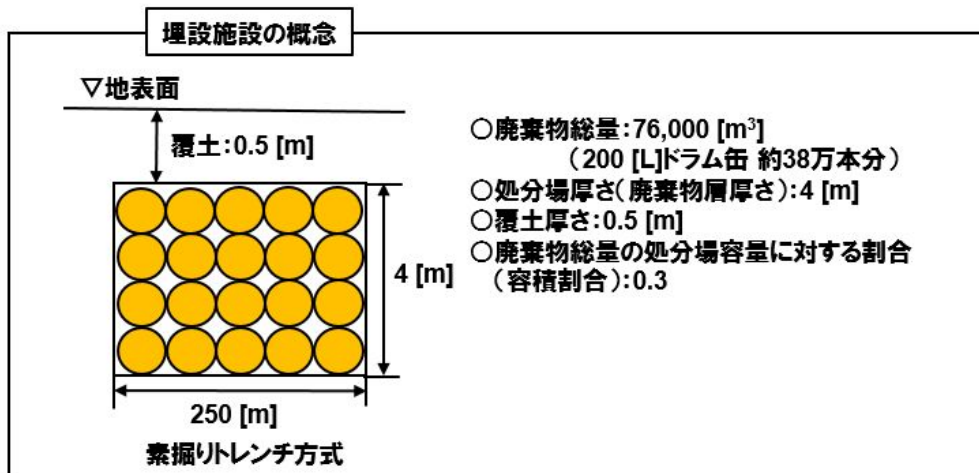


図 3-1 埋設施設概念図

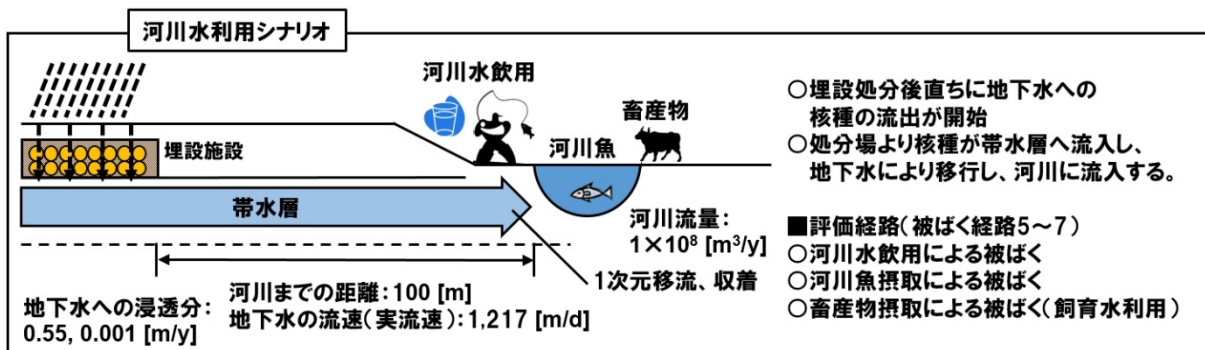


図 3-2 評価シナリオ概念図



図 3-3 評価経路概念図

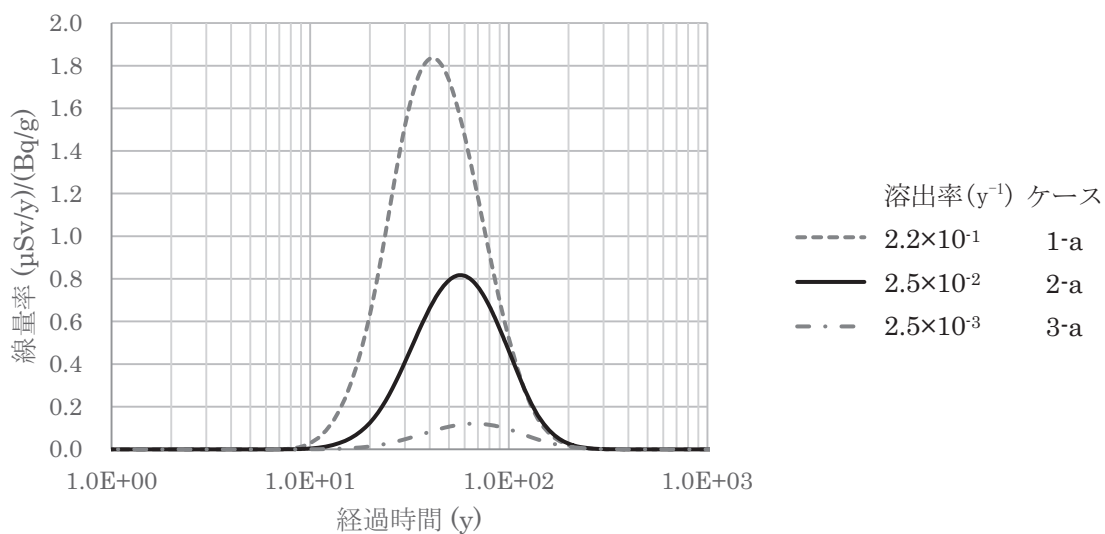


図 4-1 経過時間に対する単位放射能濃度あたりの線量率  
(溶出率比較, Sr-90, 浸透水量 0.55m/y)

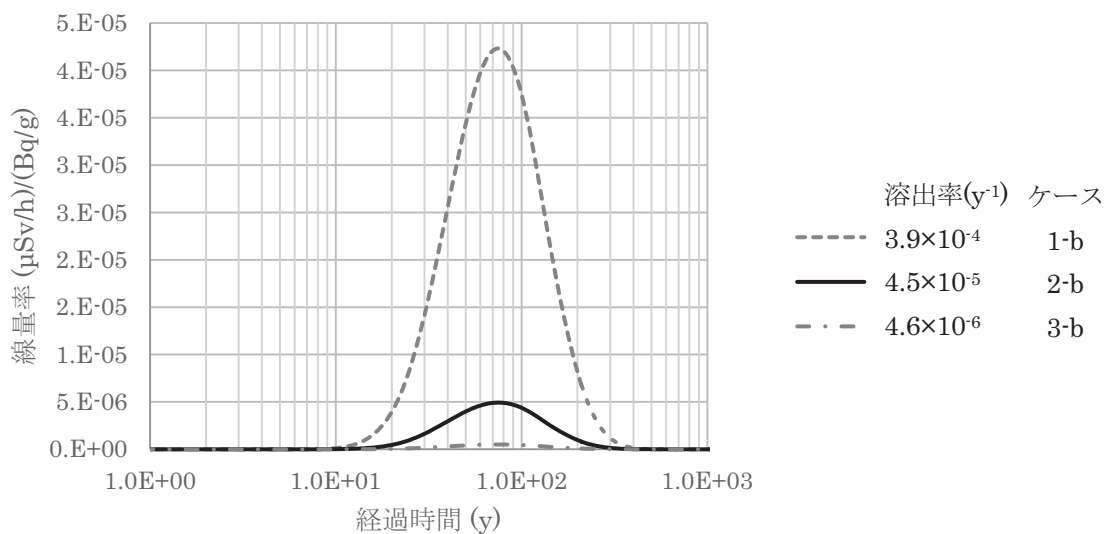


図 4-2 経過時間に対する単位放射能濃度あたりの線量率  
(溶出率比較, Sr-90, 浸透水量 0.001m/y)

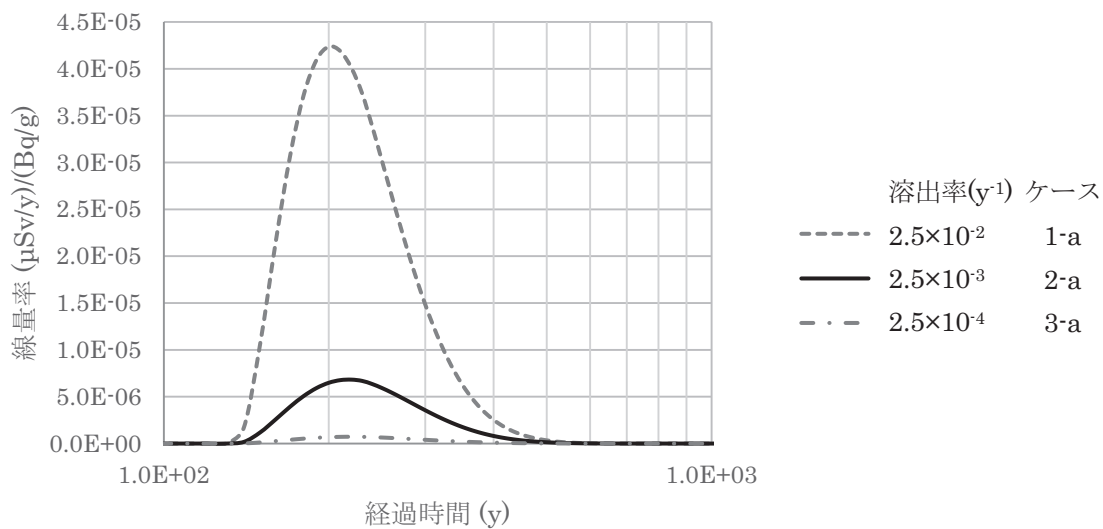


図 4-3 経過時間に対する単位放射能濃度あたりの線量率  
(溶出率比較, Cs-137, 浸透水量 0.55m/y)

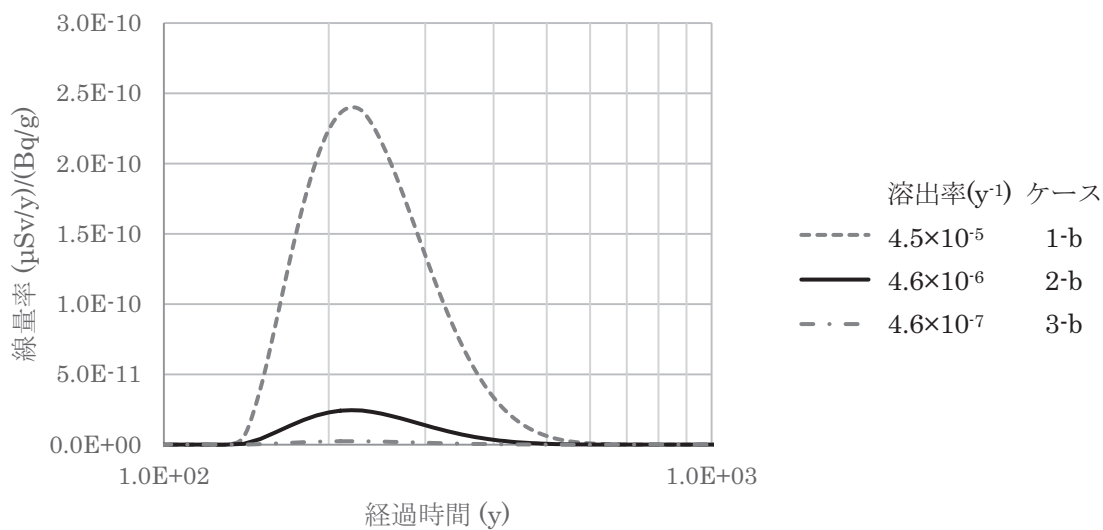


図 4-4 経過時間に対する単位放射能濃度あたりの線量率  
(溶出率比較, Cs-137, 浸透水量 0.001m/y)



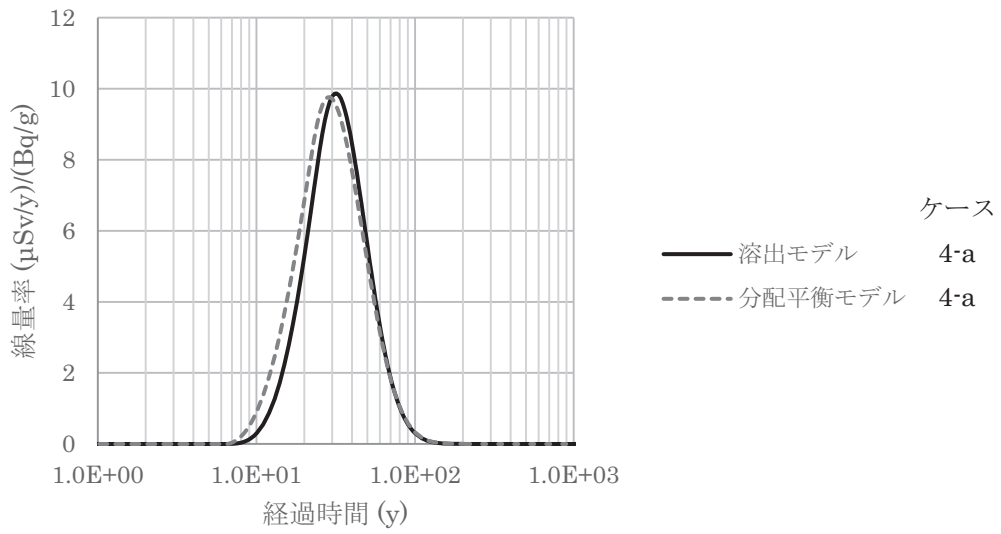


図 4-5 経過時間に対する単位放射能濃度あたりの線量率  
(モデル比較, Sr-90, 浸透水量 0.55m/y, 分配係数 0.001 m<sup>3</sup>/kg)

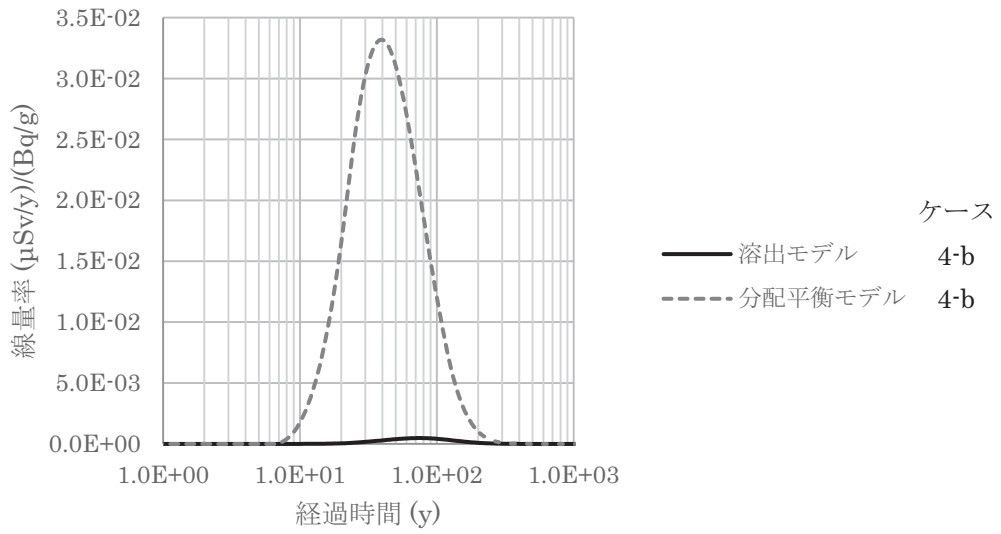


図 4-6 経過時間に対する単位放射能濃度あたりの線量率  
(モデル比較, Sr-90, 浸透水量 0.001m/y, 分配係数 0.001 m<sup>3</sup>/kg)

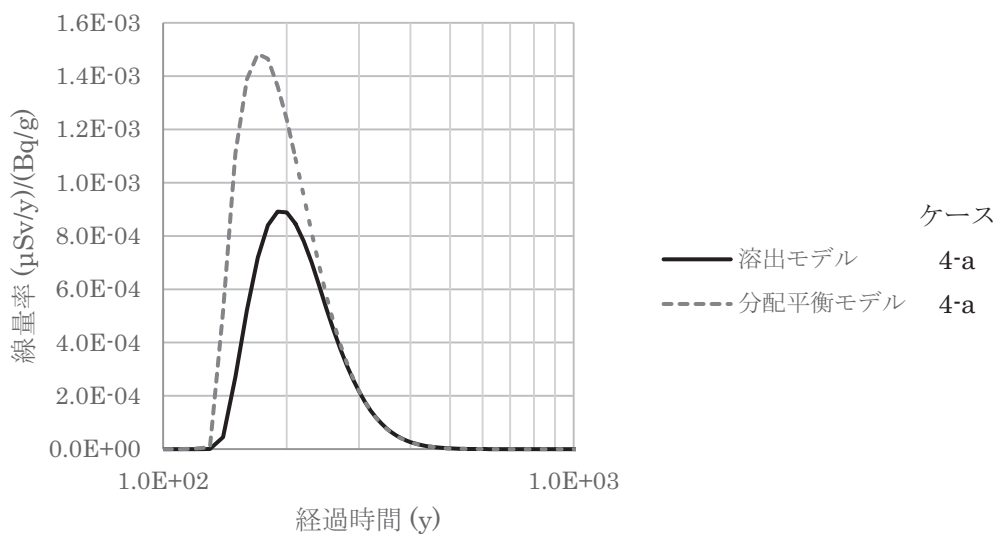


図 4-7 経過時間に対する単位放射能濃度あたりの線量率 (モデル比較, Cs-137, 浸透水量 0.55m/y, 分配係数 0.01 m<sup>3</sup>/kg)

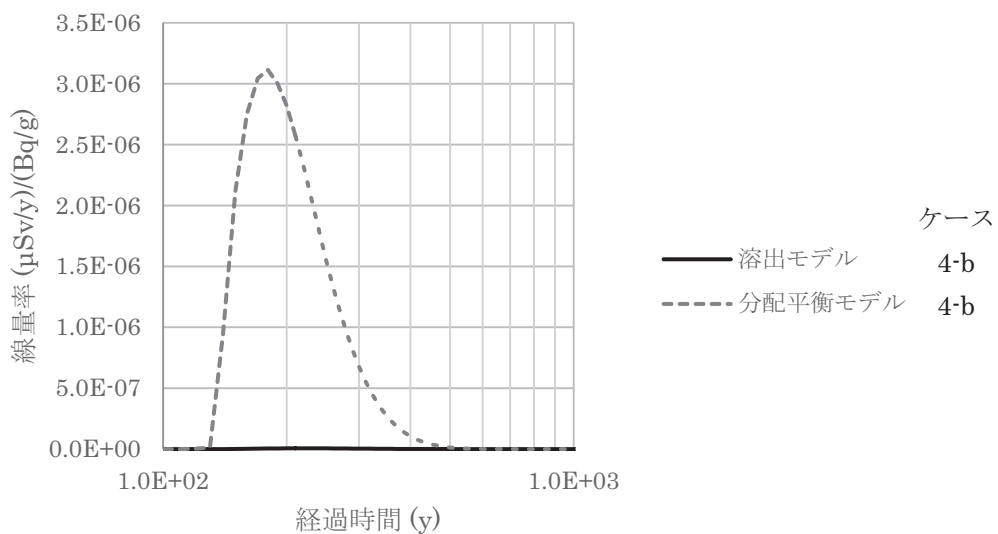


図 4-8 経過時間に対する単位放射能濃度あたりの線量率 (モデル比較, Cs-137, 浸透水量 0.001m/y, 分配係数 0.01 m<sup>3</sup>/kg)

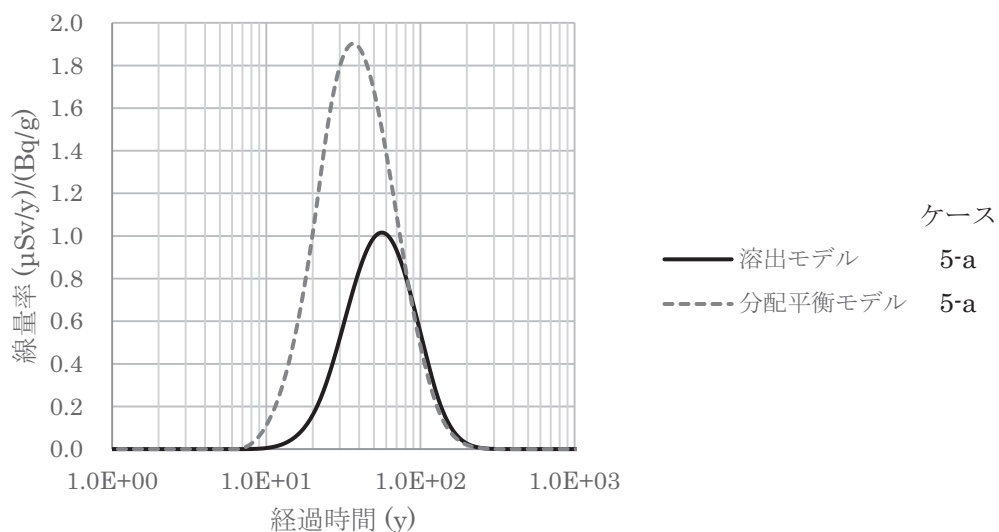


図 4-9 経過時間に対する単位放射能濃度あたりの線量率  
(モデル比較, Sr-90, 浸透水量 0.55m/y, 分配係数 0.01 m<sup>3</sup>/kg)

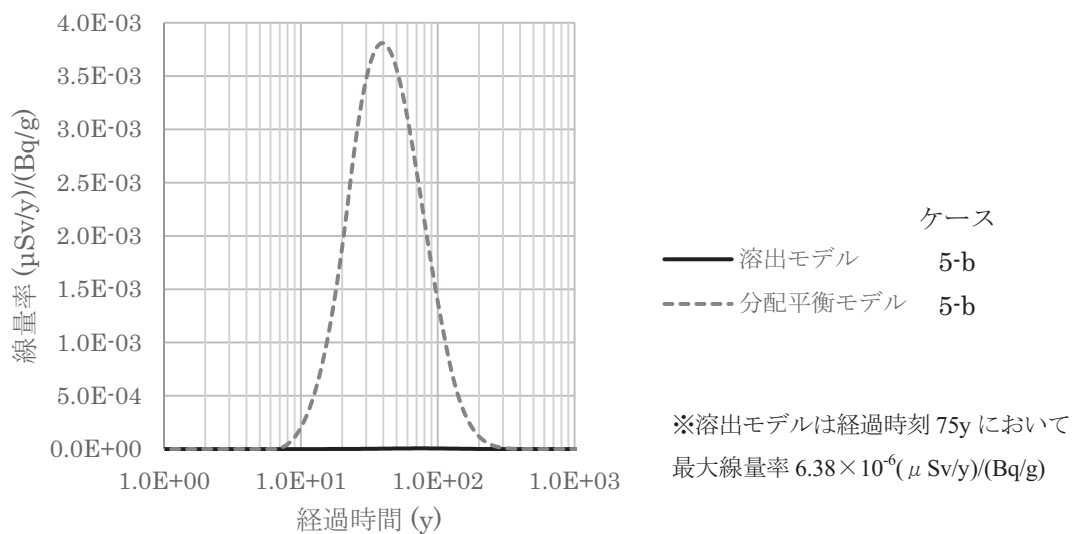


図 4-10 経過時間に対する単位放射能濃度あたりの線量率  
(モデル比較, Sr-90, 浸透水量 0.001m/y, 分配係数 0.01 m<sup>3</sup>/kg)

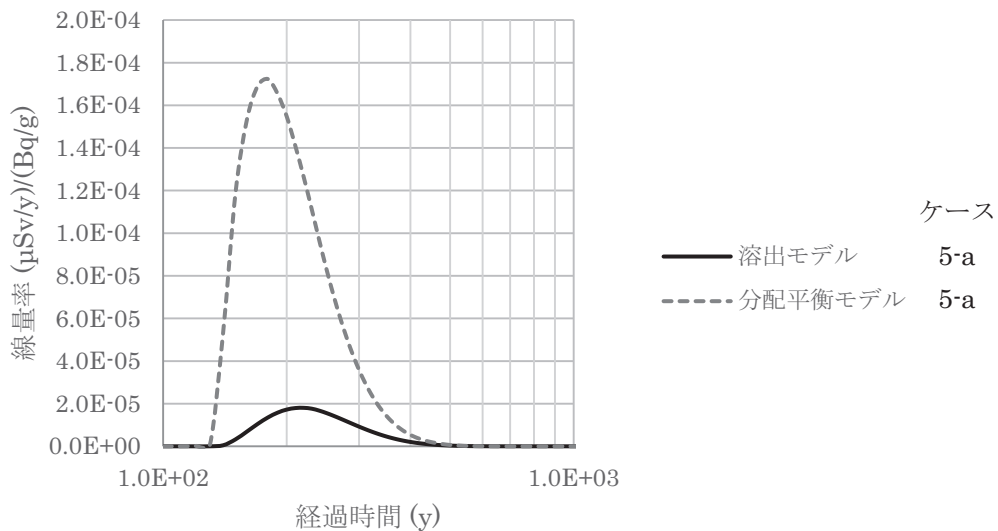


図 4-11 経過時間に対する単位放射能濃度あたりの線量率 (モデル比較, Cs-137, 浸透水量 0.55m/y, 分配係数 0.1 m<sup>3</sup>/kg)

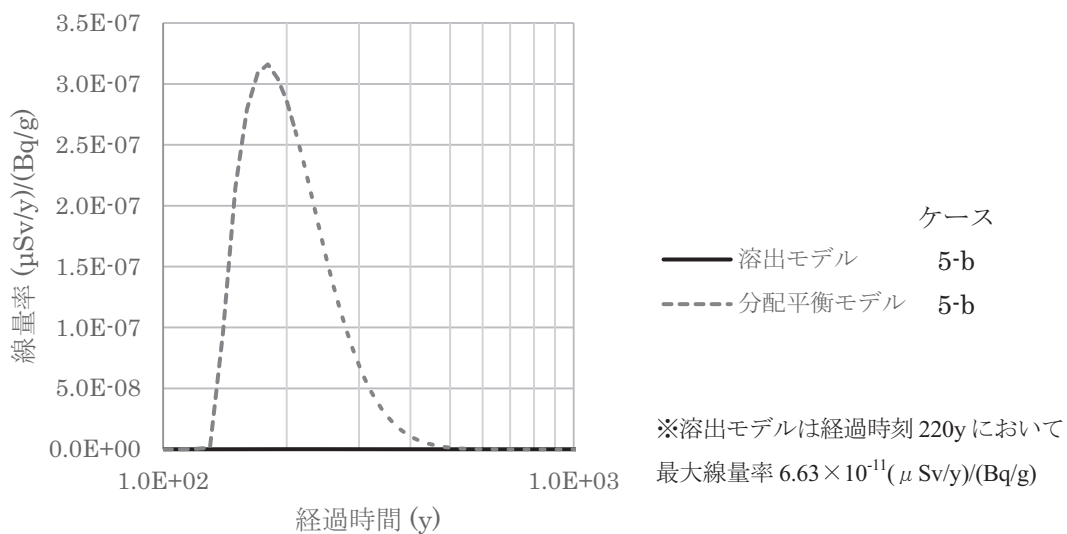


図 4-12 経過時間に対する単位放射能濃度あたりの線量率 (モデル比較, Cs-137, 浸透水量 0.001m/y, 分配係数 0.1 m<sup>3</sup>/kg)

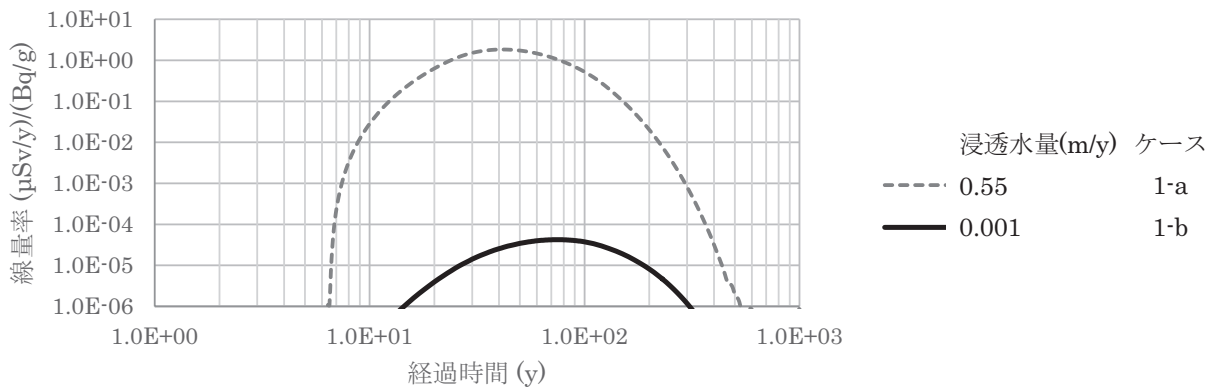


図 4-13 経過時間に対する単位放射能濃度あたりの線量率  
(浸透水量比較, Sr-90, 分配係数  $0.01\text{m}^3/\text{kg}$ )

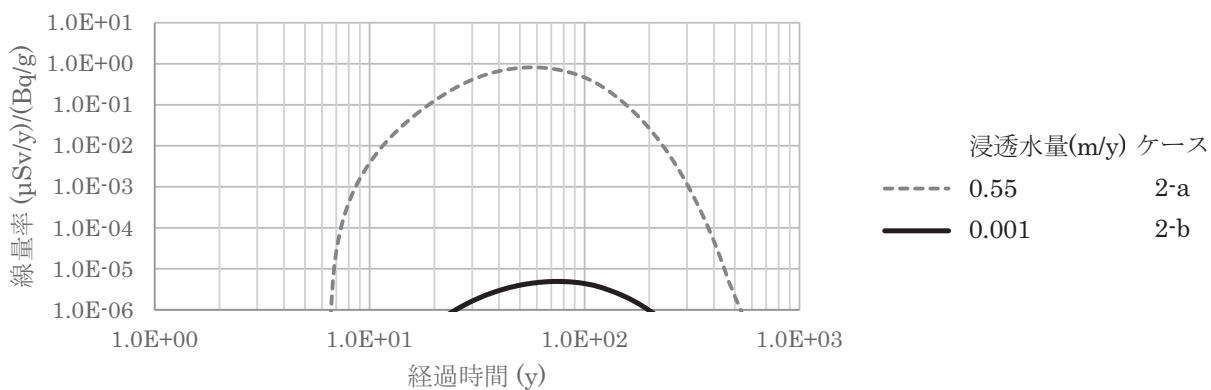


図 4-14 経過時間に対する単位放射能濃度あたりの線量率  
(浸透水量比較, Sr-90, 分配係数  $0.1\text{m}^3/\text{kg}$ )

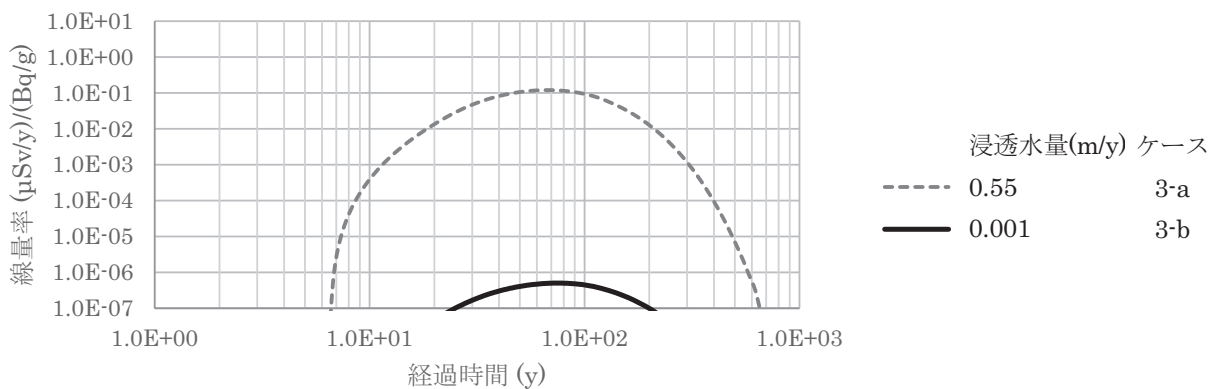


図 4-15 経過時間に対する単位放射能濃度あたりの線量率  
(浸透水量比較, Sr-90, 分配係数  $1.0\text{m}^3/\text{kg}$ )

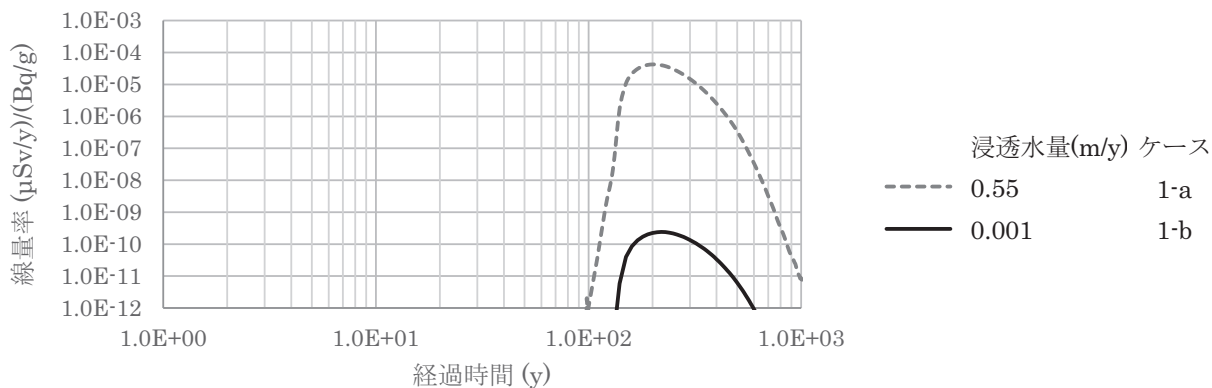


図 4-16 経過時間に対する単位放射能濃度あたりの線量率  
(浸透水量比較, Cs-137, 分配係数  $0.01\text{m}^3/\text{kg}$ )

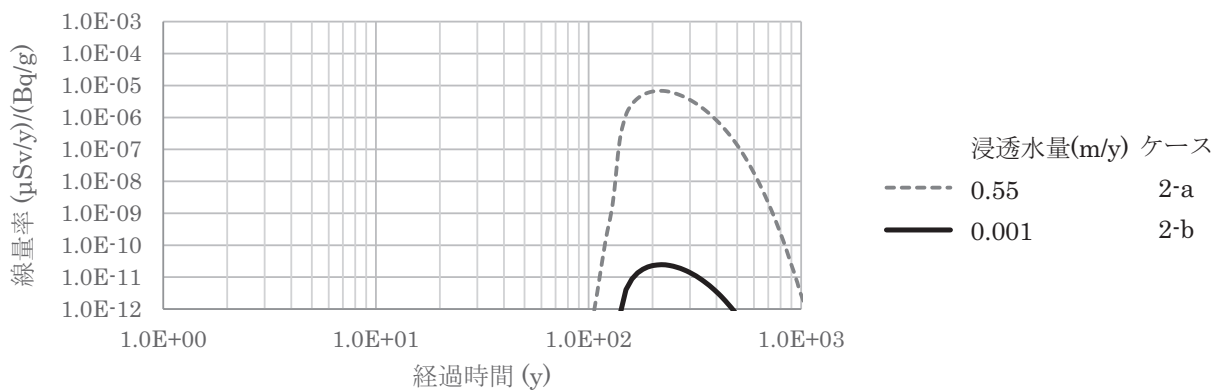


図 4-17 経過時間に対する単位放射能濃度あたりの線量率  
(浸透水量比較, Cs-137, 分配係数  $0.1\text{m}^3/\text{kg}$ )

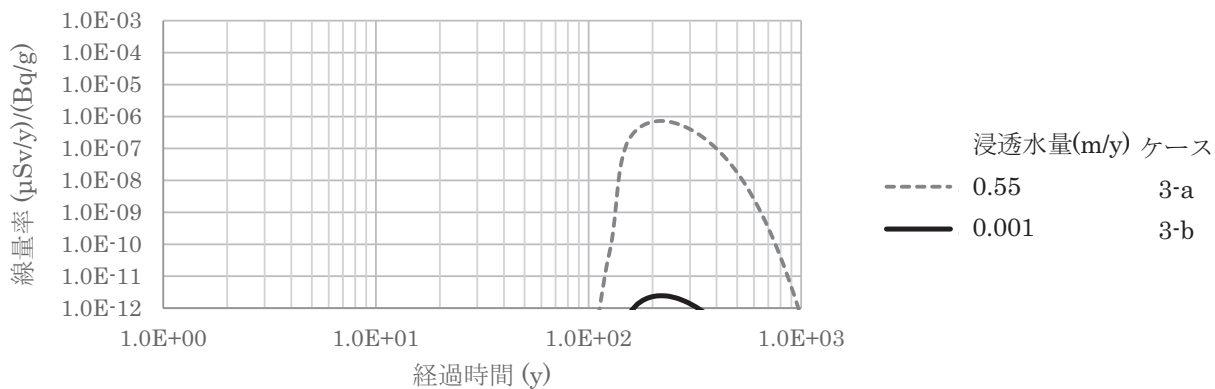


図 4-18 経過時間に対する単位放射能濃度あたりの線量率  
(浸透水量比較, Cs-137, 分配係数  $1.0\text{m}^3/\text{kg}$ )

# 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량	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組立単位	
	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>
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m <sup>2</sup>
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>
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 <sup>(a)</sup> , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m <sup>3</sup>
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/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 <sup>(b)</sup>	(数字の)	1
比透磁率 <sup>(b)</sup>	(数字の)	1

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

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン <sup>(b)</sup>	rad	1 <sup>(b)</sup>	m/m
立体角	ステラジアン <sup>(b)</sup>	sr <sup>(e)</sup>	1 <sup>(b)</sup>	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
周波数	ヘルツ <sup>(d)</sup>	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>
仕事率, 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 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	Vs	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup>
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 s <sup>-2</sup> A <sup>-2</sup>
セルシウス温度	セルシウス度 <sup>(e)</sup>	°C		K
光照射度	ルーメン	lm	cd sr <sup>(e)</sup>	cd
放射線量	グレイ	Gy	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
放射性核種の放射能 <sup>(f)</sup>	ベクレル <sup>(d)</sup>	Bq		s <sup>-1</sup>
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト <sup>(g)</sup>	Sv	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
酸素活性化	カタール	kat		s <sup>-1</sup> mol

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。  
 (b) ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。  
 (c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。  
 (d) ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。  
 (e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。  
 (f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。  
 (g) 単位シーベルト (PV, 2002, 70, 205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI組立単位		
	名称	記号	SI基本単位による表し方
粘力のモーメント	パスカル秒	Pa s	m <sup>-1</sup> kg s <sup>-1</sup>
表面張力	ニュートンメートル	N m	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup>
角加速度	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	ラジアン毎秒毎秒	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 s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg 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 s <sup>-3</sup> A <sup>-1</sup>
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m <sup>3</sup>	m <sup>-3</sup> s A
電表面電荷	クーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	m <sup>-2</sup> s A
電束密度, 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 kg 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 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 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
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	m <sup>2</sup> s <sup>-3</sup>
放射線強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m <sup>4</sup> m <sup>-2</sup> kg s <sup>-3</sup> = m <sup>2</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>2</sup> m <sup>-2</sup> kg s <sup>-3</sup> = kg s <sup>-3</sup>
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> mol

表5. SI接頭語

乗数	名称	記号	乗数	名称	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6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI単位による値
分	min	1 min=60 s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10 800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648 000) rad
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm <sup>2</sup> =10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>
リットル	L, l	1 L=1 l=1 dm <sup>3</sup> =10 <sup>3</sup> cm <sup>3</sup> =10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
トン	t	1 t=10 <sup>3</sup> kg

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

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

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

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

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI単位で表される数値
エルグ	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 <sup>-1</sup> =10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>
スチルブ	sb	1 sb=1cd cm <sup>-2</sup> =10 <sup>4</sup> cd m <sup>-2</sup>
フォト	ph	1 ph=1cd sr cm <sup>-2</sup> =10 <sup>4</sup> lx
ガリ	Gal	1 Gal=1cm s <sup>-2</sup> =10 <sup>-2</sup> ms <sup>-2</sup>
マクスウェル	Mx	1 Mx=1 G cm <sup>2</sup> =10 <sup>-8</sup> Wb
ガウス	G	1 G=1Mx cm <sup>-2</sup> =10 <sup>-4</sup> T
エルステッド <sup>(a)</sup>	Oe	1 Oe <sub>e</sub> =(10 <sup>3</sup> /4π)A m <sup>-1</sup>

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

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 <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
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 <sup>-9</sup> T
フェルミ	f	1 フェルミ=1 fm=10 <sup>-15</sup> m
メートル系カラット		1 メートル系カラット=0.2 g=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	1 cal=4.1858J (「15°C」カロリ), 4.1868J (「IT」カロリ), 4.184J (「熱化学」カロリ)
マイクロン	μ	1 μ=1μm=10 <sup>-6</sup> m

