

浅地中処分想定廃棄体の処分適合性に関する検討 (概要)

(核燃料サイクル開発機構 業務委託報告書)

2002年2月

日揮株式会社

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4-49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2002

浅地中処分想定廃棄体の処分適合性に関する検討

(概要)

(核燃料サイクル開発機構 業務委託報告書)

三木崇史* 椋木敦* 池田孝夫*

要旨

本研究では、核燃料サイクル開発機構の再処理工場から発生するアスファルト固化体、プラスチック固化体及びROBE固化体について、余裕深度処分への適合性を検討した。

検討では、まず、対象廃棄体の性状について整理し、安全評価に係るFEP (Features, Events and Processes)を見直した。次に、地下水移行シナリオについて感度解析を行い、線量に対して感度の高いパラメータについて、目標線量を下回るための人工バリアおよび天然バリアに関する十分条件を明らかにした。さらに、感度解析の結果及びFEP辞書を利用して安全評価上重要となる事象を抽出した。

また、対象廃棄体中に含まれる硝酸およびほう素の化学物質としての環境への影響について文献調査を行い、処分場からの化学物質の移行量を予備的な解析により評価し、処分適合性を検討した。

最後に、上記検討を踏まえ、対象廃棄体を浅地中処分可能とするために必要な今後の研究計画を策定した。

本報告書は、日揮株式会社が核燃料サイクル開発機構との業務委託契約により実施した研究成果に関するものである。

機構担当部課室： 東海事業所 環境保全・研究開発センター 処分研究部 処分材料研究グループ

*：日揮株式会社

Feasibility Study for Mid-Depth Disposal of Wastes
Solidified by Asphalt, Plastic and ROBE
(Document Prepared by Other Institute, Based on Trust Contract)

Takahito Miki*, Atsushi Mukunoki* and Takao Ikeda*

Abstract

In this report, feasibility studies for mid-depth disposal of wastes solidified by asphalt, plastic and ROBE which are generated from JNC's Tokai reprocessing plant were carried out.

In this study, at first, the characteristics of those wastes were summarized. And FEPs (Features, Events and Processes) regarding safety assessment for mid-depth disposal system were reviewed.

Next, stochastic simulations were conducted to clarify the enough conditions in system specification for achieving a target which is well below the dose criteria for groundwater scenarios. Furthermore, important issues which affect disposal barrier systems were extracted using results of stochastic analysis and FEPs considerations.

With regard to the environmental impacts of nitrate and boron which are included in the above wastes, literature survey and preliminary numerical analysis regarding flux and concentrations of them around disposal facility were carried out in order to discuss the feasibility.

Finally, research programs for the improvement feasibility of mid-depth disposal of those wastes were developed.

This work was performed by JGC Corporation under contract with Japan Nuclear Cycle Development Institute.

JNC Liaison: JNC Tokai Works, Waste Management and Fuel Cycle Research Center, Waste Isolation Research Division, Material Research Group

* : JGC Corporation

目 次

1.	はじめに	1
2.	安全評価シナリオに関する検討	2
2.1	はじめに	2
2.2	F E Pの再整理に関する検討	2
3.	合理的な処分システム仕様及び地質環境条件の検討	8
3.1	核種移行コードの機能拡張	8
3.2	合理的な処分システム仕様及び地質環境条件の検討	8
3.3	影響事象の抽出	15
4.	環境影響評価に関する検討	28
4.1	はじめに	28
4.2	化学物質の環境影響に関する調査検討	28
4.3	処分場からの化学物質の移行評価	35
4.4	課題の抽出と解決策の検討	42
5.	研究計画の策定	44
5.1	余裕深度処分の適合性検討	44
5.2	今後の研究計画	45
6.	おわりに	46
7.	謝辞	47
8.	参考文献	48

図目次

図 2-1	F E P 辞書のフォーマット	7
図 2-2	本検討における余裕深度処分の人工バリア概念	7
図 3-1	本検討における核種移行解析のシステム構成	10
図 4-1	解析体系例（側面ケース）	38
図 4-2	各経過時間における濃度コンター図例	39
図 4-3	計算結果の経過時間依存（レファレンスケース）	40
図 4-4	感度解析結果例（側面ケース）	41

表目次

表 2-1	本検討における F E P リスト	6
表 3-1	各廃棄体・区分に対する十分条件のまとめ	14
表 3-2	重要パラメータと FEP との関連づけ	24
表 3-3	抽出された影響事象	25

1. はじめに

再処理施設等から発生する超ウラン(TRU)核種を含む放射性廃棄物のうち、地層処分が適切と考えられる TRU 廃棄物については、「TRU 廃棄物処分概念検討書」(核燃料サイクル開発機構, 2000)において処分概念が提示され、また、地下水移行シナリオの核種移行評価により安全に処分できる見通しが得られた。

しかしながら、TRU 核種を含む放射性廃棄物のうち、比較的放射能濃度が低い廃棄物等に適用される余裕深度処分を含む浅地中処分施設への適合性についての詳細な検討はなされていない。また、これらの廃棄物には硝酸塩等の化学物質や有機物等を含む廃棄体が含まれる可能性がある。そのため、廃棄物処分事業を円滑に進めるためにはこれらの廃棄物の特性を考慮し、適切な処分方策を設定するとともに、その適合性について検討する必要がある。

本研究では、核燃料サイクル開発機構の再処理施設から発生する廃棄物のうち、アスファルト固化体、ROBE 固化体(硝酸塩固化体及びスラリー固化体)、プラスチック固化体を対象として、それらの特性を考慮し、余裕深度処分の概念への適用性について詳細に検討し、将来的に対象廃棄体を浅地中処分するために必要な研究開発計画を策定する。

なお、検討においては、既往の研究である「核種移行解析の網羅性の確認・評価(その2)」(日揮株式会社, 2001)の成果を反映させ、核燃料サイクル開発機構が所有する核種移行コード「NESTOR」(日揮株式会社, 2001)を用いて、より詳細な評価を実施するものとする。さらに、対象とする廃棄物が放射線学的影響以外の影響を与うる化学物質を有していることから、それらの影響についても検討する。

2. 安全評価シナリオに関する検討

2.1 はじめに

本検討では、対象とする廃棄体（アスファルト固化体，プラスチック固化体及びROBE固化体）の性状を整理・確認した。また，対象とする廃棄体を余裕深度処分した際に，処分システムに対して性能評価の観点から影響を及ぼしうる事象を抽出し，既存の研究成果及び最新の知見に基づきF E P辞書を整理した。

2.2 F E Pの再整理に関する検討

2.2.1 F E Pの再整理の手順

本検討における影響事象抽出の手順は以下のとおりである。

F E Pリストの見直し

F E P辞書の再整理

以下にその詳細を記す。なお，本検討では，T R U廃棄物の地層処分を対象に検討された，電力共通研究「T R U廃棄物処分の安全評価シナリオの体系化に関する研究」（2000，以下，「シナリオ体系化研究」と略す。）において作成されたF E P辞書を，本研究の対象廃棄体及び処分システムに適応した辞書となるために最新の知見を取り入れつつ追加・修正することにより使用することとした。

(1) 「シナリオ体系化研究」におけるF E P辞書について

「シナリオ体系化研究」は，T R U廃棄物処分における安全評価シナリオを体系化することにより，T R U廃棄物処分概念検討におけるシナリオ抽出に資するとともに，今後のシナリオ解析を容易にし，その透明性を確保することを目的に実施された研究である。

同研究では，シナリオ解析を行うにあたり，まず，T R U処分システムの安全性能に影響を及ぼすと考えられるシステムの特質（Feature），そこで生じる事象（Event）および過程（Process）を抽出したF E Pリストを作成し，それぞれのF E Pに対して辞書を作成している。

このF E Pリストで注意すべき点は，「F E Pの解像度」である。「F E Pの解像度」とは，個々のF E Pが意味する内容の範囲をどの程度にすべきか，例えば，「ベントナイトの変質」とするのか，それを細分化して「Ca化」，「イライト化」，

「ゼオライト化」等とするのかを意味する。同研究で抽出したF E Pの解像度については、個々のF E Pの意味する内容を広くとる、粗めの解像度としている。F E Pの意味する内容をより限定してF E Pの個数を増やす詳細な解像度とすることも、勿論可能であるが、同研究では、核種移行解析のための解析ケースを設定するのにあたって、核種移行パラメータへの影響を把握するために、データベース化されたF E Pおよびインフルエンスを詳細に追跡しなければならないことから、F E Pとインフルエンスの相関構造を簡略化させるためにF E Pの解像度を敢えて粗く設定している。

(2) F E P辞書

本研究におけるF E P辞書のフォーマットを図 2-1 に示す。

「1. 定義」の項には、当該F E Pの定義を記述する。「2. 本文」の項には、当該F E Pに関連して、これまでに得られている知見や情報を幅広く収集して記録する。「3. 評価すべき事象」の項には、潜在的に当該F E Pを考慮する必要があるような個別現象解析と、その解析における当該F E Pの役割を、幅広く記載する。「4. 評価すべき事象の原因・影響」の項には、「3. 評価すべき事象」において記載された各解析において、当該F E Pが他のF E Pから受ける影響、および当該F E Pが他のF E Pに及ぼす影響を個々に記載する。「5. 課題」の項には、当該F E Pに関する現時点での研究開発課題を記載する。「6. 備考」の項には、他の項にて記載されなかった補足情報、注釈、コメント等を記載する。「7. 参考文献」の項には、引用した参考文献を記載する。「8. インフルエンス」の項は、当該F E Pに影響を及ぼす他F E Pからのインフルエンスとその簡単な内容、当該F E Pが他のF E Pに及ぼす影響のインフルエンスとその簡単な内容を、それぞれ記載する。

(3) F E Pリストの見直し

本検討では、上述のF E Pリストを本検討のベースとする。ただし、この研究はT R U廃棄物の地層処分を対象としているのに対し、本研究の対象とする処分施設は余裕深度処分である。また、対象となる廃棄体の種類も異なる。そのため、

これらのF E Pリストに変更・追記を加えることによって本研究の余裕深度処分に関する辞書として対応させる。

2.2.2 F E Pリストの見直し

上述のように，本検討においてベースとするF E Pは地層処分を対象としたものであるため，まず余裕深度処分への適用性について検討し必要に応じてF E Pリストに追加・修正を行った。ただし，余裕深度処分における処分概念と地層処分の処分概念では，コンクリートに水理的なバリア機能を期待した「拡散バリア」を考慮している点で異なるが，使用する材料は両処分概念において共通しているため，若干の変更で対応できると考えた。また，対象となる廃棄体も本研究と異なるため，F E Pリストに追加を行う必要が生じた。

本検討において想定する余裕深度処分の処分概念を図 2-2 に示す。また，本検討で使用するF E Pリストを表 2-1 に示す。「拡散バリア」については，材料がセメント系材料を使用することから，コンクリートピットと併せて「コンクリート部」として「シナリオ体系化研究」の「構造躯体」と対応させた。また，本研究ではプラスチック固化体が対象となっており，廃棄物としての有機物は「シナリオ体系化研究」のF E Pリストに存在するものの，固化マトリクスについては存在していないため，新たに「プラスチックマトリクスの特性」のF E Pを追加した。さらに，「TW66：ビチューメンマトリクスの特性」については，名称を「アスファルトマトリクスの特性」に変更した。

2.2.3 F E P辞書の再整理

F E P辞書の再整理においては，以下の3つの観点から辞書の修正・追記を行った。

余裕深度処分に対応させるための修正・追記

対象となる廃棄体が変更したことに伴う修正・追記

新しい知見の反映に伴う修正・追記

については，，地層処分と余裕深度処分を比較して，材料は同じものを使用す

るために原則的には変わらない。しかしながら、余裕深度処分ではコンクリートに水理的なバリアの機能を期待するため、この機能を阻害するひび割れ、変質等の原因となり得る事象については新たに追記した。

については、文献調査を中心に辞書の修正・追記を行った。文献調査の対象としては、サイクル機構殿の既往の文献の他に、JICST を用いて文献検索を行った。

表2-1 本検討におけるFEPリスト

	廃棄体(TW)	充填材(TM)	コンクリート部(TC)	緩衝材(TB)	境界領域(TX)
11	廃棄体の温度	充填材の温度	コンクリート部の温度	緩衝材の温度	境界領域の温度
21	廃棄体での水理	充填材での水理	コンクリート部での水理	緩衝材での水理	境界領域での水理
31	廃棄体での応力	充填材での応力	コンクリート部での応力	緩衝材での応力	境界領域での応力
41	廃棄体での水化学	充填材での水化学	コンクリート部での水化学	緩衝材での水化学	境界領域での水化学
51		充填材の特性	コンクリート部の特性	緩衝材の特性	埋め戻し材の特性
52					支保の特性
53					周辺母岩の特性
54					プラグの特性
55					グラウトの特性
61	廃棄体容器の特性				
62	廃棄物(金属)の特性				
63	廃棄物(有機物)の特性				
64	廃棄物(無機物)の特性				
65	セメントマトリクスの特性				
66	アスファルトマトリクスの特性				
67	プラスチックマトリクスの特性				
71	廃棄体での核種の存在形態及び存在量	充填材での核種の存在形態及び存在量	コンクリート部での核種の存在形態及び存在量	緩衝材での核種の存在形態及び存在量	境界領域での核種の存在形態及び存在量
72	廃棄体での核種の崩壊・生成	充填材での核種の崩壊・生成	コンクリート部での核種の崩壊・生成	緩衝材での核種の崩壊・生成	境界領域での核種の崩壊・生成
73	廃棄体での核種の沈殿・溶解	充填材での核種の沈殿・溶解	コンクリート部での核種の沈殿・溶解	緩衝材での核種の沈殿・溶解	境界領域での核種の沈殿・溶解
74	廃棄体での核種の吸着	充填材での核種の吸着	コンクリート部での核種の吸着	緩衝材での核種の吸着	境界領域での核種の吸着
75	廃棄体での核種の拡散・分散	充填材での核種の拡散・分散	コンクリート部での核種の拡散・分散	緩衝材での核種の拡散・分散	境界領域での核種の拡散・分散
76	廃棄体での核種のマトリクス拡散	充填材での核種のマトリクス拡散	コンクリート部での核種のマトリクス拡散	緩衝材での核種のマトリクス拡散	境界領域での核種のマトリクス拡散
77	廃棄体での核種の移行と放出	充填材での核種の移行と放出	コンクリート部での核種の移行と放出	緩衝材での核種の移行と放出	境界領域での核種の移行と放出
81	廃棄体でのガス	充填材でのガス	コンクリート部でのガス	緩衝材でのガス	境界領域でのガス
91	廃棄体でのコロイド	充填材でのコロイド	コンクリート部でのコロイド	緩衝材でのコロイド	境界領域でのコロイド
101	廃棄体での微生物	充填材での微生物	コンクリート部での微生物	緩衝材での微生物	境界領域での微生物
111	廃棄体での有機物	充填材での有機物	コンクリート部での有機物	緩衝材での有機物	境界領域での有機物

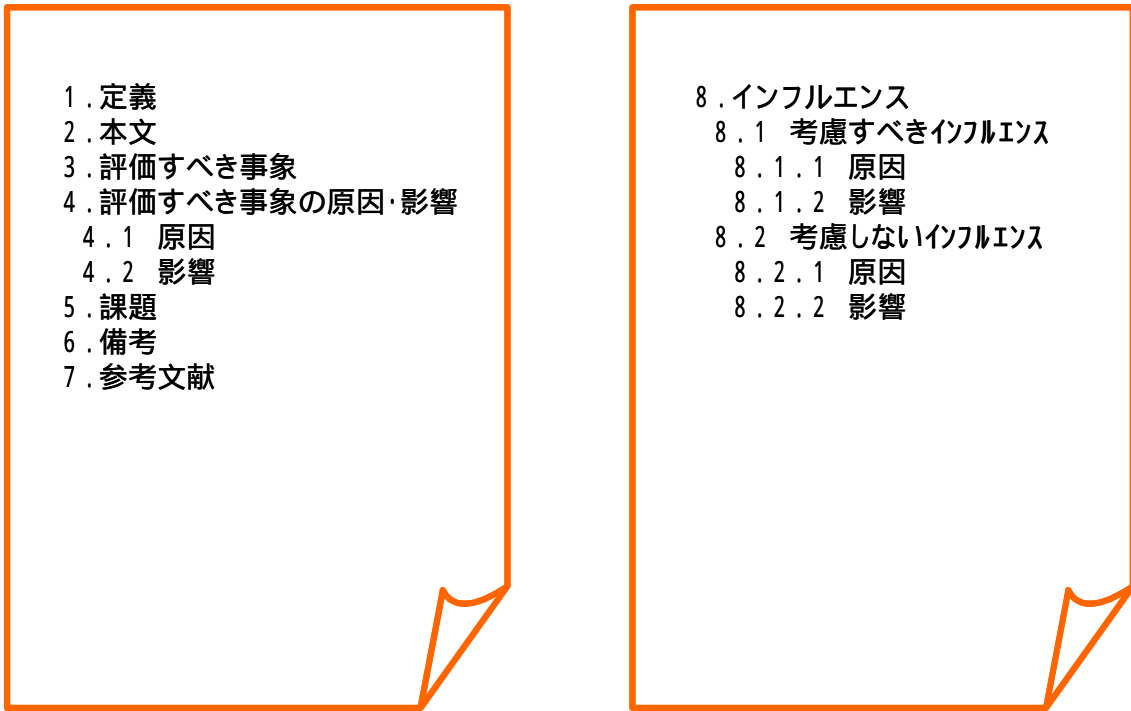


図 2-1 F E P 辞書のフォーマット

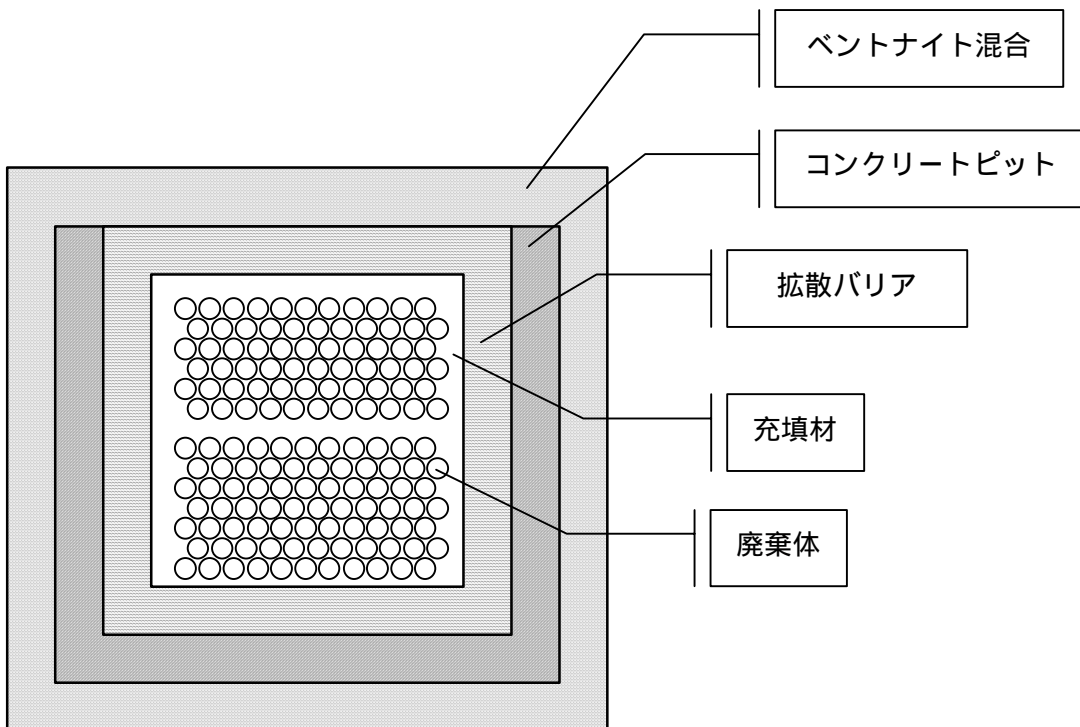


図 2-2 本検討における余裕深度処分の人工バリア概念

3. 合理的な処分システム仕様及び地質環境条件の検討

本検討では、核種移行解析の網羅性の確認・評価に関する研究（日揮株式会社,2001）で開発された手法を用いて解析を行い、対象廃棄物の余裕深度処分を想定した場合に、対象廃棄物が潜在的に有する核種移行に対して及ぼしうる影響因子を考慮した場合においても、核種移行評価上目標線量を十分に下回るための人工バリアおよび天然バリアに関する十分条件を明らかにした。また、本解析の結果および再整理したF E Pを活用して、対象廃棄物の余裕深度処分での核種移行に影響を及ぼすと想定される事象を抽出した。

3.1 核種移行コードの機能拡張

本検討における核種移行解析では、複数の崩壊連鎖の影響を考慮することが可能であり、かつ既存の濃度上限値の設定などに適用可能なサイクル機構が所有する核種移行コード「NESTOR」を用いることにした。また、本検討の感度解析では、既往の研究「核種移行解析の網羅性の確認・評価（その2）」（日揮株式会社, 2001）において用いた手法を踏襲した多変量解析（個々のパラメータをランダムに変動させる）を実施するため、「NESTOR」の機能を拡張した。

3.2 合理的な処分システム仕様及び地質環境条件の検討

ここでは、アスファルト固化体、ROBE固化体並びにプラスチック固化体を余裕深度処分する場合を対象として、既往の研究において開発した多変量解析手法を適用し、さらに複数崩壊連鎖を考慮して、ムービングバンド法により重要パラメータの抽出を行うとともに、目標線量を十分に下回る処分システムの仕様や地質環境に関する十分条件を明らかにする。具体的な手順は以下のとおりである。

既存の研究「核種移行解析の網羅性の確認・評価（その2）」（日揮株式会社, 2001）の検討結果を参考に、解析モデルおよび変動パラメータを選定する。

対象となる廃棄物の特徴を考慮して、パラメータの変動幅を設定する。

全域的解析を実施し、得られた結果に対してムービングバンド法を用いて感度解析を行う。

感度解析の結果から、対象廃棄物が余裕深度処分への適合性を確保するための人工バリア条件および天然バリア条件を示し、現状の廃棄体に関する知見から、

その余裕深度処分への適合性について考察を行う。

3.2.1 処分概念および評価モデル

本検討において対象とする処分概念を図 3-1 に示す。評価モデルは、基本的に既往の研究「核種移行における網羅性の確認・評価(その2)」(日揮株式会社, 2001)における多変量解析の評価モデルと同様とした。ただし、本検討では、処分施設の形状の変化の線量への影響を考慮できるように、人工バリアから天然バリアへの核種の放出については面ソースを使用した。本検討と「網羅性の確認・評価(その2)」との評価モデルの差異を以下に挙げる。

- ・ 対象となる廃棄体の余裕深度処分に対する適合性を明確にするために、廃棄体種類毎に解析を行う。
- ・ 人工バリアからの核種の放出を面ソースで扱うことにより、坑道径が線量に及ぼす影響について確認する。
- ・ TRU 核種の崩壊連鎖の影響を確認するため、 $4N+1$ 系列について、 $Np-237$ 、 $U-233$ 、及び $Th-229$ を評価対象核種とする。 $Np-237$ より上位の核種 ($Cm-245$ 、 $Pu-241$ および $Am-241$) は、これらの半減期がピークが生じる時期と比較して十分に短いことを考慮して、その存在量を $Np-237$ に加算することによって対応する。また、 $Th-229$ の娘核種以降の影響については $Th-229$ に足し合わせる。
- ・ 崩壊連鎖を考慮することにより、計算機に負荷がかかるため、領域内での地球化学異常の進展は考慮せず、当該時刻において領域全体の特性を変化させる。
- ・ 天然バリアにおける劣化による特性の変化については、本検討では化学異常の進展は考慮しないために、変動させる場合は、天然バリア全体に非常に極端な設定になりかねない。そのため、本検討では天然バリアの特性は変化させないものとする。
- ・ ガス発生による影響については、施設内部ボイドの排水については、「網羅性」研究と同様の評価を実施する。ただし、緩衝材の脱水に起因する瞬時的な核種の排出は考慮しない。

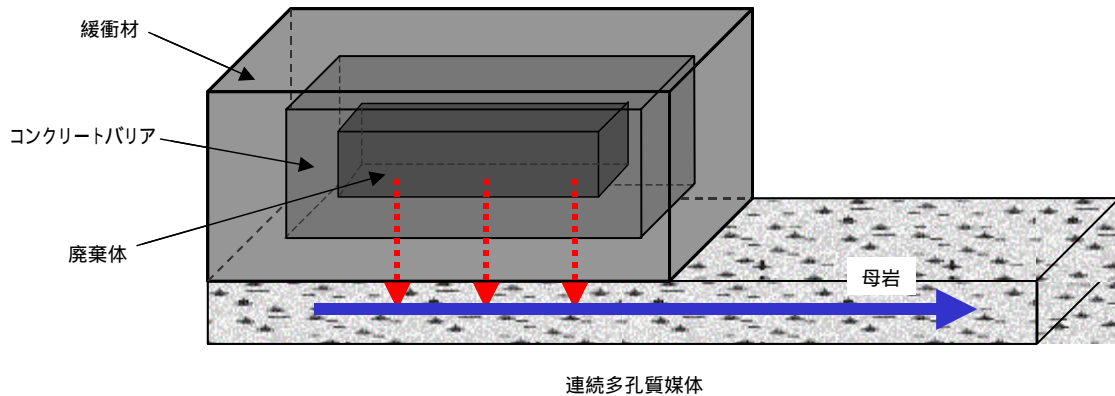


図 3-1 本検討における核種移行解析のシステム構成

3.2.2 対象廃棄体およびインベントリ

解析の対象とする廃棄体は、以下の3種類とした。

- ・ プラスチック固化体
- ・ アスファルト固化体
- ・ ROBE 固化体

ただし、評価ではアスファルト固化体は2つ、ROBE 固化体は4つに、それぞれ種類毎に区分し、それぞれ I-129 のインベントリの昇順に累積した廃棄物に対して評価を実施した。本検討では、それぞれの廃棄体・区分に対して 3000 ケースの解析を実施した。

3.2.3 変動パラメータ

本検討において使用するパラメータに対して、最大値と最小値及び分布型について文献等を参考に整理した。

3.2.4 解析結果

(1) プラスチック固化体

本検討では、解析ケース 3000 に対して、 $10 \mu\text{Sv/y}$ を越えたのは、8 ケースのみであった。このことから、プラスチック固化体に関しては、本検討での検討範

囲の条件下では、ほぼ余裕深度処分が可能であるといえる。また、ほとんどのケースにおいて最大線量に最も寄与する核種は I-129 であった。

線量に対するパラメータの感度の有無は、被ばく線量を 2 つの領域に分けてまとめた。感度の有無はムービングバンド法により整理した図中の線の傾きから判断した。これより、処分適合性の判断により重要な中線量側では、以下のパラメータが感度を有することがわかる。

- ・ 核種浸出率
- ・ コンクリートバリアの厚さ
- ・ コンクリートバリア劣化後透水係数
- ・ 緩衝材厚さ
- ・ 緩衝材劣化後透水係数
- ・ 緩衝材劣化開始時間
- ・ 天然バリア透水係数
- ・ 動水勾配
- ・ I-129 線量換算係数

(2) アスファルト固化体

本検討では、解析ケース 6000 に対して、 $10 \mu\text{Sv/y}$ を越えたのは、418 ケースであった。また、全体の 75% のケースにおいて最大線量に最も寄与する核種は I-129 であり、次いで Th-229 が多かった。

線量に対するパラメータの感度の有無を、被ばく線量を 3 つの領域に分けてまとめた。感度の有無はムービングバンド法により整理した図中の線の傾きから判断した。これより、処分適合性の判断により重要な中線量及び高線量側では、以下のパラメータが感度を有することがわかる。

- ・ 核種浸出率
- ・ コンクリートバリアの厚さ
- ・ コンクリートバリア劣化後透水係数
- ・ コンクリートバリア劣化開始時刻
- ・ 緩衝材厚さ
- ・ 緩衝材劣化後透水係数

- ・ 緩衝材劣化開始時刻
- ・ 天然バリア透水係数
- ・ 動水勾配
- ・ 緩衝材劣化開始時間
- ・ I-129 線量換算係数
- ・ C-14 線量換算係数

(3) R O B E 固化体

本検討では、解析ケース 12000 に対して、 $10 \mu\text{Sv/y}$ を越えたのは、1249 ケースであった。また、最大線量に最も寄与する核種は I-129 及び C-14 であり、それぞれ全体の 45% のケースにおいて最大のピークを示した。また、 $10 \mu\text{Sv/y}$ を越えるケースのうち、75% において最大線量に最も寄与する核種が C-14 であった。このことより、線量が大きい場合に C-14 の寄与が大きくなることがわかる。

線量に対するパラメータの感度の有無を、被ばく線量を 3 つの領域に分けてまとめた。感度の有無はムービングバンド法により整理した図中の線の傾きから判断した。これより、処分適合性の判断により重要な中線量及び高線量側では、以下のパラメータが感度を有することがわかる。

- ・ 核種浸出率
- ・ コンクリートバリアの厚さ
- ・ コンクリートバリア劣化後透水係数
- ・ コンクリートバリア劣化開始時刻
- ・ 緩衝材厚さ
- ・ 緩衝材劣化後透水係数
- ・ 緩衝材劣化開始時刻
- ・ 天然バリア透水係数
- ・ 廃棄体での化学的変動前の C-14 の分配係数
- ・ 動水勾配
- ・ ガス発生速度
- ・ I-129 線量換算係数
- ・ C-14 線量換算係数

3.2.5 目標線量を下回る十分条件の検討

上記の感度を有するパラメータに対して、各廃棄体および区分において、目標線量（ $10 \mu\text{Sv/y}$ ）を下回るための十分条件を検討した。十分条件は、ムービングバンド法で得られた結果を、2次関数で近似式を作成し、目標線量におけるパラメータ値をそのパラメータの十分条件とした。本検討において得られた、目標線量を下回るための十分条件を表3-1にまとめる。また、比較のために、TRU処分概念検討書（核燃料サイクル開発機構ほか、2000）の核種移行解析での設定値を同表に記載する。

天然バリア及び生物圏に関するパラメータについては、第2次取りまとめ等を参考にすれば、わが国の地質環境を考慮しても厳しい条件ではないと思われる。また、人工バリアに関するパラメータのうち、コンクリートバリア厚さ、緩衝材厚さ等については設計で対応が可能な範囲であるといえる。

廃棄体からの核種の浸出率については、最も小さい場合でも 3×10^{-2} 程度である。ただし、ROBE固化をセメント固化した場合は多孔質媒体として見なされるため、廃棄体に浸出率モデルを適用するのは困難である。また、人工バリアの劣化・変質に関するパラメータのうち、コンクリートバリアの劣化後の透水係数等、いくつかのパラメータについては、今後試験等により確認が必要となるものも存在する。

しかしながら、本検討で得られた値は必要条件でなく十分条件であること、また、全般的に既往の評価において考慮している範囲内であることから判断すれば、本検討の評価結果から判断すれば、最もインベントリの大きいROBE固化体の区分4の場合でも余裕深度処分は可能であると考えられる。

また、本検討で得られた値は、目標線量を満足するための十分条件である。そのため、緩衝材厚さ、コンクリートバリア厚さについては非常に大きな値であり、処分費用を考えた場合は合理的とは言えない。さらに、前述したように、いくつかのパラメータについては現段階では性能評価上見込めないものや、確認が必要なものが存在する。そのため、使用するパラメータの妥当性等も勘案しつつ、線量評価上目標線量を満足し、かつ、経済的にも合理的なバリア条件を抽出することが今後の課題であるといえる。

表 3-1 各廃棄体・区分に対する十分条件のまとめ

パラメータ	単位	本検討で得られた十分条件								TRU検討書での設定 ^{*1}	第3次中間報告での設定 ^{*2}
		プラスチック固化体	アスファルト固化体1	アスファルト固化体2	ROBE 固化体1	ROBE 固化体2	ROBE 固化体3	ROBE 固化体4			
核種浸出率	1/年	<1E-1	<6E-2	<3E-2	-	-	-	<3E-2	-	-	瞬時
コンクリートバリアの厚さ	m ²	>0.74	>0.86	>0.91	>0.84	>0.80	>0.88	>0.95	-	-	-
コンクリートバリア劣化後透水係数	m/s	<4E-8	<2E-8	<1E-8	<2E-8	<2E-8	<1E-8	<1E-8	1E-5	-	-
コンクリートバリア劣化時刻	y	-	>2E+2	>2E+2	-	-	-	>2E+2	-	-	-
緩衝材厚さ	m	>1.2	>1.4	>1.6	>1.5	>1.5	>1.7	>1.8	1	-	-
緩衝材劣化後透水係数	m/s	<3E-8	<1E-8	<8E-9	<1E-8	<1E-8	<7E-9	<5E-9	3E-11	-	-
緩衝材劣化開始時刻	年	>4E+2	>9E+2	>2E+3	>9E+2	>2E+3	>2E+3	>3E+3	6.0E+2 ~ 6.0E+3	-	-
天然バリア長さ	m	-	-	-	-	-	-	>270	100	500	-
天然バリア透水係数	m/s	<1E-6	<6E-7	<5E-7	<6E-7	<4E-7	<5E-7	<4E-7	1E-9	1E-7 ~ 1E-6	-
廃棄体化学的変動前のC分配係数	m ³ /kg	-	-	-	>0.02	>0.02	>0.03	>0.04	0.0001	-	-
動水勾配	-	<0.05	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.03	0.01	0.01	-
ガス発生速度	m ³ /y	-	-	-	-	-	<7E-3	<7E-3	-	-	-
I-129線量換算係数	Sv/Bq	<6E-14	<1E-14	<9E-15	<3E-15	<3E-15	<8E-15	<7E-15	7.5E-16	-	-
C-14線量換算係数	Sv/Bq	-	<2E-15	<2E-15	<4E-15	<3E-15	<2E-15	<1E-15	1.6E-16	-	-

*1 核燃料サイクル開発機構、電気事業連合会：TRU廃棄物処分概念検討書，JNC TY1400 2000-001, TRU TR-2000-01 (2000)

*2 原子力安全委員会：低レベル放射性廃棄物の陸地処分の安全規制に関する基準値について(第3次中間報告)、平成12年9月

3.3 影響事象の抽出

3.3.1 影響事象の抽出手法

本検討における影響事象抽出の手順は以下のとおりである。

- ①重要パラメータのF E Pへの関連づけ
- ②重要パラメータに関するF E Pからの「評価すべき事象」の抽出
- ③影響事象の整理

以下にその詳細を記す。

(1) 重要パラメータのF E Pへの関連づけ

3.2 節において実施された感度解析によって、核種移行解析上線量に対して影響の大きいパラメータが抽出された。よって、これらの重要なパラメータを変動させる要因をF E Pから導くために、まず、当該パラメータをそれを特徴づけるF E Pを明確にする。

(2) 重要パラメータに関するF E Pからの「評価すべき事象」の抽出

重要パラメータを特徴づけるF E Pから、当該パラメータに影響を及ぼすと考えられる事象を抽出する。具体的には、F E P辞書中の「3. 評価すべき事象」のうち、当該パラメータに影響を及ぼすと考えられる事象をピックアップする。

(3) 影響事象の整理

本検討で使用するF E P辞書は、網羅性に主眼点を置いて記述されているため、「3. 評価すべき事象」においても、記述が重複する場合がありますと考えられる。また、対象とする重要パラメータのみを意識して記述されているわけではないため、影響を及ぼすと考えられる事象が直接的に読みとりにくい場合もある。よって、ここでは上述までの検討で抽出された影響事象を、重要パラメータへの影響という観点で整理する。

3.3.2 対象廃棄体の余裕深度処分における影響事象の抽出

ここでは、上記の手法を用いることによって、本研究の核種移行感度解析結果から明らかになった重要パラメータを利用して、対象廃棄物の余裕深度処分での

核種移行解析に影響を及ぼす事象を抽出した。

(1) 重要パラメータのF E Pへの関連づけ

3.2 節における核種移行感度解析から抽出された中線量及び高線量の領域で核種移行解析結果に感度を有するパラメータについては、それぞれ表 2-1 のF E P リストの中から最も関連の深いと考えられるF E Pを選択し、そのパラメータを特徴づけるF E Pと想定した。ただし、動水勾配、天然バリア透水係数及び核種の線量換算係数については別途検討することとし、また、廃棄体定置領域断面積、コンクリートバリアの厚さ及び緩衝材の厚さについては、処分施設の設計で対応するものであるため対象外とした。重要パラメータをF E Pと関連づけた結果を表 3-2 に示す。

(2) パラメータに関するF E Pからの「評価すべき事象」の抽出

ここでは、上述の重要パラメータに関するF E P辞書に記載されている「評価すべき事象」のうち、対象とするパラメータに関係し、影響事象として取り扱うべき事象を抽出した。検討結果から得られた、それぞれの重要パラメータに対する影響事象を表 3-3 にまとめる。

(3) 影響事象の整理

上述までの検討で得られた結果から、重要パラメータへの影響という観点で影響を及ぼすと考えられる事象をより明確にするため、抽出された影響事象を重要パラメータ毎に整理する。

(a) 核種浸出率

廃棄体からの核種の浸出率に関する影響事象については、対象廃棄体毎に整理する。

①プラスチック固化体

プラスチック固化体の核種浸出率に影響を及ぼす事象としては、【プラスチックの劣化】が挙げられている。劣化の機構としては、アルカリ分解が最も重要

であると考えられる。ただし、プラスチック固化体の浸出試験に関する文献は乏しく、また、プラスチック固化体はその原材料や固化方法が多様であるため、類似の固化体でない限り、その文献の利用範囲は制限される。また、同様に【ガス影響】、【微生物影響】、【放射線分解・放射線損傷】も影響事象として挙げられている。これらの影響を確認するためには、対象廃棄体あるいはその模擬廃棄体を使用して、なるべく処分施設に近い環境を想定した浸出試験を実施することが必要である。

②アスファルト固化体

アスファルト固化体の浸出率に影響を及ぼす事象としては、【水の取り込みによる膨潤】、【アスファルトの劣化】、【放射線分解・放射線損傷】、【微生物影響】及び【ガスの影響】が挙げられる。これらの事象が及ぼす影響の度合いは、浸出試験により確認することが可能である。実際、浸出試験は様々な機関で実施されている。ただし、浸出試験により得られる浸出速度は、上記の影響事象が複雑に関係しあうと考えられるため、個々の影響事象について確認するためには、試験計画を十分に検討する必要がある。また、対象廃棄体および模擬廃棄体を使用して、なるべく処分施設に近い環境を想定した浸出試験を実施することが必要である。

③ROBE固化体

ROBE固化体は、現状では最終的な固化方法は決定していない。そのため、本検討では仮にセメント固化されると想定して検討した。セメントマトリクスは多孔質媒体であるため、廃棄体自体に閉じ込め性は期待できない。一般的に、核種移行解析では、評価結果が保守的となるように廃棄体から瞬時に放出されると仮定されている。しかしながら、敢えて影響事象を抽出すれば、【応力】、【セメントの化学的劣化】、【ガスの影響】、【高pH影響】、【海水影響】が挙げられる。これらの事象は、力学的劣化あるいは化学的劣化により間隙水とセメントマトリクスとの接触面積が増加することにより、間隙水への核種の放出が促進されることを考慮したものである。今後は、セメント固化以外も候補としつつ、廃棄体に要求される要件を整理し、処理方法を検討する必要がある。

(b) コンクリートバリア劣化後透水係数

「劣化後のコンクリートバリア透水係数」に影響を及ぼす事象としては、大別すれば以下の2つにまとめられる。

- ・ 化学的劣化による透水係数の増加
- ・ 力学的影響による亀裂発生に伴う巨視的な観点での透水係数の増加

前者は、上述「評価すべき事象」のうち、【セメント変質】、【硝酸塩】及び【物質の輸送】が関連する。化学的劣化による透水係数の増加は、セメント成分の溶出による空隙増加が要因となり、比較的長期にわたって現象が進展するものと考えられる。しかしながら、セメント鉱物の反応速度、生成する2次鉱物生成に関する知見等、長期の間隙率変遷を評価するための情報が不足している。

後者は、上述「評価すべき事象」のうち、【鋼材の腐食】、【ガス】、【応力】及び【ひび割れ】が該当する。力学的影響による亀裂発生は、応力場が安定していない処分場閉鎖初期におこる可能性と、長期的な構成材料の劣化に伴って発生する可能性の双方が考えられる。応力発生の要因としては、水和熱、外部荷重、鉄筋の腐食膨張、ガスの発生・蓄積等が考えられる。また、間隙水中に硫酸塩を多く含む場合は、硫酸イオンがセメント鉱物と反応して密度の大きいエトリンガイトが生成することにより応力が発生する。亀裂が発生することにより、巨視的には透水係数が増加するが、亀裂の生じたコンクリートバリアに対する水理評価のモデルとして、多孔質媒体としてではなく亀裂性媒体として扱う必要性についても示唆される。亀裂性媒体として評価するためには、上記の事象による亀裂発生の頻度、亀裂幅等を定量的に把握することが必要になるが、現状では知見が不足している。

(c) コンクリートバリア劣化開始時刻

本項目における劣化とは、主に透水係数の上昇を指す。これは、感度解析の結果、透水係数の上昇が線量への影響が大きいことが示されたためである。そのため、本項目の影響事象は、上述の「コンクリートバリア劣化後透水係数」

と密接に関連する。影響を及ぼす事象も同様に以下の2つに大別できる。

- ・ 化学的劣化による透水係数の増加
- ・ 力学的影響による亀裂発生に伴う巨視的な観点での透水係数の増加

そのため、劣化の開始時刻もそれぞれのメカニズムに応じて異なる影響事象によって支配されると考えられる。化学的な劣化開始時刻については、F E P「TC41：コンクリート部での水化学」に関する影響事象である【溶存成分の移動】、【酸化性雰囲気の過渡的・局所的形成】、【材料特性】、【セメントの変質】、【有機物】、【高pH影響】、【硝酸塩】が関連する。力学的影響による劣化開始時刻については、F E P「TC41：コンクリート部での水化学」に関する影響事象である【金属の腐食】、及びF E P「TC31：コンクリート部での応力」に関する影響事象である【応力】、【ガス影響】、【セメント鉱物変質】および両F E Pにある【金属腐食】が関連する。これらは一般的に化学的な劣化については長期間にわたって徐々に性能が低下するのに対し、力学的な影響による劣化は瞬間的に性能が低下することも考えられるという特徴を有する。また、劣化開始時刻の観点からは、化学的劣化および物理的劣化ともに信頼性の高い定量的評価を実施するためには知見が不足している。

(d) 緩衝材劣化後透水係数

緩衝材の劣化後の透水係数に影響を及ぼす因子としては、大別して以下の3項目が挙げられる。

- ① ベントナイト鉱物の化学的な変質による透水性上昇
- ② 地下水性状（イオン強度）の変化による透水性上昇
- ③ 力学的な変形による止水性の低下

本検討で抽出された影響事象のうち、【ベントナイトの変質】及び【物質の輸送】は①に該当する。また、【高pH影響】及び【硝酸塩】は①及び②の両方、【ガス】及び【応力】は③にそれぞれ該当すると考えられる。これらについては、地層処分の性能評価あるいは処分技術に関する研究において、影響確認試験等が継続的に実施されているが、現状では特にベントナイトの長期的な劣化に関しては未だ不明な点が多い。

(e) 緩衝材劣化開始時刻

このパラメータは前述の「緩衝材劣化後透水係数」と同様に、劣化のメカニズムとしては大きく以下の3つに分けられる。

- ① ベントナイト鉱物の化学的な変質による透水性上昇
- ② 地下水性状（イオン強度）の変化による透水性上昇
- ③ 力学的な変形による止水性の低下

そのため、緩衝材の劣化の開始時間も、これらの劣化メカニズムに応じてそれぞれ異なった影響事象により支配されると考えられる。本検討で抽出された影響事象のうち、「TB41：緩衝材での水化学」に関する【水理】【溶存成分の移動】【酸化性雰囲気の過渡的・局所的形成】【材料特性】【ベントナイトの変質】【間隙水性状】【微生物】【硝酸塩影響】【高pH影響】は①に関連する。また、【材料特性】【間隙水組成】【高pH影響】【硝酸塩影響】は②に関連する。さらに、【ガス】【材料特性】ならびに「TB31：緩衝材での応力」に関する【圧密沈下】、【クリープ現象】、【膨張】及び【ガス】は③に関連する。

①に関しては、TRU廃棄物の地層処分に関する検討においても、水化学解析等により定量的な解析が実施されているが、高pH間隙水、硝酸塩と緩衝材との反応メカニズムについて十分な理解が得られておらず、さらなる検討が必要である。また、②に関しては、廃棄体からの硝酸塩の漏出速度が重要な因子となるが、試験により硝酸塩の透水性に対する影響程度について確認する必要がある。さらに、③については、ガス発生速度、人工バリアの透気性等の影響を受けるが定量的な評価手法については開発途上である。

(f) 廃棄体での化学的変動前のC-14の分配係数

本研究における感度解析では廃棄体領域は廃棄体及び充填材を均一混合媒体として評価したため、本項目の「廃棄体」は廃棄体と充填材が該当する。そのため、本項目に関連するFEPは、「TW74：廃棄体での核種の吸着」及び「TM74：充填材での核種の吸着」の2つである。どちらのFEPにおいても、【pHによる核種の分配係数への影響】、【Ehによる核種の分配係数への影響】、【イオン強度による核種の分配係数への影響】、【分配係数の同位体分配】、【ガスによる核種の分配平衡への影響】【微生物による核種の分配係数への影響】及

び【硝酸塩による核種の分配係数への影響】が影響事象として抽出されている。

C-14 は、その水化学環境によって化学形態を変えやすく、また、化学形態によりその吸着性も大きく異なる。そのため、人工バリア領域における C-14 の存在形態を把握することは重要である。特に、本検討の対象廃棄物である ROBE 固化体は硝酸塩を多く含むが、硝酸イオン存在下における C-14 の吸着性に関する知見は現状では少ない。さらに、有機物は微生物の栄養素となるため、C-14 の存在形態は微生物活動の影響を大きく受けることが予想される。ただし、微生物活動については高アルカリ、高放射線下という処分施設環境における活動性を確認する必要がある。

(g) ガス発生速度

ガスの発生に関連する FEP は、「TW81：廃棄体でのガス」及び「TC81：コンクリート部でのガス」の 2 つである。どちらの FEP においても、【ガスの成分組成と水中の溶解量および水の物性】【ガスの発生速度】及び【微生物】が影響事象として抽出されている。

本検討の対象である ROBE 固化体においては、考慮すべきガスの発生機構として、以下の項目が挙げられる。

- ・ 金属の嫌気性腐食に伴う水素ガス発生
- ・ 放射線分解によるガス発生
- ・ 微生物活動に伴うガス発生
- ・ α 崩壊による He ガス発生

このうち、ガス発生速度について最も重要と考えられるのは、金属の腐食に伴う水素ガス発生である。これは、廃棄体では廃棄体容器あるいは処分容器、コンクリート部では構造躯体に使用される鉄筋等が対象となる。これらのガス発生速度に影響を及ぼす因子は、金属の存在量、pH、酸素濃度といった地下水性状が考えられる。また、放射線分解によるガス発生については、間隙水中に硝酸イオンが存在する場合と存在しない場合では、放射線分解により発生する水素ガスの速度、あるいは窒素ガスの発生量が異なる可能性がある。

(4) 天然バリア及び生物圏に関するパラメータの検討

上述したように、3.2節における感度解析結果から、動水勾配、天然バリア透水係数および核種の生物圏換算係数が、線量への影響が大きいパラメータとして抽出された。これらのパラメータに対しても他のパラメータと同様にF E Pから演繹的に影響事象を抽出することが望ましいが、本検討のベースとなるF E Pは、主にニアフィールドに主眼を置いているため、天然バリア及び生物圏のパラメータに対して使用することは適切でない。

天然バリア及び生物圏に関するパラメータは、基本的にはサイトに依存するところが大きいパラメータである。ただし、地質環境等の変化によって変動する可能性があり、これらのパラメータの影響事象となりうると考えられる。よってここでは、第2次取りまとめにおけるわが国における地質環境に関する研究等を参考に、これらの重要パラメータに対しての影響事象を抽出する。

(a) 動水勾配

動水勾配は、地形条件に依存することが大きい。そのため、隆起・浸食等により地表の勾配が変わることにより動水勾配が変化する可能性がある。また、地震により瞬間的に地下水流速が急激に上昇する「サイズミックポンピング」といった事象も考慮すべきである。

(b) 天然バリア透水係数

天然バリアの透水係数を変動させる要因としては、大きく2つに分けることが出来る。ひとつは人工バリアからの影響、もう一つが天然事象の影響である。前者は、例えばセメント系材料からの溶出成分による岩の変質作用などがある。また、坑道掘削時、施工時などにおける岩盤のゆるみ、地表水、酸素の浸入などが影響を及ぼす可能性がある。後者では地震等による岩盤のゆるみが挙げられる。特に、余裕深度処分では地層処分と比較して深度が浅いため特に注意すべきと考えられる。

(c) 核種の線量換算係数

生物圏における核種の線量への換算係数は、サイトに依存するパラメータで

あると同時に、時間的な不確実性が大きいパラメータであるといえる。その時間的な不確実性の要因は、人間の生活習慣の変化、気候変動、地形変動等に由来する。これらは、線量評価においてピークの得られる時間等、安全評価とどの程度の長さの期間を考えるべきか、という情報も重要な要素となる。また、これらの不確実性に関する問題を解消するために、リファレンスバイオスフィアや補完的な評価指標に関する検討が国際的にも活発である。

表 3-2 重要パラメータと FEP との関連づけ

重要パラメータ	特徴づける FEP			対象廃棄体			備考
	FEP 番号	FEP 名称	プラスチック 固化体	アスファルト 固化体	ROBE 固化体		
核種浸出率	TW65	セメントマトリクス の特性	-	-		ROBE 固化体を セメント固化し た場合のみ関 連する。	
	TW66	アスファルトマトリクス の特性	-		-		
	TW67	プラスチックマトリクス の特性		-	-		
コンクリートバリア劣化後透 水係数	TC21	コンクリート部での水理					
コンクリートバリア劣化開始 時刻	TC31	コンクリート部での応力	-				
	TC41	コンクリート部での水化学	-				
緩衝材劣化後透水系数	TB21	緩衝材での水理					
	TB31	緩衝材での応力					
	TB41	緩衝材での水化学					
廃棄体での化学的変動前の C-14 の分配係数	TW74	廃棄体での核種の吸着	-	-			
	TM74	充填材での核種の吸着	-	-			
ガス発生速度	TW81	廃棄体でのガス	-	-			
	TC81	コンクリート部でのガス	-	-			

表 3-3 抽出された影響事象 (1/3)

重要パラメータ	特徴づける FEP		影響事象	対象廃棄体			備考
	FEP 番号	FEP 名称		プラスチック 固化体	アスファルト 固化体	ROBE 固化体	
核種浸出率	TW65	セメントマトリクスの特性	<ul style="list-style-type: none"> ・応力 ・セメントの化学的劣化 ・ガスの影響 ・高pH影響 ・海水影響 	-	-		ROBE 固化体をセメント固化した場合のみ関連する。
	TW66	アスファルトマトリクスの特性	<ul style="list-style-type: none"> ・水の取り込みによる膨潤 ・アスファルトの劣化 ・放射線分解・放射線損傷 ・微生物影響 ・ガスの影響 	-	-		
	TW67	プラスチックマトリクスの特性	<ul style="list-style-type: none"> ・プラスチックの劣化 ・ガス影響 ・微生物影響 ・放射線分解・放射線損傷 	-	-		
コンクリートバリア 劣化後透水係数	TC21	コンクリート部での水理	<ul style="list-style-type: none"> ・セメント変質 ・鋼材の腐食 ・硝酸塩 ・ガス ・応力 ・物質の輸送 ・ひび割れ 				
	TC31	コンクリート部での応力	<ul style="list-style-type: none"> ・応力 ・ガス影響 ・セメント鉱物変質 ・金属腐食 	-			

表 3-3 抽出された影響事象 (2/3)

重要パラメータ	特徴づける FEP		影響事象	対象廃棄体			備考
	FEP 番号	FEP 名称		プラスチック 固化体	アスファルト 固化体	ROBE 固化体	
コンクリートバリア劣 化開始時刻	TC41	コンクリート部での水化学	<ul style="list-style-type: none"> ・溶存成分の移動 ・酸化性雰囲気の過渡的・局所的形成 ・材料特性 ・セメントの変質 ・金属の腐食 ・有機物 ・高 pH 影響 ・硝酸塩 				
	TB21	緩衝材での水理	<ul style="list-style-type: none"> ・ベントナイトの変質 ・高 pH 影響 ・硝酸塩 ・ガス ・応力 ・物質の輸送 				
緩衝材劣化 透水係数	TB31	緩衝材での応力	<ul style="list-style-type: none"> ・圧密沈下 ・クリープ現象 ・膨張 ・ガス 				
	TB41	緩衝材での水化学	<ul style="list-style-type: none"> ・水理 ・溶存成分の移動 ・酸化性雰囲気の過渡的・局所的形成 ・材料特性 ・ベントナイトの変質 ・間隙水性状 ・ガス ・微生物 ・高 pH 影響 ・硝酸塩影響 				

表 3-3 抽出された影響事象 (3/3)

重要パラメータ	特徴づける FEP		影響事象	対象廃棄体			備考
	FEP 番号	FEP 名称		プラスチック 固化体	アスファルト 固化体	ROBE 固化体	
廃棄体での化学的 変動前の C-14 の分 配係数	TW74	廃棄体での核種の吸着	<ul style="list-style-type: none"> ・pHによる核種の分配係数への影響 ・Ehによる核種の分配係数への影響 ・イオン強度による核種の分配係数への影響 ・分配係数の同位体分配 ・ガスによる核種の分配平衡への影響 ・微生物による核種の分配係数への影響 ・硝酸塩による核種の分配係数への影響 	-	-		
	TM74	充填材での核種の吸着	<ul style="list-style-type: none"> ・pHによる核種の分配係数への影響 ・Ehによる核種の分配係数への影響 ・イオン強度による核種の分配係数への影響 ・分配係数の同位体分配 ・ガスによる核種の分配平衡への影響 ・微生物による核種の分配係数への影響 ・硝酸塩による核種の分配係数への影響 	-	-		
ガス発生速度	TW81	廃棄体でのガス	<ul style="list-style-type: none"> ・ガスの成分組成と水中の溶解量および水の物性 ・ガスの発生速度 ・微生物 	-	-		
	TC81	コンクリート部でのガス	<ul style="list-style-type: none"> ・ガスの成分組成と水中の溶解量および水の物性 ・ガスの発生速度 ・微生物 	-	-		

4. 環境影響評価に関する検討

4.1 はじめに

本研究の対象廃棄体には相当量の硝酸及びほう素が含まれており、当該廃棄体を一般及び産業廃棄物として捉えた場合、それが処分の成立性に対して影響を及ぼすことが懸念される。

そこで本検討では、硝酸及びほう素に係る環境問題について調査し、当該物質を含む廃棄物の環境上の問題点について検討する。具体的には、一般及び産業廃棄物に対する現行の環境影響評価の内容、環境基準の設定根拠、環境汚染や影響評価の事例及び環境中挙動に関する研究事例を調査する。また、当該廃棄体に対して想定される処分概念に基づき、物質移行解析コードを使用して、埋設施設から生物圏に至るまでの硝酸及びほう素の移行評価を実施し、評価結果と現行環境基準とを比較検討する。

4.2 化学物質の環境影響に関する調査検討

必要な事項について、文献調査または必要に応じて関係機関及び専門家への聞き取り調査を実施した。また、調査結果を整理するとともに、硝酸及びほう素を含むTRU廃棄物を産業廃棄物として捉えた場合の環境上の問題点について検討した。

4.2.1 一般・産業廃棄物の処分に伴う環境影響評価内容に関する調査

(1) 一般・産業廃棄物の処分に関する法律の内容

「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」が対象とする廃棄物は、ごみ、粗大ごみ、燃え殻などであるが、放射性物質及びこれによって汚染された物は除くとされている。一方、これらの放射性汚染廃棄物等については、「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律」によって規制されており、この法律と廃棄物処理法はリンクしておらず、同位元素の基準以下のものであっても、廃棄物処理法の対象外となる可能性がある。

また、産業廃棄物のうち「人の健康又は生活環境に係る被害を生ずるおそれがあるもの」は「特別管理産業廃棄物（PCB、石綿など）」とされ、さらにそのうち有害物質（水銀、カドミウムなどの重金属、トリクロロエチレンなどの有

機化合物)を含むものは、「特定有害産業廃棄物」として区分されるが、現段階では硝酸性窒素・亜硝酸性窒素およびほう素については有害物質とされていない。

さらに、産業廃棄物は、種類ごとに埋立方法が決まっており、これに合わせて、安定型・管理型・遮断型の3タイプの最終処分場がある。上記した有害物質を含まない場合は、覆いのいらぬ管理型処分場での処分が可能であるが、処分場からの排水について、排水基準以上の硝酸態窒素またはほう素の排出が予想される場合は、浸出液処理設備を設ける必要がある。また、その処理によっても排水基準を満たさない可能性がある場合は、覆いや外周仕切が必要である遮断型の処分場で処分する必要がある。

(2) 環境影響評価の内容

一定規模以上の廃棄物処分場を設置する場合は、環境影響評価が必要となり、必ず環境影響評価を行わなければならない一定規模以上の事業である「第一種事業(処分場の埋立面積 30ha 以上)」と、第一種事業に準ずる規模を有し、環境影響評価を行うかどうかを個別に判定する事業である「第二種事業(同: 25ha 以上 30ha 未満)」に分けられる。

環境影響評価法の対象とならない規模の廃棄物処分場であっても、すべての廃棄物処理施設について、廃棄物処理法による生活環境影響調査(施設の稼働に伴う大気汚染、水質汚濁、騒音、振動及び悪臭を内容とする)の実施が義務付けられており、また、地方公共団体の条例で対象としている場合もある。

(3) 環境影響の調査・予測手法

環境影響評価法による廃棄物処分場の環境影響評価の技術指針では、一般的な宅地開発事業等と大差のない内容(悪臭が追加)となっている。また、地下水汚染や土壌汚染は除外されており、施設の構造基準等によって周辺へ環境影響が及ぶのを防ぐことが前提となっているものと考えられる。

4.2.2 基準値の制定根拠に係わる調査

(1) 中央環境審議会等，行政的取り組み過程

硝酸態窒素（硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素）およびほう素については，平成 11 年 2 月に「水質汚濁に係る人の健康の保護に関する環境基準」に追加され，それを受けて，平成 13 年 3 月にほう素が「土壌の汚染に係る環境基準」に追加され，さらに，平成 13 年 6 月には硝酸態窒素およびほう素が「水質汚濁防止法に基づく排出水の排出，地下浸透水の浸透等の規制」に追加されている。項目の追加にあたっては，中央環境審議会にそれぞれ専門委員会が設置され審議された。審議会での論点については，次項に含めた。

(2) 基準値制定の科学的根拠に用いられた考え方と基礎的データ

(a) 水質環境基準

- ・硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素とほう素の共通事項として，公共用水域等において比較的広くかつ高いレベルで検出されているので，要監視項目から環境基準項目へ移行した。
- ・硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素の基準値は，乳児におけるメトヘモグロビン血症発生との関連に関する調査結果と，水道水質基準（10mg/l 以下）を勘案して，10mg/l 以下とした。
- ・ほう素の基準値は，ラットの生殖毒性試験と，TDI（1 日耐容摂取量）をもとに 1 mg/l 以下とした。また，海水中のほう素濃度が 4.5mg/kg であること，海水影響のある河川での基準値超過があることから，海域には適用しないこととした。

(b) 土壌環境基準

- ・硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素の環境基準は，溶脱すること，他の形態の窒素成分に変化すること，農地で使用されることなどから，設定しないこととした。
- ・ほう素は，人為的な原因で一部の事業場内の土壌で，含有量及び溶出濃度とも高い状況にあることから，土壌環境基準に追加することとした。この基準値は，溶出基準で検液 1 リットルにつき 1 mg 以下であることとし

た。

(c) 排水基準

- ・硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素の規制の対象物質は，排出された環境中で生物的・化学的作用を経て，硝酸・亜硝酸性窒素を生成する物質までを視野に入れる必要があるため，硝酸性窒素，亜硝酸性窒素及びアンモニア性窒素とした。ここで，アンモニア性窒素から硝酸性窒素への換算係数は，環境中での形態変化や消長を考慮して0.4とした。また，排水基準は，水質環境基準（10mg/l）の10倍である100mg/lとした。
- ・ほう素の基準は，海域での濃度が大幅に増加することが環境保全場望ましいとは言えないことから，自然状態の濃度を大幅に上回らないような対応を検討する必要があるので，海域にも適用することとした。陸水域についての排水基準は，水質環境基準（1mg/l）の10倍である10mg/lとした。
- ・海域についての排水基準は230mg/lとした。その理由は，次のとおりである。海域へのほう素の排出源として，まず石炭火力発電所があげられ，その排水濃度は2～330mg/l程度となっている。その他の排出源では，この値を下回っている。排水濃度実態や，排出抑制対策技術，排水処理技術，耐容一日摂取量，全国一律の排水基準を設定することによる水質保全効果を総合的に考慮すれば，海域に適用するほう素の排水基準を230mg/l以下とすることが適当であるとした。

4.2.3 環境汚染，生物及び人の健康影響の発生状況に関する事例調査

(1) 環境汚染の発生事例

硝酸態窒素に関する資料は，地下水に対するものがほとんどであり，汚染の原因は，電子部品工場，化学工場，養鶏場等からの排水とされている。また，地下水については，年々汚染が進む傾向にあることが指摘されており，その原因は化学肥料，家畜排泄物とされており，特に茶園地帯における汚染度が高い。

ほう素に関する資料は，地下水，河川，湖沼に対するものがあつた。地下水と公共用水域の汚染事例では，海水影響によるものが多くみられ，海水影響の

ない場合では人為的な汚染原因は明らかでなく、もっぱら自然由来と考えられている。

(2) 生物影響の調査と影響評価事例

硝酸態窒素に関する資料は、キウリと水稲に対するものとアカマツに対するものの2件がある。キウリと水稲については、アンモニア態窒素よりも硝酸態窒素のほうがキウリと水稲の発育を促進させる効果があることが示されている。また、アカマツについては、土壌への窒素負荷量の増加によって苗の成長が低下したことが報告されている。

ほう素に関する資料は、作物に関するものが主であった。作物については、春オオムギの被害症状発現に対する臨界値と収量低下に対する臨界値を求めたもの、モモの開花障害の発生臨界値を求めたもの、アマハステビア（甘味資源植物）への最適施用濃度を求めたもの、各種作物について灌漑水中の安全なほう素濃度を定めたものがある。

(3) 人の健康に係わる調査と影響評価事例

硝酸態窒素に関する資料は、幼児のメトヘモグロビン血症に関するものが多く、死亡例も報告されており、水質環境基準はこの病気の防止の観点から許容濃度を定めている。また、動物実験では発ガン性があることが明らかになっているが、ヒトに対しては可能性が示唆されているにすぎない。

ほう素に関する資料は、イヌおよびラットに対する毒性試験によって精巢の萎縮、胎児体重の増加抑制等の生殖障害が認められており、水質環境基準はラットの生殖毒性試験をもとに定められている。

4.2.4 化学物質の環境中における挙動に関する調査

(1) 硝酸

土壌中の硝酸塩は、植物が吸収し有機窒素化合物を合成する。余剰の硝酸塩は、好氣的条件では分解や脱窒が起こりにくいため、大部分が地下水（帯水層）へ移行する。これを溶脱という。嫌氣的条件では、硝酸塩は脱窒あるいは分解されて窒素となる。

分解された窒素は、窒素の循環に組み込まれ、バクテリアによって有機性窒素に固定され、さらに有機性窒素はバクテリアや菌類によってアンモニアに無機化され、アンモニアは硝化バクテリアによって硝酸・亜硝酸塩となる。

(2) 溶脱

硝酸態窒素は、作物に適時吸収・利用されるが、余分なあるいは利用されない硝酸態窒素は土壤中に存在することになる。しかし、硝酸態窒素は土壤に保持されにくいいため、雨水などにより容易に下層に溶脱し、地下水の汚染と水域の富栄養化の原因となる。

硝酸態窒素の溶脱量は、ほぼ浸透水量に比例し、浸透水量と降水量は一次帰式で示されることから、窒素の溶脱は降雨量そのものに支配される。少雨年、雨の少ない地方では、その保水力に応じて土性の影響（粗粒質）細粒質）が明らかになるが、多雨年、多雨地帯では、土壤間の違いが比較的少ない。

(3) 脱窒

通気の良い畑土壌のような酸化的環境下では、硝酸態窒素は安定であるが、何らかの原因で還元的な環境へ硝酸態窒素が移行した場合には、硝酸は酸素を奪われて亜酸化窒素や窒素ガスになって大気中に揮散する。このような脱窒は水田で生じるほか、畑地でも有機物が局在する場合や、小孔隙など通気が悪く酸素分圧が7%以下になるところで発生する。

(4) ほう素

ほう素は、地殻や岩石中に幅広く存在するが、単体では存在しない。自然界では、酸素との親和性が強く、3配位(BO_3^3)または4配位(BO_4^5)の共有結合を作る。岩石中のほう素は、変成作用を受けると一般的に移動が起こり、岩石中のほう素濃度は低下する。土壌中では水に溶けにくく、土壤に吸着されやすい。土壌からのほう素の溶出は、土壌中でのほう素の存在状態、水溶液のpH、土壤の粒径等に大きく左右される。

植物は、土壤からほう酸またはほう酸塩の可溶性化合物の形で、根からとる。ほう素は、植物体に必ず含まれ、生理的に必須な元素である。植物のほう素含

有量は、土壌中のほう素含有量によって変化し、季節によっても変化する。ホップ、大麦、チュ・リップ等ではほう素の欠乏障害が知られており、ほう素はある種の植物疾病（花粉や種子の不実性等）を防止する働きがあるため、少量のほう素は肥料に添加して施される。

高等動物のほう素含有量は、一般的に大変低い（～0.5ppm B）が、海洋性のサンゴは～300ppm、海洋性プランクトンは50～760ppm、平均240ppmであり、これらのほう素は、生物の死後、海洋堆積物や海水にリサイクルされる。

4.2.5 産業廃棄物の処分として捉えた場合の環境上の問題点に関する検討

(1) 処分方法の問題

硝酸およびほう素は、水質環境基準で有害物質とされたが、廃棄物処理法上は有害物質とはされていない。有害物質を含まない場合は、管理型処分場での処分が可能である。

管理型処分場には、浸出液処理設備が必要であり、その放流水は水質汚濁防止法の排水基準が適用され、ほう素については10mg/l、硝酸性窒素、亜硝酸性窒素及びアンモニア性窒素の合計として100mg/lをそれぞれ超えないこととされており、それを満足させるための処理設備が必要となる。もし、この処理が技術的にできない場合は、遮断型の処分場で処分することが必要になる。

また、管理型または遮断型の処分場の場合は、維持管理基準によって、埋立地周縁の地下水の水質検査を定期的に行うこととされており、水質の悪化が認められる場合には、その原因の調査など、生活環境の保全上必要な措置を講ずることとなっている。

(2) 環境影響評価の問題

一定規模以上の廃棄物処分場を設置する場合は、環境影響評価が必要となる。また、国が定めたもの以外に、地方自治体の条例でも定められている場合がある。環境影響評価の方法は、通常の宅地開発等と手法的には同じである。

ただし、環境影響評価の方法書や準備書について、意見を提出できる住民の範囲が無限定となったため、意見書の数が増大になる可能性があり、手続的な時間や手間を要することになる。

(3) 環境汚染の問題

廃棄物処分場の構造基準および維持管理基準に適合した処分場は、基本的に環境汚染のおそれは生じないと考えられるが、大地震等の不測の事態が発生した場合は、有害物質が周辺に流出する可能性もある。

その場合に想定される問題は、硝酸では、地下水に溶脱し、高濃度の硝酸性窒素が含まれる地下水を飲用し、幼児のメトヘモグロビン血症が発症すること、窒素過剰によって植物の生育障害が生じることである。

ほう素では、植物の開花障害や生育障害が生じることである。人への影響については、明らかでないが、動物実験では、過剰な摂取で生殖障害が生じることが報告されている。

4.3 処分場からの化学物質の移行評価

本検討では、化学物質（硝酸及びほう素）の埋設施設からの物質移行を解析し、評価ポイントにおける化学物質濃度と現行環境基準とを比較検討した。

4.3.1 評価対象及び評価条件

本検討においては、坑道型の処分施設を想定し、処分施設は、地下水流れ方向と垂直に交差するように配置されるとした。施設は、廃棄体・充填材領域、拡散バリアおよび緩衝材から成り立つものとした。

解析には2次元物質移行解析コード「AZURE」を用いた。本検討における解析体系列を図4-1に示す。

4.3.2 評価指標

現状においては、環境基準が適用される位置等が不明確であるため、本検討ではいくつかの評価対象を用意した。つまり、施設の下流数100mの中央点における対象物質の濃度、および施設下流数100mの、ある断面を通過する濃度の平均値を評価対象とした。

4.3.3 解析結果

(1) レファレンスケース

結果の例として、処分施設を側面から見たケース（側面ケース）の処分場付近の化学物質濃度分布を、コンター図にして経過時間毎に示したものを図 4-2 に示す。

また、評価点における濃度及び評価線におけるフラックスの規格化したものを図 4-3 に示す。フラックスで見た場合は、上面ケースと側面ケースとでは大きな差はなく、最も高い時期で、初期に施設に含有されている量のおよそ 5,000 分の 1 が評価線を通過するという結果が得られた。なお、これらの結果は評価点あるいは評価線の施設からの距離を変化させても、結果に大きな差異はなかった。

(2) 感度解析

本検討では、化学物質の移行速度に影響を及ぼす可能性のあるパラメータについて感度解析を実施した。その結果の例を図 4-4 に示す。

側面ケース及び上面ケースの間で、感度を有するパラメータに若干の差異が認められるが、分配係数および動水勾配については、どちらもフラックスへの影響が大きいことがわかる。その他のパラメータについても、若干の感度を有するパラメータも存在するが、その効果はフラックスを 2 倍、あるいは 2 分の 1 倍程度に変化させる程度であり、地下水あるいは地表水による希釈水量と比較すればその効果は小さいと考えられる。

4.3.4 考察

(1) 廃棄体中の硝酸性窒素 / ホウ素の量及び濃度

廃棄体中の硝酸塩を全て NaNO_3 （分子量 85）、ホウ酸塩を全て Na_3BO_3 （分子量 127.8）と仮定し、廃棄体充填率 30%、廃棄体体積 200 L、間隙率 0.3、分配係数 $0 \text{ m}^3/\text{kg}$ とすれば、処分施設（廃棄体・充填材領域）中の硝酸性窒素濃度及びホウ素濃度は以下のとおりとなる。

硝酸性窒素 アスファルト固化体 $8.5 \times 10^4 \text{ ppm}$

	低 R O B E 固化体	7.7×10^4 ppm
	高 R O B E 固化体	5.5×10^4 ppm
ホウ素	低 R O B E 固化体	1.7×10^4 ppm
	高 R O B E 固化体	1.9×10^4 ppm

(2) 濃度による検討

前述までの解析結果では、評価点における濃度は、初期の処分施設中の濃度評価から、多くても100倍程度希釈されるのみである。そのため、硝酸性窒素及びホウ素は、どちらも環境基準（硝酸性窒素 10 ppm, ホウ素 1 ppm）を満たすことは困難であると考えられる。

(3) フラックスによる検討

2次元の物質移行解析のリファレンスケースでは、ピークの時期で、1年間に初期に施設に含有されている量のおよそ5,000分の1が評価線を通過するという結果が得られた。これを、それぞれの廃棄体（アスファルト固化体 29,934本, 低 R O B E 固化体 43,128本, 高 R O B E 固化体 4,367本）が、環境基準（硝酸性窒素：10ppm, ホウ素：1ppm）を満足するために必要な希釈水量は、以下のとおりである。

硝酸性窒素	アスファルト固化体	1.0×10^4 m ³ /y
	低 R O B E 固化体	1.3×10^4 m ³ /y
	高 R O B E 固化体	9.6×10^2 m ³ /y
ホウ素	低 R O B E 固化体	2.9×10^4 m ³ /y
	高 R O B E 固化体	3.4×10^3 m ³ /y

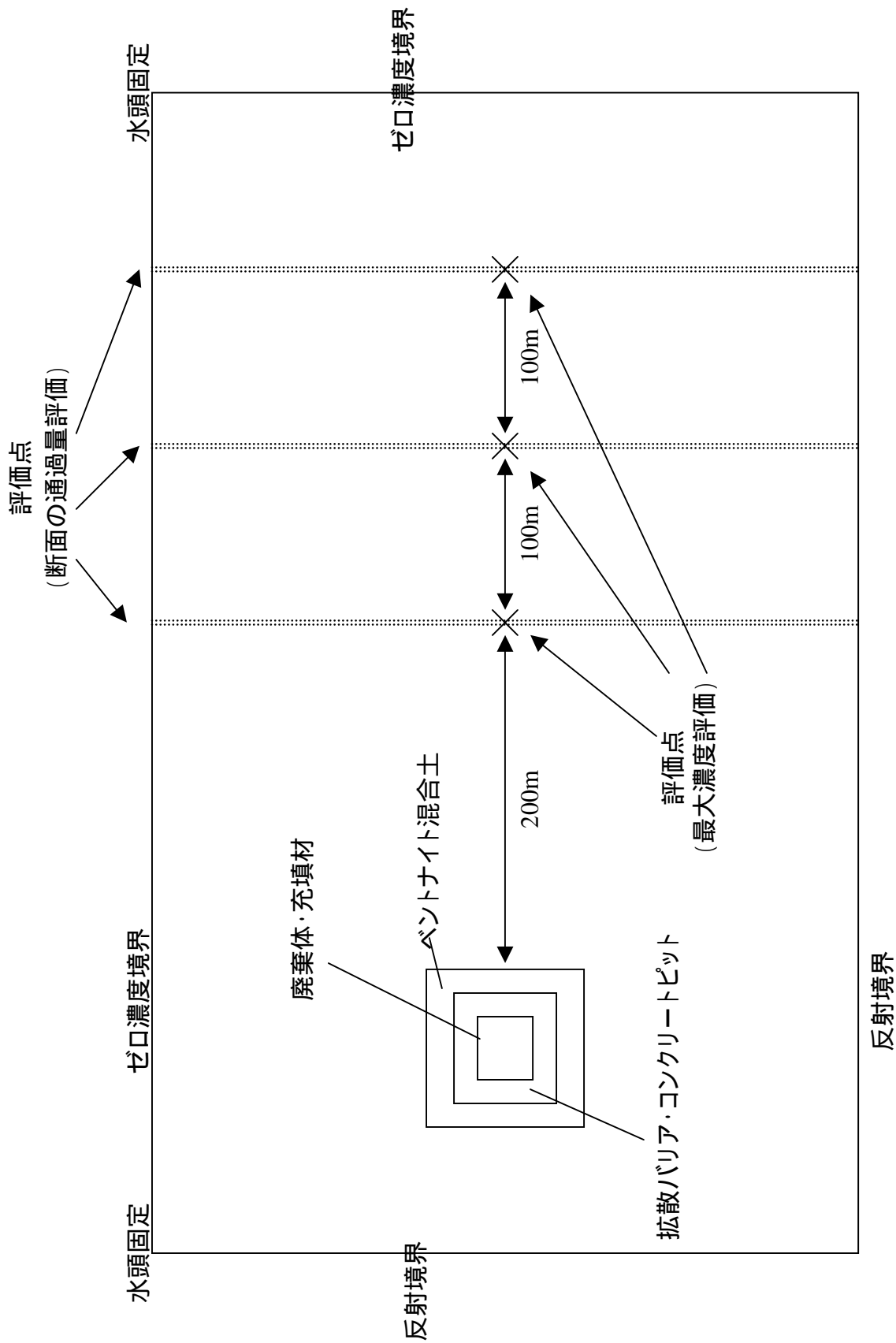


図4-1 解析体系例 (側面ケース)

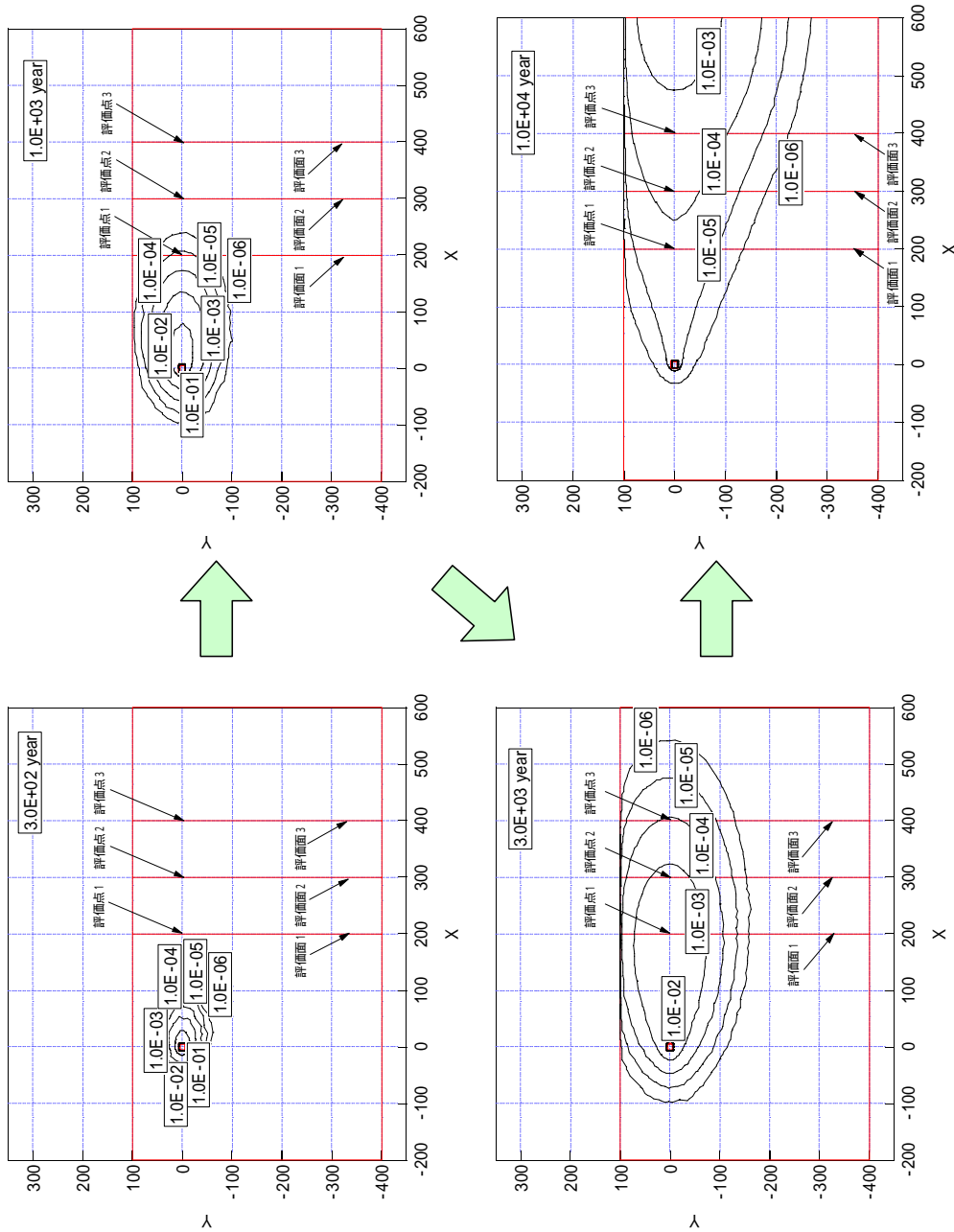


図4-2 各経過時間における濃度コンター図例
(側面ケース:レファレンスケース)

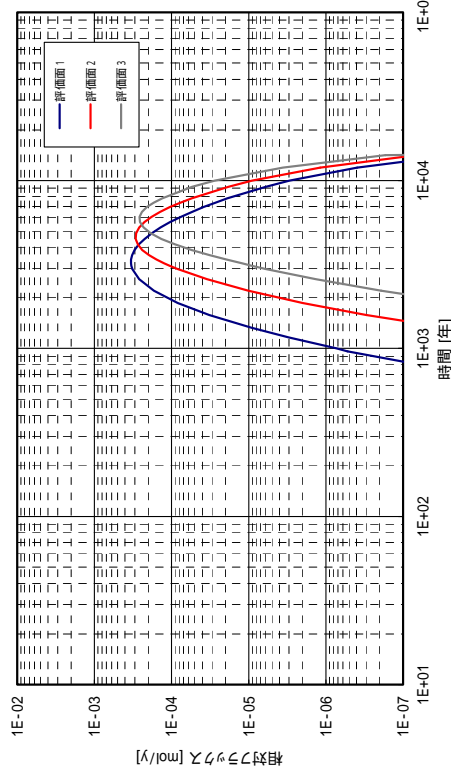
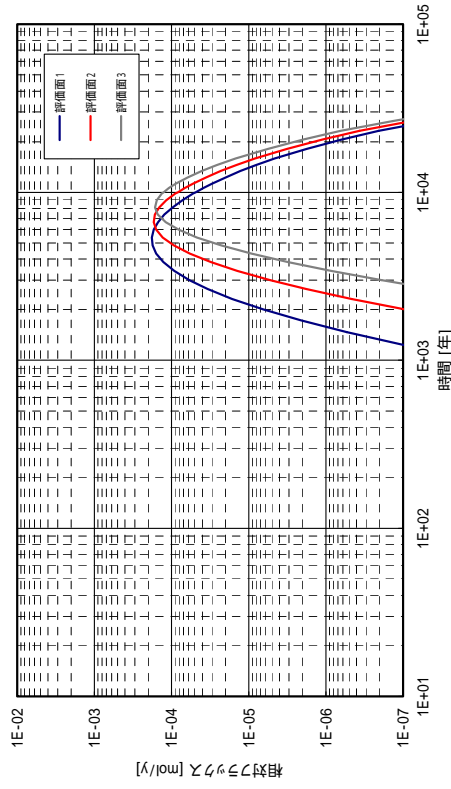
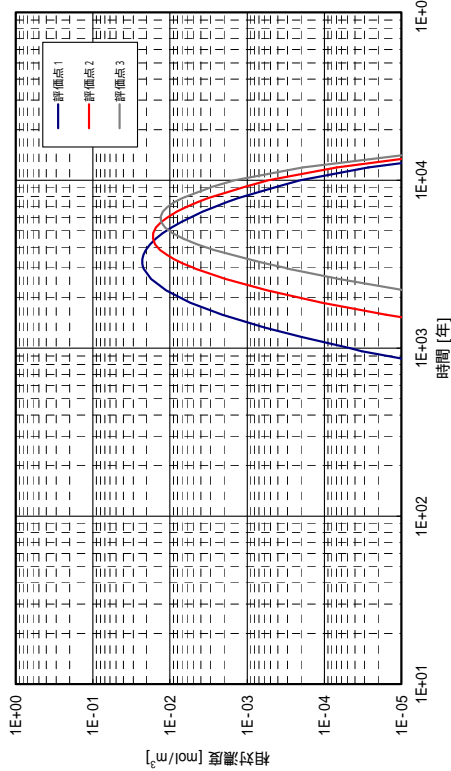
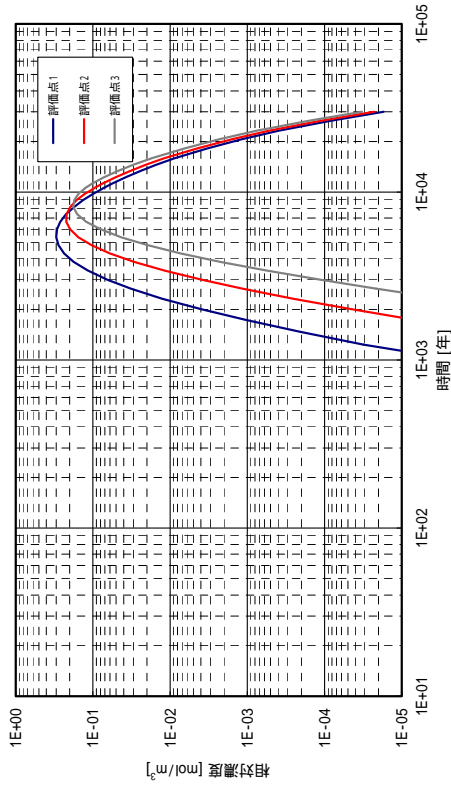


図4-3 計算結果の経過時間依存 (レファレンスケース)

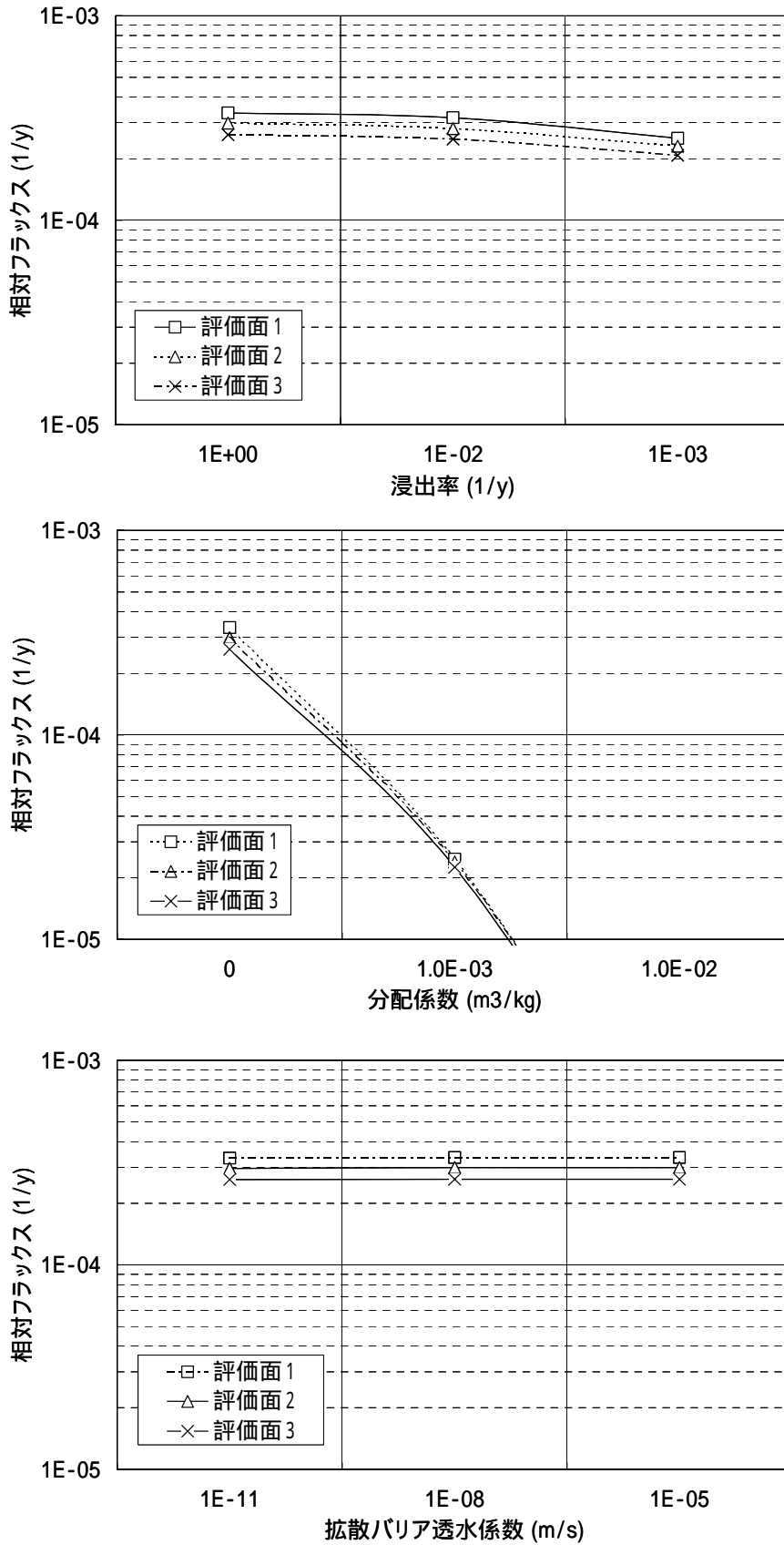


図4-4 感度解析結果例(側面ケース)

4.4 課題の抽出と解決策の検討

以上の調査および評価結果を総合的に検討し、硝酸およびほう素を含むTRU廃棄物の処分に関する今後の課題を抽出・整理するとともに、それらの解決策について検討した。

【シミュレーション・モデル信頼性の向上】

今回実施したシミュレーションのモデルは、2次元物質移行解析コード「AZURE」を用いて計算した。パラメーターは、透水係数、粒子密度、間隙率、分配係数、拡散係数、などである。これらを用いて、窒素、ほう素の挙動解析について基本的な検討を行ったものである。

既存の土壌中の窒素のシミュレーションでは、畑・森林など比較的土壌の浅い場所を対象としたモデルの検討がなされている。なかには、硝酸性窒素、亜硝酸性窒素、アンモニアなどの変化を考慮したモデルもある。

シミュレーション・モデルのパラメータ決定に際しては、硝酸の化学変化を考慮せず安全側の数値が用いられているが、さらにモデルの信頼性を向上させるには、脱窒速度を深度別に定めるなどの相変化も取り入れたより現実的な検討が重要である。

また、ほう素については、土壌中の挙動をシミュレーションした事例は現在まで収集できなかったが、窒素化合物のように相変化をすることがないので、地下水挙動解析の手法の適用が可能である。

【化学物質チェックリストの整備】

TRU 廃棄物処分は、放射性廃棄物処分の法制度に則して実行されるが、産業廃棄物処分の観点からの環境配慮も必要である。

つまり、プラスチック固化体からはプラスチック素材に含まれる安定剤に由来する環境ホルモン物質の持続的な溶出や、廃棄物からの二次汚染、副生物の生成なども考えられる。

そこで、廃棄物の種類ごとに具体的な環境配慮事項を前もって整備し、ガイドラインとしてまとめておくことが重要となってくる。処分に際しては、このガイドラインを作業員への周知徹底させることによって「環境にやさしい」事業の推

進を図ることが可能となる。

【硝酸及びほう素の化学的挙動に関する検討】

本研究では、化学物質の環境中の挙動に関する調査を実施した。その結果、硝酸は嫌気性環境下においてバクテリア、菌類等により脱窒され、窒素まで分解されることがわかった。また、ほう素についてもカルシウムと結合し、沈殿を生じることが示唆されている。このことより、帯水層などの希釈水量が十分に見込めないサイトの場合では、これらの挙動を評価に取り込むことにより化学物質の影響をより現実的に評価でき、合理的な処分施設概念を構築できると考えられる。しかしながら、現状ではこれらの微生物分解等についての知見は定量的な評価において考慮するまでには至っていない。そのため、今後はより詳細な調査を行うとともに、挙動のモデル化および予備的な解析を実施することが必要であると考えられる。

5. 研究計画の策定

ここでは、本研究での検討結果を踏まえて、今後解決すべき課題を抽出し、将来の処分事業が円滑に進めるために必要な研究計画を策定する。なお、研究計画策定においては、全体計画を検討すると共に、各課題に対する解決方法、試験項目、試験実施内容および試験スケジュール等について整理する。

5.1 余裕深度処分の適合性検討

本研究において対象とする廃棄体について、技術的な観点から余裕深度処分の適合性を判断するためには、以下の項目について検討する必要がある。

- ・地下水移行シナリオ
- ・接近シナリオ
- ・化学物質の影響

このうち、地下水移行シナリオについては、本研究の「合理的な処分システム仕様及び地層環境条件の検討」において、核種移行評価の感度解析を行い、目標線量を充分に下回るための人工バリアおよび天然バリアに関する十分条件を明らかにした。その結果、感度を有するパラメータのうち、いくつかのパラメータに対しては今後検討する必要のあるものの、人工バリア条件および天然バリア条件ともに、全ての対象廃棄体に対して余裕深度処分が可能である見通しが得られた。

また、化学物質の影響に関しても、「環境影響評価に係る検討」において、ある程度の希釈水量が確保できるサイトであれば、対象廃棄体に含有される化学物質である硝酸性窒素及びホウ素による環境への影響は小さく抑えられることがわかった。

また、接近シナリオについてもボーリングコア観察シナリオに対して被ばく評価を実施し、その結果全ての廃棄体において ICRP Pub. 81 (ICRP, 1998) での介入レベルである 10 mSv/y ~ 100 mSv/y 以下に収まる見通しが得られた。

今後は、本研究によって整理された核種移行解析に対する影響事象に関する検討課題を解決する必要がある。また、本検討では目標線量を満足するための十分条件が抽出されたが、人工バリア構成が非常に強固となったため、この処分概念をそのまま適用することは経済性の観点からは適当ではない。よって今後は、より合理的な処分システムを

構築するための検討が必要であると考えられる。

5.2 今後の研究計画

本検討では、「合理的な処分システム仕様及び地層環境条件の検討」及び「F E Pの再整理及び安全評価シナリオの検討」の結果得られた重要パラメータに対する影響事象のうち課題とされたものに対して、研究計画を策定した。研究項目は以下のとおりである。

- ・プラスチック固化体の溶出試験（JNC 殿独自の課題）
- ・アスファルト固化体の溶出試験（JNC 殿独自の課題）
- ・ROBE 固化体の固化方法に関する検討（JNC 殿独自の課題）
- ・コンクリート部の劣化に関する検討
- ・緩衝材の透水性上昇に関する検討
- ・ROBE 固化体における C-14 の分配係数確認試験（JNC 殿独自の課題）
- ・ガス影響に関する検討
- ・天然バリアの変動事象影響に関する検討
- ・生物圏評価における変動事象影響に関する検討

また、それぞれの研究計画を 1 件 1 葉にしてまとめた。本研究計画には、以下の項目を含む。

- ・研究の目的および課題の解決方法
- ・研究項目
- ・研究内容
- ・研究スケジュール

6. おわりに

本研究では、核燃料サイクル開発機構の再処理工場から発生するアスファルト固化体、プラスチック固化体及びROBE固化体について、余裕深度処分への適合性を検討した。

検討では、まず、対象廃棄体の性状について整理し、安全評価に係るFEP (Features, Events and Processes)を見直した。次に、地下水移行シナリオについて感度解析を行い、線量に対して感度の高いパラメータについて、目標線量を下回るための人工バリアおよび天然バリアに関する十分条件を明らかにした。さらに、感度解析の結果及びFEP辞書を利用して安全評価上重要となる事象を抽出した。その結果、今後検討する必要がある課題もいくつか存在するが、人工バリア条件および天然バリア条件ともに、全ての対象廃棄体に対して余裕深度処分が可能である見通しが得られた。

また、対象廃棄体中に含まれる硝酸およびほう素の化学物質としての環境への影響について文献調査を行い、処分場からの化学物質の移行量を予備的な解析により評価し、処分適合性を検討した。その結果、ある程度の希釈水量が確保できるサイトであれば、対象廃棄体に含有される化学物質である硝酸性窒素及びほう素による環境への影響は小さく抑えられることがわかった。

最後に、上記検討を踏まえ、対象廃棄体を浅地中処分可能とするために必要な今後の研究計画を策定した。今後はこれらの研究計画を実施する必要がある。また、性能評価の観点のみではなく、経済性の観点等からの検討も重要であると考えられる。

7. 謝辞

本研究においては、TRU 核種を含む放射性廃棄物の余裕深度処分の評価において、「安全評価上考慮すべき影響因子」の抽出を行っている。この抽出に際しては、電力共通研究「TRU 廃棄物処分における安全評価シナリオの体系化に関する研究（H10～H11）」の成果の一部を利用した。上記電力共通研究の成果の利用をご許可くださった電力共通研究参加会社の北海道電力（株）、東北電力（株）、東京電力（株）、中部電力（株）、北陸電力（株）、関西電力（株）、中国電力（株）、四国電力（株）、九州電力（株）、日本原子力発電（株）、日本原燃（株）の各社殿に深く感謝いたします。

8. 参考文献

“ T R U 廃棄物処分概念検討書 ”、JNC TY1400 2000-001, TRU TR-2000-01 (2000)

“ 核種移行解析の網羅性の確認・評価 (その 2) ”、JNC TJ8400 2000-033 , (2001)

電力共通研究 : “ T R U 廃棄物処分のシナリオ体系化に関する研究 (最終報告書) ”
(2000)

ICRP : “Radiation Protection Recommendations as Applied to the Disposal of
Long-lived Solid Radioactive Waste”, ICRP Publication Volume 28 No.4,
Pergamon Press, Oxford (1998)