

東濃鉾山安全性評価検討委員会（会議資料）

Report on Activities of “Technical Committee on Safety Assessment Associated with
Closure Activity of the Tono Mine”

鉾山措置・施設管理課

Mine and Laboratories Section

東濃地科学センター

Tono Geoscience Center

May 2012

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

東濃鉾山安全性評価検討委員会 （会議資料）

日本原子力研究開発機構
東濃地科学センター
鉾山措置・施設管理課

（2012年3月7日 受理）

東濃地科学センターでは、閉山措置に向けた実施計画の検討が進められており、その一環として、坑道、捨石集積場および鉾業廃棄物埋立場の措置に伴う線量計算を行った。この線量計算の技術的な妥当性を検討していただくため、外部有識者による「東濃鉾山安全性評価検討委員会」を2010年度に設置した。

本資料は、東濃鉾山安全性評価検討委員会の会議資料を取りまとめたものである。

**Report on Activities of “Technical Committee on Safety Assessment Associated with
Closure Activity of the Tono Mine”**

Mine and Laboratories Section

Tono Geoscience Center,
Japan Atomic Energy Agency
Izumi-cho, Toki-shi, Gifu-ken

(Received March 7, 2012)

The technical committee was organized for examination of validity of the dose assessment associated with closure activity of the Tono Mine in FY2010.

This report summarizes the material presented and minutes at each meeting.

Keywords: Dose Assessment, Tono Mine, Mine Closure

(Ed.) Eiji SASAO

目 次

1. はじめに	1
2. 東濃鉱山安全性評価検討委員会の概要	2
3. 第1回委員会	3
4. 第2回委員会	23
5. 第3回委員会	67
6. 第4回委員会	107
7. 第5回委員会	159
8. 第6回委員会	175
9. おわりに	196
参考文献	196

Contents

1. Introduction	1
2. Outline of the Technical Committee on Safety Assessment associated with Closure Activity of the Tono Mine	2
3. Summary of the 1st committee	3
4. Summary of the 2nd committee	23
5. Summary of the 3rd committee	67
6. Summary of the 4th committee	107
7. Summary of the 5th committee	159
8. Summary of the 6th committee	175
9. Conclusion	196
References	196

This is a blank page.

1. はじめに

日本原子力研究開発機構 東濃地科学センターは、2005年度から「閉山措置計画書」¹⁾にしたがって東濃鉱山の閉山措置を進めている²⁾。東濃鉱山の閉山に当たっては、鉱業法および鉱山保安法などの関連法規に則って作業を行うことになるが、閉山措置に伴う周辺環境への影響を検討することを目的として、措置対象物（ウラン鉱石、捨石および鉱業廃棄物）に起因する被ばく評価を行うこととした。

被ばく評価にあたっては、①捨石集積場に残置される捨石、②鉱業廃棄物埋立場に埋め立てられている鉱業廃棄物、および③坑道に充填する鉱石および捨石からの放射性核種の地表水および地下水による移行を評価して、一般公衆に対する被ばく線量を求めた。また、捨石集積場では、集積物が地表部に残置されることから、直接γ線およびスカイシャインを評価するとともに、集積物から散逸するラドンの影響を評価した³⁾。この線量計算の技術的な妥当性を検討していただくため、外部有識者による「東濃鉱山安全性評価検討委員会」を2010年度に設置した。

本資料は、2010 年度から2011年度にかけて開催した6回の委員会の会議資料をまとめたものである。

2. 東濃鈷山安全性評価検討委員会の概要

東濃鈷山安全性評価検討委員会では、2011年2月23日に第1回委員会を開催し、2012年1月18日までの間に6回の委員会を開催した。

委員会の構成員は、以下の通りである。

委員長 飯田 孝夫 名古屋大学（名誉教授）
委 員 佐藤 健 岐阜大学 工学部
委 員 鹿園 直建 慶応義塾大学 理工学部

3. 第1回委員会

This is a blank page.

第1回東濃鉾山安全性評価検討委員会 議事次第

1. 日時：平成23年2月23日（水） 9：30～11：45
2. 場所：日本原子力研究開発機構 東濃鉾山 保安教育室
3. 議事次第
 - (1) 挨拶 [9：30～9：35]
 - (2) 委員紹介，委嘱状および諮問書交付 [9：35～9：45]
 - ・各委員および機構関係者の紹介
 - ・委嘱状交付
 - ・諮問書交付
 - ・委員長挨拶
 - (3) 閉山措置の概要 [9：45～11：30]
 - ・閉山措置計画，安全性評価の概要説明
 - ・現場視察
 - (4) 全体質疑 [11：30～11：40]
 - (5) 事務連絡等 [11：40～11：45]

以 上

第 1 回東濃鉾山安全性評価検討委員会 — 議事録 —

1. 議事概要

(1) 日時：2 月 23 日（水）9 時 30 分～11 時 45 分

(2) 場所：日本原子力研究開発機構 東濃鉾山 保安教育室

(3) 出席者：

（委員）飯田委員長、佐藤委員、鹿園委員

（機構）吉田所長、福島副所長、杉原副所長、花木鉾山措置・施設管理課長、
笹尾鉾山措置・施設管理課研究副主幹、事務局（鉾山措置・施設管理課）

（オブザーバー）石森人形峠環境技術センター研究副主幹

(4) 議事

1) 所長挨拶

2) 委員紹介他

－各委員および機構関係者の紹介

－委嘱状交付

－諮問書交付

－委員長挨拶

3) 閉山措置の概要

4) 坑内外設備等視察

5) 全体質疑

2. 質疑応答

（問）捨石と特別捨石は、何が違うのか。

（答）捨石と特別捨石の区分は 7.4Bq/g で区分している。平成 17 年 3 月以前の鉾山保安法では 74Bq/g 以上の鉾石の取り扱いを定めることとの記載があり、東濃鉾山では、74Bq/g 以上のものをドラム缶に入れて坑内に保管していた。74Bq/g 以下のものについては捨石となるが、その中でウランを若干含むものを特別捨石として区分してきた。

(問) ウラン鉱床そのものの評価をする必要はないのか。

(答) 今回は閉山措置に伴う影響を評価する目的であり、天然に存在するものは評価対象とはしない。

(問) 地上と地下に存在するものでは化学的な形態が異なると思われるがいかがか。

(答) 詳しくはわかっていない。掘削した岩石中のウランの化学的形態は鉱床中の形態とは異なると思われるが、鉱床中での化学的形態もよくわかっていない。

(問) 結果のイメージでは点で最大線量が書いてあるが、結果の見せ方としてピークだけぽつんと出ていると、いきなりそこにピークが出てくると印象を与える。

(答) 今回はイメージとして縦軸に最大線量、横軸に最大線量の出現時間をプロットしたが、提示の仕方についてもご意見を伺いながら検討していきたい。

(問) パラメータはある程度現実的に考えつつ、保守的に幅を持たせて設定するのか。

(答) その通りである。たとえば、鉱業廃棄物埋立場はコンクリート製だが、コンクリートの耐久年数は、文献では 70 年という報告があるので、計算では建設後 70 年間は機能が維持されるという前提を用いる。一番危ない計算として仮定すれば、コンクリートがない状態での計算となるが、それは現状の施設を全く無視することになるので、そのような想定はしない。

(問) 捨石集積場にある捨石はどれぐらいの量を充填に使うのか。

(答) 現在約 11,000 m³あるが、現在の措置計画ではそのうちの約 8,000 m³を使用する予定である。

(問) Goldsim という計算コードは放射性廃棄物の評価に用いられるものか。

(答) Goldsim は放射性廃棄物に特化したものではなく、様々な分野で活用されている。放射性廃棄物の分野ではトレンチ処分や余裕深度処分等、様々な対象物の評価に使用されている。

(問) 今回の説明のような手順で進めるということが法律上求められているのか。

(答) 法律で求められている唯一のものは立坑坑口の閉塞についてのみであり、それ以外に法律上に要件はない。

(問) 坑道は充填する必要があるのか。

(答) 鉱山保安法等の法令では、埋め戻しが求められているわけではないが、安全性をより確保する観点から埋戻しを行うことにしている。

以 上

22 原機（濃）107

平成 23 年 2 月 23 日

東濃鉾山安全性評価検討委員会

委員長 飯田 孝夫 殿

独立行政法人日本原子力研究開発機構

東濃地科学センター所長 吉田 東雄

東濃鉾山の安全性の評価について（諮問）

東濃鉾山安全性評価検討委員会設置規則第 2 条に基づき、次の事項について諮問します。

【諮問事項】

東濃鉾山の閉山措置の一環として実施する坑道、捨石集積場および
鉾業廃棄物埋立場の措置に伴う線量計算の妥当性について

以上

説明資料

第1回

東濃鉱山安全性評価検討委員会

平成23年2月23日
日本原子力研究開発機構
東濃地科学センター

本日のご報告内容

- 1. 東濃鉱山の概要**
- 2. 閉山措置計画の概要**
- 3. 安全性評価の概要**
- 4. 本委員会の概要**

- 5. 現場のご視察**

1. 東濃鉍山の概要

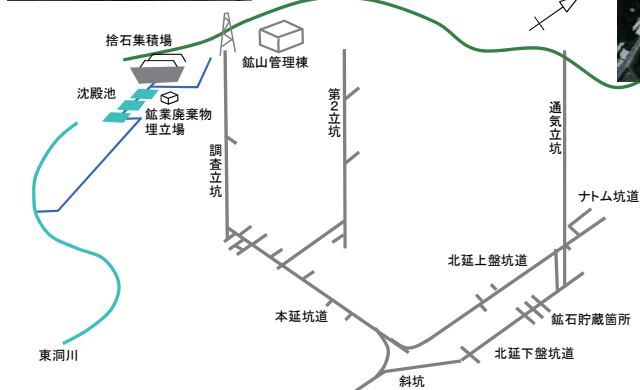
年 月	事 項
昭和39年 2月	原子燃料公社が東濃地域でウラン探鉱を開始
昭和39年11月	原子燃料公社が月吉鉍床を発見
昭和40年 9月	東濃探鉱事務所を開設
昭和42年10月	動力炉・核燃料開発事業団設立
昭和47年 9月	調査立坑の開削開始
昭和48年 5月	東濃鉍山調査坑道が完成
昭和49年 5月	予備的鉍山評価を実施
昭和61年 4月	地層科学研究を開始
昭和63年 3月	組織的な国内ウラン探鉱を終了
平成 3年 9月	東濃鉍山第2立坑が完成
平成 6年 2月	日本無重量総合研究所への第2立坑の一部供用開始
平成10年10月	核燃料サイクル開発機構設立
平成16年 3月	東濃鉍山坑内における地層科学研究が終了
平成16年10月	休止鉍山認可
平成17年10月	独立行政法人日本原子力研究開発機構設立
平成22年10月	閉山措置に着手



2

1. 東濃鉍山の概要

◎主要施設の配置



3

1. 東濃鉍山の概要

◎主な施設諸元

主な施設等	規模・数量等
水平坑道	坑道総延長 1,338m (立坑 437m、斜坑 45m含)
調査立坑	136.0m、2.7φ、コンクリート巻き (30cm)
通気立坑	148.7m、0.9φ、鋼板巻き (10mm)
第2立坑	152.3m、6.0φ、コンクリート巻き (40cm)
鉍業廃棄物埋立場	75m ³ (5m×5m×3m) 鉄筋コンクリート製
捨石集積場	たい積可能量 11,100m ³
鉍石等	
東濃産鉍石	9.1 t (ドラム缶 35本)
東濃産以外の鉍石	7.8 t (ドラム缶 31本)
処理固化物	4.1 t (ドラム缶 11本)
イオン交換樹脂	2.1 t (ドラム缶 18本)

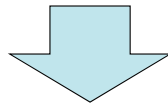
4

2. 閉山措置計画の概要

基本的考え方

鉍山保安法 第1条

この法律は、鉍山労働者に対する危害を防止するとともに鉍害を防止し、鉍物資源の合理的開発を図ることを目的とする。



東濃鉍山における閉山措置の目的

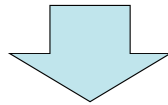
危害および鉍害の発生を防止しつつ、可能な限り管理を要さない状況に措置する。

5

2. 閉山措置計画の概要

集積場の要件（講ずべき措置 鉱山保安法施行規則 第11条）

- ・ 崩壊又は地滑りによる危害又は鉱害が発生するおそれがない箇所へ集積すること。
- ・ 排水路、よう壁及びかん止堤の設置その他の鉱石、鉱さい又は沈殿物の流出を防止するための措置を講ずること。
- ・ 集積を終了したものについては、覆土又は植栽の実施その他の集積物の流出等による鉱害を防止するための措置を講ずること。



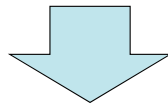
既にかん止堤があるが、かん止堤下流側に盛土を行いかん止堤を安定させるとともに、集積場を覆土植栽を行う。なお、集積されている捨石は坑内充填に活用する。

6

2. 閉山措置計画の概要

鉱業廃棄物埋立場の要件（講ずべき措置 鉱山保安法施行規則 第18条）

- ・ 埋立処分が終了した坑外埋立場は、覆土又は植栽の実施その他の浸出水又は鉱業廃棄物の流出等による鉱害を防止するための措置を講ずること。



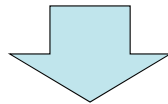
鉱業廃棄物埋立場はコンクリートピットであり現状においても浸出水や鉱業廃棄物の流出防止が図られているが、空間部を捨石およびコンクリートで充填し、浸出水および鉱業廃棄物の流出防止をさらに図るとともに、覆土植栽により浸入水を低減する。

7

2. 閉山措置計画の概要

地下施設の要件（坑廃水の観点から講ずべき措置 鉱山保安法施行規則 第19条）

- ・ 坑道の坑口の閉そく，坑水又は廃水の処理施設（坑廃水処理施設）の設置その他の坑水又は廃水による鉱害を防止するための措置を講ずること。



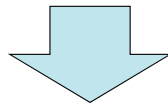
現在は坑水処理施設において処理しているが，閉山措置にあたっては坑口をコンクリートで閉塞することによって坑水による鉱害を防止する。なお，閉山措置中および立坑閉そく後，5年程度は周辺河川の水質測定を継続的に実施する。

8

2. 閉山措置計画の概要

地下施設の要件（危害及び鉱害防止の観点からの措置 鉱業上使用する工作物等の技術基準を定める省令 第3条）

- ・ 廃止又は休止した施設に起因する危害及び鉱害を防止するため，廃止又は休止した施設は，立入禁止区域の設定，さく囲及び標識の設置，坑口の閉そくその他の適切な措置が講じられていること。



閉山措置にあたっては立坑を充填するとともに，坑口をコンクリートで閉塞することによって危害および鉱害を防止する。

9

2. 閉山措置計画の概要

◎坑内設備の取扱い

充填作業に伴う安全上必要な設備以外は撤去

(例)

支保材 → 残置

レール → 残置



ケーブルラック → 撤去

第2立坑エレベータ → 撤去

変電設備 → 撤去



10

2. 閉山措置計画の概要

◎措置対象の鉱石および捨石等

区分	集積量	集積量	推定U量
	m ³	t	kg U
捨石集積場			
捨石	9,856	16,755	1,563
特別捨石	1,360	2,312	1,745
計(平均)	11,216	19,067	3,308
鉱業廃棄物埋立場			
殿物等	31.5	23.6	26
鉱石貯蔵箇所(坑内)			
ウラン鉱石	7	9.1	47

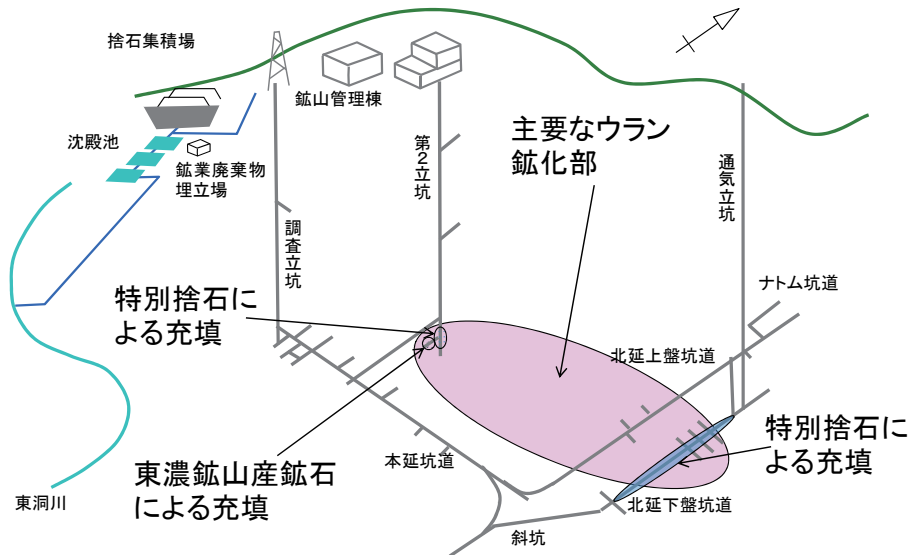
* 特別捨石: 鉱石よりは品位が低いものの、捨石よりも品位が高いもの。目安として0.33%U₃O₈以下としている。

このうち、東濃鉱山産の鉱石および捨石については、坑道の埋め戻しに利用。ただし、捨石は全量を埋め戻せないため、残りは現在の「捨石集積場」に残置。鉱業廃棄物は「鉱業廃棄物埋立場」に残置。

11

2. 閉山措置計画の概要

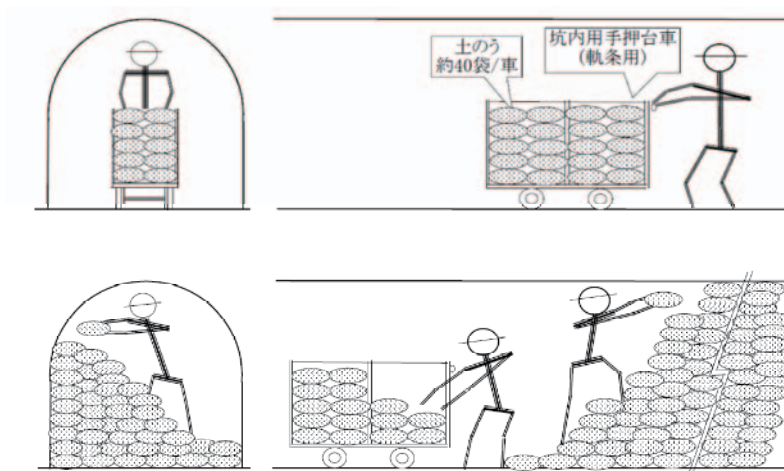
◎ 鉱石および捨石等による坑内充填



12

2. 閉山措置計画の概要

◎ 坑道充填方法のイメージ



13

2. 閉山措置計画の概要

◎主要施設の措置

施設名		措置方法例
坑外	捨石集積場、鉱業廃棄物埋立場	覆土、植栽
	調査立坑巻揚機、坑水処理施設 非常用予備発電装置 受変電施設、鉱山管理棟等	撤去
	第2立坑エレベータ 変電施設、電気工作物等	撤去
坑内	坑道及び立坑	埋戻し、閉塞
	鉱石等	埋戻し、有効利用

14

2. 閉山措置計画の概要

◎閉山措置のスケジュール（案）

表－1 閉山措置スケジュール（全体工程）

H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31
計画・検討														
					措置工事						モニタリング			

表－2 閉山工事スケジュール

実施内容		H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31
坑外	捨石集積場										
	坑外設備・施設撤去										
坑内	坑内設備撤去・充填										
	第2立坑閉塞										
	通気立坑閉塞										
	調査立坑閉塞										

15


3. 安全性評価の概要

- ✓ 坑道の充填には、周囲の岩石よりも多くのウランを含む東濃鉱山産鉱石および特別捨石、周囲の岩石と同等のウラン含有量である捨石を用いる。
- ✓ 有意なウランを含む東濃鉱山産鉱石および特別捨石はウラン鉱床中に充填すること、さらにはウラン鉱床全体のウラン量（3,104 t U_3O_8 ）に対して充填されるウラン量が非常に少ない（約3 t）ことから、充填による影響はないと考えられる。
- しかし、鉱石等の充填による影響を明らかにするために、線量を指標としてその影響を評価する。

16

3. 安全性評価の概要

◎安全性評価の対象物（措置後）

- | | | |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ・ 東濃鉱山産の鉱石 ・ 坑道掘削に伴って発生した捨石 ・ 鉱業活動に伴って発生した鉱業廃棄物 |  | <ul style="list-style-type: none"> ・ 坑内 ・ 捨石集積場 ・ 鉱業廃棄物埋立場 |
|---|---|---|

区分	集積量	集積量	推定U量
	m ³	t	kg U
捨石集積場			
捨石	3,000	5,100	476
鉱業廃棄物埋立場			
鉱業廃棄物(殿物等)	31.5	23.6	26
坑内充填			
ウラン鉱石	7	9.1	47
特別捨石	1,360	2,312	1,745
捨石	6,856	11,655	1,087
計	8,223	13,976	2,879

17

3. 安全性評価の概要

◎安全性評価の方法

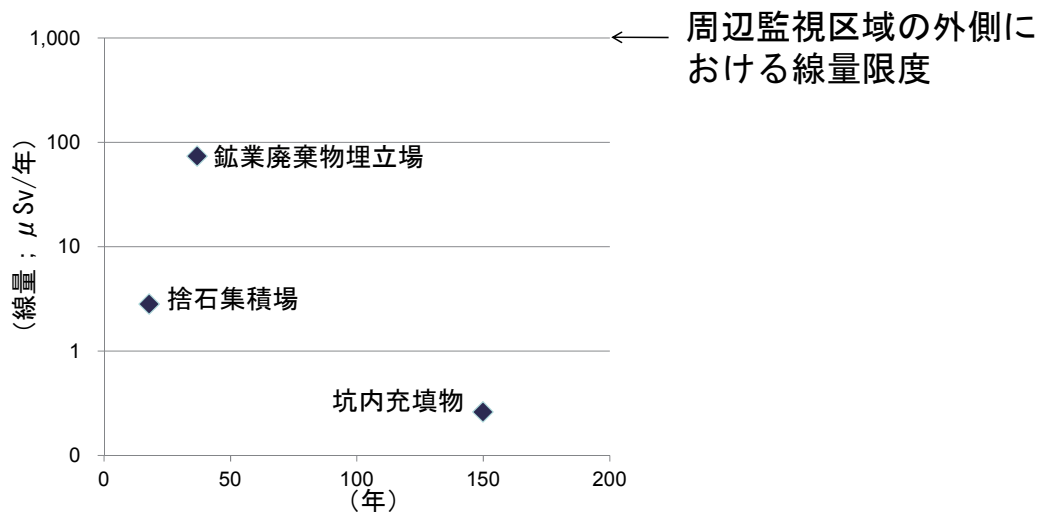
- 被ばく線量評価で使用実績のあるGoldsimを使用。
- 評価モデルは放射性廃棄物処分で用いられているモデルを参考にする。
- 評価に使用するパラメータは、東濃地域で取得されたデータを使用するが、一般的なパラメータについては、原子力学会標準*や既存の研究開発報告書類に記載されたデータを用いる。

* 日本原子力学会，日本原子力学会標準 余裕深度処分の安全評価手法：2008，2009，156p

18

3. 安全性評価の概要

◎線量計算結果のイメージ



19

4. 本委員会の概要

- ・ 東濃地科学センター所長の諮問機関として設置。
(諮問事項：東濃鉱山の閉山措置の一環として実施する坑道、捨石集積場および鉱業廃棄物埋立場の措置に伴う線量計算の妥当性の確認)
- ・ 委員は3名。
- ・ 平成23年1月から平成23年7月頃を予定。
- ・ 検討結果は委員長名で答申書として取りまとめ。

20

4. 本委員会の概要

◎委員会の役割（案）

- ・ 安全性評価の一環として実施する線量計算の妥当性を、以下の観点から検討。
 - ✓ 評価モデル
 - ✓ 評価シナリオ
 - ✓ 評価に使用するパラメータ

21

4. 本委員会の概要

◎委員会の予定（案）

- ・ 第1回（今回）…東濃鉱山閉山措置計画のご紹介・現地ご視察
- ・ 第2回（3月中旬）…閉山措置計画とそれに基づく計算条件のご説明
- ・ 第3回（5月）…計算の内容および線量計算結果のご報告
- ・ 第4回（6月）…線量計算結果のご報告および答申書検討
- ・ 第5回（7月）…答申

This is a blank page.

4. 第2回委員会

This is a blank page.

第2回東濃鉾山安全性評価検討委員会 議事次第

1. 日時：平成23年5月27日（金） 9：40～11：40

2. 場所：日本原子力研究開発機構 瑞浪国際地科学交流館 会議室

3. 議事次第

（1）委員長挨拶 [9：40～9：45]

（2）前回議事録確認 [9：45～9：50]

（3）実施計画書の概要について [9：50～10：20]

（4）線量計算の内容について [10：20～11：40]

以 上

第2回東濃鉾山安全性評価検討委員会 ―議事録―

1. 議事概要

(1) 日時：5月27日（金）9時40分～11時40分

(2) 場所：日本原子力研究開発機構 東濃地科学センター 瑞浪国際地科学交流館

(3) 出席者：

（委員）飯田委員長、鹿園委員

（機構）福島副所長、杉原副所長、花木鉾山措置・施設管理課長、

笹尾鉾山措置・施設管理課研究副主幹、事務局（鉾山措置・施設管理課）

（オブザーバー）瀧課長、石森研究副主幹（人形峠環境技術センター）

(4) 議事

1) 委員長挨拶

2) 第1回議事録（案）確認

3) 実施計画書について

4) 線量計算について

2. 第1回委員会議事録（案）確認

評価対象物に関する記述箇所について修正が必要である旨のコメントがあり、修正することにした。

3. 実施計画書について

（問）坑道充填の際、締め固めは行うのか。

（答）水平坑道についてはなるべく隙間のないように充填するようにするが、水平坑道上部については隙間が生じる可能性があるため、その部分については土嚢積みを行い、極力隙間を無くすように施工する計画としている。現在の計画では

充填率 80%を見込んでいる。

(問) 捨石は約 3,000 m³残るとのことだが、坑内に充填する量と残置する量はどのようにして見積もったのか。

(答) 坑道の空間容量に対して充填率を 80%として充填量と残置する量を見積もった。ただし、充填作業によって捨石の残置量が変わる可能性があるので、必要に応じて線量計算も含めて安全性の確認を再度行いたいと考えている。

(問) 水処理については pH だけが問題か。

(答) 東濃鉱山の場合、pH が 9 と弱アルカリ性であり、pH 処理は必要であるが、他の成分は問題ない。

(問) 捨石集積場のかん止堤上部を切断する計画となっているが、そのような措置は必要なのか。

(答) 現状の形状でも全く問題はないが、かん止堤の下流側に盛土を行い、両側から押さえることにより、より一層の転倒防止を図る。これにより、さらに安心感が向上されると考えている。

(問) 捨石集積場の覆土の厚さはどの程度か。

(答) 30 cm程度の覆土厚を計画している。

(問) 鉱業廃棄物埋立場の空洞部分はコンクリートで充填する計画であるが、安定化するのか。

(答) 施設への浸入水を低減させる観点から、空洞を充填することを考えている。

(問) 坑内の地下水はどの程度で回復してくるのか。

(答) 1 年でほぼ回復する。

4. 線量計算について

(問) 現在の地下水は既にウラン鉱床の影響を受けているはずで、この地下水を飲用する事の影響はあるのか。

(答) 東濃鉱山周辺の集落は上水道整備済区域であり、現在でも飲用にはしていないし将来的にも飲用はしないと考えられる。ただし、線量計算では、将来、井戸

水を飲用するケースを想定する予定である。

(問) 溶出率などのパラメータの設定は、元素毎に設定すべきである。

(答) 基本的には原子力学会標準を使用しているが、その部分については確認したい。

(問) 分配係数の設定において、花崗岩と堆積岩を一緒に設定しているようだが、実際には異なるのではないか。

(答) 確認する。

(問) 地表を流れる雨水等はどの程度の時間で評価地点に到達するのか。

(答) 3分程度で到達すると想定している。

(問) 捨石集積場に残置される捨石の量が見込みより多くなれば線量としては大きくなるのか。

(答) 計算結果として高くなると思われる。

(問) パラメータを変化させると計算結果が変わるのか。

(答) パラメータスタディを行い、計算結果に影響の大きい項目を抽出したいと考えている。

(問) 岩盤は還元状態の場として設定しているのか。

(答) 坑道を起点とする移行経路にある花崗岩帯は還元状態とし、他は酸化状態として設定している。

(問) 今回の計算では安全側のパラメータを設定しているので、それ自体は良いと考えるが、計算結果を委員会へ提示してくれるのか。

(答) パラメータスタディ等を行い次回以降の委員会にて提示したい。

5. その他

佐藤委員が都合により欠席であり、第1回委員会議事録(案)の確認及び本日の資料説明については、5月31日に佐藤委員へ個別説明する予定である旨の説明を行った。

6. 個別説明

(1) 日時：平成 23 年 5 月 31 日（火）14 時 00 分～16 時 05 分

(2) 場所：岐阜大学工学部

(3) 出席者：

（委員）佐藤委員

（機構）花木鉦山措置・施設管理課長、笹尾鉦山措置・施設管理課研究副主幹

(4) 議事

1) 第 1 回議事録（案）確認

2) 実施計画書について

3) 線量計算について

4) 第 2 回東濃鉦山安全性評価検討委員会の質疑内容について

(5) 質疑応答内容

- ・ 第 1 回委員会議事録（案）についての修正箇所について説明し了解を頂いた。
- ・ バントンについての質問があり、主に H 鋼や鋼板で構成される立坑の区画設備であることを説明した。
- ・ 集積場の上部に居住しないというシナリオでご理解を戴いた。
- ・ 最終的にかん止堤の上部を切断することについては、原状回復の観点からも望ましいとの意見を頂いた。
- ・ Goldsim による評価について、これまでの評価例の有無について問われ、放射性廃棄物の評価での使用実績がある旨をご説明した。
- ・ 地下水による移行の評価について、現状では何ら影響が出ていないのに評価すると何故高くなるのかとの問いがあり、各種パラメータを保守的にしていることにより厳しい評価結果になると考えられると回答した。

以 上

説明資料

第2回 東濃鉾山安全性評価検討委員会

**平成23年5月27日
日本原子力研究開発機構
東濃地科学センター**

本日の内容

- 1. 前回議事録の確認**
- 2. 実施計画書の概要**
- 3. 線量計算の内容**

2. 実施計画書の概要



東濃鉱山閉山措置計画書
—計画検討とりまとめ—

「閉山措置の進め方を検討する」との
計画に基づき、

東濃鉱山閉山措置計画書
—計画検討とりまとめ—

を作成(JAEA-Technology 2010-006)



坑道措置を含めた閉山措置の実施
計画を作成



JAEA-Technologyとして公開
(JAEA- Technology 2012-002)

2

2. 実施計画書の概要

- | | |
|----------------|----------------------|
| 1. はじめに | 4. 鉱石等 |
| 2. 閉山措置の基本的考え方 | 5. 閉山措置作業中の危害及び鉱害の防止 |
| 3. 閉山措置の実施計画 | 5. 1危害防止 |
| 3. 1坑道 | 5. 2鉱害防止 |
| 3. 2捨石集積場 | 6. 閉山措置作業後の危害及び鉱害の防止 |
| 3. 3鉱業廃棄物埋立場 | 7. 閉山措置のスケジュール |
| 3. 4坑水処理 | |
| 3. 5通気 | |
| 3. 6人を運搬する施設 | |
| 3. 7受変電施設 | |
| 3. 8その他の機器・設備 | |

3

2. 実施計画書の概要

2. 閉山措置の基本的考え方

鉱山保安法及び関連法規の定めに従い、

- ・ 危害および鉱害の発生を防止しつつ、
- ・ 可能な限り管理を要さない状況に措置する。

4

2. 実施計画書の概要

3. 1坑道

東濃産鉱石、特別捨石及び捨石の充填箇所

○鉱石 → 第2立坑下部（下盤連絡坑道付近）

○特別捨石 →

- ・ 第2立坑底から上盤連絡坑道レベル
- ・ 北延下盤坑道（斜坑・通気連絡坑道含）

○捨石 → 上記以外の坑道

5

2. 実施計画書の概要

3.1 坑道

運搬・充填

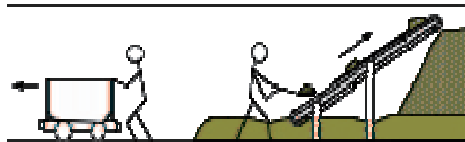
ズリ降ろし（横転車）
坑道側壁にダンプする



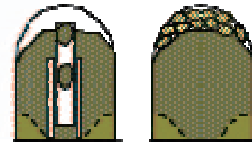
坑内運搬（電動押し運搬車）
鉱車：捨石 0.6m³×2 (2t)



坑内充填（ベルトコンベア）
坑道奥より順次充填する



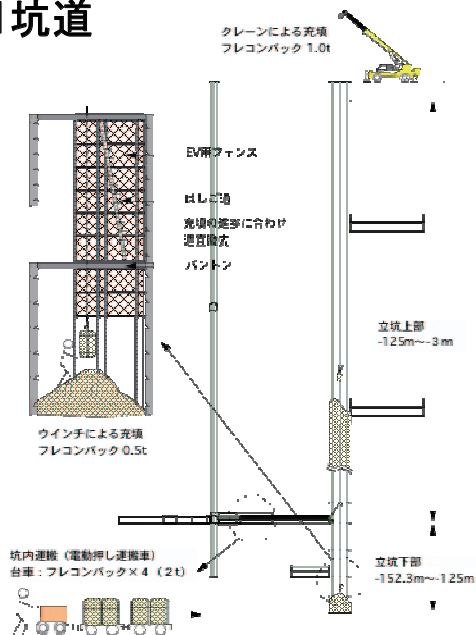
上部空間は土嚢を手積みする



6

2. 実施計画書の概要

3.1 坑道



- ・ クレーン及びウインチを使用して充填物を運搬
- ・ 通気立坑はコンクリートによる充填

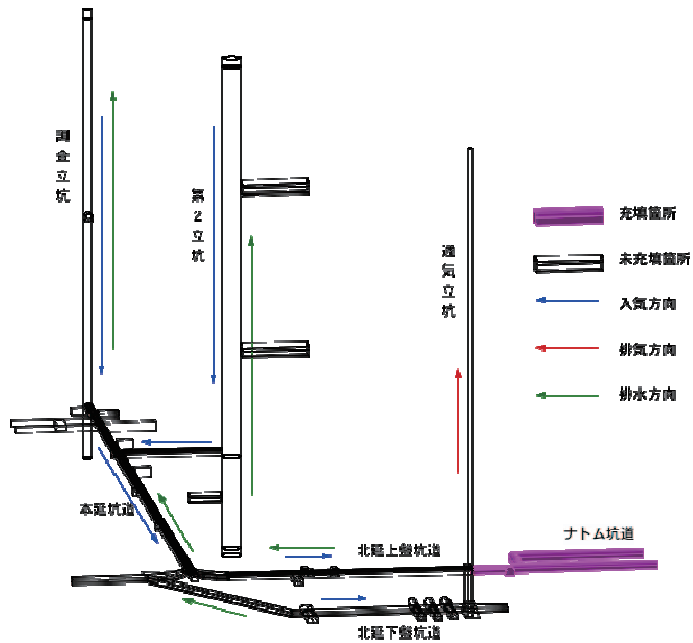
7

2. 実施計画書の概要

3.1 坑道

ステップ-1 (ナトム坑道)

- ・ 充填材
↓
捨石



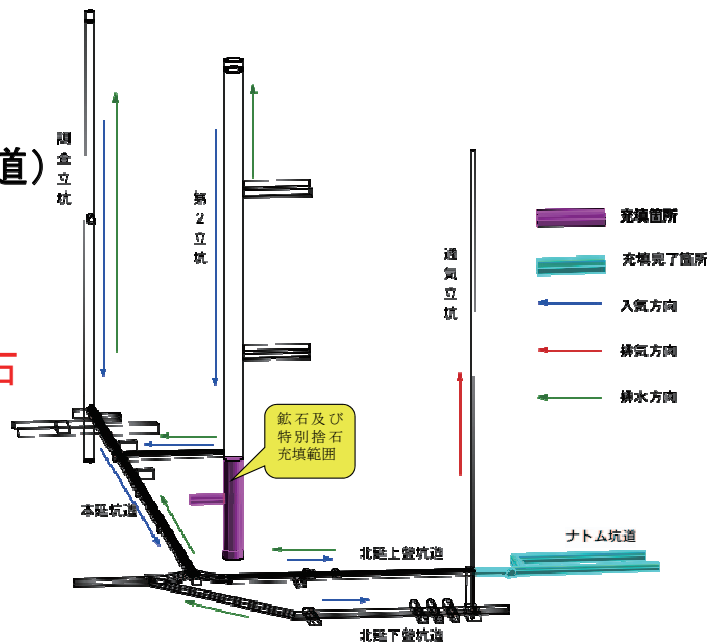
8

2. 実施計画書の概要

3.1 坑道

ステップ-2 (第2立坑下部坑道)

- ・ 充填材
↓
鉍石及び特別捨石



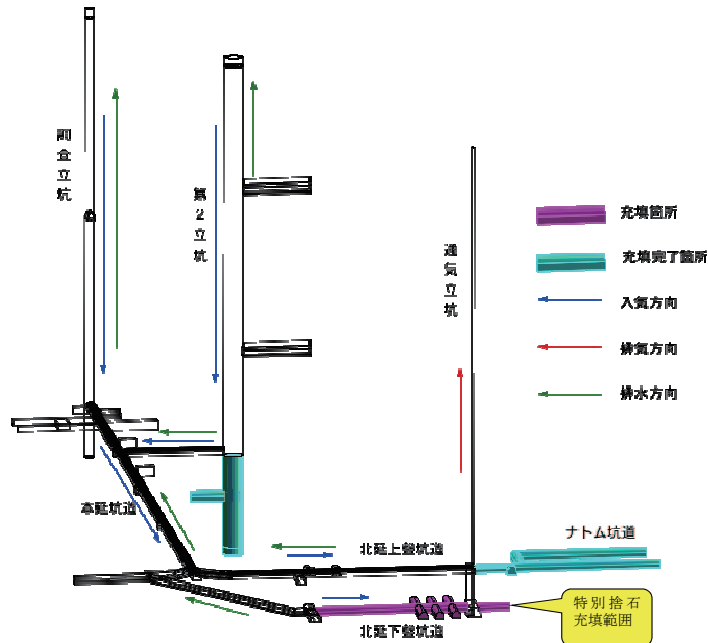
9

2. 実施計画書の概要

3.1 坑道

ステップ-3 (下盤坑道)

- ・ 充填材
↓
特別捨石



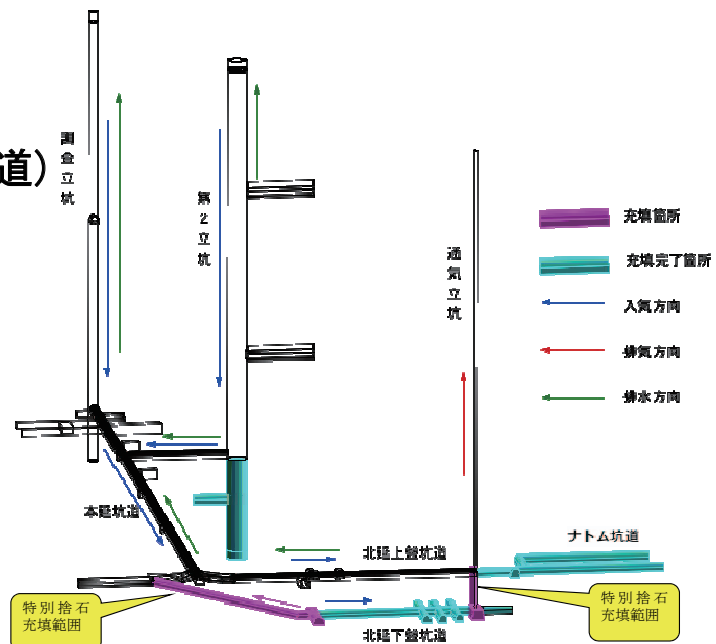
10

2. 実施計画書の概要

3.1 坑道

ステップ-4 (斜坑及び通気連絡坑道)

- ・ 充填材
↓
特別捨石



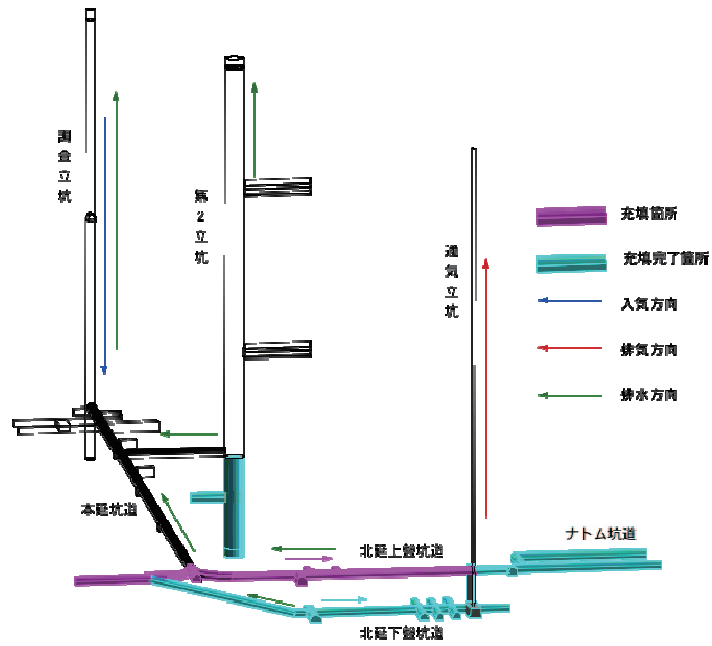
11

2. 実施計画書の概要

3.1坑道

ステップ-5 (上盤坑道)

- ・ 充填材
↓
捨石



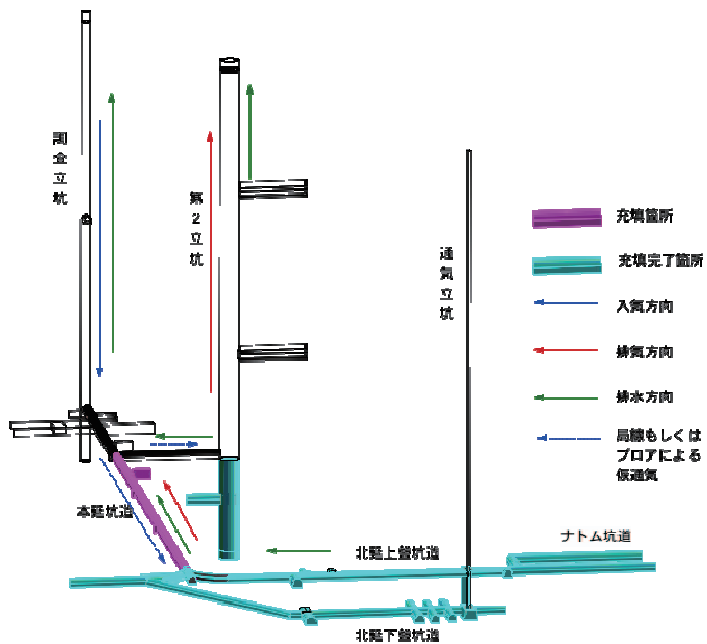
12

2. 実施計画書の概要

3.1坑道

ステップ-6 (本延坑道)

- ・ 充填材
↓
捨石



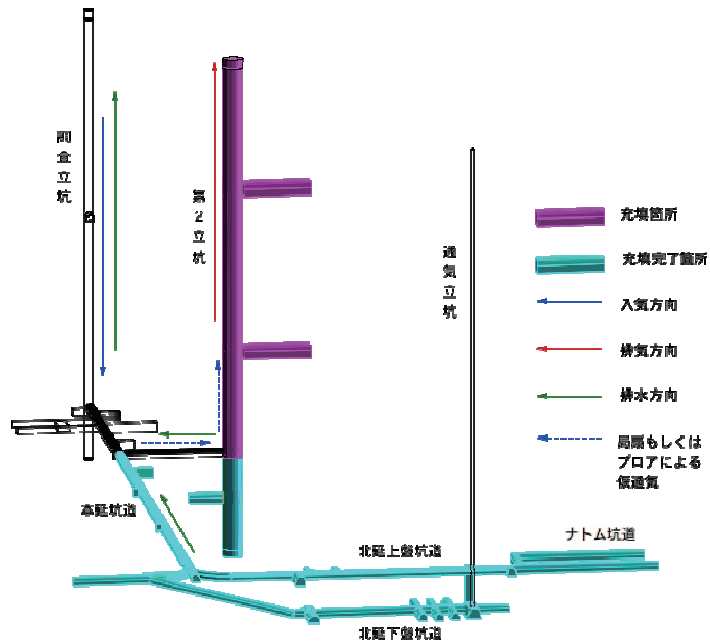
13

2. 実施計画書の概要

3.1坑道

ステップ-7 (第2立坑)

- ・ 充填材
↓
捨石



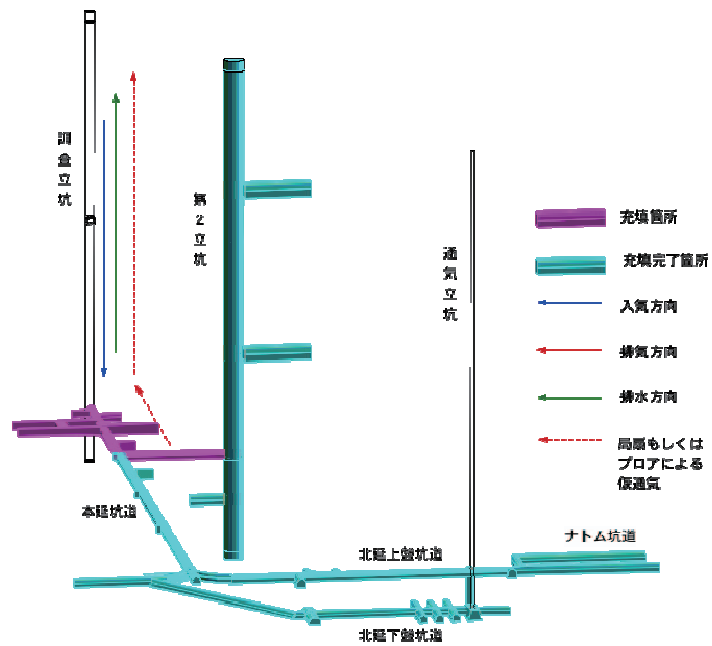
14

2. 実施計画書の概要

3.1坑道

ステップ-8 (本延坑道)

- ・ 充填材
↓
捨石



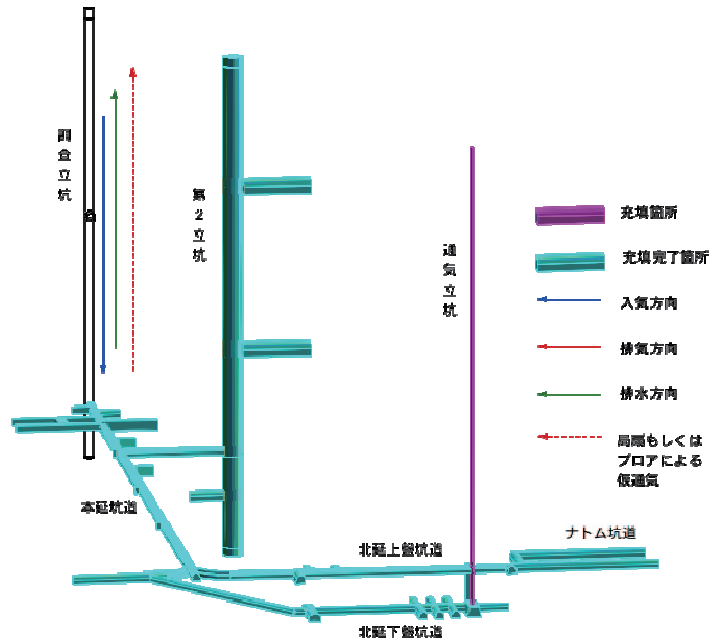
15

2. 実施計画書の概要

3.1坑道

ステップ-9 (通気立坑)

- ・ 充填材
↓
コンクリート



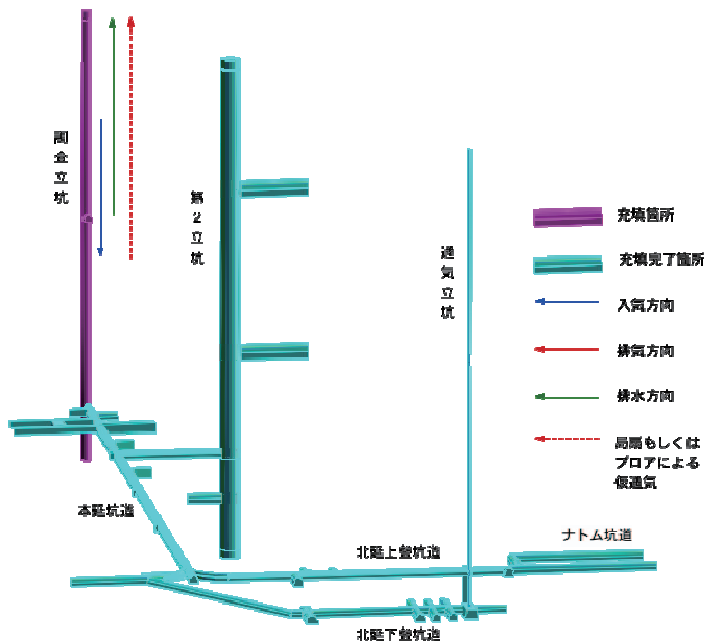
16

2. 実施計画書の概要

3.1坑道

ステップ-10 (調査立坑)

- ・ 充填材
↓
捨石

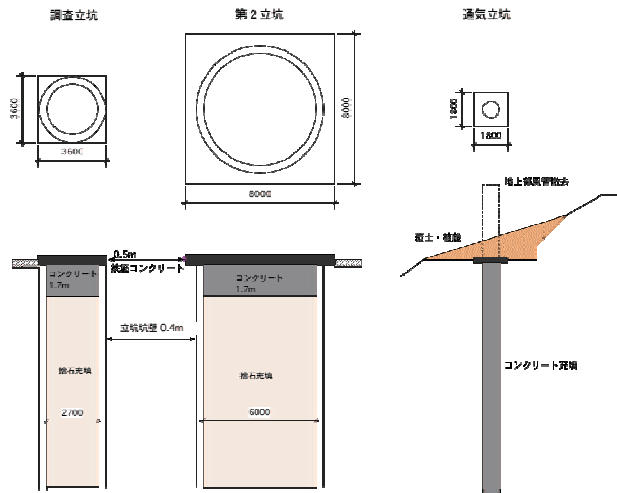


17

2. 実施計画書の概要

3.1 坑道

ステップ-11 (坑口閉塞)



- ・ 立坑は捨石による充填
- ・ 坑口はコンクリートによる充填
- ↓
- ・ 危害及び鉱害防止

18

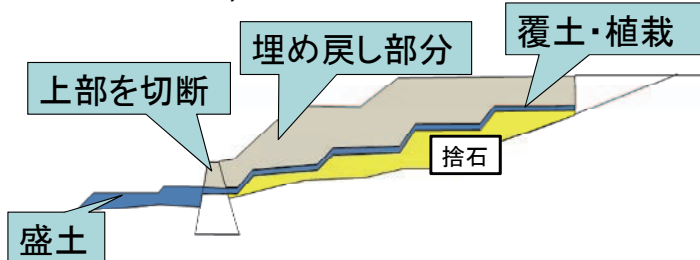
2. 実施計画書の概要

3.2 捨石集積場

現状(約11,000m³)



措置後(約3,000m³)

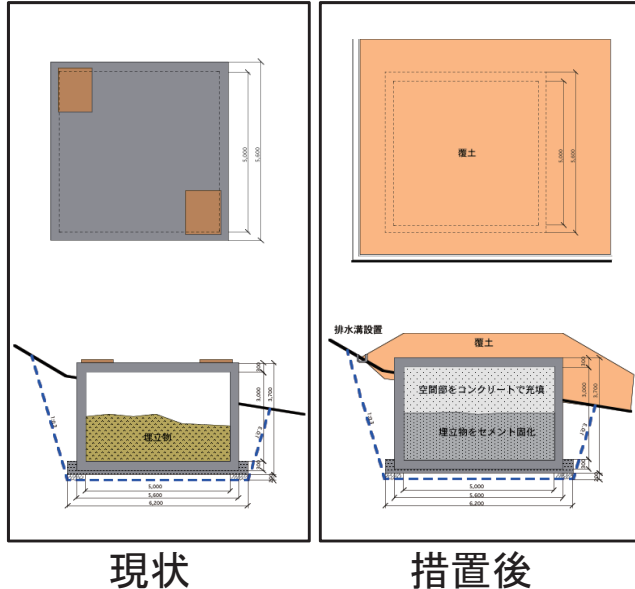


- ・ かん止堤下流側に盛土を実施
- ↓
- ・ 集積場及びかん止堤の安定化
- ↓
- ・ 覆土，植栽
- ↓
- ・ 捨石の流出防止及び粉塵発生抑制

19

2. 実施計画書の概要

3. 3 鉱業廃棄物埋立場



- ・ 埋立物をセメント固化
- ・ 残空間はコンクリートによる充填



- ・ 浸出水及び鉱業廃棄物の流出防止

- ・ 覆土，植栽

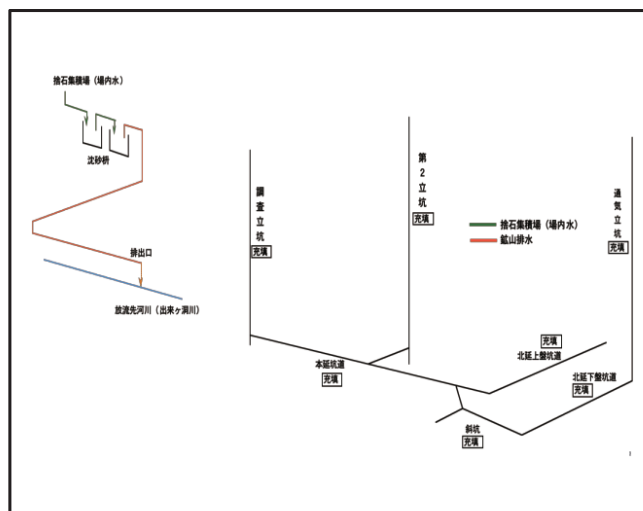


- ・ 雨水の浸入防止

20

2. 実施計画書の概要

3. 4 坑水処理



- ・ 坑口はコンクリートによる閉塞



- ・ 坑水流出による鉱害の防止

なお、閉山措置中および坑道閉そく後、5年程度は周辺河川の水質測定を継続的に実施する。

21

2. 実施計画書の概要

4. 鉱石等（ドラム缶にて保管）の措置

産地	ウラン鉱石	処理固化物	樹脂	計
東濃鉱山	9.1t (35)	4.1t (11)	2.1t (18)	15.3 t (64)
東濃鉱山以外	7.8t (31)			7.8t (31)
計	16.9t (66)	4.1t (11)	2.1t (18)	23.1t (95)

()内の数字はドラム缶数

- ・ 東濃鉱山産ウラン鉱石は埋め戻しに使用
- ・ それ以外については、引き続き保管し、国内外での有効利用を検討する。

22

2. 実施計画書の概要

5.1 危害防止

- ・ 作業者への被ばく低減
→通気、保護具
- ・ 落下物防止
→立坑内バントンを保護具として活用

5.2 鉱害防止

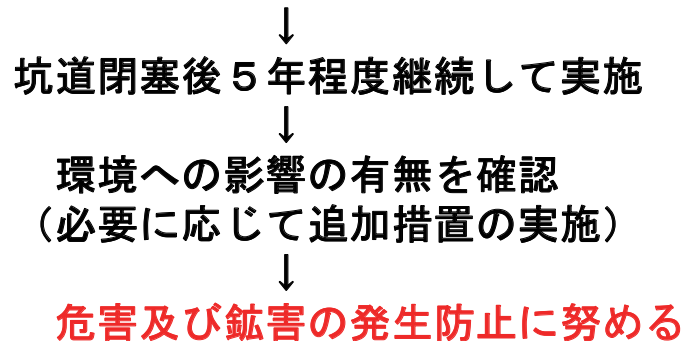
- ・ 集積場の崩落・流出防止
→掘削箇所のシート養生
- ・ 坑水処理
→現在の坑水処理継続
- ・ 放射線管理
→現在の周辺監視区域境界等での測定継続

23

2. 実施計画書の概要

6. 閉山措置作業後の危害及び鉱害の防止

- ・ 周辺河川等での水質測定継続
- ・ 周辺監視区域境界等での放射線測定継続
- ・ 措置後の坑口閉塞施設、捨石集積場及び鉱業廃棄物埋立場等の巡視点検の実施



24

2. 実施計画書の概要

7. 閉山措置のスケジュール（案）

	平成23年度 2011	平成24年度 2012	平成25年度 2013	平成26年度 2014	平成27年度 2015
坑道充填措置		水平坑道 第2立坑		通気立坑 調査立坑	
主要設備措置	非常用予備発電装置 第2立坑エレベータ			受変電設備 主要排水ポンプ 調査立坑巻揚設備	坑外建屋

25

線量計算の内容について

1. 線量計算の概要
2. シナリオ(移行経路)の設定
3. パラメータの設定

1

1. 線量計算の概要

- 被ばく線量評価で使用実績のあるGoldsimを使用する。
- 評価モデルは放射性廃棄物処分で用いられているモデルを参考にする。
- 評価に使用するパラメータは、東濃地域で取得されたデータを使用するが、一般的なパラメータについては、原子力学会標準や既存の研究開発報告書類に記載されたデータを用いる。

2

1. 線量計算の概要

◎線量計算の対象物

- ・ 東濃鉱山産の鉱石
- ・ 坑道掘削に伴って発生した捨石
- ・ 鉱業活動に伴って発生した鉱業廃棄物



これらを3か所に措置

- 坑内充填
- 捨石集積場
- 鉱業廃棄物埋立場

区分	集積量	集積量	推定U量
	m ³	t	kg U
捨石集積場			
捨石	3,000	5,100	476
鉱業廃棄物埋立場			
鉱業廃棄物(殿物等)	31.5	23.6	26
坑内充填			
ウラン鉱石	7	9.1	47
特別捨石	1,360	2,312	1,745
捨石	6,856	11,655	1,087
計	8,223	13,976	2,879

3

2. シナリオ(移行経路)の設定

○捨石集積場および鉱業廃棄物埋立場

- ・ 地表水による移行および地下水による移行を考慮。評価点は東濃鉱山正門付近およびその下流域とする。
- ・ スカイシャインおよび直接γ線も考慮する。

○坑内充填

- ・ 地下水による移行を考慮。評価点は日吉川とする。

4

2. シナリオ(移行経路)の設定



5

2. シナリオ(移行経路)の設定

○捨石集積場

	移行様式	評価地点	被ばく様式
捨石集積場	地表水による移行	放流先河川 (河川岸利用)	直接線(居住)
			粉じん吸入(居住)
			農作物摂取
			畜産物摂取
		放流先河川下流 (河川水利用)	直接線(農耕作業)
			粉じん吸入(農耕作業)
			河川水飲用
			農作物摂取
	地下水による移行	放流先河川 (河川岸利用)	畜産物摂取
			水産物摂取
		放流先河川下流 (河川水利用)	直接線(居住)
			粉じん吸入(居住)
			農作物摂取
			畜産物摂取
			水産物摂取
	直接線	正門前	スカイシャイン 直接γ線

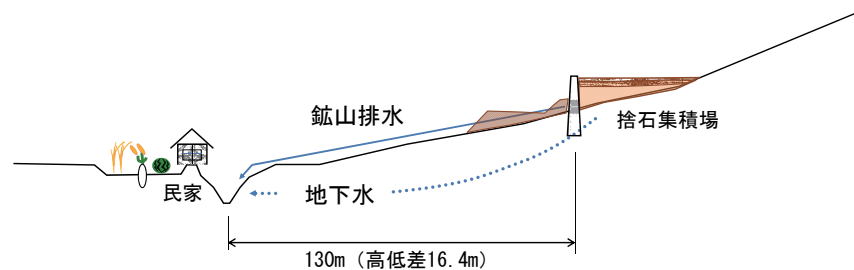
6

2. シナリオ(移行経路)の設定

○捨石集積場

放流先河川の河川岸利用

地表水による移行	放流先河川 (河川岸利用)	直接線 (居住)
		粉じん吸入 (居住)
		農作物摂取
		畜産物摂取
地下水による移行	放流先河川 (河川岸利用)	直接線 (居住)
		粉じん吸入 (居住)
		農作物摂取
		畜産物摂取



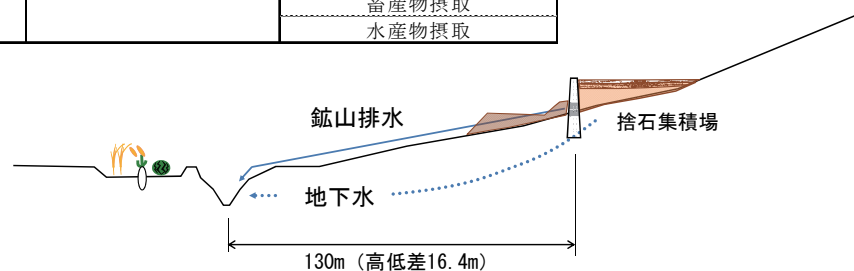
7

2. シナリオ(移行経路)の設定

○捨石集積場

放流先河川下流の河川水利用

地表水による移行	放流先河川下流 (河川水利用)	直接線 (農耕作業)
		粉じん吸入 (農耕作業)
		河川水飲用
		農作物摂取
		畜産物摂取
		水産物摂取
地下水による移行	放流先河川下流 (河川水利用)	直接線 (農耕作業)
		粉じん吸入 (農耕作業)
		河川水飲用
		農作物摂取
		畜産物摂取
		水産物摂取



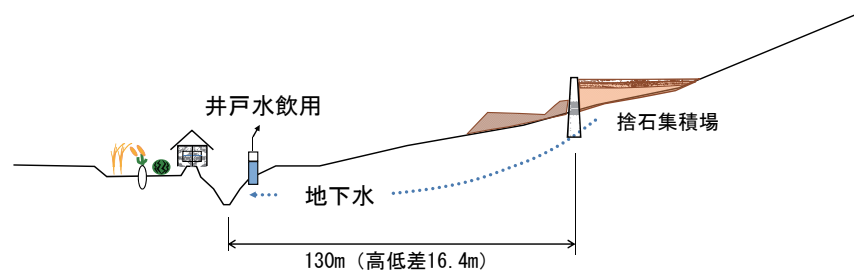
8

2. シナリオ(移行経路)の設定

○捨石集積場

地下水の井戸水飲用

地下水による移行	河川近傍	井戸水飲用
----------	------	-------



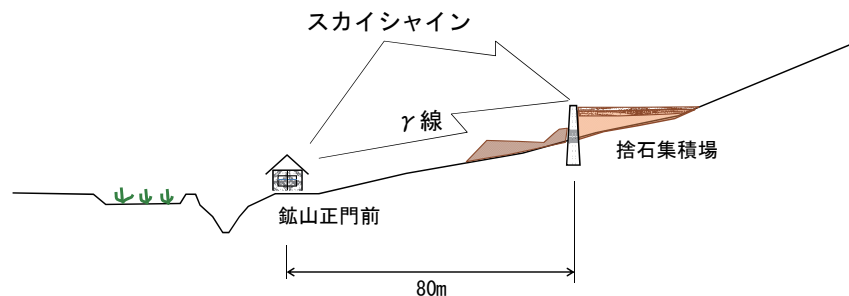
9

2. シナリオ(移行経路)の設定

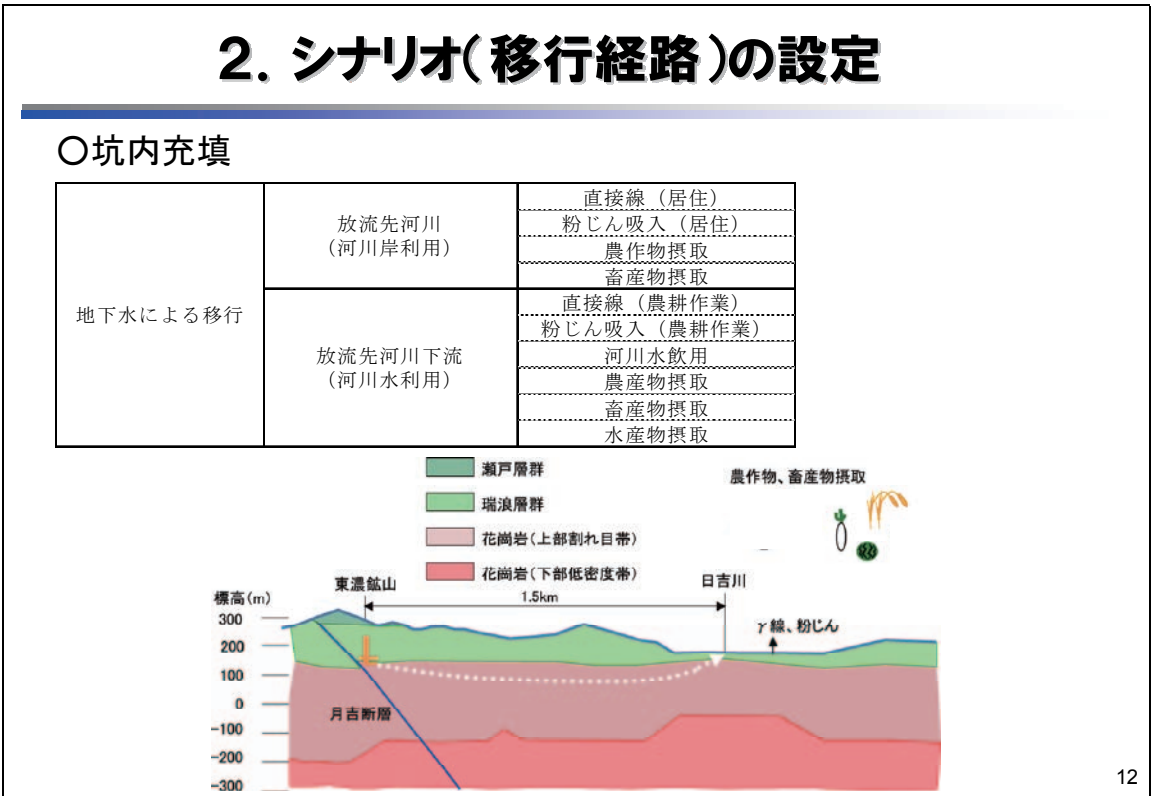
○捨石集積場

直接線 (スカイシャイン, 直接 γ 線)

直接線	正門前	スカイシャイン 直接 γ 線
-----	-----	--------------------------



10



3. パラメータの設定

- 評価に使用するパラメータは、東濃地域で取得されたデータを使用するが、一般的なパラメータについては、原子力学会標準や既存の研究開発報告書類に記載されたデータを用いる。

13

3. パラメータの設定

○施設侵入水量…下表のとおり

施設	施設侵入水量 (t/日)	根拠
捨石集積場	24.26	鉱山からの全排水量から坑内水量を差し引いた値 (2001～2010年の平均)
鉱業廃棄物埋立場	0.103	埋立場面積 (25m ²) に年間降水量 (1,503mm/年) を乗じた値
坑内	1.73	ダルシー流速に坑道断面積を乗じた値

(計算上の取り扱い下表のとおり)

鉱業廃棄物埋立場

期間	施設侵入水量 (t/日)	根拠
0～30年	0.000103	コンクリートの健全性が維持されているとし、施設侵入水量を最大値の0.1%に設定
30～100年	0.000103～0.103	コンクリートの健全性が徐々に失われると仮定し、施設侵入水量を時間とともに増加させる
100年～	0.103	コンクリートの健全性が完全に失われたとし、埋立場面積 (25m ²) に年間降水量 (1,503mm/年) を乗じた値を設定

坑内充填 (全坑道からの合計量)

期間	施設侵入水量 (t/日)	根拠
0～1年	40	坑道充填に伴って地下水によって冠水する期間として設定。 水量は坑内水量の実測値
1年～	1.73	ダルシー流速に坑道断面積を乗じた値

* 坑道充填では、坑道を5区画に分割して計算するため、計算時には、この量を坑道断面積で各区画に割り振って設定

14

3. パラメータの設定

○溶出率…下表のとおり

施設	根拠
捨石集積場	浸透水分析値112ppb（2001～2010年度の分析値の平均）と、措置前ウラン量3,303kgUと措置後ウラン量476kgUとの比より計算して16.1ppbUを設定
鉍業廃棄物埋立場	土壌溶出試験に準拠した試験を行った結果に基づいて、捨石集積場の流出水中のウラン濃度16.1ppbUの212倍を設定
坑内	鉍石と捨石については、浸漬試験の結果から設定。特別捨石については、鉍石と捨石の試験結果から、ウラン濃度比で比例配分することにより設定

（なお、計算上、溶出率は「1/年」で設定する必要があるため、個々の設定方法について、次ページ以降で説明する）

15

3. パラメータの設定

○溶出率…下表のとおり

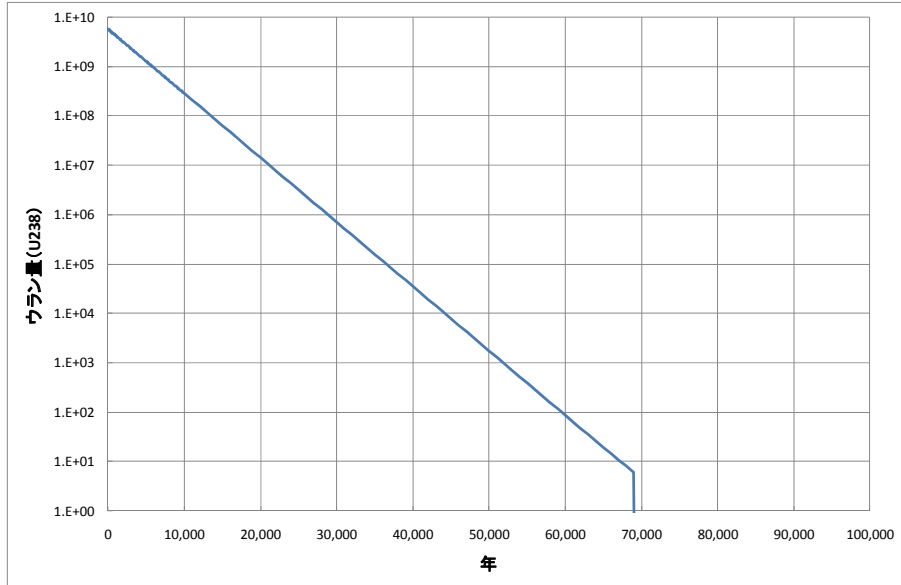
捨石集積場
期間：0年～

項目	単位	根拠
ウラン量	476kgU	
流出水量	24.26t/日	鉍山からの全排水量から坑内水量を差し引いた値（2001～2010年度の実績に基づく）
流出水のウラン濃度	16.1ppbU	浸透水分析値112ppb（2001～2010年度の分析値の平均）と、措置前ウラン量3,303kgUと措置後ウラン量476kgUとの比より計算
1年間のウラン溶出量	0.1kgU	流出水量×流出水のウラン濃度
全量溶出に要する期間	3,337年	ウラン量÷全量溶出に要する期間
溶出率	3.00E-04	1÷全量溶出に要する期間

16

3. パラメータの設定

〇インベントリの変化（捨石集積場）



17

3. パラメータの設定

鉱業廃棄物埋立場
期間：0～30年

項目	単位	根拠
ウラン量	25.7kgU	
流出水量	0.000103t/日	施設侵入水量の最大値の0.1%
流出水のウラン濃度	3,413ppbU	土壌含有量調査に準拠した試験を行った結果に基づいて、捨石集積場溶出濃度16.1ppbUの212倍を設定
1年間のウラン溶出量	0.0001kg (0.1g)	流出水量 × 流出水のウラン濃度
全量溶出に要する期間	200,388年	ウラン量 ÷ 全量溶出に要する期間
溶出率	4.99E-06	1 ÷ 全量溶出に要する期間

期間：30～100年

項目	単位	根拠
ウラン量	25.7kgU	元々のウラン量から30年までの溶出量を引いた値
流出水量	0.000103t/日 ↓ 0.103t/日	施設侵入水量の最大値の0.1%から最大値に時間とともに増加
流出水のウラン濃度	3,413ppbU	土壌含有量調査に準拠した試験を行った結果に基づいて、捨石集積場溶出濃度16.1ppbUの212倍を設定
1年間のウラン溶出量	0.064kg (64g)	流出水量 × 流出水のウラン濃度（期間中の平均）
全量溶出に要する期間	—	
溶出率	4.99E-06 ↓ 6.05E-03	（流出水量の変化に伴って溶出率も変化する）

18

3. パラメータの設定

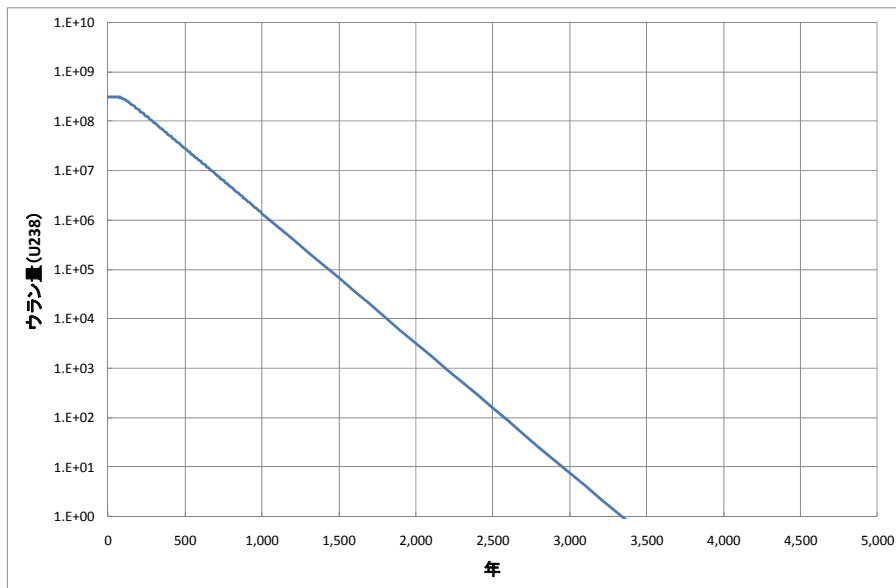
期間：100年～

項目	単位	根拠
ウラン量	24.7kgU	元々のウラン量から100年までの溶出量を引いた値
流出水量	0.103t/日	埋立場面積（25m ³ ）に年間降水量（1,503mm/年）を乗じた値
流出水のウラン濃度	3,413ppbU	土壌含有量調査に準拠した試験を行った結果に基づいて、捨石集積場溶出濃度16.1ppbUの212倍を設定
1年間のウラン溶出量	0.13kg（130g）	流出水量×流出水のウラン濃度
全量溶出に要する期間	165年	ウラン量÷全量溶出に要する期間
溶出率	6.05E-03	1÷全量溶出に要する期間

19

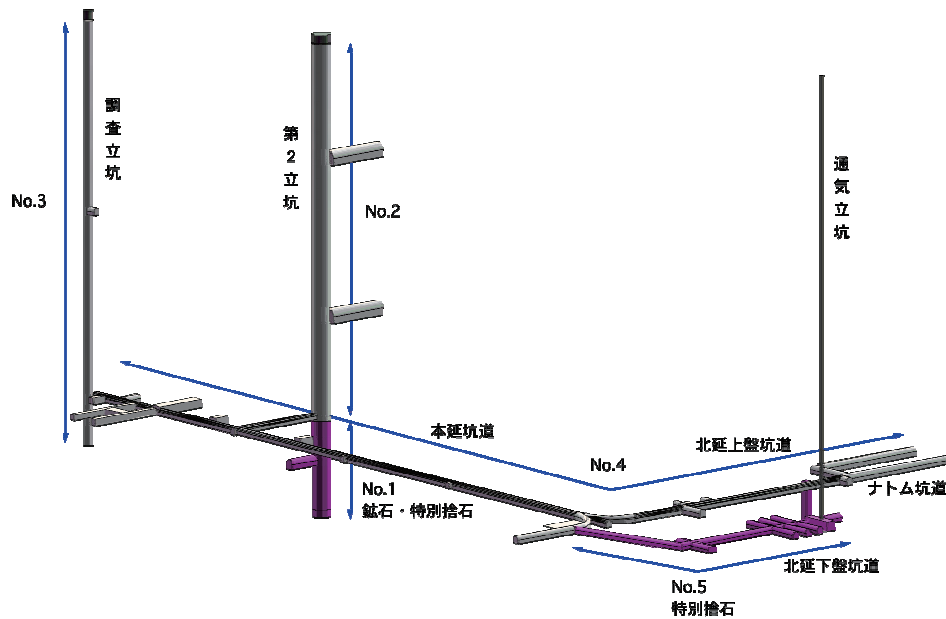
3. パラメータの設定

〇インベントリの変化（鉱業廃棄物埋立場）



20

3. パラメータの設定



21

3. パラメータの設定

○溶出率…下表のとおり

坑道充填（区画1：鉾石）
期間：0～2日

項目	単位	根拠
ウラン量	47kgU	
流出水量	4.03t/日	坑内水量を坑道断面積で割り振って設定
流出水のウラン濃度	12,332ppbU	浸漬試験の結果から設定
1年間のウラン溶出量	18kg	流出水量×流出水のウラン濃度
全量溶出に要する期間	2.6年	ウラン量÷1年間のウラン溶出量
溶出率	3.86E-01	1÷全量溶出に要する期間

期間：2～28日

項目	単位	根拠
ウラン量	46.9kgU	元々のウラン量から2日までの溶出量を引いた値
流出水量	4.03t/日	坑内水量を坑道断面積で割り振って設定
流出水のウラン濃度	1,091ppbU	浸漬試験の結果から設定
1年間のウラン溶出量	1.6kg	流出水量×流出水のウラン濃度
全量溶出に要する期間	29.2年	ウラン量÷1年間のウラン溶出量
溶出率	3.42E-02	1÷全量溶出に要する期間

22

3. パラメータの設定

期間：28日～1年

項目	単位	根拠
ウラン量	46.8kgU	元々のウラン量から28日までの溶出量を引いた値
流出水量	4.03t/日	坑内水量を坑道断面積で割り振って設定
流出水のウラン濃度	494ppbU	浸漬試験の結果から設定
1年間のウラン溶出量	0.7kg	流出水量×流出水のウラン濃度
全量溶出に要する期間	64.4年	ウラン量÷1年間のウラン溶出量
溶出率	1.55E-02	1÷全量溶出に要する期間

期間：1年～

項目	単位	根拠
ウラン量	46.1kgU	元々のウラン量から1年までの溶出量を引いた値
流出水量	0.13t/日	ダルシー流速に坑道断面積を乗じた値
流出水のウラン濃度	494ppbU	浸漬試験の結果から設定
1年間のウラン溶出量	0.02kg	流出水量×流出水のウラン濃度
全量溶出に要する期間	1,967年	ウラン量÷1年間のウラン溶出量
溶出率	5.08E-04	1÷全量溶出に要する期間

23

3. パラメータの設定

期間：0～2日

項目	区画1：鉱石	区画1：特別捨石	区画2：捨石	区画3：捨石	区画4：捨石	区画5：特別捨石
ウラン量	47kgU	847kgU	600kgU	114kgU	373kgU	898kgU
流出水量	4.03t/日	4.03t/日	19.53t/日	9.38t/日	14.99t/日	4.47t/日
流出水のウラン濃度	12.332ppbU	1.381ppbU	26ppbU	26ppbU	26ppbU	1.381ppbU
1年間のウラン溶出量	18kg	2.0kg	0.2kg	0.09kg	0.09kg	2.3kg
全量溶出に要する期間	2.6年	417年	3,237年	1,281年	2,622年	399年
溶出率	3.86E-01	2.40E-03	3.09E-04	7.81E-04	3.81E-04	2.51E-03

期間：2～28日

項目	単位	区画1：特別捨石	区画2：捨石	区画3：捨石	区画4：捨石	区画5：特別捨石
ウラン量	46.9kgU	847kgU	600kgU	114kgU	373kgU	898kgU
流出水量	4.03t/日	4.03t/日	19.53t/日	9.38t/日	14.99t/日	4.47t/日
流出水のウラン濃度	1.091ppbU	122ppbU	3ppbU	3ppbU	3ppbU	122ppbU
1年間のウラン溶出量	1.6kg	0.2kg	0.02kg	0.01kg	0.02kg	0.2kg
全量溶出に要する期間	29.2年	4,720年	28,057年	11,099年	22,724年	4,511年
溶出率	3.42E-02	2.12E-04	3.56E-05	9.01E-05	4.40E-05	2.22E-04

期間：28日～1年

項目	単位	区画1：特別捨石	区画2：捨石	区画3：捨石	区画4：捨石	区画5：特別捨石
ウラン量	46.8kgU	847kgU	600kgU	114kgU	373kgU	898kgU
流出水量	4.03t/日	4.03t/日	19.53t/日	9.38t/日	14.99t/日	4.47t/日
流出水のウラン濃度	494ppbU	55ppbU	1ppbU	1ppbU	1ppbU	55ppbU
1年間のウラン溶出量	0.7kg	0.08kg	0.007kg	0.003kg	0.005kg	0.09kg
全量溶出に要する期間	64.4年	10,469年	84,169年	33,297年	68,172年	10,006年
溶出率	1.55E-02	9.55E-05	1.19E-05	3.00E-05	1.47E-05	9.99E-05

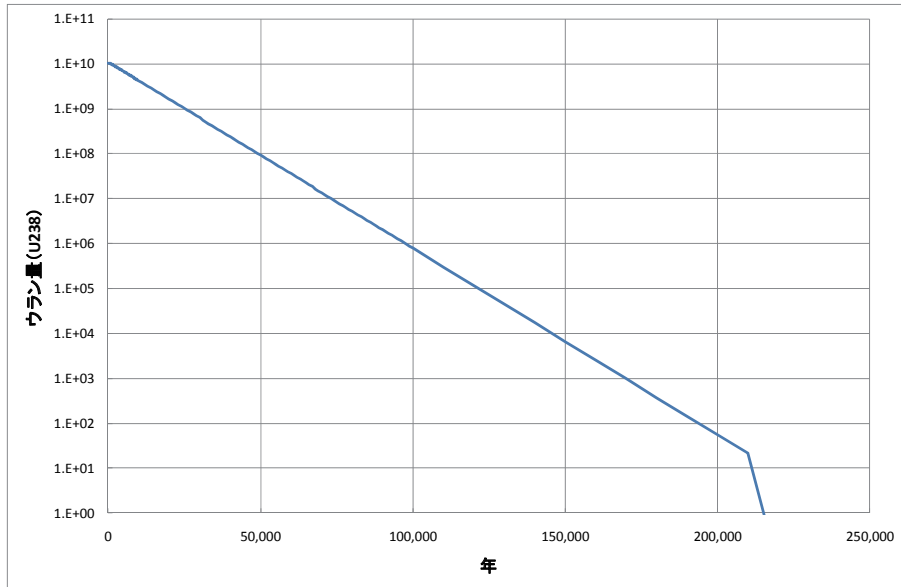
期間：1年～

項目	単位	区画1：特別捨石	区画2：捨石	区画3：捨石	区画4：捨石	区画5：特別捨石
ウラン量	46.1kgU	847kgU	600kgU	114kgU	373kgU	898kgU
流出水量	0.13t/日	0.13t/日	0.65t/日	0.31t/日	0.50t/日	0.15t/日
流出水のウラン濃度	494ppbU	55ppbU	1ppbU	1ppbU	1ppbU	55ppbU
1年間のウラン溶出量	0.02kg	0.002kg	0.0002kg	0.0001kg	0.0002kg	0.003kg
全量溶出に要する期間	1,967年	324,514年	2,528,939年	1,007,473年	2,043,797年	298,179年
溶出率	5.08E-04	3.08E-06	3.95E-07	9.93E-07	4.89E-07	3.35E-06

24

3. パラメータの設定

〇インベントリの変化（坑内充填－ブロック1）



25

3. パラメータの設定

〇インベントリの間隙率…下表のとおり

	設定値	根拠
捨石集積場	0.46	充填率を100%とし、瑞浪層群の間隙率を設定
鉱業廃棄物埋立場	0.245	埋立物の密度(2g/cm ³)と粒子密度(2.65g/cm ³)から計算
坑内(立坑)	0.511	充填率を90%とし、充填率と瑞浪層群の間隙率から計算
坑内(水平坑道)	0.575	充填率を80%とし、充填率と瑞浪層群の間隙率から計算

26

3. パラメータの設定

○移行距離…下表のとおり

(根拠：実測に基づく。なお、坑内充填の移行距離（1,500m）は、事前に行った地下水流動解析の結果に基づく。また、捨石集積場および鉱業廃棄物埋立場の地下水移行においては、地下水面は地表下約30mにあるため、下方に30m浸透した後、最寄りの河川に流出する経路を設定した。)

ソース	移行媒体	流出先	移行距離
捨石集積場	地表水	東洞川	130m
	地下水	東洞川	地下水面まで30m下方へ移行したのち、側方へ130m移行
鉱業廃棄物埋立場	地下水	東洞川	地下水面まで30m下方へ移行したのち、側方へ120m移行
坑内充填	地下水	日吉川	瑞浪層群を10m移行した後、花崗岩の上部割れ目帯を1,500m移行

27

3. パラメータの設定

○母岩の幅・厚さ…下表のとおり

(根拠：ここでのいう母岩の幅・厚さは、核種移行モデルにおける核種移行経路の母岩の幅と厚さを指し、ニアフィールドとファーフィールドで同じ値をとる。このため、幅と厚さはソースの形状と同じにした。ただし、坑内充填については、地下水流動の方向に直行する断面の幅と厚さとした。また、立坑は円形であるため、同容積の正方形とした場合の幅を設定した。)

	幅(m)	厚さ(m)
捨石集積場	30	2
鉱業廃棄物埋立場	5	1.26
坑内充填	区画1	6
	区画2	6
	区画3	2.7
	区画4	260.9
	区画5	85.6

28

3. パラメータの設定

○分散長…移行距離の1/10倍

(根拠:「我が国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性」
(第2次取りまとめ)に基づくと、信頼性の高い縦分散長の値は、移行距離
の1/10倍を中心に1/100～1/1倍に分布するとされていることから、ここで
は1/10倍と設定する。)

29

3. パラメータの設定

○粒子密度…2.65g/cm³

(根拠:粒子密度については、花崗岩の粒子相対密度は2.63～2.65であり、
平均値は2.65とされている。堆積岩では粒子密度は報告されていないが、
瑞浪層群の堆積物は花崗岩に由来すると考えられるので、粒子密度は花崗
岩、堆積岩ともに2.65g/cm³と設定する。)

30

3. パラメータの設定

○間隙率…花崗岩：1.09 %，堆積岩：45.8 %

(根拠：花崗岩では，断層に伴う脆弱部以外では有効間隙率は0.64～3.41 %であり，その平均は1.12 %である。また，瑞浪超深地層研究所の深度200mから掘削されたボーリングで得られた花崗岩の有効間隙率は0.92～1.20%であり，その平均値は1.05 %である。これらより，花崗岩の間隙率として，両者の中間値1.09 %と設定する。

堆積岩では有効間隙率はばらつきが大きい，東濃鉱山とその周辺地域で取得されたデータ，および瑞浪超深地層研究所の深度100mから掘削されたボーリングで得られたデータの平均値に基づいて45.8 %と設定する。)

31

3. パラメータの設定

○透水係数…花崗岩： $7.9 \times 10^{-8} \text{m/s}$ ，堆積岩： $5.4 \times 10^{-7} \text{m/s}$ (坑内充填)， $2.8 \times 10^{-8} \text{m/s}$ (捨石集積場および鉱業廃棄物埋立場の地下水移行)

(根拠：花崗岩上部の「上部割れ目帯」は広域的に不均質であり，領域ごとに透水係数が設定されている。「坑内充填」の移行経路である東濃鉱山から日吉川を含む地域の上部割れ目帯の透水係数 $7.9 \times 10^{-8} \text{m/s}$ を設定した。

なお，「捨石集積場」と「鉱業廃棄物埋立場」の地下水移行ケースでは，地表近傍が移行経路として想定される。この場合，土壌の発達によって透水係数が低めになる可能性が考えられるが，実測値がないことから，地質分布を考慮して瑞浪層群明世層の透水係数 $2.8 \times 10^{-8} \text{m/s}$ を設定した。「坑内充填」については，土岐夾炭層の透水係数 $5.4 \times 10^{-7} \text{m/s}$ を設定した。)

32

3. パラメータの設定

○地下水の実流速…**花崗岩： 1.0×10^{-6} m/s**，**堆積岩： 1.2×10^{-6} m/s**（坑内充填）， **6.1×10^{-6} m/s**（捨石集積場および鉱業廃棄物埋立場の地下水移行）

（根拠：亀裂性媒体（花崗岩）では、実流速はダルシー流速を水理学的有効間隙率で除することによって求められる。花崗岩の上部割れ目帯においては、水理解析で得られたダルシー流速分布の平均値は $4 \times 10^{-9} \sim 1.6 \times 10^{-9}$ m/s程度とされている。水理学的有効間隙率は断層や割れ目帯などの主要な水みち部の水理学的有効間隙率推定値として 4.06×10^{-3} とされており、 4.0×10^{-3} が用いられている。これらより、ダルシー流速を 4.0×10^{-9} m/s、水理学的有効間隙率推定値を 4.0×10^{-3} をとし、実流速として 1.0×10^{-6} m/sを設定した。

堆積岩については、透水係数を間隙率で除することによって実流速を求めて設定した。）

33

3. パラメータの設定

○酸化還元環境…**坑内充填の花崗岩を還元環境とし、他はすべて酸化環境とする（時間変化は考慮しない）**

（根拠：坑道周辺には酸化帯が形成されているが、その範囲は50cm程度とされている。しかし、モデル上、多くの領域に分割できないこと、酸化環境を設定した方がより保守的な評価になることから、ここでは花崗岩以外はすべて酸化環境と設定する。また、坑道周辺の酸化部においても、坑道充填後には還元環境に変化することが期待されるが、その時期を特定することは困難であることから、時間変化は保守的に考慮しない。）

ソース	移行媒体	ニアフィールド	ファーフィールド
捨石集積場	地表水	（計算上のダミー；瑞浪層群…酸化環境）	（計算上のダミー；瑞浪層群…酸化環境）
	地下水	瑞浪層群（不飽和帯）…酸化環境	瑞浪層群（飽和帯）…酸化環境
鉱業廃棄物埋立場	地下水	瑞浪層群（不飽和帯）…酸化環境	瑞浪層群（飽和帯）…酸化環境
坑内充填	地下水	瑞浪層群…酸化環境	花崗岩…還元環境

34

3. パラメータの設定

○分配係数…原子力学会標準の値を使用

核種	酸化帯の分配係数 (m^3/kg)				還元帯の分配係数 (m^3/kg)			
	捨石等	コンクリートビット	ニアファイア [※]	ファーフイア [※]	捨石等	コンクリートビット	ニアファイア [※]	ファーフイア [※]
Pb210	1.0×10^2	1.25×10^1	1.0×10^2	1.0×10^2	1.0×10^2	1.25×10^1	1.0×10^2	1.0×10^2
Po210	1.0×10^2	1.25×10^1	1.0×10^2	1.0×10^2	1.0×10^2	1.25×10^1	1.0×10^2	1.0×10^2
Ra226	5.0×10^2	1.25×10^0	5.0×10^2	5.0×10^2	5.0×10^3	1.25×10^0	5.0×10^3	5.0×10^3
Ra228	5.0×10^2	1.25×10^0	5.0×10^2	5.0×10^2	5.0×10^3	1.25×10^0	5.0×10^3	5.0×10^3
Ac227	5.0×10^3	2.5×10^2	5.0×10^3	5.0×10^3	5.0×10^3	2.5×10^2	5.0×10^3	5.0×10^3
Th228	1.0×10^3	2.5×10^2	1.0×10^3	1.0×10^3	1.0×10^3	2.5×10^2	1.0×10^3	1.0×10^3
Th229	1.0×10^3	2.5×10^2	1.0×10^3	1.0×10^3	1.0×10^3	2.5×10^2	1.0×10^3	1.0×10^3
Th230	1.0×10^3	2.5×10^2	1.0×10^3	1.0×10^3	1.0×10^3	2.5×10^2	1.0×10^3	1.0×10^3
Th232	1.0×10^3	2.5×10^2	1.0×10^3	1.0×10^3	1.0×10^3	2.5×10^2	1.0×10^3	1.0×10^3
Pa231	5.0×10^0	2.5×10^2	5.0×10^0	5.0×10^0	1.0×10^3	2.5×10^2	1.0×10^3	1.0×10^3
Pa233	5.0×10^0	2.5×10^2	5.0×10^0	5.0×10^0	1.0×10^3	2.5×10^2	1.0×10^3	1.0×10^3
U234	5.0×10^0	2.5×10^2	5.0×10^0	5.0×10^0	1.0×10^3	2.5×10^2	1.0×10^3	1.0×10^3
U235	5.0×10^0	2.5×10^2	5.0×10^0	5.0×10^0	1.0×10^3	2.5×10^2	1.0×10^3	1.0×10^3
U238	5.0×10^0	2.5×10^2	5.0×10^0	5.0×10^0	1.0×10^3	2.5×10^2	1.0×10^3	1.0×10^3

*還元帯の分配係数は、酸化帯の分配係数に報告書「ウラン廃棄物の余裕深度処分概念の検討(5)」に示された変化率を乗じて算出

35

3. パラメータの設定

○屈曲率…1

(根拠：屈曲率は物質が拡散する場合に、物理的および化学的な流路の曲折の比で表され、実際の流路長さに対する直線流路長の比で定義される。亀裂性媒体では、物理的流路と化学的流路はおおむね一致する可能性があるが、多孔質媒体では物理的な流路が化学的流路よりも明らかに長いと考えられる。

屈曲率は0～1の値をとるが、その値が小さいほど拡散の効果が大きくなることを意味するので、ここでは流路の形状が拡散に及ぼす影響を無視することとし、屈曲率は保守的に1と設定する。)

36

3. パラメータの設定

○地表水流量…下表のとおり

河川	流量 (m ³ /年)	根拠
日吉川	33,646,838	実測値 (2003～2007年度の平均値)
正馬川	472,733	実測値 (2001～2007年度の平均値)
東洞川	203,909	隣接する正馬様における降雨量と蒸発量 (それぞれ2001～2007年度の観測値) の差の半分を河川流出高とし、それに流域面積を乗じて算出

37

3. パラメータの設定

○原子力学会標準から引用したパラメータ (例)

(1) 水産物摂取による被ばく

記号	パラメータ名	使用した値	引用元
$T_{FSM}(i)$	放射性物質 i の水産物 m への濃縮係数 (m ³ /kg)	(次ページ参照)	学会標準p. 25
M_{FSM}	水産物の年間摂取量 (kg/y)	淡水魚: 10 淡水貝: 1	学会標準p. 48
G_{FSM}	水産物の市場希釈係数	1 (「淡水水産物は処分場ごとに設定」とされているが、ここでは希釈されないと仮定)	学会標準p. 19

(2) 河川岸作業による被ばく

記号	パラメータ名	使用した値	引用元
ϵ_{RS}	河川岸土壌の間隙率 (-)	0.42	学会標準p. 20
ρ_{RS}	河川岸土壌の粒子密度 (kg/m ³)	2600	学会標準p. 20
$Kd_{RS}(i)$	河川岸土壌の放射性核種 i の収着分配係数 (m ³ /kg)	(次ページ参照)	学会標準p. 25
$S_{RS}(i)$	河川岸利用における放射性核種 i の遮へい係数	全て: 1 (農耕土壌の遮へい係数と同じと仮定)	学会標準p. 21
t_{RS}	年間の河川岸利用時間 (h/y)	500	学会標準p. 20
d_{RS}	河川岸利用時のダスト濃度 (kg/m ³)	5×10^{-7}	学会標準p. 20
B_{RS}	河川岸利用者の呼吸率 (m ³ /h)	1.2	学会標準p. 20

38

3. パラメータの設定

○原子力学会標準から引用したパラメータ（例）

元素	濃縮係数 (m ³ /kg)		分配係数 (m ³ /kg)	
	淡水魚類	淡水貝類	農耕土壌	河川岸土壌
Pb	3.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	2.2×10^1	2.7×10^{-1}
Po	5.0×10^{-2}	2.0×10^1	6.6×10^0	1.5×10^{-1}
Ra	5.0×10^{-2}	3.0×10^{-1}	2.4×10^0	4.9×10^{-1}
Ac	1.5×10^{-2}	1.0×10^0	5.4×10^0	4.5×10^{-1}
Th	1.0×10^{-1}	5.0×10^{-1}	8.9×10^1	3.0×10^0
Pa	1.0×10^{-2}	1.0×10^{-1}	6.6×10^0	5.4×10^{-1}
U	1.0×10^{-2}	1.0×10^{-1}	4.0×10^{-1}	3.3×10^{-2}

39

3. パラメータの設定

○原子力学会標準から引用したパラメータ（例）

核種	半減期 (y)	線量換算係数		外部被ばく線量換算係数 (Sv/h)/(Bq/kg)
		経口摂取 (Sv/Bq)	吸入 (Sv/Bq)	
²¹⁰ Pb	2.23×10^1	6.9×10^{-7}	1.2×10^{-6}	1.8×10^{-13}
²¹⁰ Po	3.79×10^{-1}	1.2×10^{-6}	3.3×10^{-6}	2.5×10^{-15}
²²⁶ Ra	1.60×10^3	2.8×10^{-7}	3.5×10^{-6}	5.0×10^{-10}
²²⁸ Ra	5.75×10^0	6.9×10^{-7}	2.6×10^{-6}	2.7×10^{-10}
²²⁷ Ac	2.18×10^1	1.1×10^{-6}	5.5×10^{-4}	2.1×10^{-13}
²²⁸ Th	1.91×10^0	1.4×10^{-7}	4.4×10^{-5}	4.5×10^{-10}
²²⁹ Th	7.34×10^3	4.9×10^{-7}	7.1×10^{-5}	2.4×10^{-11}
²³⁰ Th	7.54×10^4	2.1×10^{-7}	2.5×10^{-5}	3.8×10^{-14}
²³² Th	1.41×10^{10}	2.3×10^{-7}	2.5×10^{-5}	3.8×10^{-14}
²³¹ Pa	3.28×10^4	7.1×10^{-7}	1.4×10^{-4}	1.1×10^{-11}
²³³ Pa	7.38×10^{-2}	8.7×10^{-10}	3.3×10^{-9}	6.1×10^{-11}
²³⁴ U	2.46×10^5	4.9×10^{-8}	3.5×10^{-6}	2.7×10^{-14}
²³⁵ U	7.04×10^8	4.7×10^{-8}	3.1×10^{-6}	5.1×10^{-11}
²³⁶ U	2.34×10^7	4.7×10^{-8}	3.2×10^{-6}	1.3×10^{-14}
²³⁸ U	4.47×10^9	4.5×10^{-8}	2.9×10^{-6}	2.7×10^{-13}

40

3. パラメータの設定

○捨石集積場：直接 γ 線及びスカイシャイン（1／5）

計算コード

線源の γ 線発生率は、核種生成崩壊計算コードORIGEN2を使用して計算。

その γ 線発生率を線源条件として直接線及びスカイシャイン線による実効線量を2次元Sn法輸送計算コードDOT3.5により計算。

41

3. パラメータの設定

○捨石集積場：直接 γ 線及びスカイシャイン（2／5）

ORIGEN2

使用済核燃料等の核種組成を計算するコードであり、核分裂や放射性崩壊による核種の生成量を計算するコード。

DOT3.5

遮へい設計や許認可等に使用される計算コードであり、2次元Sn法コードDOT-Ⅲを改良したコード。

42

3. パラメータの設定

○捨石集積場：直接 γ 線及びスカイシャイン（3／5）

インベントリ

集積体積 m ³	集積量 t	集積密度 g/cm ³	U量 kgU308	U品位 %U	U238 Bq/g	U235 Bq/g	U234 Bq/g	U238 Bq	U235 Bq	U234 Bq
3,000	5,100	1.7	561	0.009	1.15E+00	5.37E-02	1.15E+00	5.86E+09	2.74E+08	5.86E+09

物質組成

花崗岩の元素組成		
元素	重量百分率 wt%	密度 g/cm ³
O	48.24	8.2002E-01
Na	2.55	4.3418E-02
Al	6.76	1.1500E-01
Si	35.08	5.9638E-01
K	3.80	6.4630E-02
Ca	0.81	1.3697E-02
Fe	0.92	1.5588E-02
合計	98.16	1.7

※0.5%未満の元素は考慮しない。

重量比		
元素	空気	土壌
H	1.0004E-05	9.6166E-03
C	1.2559E-02	
N	7.5500E-01	
O	2.3243E-01	5.4367E-01
Al		1.2858E-01
Si		3.1814E-01
密度(g/cm ³)	1.20E-03	1.70

※出典：JAERI-M 84-038

43

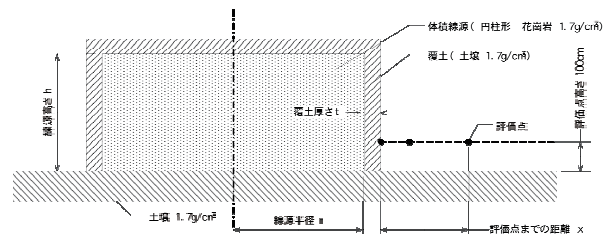
3. パラメータの設定

○捨石集積場：直接 γ 線及びスカイシャイン（4／5）

ORIGEN2により γ 線発生率を計算（子孫核種：放射平衡）
DOT3.5により実効線量を計算（形状を円柱形に近似）

直接 γ 線

形状モデル	体系：円柱形
線源	放射線の種類： γ 線 形状：体積線源 角度依存性：等方線源
断面積 ライブラリ	DLC-23E 中性子 22 群、 γ 線 18 群
ルジャンドル 展開次数	P ₅
角度分点	S ₈



44

3. パラメータの設定

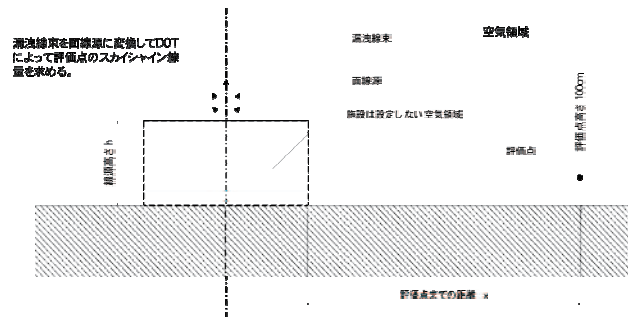
○捨石集積場：直接 γ 線及びスカイシャイン（5／5）

ステップ1: 対象施設の上面から漏洩する線束分布を計算

ステップ2: 線束分布を面線源とした実効線量を計算

スカイシャイン

形状モデル	体系：円柱形
線源	放射線の種類： γ 線 形状：体積線源 角度依存性 ステップ1：等方線源 ステップ2：非等方線源
断面積 ライブラリ	DLC-23E 中性子 22 群、 γ 線 18 群
ルジャンドル 展開次数	P_3
角度分点	S_8



45

今後の予定(案)

～6月下旬…線量計算の結果を報告書（案）としてとりまとめ
（委員会でご報告）

7月上旬～中旬…報告書（案）に基づいて、線量計算の妥当性を
確認

7月中旬～下旬…コメントに基づいた報告書の修正（委員会でご
報告）

8月上旬～8月中旬…報告書の再修正、最終版作成

8月下旬…答申

46

This is a blank page.

5. 第3回委員会

This is a blank page.

第3回東濃鉾山安全性評価検討委員会 議事次第

1. 日時：平成23年8月5日（金） 13：40～15：55
2. 場所：日本原子力研究開発機構 瑞浪国際地科学交流館 会議室
3. 議事次第
 - (1) 委員長挨拶 [13：40～13：45]
 - (2) 前回議事録確認 [13：45～13：55]
 - (3) 東濃鉾山を取り巻く状況等について [13：55～14：10]
 - (4) 線量計算の内容について [14：10～15：55]

以 上

第3回東濃鉱山安全性評価検討委員会 —議事録—

1. 議事概要

- (1) 日時：8月5日（金）13時30分～16時00分
- (2) 場所：日本原子力研究開発機構 瑞浪国際地科学交流館 会議室
- (3) 出席者：
 - （委員）飯田委員長、鹿園委員、佐藤委員
 - （機構）福島副所長、杉原副所長、花木鉱山措置・施設管理課長、
笹尾鉱山措置・施設管理課研究副主幹、事務局（鉱山措置・施設管理課）
（オブザーバー）瀧課長、石森研究副主幹（人形峠環境技術センター）
- (4) 議事
 - 1) 委員長挨拶
 - 2) 第2回議事録（案）確認
 - 3) 東濃鉱山を取り巻く状況等について
 - 4) 線量計算の内容について

2. 第2回委員会議事録（案）確認

地下水の回復時期についての「問」に対し、「答」との整合性がないとの意見が出され、修正することで承認された。

3. 線量計算の内容について

資料に沿って、シナリオの設定、パラメータの設定について報告を行った。

（問）捨石集積場及び鉱業廃棄物埋立場の移行経路は隆起・侵食について考慮しないのか。

（答）局地的に隆起するのではなく、地域全体が隆起するため、動水勾配は変化しな

いと考えられることから、侵食等については考慮していない。

(問) コンクリートについて移流の影響は考慮しているのか。

(答) 分配については考慮しているが、移流については考慮していない。

(問) 鉱業廃棄物の粒子密度は小さ過ぎないか。

(答) 実測によりこの値を使っていたが、文献などを参考に一般的な粒子密度に変更とする。

(問) 坑内の移行経路の高さを 2m で均一としているが実際は異なるのでは。

(答) モデル上の制約であり、割れ目等で流速が早くなる場合等パラメータを考慮することで対応している。

(問) 地下水の実流速は測定例を基にしているのか。

(答) 透水係数、間隙率及び動水勾配を基に設定している。実流速は基本的に平均値を用いるため、ダルシー流速を有効間隙率で除することで求めている。

(問) 文献より引用された分配係数の単位は何か。

(答) m^3/kg である。

(問) ファーフィールドは還元状態なのか。

(答) 還元状態としている。

(問) 分配係数は前回と変わっているが、今回はどのような係数を使ったのか。

(答) 今回は還元と酸化が変わっている。坑内充填のファーフィールドは還元とし、その他のフィールドは酸化とし、砂岩の値を用いている。

(問) 地下水の流速を変えると計算結果に影響をするのか。

(答) 影響する。

(問) 基本ケースは保守的に設定し、代替ケースは結果が過大となるように設定しているのか。

(答) 基本ケースは測定値、文献値など根拠のある一般的な値を設定し、代替ケースは一定の幅でパラメータスタディを行っている。

- (問) 線量結果のまとめのグラフでは、パラメータを保守的に設定しているとのことだが、計算結果とデータとを比較することは可能か。
- (答) 井戸水は実測しているが線量は低い。ただし、今回の閉山措置の影響は、地下水の流速等を考えれば、相当後になってから出始めると推測されるので、現在のデータを検証しても結果が正しいことにはならないと思われる。

以 上

説明資料

第3回 東濃鉾山安全性評価検討委員会

**平成23年8月5日
日本原子力研究開発機構
東濃地科学センター**

本日の内容

- 1. 前回議事録確認**
- 2. 東濃鉾山を取り巻く状況等について**
- 3. 線量計算の内容について**

2. 東濃鉍山を取り巻く状況等について

○産業保安監督部との調整事項

- 1)集積場の変更認可**
- 2)鉍業廃棄物埋立槽の措置**
- 3)休閉山実施計画書の提出**

2

3. 線量計算の内容について

- 1. シナリオ(移行経路)の設定**
- 2. パラメータの設定**
- 3. 直接線およびスカイシャイン**

1

前回委員会でのコメント(1/4)

- ・ 分配係数の設定において、花崗岩と堆積岩を一緒に設定しているようだが、実際には異なるのではないか。

→岩種ごとに設定する。(対応済み)

- ・ 移行経路とそこで生じる反応などをポンチ絵にまとめるとわかりやすい。

→ポンチ絵を作成する。(対応済み)

- ・ 溶出率については、元素ごとに設定することです承。

→元素ごとに溶出率を設定した。(対応済み)

2

前回委員会でのコメント(2/4)

- ・ 坑内充填について、坑道周辺は酸化状態が続くとしているが、実際には還元状態に戻られるので、そのような計算をしてはどうか？

→実際には還元状態に戻られるが、酸化状態から還元状態への切り替え時期の設定が難しい。充填後、1年、3年、5年といったように、何ケースかを設定して計算してみる。(実施中)

- ・ 分配係数について、瑞浪層群（堆積岩）は砂と泥が混じっているので、砂岩と泥岩の中間的な分配係数を設定すべきではないか？

→分配係数はばらつきが大きく、引用した文献では岩相ごとのばらつきを考慮して保守的な係数を設定している。このため、基本ケースではより保守的に砂岩の係数を用い、代替ケースとして泥岩の係数を用いることによって計算結果の提供を確認していく。(実施中)

3

前回委員会でのコメント(3/4)

- ・地下水の実流速の設定について、花崗岩はダルシー流速と間隙率から求めているが、堆積岩では透水係数と間隙率から求めており、考え方が整合しないように思われる。
→花崗岩も堆積岩もダルシー流速と間隙率から実流速を求めることとし、考え方を合わせた。 **(対応済み)**
- ・核種の移動などは微分方程式を解いているが、どのようにしているのか？
→計算の詳細は実際にはブラックボックスでよくわからないが、移行経路を離散化して疎行列反復解法を用いたり（パラメータの時間変化を考慮する場合）、移行経路を連続体として扱い、無限遠で濃度0とする条件でラプラス変換によって支配方程式を解く方法などを採用しているようである。 **(対応済み)**

4

前回委員会でのコメント(4/4)

- ・長期間におよび評価を行う場合、侵食の影響を考慮する必要があるのではないか？
→侵食の影響を考慮する必要があるのは坑内充填であるが、ウラン品位の高い鉱石などは鉱床中に充填することにしており、侵食で露出する場合には充填した鉱石よりも先に鉱床自体が露出するので、今回は侵食を考慮しない。ただし、侵食によって地下水流動系が変化することを念のため想定し、評価点（移行経路の流出点）を現在の評価点よりも近い場所に設定した計算を行う予定にしている。 **(実施中)**

5

1. シナリオ(移行経路)の設定

○捨石集積場

- ・地表水による移行および地下水による移行を考慮。評価点は東濃鉱山正門付近およびその下流域とする。
- ・スカイシャインおよび直接γ線も考慮する。

○鉱業廃棄物埋立場

- ・地下水による移行を考慮。評価点は東濃鉱山正門付近およびその下流域とする。

○坑内

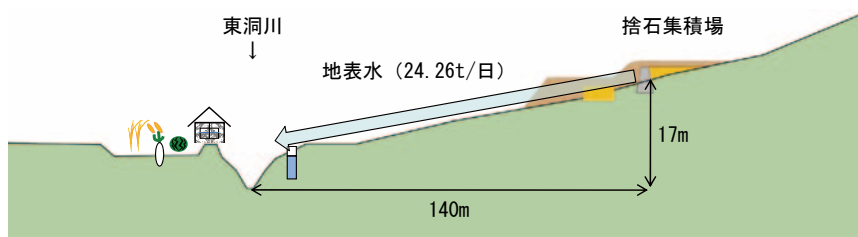
- ・地下水による移行を考慮。評価点は日吉川とする。

6



1. シナリオ(移行経路)の設定

捨石集積場を起点とする移行経路



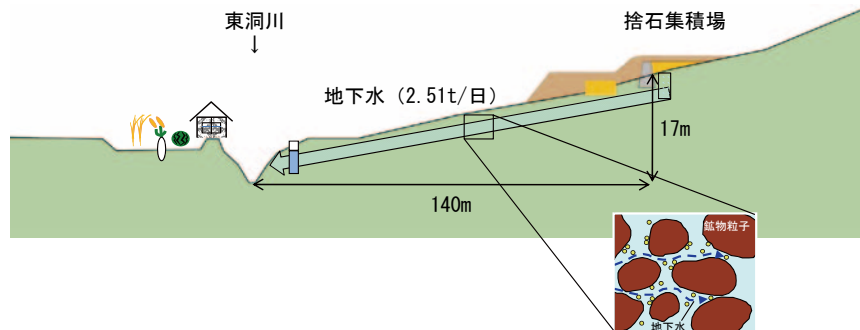
- ・施設からの流出水量：24.26t/日 (8,855m³/年)
- ・移行時間：3分 (水路を流れる想定)
- ・移行経路上での分散および岩石への分配は考慮しない
- ・河川流量：313,323m³/年

7



1. シナリオ(移行経路)の設定

捨石集積場を起点とする移行経路



- ・施設からの流出水量：2.51t/日 (916m³/年)
- ・河川流量：313,323m³/年

○地下水流速

- ・動水勾配：0.12
- ・間隙率：0.46

○移行経路の屈曲：保守的に1

○分散長：0.14m (移行距離の1/10)

○岩石への分配：砂岩の分配係数

○酸化環境

8



1. シナリオ(移行経路)の設定

○河川水利用のシナリオ

- ・河川水を飲用する (河川水飲用)
- ・河川水を利用して農作業を行い、それによって被ばくする (農耕作業外部, 農耕作業吸入)
- ・河川水を利用して農作業を行い、栽培した農作物を摂取する (農作物摂取)
- ・河川水を利用して栽培した飼料で飼育した畜産物を摂取する (畜産物摂取)
- ・河川中の魚や貝を採り、その水産物を摂取する (水産物摂取)

9



1. シナリオ(移行経路)の設定

○河川岸利用のシナリオ

河川岸居住者が,

- ・ 居住することによって被ばくする（居住外部，居住吸入）
 - ・ 農作業によって被ばくする（農耕作業外部，農耕作業吸入）
 - ・ 自宅近くで農作業を行い，栽培した農作物を摂取する（農作物摂取）
 - ・ 自宅近くの畑で栽培した飼料で飼育した畜産物を摂取する（畜産物摂取）
- 作業500時間，居住8,260時間で計算

10

1. シナリオ(移行経路)の設定

○捨石集積場

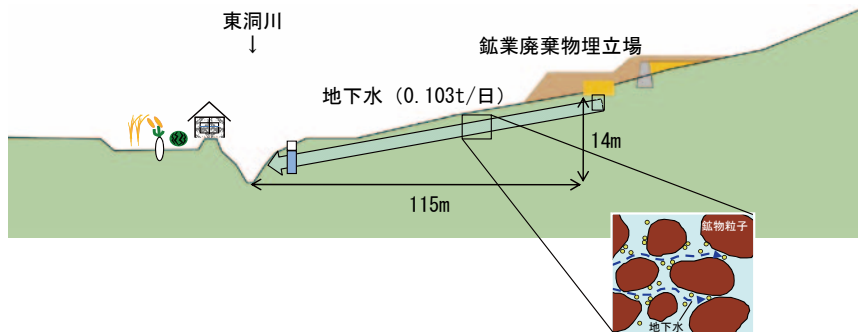
	移行様式	評価地点	被ばく様式
捨石集積場	地表水による移行	東洞川 (河川水利用)	河川水飲用
			直接線（農耕作業）
			粉じん吸入（農耕作業）
			農作物摂取
			畜産物摂取
			水産物摂取
	地下水による移行	東洞川 (河川水利用)	直接線（農耕作業＋居住）
			粉じん吸入（農耕作業＋居住）
			農作物摂取
			畜産物摂取
			水産物摂取
			河川水飲用
	直接線	東洞川近傍	直接線（農耕作業＋居住）
			粉じん吸入（農耕作業＋居住）
			農作物摂取
			畜産物摂取
			井戸水飲用
			スカイシャイン
			直接γ線

11



1. シナリオ(移行経路)の設定

鉱業廃棄物埋立場を起点とする移行経路



- ・施設からの流出水量：0.103t/日 (38m³/年)
- ・河川流量：313,323m³/年

○地下水流速

- ・動水勾配：0.12
- ・間隙率：0.46

○移行経路の屈曲：保守的に1

○分散長：0.115m (移行距離の1/10)

○岩石への分配：砂岩の分配係数

○酸化環境

12



1. シナリオ(移行経路)の設定

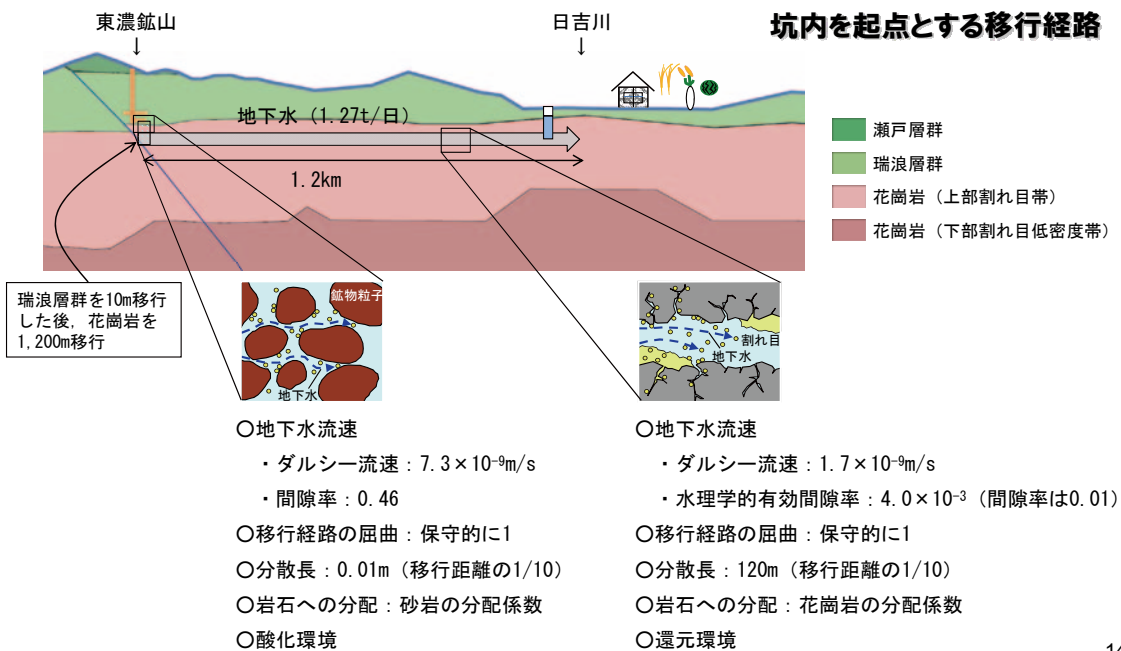
○鉱業廃棄物埋立場

	移行様式	評価地点	被ばく様式
鉱業廃棄物埋立場	地下水による移行	東洞川 (河川水利用)	河川水飲用
			直接線 (農耕作業)
			粉じん吸入 (農耕作業)
			農作物摂取
			畜産物摂取
			水産物摂取
	東洞川近傍	東洞川 (河川岸利用)	直接線 (農耕作業+居住)
			粉じん吸入 (農耕作業+居住)
			農作物摂取
		東洞川近傍	畜産物摂取
			井戸水飲用

13



1. シナリオ(移行経路)の設定



1. シナリオ(移行経路)の設定

○坑内

	移行様式	評価地点	被ばく様式
坑内	地下水による移行	日吉川 (河川水利用)	河川水飲用
			直接線 (農耕作業)
			粉じん吸入 (農耕作業)
			農産物摂取
			畜産物摂取
		日吉川 (河川岸利用)	水産物摂取
			直接線 (居住)
			粉じん吸入 (居住)
		日吉川近傍	農作物摂取
			畜産物摂取
			井戸水飲用

2. パラメータの設定

- 評価に使用するパラメータは、東濃地域で取得されたデータを使用するが、一般的なパラメータについては、原子力学会標準や既存の研究開発報告書類に記載されたデータを用いる。

16

2. パラメータの設定

○施設侵入水量…下表のとおり

施設	施設侵入水量 (t/日)	根拠
捨石集積場	26.77	東濃鉱山と周辺地域で実施した水収支観測の結果では、東濃鉱山では降雨量の58%が河川に流出し、6%が岩盤に浸透するとされていることから、捨石集積場を通過する水は58:6の割合で地表水(排水)と地下水に分配されると仮定(次スライド参照)。 捨石集積場を通過し排水される水量は、鉱山からの全排水量から坑内水量を差し引いた値(24.26t/日; 2001~2010年度の平均)とし、それに基づいて地下水への流量を求め、施設侵入水量を算出
鉱業廃棄物埋立場	0.103	埋立場面積(25m ³)に年間降水量(1,503mm/年)を乗じた値
坑内	1.27	ダルシー流速に坑道断面積を乗じた値

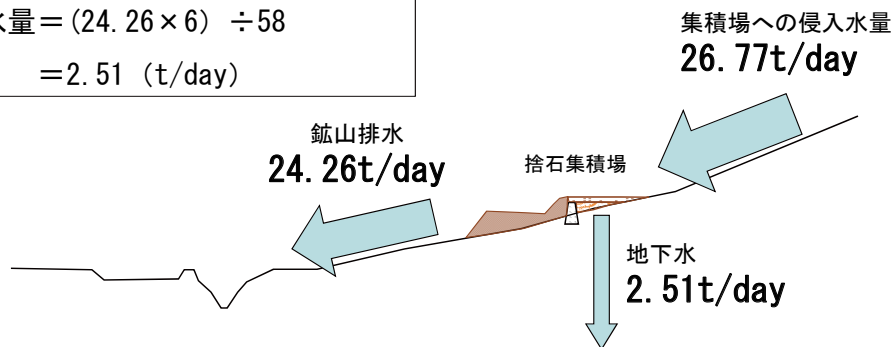
17

集積場の地表水と地下水の配分について

○東濃鉱山と周辺地域で実施した水収支観測の結果では、東濃鉱山では降水量の58%が河川に流出し、6%が岩盤に浸透するとされていることから、捨石集積場を通過する水は58：6の割合で地表水（排水）と地下水に分配されると仮定。

→ここで既知なのは排水量なので、排水量と上記の比率に基づいて、地下水量および集積場を通過する水量を計算。

$$\begin{aligned} \text{排水量 (24.26)} : \text{地下水量} &= 58 : 6 \\ \text{地下水量} &= (24.26 \times 6) \div 58 \\ &= 2.51 \text{ (t/day)} \end{aligned}$$



18

2. パラメータの設定

○施設侵入水量

（計算上の取り扱いは下表のとおり）

鉱業廃棄物埋立場

期間	施設侵入水量（t/日）	根拠
0～30年	0.000103	コンクリートの健全性が維持されているとし、施設侵入水量を最大値の0.1%に設定
30～100年	0.000103～0.103	コンクリートの健全性が徐々に失われると仮定し、施設侵入水量を時間とともに増加させる
100年～	0.103	コンクリートの健全性が完全に失われたとし、埋立場面積（25m ³ ）に年間降水量（1,503mm/年）を乗じた値を設定

坑内（全坑道からの合計量）

期間	施設侵入水量（t/日）	根拠
0～1年	52.4	坑道充填に伴って地下水によって冠水する期間として設定。水量は坑内水量の実測値（2001～2010年度の平均値）
1年～	1.27	ダルシー流速に坑道断面積を乗じた値

* 坑道充填では、坑道を6区画に分割して計算するため、計算時には、この量を坑道断面積で各区画に割り振って設定

19

2. パラメータの設定

○溶出率…下表のとおり

施設	根拠
捨石集積場	浸透水分析値112ppb（2001～2010年度の分析値の平均）と、措置前ウラン量3,303kgUと措置後ウラン量476kgUとの比より計算して16.1ppbUを設定
鉍業廃棄物埋立場	土壌溶出試験に準拠した試験を行った結果に基づいて、捨石集積場の流出水中のウラン濃度16.1ppbUの212倍を設定
坑内	鉍石と捨石については、浸漬試験の結果から設定。特別捨石については、鉍石と捨石の試験結果から、ウラン濃度比で比例配分することにより設定

（溶出率は「速度定数」であることから、最初の1年間の溶出速度が全期間一定であると仮定して設定する）

20

2. パラメータの設定

○溶出率…下表のとおり

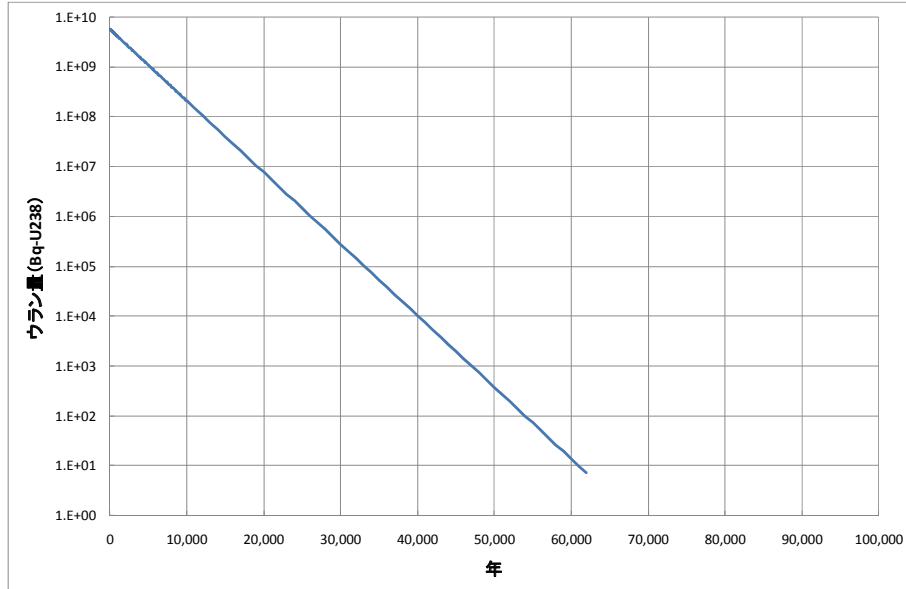
捨石集積場
期間：0年～

項目	単位	根拠
ウラン量	476kgU	
流出水量 （施設侵入水量）	26.77t/日	鉍山からの全排水量から坑内水量を差し引いた値（2001～2010年度の実績に基づく）と、河川流出高（58%）と岩盤浸透率（6%）の比から算出
流出水のウラン濃度	16.1ppbU	浸透水分析値112ppb（2001～2010年度の分析値の平均）と、措置前ウラン量3,303kgUと措置後ウラン量476kgUとの比より計算
1年間のウラン溶出量	0.16kgU	流出水量×流出水のウラン濃度
溶出率	3.30E-04	1年間のウラン溶出量÷ウラン量

21

2. パラメータの設定

〇インベントリの変化（捨石集積場）



22

2. パラメータの設定

鉱業廃棄物埋立場
期間：0～30年

項目	単位	根拠
ウラン量	25.7kgU	
流出水量	0.000103t/日	施設侵入水量の最大値の0.1%
流出水のウラン濃度	3,413ppbU	土壌含有量調査に準拠した試験を行った結果に基づいて、捨石集積場溶出濃度16.1ppbUの212倍を設定
1年間のウラン溶出量	0.0001kg (0.1g)	流出水量×流出水のウラン濃度
溶出率	4.99E-06	1年間のウラン溶出量÷ウラン量

期間：30～100年

項目	単位	根拠
ウラン量	25.7kgU	元々のウラン量から30年までの溶出量を引いた値
流出水量	0.000103t/日 ↓ 0.103t/日	施設侵入水量の最大値の0.1%から最大値に時間とともに増加
流出水のウラン濃度	3,413ppbU	土壌含有量調査に準拠した試験を行った結果に基づいて、捨石集積場溶出濃度16.1ppbUの212倍を設定
1年間のウラン溶出量	0.064kg (64g)	流出水量×流出水のウラン濃度（期間中の平均）
溶出率	4.99E-06 ↓ 6.05E-03	（流出水量の変化に伴って溶出率も変化する）

23

2. パラメータの設定

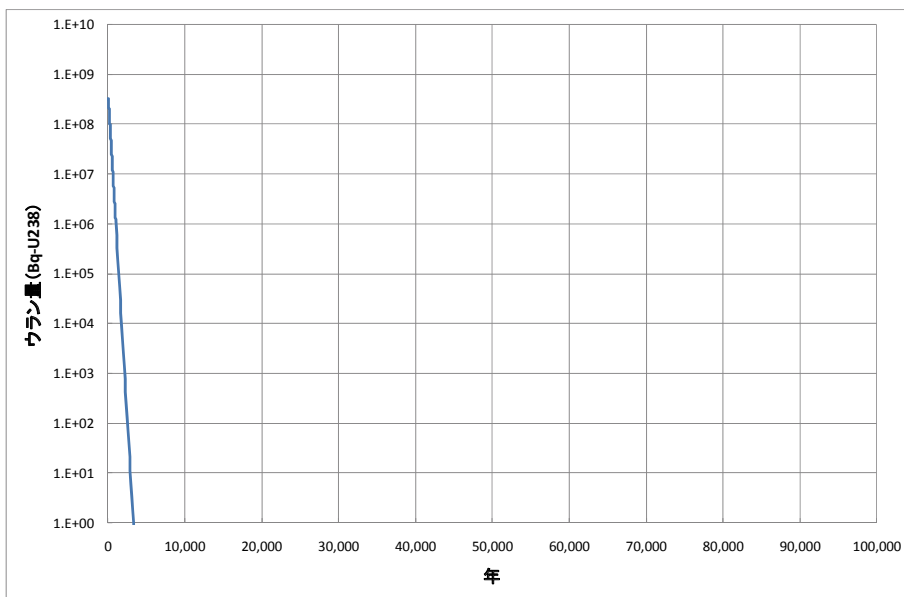
期間：100年～

項目	単位	根拠
ウラン量	21.2kgU	元々のウラン量から100年までの溶出量を引いた値
流出水量	0.103t/日	埋立場面積（25m ³ ）に年間降水量（1,503mm/年）を乗じた値
流出水のウラン濃度	3,413ppbU	土壌含有量調査に準拠した試験を行った結果に基づいて、捨石集積場溶出濃度16.1ppbUの212倍を設定
1年間のウラン溶出量	0.13kg（130g）	流出水量×流出水のウラン濃度
溶出率	6.05E-03	1年間のウラン溶出量÷ウラン量

24

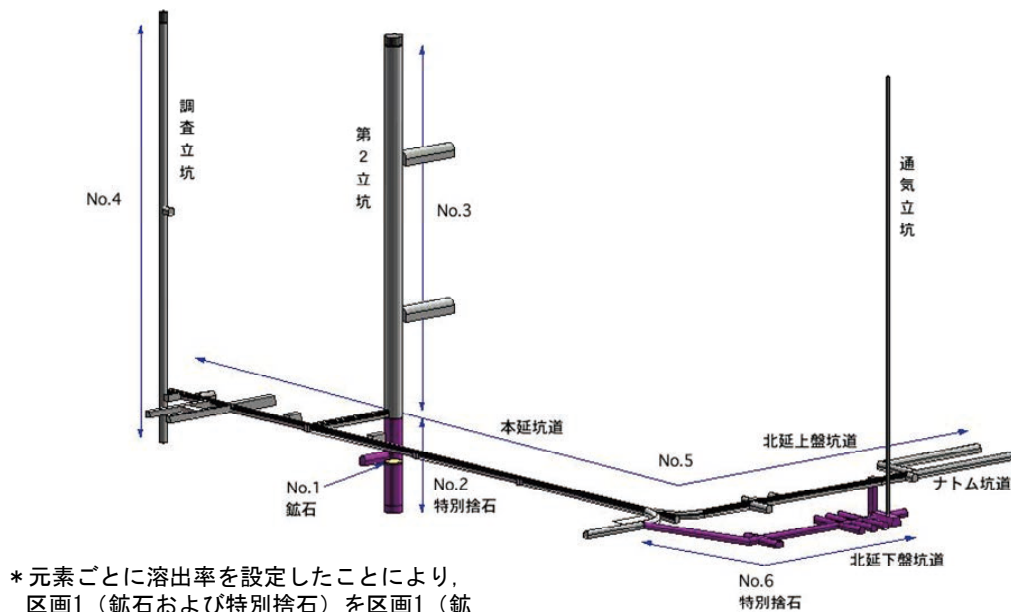
2. パラメータの設定

〇インベントリの変化（鉱業廃棄物埋立場）



25

2. パラメータの設定



26

2. パラメータの設定

○溶出率…下表のとおり

坑道充填 (区画1 : 鉱石)

期間 : 0~2日

項目	単位	根拠
ウラン量	47kgU	
流出水量	0.04t/日	坑内水量を坑道断面積で割り振って設定
流出水のウラン濃度	12,319ppbU	浸漬試験の結果から設定
1年間のウラン溶出量	0.18kg	流出水量 × 流出水のウラン濃度
溶出率	3.83E-03	1年間のウラン溶出量 ÷ ウラン量

期間 : 2~29日

項目	単位	根拠
ウラン量	47kgU	元々のウラン量から2日までの溶出量を引いた値
流出水量	0.04t/日	坑内水量を坑道断面積で割り振って設定
流出水のウラン濃度	1,088ppbU	浸漬試験の結果から設定
1年間のウラン溶出量	0.016kg	流出水量 × 流出水のウラン濃度
溶出率	3.38E-04	1年間のウラン溶出量 ÷ ウラン量

27

2. パラメータの設定

期間：29日～1年

項目	単位	根拠
ウラン量	47kgU	元々のウラン量から29日までの溶出量を引いた値
流出水量	0.04t/日	坑内水量を坑道断面積で割り振って設定
流出水のウラン濃度	494ppbU	浸漬試験の結果から設定
1年間のウラン溶出量	0.7kg	流出水量×流出水のウラン濃度
溶出率	1.53E-04	1年間のウラン溶出量÷ウラン量

期間：1年～

項目	単位	根拠
ウラン量	47kgU	元々のウラン量から1年までの溶出量を引いた値
流出水量	0.0009t/日	ダルシー流速に坑道断面積を乗じた値
流出水のウラン濃度	494ppbU	浸漬試験の結果から設定
1年間のウラン溶出量	0.0002kg	流出水量×流出水のウラン濃度
溶出率	3.45E-06	1年間のウラン溶出量÷ウラン量

28

2. パラメータの設定

期間：0～2日

項目	区画1：鉱石	区画2：特別捨石	区画3：捨石	区画4：捨石	区画5：捨石	区画6：特別捨石
ウラン量	47kgU	847kgU	600kgU	114kgU	373kgU	898kgU
流出水量	0.04t/日	3.99t/日	19.53t/日	9.38t/日	14.99t/日	4.47t/日
流出水のウラン濃度	12,319ppbU	1,623ppbU	26ppbU	26ppbU	26ppbU	1,623ppbU
1年間のウラン溶出量	0.2kg	2.4kg	0.2kg	0.09kg	0.14kg	2.6kg
溶出率	3.83E-03	2.79E-03	3.09E-04	7.81E-04	3.81E-04	2.95E-03

期間：2～29日

項目	区画1：鉱石	区画2：特別捨石	区画3：捨石	区画4：捨石	区画5：捨石	区画6：特別捨石
ウラン量	47kgU	847kgU	600kgU	114kgU	373kgU	898kgU
流出水量	0.04t/日	3.99t/日	19.53t/日	9.38t/日	14.99t/日	4.47t/日
流出水のウラン濃度	1,088ppbU	144ppbU	3ppbU	3ppbU	3ppbU	144ppbU
1年間のウラン溶出量	0.02kg	0.2kg	0.02kg	0.01kg	0.02kg	0.2kg
溶出率	3.38E-04	2.48E-04	3.56E-05	9.01E-05	4.40E-05	2.62E-04

期間：29日～1年

項目	区画1：鉱石	区画2：特別捨石	区画3：捨石	区画4：捨石	区画5：捨石	区画6：特別捨石
ウラン量	47kgU	847kgU	600kgU	114kgU	373kgU	898kgU
流出水量	0.04t/日	3.99t/日	19.53t/日	9.38t/日	14.99t/日	4.47t/日
流出水のウラン濃度	494ppbU	65ppbU	1ppbU	1ppbU	1ppbU	65ppbU
1年間のウラン溶出量	0.007kg	0.09kg	0.007kg	0.003kg	0.005kg	0.1kg
溶出率	1.53E-04	1.12E-04	1.19E-05	3.00E-05	1.47E-05	1.18E-04

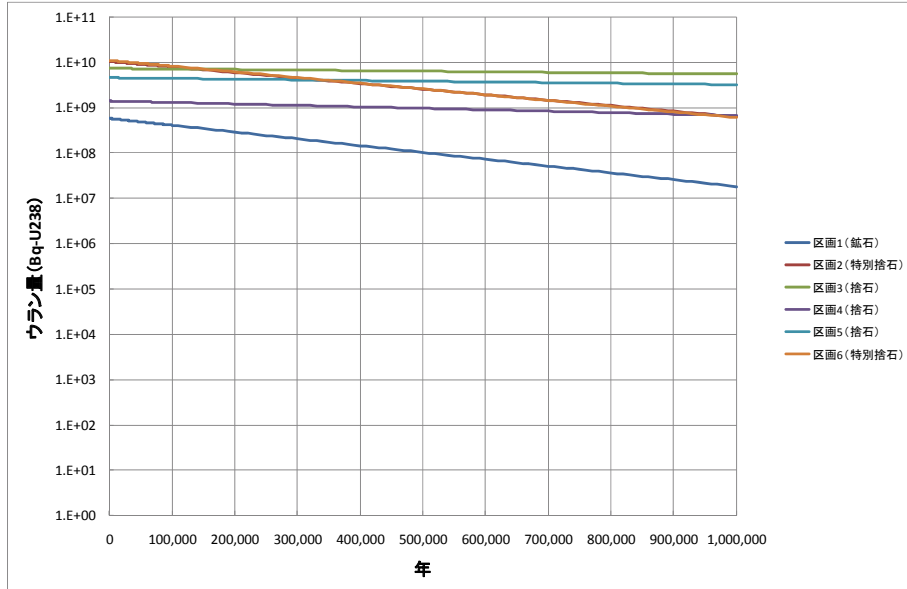
期間：1年～

項目	区画1：鉱石	区画2：特別捨石	区画3：捨石	区画4：捨石	区画5：捨石	区画6：特別捨石
ウラン量	47kgU	847kgU	600kgU	114kgU	373kgU	898kgU
流出水量	0.0009t/日	0.10t/日	0.47t/日	0.23t/日	0.36t/日	0.11t/日
流出水のウラン濃度	494ppbU	65ppbU	1ppbU	1ppbU	1ppbU	65ppbU
1年間のウラン溶出量	0.0002kg	0.002kg	0.0002kg	0.0001kg	0.0001kg	0.003kg
溶出率	3.45E-06	2.80E-06	2.86E-07	7.36E-07	3.52E-07	2.91E-06

29

2. パラメータの設定

○インベントリの変化（坑内充填－区画1）



30

2. パラメータの設定

○元素ごとの溶出率…下表のとおり

（根拠：鉱石等からの元素の溶出は、各元素の化学的性質によって異なると考えられる。そこで、本解析では、ウランの溶出率を基本とし、酸化環境における各元素のウランとの分配係数（砂岩）の比に基づいて、元素ごとに溶出率を設定した。）

	集積場	鉱業廃棄物埋立場			分配係数	（ウランを1とした場合）
		0～30年	30～100年	100年～		
Pb	1.65E-05	2.50E-01	1.25E-04	3.03E-04	0.1	20
Po	1.65E-05	2.50E-01	1.25E-04	3.03E-04	0.1	20
Ra	3.30E-06	4.99E-02	2.50E-05	6.05E-05	0.5	100
Ac	3.30E-07	4.99E-03	2.50E-06	6.05E-06	5	1000
Th	1.65E-06	2.50E-02	1.25E-05	3.03E-05	1	200
Pa	1.65E-04	2.50E+00	1.25E-03	3.03E-03	0.01	2
U	3.30E-04	4.99E+00	2.50E-03	6.05E-03	0.005	1

（30～100年の間は時間とともに変化）

Poには、Pbと同じ値を設定

31

2. パラメータの設定

○元素ごとの溶出率…下表のとおり

	坑内（区画1：鉱石）				坑内（区画2：特別捨石）				坑内（区画3：捨石）			
	0～2日	2～29日	29日～1年	1年～	0～2日	2～29日	29日～1年	1年～	0～2日	2～29日	29日～1年	1年～
Pb	1.92E-04	1.69E-05	7.65E-06	1.73E-07	1.40E-04	1.24E-05	5.60E-06	1.40E-07	1.55E-05	1.78E-06	5.95E-07	1.43E-08
Po	1.92E-04	1.69E-05	7.65E-06	1.73E-07	1.40E-04	1.24E-05	5.60E-06	1.40E-07	1.55E-05	1.78E-06	5.95E-07	1.43E-08
Ra	3.83E-05	3.38E-06	1.53E-06	3.45E-08	2.79E-05	2.48E-06	1.12E-06	2.80E-08	3.09E-06	3.56E-07	1.19E-07	2.86E-09
Ac	3.83E-06	3.38E-07	1.53E-07	3.45E-09	2.79E-06	2.48E-07	1.12E-07	2.80E-09	3.09E-07	3.56E-08	1.19E-08	2.86E-10
Th	1.92E-05	1.69E-06	7.65E-07	1.73E-08	1.40E-05	1.24E-06	5.60E-07	1.40E-08	1.55E-06	1.78E-07	5.95E-08	1.43E-09
Pa	1.92E-03	1.69E-04	7.65E-05	1.73E-06	1.40E-03	1.24E-04	5.60E-05	1.40E-06	1.55E-04	1.78E-05	5.95E-06	1.43E-07
U	3.83E-03	3.38E-04	1.53E-04	3.45E-06	2.79E-03	2.48E-04	1.12E-04	2.80E-06	3.09E-04	3.56E-05	1.19E-05	2.86E-07

	坑内（区画4：捨石）				坑内（区画5：捨石）				坑内（区画6：特別捨石）			
	0～2日	2～29日	29日～1年	1年～	0～2日	2～29日	29日～1年	1年～	0～2日	2～29日	29日～1年	1年～
Pb	3.91E-05	4.51E-06	1.50E-06	3.68E-08	1.91E-05	2.20E-06	7.35E-07	1.76E-08	1.48E-04	1.31E-05	5.90E-06	1.46E-07
Po	3.91E-05	4.51E-06	1.50E-06	3.68E-08	1.91E-05	2.20E-06	7.35E-07	1.76E-08	1.48E-04	1.31E-05	5.90E-06	1.46E-07
Ra	7.81E-06	9.01E-07	3.00E-07	7.36E-09	3.81E-06	4.40E-07	1.47E-07	3.52E-09	2.95E-05	2.62E-06	1.18E-06	2.91E-08
Ac	7.81E-07	9.01E-08	3.00E-08	7.36E-10	3.81E-07	4.40E-08	1.47E-08	3.52E-10	2.95E-06	2.62E-07	1.18E-07	2.91E-09
Th	3.91E-06	4.51E-07	1.50E-07	3.68E-09	1.91E-06	2.20E-07	7.35E-08	1.76E-09	1.48E-05	1.31E-06	5.90E-07	1.46E-08
Pa	3.91E-04	4.51E-05	1.50E-05	3.68E-07	1.91E-04	2.20E-05	7.35E-06	1.76E-07	1.48E-03	1.31E-04	5.90E-05	1.46E-06
U	7.81E-04	9.01E-05	3.00E-05	7.36E-07	3.81E-04	4.40E-05	1.47E-05	3.52E-07	2.95E-03	2.62E-04	1.18E-04	2.91E-06

32

2. パラメータの設定

○インベントリの間隙率…下表のとおり

施設	設定値	根拠
捨石集積場	0.46	充填率を100%とし、瑞浪層群の間隙率を設定
鉱業廃棄物埋立場	0.722	埋立物の密度（0.5g/cm ³ ）と粒子密度（1.8g/cm ³ ）から計算
坑内（立坑）	0.511	充填率を90%とし、充填率と瑞浪層群の間隙率から計算
坑内（水平坑道）	0.575	充填率を80%とし、充填率と瑞浪層群の間隙率から計算

33

2. パラメータの設定

○移行距離…下表のとおり

(根拠：実測に基づく。なお、坑内充填の移行距離（1,200m）は、事前に行った地下水流動解析の結果に基づく。また、捨石集積場および鉱業廃棄物埋立場の地下水移行においては、地表直下を最寄りの河川に流出する経路を設定した。)

施設	移行様式	移行先	移行距離
捨石集積場	地表水	東洞川	140m
	地下水	東洞川	地表直下を東洞川に向かって140m移行
鉱業廃棄物埋立場	地下水	東洞川	地表直下を東洞川に向かって115m移行
坑内	地下水	日吉川	瑞浪層群を10m移行した後、花崗岩の上部割れ目帯を1,200m移行

34

2. パラメータの設定

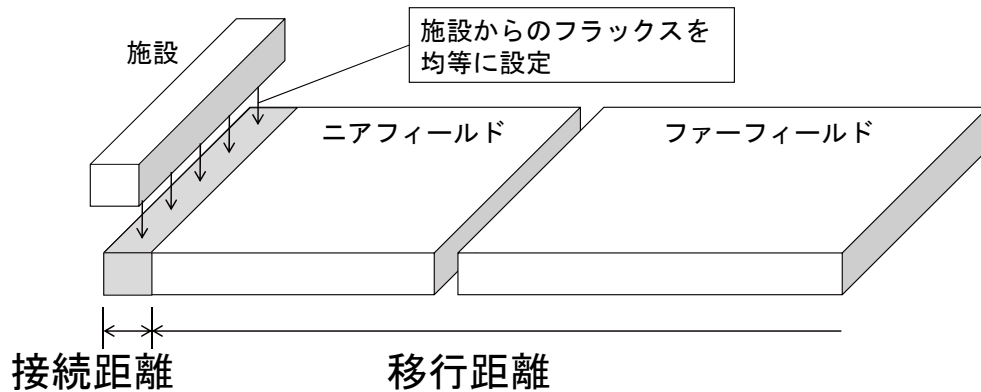
○母岩の幅・厚さ…下表のとおり

(根拠：ここでの母岩の幅・厚さは、核種移行経路の母岩の幅と厚さを指し、ニアフィールドとファーフィールドで同じ値をとる。捨石集積場と鉱業廃棄物埋立場については、幅は施設の形状と同じにした。ただし、坑内については、地下水流動の方向に直行する断面の幅とした。立坑は円形であるため、同容積の正方形とした場合の幅を設定した。母岩の厚さについては、捨石集積場と鉱業廃棄物埋立場は捨石および埋立物の高さ、坑内については坑道の高さとした。)

施設	幅 (m)	厚さ (m)
捨石集積場	30	2 (地下水移行) 0.1 (地表水移行)
鉱業廃棄物埋立場	5	1.26
坑内	区画 1	6
	区画 2	6
	区画 3	6
	区画 4	2.7
	区画 5	260.9
	区画 6	85.6

35

2. パラメータの設定



フィールドの幅：施設の幅

厚さ：基本は施設の高さ（捨石集積場は2m，鉱業廃棄物埋立場は1.26m。坑内は各坑道の高さの最小値として2mを設定。ただし，捨石集積場の地表水移行では0.1mとした）

36

2. パラメータの設定

○分散長…移行距離の1/10倍

（根拠：「我が国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性」（第2次取りまとめ）に基づくと，信頼性の高い縦分散長の値は，移行距離の1/10倍を中心に1/100～1/1倍に分布するとされていることから，ここでは1/10倍と設定する。）

37

2. パラメータの設定

○粒子密度…**鉱石，捨石，特別捨石：2.65g/cm³**

鉱業廃棄物：1.8g/cm³

(根拠：粒子密度については，花崗岩の粒子密度は2.63～2.65であり，平均値は2.65とされている。堆積岩では粒子密度は報告されていないが，瑞浪層群の堆積物は花崗岩に由来すると考えられるので，粒子密度は花崗岩，堆積岩ともに2.65g/cm³と設定する。鉱業廃棄物については，実測値を設定する。)

38

2. パラメータの設定

○間隙率…**花崗岩：1.09 %，堆積岩：45.8 %**

(根拠：花崗岩では，断層に伴う脆弱部以外では有効間隙率は0.64～3.41 %であり，その平均は1.12 %である。また，瑞浪超深地層研究所の深度200mから掘削されたボーリングで得られた花崗岩の有効間隙率は0.92～1.20%であり，その平均値は1.05 %である。これらより，花崗岩の間隙率として，両者の中間値1.09 %と設定する。

堆積岩では有効間隙率はばらつきが大きいが，東濃鉱山とその周辺地域で取得されたデータ，および瑞浪超深地層研究所の深度100mから掘削されたボーリングで得られたデータの平均値に基づいて45.8 %と設定する。)

39

2. パラメータの設定

○透水係数…**花崗岩**： $7.9 \times 10^{-8} \text{m/s}$

堆積岩： $5.4 \times 10^{-7} \text{m/s}$ （坑内充填）

$2.8 \times 10^{-8} \text{m/s}$ （捨石集積場および鉱業廃棄物埋立場の地下水移行）

（根拠：花崗岩上部の「上部割れ目帯」は広域的に不均質であり、領域ごとに透水係数が設定されている。「坑内充填」の移行経路である東濃鉱山から日吉川を含む地域の上部割れ目帯の透水係数 $7.9 \times 10^{-8} \text{m/s}$ を設定した。）

なお、「捨石集積場」と「鉱業廃棄物埋立場」の地下水移行ケースでは、地表近傍が移行経路として想定される。この場合、土壌の発達によって透水係数が低めになる可能性が考えられるが、実測値がないことから、地質分布を考慮して瑞浪層群明世層の透水係数 $2.8 \times 10^{-8} \text{m/s}$ を設定した。「坑内充填」については、土岐夾炭層の透水係数 $5.4 \times 10^{-7} \text{m/s}$ を設定した。）

40

2. パラメータの設定

○地下水の実流速（1/3）…**花崗岩**： $4.3 \times 10^{-7} \text{m/s}$

（根拠：亀裂性媒体（花崗岩）では、実流速はダルシー流速を水理学的有効間隙率で除することで求められる。花崗岩の上部割れ目帯においては、水理解析で得られたダルシー流速分布の平均値は $4 \times 10^{-9} \sim 1.6 \times 10^{-9} \text{m/s}$ 程度で、平均値として $1.7 \times 10^{-9} \text{m/s}$ とされている。水理学的有効間隙率は断層や割れ目帯などの主要な水みち部の水理学的有効間隙率推定値として 4.06×10^{-3} とされており、 4.0×10^{-3} が用いられている。これらより、ダルシー流速を $1.7 \times 10^{-9} \text{m/s}$ 、水理学的有効間隙率推定値を 4.0×10^{-3} をとし、実流速として $4.3 \times 10^{-7} \text{m/s}$ を設定した。）

41

2. パラメータの設定

○地下水の実流速（2/3）…**堆積岩： $1.6 \times 10^{-8} \text{m/s}$ （坑内充填）**

（根拠：瑞浪層群では、水理解析で得られたダルシー流速分布は累層や岩相ごとのばらつきが大きい。東濃鉱山の水平坑道の大部分は土岐夾炭層に位置することから、坑内を起点とする移行経路は土岐夾炭層とする。

基底礫岩部を除く土岐夾炭層のダルシー流速分布は $7.9 \times 10^{-9} \sim 1.6 \times 10^{-9} \text{m/s}$ 程度で、平均値として $7.3 \times 10^{-9} \text{m/s}$ が示されている。瑞浪層群の水理学的有効間隙率は報告されていないため、ここでは上記の瑞浪層群の間隙率である0.458と設定する。これより、基本ケースでは、ダルシー流速として $7.3 \times 10^{-9} \text{m/s}$ を、水理学的有効間隙率推定値として0.46を設定し、実流速として $1.6 \times 10^{-8} \text{m/s}$ を設定した。）

42

2. パラメータの設定

○地下水の実流速（3/3）…**堆積岩： $7.3 \times 10^{-9} \text{m/s}$ （捨石集積場および鉱業廃棄物埋立場の地下水移行）**

（根拠：捨石集積場と鉱業廃棄物埋立場を起点する移行経路は明世層中にあると推定される。ただし、これら移行経路は地表直下と設定しており、地下水面の上方に位置する。このため、ここでは地表の勾配を動水勾配とみなすことによって、透水係数と動水勾配および間隙率に基づいて実流速を設定した。

透水係数は $2.8 \times 10^{-8} \text{m/s}$ 、間隙率は0.46であり、動水勾配は捨石集積場、鉱業廃棄物埋立場ともに0.12である（捨石集積場下底と評価点の高度差17m／水平距離140m、鉱業廃棄物埋立場下底と評価点の高度差14m／水平距離115m）。これらより、実流速として捨石集積場、鉱業廃棄物埋立場ともに $7.3 \times 10^{-9} \text{m/s}$ を設定した。）

43

2. パラメータの設定

○酸化還元環境…坑内を起点とする移行経路の花崗岩を還元環境とし、他はすべて酸化環境とする（時間変化は考慮しない）

（根拠：坑道周辺には酸化帯が形成されているが、その範囲は50cm程度とされている。しかし、モデル上、多くの領域に分割できないこと、酸化環境を設定した方がより保守的な評価になることから、ここでは花崗岩以外はすべて酸化環境と設定する。また、坑道周辺の酸化部においても、坑道充填後には還元環境に変化することが期待されるが、その時期を特定することは困難であることから、時間変化は保守的に考慮しない。）

施設	移行媒体	ニアフィールド	ファーフールド
捨石集積場	地表水	（計算上のダミー；瑞浪層群…酸化環境）	（設定していない）
	地下水	瑞浪層群（不飽和帯）…酸化環境	（設定していない）
鉱業廃棄物埋立場	地下水	瑞浪層群（不飽和帯）…酸化環境	（設定していない）
坑内	地下水	瑞浪層群…酸化環境	花崗岩…還元環境

44

2. パラメータの設定

○分配係数…第2次取りまとめで引用された値を使用

岩種	花崗岩	砂岩	泥岩	花崗岩	砂岩	泥岩
環境	還元的地下水			酸化的地下水		
Pb	0.1	0.1	1	0.1	0.1	1
Po						
Ra	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Ac	5	5	5	5	5	5
Th	1	1	1	1	1	1
Pa	1	1	1	0.005	0.01	0.01
U	1	1	1	0.005	0.005	0.01

澁谷朝紀・陶山忠宏・柴田雅博(1999) 性能評価で用いる岩石に対する核種の分配係数。
核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TN8410 99-051.

45

2. パラメータの設定

○分配係数…第2次取りまとめで引用された値を使用

領域	ニアフィールド	ファーフールド	
解析ケース	全ケース	捨石集積場および鉱業廃棄物埋立場	坑内充填
岩種	砂岩	砂岩	花崗岩
化学環境	酸化環境	酸化環境	還元環境
Pb	0.1	0.1	0.1
Po	0.1	0.1	0.1
Ra	0.5	0.5	0.5
Ac	5	5	5
Th	1	1	1
Pa	0.01	0.01	1
U	0.005	0.005	1

* Poについては、Pbと同じ値を設定

46

2. パラメータの設定

○屈曲率…1

(根拠：屈曲率は物質が拡散する場合に、物理的および化学的な流路の曲折の比で表され、実際の流路長さに対する直線流路長の比で定義される。亀裂性媒体では、物理的流路と化学的流路はおおむね一致する可能性があるが、多孔質媒体では物理的な流路が化学的流路よりも明らかに長いと考えられる。

屈曲率は0～1の値をとるが、その値が小さいほど拡散の効果が大きくなることを意味するので、ここでは流路の形状が拡散に及ぼす影響を無視することとし、屈曲率は保守的に1と設定する。)

47

2. パラメータの設定

○地表水流量…**下表のとおり**

河川	流量 (m ³ /年)	根拠
東洞川	313, 323	東濃鉾山における河川流出高と降雨量の関係（1991～1997年）に基づいて、東濃鉾山および鉾山に隣接する正馬様における降雨量（2001～2007年度の観測値）から河川流出高を算出し、それに流域面積を乗じて算出
日吉川	33, 646, 838	実測値（2003～2007年度の平均値）

48

2. パラメータの設定



地図は1:2,500 土岐市都市計画基本図 4
および8を使用

49

2. パラメータの設定

○井戸水の希釈率…**下表のとおり**

モデル	河川	希釈率	根拠
捨石集積場	東洞川	0.03	東濃鉱山と正馬様の平均降雨量の6%を岩盤浸透率とし、それに評価点上流の流域面積を乗じて地下水量を算出。施設侵入水量を地下水量で除して希釈率を算出。
鉱業廃棄物埋立場	東洞川	0.002	
坑内充填	日吉川	0.01	東濃鉱山と正馬様の平均降雨量の6%を岩盤浸透率とし、それに評価点上流側に広がる平坦地の面積を乗じて地下水量を算出。施設侵入水量を地下水量で除して希釈率を算出。

50

2. パラメータの設定



地図は1:25,000 瑞浪市全図を使用

51

2. パラメータの設定

○原子力学会標準から引用したパラメータ（例）

(1) 水産物摂取による被ばく

記号	パラメータ名	使用した値	引用元
$f_{SM}(i)$	放射性物質 i の水産物 m への濃縮係数 (m^3/kg)	(次ページ参照)	学会標準p. 25
M_{SM}	水産物の年間摂取量 (kg/y)	淡水魚：10 淡水貝：1	学会標準p. 48
G_{SM}	水産物の市場希釈係数	1 (「淡水水産物は処分場ごとに設定」とされているが、ここでは希釈されないと仮定)	学会標準p. 19

(2) 河川岸作業による被ばく

記号	パラメータ名	使用した値	引用元
ϵ_{RS}	河川岸土壌の間隙率 (-)	0.42	学会標準p. 20
ρ_{RS}	河川岸土壌の粒子密度 (kg/m^3)	2600	学会標準p. 20
$k'_{d_{RS}}(i)$	河川岸土壌の放射性核種 i の吸着分配係数 (m^3/kg)	(次ページ参照)	学会標準p. 25
$S_{RS}(i)$	河川岸利用における放射性核種 i の遮へい係数	全て：1 (農耕土壌の遮へい係数と同じと仮定)	学会標準p. 21
t_{RS}	年間の河川岸利用時間 (h/y)	500	学会標準p. 20
d_{RS}	河川岸利用時のダスト濃度 (kg/m^3)	5×10^{-7}	学会標準p. 20
B_{RS}	河川岸利用者の呼吸率 (m^3/h)	1.2	学会標準p. 20

52

2. パラメータの設定

○原子力学会標準から引用したパラメータ（例）

元素	濃縮係数 (m^3/kg)		分配係数 (m^3/kg)	
	淡水魚類	淡水貝類	農耕土壌	河川岸土壌
Pb	3.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	2.2×10^1	2.7×10^{-1}
Po	5.0×10^{-2}	2.0×10^1	6.6×10^0	1.5×10^{-1}
Ra	5.0×10^{-2}	3.0×10^{-1}	2.4×10^0	4.9×10^{-1}
Ac	1.5×10^{-2}	1.0×10^0	5.4×10^0	4.5×10^{-1}
Th	1.0×10^{-1}	5.0×10^{-1}	8.9×10^1	3.0×10^0
Pa	1.0×10^{-2}	1.0×10^{-1}	6.6×10^0	5.4×10^{-1}
U	1.0×10^{-2}	1.0×10^{-1}	4.0×10^{-1}	3.3×10^{-2}

53

2. パラメータの設定

○原子力学会標準から引用したパラメータ（例）

核種	半減期 (y)	線量換算係数		外部被ばく線量換算係数 ((Sv/h)/(Bq/kg))
		経口摂取 (Sv/Bq)	吸入 (Sv/Bq)	
^{210}Pb	2.23×10^1	6.9×10^{-7}	1.2×10^{-6}	1.8×10^{-13}
^{210}Po	3.79×10^{-1}	1.2×10^{-6}	3.3×10^{-6}	2.5×10^{-15}
^{226}Ra	1.60×10^3	2.8×10^{-7}	3.5×10^{-6}	5.0×10^{-10}
^{228}Ra	5.75×10^0	6.9×10^{-7}	2.6×10^{-6}	2.7×10^{-10}
^{227}Ac	2.18×10^1	1.1×10^{-6}	5.5×10^{-4}	2.1×10^{-13}
^{228}Th	1.91×10^0	1.4×10^{-7}	4.4×10^{-5}	4.5×10^{-10}
^{229}Th	7.34×10^3	4.9×10^{-7}	7.1×10^{-5}	2.4×10^{-11}
^{230}Th	7.54×10^4	2.1×10^{-7}	2.5×10^{-5}	3.8×10^{-14}
^{232}Th	1.41×10^{10}	2.3×10^{-7}	2.5×10^{-5}	3.8×10^{-14}
^{231}Pa	3.28×10^4	7.1×10^{-7}	1.4×10^{-4}	1.1×10^{-11}
^{233}Pa	7.38×10^{-2}	8.7×10^{-10}	3.3×10^{-9}	6.1×10^{-11}
^{234}U	2.46×10^5	4.9×10^{-8}	3.5×10^{-6}	2.7×10^{-14}
^{235}U	7.04×10^8	4.7×10^{-8}	3.1×10^{-6}	5.1×10^{-11}
^{236}U	2.34×10^7	4.7×10^{-8}	3.2×10^{-6}	1.3×10^{-14}
^{238}U	4.47×10^9	4.5×10^{-8}	2.9×10^{-6}	2.7×10^{-13}

54

3. 直接線およびスカイシャイン

○地上に所在する捨石集積場を対象に実施

線源の γ 線発生率は、核種生成崩壊計算コードORIGEN2を使用して計算。その γ 線発生率を線源条件として直接線及びスカイシャイン線による実効線量を2次元Sn法輸送計算コードDOT3.5により計算。

ORIGEN2

使用済核燃料等の核種組成を計算するコードであり、核分裂や放射性崩壊による核種の生成量を計算するコード。

DOT3.5

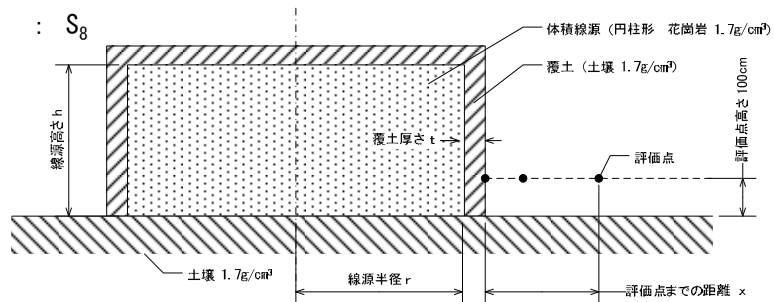
遮へい設計や許認可等に使用される計算コードであり、2次元Sn法コードDOT-IIIを改良したコード。

55

3. 直接線およびスカイシャイン

直接線

- a. 形状モデル : 円柱形
- b. 線源
- ・放射線の種類 : γ 線
 - ・形状 : 体積線源
 - ・角度依存性 : 等方線源
- c. 断面積ライブラリ : DLC-23E (中性子22群、 γ 線18群)
- d. ルジャンドル展開次数 : P_5
- e. 角度分点 : S_8
- 体積線源 (円柱形 花崗岩 1.7g/cm³)



56

3. 直接線およびスカイシャイン

スカイシャイン

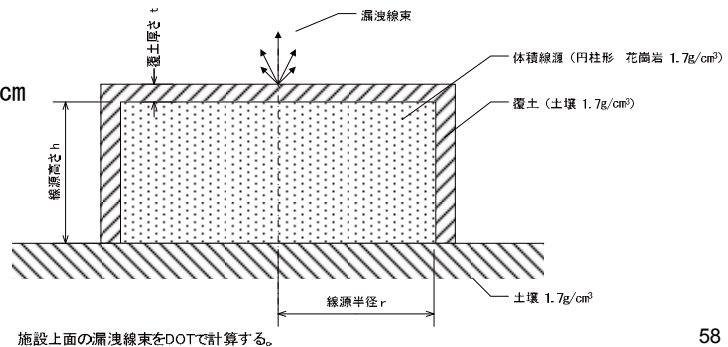
本評価では、最初に捨石集積場上面から漏洩する線束分布を計算し（ステップ1）、次にその線束分布を面線源とした計算を行う（ステップ2）。

57

3. 直接線およびスカイシャイン

スカイシャイン（ステップ1）

- a. 形状モデル : 円柱形
- b. 線源
 - ・放射線の種類 : γ 線
 - ・形状 : 体積線源
 - ・角度依存性 : 等方線源
- c. 断面積ライブラリ : DLC-23E（中性子22群、 γ 線18群）
- d. ルジャンドル展開次数 : P_5
- e. 角度分点 : S_8
- f. 覆土厚 : 30cm

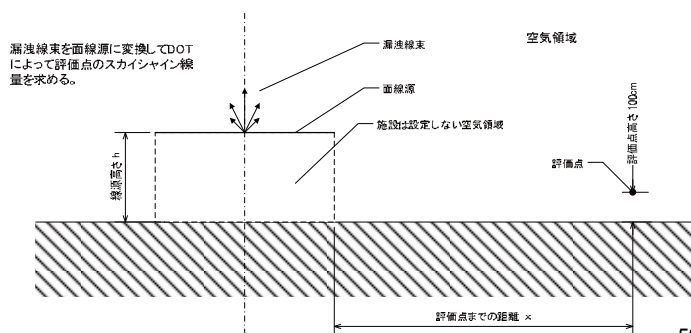


58

3. 直接線およびスカイシャイン

スカイシャイン（ステップ2）

- a. 形状モデル : 円柱形
- b. 線源
 - ・放射線の種類 : γ 線
 - ・形状 : 面線源
 - ・角度依存性 : 非等方線源
- c. 断面積ライブラリ : DLC-23E（中性子22群、 γ 線18群）
- d. ルジャンドル展開次数 : P_5
- e. 角度分点 : S_8

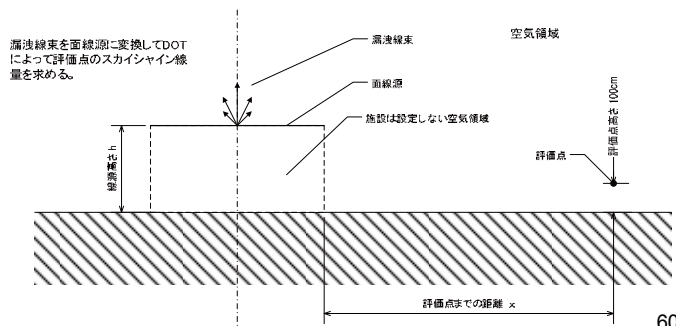


59

3. 直接線およびスカイシャイン

スカイシャイン（ステップ2）

- a. 形状モデル : 円柱形
- b. 線源
- ・放射線の種類 : γ 線
 - ・形状 : 面線源
 - ・角度依存性 : 非等方線源
- c. 断面積ライブラリ : DLC-23E（中性子22群、 γ 線18群）
- d. ルジャンドル展開次数 : P_5
- e. 角度分点 : S_8
- f. 覆土厚 : 30cm



60

3. 直接線およびスカイシャイン

計算に用いた捨石の化学組成
(花崗岩の化学組成を準用)

元素	重量百分率
O	48.24
Na	2.55
Al	6.76
Si	35.08
K	3.80
Ca	0.81
Fe	0.92
合計	98.13

*0.5%未満の元素は考慮していない。

計算に用いた空気および
土壌の組成

重量比	空気	土壌
H	1.0004E-05	9.6166E-03
C	1.2559E-02	
N	7.5500E-01	
O	2.3243E-01	5.4367E-01
Al		1.2858E-01
Si		3.1814E-01
密度	1.2E-03	1.7

61

今後の予定(案)

8月中旬～下旬…報告書（案）に基づいて，線量計算の妥当性を
ご確認

9月上旬～中旬…コメントに基づいた報告書の修正（委員会でご
報告）

9月中旬～下旬…報告書の再修正，最終版作成

10月中旬…答申

62

今後の予定(案)

	7月	8月		9月		10月	
	20	10	20	10	20	10	
委員会		*			*		*
線量計算							
代替ケースの検討	■	■					
追加計算				■			
報告書							
ドラフト作成	■	■	■				
内容確認			■	■			
修正				■	■		
再確認					■	■	
答申書							
ドラフト作成			■	■			
修正						■	■

63

This is a blank page.

6. 第4回委員会

This is a blank page.

第4回東濃鉾山安全性評価検討委員会 議事次第

1. 日時：平成23年10月13日（木） 13：40～16：25
2. 場所：日本原子力研究開発機構 瑞浪地科学研究館 セミナールーム
3. 議事次第
 - (1) 委員長挨拶 [13：40～13：45]
 - (2) 前回議事録確認 [13：45～13：55]
 - (3) 線量計算の内容について [13：55～16：25]

以 上

第4回東濃鈇山安全性評価検討委員会 －議事録－

1. 議事概要

(1) 日時：平成23年10月13日（木）13時30分～16時40分

(2) 場所：日本原子力研究開発機構 瑞浪地科学研究館 セミナールーム

(3) 出席者：

（委員）飯田委員長、佐藤委員

（機構）福島副所長、杉原副所長、花木鈇山措置・施設管理課長、

笹尾鈇山措置・施設管理課研究副主幹、事務局（鈇山措置・施設管理課）

（オブザーバー）石森研究副主幹（人形峠環境技術センター）

(4) 議事

1) 委員長挨拶

2) 第3回議事録（案）確認

3) 線量計算の内容について

2. 第3回委員会議事録（案）確認

異議なく確認された。

3. 線量計算の内容について

資料に沿って、評価シナリオの設定、パラメータの設定、線量計算結果及び直接線およびスカイシャイン、線量計算のまとめ、代替ケースの検討を報告した。

（問）Pb-210 及び Po-210 は水産物から来ているのか。水産物はどのような移行計算をしているのか。

（答）水産物と河川の両方から来ている。水産物の移行経路は川魚や貝を直接食べることとしている。

(問) 内部被ばくと外部被ばくはどの経路から来るのか。

(答) 河川水を灌漑水に利用した土壌と、河川水がしみ込んだ土壌からの被ばくである。

(問) 土壌からの外部放射線が過大と思われるが、一般的な数値との比較などにより、保守的な計算である旨の説明に利用してはどうか。

(答) 東濃鈾山とその周囲で自然放射線測定を行っており、それとの比較を行ってみる。

(問) 地下水移行の計算結果は、なぜ2度目のピークが出ているのか。

(答) Th-230 の分配係数が大きいため、見かけの移行速度が遅くなるためと考えられる。

(問) 天然においては、ウランよりもラジウムの方が被ばく量としては大きいですが、計算結果ではウランからの被ばくが大きいのはなぜか。

(答) この場では答えられないので、宿題とさせて頂きたい。

(問) 評価点に井戸が無いのであれば、井戸水の評価は不要ではないのか。

(答) 評価点周辺には井戸があることから、井戸水飲用も検討している。

(問) 川魚を食べ、井戸水を飲用することは非常に確率的に低い条件と思われる。現実的な状況を想定する方が良いのではないか。

(答) 計算自体はすべての被ばく経路を対象として行うが、線量の評価において、現在の生活様式に基づく線量と、井戸水を飲用する場合の線量というように、結果を分けて示している。

(問) 捨石集積場と鈾業廃棄物埋立場の計算結果の差は、含有ウラン量と比例しているのか。

(答) おおよそ半分程度となっているが、鈾業廃棄物埋立場の方が溶出率が高いのでその分結果としてやや高めに出ている。

(問) 計算結果グラフの縦軸は、濃度を時間で微分していると思われるが、その結果は累積とはなっていないのか。

(答) 累積とはなっていない。

(問) 現状の集積場の線量に基づいて考えると、計算結果はかなり高めの線量になっており、過大であると思われるので、報告書では補足的な説明が必要ではないか。

(答) 保守的な計算を行っているので、報告書では、保守的な設定を行ったことを、根拠を明確にした上で述べるようにする。

(問) 捨石集積場からのラドンの影響は考慮しなくても良いのか。

(答) ご指摘のとおりである。捨石集積場ではラドン散逸率測定を行っているので、そのデータを使ってラドンの影響を評価する。

(問) 計算結果として Th-230 のピークは後半にも出てきているが、Ra-226 はなぜ出て来ないのか。

(答) 再検討とする。

(問) 評価期間は評価点毎にピークがばらついているが、ピークプラス α で良いのか。

(答) 引き続き検討事項とする。

(問) 計算結果グラフの縦軸は対数ではなく普通（リニア）とした方が良いのでは。

(答) 横軸は対数とした方が良いと思われるが、状況に応じて変えるようにする。

(問) 計算結果グラフの内側の面積が被ばく量となるのか。

(答) ご質問の通りである。

(問) すべての元素に同じ分配係数を与えているのか。

(答) 分配係数は元素毎に変えている。

(問) パラメータスタディを行うにあたって、根拠のない架空のパラメータを設定する必要はあるのか。

(答) 必要ないと考えている。

4. 個別説明

(1) 日時：平成 23 年 10 月 12 日（水）12 時 45 分～15 時 40 分

(2) 場所：慶應義塾大学理工学部

(3) 出席者：

(委員) 鹿園委員

(機構) 笹尾鉦山措置・施設管理課研究副主幹

(4) 議事

1) 第3回議事録(案)確認

2) 線量計算の内容について

(5) 質疑応答内容

(問) 隆起・侵食について、露出は考慮しないのか。

(答) 露出については、鉦石や特別捨石は鉦床の中に充填することから、それらが露出する前に鉦床が露出する。この場合、充填物よりも鉦床の影響が大きいことから、露出による影響は考慮しない。また、地形変化に起因する地下水流動系の変化を検討するため、移行距離を短くした解析を実施し、それによって地形変化の影響を検討する。

(問) 集積場に対する隆起・侵食の影響をどのように考慮するか。

(答) 捨石中の核種は比較的早く溶出するため、超長期的な地形変化は線量計算には大きな影響を与えないと考えられるので、隆起・侵食の影響は考慮していない。

(問) 分配係数の感度を見るために、砂岩と花崗岩の分配係数の1/10程度を設定するなど、仮想の数値を設定した計算を行う必要はあるのか。

(答) 現在の分配係数は保守的な値が設定されており、設定根拠がないのであればそのような計算を行う必要はない。

(問) 評価対象期間はどのように設定するのか。

(答) 線量のピーク出現年プラス α とすることを考えている。

以 上

第4回 東濃鉾山安全性評価検討委員会

**平成23年10月13日
日本原子力研究開発機構
東濃地科学センター**

線量計算の内容について

- 1. 評価シナリオの設定**
- 2. 捨石集積場を起点とする地表水移行**
- 3. 捨石集積場を起点とする地下水移行**
- 4. 直接線およびスカイシャイン**
- 5. 鉾業廃棄物埋立場を起点とする地下水移行**
- 6. 坑内を起点とする地下水移行**
- 7. 線量計算のまとめ**
- 8. 代替ケースの検討**

前回委員会から変更内容(1/9)

○日吉川流域の岩盤浸透量（地下水希釈率の設定）の考え方

（課題）

日吉川は流域面積が広いため、評価点上流側の平坦域に涵養される地下水で希釈されるとしたが、考え方が分かりにくい。一方で、これ以外に地下水希釈率を設定する根拠がない。

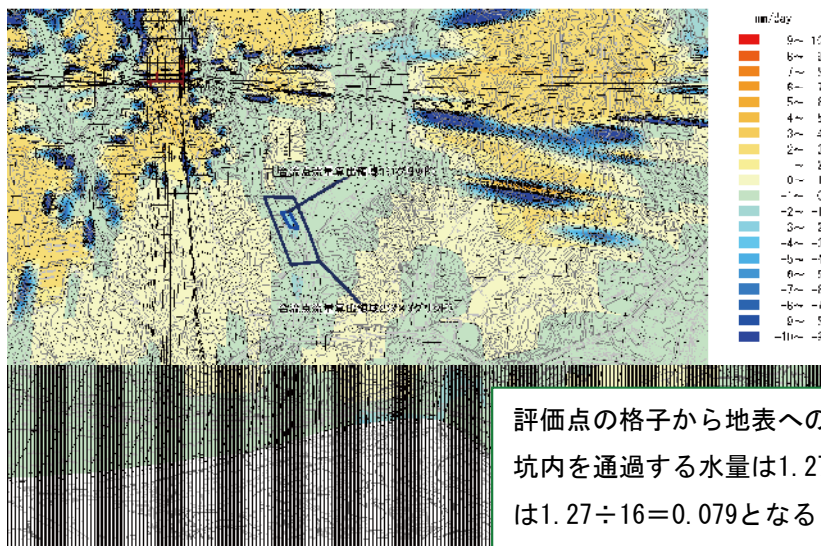
（対応）

地下水流動解析の結果に基づくと、坑内を通る地下水が流出する日吉川と正馬川合流点付近には、坑内を通らない水も湧出している。このことから、水理解析から評価点を含む格子の総湧出量を求め、それを分母として坑内を通過する水量で除することにより井戸水利用希釈率とする。

なお、日吉川－正馬川合流点付近の格子から地表への流出量は $16\text{m}^3/\text{日}$ であり、坑内を通過する水量は $1.27\text{m}^3/\text{日}$ であり、希釈率は $1.27 \div 16 = 0.079$ となることから、希釈率として0.1を設定する。

2

日吉川流域の地下水希釈率の設定について



地図は国土地理院発行 数値地図25000（地図画像）
「飯田」の土岐、瑞浪、御嵩、武並を使用

評価点の格子から地表への流出量は $16\text{m}^3/\text{日}$ 、
坑内を通過する水量は $1.27\text{m}^3/\text{日}$ であり、量比
は $1.27 \div 16 = 0.079$ となることから、希釈率と
して0.1を設定する。

3

前回委員会から変更内容(2/9)

○水理学的有効間隙率および実流速の設定

(課題)

地下水の実流速がかなり遅い設定になっている。

(対応)

水理学的有効間隙率を見直す（水理解析で用いられている数値を用いる）ことによって、実流速を設定しなおす。

	透水係数	ダルシー流速	有効間隙率	動水勾配	実流速
堆積岩(集積場・埋立場;明世層)	$2.8 \times 10^{-8} \text{ m/s}$	—	0.2	0.12	$1.7 \times 10^{-8} \text{ m/s}$
堆積岩(坑内充填;土岐夾炭層)	$(5.4 \times 10^{-7} \text{ m/s})$	$7.3 \times 10^{-9} \text{ m/s}$	0.2	—	$3.7 \times 10^{-8} \text{ m/s}$
花崗岩	$(7.9 \times 10^{-8} \text{ m/s})$	$1.7 \times 10^{-9} \text{ m/s}$	2.2×10^{-3}	—	$7.7 \times 10^{-7} \text{ m/s}$

4

前回委員会から変更内容(3/9)

○元素ごとの溶出率の設定

(課題)

鉱石や捨石からの元素の溶出率は、分配係数の比に基づいて設定しているが、方法の妥当性がわからない。

(対応)

元素ごとの溶出率を設定するデータが無いこと、分配係数の比に基づいて溶出率を設定するとウランの溶出率が最も大きいことから、保守的な設定として、元素ごとの溶出率を設定せずに、すべての元素の溶出率をウランと同じ設定とする。

5

前回委員会から変更内容(4/9)

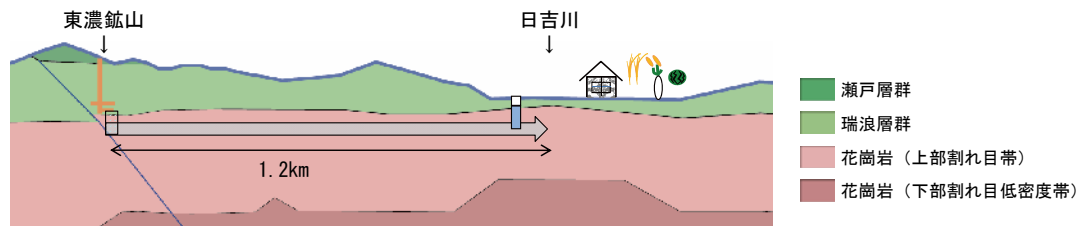
○花崗岩の酸化還元環境

(課題)

花崗岩上部割れ目帯の酸化還元電位は±0mV程度で還元状態とは言えない。

(対応)

保守的な解析という観点で、基本ケースでは酸化状態を設定する。



6

前回委員会から変更内容(5/9)

○坑内を起点する移行経路の距離

(課題)

堆積岩中の移行距離は全区画とも10mを設定したが、その根拠はない。

(対応)

堆積岩の移行距離は区画ごとのばらつきが大きいことから、地下水流動解析の結果に基づいて坑内の区画ごとに設定する。

なお、花崗岩の移行距離はすべての区画で1,200m以上であることから、花崗岩の移行距離は一律1,200mに設定する。

区画	坑道	堆積岩中の移行距離(m)	花崗岩中の移行距離(m)
1	第2立坑	20	1200
2	第2立坑	20	1200
3	第2立坑	20	1200
4	調査立坑	0	1200
5	本延坑道+北延上盤坑道	125	1200
6	斜坑+北延下盤坑道	95	1200

*立坑は坑底から移行すると想定

7

前回委員会から変更内容(6/9)

○鉱業廃棄物埋立場のコンクリートの取扱い（施設浸入水量）の考え方
（対応）

施設浸入水量として、降雨量から蒸発散量を引いた分（つまり、河川流出量と岩盤浸透量に相当する量）を設定する。

コンクリートが健全な状態（0年）の施設浸入水量については、より現実的な評価とするため、コンクリートの透水係数を用いて計算する。

8

前回委員会から変更内容(7/9)

○捨石集積場からの浸出水のウラン濃度の変更
（対応）

捨石集積場から浸出する水のウラン濃度を措置前後の濃度比で設定しなおす
（16.1ppbを56ppbに変更）。

○鉱業廃棄物埋立場からの浸出水のウラン濃度の変更
（対応）

現在の捨石集積場からの浸出水のウラン濃度に基づいて設定しなおす（3,413ppbを23,744ppbに変更）。なお、これに伴って溶出率も修正する。

9

前回委員会から変更内容(8/9)

○間隙率の設定

(対応)

地層ごとに設定する（捨石集積場と鉱業廃棄物埋立場→明世層の間隙率：0.54，坑内→土岐夾炭層の間隙率：0.46）。

鉱石および捨石については，地層（累層）に関係なく掘削されたものであることから，瑞浪層群の全データを用いて設定する（0.46）。

○坑内の溶出率の設定期間の変更

(対応)

計算上の問題を解消するため，0～1年までのウラン溶出量を計算し，そのウランが溶出するような溶出率を設定する。なお，1年以降の溶出率には変更はない。

10

前回委員会から変更内容(9/9)

○捨石集積場のウラン量に係る計算の取り扱い

(対応)

計算上の問題を解消するため，集積場のウラン量および施設浸入水量を地表水で移行する量と地下水で移行するように予め配分する。

○捨石集積場地表水移行の移行経路の高さ

(対応)

移行経路の高さは従来0.1mとしていたが，水量と移行経路の幅に基づいて設定しなおす（0.000015mに変更）。

○評価点の設定および線量の合算方法

(対応)

従来は河川水利用者と河川岸利用者に分けて評価していたが，それを合わせて評価する。

11

1. 評価シナリオの設定

○捨石集積場

- ・ **地表水**による移行および**地下水**による移行を考慮。評価点は東濃鉱山西側を流れる**東洞川**とする。
- ・ **スカイシャイン**および**直接γ線**も考慮する。

○鉱業廃棄物埋立場

- ・ **地下水**による移行を考慮。評価点は東濃鉱山西側を流れる**東洞川**とする。

○坑内

- ・ **地下水**による移行を考慮。評価点は鉱山東方を流れる**目吉川**とする。

12

1. 評価シナリオの設定

○河川水利用のシナリオ

- ・ 河川水を飲用する（河川水飲用）
- ・ 河川水を利用して農作業を行い、それによって被ばくする（農耕作業外部，農耕作業吸入）
- ・ 河川水を利用して農作業を行い，栽培した農作物を摂取する（農作物摂取）
- ・ 河川水を利用して栽培した飼料で飼育した畜産物を摂取する（畜産物摂取）
- ・ 河川中の魚や貝を採り，その水産物を摂取する（水産物摂取）

13

1. 評価シナリオの設定

○河川岸利用のシナリオ

河川岸居住者が、

- ・居住することによって被ばくする（居住外部，居住吸入）
 - ・農作業によって被ばくする（農耕作業外部，農耕作業吸入）
 - ・自宅近くで農作業を行い，栽培した農作物を摂取する（農作物摂取）
 - ・自宅近くの畑で栽培した飼料で飼育した畜産物を摂取する（畜産物摂取）
- 作業500時間，居住8,260時間で
計算

14

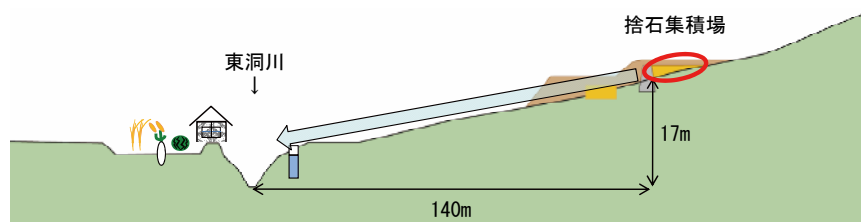
1. 評価シナリオの設定

被ばく様式		基本シナリオ (農作物摂取シナリオ)	参考シナリオ (井戸水飲用シナリオ)
河川水利用	河川水飲用	×	×
	外部被ばく（農耕作業）	○	○
	内部被ばく（農耕作業）	○	○
	農作物摂取	○	○
	畜産物摂取	×	×
	水産物摂取	×	×
河川岸利用	外部被ばく（農耕作業および居住）	○	○
	内部被ばく（農耕作業および居住）	○	○
	農作物摂取	○	○
	畜産物摂取	×	×
井戸水利用	井戸水飲用	×	○

○：考慮する様式
×：考慮しない様式

15

2. 捨石集積場を起点とする地表水移行



インベントリに係るパラメータ

- 容量 捨石 5,100トン (品位 0.009%U)
含有ウラン量 0.476トン (地表水に移行するウラン量として0.431トンを設定)
- 形状 長さ (奥行) 50m, 幅30m, 高さ2m (平均)
- 施設浸入水量 26.77m³/日 (地表水に移行する水量として24.26m³/日を設定)
- 施設からの流出水中のウラン濃度 56ppb U
- 溶出率 1.15×10^{-3} (全元素一律に設定)
- 間隙率 0.46
- 粒子密度 2.65
- 屈曲率 1
- 酸化還元 酸化状態
- 移行経路との接続距離 0.000015m

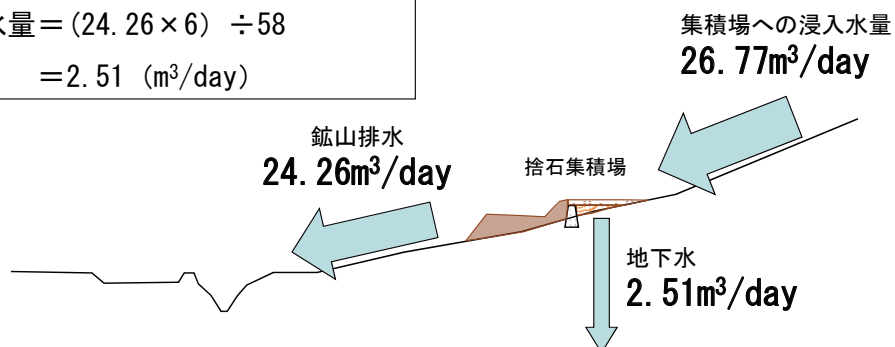
16

集積場の地表水と地下水の配分について

○東濃鉱山と周辺地域で実施した水収支観測の結果では、東濃鉱山では降水量の58%が河川に流出し、6%が岩盤に浸透するとされていることから、捨石集積場を通過する水は58:6の割合で地表水 (排水) と地下水に分配されると仮定。

→ここで既知なのは排水量なので、排水量と上記の比率に基づいて、地下水量および集積場を通過する水量を計算。

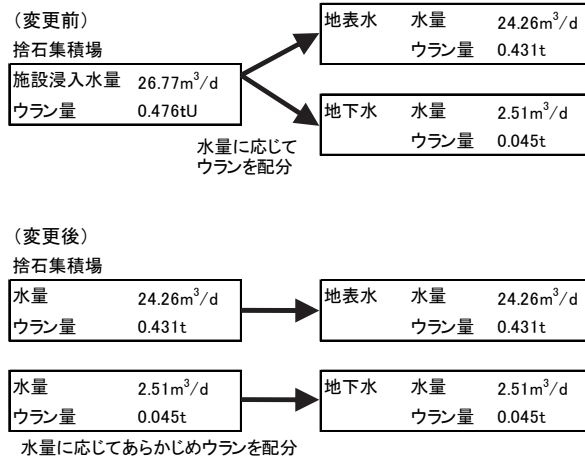
$$\begin{aligned} \text{排水量 (24.26)} : \text{地下水量} &= 58 : 6 \\ \text{地下水量} &= (24.26 \times 6) \div 58 \\ &= 2.51 \text{ (m}^3/\text{day)} \end{aligned}$$



17

集積場のウラン量の配分について

○計算上、1つの起点から2つの経路にウランを分配できないため、集積場のウラン量を地表水で移行する量と地下水で移行するように予め配分する。



18

2. 捨石集積場を起点とする地表水移行

○溶出率に係るパラメータ

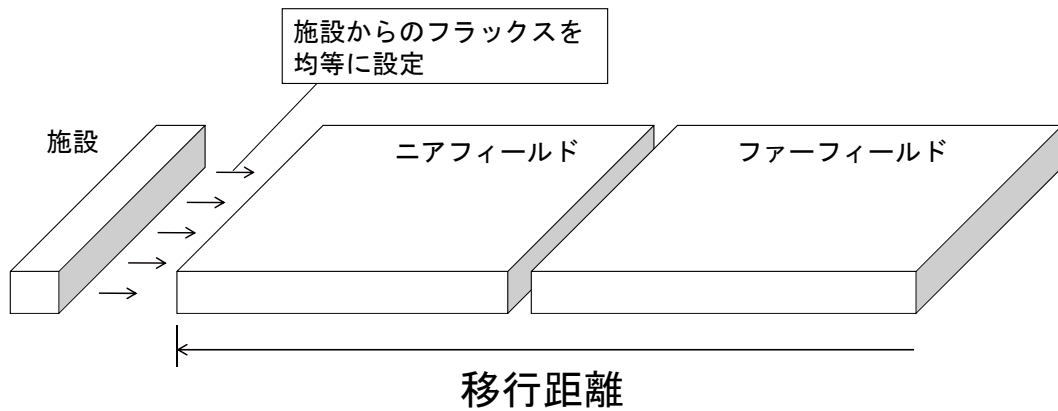
- ・ウラン量 0.431トン
- ・施設からの流出水中のウラン濃度 56ppbU
→浸透水分析値112ppbU（2001～2010年度の分析値の平均）と、措置前後のウラン濃度比（0.018%U→0.009%U）から56ppbUを設定
- ・年間ウラン溶出量 4.96×10^{-4} トン/年（施設からの流出水量×ウラン濃度）
- ・溶出率 1.15×10^{-3} （年間ウラン溶出量÷ウラン量）

○間隙率 0.46

→充填率を100%とし、瑞浪層群の間隙率の平均値0.46を設定。なお、瑞浪層群の間隙率は0.24～0.61にあるので、これらを代替ケースで考慮。

19

施設と移行経路の接続について

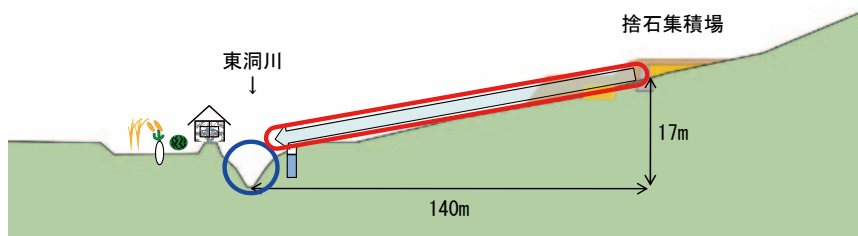


移行経路の幅：施設の幅

移行経路の高さ：施設の高さ（捨石集積場は2m，鉱業廃棄物埋立場は1.26m。坑内は各坑道の高さの最小値として2mを設定。捨石集積場の地表水移行では0.000015mを設定）

20

2. 捨石集積場を起点とする地表水移行



地表水に係るパラメータ

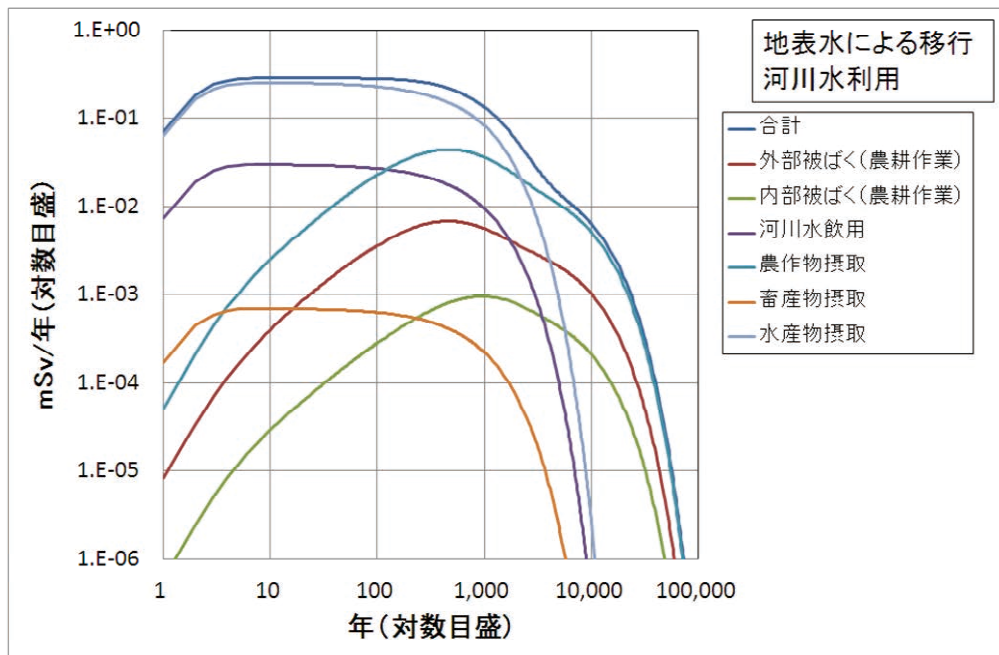
○河川流量 313,323m³/年
→東濃鉱山における河川流出高と降雨量の関係（1991～1997年）に基づいて、東濃鉱山および鉱山に隣接する正馬様における降雨量（2001～2007年度の観測値）から河川流出高を算出し、それに流域面積を乗じて算出

移行経路に係るパラメータ

○移行経路の長さ 140m
○移行経路の幅 30m（施設の幅）
○移行経路の高さ 0.000015m（移行経路の長さ、幅と水量から計算）
○分散長 0（考慮しない）
○移行時間 3分（ 5.7×10^{-6} 年）→鉱山排水路での実測値からの推定
○間隙率 考慮しない（ただし、計算では0.99を設定）
○粒子密度 考慮しない（ただし、計算では1を設定）
○屈曲率 1
○酸化還元 酸化状態

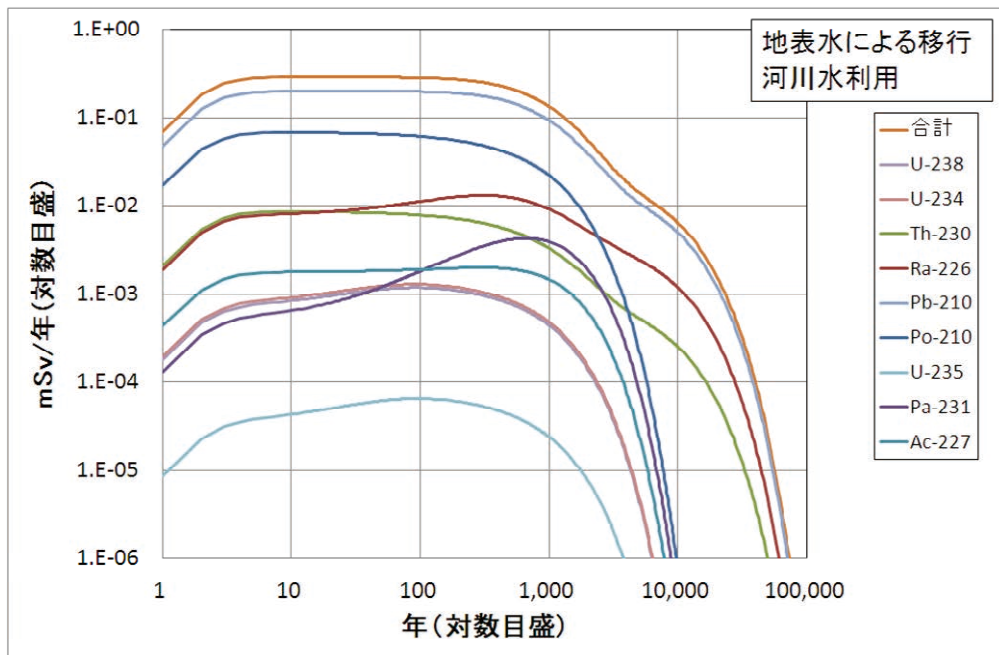
21

2. 捨石集積場を起点とする地表水移行



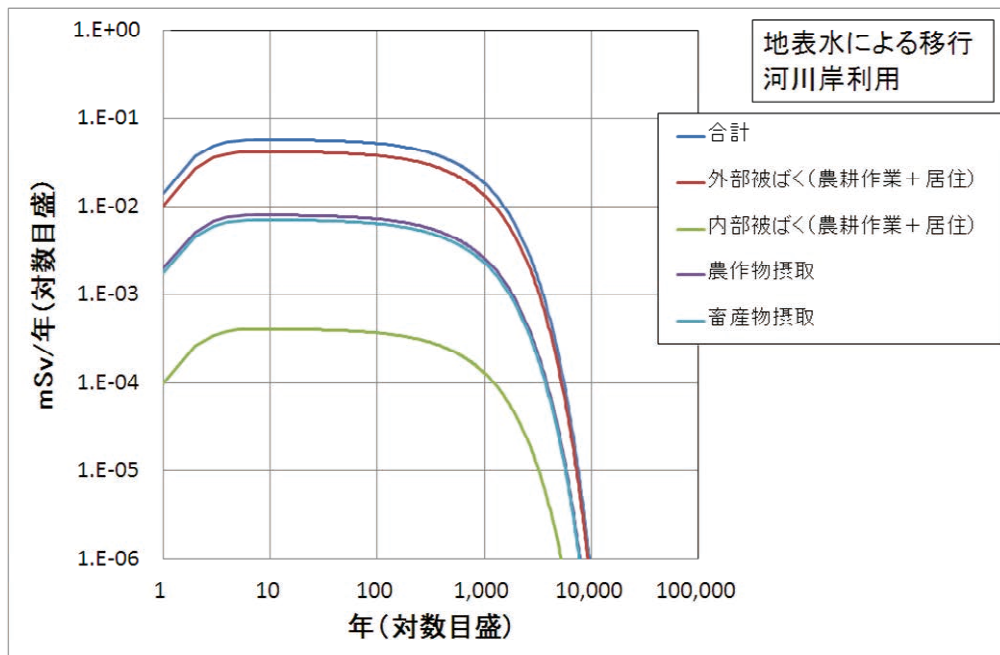
22

2. 捨石集積場を起点とする地表水移行



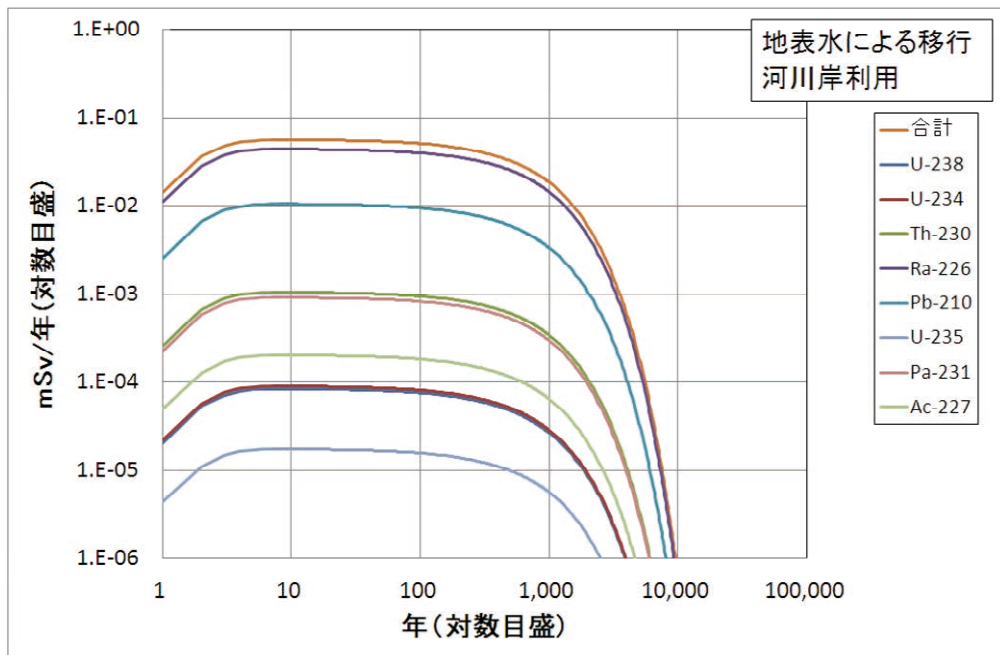
23

2. 捨石集積場を起点とする地表水移行



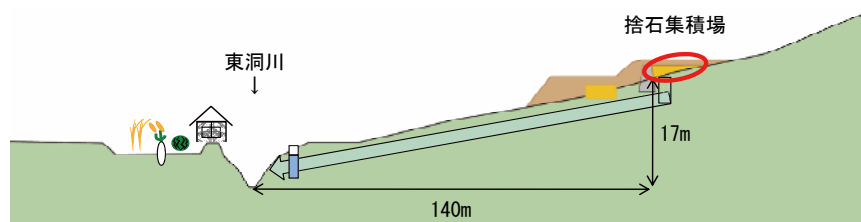
24

2. 捨石集積場を起点とする地表水移行



25

3. 捨石集積場を起点とする地下水移行

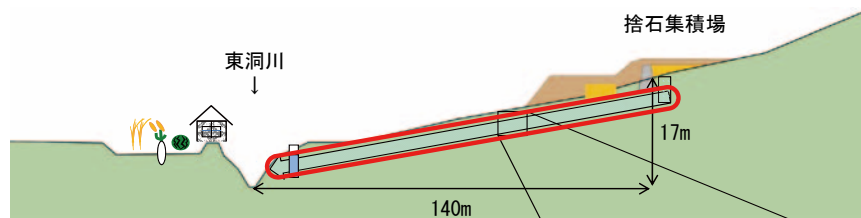


インベントリに係るパラメータ

- 容量 捨石 5,100トン (品位 0.009%U)
含有ウラン量 0.476トン (地下水に移行するウラン量として0.045トンを設定)
- 形状 長さ (奥行) 50m, 幅30m, 高さ2m (平均)
- 施設浸入水量 26.77m³/日 (地下水に移行する水量として2.51m³/日を設定)
- 施設からの流出水中のウラン濃度 56ppb U
- 溶出率 1.15×10^{-3} (全元素一律に設定)
- 間隙率 0.46
- 粒子密度 2.65
- 屈曲率 1
- 酸化還元 酸化状態
- 移行経路との接続距離 2m (施設の高さ)

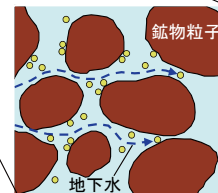
26

3. 捨石集積場を起点とする地下水移行



移行経路に係るパラメータ

- 移行経路の長さ 140m
- 移行経路の幅 30m (施設の幅)
- 移行経路の高さ 2m (集積場の高さとする)
- 分散長 14 (移行経路の1/10)
- 透水係数 2.8×10^{-8} m/s
- 実流速 1.7×10^{-9} m/s
- 移行時間 2.6×10^2 年
- 間隙率 0.54
- 粒子密度 2.65
- 屈曲率 1
- 酸化還元 酸化状態



27

3. 捨石集積場を起点とする地下水移行

○移行経路に係るパラメータ

- ・ 透水係数 $2.8 \times 10^{-8} \text{m/s}$ (瑞浪層群明世層の値)
- ・ 水理学的有効間隙率 0.2
- ・ 実流速 $1.7 \times 10^{-8} \text{m/s}$
→「透水係数×動水勾配 (17m/140m) ÷ 有効間隙率」で計算
- ・ 移行時間 $2.6 \times 10^2 \text{年}$
→「移行距離 (140m) ÷ 実流速」で計算
- ・ 間隙率 0.54
→瑞浪層群明世層の間隙率の平均値0.54を設定。なお、明世層の間隙率は0.47～0.61にあるので、これらを代替ケースで考慮。

28

分配係数

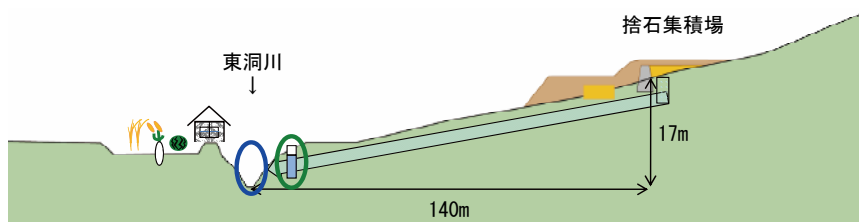
○分配係数…第2次取りまとめで引用された値を使用

岩種	花崗岩	砂岩	泥岩	花崗岩	砂岩	泥岩
環境	還元的地下水			酸化了的地下水		
Pb	0.1	0.1	1	0.1	0.1	1
Po						
Ra	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Ac	5	5	5	5	5	5
Th	1	1	1	1	1	1
Pa	1	1	1	0.005	0.01	0.01
U	1	1	1	0.005	0.005	0.01

澁谷朝紀・陶山忠宏・柴田雅博(1999)性能評価で用いる岩石に対する核種の分配係数.
核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TN8410 99-051.

29

3. 捨石集積場を起点とする地下水移行



地表水に係るパラメータ

○河川流量 313,323m³/年

→東濃鉱山における河川流出高と降雨量の関係（1991～1997年）に基づいて、東濃鉱山および鉱山に隣接する正馬様における降雨量（2001～2007年度の観測値）から河川流出高を算出し、それに流域面積を乗じて算出

井戸水に係るパラメータ

○井戸水利用希釈率 0.03

→東濃鉱山と正馬様の平均降雨量の6%を岩盤浸透率とし、それに流域面積を乗じて地下水量を算出。施設浸入水量を地下水量で除して希釈率を算出。

30

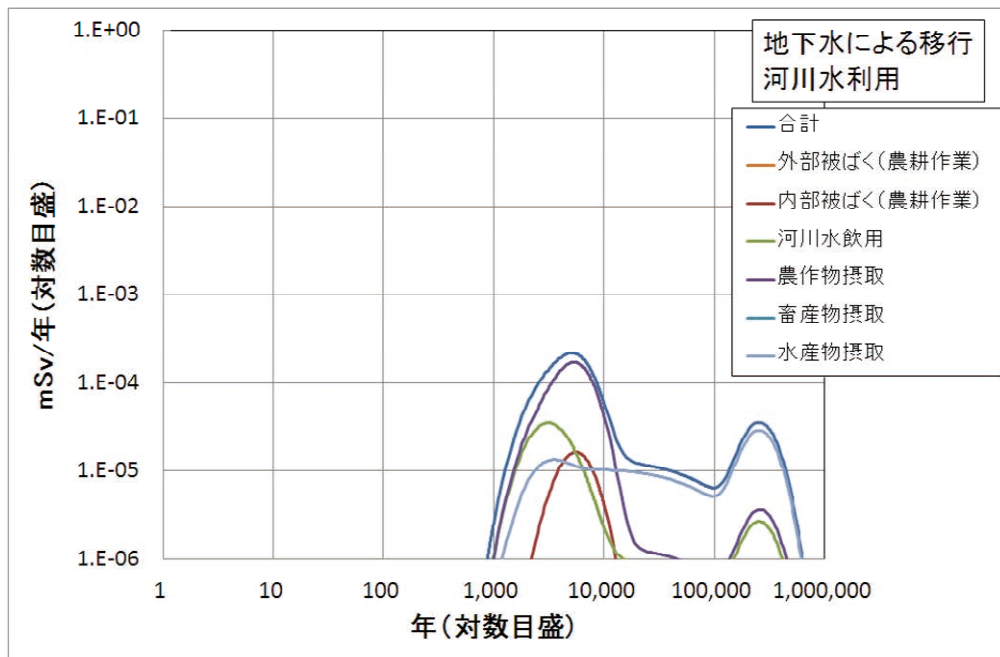
3. 捨石集積場を起点とする地下水移行



地図は1:2,500 土岐市都市計画基本図 4
および8を使用

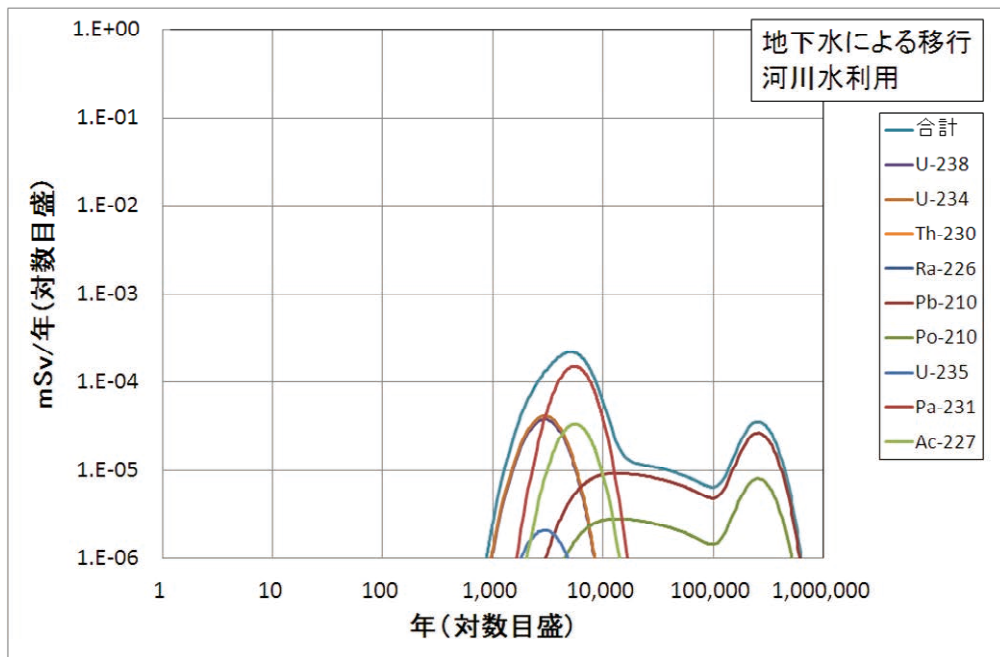
31

3. 捨石集積場を起点とする地下水移行



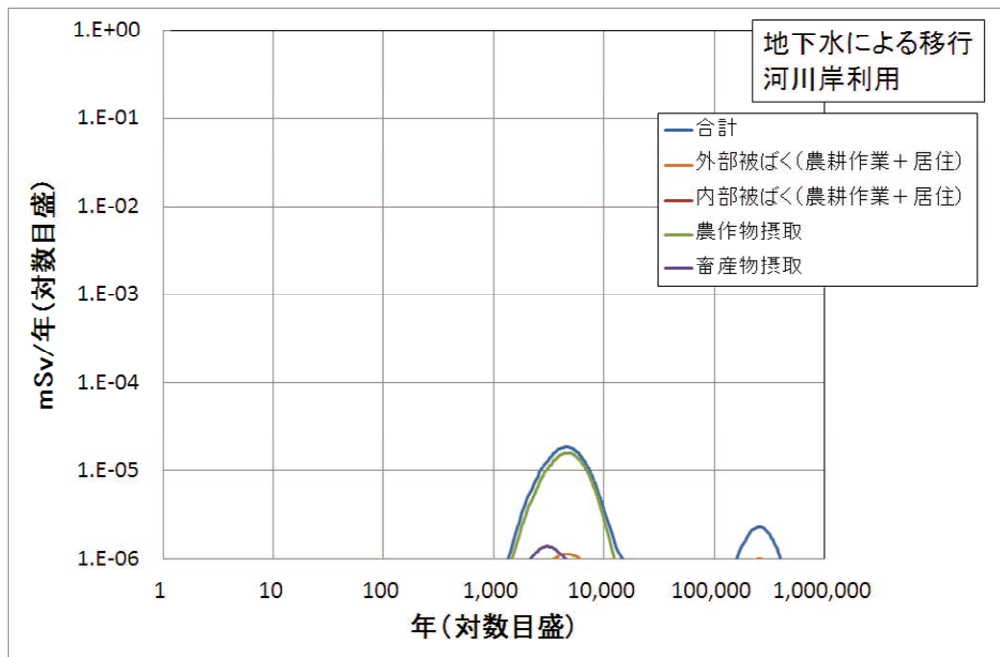
32

3. 捨石集積場を起点とする地下水移行



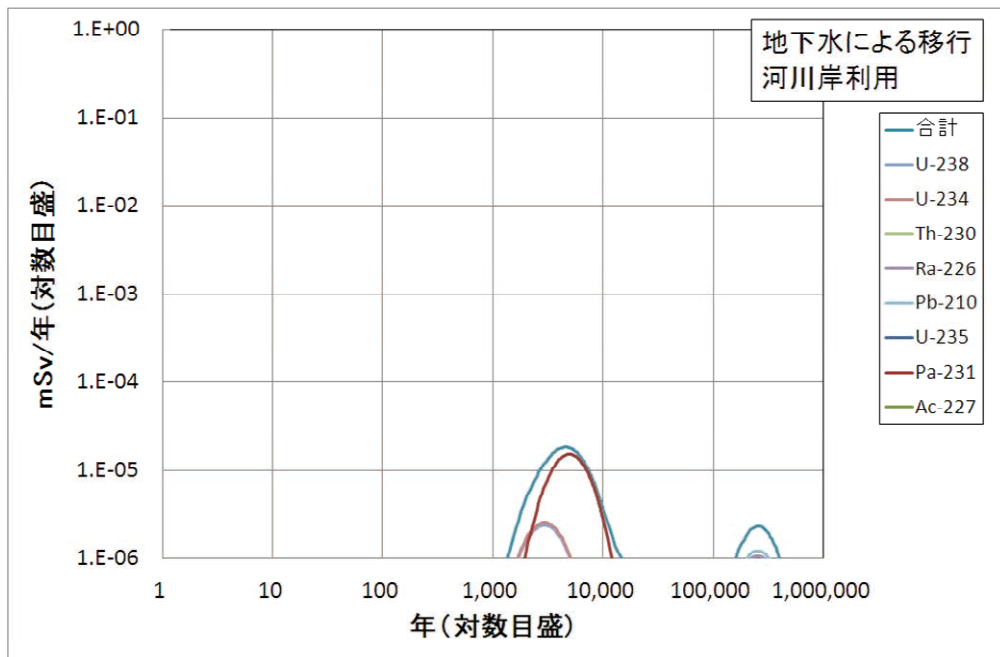
33

3. 捨石集積場を起点とする地下水移行



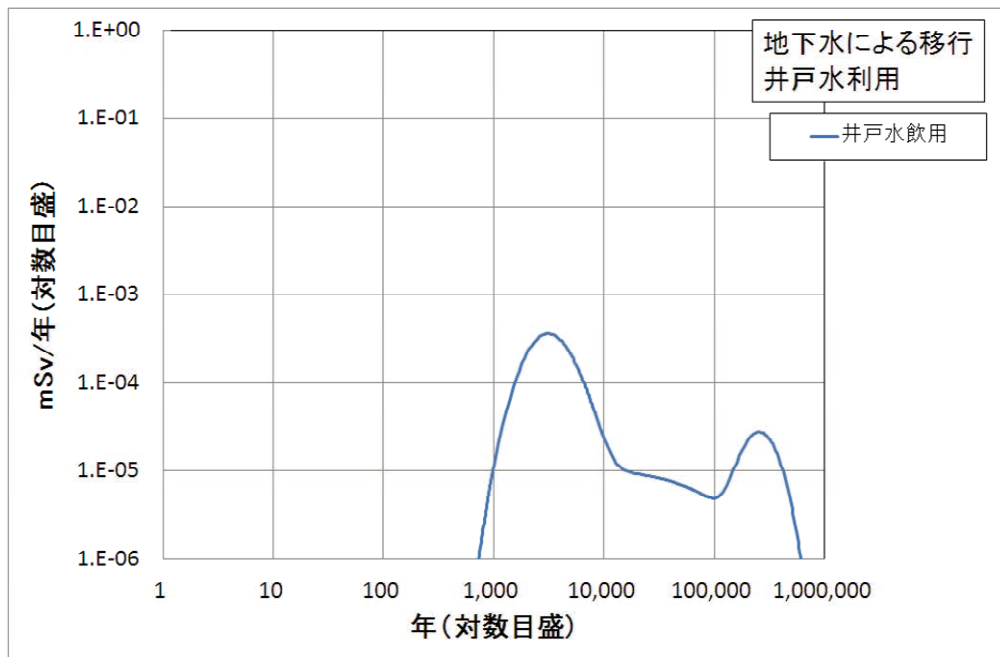
34

3. 捨石集積場を起点とする地下水移行



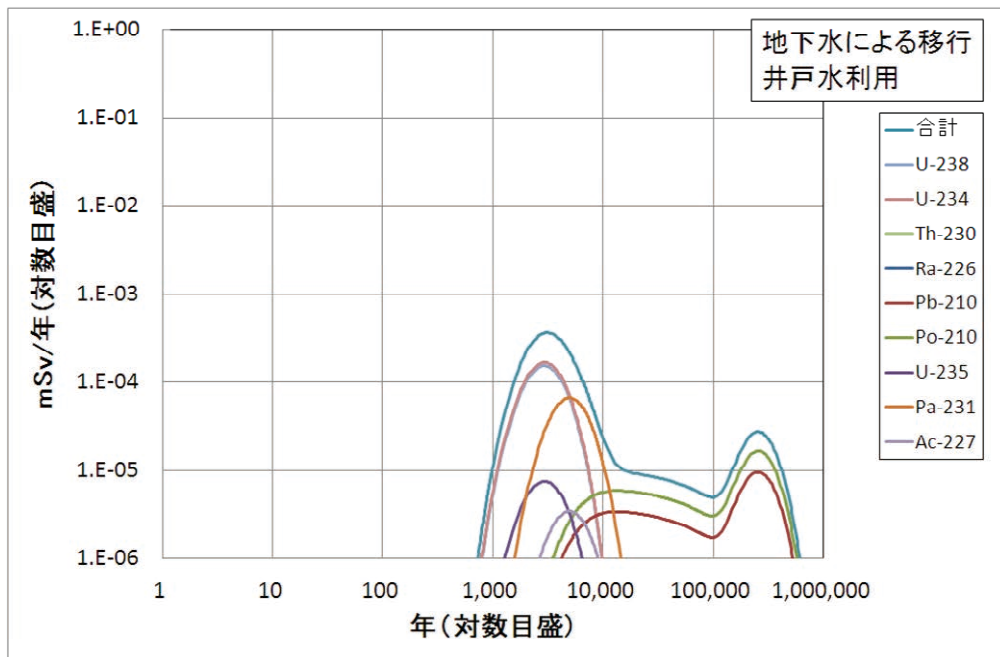
35

3. 捨石集積場を起点とする地下水移行



36

3. 捨石集積場を起点とする地下水移行



37

4. 直接線およびスカイシャイン

○地上に所在する捨石集積場を対象に実施

線源の γ 線発生率は、核種生成崩壊計算コードORIGEN2を使用して計算。その γ 線発生率を線源条件として直接線及びスカイシャイン線による実効線量を2次元Sn法輸送計算コードDOT3.5により計算。

ORIGEN2

使用済核燃料等の核種組成を計算するコードであり、核分裂や放射性崩壊による核種の生成量を計算するコード。

DOT3.5

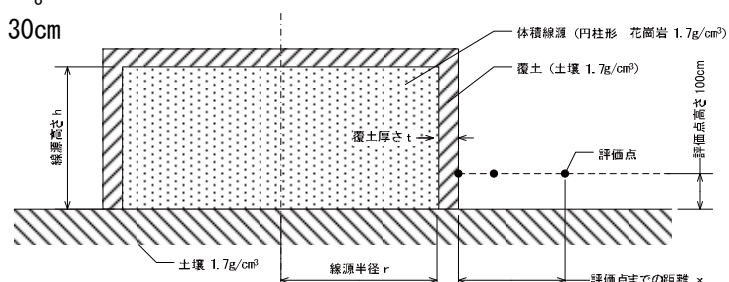
遮へい設計や許認可等に使用される計算コードであり、2次元Sn法コードDOT-Ⅲを改良したコード。

38

4. 直接線およびスカイシャイン

直接線

- a. 形状モデル : 円柱形
- b. 線源
 - ・放射線の種類 : γ 線
 - ・形状 : 体積線源
 - ・角度依存性 : 等方線源
- c. 断面積ライブラリ : DLC-23E (中性子22群、 γ 線18群)
- d. ルジャンドル展開次数 : P_5
- e. 角度分点 : S_8
- f. 覆土厚 : 30cm



39

4. 直接線およびスカイシャイン

スカイシャイン

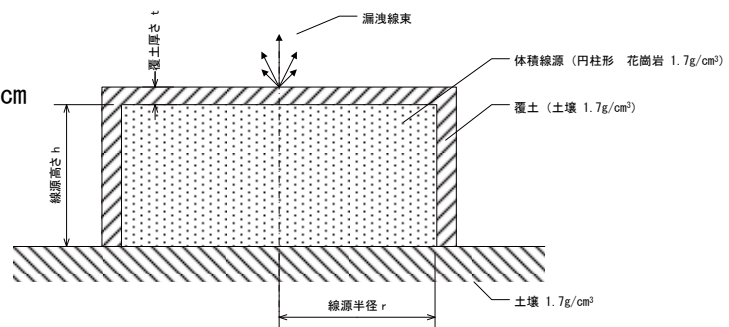
本評価では、最初に捨石集積場上面から漏洩する線束分布を計算し（ステップ1）、次にその線束分布を面線源とした計算を行った（ステップ2）。

40

4. 直接線およびスカイシャイン

スカイシャイン（ステップ1）

- a. 形状モデル : 円柱形
- b. 線源
 - ・放射線の種類 : γ 線
 - ・形状 : 体積線源
 - ・角度依存性 : 等方線源
- c. 断面積ライブラリ : DLC-23E（中性子22群、 γ 線18群）
- d. ルジャンドル展開次数 : P_5
- e. 角度分点 : S_8
- f. 覆土厚 : 30cm



施設上面の漏洩線束をDOTで計算する。

41

4. 直接線およびスカイシャイン

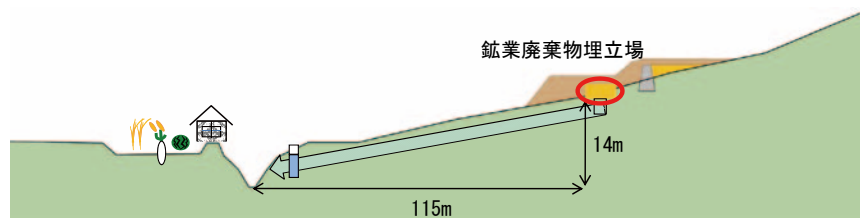
○計算結果

距離 (m)	実効線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)			参考 (mSv/年 への換算値)
	直接線	スカイシャイン	合計	
0	2.620E-02	4.860E-04	2.669E-02	2.338E-01
1	1.336E-02	4.673E-04	1.383E-02	1.211E-01
10	1.417E-03	3.616E-04	1.779E-03	1.558E-02
100	9.816E-05	4.514E-05	1.433E-04	1.255E-03
130	6.327E-05	3.059E-05	9.386E-05	8.222E-04
140	5.571E-05	2.639E-05	8.210E-05	7.192E-04
150	4.942E-05	2.220E-05	7.162E-05	6.274E-04
200	2.968E-05	1.161E-05	4.129E-05	3.617E-04
250	1.977E-05	6.272E-06	2.605E-05	2.282E-04
500	5.372E-06	3.950E-07	5.767E-06	5.052E-05
1000	1.402E-06	3.994E-09	1.406E-06	1.232E-05

* 距離は側面覆土外側からの距離

44

5. 鉱業廃棄物埋立場を起点とする地下水移行



インベントリに係るパラメータ

- 容量 鉱業廃棄物 14.9トン (品位 0.173%U)
含有ウラン量 0.0257トン
- 形状 長さ5m, 幅5m, 高さ1.26m
- 施設浸入水量 初期的には $6 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{日}$, 50年後以降は $7 \times 10^{-2} \text{m}^3/\text{日}$ (0~50年は時間とともに増加)
- 施設からの流出水中のウラン濃度 23,744ppbU
- 溶出率 初期的には 2.02×10^{-5} , 50年後以降は 5.77×10^{-2} (全元素一律に設定。0~50年は時間とともに増加)
- 間隙率 0.81
- 粒子密度 2.65
- 屈曲率 1
- 酸化還元 酸化状態
- 移行経路との接続距離 1.26m (施設の高さ)

45

鉱業廃棄物埋立場の施設浸入水量について

○施設浸入水量 初期的には $6 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{日}$,
50年後以降は $7 \times 10^{-2} \text{m}^3/\text{日}$

→初期値はコンクリートの透水係数を $3 \times 10^{-12} \text{m/s}$ とし, 「水の流量=透水係数×埋立場面積×水頭差÷コンクリートの厚さ」から計算。

50年以降は, コンクリートの遮水性がなくなると想定し, 年間降水量のうち, 蒸発散量を引いた値(降水量の64%)を埋立場面積に乗じて算出。

0~50年は時間に比例して増加。

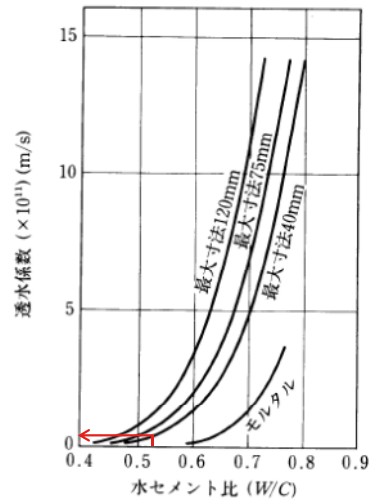


図-9.1 水セメント比と透水係数の関係

鉱業廃棄物埋立場のコンクリートの配合
・粗骨材の最大寸法: 25mm
・水セメント比: 0.515
(図はコンクリート便覧より引用)

46

5. 鉱業廃棄物埋立場を起点とする地下水移行

○溶出率に係るパラメータ

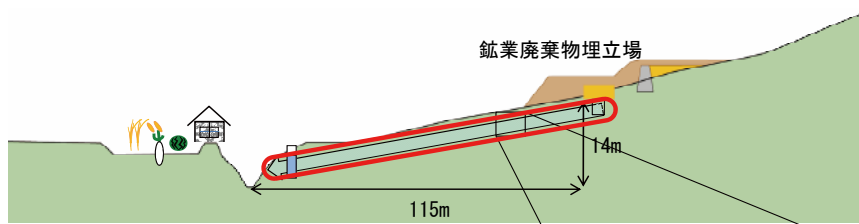
- ・ウラン量 0.0257トン
- ・施設からの流出水中のウラン濃度 23,744ppbU
→土壌溶出量調査に準拠した試験を行った結果に基づいて, 捨石集積場の流出水中のウラン濃度112ppbUの212倍(23744ppbU)を設定
- ・年間ウラン溶出量 5.20×10^{-7} トン/年@0年, 6.07×10^{-4} トン/年@50年以降(施設からの流出水量×ウラン濃度)
- ・溶出率 2.02×10^{-5} @0年, 5.77×10^{-2} @50年以降(年間ウラン溶出量÷ウラン量)

○間隙率 0.81

→粒子密度を 2.65g/cm^3 をし, 埋立物の密度(0.5g/cm^3)とから計算

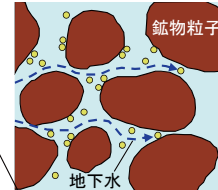
47

5. 鉱業廃棄物埋立場を起点とする地下水移行



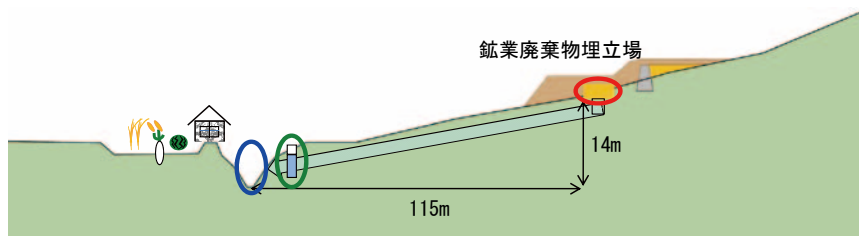
移行経路に係るパラメータ

- 移行経路の長さ 115m
- 移行経路の幅 5m (施設の幅)
- 移行経路の高さ 1.26m (埋立物の高さ)
- 分散長 11.5 (移行経路の1/10)
- 透水係数 $2.8 \times 10^{-8} \text{m/s}$
- 実流速 $1.7 \times 10^{-9} \text{m/s}$
- 移行時間 $2.1 \times 10^2 \text{年}$
- 間隙率 0.54
- 粒子密度 2.65
- 屈曲率 1
- 酸化還元 酸化状態



48

5. 鉱業廃棄物埋立場を起点とする地下水移行



地表水に係るパラメータ

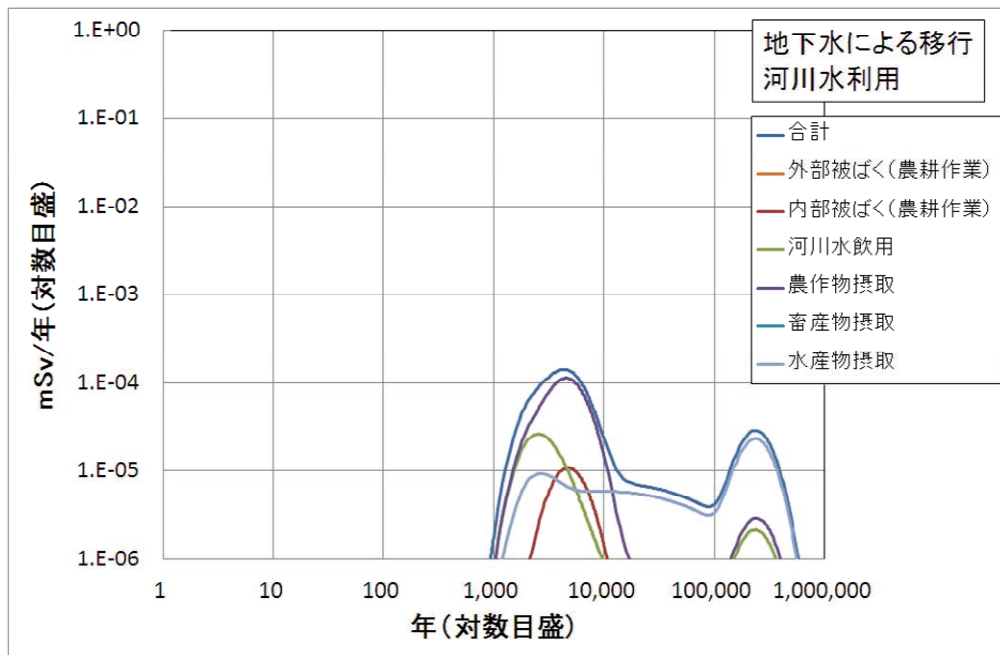
- 河川流量 $313,323 \text{m}^3/\text{年}$
- 東濃鉱山における河川流出高と降雨量の関係 (1991~1997年) に基づいて、東濃鉱山および鉱山に隣接する正馬様における降雨量 (2001~2007年度の観測値) から河川流出高を算出し、それに流域面積を乗じて算出

井戸水に係るパラメータ

- 井戸水利用希釈率 0.001
- 東濃鉱山と正馬様の平均降雨量の6%を岩盤浸透率とし、それに流域面積を乗じて地下水量を算出。施設浸入水量を地下水量で除して希釈率を算出。

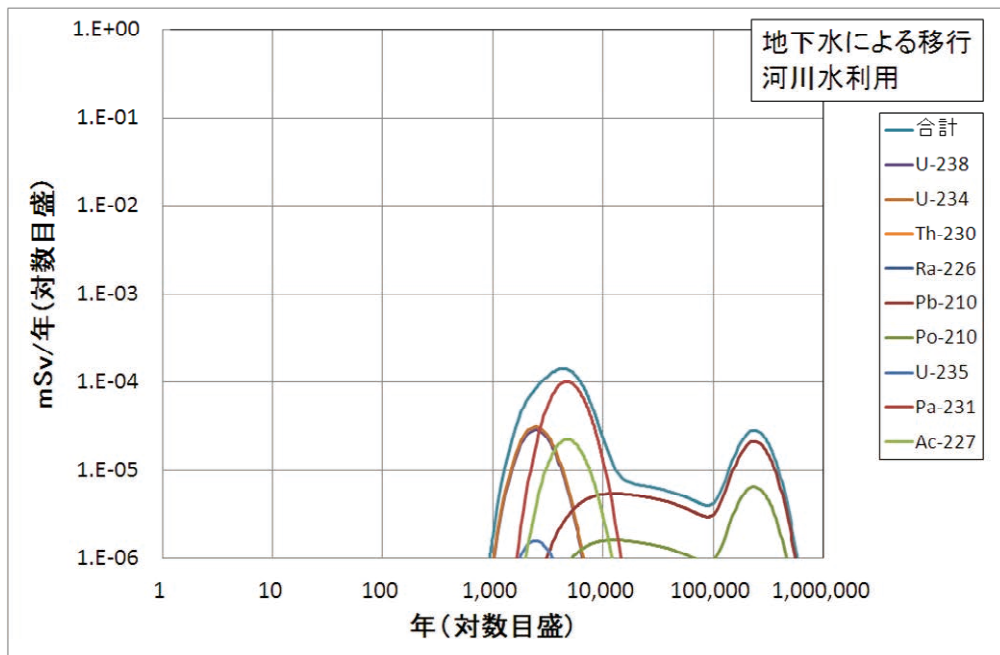
49

5. 鉱業廃棄物埋立場を起点とする地下水移行



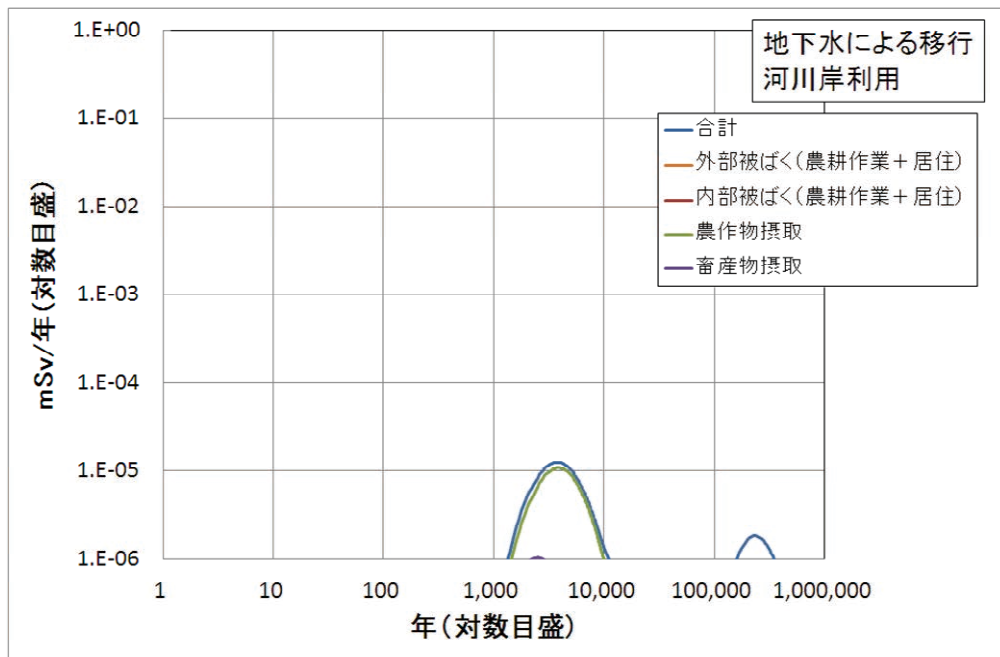
50

5. 鉱業廃棄物埋立場を起点とする地下水移行



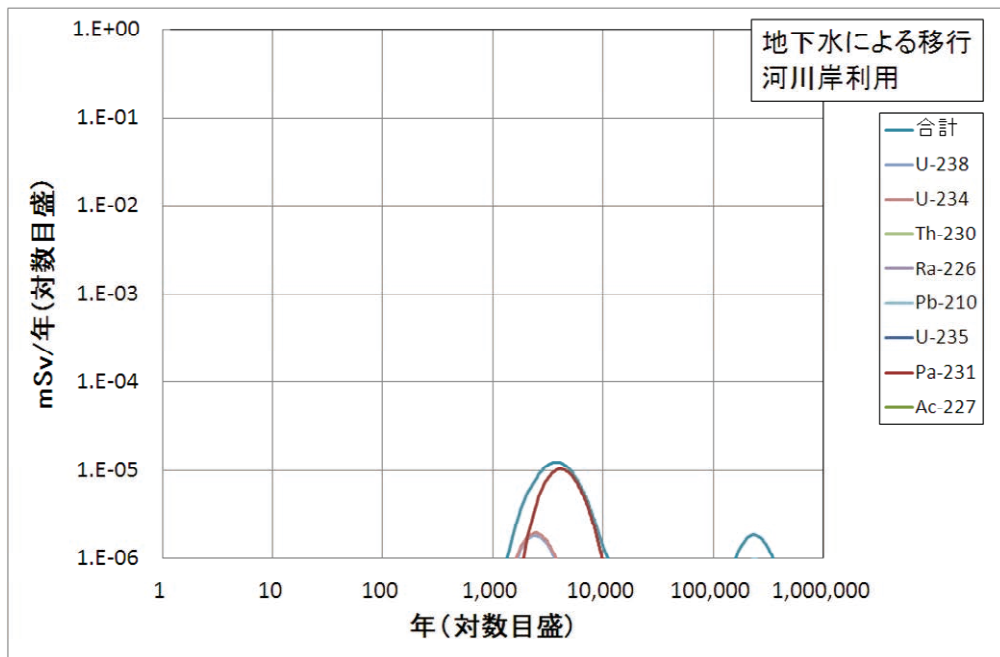
51

5. 鉱業廃棄物埋立場を起点とする地下水移行



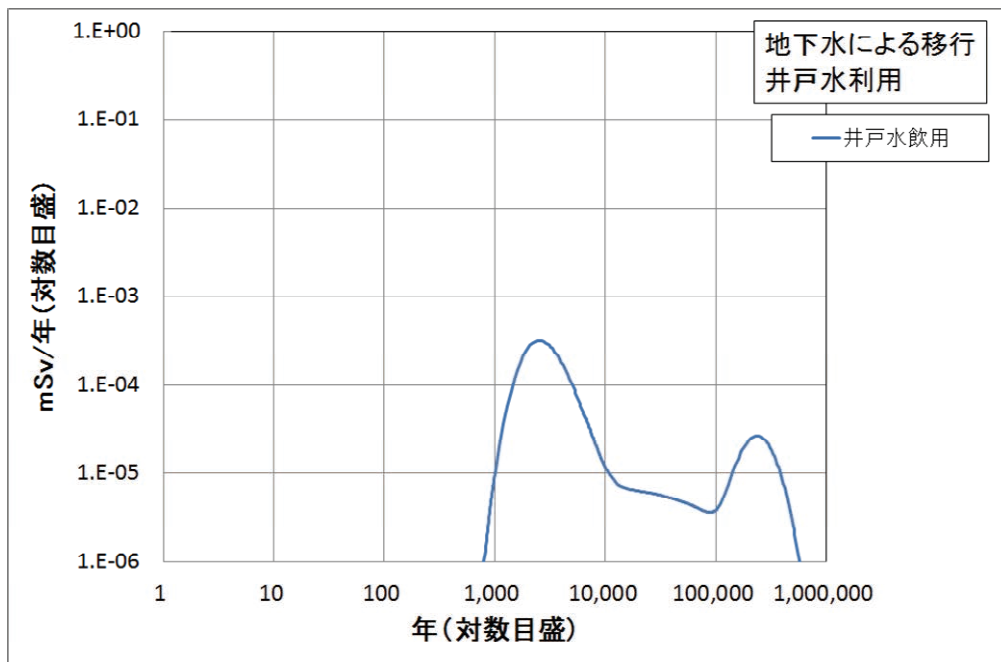
52

5. 鉱業廃棄物埋立場を起点とする地下水移行



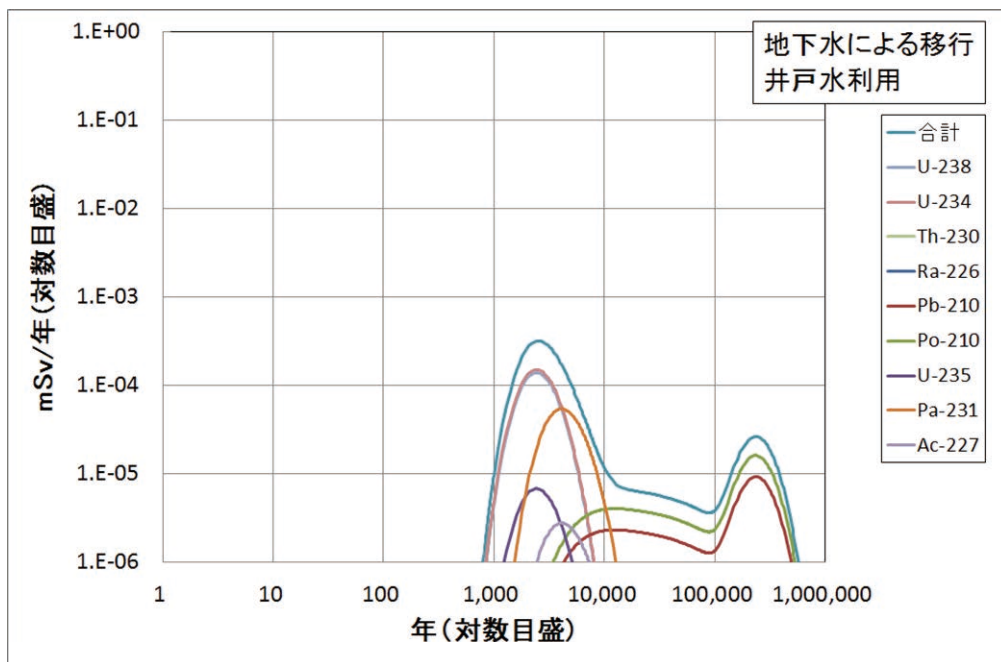
53

5. 鉱業廃棄物埋立場を起点とする地下水移行



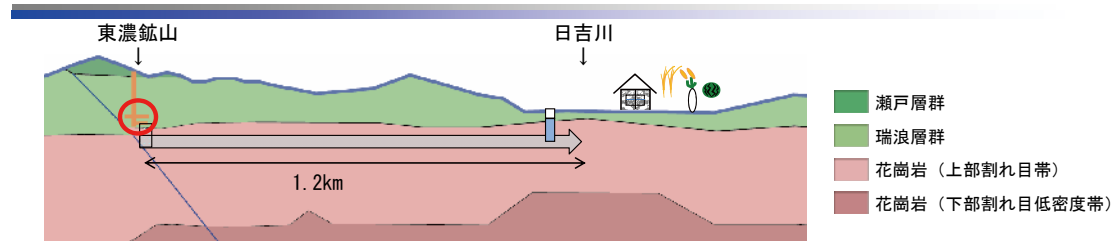
54

5. 鉱業廃棄物埋立場を起点とする地下水移行



55

6. 坑内を起点とする地下水移行



インベントリに係るパラメータ（区画1：鉱石の例）

- 容量 鉱石 9.1トン（品位 0.517%U）
含有ウラン量 0.047トン
- 形状 長さ6m, 高さ0.25m, 幅4.7m（長さと高さを固定し、充填量に合わせて幅を設定）
- 施設浸入水量 初期的には0.04m³/日, 1年後以降は0.0009m³/日
- 施設からの流出水中のウラン濃度 12.319ppb U→494ppb U
- 溶出率 0～1年は 1.87×10^{-4} , 1年後以降は 3.45×10^{-6} （全元素一律に設定）
- 間隙率 0.51
- 粒子密度 2.65
- 屈曲率 1
- 酸化還元 酸化状態
- 移行経路との接続距離 0.25m（充填部の高さ）

56

6. 坑内を起点とする地下水移行

○施設浸入水量

- ・0～1年は坑内からの排水量（2001～2010年度の平均値）52.4m³/日を坑道断面積で各区画に割り振って設定
- ・1年以降はダルシー流速に坑道断面積を乗じて設定

○間隙率 0.51（立坑）, 0.58（水平坑道）

→立坑では充填率を90%, 水平坑道では充填率を80%とし, 瑞浪層群の間隙率の平均値0.46を設定。なお, 瑞浪層群の間隙率は0.24～0.61にあるので, これらを代替ケースで考慮。

57

6. 坑内を起点とする地下水移行

○溶出率の計算

0～1年のウラン溶出量の計算

期間：0～2日

項目	単位	根拠
流出水量	0.04t/日	坑内水量を坑道断面積で割り振って設定
流出水のウラン濃度	12,319ppbU	浸漬試験の結果から設定
期間中のウラン溶出量	0.001kg	流出水量×流出水のウラン濃度

期間：2～29日

項目	単位	根拠
流出水量	0.04t/日	坑内水量を坑道断面積で割り振って設定
流出水のウラン濃度	1,088ppbU	浸漬試験の結果から設定
期間中のウラン溶出量	0.001kg	流出水量×流出水のウラン濃度

期間：29日～1年

項目	単位	根拠
流出水量	0.04t/日	坑内水量を坑道断面積で割り振って設定
流出水のウラン濃度	494ppbU	浸漬試験の結果から設定
期間中のウラン溶出量	0.007kg	流出水量×流出水のウラン濃度

58

6. 坑内を起点とする地下水移行

○溶出率の計算

溶出率の計算

期間：0～1年

項目	単位	根拠
ウラン量	47kgU	元々のウラン量
1年間のウラン溶出量	0.009kg	上記ウラン溶出量の合計
溶出率	1.87E-04	1年間のウラン溶出量÷ウラン量

期間：1年～

項目	単位	根拠
ウラン量	47kgU	元々のウラン量から1年までの溶出量を引いた値
流出水量	0.0009t/日	ダルシー流速に坑道断面積を乗じた値
流出水のウラン濃度	494ppbU	浸漬試験の結果から設定
1年間のウラン溶出量	0.0002kg	流出水量×流出水のウラン濃度
溶出率	3.45E-06	1年間のウラン溶出量÷ウラン量

59

6. 坑内を起点とする地下水移行

0～1年のウラン溶出量の計算

期間：0～2日

項目	区画1：鉱石	区画2：特別捨石	区画3：捨石	区画4：捨石	区画5：捨石	区画6：特別捨石
流出水量	0.04t/日	3.99t/日	19.53t/日	9.38t/日	14.99t/日	4.47t/日
流出水のウラン濃度	12.319ppbU	1.623ppbU	26ppbU	26ppbU	26ppbU	1.623ppbU
1年間のウラン溶出量	0.001kg	0.01kg	0.001kg	0.0005kg	0.0008kg	0.01kg

期間：2～29日

項目	区画1：鉱石	区画2：特別捨石	区画3：捨石	区画4：捨石	区画5：捨石	区画6：特別捨石
流出水量	0.04t/日	3.99t/日	19.53t/日	9.38t/日	14.99t/日	4.47t/日
流出水のウラン濃度	1.088ppbU	144ppbU	3ppbU	3ppbU	3ppbU	144ppbU
1年間のウラン溶出量	0.001kg	0.02kg	0.002kg	0.001kg	0.001kg	0.02kg

期間：29日～1年

項目	区画1：鉱石	区画2：特別捨石	区画3：捨石	区画4：捨石	区画5：捨石	区画6：特別捨石
流出水量	0.04t/日	3.99t/日	19.53t/日	9.38t/日	14.99t/日	4.47t/日
流出水のウラン濃度	494ppbU	65ppbU	1ppbU	1ppbU	1ppbU	65ppbU
1年間のウラン溶出量	0.007kg	0.09kg	0.007kg	0.003kg	0.005kg	0.1kg

溶出率の計算

期間：0～1年

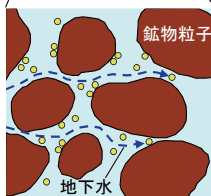
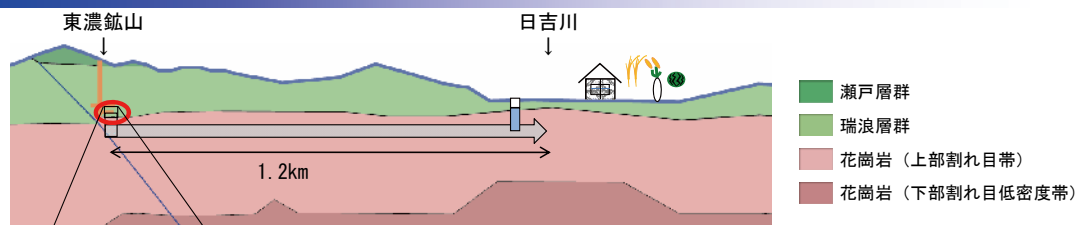
項目	区画1：鉱石	区画2：特別捨石	区画3：捨石	区画4：捨石	区画5：捨石	区画6：特別捨石
当初のウラン量	47kgU	847kgU	600kgU	114kgU	373kgU	898kgU
1年間のウラン溶出量	0.009kg	0.1kg	0.009kg	0.004kg	0.007kg	0.1kg
溶出率	1.87E-04	1.36E-04	1.52E-05	3.85E-05	1.88E-05	1.44E-04

期間：1年～

項目	区画1：鉱石	区画2：特別捨石	区画3：捨石	区画4：捨石	区画5：捨石	区画6：特別捨石
1年後のウラン量	47kgU	847kgU	600kgU	114kgU	373kgU	898kgU
流出水量	0.0009t/日	0.10t/日	0.47t/日	0.23t/日	0.36t/日	0.11t/日
流出水のウラン濃度	494ppbU	65ppbU	1ppbU	1ppbU	1ppbU	65ppbU
1年間のウラン溶出量	0.0002kg	0.002kg	0.0002kg	0.00008kg	0.0001kg	0.003kg
溶出率	3.45E-06	2.80E-06	2.86E-07	7.36E-07	3.52E-07	2.91E-06

60

6. 坑内を起点とする地下水移行



堆積岩中の移行経路に係るパラメータ（区画1：鉱石の例）

- 移行経路の長さ 20m
- 移行経路の幅 6m（立坑の直径）
- 移行経路の高さ 0.25m（充填物の高さ）
- 分散長 2（移行経路の1/10）
- 透水係数 $5.4 \times 10^{-7} \text{m/s}$
- 実流速 $3.7 \times 10^{-8} \text{m/s}$
- 移行時間 $1.7 \times 10^1 \text{年}$
- 間隙率 0.46
- 粒子密度 2.65
- 屈曲率 1
- 酸化還元 酸化状態

61

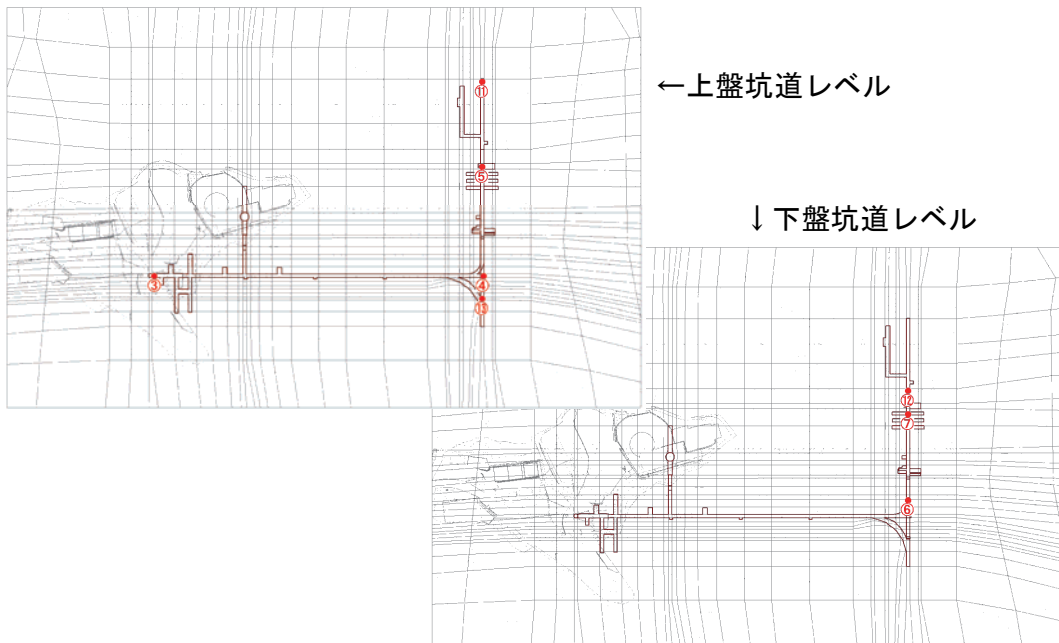
6. 坑内を起点とする地下水移行

○堆積岩中の移行経路に係るパラメータ

- ・ 透水係数 $5.4 \times 10^{-7} \text{m/s}$ (瑞浪層群土岐夾炭層の値)
- ・ 水理学的有効間隙率 0.2
- ・ 実流速 $3.7 \times 10^{-9} \text{m/s}$
→「土岐夾炭層のダルシー流速の平均値 ($7.3 \times 10^{-9} \text{m/s}$) ÷ 有効間隙率」で計算
- ・ 移行時間 $1.7 \times 10^4 \text{年}$
→「移行距離 (20m) ÷ 実流速」で計算
- ・ 間隙率 0.46
→瑞浪層群土岐夾炭層の間隙率の平均値0.46を設定。なお、土岐夾炭層の間隙率は0.24~0.60にあるので、これらを代替ケースで考慮。

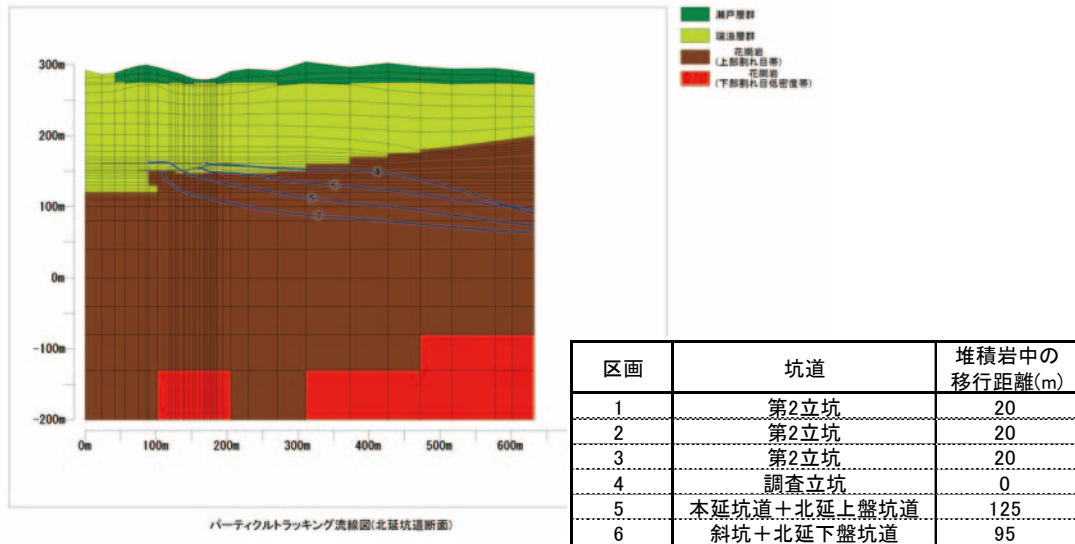
62

6. 坑内を起点とする地下水移行



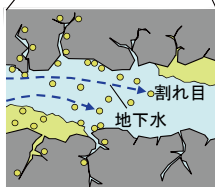
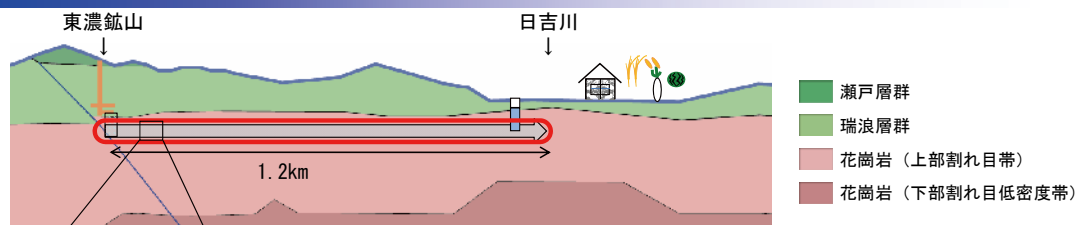
63

6. 坑内を起点とする地下水移行



64

6. 坑内を起点とする地下水移行



花崗岩中の移行経路に係るパラメータ (区画1：鉱石の例)

- 移行経路の長さ 1200m
- 移行経路の幅 6m (立坑の直径)
- 移行経路の高さ 0.25m (充填物の高さ)
- 分散長 120 (移行経路の1/10)
- 透水係数 $7.9 \times 10^{-8} \text{m/s}$
- 実流速 $7.7 \times 10^{-7} \text{m/s}$
- 移行時間 $6.2 \times 10^1 \text{年}$
- 間隙率 0.01
- 粒子密度 2.65
- 屈曲率 1
- 酸化還元 酸化状態

65

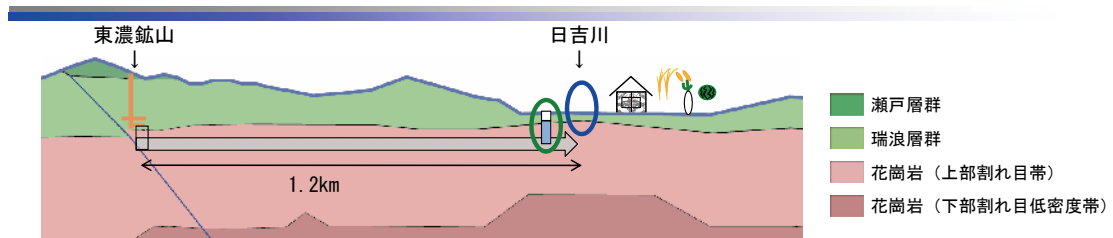
6. 坑内を起点とする地下水移行

○花崗岩中の移行経路に係るパラメータ

- ・ 透水係数 $7.9 \times 10^{-8} \text{m/s}$ (花崗岩上部割れ目帯の値)
- ・ 水理学的有効間隙率 2.2×10^{-3} (割れ目帯と健岩部の値の平均)
- ・ 実流速 $7.7 \times 10^{-7} \text{m/s}$
 → 「花崗岩上部割れ目帯のダルシー流速の平均値 ($1.7 \times 10^{-9} \text{m/s}$) ÷ 有効間隙率」
 で計算
- ・ 移行時間 $6.2 \times 10^1 \text{年}$
 → 「移行距離 (1200m) ÷ 実流速」で計算
- ・ 間隙率 0.01 (文献値)

66

6. 坑内を起点とする地下水移行



井戸水に係るパラメータ

- 井戸水利用希釈率 0.1
 → 地下水流動解析の結果に基づくと、
 評価点では流出水が卓越することから、
 評価点を含む格子の総湧出量と
 坑内を通過する水量の比に基づいて
 設定

地表水に係るパラメータ

- 河川流量 $33,646,838 \text{m}^3/\text{年}$
 → 実測値 (2003～2007年度の平均値)

67

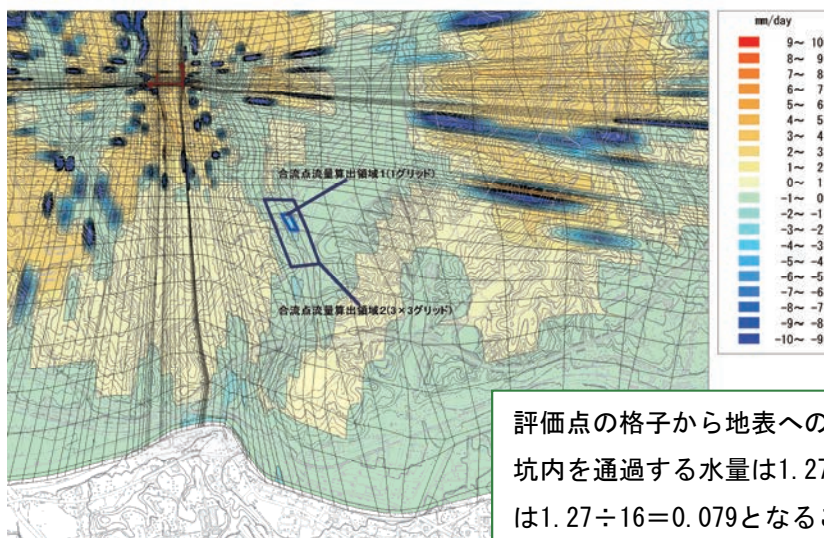
6. 坑内を起点とする地下水移行



地図は国土地理院発行 数値地図25000（地図画像）「飯田」の土岐、瑞浪、御嵩、武並を使用

68

6. 坑内を起点とする地下水移行

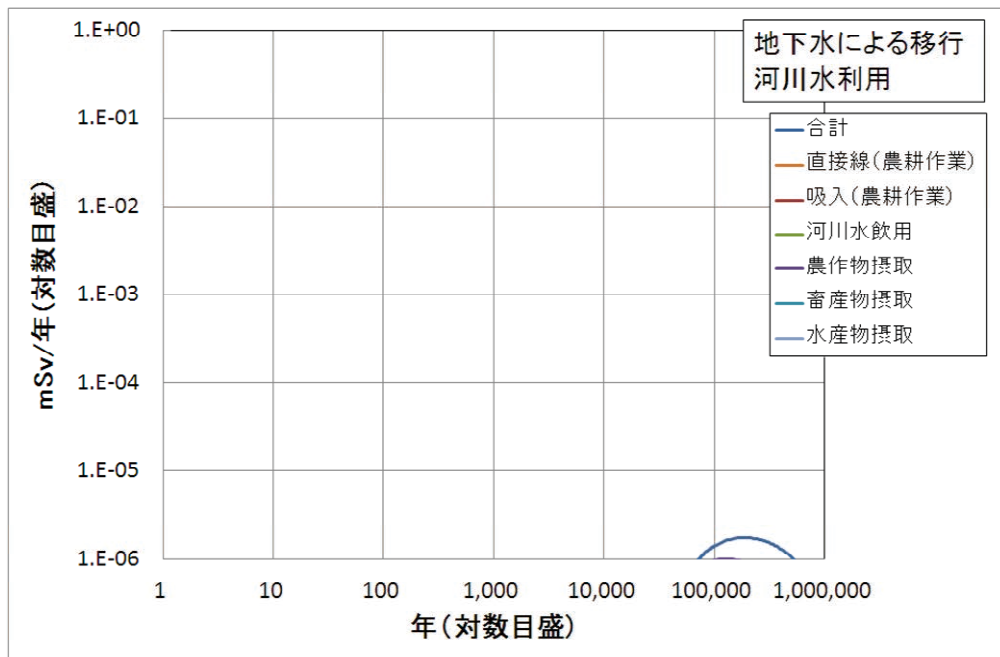


地図は国土地理院発行 数値地図25000（地図画像）
「飯田」の土岐、瑞浪、御嵩、武並を使用

評価点の格子から地表への流出量は $16\text{m}^3/\text{日}$ 、
坑内を通過する水量は $1.27\text{m}^3/\text{日}$ であり、量比
は $1.27 \div 16 = 0.079$ となることから、希釈率と
して0.1を設定する。

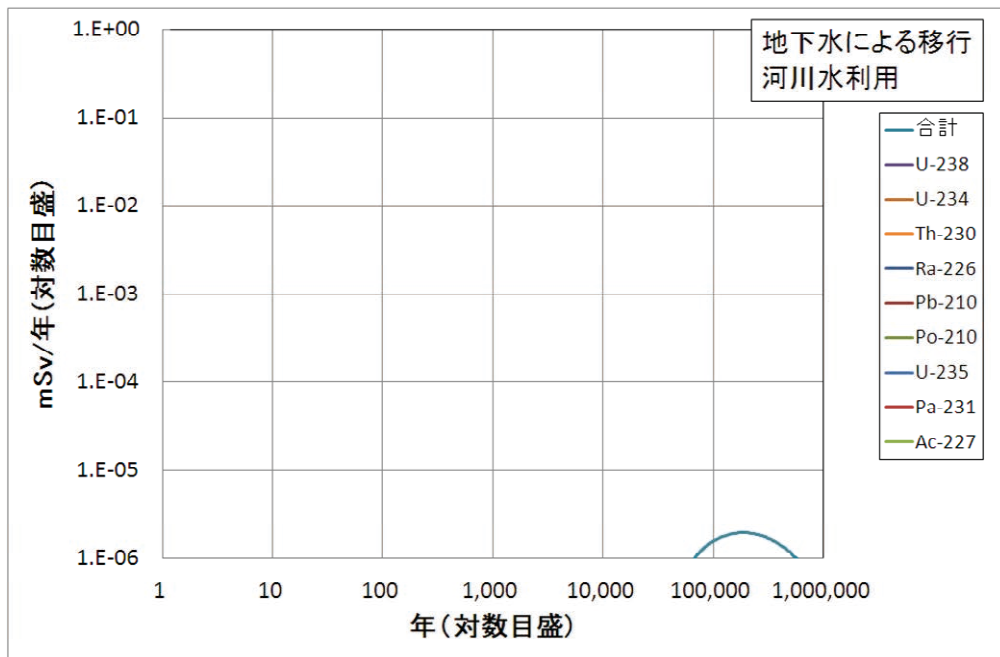
69

6. 坑内を起点とする地下水移行



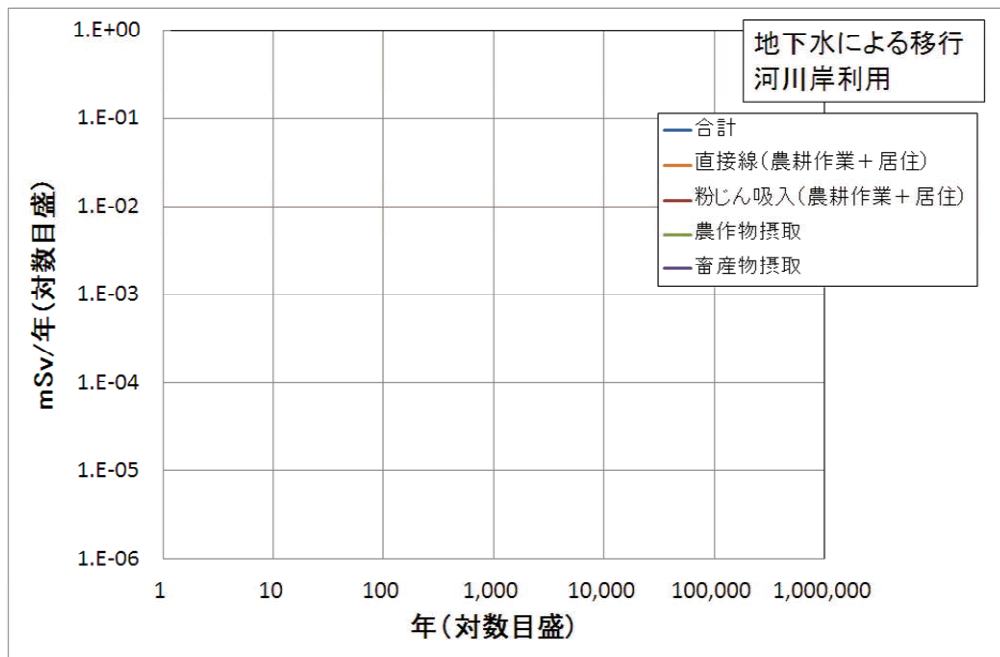
70

6. 坑内を起点とする地下水移行



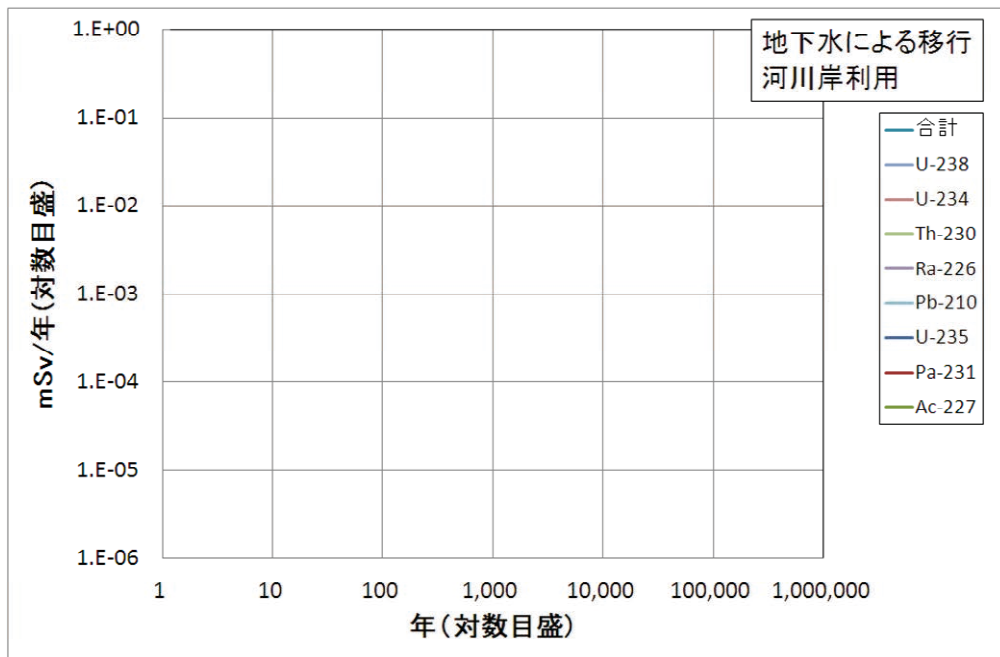
71

6. 坑内を起点とする地下水移行



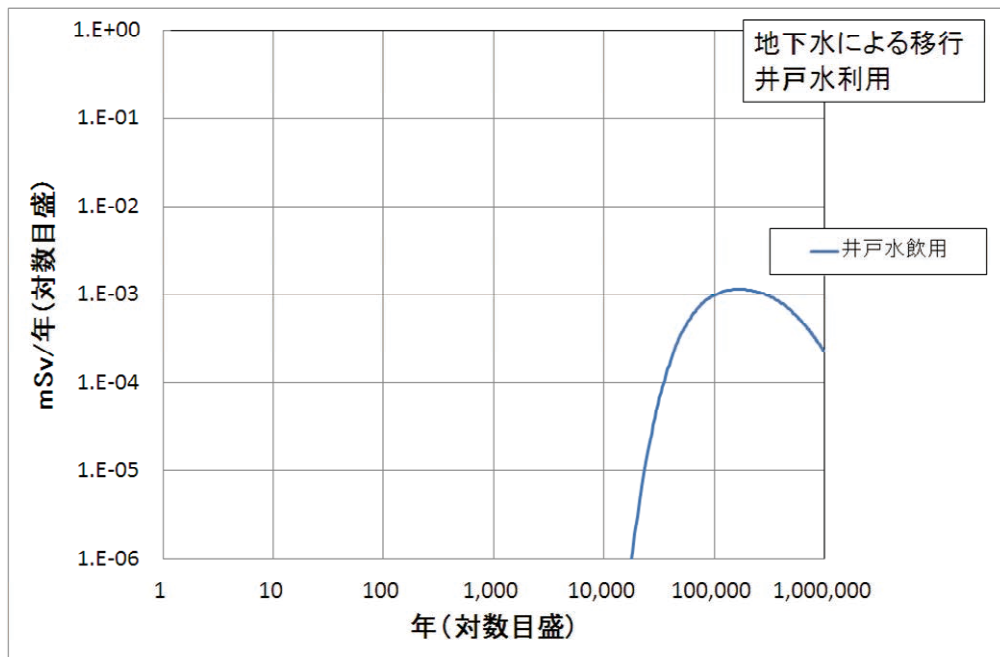
72

6. 坑内を起点とする地下水移行



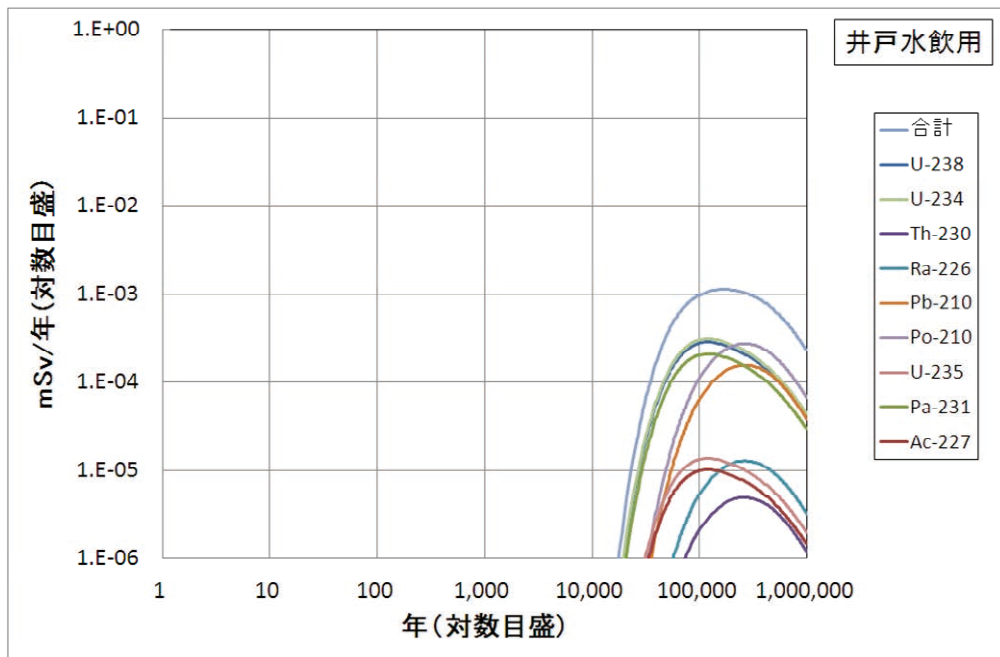
73

6. 坑内を起点とする地下水移行



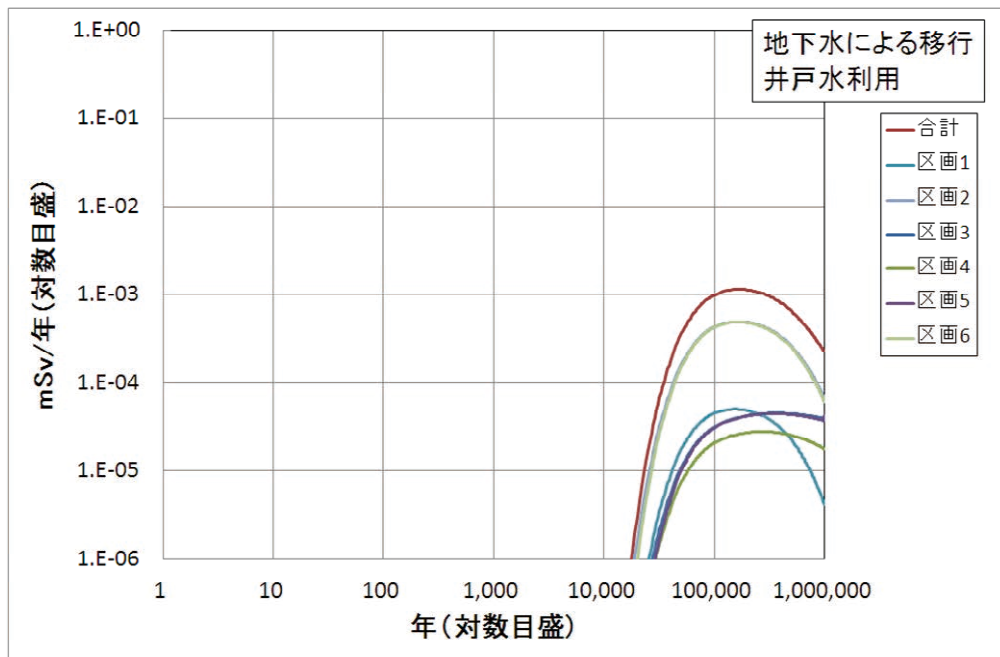
74

6. 坑内を起点とする地下水移行



75

6. 坑内を起点とする地下水移行



76

7. 線量計算のまとめ

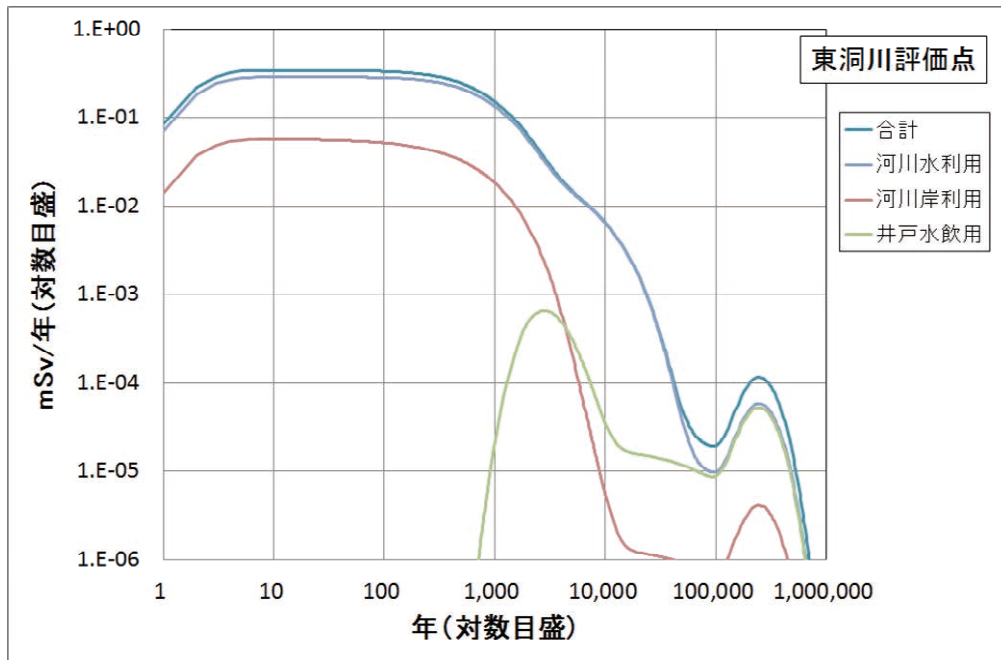
	基本シナリオ (農作物摂取シナリオ)	参考シナリオ (井戸水飲用シナリオ)
東洞川評価点	0.08mSv/年 (310年) (直接γ線, スカイシャインを含めても0.08mSv/年)	0.08mSv/年 (310年) (直接γ線, スカイシャインを含めても0.08mSv/年)
日吉川評価点	0.001mSv/年未満 (1E-06mSv/年) (130,000年)	0.001mSv/年 (170,000年)

被ばく様式		基本シナリオ (農作物摂取シナリオ)	参考シナリオ (井戸水飲用シナリオ)
河川水利用	河川水飲用	×	×
	外部被ばく(農耕作業)	○	○
	内部被ばく(農耕作業)	○	○
	農作物摂取	○	○
	畜産物摂取	×	×
河川岸利用	水産物摂取	×	×
	外部被ばく(農耕作業および居住)	○	○
	内部被ばく(農耕作業および居住)	○	○
	農作物摂取	○	○
井戸水利用	畜産物摂取	×	×
	井戸水飲用	×	○

○ : 考慮する様式
× : 考慮しない様式

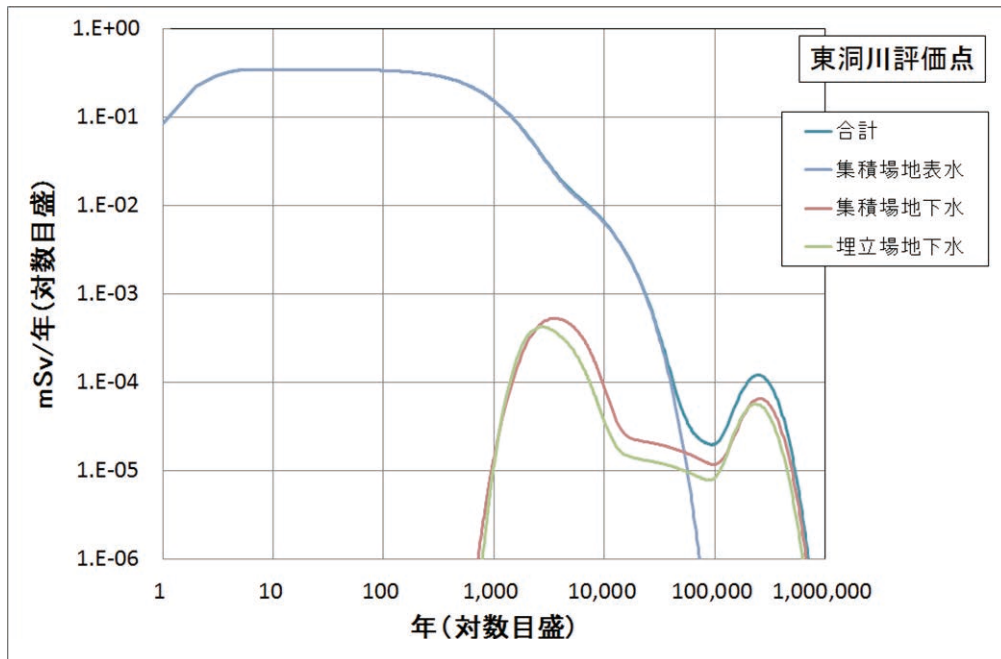
77

7. 線量計算のまとめ



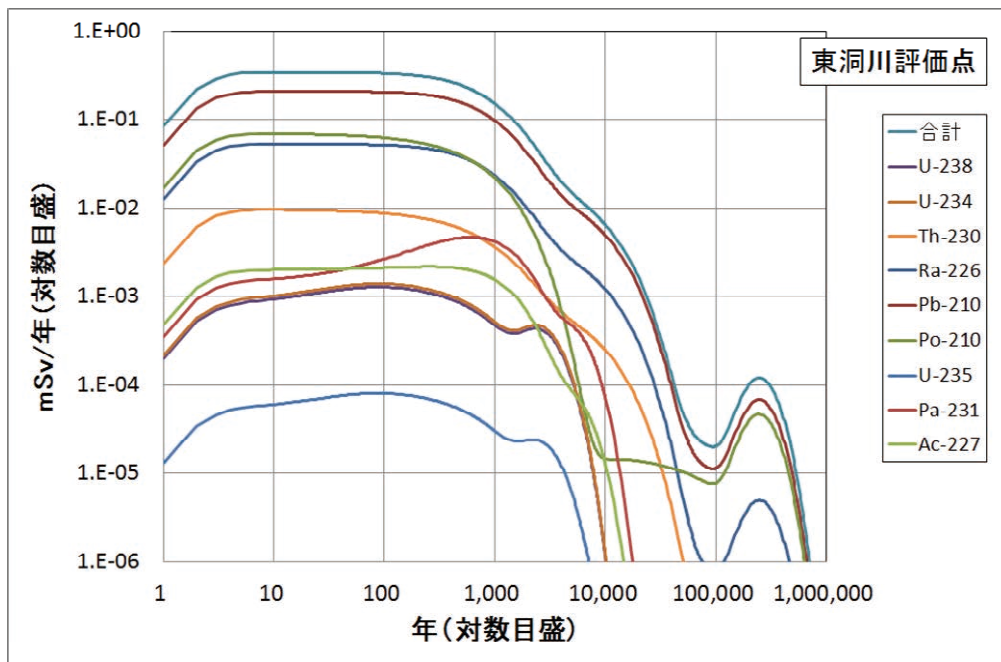
78

7. 線量計算のまとめ



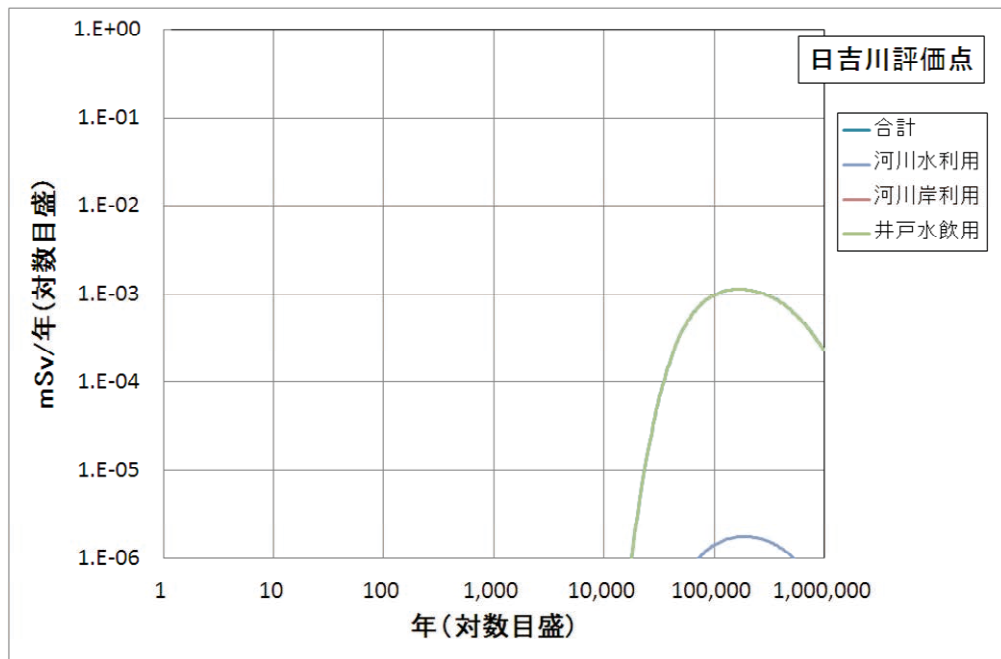
79

7. 線量計算のまとめ



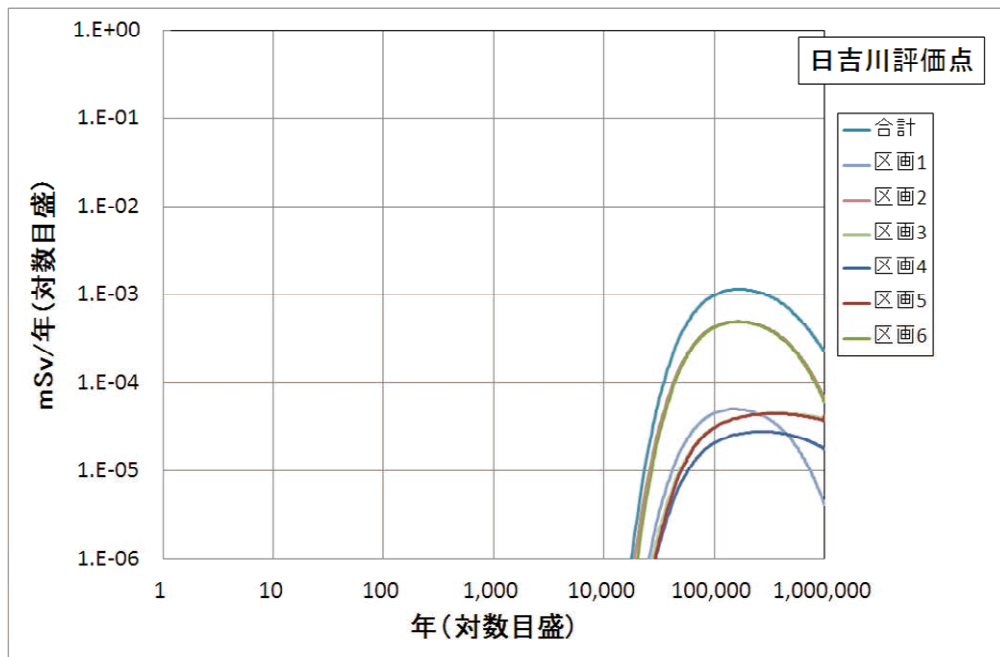
80

7. 線量計算のまとめ



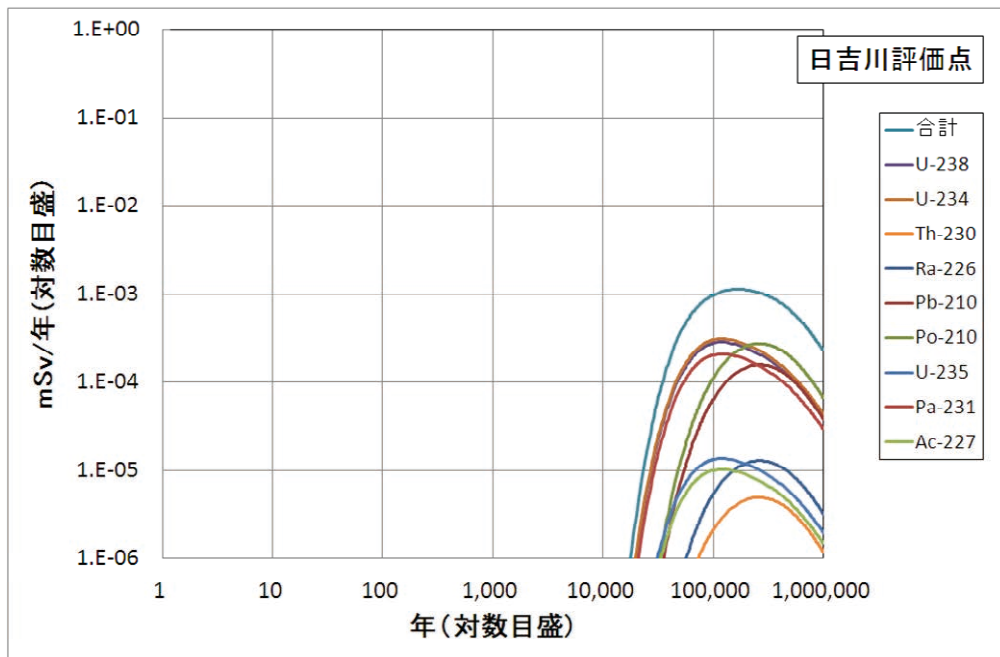
81

7. 線量計算のまとめ



82

7. 線量計算のまとめ



83

8. 代替ケースの検討

捨石集積場（地表水）					
	基本ケース	代替ケース		代替ケース	備考
充填率	100	集表1	50		充填率の変更に伴って、施設の高さおよび捨石の間隙率を変更する
溶出率	1.15E-03	集表2	2.30E-03	集表3	5.75E-04
（捨石の）間隙率	0.46	集表4	0.24	集表5	0.61
（捨石の）屈曲率		集表6	0.1	集表7	0.5
移行時間	5.7E-06	集表8	1.1E-05	集表9	2.9E-06
地表水流量	313,323	集表10	216,085	集表11	361,942
河川流出高の幅（降雨量の40～67%）					
捨石集積場（地下水）					
	基本ケース	代替ケース		代替ケース	備考
充填率	100	集下1	50		充填率の変更に伴って、施設の高さおよび捨石の間隙率を変更する
溶出率	1.15E-03	集下2	2.30E-03	集下3	5.75E-04
（捨石）間隙率	0.46	集下4	0.24	集下5	0.61
（捨石）屈曲率		集下6	0.1	集下7	0.5
実流速	1.7E-08	集下8	3.4E-08	集下9	8.5E-09
（NF）間隙率	0.54	集下10	0.47	集下11	0.61
分散長	14	集下12	1.4	集下13	140
分配係数（NF）	砂岩（酸化）	集下14	泥岩（酸化）		
地表水流量	313,323	集下15	216,085	集下16	361,942
井戸水利用希釈率	0.03	集下17	0.04		
河川流出高の幅（降雨量の40～67%）					
岩盤透過量の幅（降雨量の5～7%）					
鉱業廃棄物埋立場（地下水）					
	基本ケース	代替ケース		代替ケース	備考
溶出率（初期値）	2.02E-05	埋立1	4.05E-05	埋立2	1.01E-05
溶出率（50年以降）	5.77E-02	埋立3	1.15E-01	埋立4	2.88E-02
溶出率（初期値）	2.02E-05	埋立5	4.05E-05	埋立6	1.01E-05
（50年以降）	5.77E-02	埋立7	1.15E-01	埋立8	2.88E-02
施設浸入水量の切り替え時期	50	埋立9	25	埋立10	100
（埋立物）間隙率	0.81	埋立11	0.4	埋立12	0.9
（コンクリートビット）間隙率	0.2	埋立13	0.1	埋立14	0.4
屈曲率	1	埋立15	0.1	埋立16	0.5
実流速（NF）	1.7E-08	埋立17	3.4E-08	埋立18	8.5E-09
（NF）間隙率	0.54	埋立19	0.47	埋立20	0.61
分散長	11.5	埋立21	1.15	埋立22	115
分配係数（NF）	砂岩（酸化）	埋立23	泥岩（酸化）		
地表水流量	313,323	埋立24	216,085	埋立25	361,942
河川流出高の幅（降雨量の40～67%）					

84

8. 代替ケースの検討

坑内（区画2）					
	基本ケース	代替ケース		代替ケース	備考
溶出率（1年まで）	1.36E-04	区画2(1)	2.72E-04	区画2(2)	6.81E-05
溶出率（1年以降）	2.80E-06	区画2(3)	5.60E-06	区画2(4)	1.40E-06
施設浸入水量（1年まで）	1.36E-04	区画2(5)	2.72E-04	区画2(6)	6.81E-05
（1年以降）	2.80E-06	区画2(7)	5.60E-06	区画2(8)	1.40E-06
（充填物）間隙率	0.51	区画2(9)	0.27	区画2(10)	0.68
屈曲率	1	区画2(11)	0.1	区画2(12)	0.5
酸化還元	酸化状態	区画2(13)	1年後に還元	区画2(14)	5年後に還元
実流速（NF）	3.7E-08	区画2(15)	7.5E-08	区画2(16)	1.7E-08
実流速（FF）	7.7E-07	区画2(17)	1.5E-06	区画2(18)	3.4E-07
実流速（NF）	3.7E-08	区画2(19)	7.5E-08	区画2(20)	1.7E-08
（FF）	7.7E-07	区画2(21)	1.5E-06	区画2(22)	3.4E-07
（NF）間隙率	0.46	区画2(23)	0.24	区画2(24)	0.6
（FF）間隙率	0.01	区画2(25)	0.006	区画2(26)	0.03
間隙率（NF）	0.46	区画2(27)	0.24	区画2(28)	0.24
（FF）	0.01	区画2(29)	0.006	区画2(30)	0.03
分散長（NF）	2	区画2(31)	0.2	区画2(32)	20
分配係数（NF）	120	区画2(33)	12	区画2(34)	707
分配係数（FF）	砂岩（酸化）	区画2(35)	泥岩（酸化）	区画2(36)	砂岩（還元）
分配係数（NF）	花崗岩（酸化）	区画2(37)	花崗岩（還元）		
分配係数（FF）	砂岩（酸化）	区画2(38)	花崗岩（還元）		
地表水流量	33,646,838	区画2(39)	30,156,192	区画2(40)	37,534,984
井戸水利用希釈率	0.007	区画2(41)	0.0035		
隆起・侵食考慮（移行距離）	1200	区画2(42)	600	区画2(43)	120
河川流出高の幅（降雨量の40～67%）を参考に実測値から割り振り					
地下水流動解析に基づく河川流量と実測値の幅の範囲					
移行距離の変更に伴って、分散長と移行時間が変更される					

85

8. 代替ケースの検討

○ケースごとに評価点の線量を計算

・東洞川評価点…26ケース

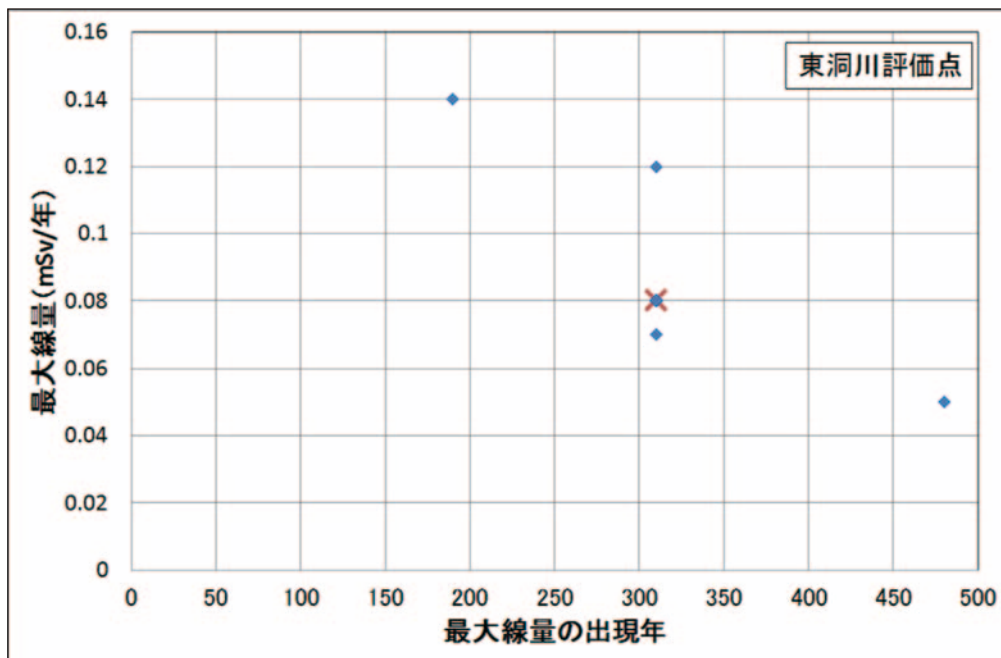
→経路が3つあるため、パラメータ変更の内容に応じて、足し合わせるケースの組み合わせを変えている

・日吉川評価点…41ケース

	基本シナリオ (農作物摂取シナリオ)	参考シナリオ (井戸水飲用シナリオ)
東洞川評価点	0.05~0.14mSv/年 (基本ケース : 0.08mSv/年)	0.05~0.14mSv/年 (基本ケース : 0.08mSv/年)
日吉川評価点	0.001mSv/年未満 (7E-07~2E-06mSv/年) (ただし、2ケースではピークは出現しない) (基本ケース : 1E-06mSv/年)	0.0006~0.002mSv/年 (ただし、2ケースではピークは出現しない) (基本ケース : 0.001mSv/年)

86

8. 代替ケースの検討(東洞川評価点)



87

報告書の構成(案)

1. はじめに
2. 閉山措置の概要
3. 被ばく評価の概要
4. シナリオの設定
5. 評価モデル
 - 5.1 地下水移行経路における評価式
 - 5.2 被ばく評価式とパラメータ
6. 線量計算と結果(代替ケースを含む)
 - 6.1 捨石集積場(地表水移行, 地下水移行, 直接線およびスカイシャイン)
 - 6.2 鉱業廃棄物埋立場
 - 6.3 坑内充填
7. 被ばく評価(東洞川評価点, 日吉川評価点)
8. まとめ
- 謝辞
- 参考文献
- 付録

88

今後の予定(案)

	9月	10月		11月		12月	
	20	10	20	10	20	10	
委員会			*		*		*
線量計算							
代替ケースの検討							
追加計算							
報告書							
ドラフト作成							
内容確認							
修正							
再確認・再修正							
答申書							
ドラフト作成							
修正							

89

7. 第5回委員会

This is a blank page.

第5回東濃鉾山安全性評価検討委員会 議事次第

1. 日時：平成23年11月24日（木） 9：40～11：30

2. 場所：日本原子力研究開発機構 瑞浪国際地科学交流館 会議室

3. 議事次第

（1）委員長挨拶 [9：40～9：45]

（2）前回議事録確認 [9：45～9：50]

（3）線量計算の内容について [9：50～10：30]

（4）答申書（案）について [10：30～11：30]

以 上

第5回東濃鉱山安全性評価検討委員会 —議事録—

1. 議事概要

- (1) 日時：平成23年11月24日（水）9時40分～11時40分
- (2) 場所：日本原子力研究開発機構 瑞浪国際地科学交流館 会議室
- (3) 出席者：
 - （委員）飯田委員長、鹿園委員、佐藤委員
 - （機構）福島副所長、杉原副所長、花木鉱山措置・施設管理課長、
笹尾鉱山措置・施設管理課研究副主幹、事務局（鉱山措置・施設管理課）
（オブザーバー）瀧課長、石森研究副主幹（人形峠環境技術センター）
- (4) 議事
 - 1) 委員長挨拶
 - 2) 第4回議事録（案）確認
 - 3) 線量計算の内容について
 - 4) 答申書（案）について

2. 第4回委員会議事録（案）確認

一部の表現を修正することで承認された。

3. 線量計算の内容について

資料に沿って、第4回委員会での指摘事項、線量計算のまとめについて説明した。

- （問）被ばく量は世界平均と比較しているが、日本の平均と比較した方がよいのでは。
また自然放射線とあるが、外部被ばくしか考慮されていないのではないか。
- （答）報告書では適切に修正する。

(問) ラドン拡散について、風向を一定方向としており、結果が過大となっているので、その補足説明があった方がよい。

(答) 報告書では補足する。

(問) 大気安定度を「F」としているが、通常は「D」にしている。実際の平均値を使うか、通常使われる「D」を採用した方がよい。

(答) 気象データを再確認する。大気安定度の分類に必要なデータがない場合には、中間的な状態である「D」を使って再計算する。

(問) ラドンの拡散評価式の説明にはラドン崩壊定数 (λ) があるが、式には出て来ない。

(答) 表記のミスであり、削除させて頂く。

(問) 線量換算係数は国連科学委員会 1993 年報告書より引用されているが、最新のものがあるのでそちらを引用すべきである。

(答) 線量換算係数は国連科学委員会 2000 年報告書でも 1993 年報告書と同じなので、引用を 2000 年と修正する。

(問) ラジウムは地下水移行でなぜ低くなるのか。岩盤に吸着されることによるのか。

(答) ラジウムは分配係数が比較的大きいため、見かけの移行速度が遅くなることに起因する。また、内部被ばくを考慮する場合、線量換算係数がそれほど大きくないため、ラジウムの寄与が低くなる。

(問) ラジウムのピークが低いのは線量換算係数のみで説明できるのか。

(答) 再検討する。

(問) 土壌中のウラン濃度が下がる理由は何か。

(答) 水と土壌の分配は分配係数で計算されるため、濃度が高い土壌に濃度の低い水を撒くことにより、土壌から水の方へ移動するためと考えられる。

4. 答申書（案）について

「東濃鉱山の措置の一環として実施する坑道、捨石集積場および鉱業廃棄物埋立場

の措置に伴う線量計算の妥当性について」を検討した。

○スカイシャイン、インベントリ、パラメータなどは専門的な用語であるため、補足説明をするか、平易な表現とした方がよい。また、受動的な表現は能動的にすべきである。

→解り易い表現を検討する。

○「適切」「妥当」が多い。答申書では具体的な説明がなされていないので、抽象的な感じを受ける。

→答申書全体の流れなど文章のまとめ方について再検討する。

以 上

説明資料

第5回 東濃鉾山安全性評価検討委員会

**平成23年11月24日
日本原子力研究開発機構
東濃地科学センター**

第4回委員会での指摘事項

- 1. 捨石集積場については、ラドンを考慮すべき。**
- 2. 地下水移行の計算で、なぜ2つのピークが出てくるのか？**
- 3. 線量計算の結果で、ウランに比べてラジウムの寄与が低すぎるのではないか？**

第4回委員会でのご指摘事項

1. 捨石集積場については、ラドンを考慮すべき

→「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針(昭和57年1月28日原子力安全委員会決定)」に基づいて、ラドンの拡散を評価。

2



第4回委員会でのご指摘事項

捨石集積場からのラドンの拡散について

拡散評価には以下の式を使用。

$$\chi(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot U} \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \left[\exp\left\{-\frac{(z-H)}{2\sigma_z}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right\}\right]$$

x: 風下の方向, y: 風下に直交する方向, z: 鉛直(上下)方向

$\chi(x,y,z)$: 点(x,y,z)におけるラドン濃度 (Bq/m³)

Q: 放出率 (Bq/s)

U: 放出源高さを代表する風速 (m/s)

λ : ラドンの崩壊定数 (1/s)

H: 放出源高さ (m)

σ_y : y方向の濃度分布の広がりのパラメータ (m)

σ_z : z方向の濃度分布の広がりのパラメータ (m)

捨石集積場から評価点へ常に風が吹くと考えることによって、上記の式を以下のように変形して使用。

$$\chi(x,0,0) = \frac{Q}{\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot U}$$

3



第4回委員会でのご指摘事項

捨石集積場からのラドンの拡散について

計算の条件

○風向

捨石集積場から評価点に向かって、常に風が吹くと想定。

○風速

東濃鉱山気象観測装置で2001～2007年度の観測した風速の平均値1.6m/sを設定。

○大気安定度

大気が安定した状態（F）を設定。

○ラドン散逸率

捨石集積場での実測データ（2001～2010年度）に基づいて、68mBq/m²/sを設定。

4



第4回委員会でのご指摘事項

捨石集積場からのラドンの拡散について

捨石集積場から140m地点の計算結果

○濃度

- ・ 平衡等価ラドン…0.0179Bq/m³
- ・ ラドン …0.477Bq/m³

○実効線量

以下の式で計算。

$$\text{実効線量} = \text{平衡等価ラドンもしくはラドン濃度 (Bq/m}^3\text{)} \times \text{線量換算係数 (nSv/(Bq h/m}^3\text{))} \times \text{時間 (h)}$$

5

第4回委員会でのご指摘事項

捨石集積場からのラドンの拡散について

実効線量の計算

○線量換算係数→国連科学委員会1993年報告書から引用

- ・ 平衡等価ラドン…9nSv/(Bq h/m³)
- ・ ラドン …0.17nSv/(Bq h/m³)

○時間→8,760時間（作業を500時間，残りの8,260時間を居住と想定）

○実効線量

- ・ 平衡等価ラドン…0.0179Bq/m³ × 9nSv/(Bq h/m³) × 8,760時間
=1,411nSv/年 →0.0014mSv/年
- ・ ラドン …0.477Bq/m³ × 0.17nSv/(Bq h/m³) × 8,760時間
=710nSv/年 →0.0007mSv/年

→合計：0.0021mSv/年

6

7. 線量計算のまとめ(第4回委員会資料にラドンを追加)

	基本シナリオ (農作物摂取シナリオ)	参考シナリオ (井戸水飲用シナリオ)
東洞川評価点	0.08mSv/年 (310年) (直接γ線, スカイシャイン, ラドンを含めると0.09mSv/年)	0.08mSv/年 (310年) (直接γ線, スカイシャイン, ラドンを含めると0.09mSv/年)
日吉川評価点	0.001mSv/年未満 (1E-06mSv/年) (130,000年)	0.001mSv/年 (170,000年)

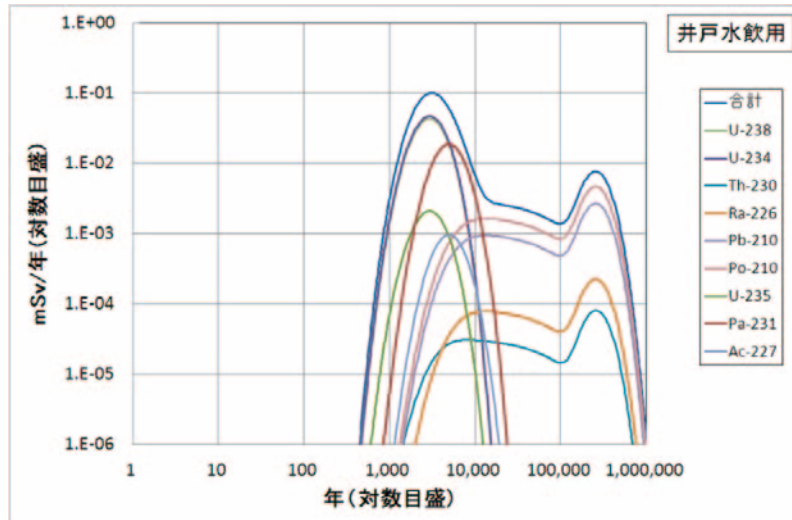
被ばく様式		基本シナリオ (農作物摂取シナリオ)	参考シナリオ (井戸水飲用シナリオ)
河川水利用	河川水飲用	×	×
	外部被ばく(農耕作業)	○	○
	内部被ばく(農耕作業)	○	○
	農作物摂取	○	○
	畜産物摂取	×	×
	水産物摂取	×	×
河川岸利用	外部被ばく(農耕作業および居住)	○	○
	内部被ばく(農耕作業および居住)	○	○
	農作物摂取	○	○
	畜産物摂取	×	×
井戸水利用	井戸水飲用	×	○

○：考慮する様式
×：考慮しない様式

7

第4回委員会でのご指摘事項

2. 地下水移行の計算で、なぜ2つのピークが出てくるのか？



(捨石集積場を起点とする地下水移行の例)

8

第4回委員会でのご指摘事項

2. 地下水移行の計算で、なぜ2つのピークが出てくるのか？

→元素ごとの分配係数の違いにより、見かけの移行速度に差がでるため。

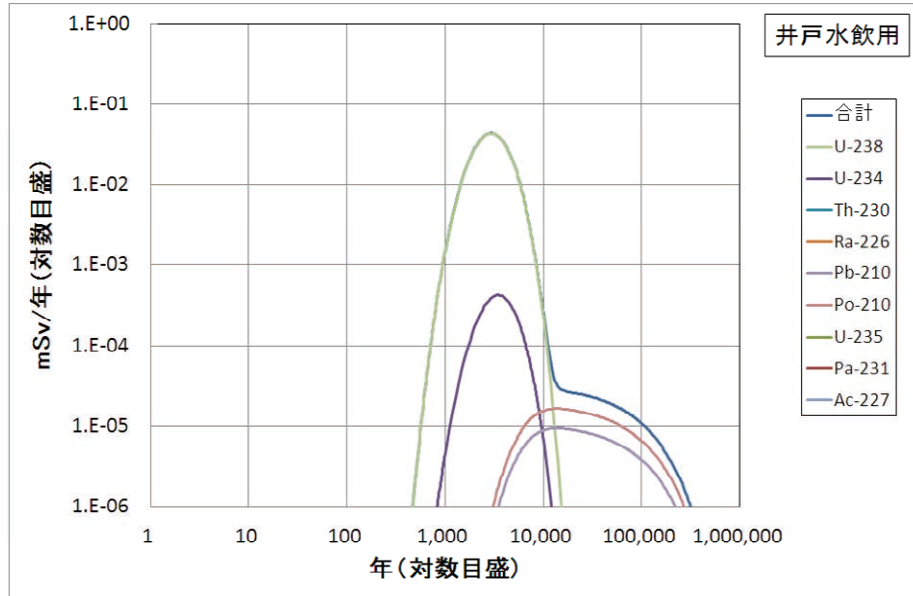
岩種	花崗岩	砂岩	泥岩	花崗岩	砂岩	泥岩
環境	酸化環境			還元環境		
Pb	0.1	0.1	1	0.1	0.1	1
Po	0.1	0.1	1	0.1	0.1	1
Ra	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Ac	5	5	5	5	5	5
Th	1	1	1	1	1	1
Pa	0.005	0.01	0.01	1	1	1
U	0.005	0.005	0.01	1	1	1

Poには、Pbと同じ値を設定

9

第4回委員会でのご指摘事項

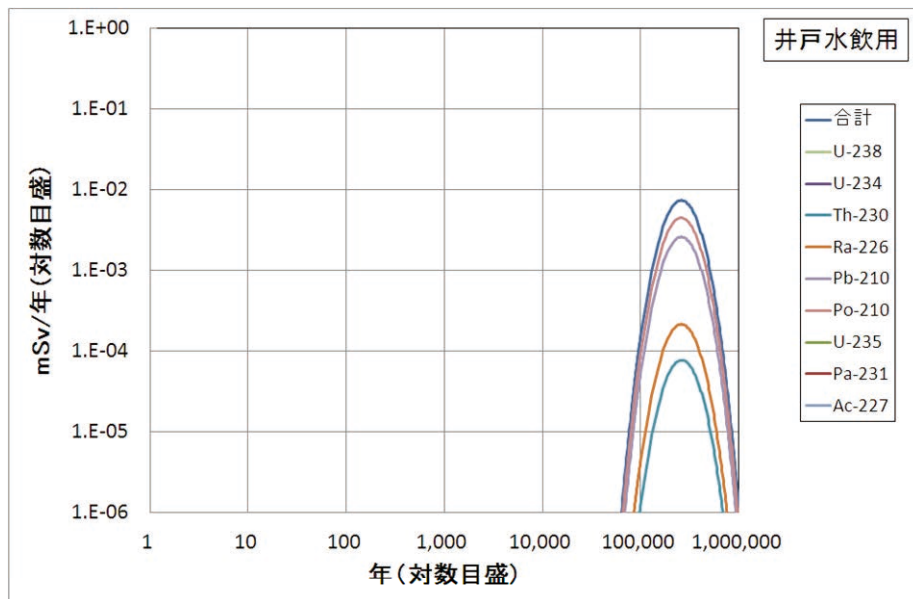
初期インベントリとして、U238のみを設定



10

第4回委員会でのご指摘事項

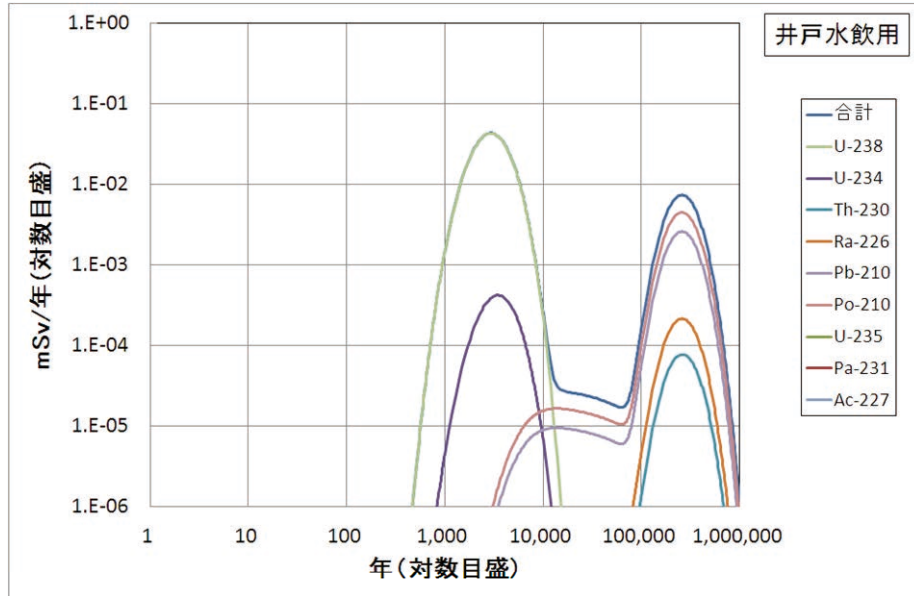
初期インベントリとして、Th230のみを設定



11

第4回委員会でのご指摘事項

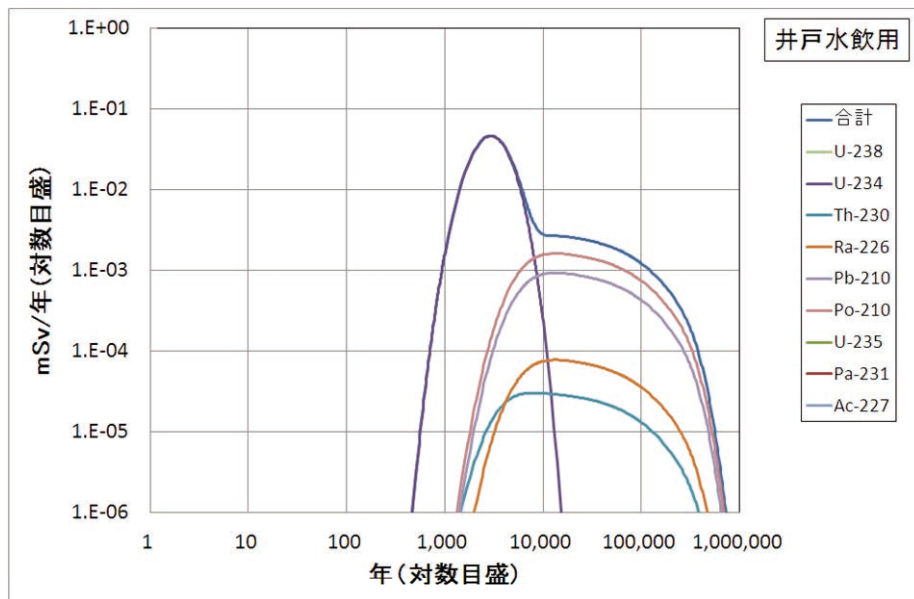
初期インベントリとして、U238とTh230のみを設定



12

第4回委員会でのご指摘事項

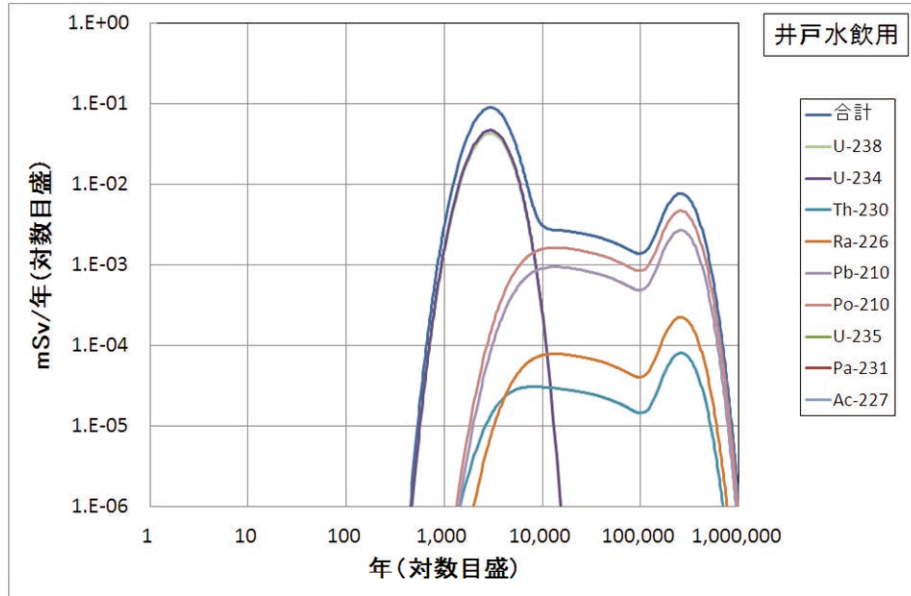
初期インベントリとして、U234のみを設定



13

第4回委員会でのご指摘事項

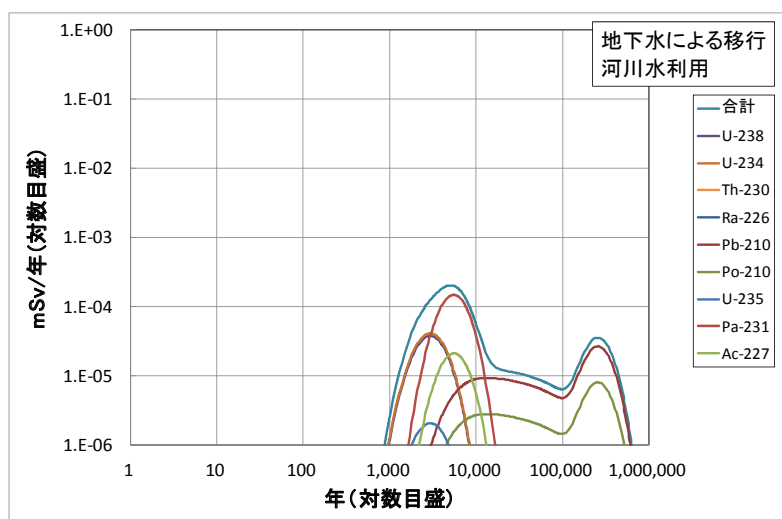
初期インベントリとして、U238、U234およびTh230のみを設定



14

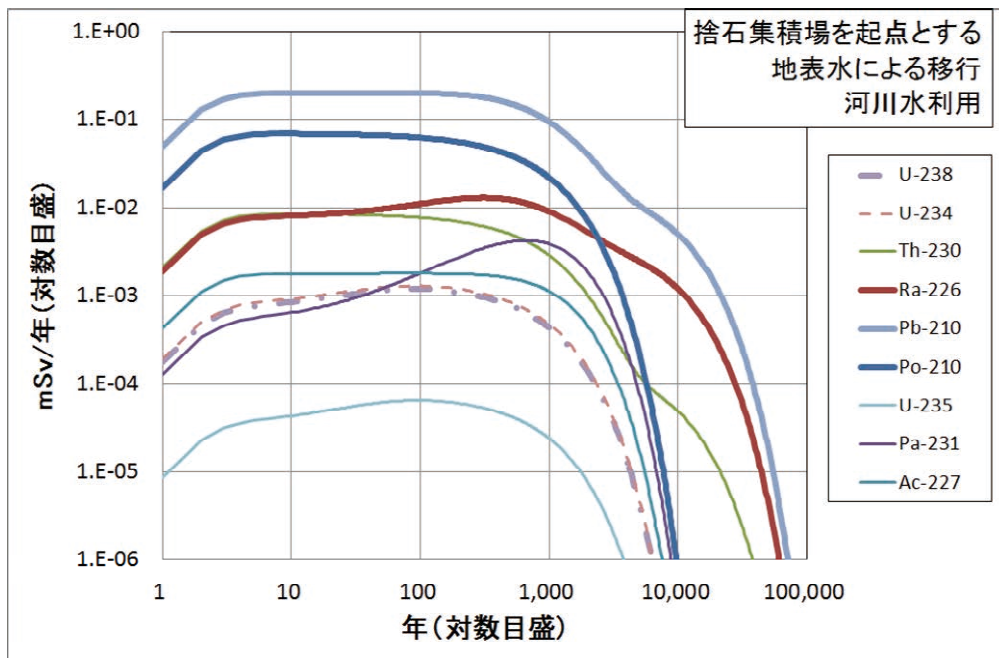
第4回委員会でのご指摘事項

3. 線量計算の結果で、ウランに比べてラジウムの寄与が低すぎるのではないか？



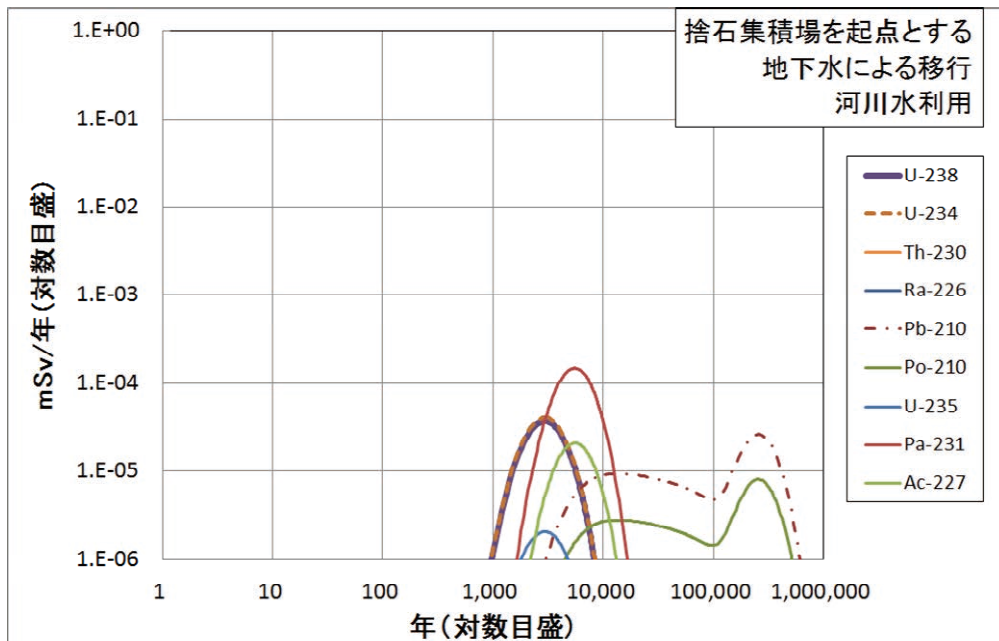
15

第4回委員会でのご指摘事項



16

第4回委員会でのご指摘事項



17

第4回委員会でのご指摘事項

	土壌から農作物への移行係数 (Bq/g-wet)/(Bq/g-dry soil)			飼料・飼育水から畜産物への移行係数 (d/kg)					水産物への濃縮係数 (L/kg)	
	農作物	葉菜	飼料	牛肉	牛乳	豚肉	鶏肉	卵	淡水魚	淡水貝
Ra226	2.0E-03	2.0E-03	1.0E-01	5.0E-03	3.0E-03	3.1E-02	1.2E+00	1.2E+00	5.0E+01	3.0E+02
U238	8.6E-03	1.0E-02	2.0E-01	3.0E-03	6.0E-04	6.2E-02	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+01	1.0E+02

	灌漑土壌 (ml/g)	河川岸土壌 (ml/g)	線量換算係数		外部被ばく線量 換算係数 ((Sv/h)/(Bq/kg))
			経口摂取 (Sv/Bq)	吸入 (Sv/Bq)	
Ra226	2.4E+03	4.9E+02	2.8E-07	3.5E-06	5.0E-10
U238	4.0E+02	3.3E+01	4.5E-08	2.9E-06	2.7E-13

8. 第6回委員会

This is a blank page.

第6回東濃鉾山安全性評価検討委員会 議事次第

1. 日時：平成24年1月18日（水） 13：40～16：00

2. 場所：日本原子力研究開発機構 瑞浪国際地科学交流館 会議室

3. 議事次第

（1）委員長挨拶 [13：40～13：45]

（2）前回議事録確認 [13：45～13：55]

（3）線量計算の内容について [13：55～14：25]

（4）答申書の検討 [14：25～15：15]

（5）答申 [15：15～15：30]

（6）閉山措置計画について [15：30～16：00]

以 上

第6回東濃鉱山安全性評価検討委員会 ―議事録―

1. 議事概要

- (1) 日時：平成24年1月18日（水）13時30分～17時00分
- (2) 場所：日本原子力研究開発機構 瑞浪国際地科学交流館 会議室
- (3) 出席者：
 - （委員）飯田委員長、佐藤委員
 - （機構）藤井所長、福島副所長、花木鉱山措置・施設管理課長、
笹尾鉱山措置・施設管理課研究副主幹、事務局（鉱山措置・施設管理課）
（オブザーバー）瀧課長、石森研究副主幹（人形峠環境技術センター）
- (4) 議事
 - 1) 委員長挨拶
 - 2) 第5回議事録（案）確認
 - 3) 線量計算の内容について
 - 4) 答申書の検討
 - 5) 答申
 - 6) 閉山措置計画について

2. 第5回委員会議事録（案）確認

一部の表現を修正し、承認された。

3. 線量計算の内容について

資料にそって、第4回委員会での指摘事項の「ウランとラジウム寄与について」を説明した。

（問）河川水中のウラン濃度は、現在の実測値と整合しているのか。

(答) スライドで示したのは措置後の計算値であるが、これまでの実測値と比べるとおおむね整合している。

(問) 河川水中のウランが減少し始めてから井戸水中のウランが増加してくるが、これは矛盾していないのか。

(答) 河川には地表水移行の影響があるため、初期から濃度が高くなるが、井戸水は地下水移行のため、濃度が上昇し始めるまで時間がかかるためである。

(問) 水の飲用の計算において、計算結果の桁数がおかしい。単位が間違っているのではないか。

(答) 飲料水摂取量の単位を立方メートルとすべきところを、リットル単位の数値を入力しているので修正する。

(問) 最終報告書はどのような形となるのか。

(答) 各委員に以前ご説明したドラフトを現在、機構内でレビューしている。文言など若干の修正はあるが、内容的に大幅な変更はないと思われる。

4. 答申書の検討

答申書（案）を基に検討を行い、表現方法、文言及び文章などを修正し、最終答申書を作成した。

5. 答申

飯田委員長より藤井所長へ答申を行った。

6. 個別説明

(1) 日時：平成 24 年 1 月 17 日（火）16 時 00 分～16 時 40 分

(2) 場所：慶應義塾大学理工学部

(3) 出席者：

(委員) 鹿園委員

(機構) 花木課長

(4) 議事

- 1) 第5回議事録(案)確認
- 2) 線量計算の内容について
- 3) 答申書の検討
- 4) 閉山措置計画について

(5) 質疑応答内容

線量計算の内容および閉山措置計画についての質疑は特になかった。答申書については、事前にお送りした、前回委員会でのコメント等を反映した修正版について、異議なく確認された。

以 上

平成 24 年 1 月 18 日

独立行政法人日本原子力研究開発機構
東濃地科学センター所長 藤井 文人 殿

東濃鉱山安全性評価検討委員会
委員長 飯田 孝夫

東濃鉱山の安全性の評価について(答申)

平成 23 年 2 月 23 日付貴発「22 原機(濃)107」において、当委員会に諮問のあった「東濃鉱山の閉山措置の一環として実施する坑道、捨石集積場および鉱業廃棄物埋立場の措置に伴う線量計算の妥当性について」に関する評価について、その結果を別紙のとおり答申します。

(答申事項)

東濃鉱山の閉山措置の一環として実施する坑道、捨石集積場および鉱業廃棄物埋立場の措置に伴う線量計算の妥当性について

以上

「東濃鉱山の閉山措置の一環として実施する坑道、捨石集積場および鉱業廃棄物埋立場の措置に伴う線量計算の妥当性について」に係る検討結果

東濃鉱山安全性評価検討委員会

東濃鉱山の閉山措置の一環として実施する坑道、捨石集積場及び鉱業廃棄物埋立場の措置に伴う線量計算の妥当性について検討を行った結果は、以下のとおりである。

線量計算の基本的考え方、線量計算に用いたソフトウェア、被ばく経路の設定及び評価方法の設定は、いずれも適切で、被ばく線量計算に必要な各種の値は実測値や既存文献の値を用い、不確実な値については十分に保守的な計算となるよう配慮している。

被ばく線量の計算結果は、坑道からの影響が最大となる日吉川の評価点で年間 0.000001 ミリシーベルト、捨石集積場と鉱業廃棄物埋立場の影響が最大となる東洞川の評価点で年間 0.08 ミリシーベルト(ただし、直接ガンマ線等を考慮すると年間 0.09 ミリシーベルト)である。この値は、鉱山保安法の周辺監視区域の外側における線量限度の年間 1 ミリシーベルトと比較して十分に低い値である。なお、この計算結果は、2 つの評価点における現在の生活様式を考慮して計算したものであるが、仮に、評価点の居住者が飲用水の全量を井戸水から摂取する場合でも、年間 1 ミリシーベルトを下回る結果(日吉川評価点で年間 0.001 ミリシーベルト、東洞川評価点で年間 0.08 ミリシーベルト、ただし、直接ガンマ線等を考慮すると年間 0.09 ミリシーベルト)である。

1. 線量計算の基本的考え方

東濃鉱山の閉山措置後の線量計算は、坑道に充填される鉱石及び捨石、捨石集積場に残置される捨石及び鉱業廃棄物埋立場の鉱業廃棄物に含まれるウラン等が地表水及び地下水によって移行していくことにより、鉱山周辺の居住者が被ばくするまでの全ての経路を想定して行っている。また、捨石集積場については、捨石の一部が浅い場所に置かれることから、線量計算は直接ガンマ線と大気により散乱され地上に戻ってくる放射線(以下「スカイシャイン」という。)の影響及び捨石から発生するラドンの影響も考慮している。

2. 線量計算に用いたソフトウェア

線量計算では、ソフトウェアとして科学、工学をはじめとして様々な分野で用いられ、実績のある汎用性の高い GoldSim を用いている。

直接ガンマ線及びスカイシャインの計算では、外部被ばく線量評価で多数の使用実績のある、ORIGEN2 及び DOT3.5 を用いている。

ラドンの拡散計算は、原子力安全委員会が決めた「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」に基づき計算している。

3. 評価点と線量計算の考え方

(1) 評価点

評価点は、坑道に充填される鉱石及び捨石、捨石集積場に残置される捨石及び鉱業廃棄物埋立場の鉱業廃棄物に含まれるウラン等が地表水及び地下水によって移行する経路を、地形及び地下水流動解析に基づいて決定している。移行経路は、坑道からは日吉川方向であるのに対し、捨石集積場と鉱業廃棄物埋立場からは東洞川方向であるため、評価点は日吉川と東洞川 1 点ずつ選んでいる。

(2) 線量計算の考え方

基本的な線量計算は、評価点付近の現在の生活様式を基本として実施している。また、参考として、井戸水を飲用することも考慮している。

4. 線量計算の方法

(1) 地下水移行経路における濃度計算

計算は、鉱石、捨石、鉱業廃棄物からのウラン等の溶出量、移行経路における時間遅れや崩壊を考慮したウラン等の移行についての一般的な方程式を基本としている。これを用いて、評価点のウラン濃度等の変化を予測している。

(2) 線量計算

内部被ばく及び外部被ばくは、ウラン濃度等の予測結果に基づいて計算している。また、計算で用いている各種値は、原則として原子力学会標準として定められているものを使用し、原子力学会標準の中に適当なものが見当たらない場合には、既存文献に掲載されているなかで、数値等根拠が明確になっているものを使用している。

5. 線量計算の内容と結果

(1) 坑道を起点とする地下水移行

坑道を起点とする地下水移行の計算は、坑道の形状が複雑であり、充填物が位置

によって異なることから、坑道を 6 区画に分割して線量計算を行い、区画毎の計算結果を合計している。

坑道に充填される鉱石及び捨石からのウラン等の移動計算に使う値、移行先河川の河川水と河川岸利用及び井戸水利用の計算に使う値は、実測値や既存文献の値を基本として設定している。なお、充填物の屈曲率のように実測値や既存文献の値が存在しない場合には、計算結果が大きくなるような値を設定している。

基本となる線量計算に加え代替の計算として、充填物からのウラン等の溶出率、充填物の間隙率、屈曲率、酸化還元状態、移行経路における地下水の実流速、移行経路の間隙率、屈曲率、分散長、分配係数、河川流量及び井戸水の希釈率を変えた場合と、隆起・侵食により地形が変化した場合についても行っている。

(2) 捨石集積場

① 捨石集積場を起点とする地表水移行

捨石集積場に残留される捨石からのウラン等の移動計算に使う値及び移行先河川の河川水と河川岸利用の計算に使う値は、実測値や既存文献の値を基本として設定している。実測値や既存文献の値が存在しない場合には、計算結果が大きくなるような値を設定している。

基本となる計算に加え代替の計算として、充填率、捨石からのウラン等の溶出率、捨石の間隙率と屈曲率、移行時間及び河川流量を変えた場合についても行っている。

② 捨石集積場を起点とする地下水移行

捨石集積場に残留される捨石からのウラン等の移動計算に使う値、移行先河川の河川水と河川岸利用及び井戸水利用の計算に使う値は、実測値や既存文献の値を基本として設定している。実測値や既存文献の値が存在しない場合には、計算結果が大きくなるような値を設定している。

基本となる計算に加え代替の計算として、充填率、捨石からのウラン等の溶出率、捨石の間隙率と屈曲率、移行経路における地下水の実流速、移行経路の間隙率、屈曲率、分散長、分配係数、河川流量及び井戸水の希釈率を変えた場合についても行っている。

③ 直接ガンマ線及びスカイシャイン

捨石集積場を円柱形で近似し、捨石集積場からのガンマ線をソフトウェア ORIGEN2 及び DOT3.5 で推定し、放射線量に等価な面線源からの評価点における線量計算を行っている。

④ 捨石集積場からのラドンの散逸

原子力安全委員会が決定した気象指針に基づいた拡散評価法によりラドン濃度

を計算している。

(3) 鉱業廃棄物埋立場を起点とする地下水移行

鉱業廃棄物埋立場に残置される鉱業廃棄物からのウラン等の移動計算に使う値、移行先河川の河川水と河川岸利用及び井戸水利用の計算に使う値は、実測値や既存文献の値を基本として設定している。実測値や既存文献の値が存在しない場合には、計算結果が大きくなるような値を設定して計算を行っている。

基本となる計算に加え代替の計算として、埋立物からのウラン等の溶出率、埋立物の間隙率と屈曲率、コンクリートの耐用年数と間隙率、移行経路における地下水の実流速、移行経路の間隙率、屈曲率、分散長、分配係数、河川流量及び井戸水の希釈率を変えた場合についても行っている。

6. 被ばく評価

(1) 日吉川評価点

評価点付近の居住者の、現在の生活様式での線量は、年間 0.000001 ミリシーベルトであり、鉱山保安法の周辺監視区域の外側における線量限度の年間 1 ミリシーベルトと比較して十分に低い値である。なお、評価点の居住者が飲用水の全量を井戸水から摂取する場合でも、年間 1 ミリシーベルトを下回る結果(年間 0.001 ミリシーベルト)である。

(2) 東洞川評価点

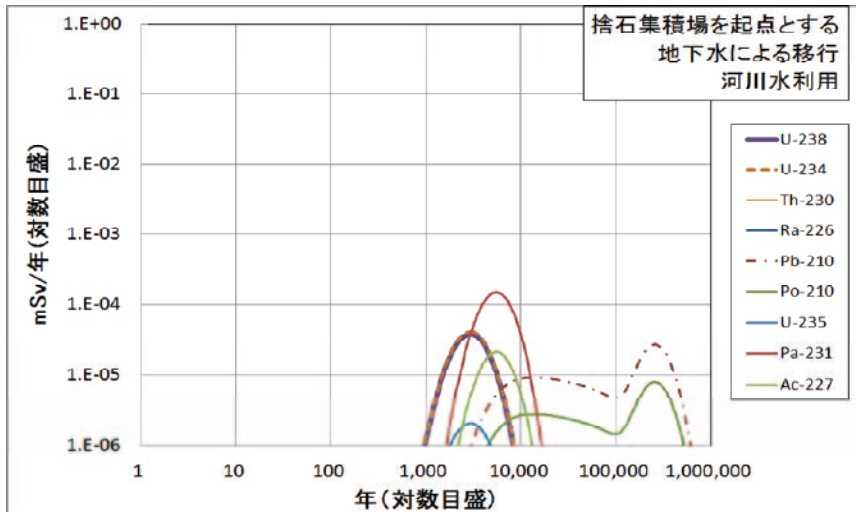
評価点付近の居住者の、現在の生活様式での線量は、年間 0.08 ミリシーベルト(直接ガンマ線等を考慮すると年間 0.09 ミリシーベルト)であり、鉱山保安法の周辺監視区域の外側における線量限度の年間 1 ミリシーベルトと比較して十分に低い値である。なお、評価点の居住者が飲用水の全量を井戸水から摂取する場合でも、年間 1 ミリシーベルトを下回る結果(年間 0.08 ミリシーベルト、ただし、直接ガンマ線等を考慮すると年間 0.09 ミリシーベルト)である。

以上

説明資料（線量計算の内容について）

第4回委員会でのご指摘事項

4. 線量計算の結果で、ウランに比べてラジウムの寄与が低すぎるのではないか？



1

ウランとラジウムについて

○ウランとラジウムの濃度を設定し、核種ごとの線量を計算して寄与を比較。

水（河川水）の飲用

$$D_{SW\ ing}(t, i) = C_{SW}(t, i) \cdot M_{SW} \cdot DCF_{ing}(i)$$

$D_{SW\ ing}(t, i)$: 時間 t における河川水飲用による放射性核種 i の摂取による内部被ばく線量 (Sv/y)

$C_{SW}(t, i)$: 時間 t における放射性核種 i の地表水中の濃度 (Bq/m³)

M_{SW} : 年間飲料水摂取量 (m³/y)

$DCF_{ing}(i)$: 放射性核種 i の経口摂取内部被ばく線量換算係数 (Sv/Bq)

	内部被ばく線量	濃度	飲料水摂取量	線量換算係数
Ra226	1.7.E-04	1	600	2.8.E-07
U234	2.9.E-05	1	600	4.9.E-08
U238	2.7.E-05	1	600	4.5.E-08

2

ウランとラジウムについて

濃度
水: 10Bq/m³
土壌: 10Bq/kg

	基本シナリオ	参考シナリオ	基本シナリオ	
			外部被ばく	内部被ばく
Ra226	6.4.E-05	1.7.E-03	4.4.E-05	2.0.E-05
U234	1.2.E-06	3.0.E-04	2.4.E-09	1.1.E-06
U238	1.1.E-06	2.7.E-04	2.4.E-08	1.1.E-06

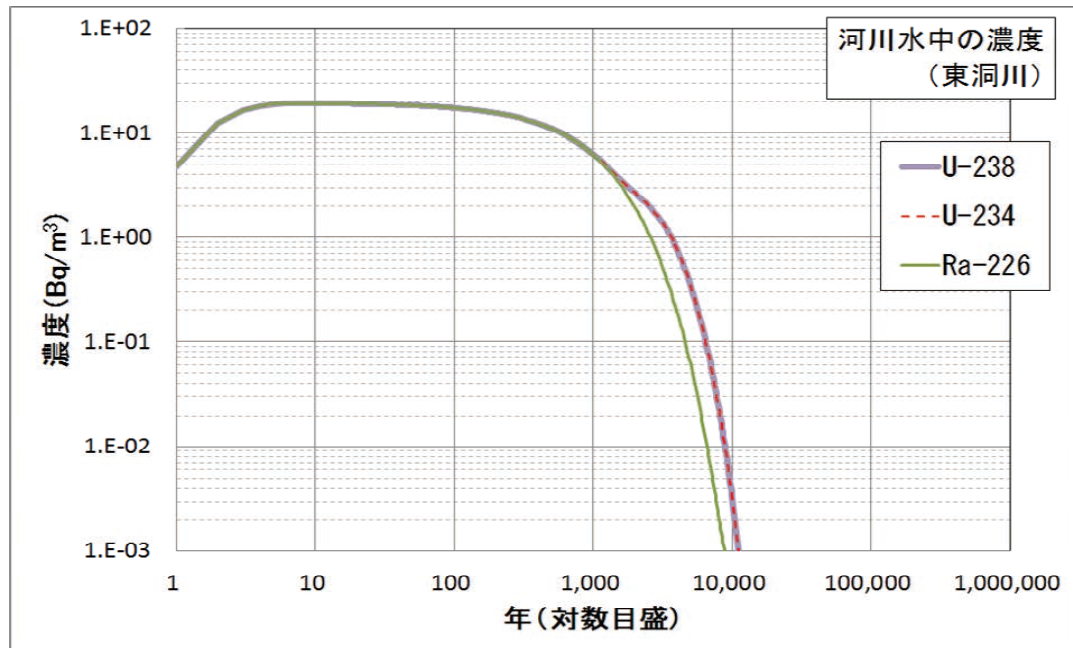
○線量の違いは、線量換算係数の違いに起因する。
→外部被ばくは3桁違うが、内部被ばくは最大1桁しか変わらない。

線量換算係数

	外部被ばく (Sv/h)/(Bq/kg)	内部被ばく (Sv/Bq)	
		経口摂取	吸入
Ra226	5.0E-10	2.8E-07	3.5E-06
U234	2.7E-14	4.9E-08	3.5E-06
U238	2.7E-13	4.5E-08	2.9E-06

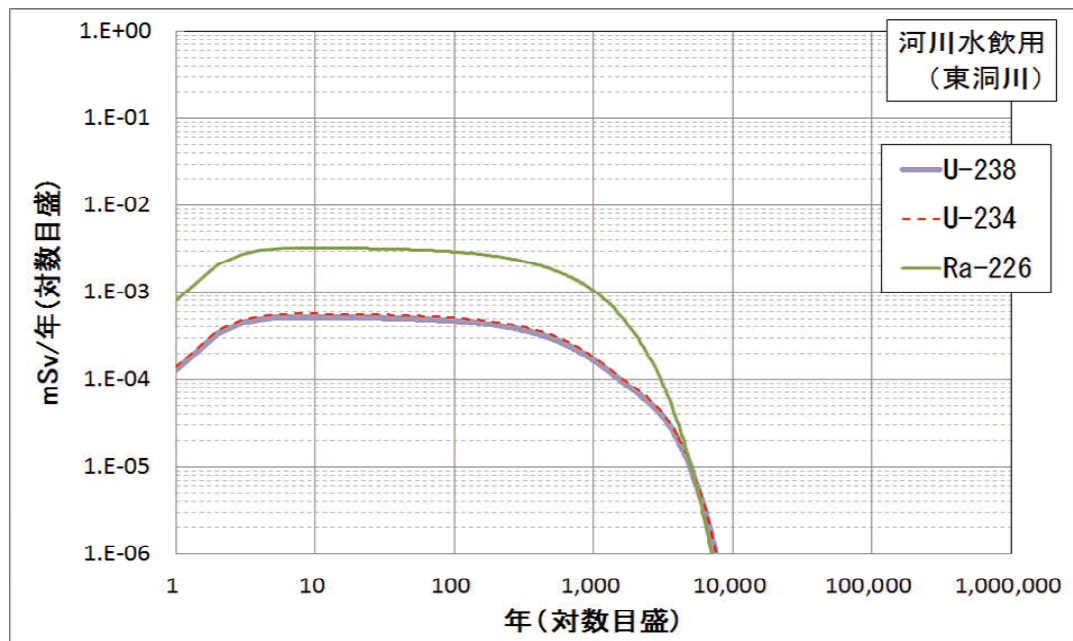
3

ウランとラジウムについて



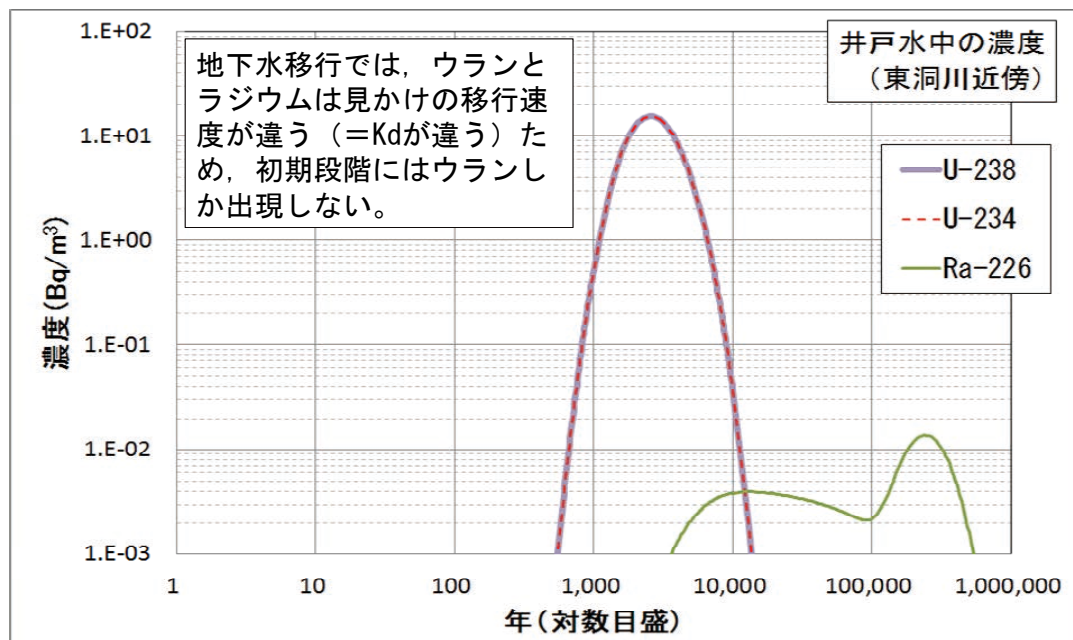
4

ウランとラジウムについて



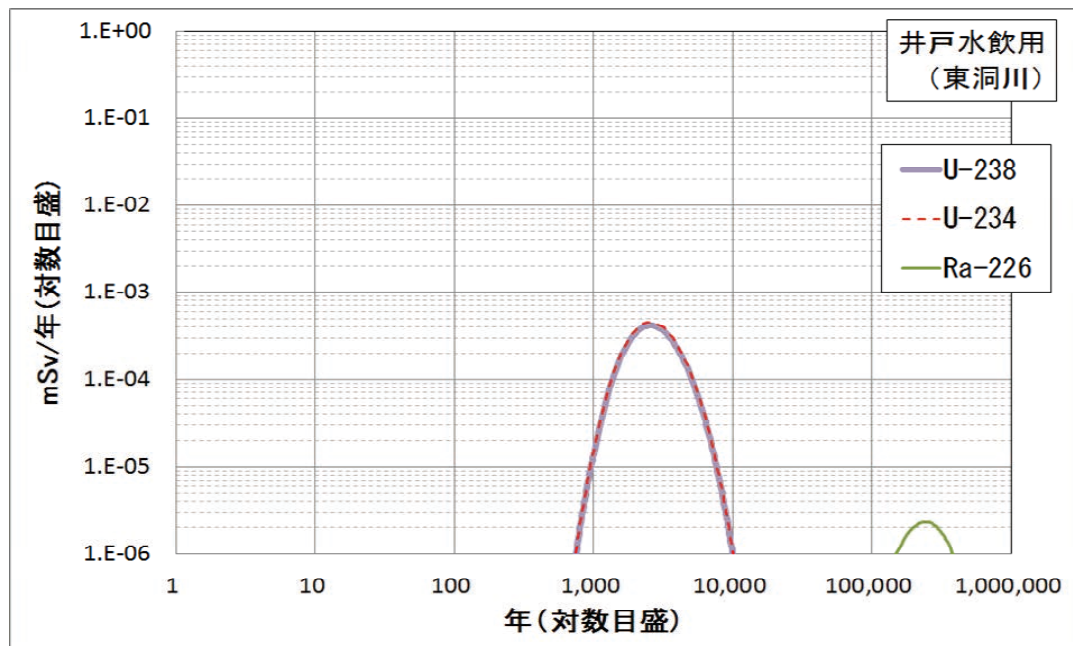
5

ウランとラジウムについて



6

ウランとラジウムについて

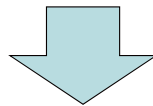


7

まとめ

○地下水移行では、ウランとラジウムでは分配係数が違うため、これらが捨石等から溶出し、地下に移行した段階で放射平衡ではなくなる。また、見かけの移行速度に差があるため、最初はウランだけが出てくる。

○内部被ばくと外部被ばくを比較すると、ラジウムの寄与は、外部被ばくでは相対的に大きい、内部被ばくでは小さい。



○これらの理由により、ラジウムの寄与が小さくなっている(特に、線量出現の初期段階)。

8

説明資料（閉山措置計画について）

閉山措置計画について

閉山措置の進め方（1）

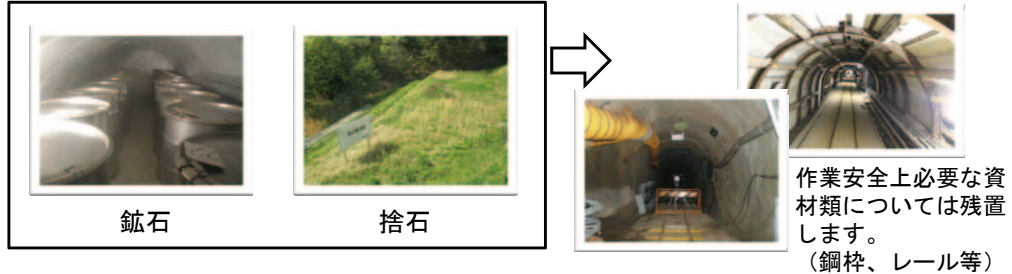
閉山措置にあたっては、鉱山保安法および関連法規の定めに従って、危害および鉱害の発生を防止しつつ、可能な限り管理を要さない状況に措置することを基本とし、以下のとおり実施する計画です。

- 坑内施設：坑道や立坑は捨石を用いて閉そくします。
また東濃鉱山産鉱石は採掘した坑道に埋め戻します。
- 坑外施設：設備等は撤去し、捨石集積場および鉱業廃棄物埋立場の跡地等は覆土・植栽を施します。
- 鉱石等：東濃鉱山産以外の鉱石等は、東濃地科学センターや機構の保有する核原料物質と合わせて、海外製錬等の有効利用等の措置を図ります。

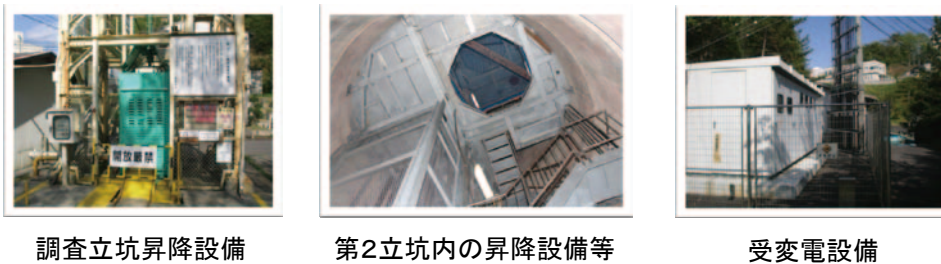
閉山措置に伴う周辺環境への放射線の影響が十分に小さいことを確認するために、閉山措置後の状態での線量計算を実施しています。この線量計算の考え方や計算方法の妥当性を確認するために、外部有識者による委員会（東濃鉱山安全性評価検討委員会）を設置しました。

閉山措置の進め方(2)

1. 坑道（立坑舎）については東濃鉱山産鉱石及び捨石等で充填して閉そくします。



2. 設備等については撤去して廃棄します。



2

閉山措置の進め方(3)

	H22	H23	H24	H25	H26	H27～
坑外		捨石集積場 形状変更				
		設備等撤去				
坑内		設備撤去・水平坑道充填				
			立坑閉そく			
モニタリング						
東濃鉱山 産以外の 鉱石等の 措置		調査・検討				海外製錬等による有効利用等

※坑道閉そく後5年間程度はモニタリングを継続し、措置後の状況を確認します。
※作業工程は現時点での案であり、措置の実施状況や予算の状況により変わります。

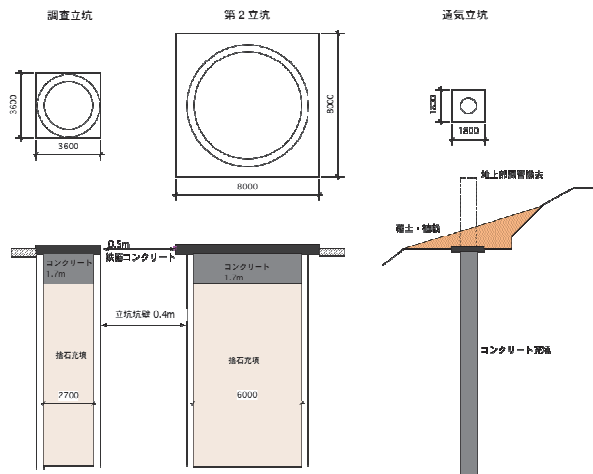
3

坑内施設の措置(1)

○坑口の閉そく措置



(通気立坑)

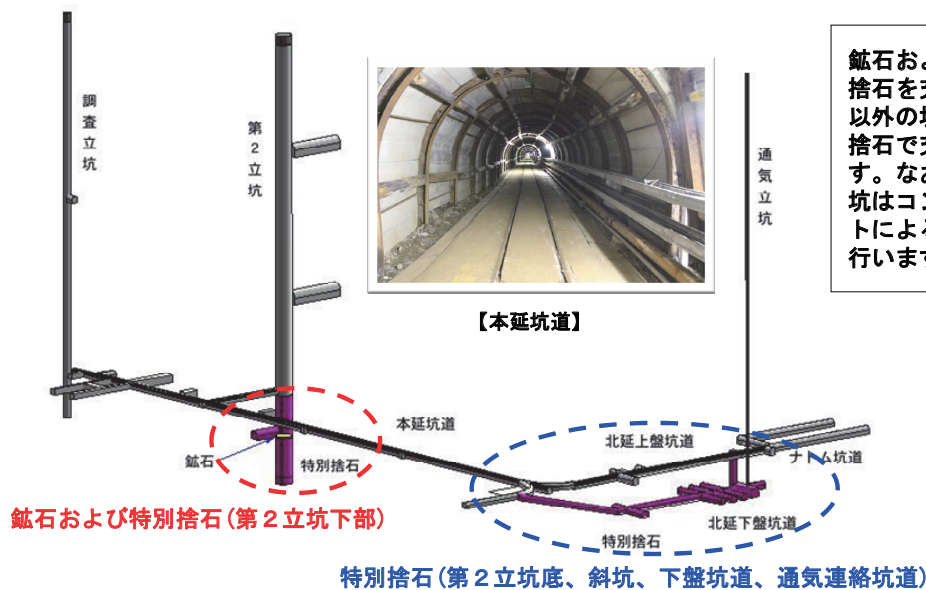


閉山措置にあたっては坑道を充填するとともに、坑口をコンクリートで閉そくすることにより危害および鉱害を防止します。

4

坑内施設の措置(2)

○東濃鉱山産鉱石、特別捨石および捨石の充填箇所



鉱石および特別捨石を充填した以外の坑道は、捨石で充填します。なお通気立坑はコンクリートによる充填を行います。

5

坑内施設の措置 (3)

○東濃鉱山産以外の鉱石等の取扱い

①国内外産鉱石 ドラム缶 31本

* ウラン探鉱技術開発のテストホール（測定器校正）用として搬入。

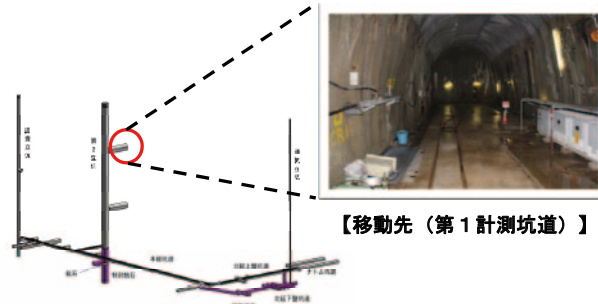
②処理固化物 ドラム缶 11本

* ウラン探鉱技術開発として東濃鉱山産鉱石からのウラン抽出液を砂に固着。

③イオン交換樹脂 ドラム缶 18本

* 坑道内にて地下水中のウランを吸着。現在も継続中であり今後数本程度増加の見込み。

今年度中に上記ドラム缶 (60本) を第2立坑内の第1計測坑道に移動します。有効利用等の措置方策を調査・検討し、坑外の鉱石保管庫で管理している東濃鉱山産以外の鉱石 (ドラム缶2本) と合わせて、平成27年度以降に有効利用等により措置する事を目指します。

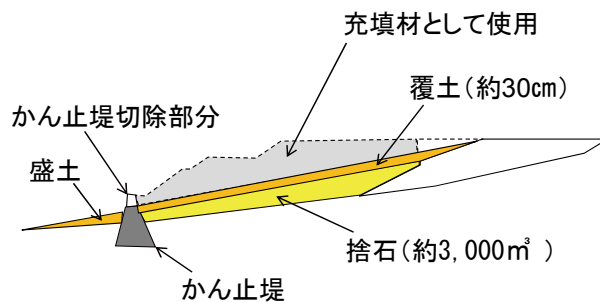


6

捨石集積場の措置



措置前 (約11,000m³)

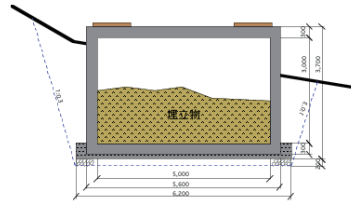


措置後 (約3,000m³の残置)

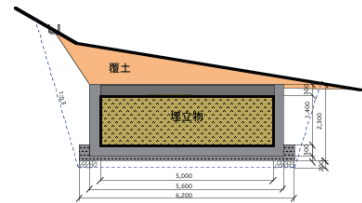
既にかん止堤がありますが、かん止堤下流側に盛土を行い、かん止堤を安定させるとともに、集積場を覆土し植栽を行います。なお、集積されている捨石は可能な限り坑内充填に活用します。(約3,000m³が残置される計画となっています)

7

鉍業廃棄物埋立場の措置



措置前



措置後

鉍業廃棄物埋立場はコンクリートピットであり、現状においても浸出水や鉍業廃棄物の流出防止が図られていますが、空間部を極力少なくし、浸出水および鉍業廃棄物の流出防止をさらに図るとともに、覆土・植栽により浸入水を低減します。

8

閉山措置中及び措置後の対応(1)

○閉山措置作業中及び作業後の危害及び鉍害の防止

- ・ 捨石集積場の崩落・流出防止（掘削作業中のシート養生）
- ・ 周辺河川等での水質測定継続
- ・ 周辺監視区域境界等での放射線測定継続
- ・ 措置後の坑口閉そく施設、捨石集積場跡地及び鉍業廃棄物埋立場跡地等の巡視点検の実施



坑道閉そく後、5年程度継続して実施



周辺環境の状況を確認
(必要に応じて追加措置の実施)



危害及び鉍害の発生防止に努めます。

* 現在設定している放射線の管理区域については、放射線測定結果等を考慮し、最終的には解除します。



放射線測定を継続

9

閉山措置中及び措置後の対応(2)

- 鉱山施設跡地について現時点において具体的な利用方策は未定ですが、所有地として巡視等適切な用地管理を継続していきます。
- 鉱山保安法及び鉱業法には、閉山後においても最終鉱業権者に対する責任が明確に規定されており、危害・鉱害等が発生した場合には、必要な措置を施します。



鉱山施設跡地としての標識等を設置

核燃料サイクル開発機構人形峠環境技術センター
「ウラン鉱山のこれから」より引用

9. おわりに

委員会においていただいたご意見等については、適宜、線量計算の検討に反映させ、結果は研究開発報告書として取りまとめており、別途公開される³⁾。

委員会において、委員の各先生には有益なご意見、ご指導とともに、多大なご協力を頂いた。また、バックエンド推進部門および人形峠環境技術センターの関係者には様々なご意見を頂いた。ここに記して感謝致します。

参考文献

- 1) 鈴木 一・花木達美，東濃鉱山閉山措置計画書－計画検討とりまとめ－，JAEA-Technology 2010-006，2010，40p.
- 2) 花木達美・永崎靖志・鈴木 一，東濃鉱山閉山措置実施計画書－実施計画のとりまとめ－，JAEA-Technology 2012-002，2012，8p.
- 3) 笹尾英嗣，東濃鉱山の閉山措置に伴う周辺環境における被ばく評価に関する検討，JAEA-Research 2012-011，2012，147p.

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
物質モル量	mol	
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

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

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

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

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

- (a)SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
(b)ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。
(c)測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
(d)ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
(e)セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の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
粘着力のモーメント	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
表面張力	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
角速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ =s ⁻¹
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²	m m ⁻¹ s ⁻² =s ⁻²
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m ² kg s ⁻² K ⁻¹
比エネルギー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m ² s ⁻² K ⁻¹
熱伝導率	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² s ⁻²
体積エネルギー	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
電界の強さ	ジュール毎平方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電荷密度	ボルト毎メートル	V/m	m kg s ⁻³ A ⁻¹
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ sA
表面電位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² sA
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² sA
誘電率	ファラド毎メートル	F/m	m ⁻³ kg ⁻¹ s ⁴ A ²
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	m ² kg s ⁻² mol ⁻¹
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
照射線量 (X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ sA
吸収線量	グレイ毎秒	Gy/s	m ² s ⁻³
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m ⁻¹ m ² kg s ⁻³ =m ² kg s ⁻³
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² sr)	m ⁻² m ² kg s ⁻³ =kg s ⁻³
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m ³	m ⁻³ s ⁻¹ mol

表5. SI 接頭語

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

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1 h =60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	′	1′=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	″	1″=(1/60)′=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	1ha=1hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1L=1l=1dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1t=10 ³ kg

表7. SIに属さないが、SIと併用される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	1eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原子質量単位	u	1u=1 Da
天文単位	ua	1ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

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

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

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

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

表10. SIに属さないその他の単位の例

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

