

2001-015



## 分配係数の測定条件に関する アンケート調査

2001年5月

武部 慎一・木村 英雄・松鶴 秀夫・高橋 知之\*・保田 浩志\*  
内田 滋夫\*・馬原 保典\*・佐伯 明義\*・佐々木規行\*・芦川 信雄\*  
小崎 完\*・上田 真三\*・矢島 達哉\*・野下 健司\*・西 高志\*  
大野 拓郎\*・豊原 尚実\*・金子 昌章\*・雨夜 隆之\*・本山 光志\*

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。  
入手の問合せは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越し下さい。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布を行っております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 〒319-1195, Japan.

## 分配係数の測定条件に関するアンケート調査

日本原子力研究所東海研究所安全性試験研究センター燃料サイクル安全工学部

武部 慎一・木村 英雄・松鶴 秀夫・高橋 知之<sup>\*1</sup>・保田 浩志<sup>\*2</sup>・内田 澄夫<sup>\*2</sup>

馬原 保典<sup>\*3</sup>・佐伯 明義<sup>\*3</sup>・佐々木 規行<sup>\*4</sup>・芦川 信雄<sup>\*5</sup>・小崎 完<sup>\*6</sup>

上田 真三<sup>\*7</sup>・矢島 達哉<sup>\*7</sup>・野下 健司<sup>\*8</sup>・西 高志<sup>\*8</sup>・大野 拓郎<sup>\*9</sup>

豊原 尚実<sup>\*10</sup>・金子 昌章<sup>\*10</sup>・雨夜 隆之<sup>\*11</sup>・本山 光志<sup>\*11</sup>

(2001年 2月 23日 受理)

分配係数は環境中における核種の移行挙動を評価するための様々な移行モデルに用いられており、原子力施設の環境影響評価上極めて重要なパラメータである。分配係数の標準的な測定方法の提案に役立てる目的でアンケート調査を実施した。

本報告は、国内の各研究機関における、試料の採取方法や保管、前処理方法、試料の物理化学的特性に関する分析項目、並びに分配係数測定方法とその条件等についてアンケート調査した結果をまとめたものである。

---

東海研究所：〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4

|                |                       |
|----------------|-----------------------|
| + 計画調査室        | * 6 北海道大学大学院          |
| * 1 京都大学原子炉実験所 | * 7 三菱マテリアル株式会社       |
| * 2 放射線医学総合研究所 | * 8 株式会社日立製作所         |
| * 3 電力中央研究所    | * 9 ニュークリアディベロプメント(株) |
| * 4 日本原燃株式会社   | * 10 株式会社東芝           |
| * 5 九州環境管理協会   | * 11 日揮株式会社           |

Questionnaire on the Measurement Condition of  
Distribution Coefficient

Shinichi TAKEBE, Hideo KIMURA, Hideo MATSUZURU <sup>+</sup>, Tomoyuki TAKAHASHI <sup>\*1</sup>,  
Hiroshi YASUDA <sup>\*2</sup>, Shigeo UCHIDA <sup>\*2</sup>, Yasunori MAHARA <sup>\*3</sup>, Akiyoshi SAEKI <sup>\*3</sup>,  
Noriyuki SASAKI <sup>\*4</sup>, Nobuo ASHIKAWA <sup>\*5</sup>, Tamotsu KOZAKI <sup>\*6</sup>, Shinzo UETA <sup>\*7</sup>,  
Tatsuya YAJIMA <sup>\*7</sup>, Kenji NOSHITA <sup>\*8</sup>, Takashi NISHI <sup>\*8</sup>,  
Takuro OHNO <sup>\*9</sup>, Masumitsu TOYOHARA <sup>\*10</sup>, Masaaki KANEKO <sup>\*10</sup>,  
Takayuki AMAYA <sup>\*11</sup> and Mitsushi MOTOYAMA <sup>\*11</sup>

Department of Fuel Cycle Safety Research  
Nuclear Safety Research Center  
Tokai Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received February 23, 2001)

The distribution coefficient is used for various transport models to evaluate the migration behavior of radionuclides in the environment and is very important parameter in environmental impact assessment of nuclear facility. The questionnaire was carried out for the purpose of utilizing for the proposal of the standard measuring method of distribution coefficient.

This report is summarized the result of questionnairing on the sampling methods and storage condition, the pretreatment methods, the analysis items in the physical/chemical characteristics of the sample, and the distribution coefficient measuring method and the measurement conditions in the research institutes within country.

Keywords : Distribution Coefficient, Radionuclides, Parameter,  
Questionnaire, Standard Method, Measurement Condition

- 
- + Planning and Analysis Division
  - \* 1 Research Reactor Institute, Kyoto University(KURRI)
  - \* 2 National Institute of Radiological Science(NIRS)
  - \* 3 Central Research Institute of Electric Power Industry(CRIEPI)
  - \* 4 Japan Nuclear Fuel Limited(JNFL)
  - \* 5 Kyushu Environmental Evaluation Association(KEEA)
  - \* 6 Hokkaido University
  - \* 7 Mitsubishi Materials Corporation(MMC)
  - \* 8 Hitachi , Ltd.(HITACHI)
  - \* 9 Nuclear Development Corporation(NDC)
  - \* 10 Toshiba Corporation(TOSHIBA)
  - \* 11 JGC Corporation(JGC)

## 目 次

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 1.はじめに.....                    | 1  |
| 2.経緯.....                      | 1  |
| 3.調査概要.....                    | 3  |
| 3.1 調査内容.....                  | 3  |
| 3.2 調査方法.....                  | 5  |
| 4.結果及び考察.....                  | 6  |
| 4.1 試料採取・調達方法等について.....        | 6  |
| 4.2 試料保管、前処理方法等について.....       | 9  |
| 4.3 試料の分析項目等について.....          | 11 |
| 4.4 分配係数の測定方法等について.....        | 12 |
| 5.まとめ.....                     | 18 |
| 6.あとがき.....                    | 19 |
| 謝辞.....                        | 19 |
| 参考文献.....                      | 20 |
| 【付録】                           |    |
| 付録1：分配係数の測定条件等に関するアンケート調査..... | 35 |
| 付録2：分配係数に関する勉強会での意見.....       | 78 |

**Contents**

|  |    |
|--|----|
| 1. Introduction.....                                   | 1  |
| 2. Details.....  | 1  |
| 3. Outline of Investigation.....                       | 3  |
| 3. 1 Contents of Investigation.....                    | 3  |
| 3. 2 Investigation Methods.....                        | 5  |
| 4. Result and Discussion.....                          | 6  |
| 4. 1 Sampling and Supply Method.....                   | 6  |
| 4. 2 Sample Storage, Pretreatment Method.....          | 9  |
| 4. 3 Analysis Item of the Sample.....                  | 11 |
| 4. 4 Measuring Method of Distribution Coefficient..... | 12 |
| 5. Conclusion.....                                     | 18 |
| 6. Afterward.....                                      | 19 |
| Acknowledgment.....                                    | 19 |
| References.....  | 20 |

**[Appendix]**

**Appendix-1.**

|   |    |
|---|----|
| Questionnaire on the Measurement Condition of Distribution Coefficient .. | 35 |
|---|----|

**Appendix-2.**

|  |    |
|--|----|
| Opinions of the Study Meeting on the Distribution Coefficient..... | 78 |
|--|----|

## 図目次

|      |                              |    |
|------|------------------------------|----|
| 図-1  | 試料の採取方法                      | 22 |
| 図-2  | 試料の採取状態                      | 22 |
| 図-3  | 試料保管方法（対象試料と保管雰囲気）           | 23 |
| 図-4  | 各バリア材の試料前処理状況／頻度             | 23 |
| 図-5  | 土壤の粒径区分の比較                   | 24 |
| 図-6  | 天然バリア材に関する地質特性の分析項目について      | 24 |
| 図-7  | 人工バリア材の調整に関する分析項目について        | 25 |
| 図-8  | 各バリア材の物理的特性に関する分析項目について      | 25 |
| 図-9  | 各バリア材の化学的特性に関する分析項目について      | 26 |
| 図-10 | 地下水及び溶出平衡水の化学的特性に関する分析項目について | 26 |
| 図-11 | 各バリア材の平衡水の作成にかかるV/M比について     | 27 |
| 図-12 | 各バリア材に対する実験容器材料について          | 27 |
| 図-13 | 各核種に対する実験容器材料について            | 27 |
| 図-14 | 各バリア材によるバッチ実験容器容量について        | 28 |
| 図-15 | 各バリア材に対するカラム材質について           | 28 |
| 図-16 | 各バリア材に対するカラム寸法について           | 29 |
| 図-17 | 各実験方法における試料重量Mについて           | 29 |
| 図-18 | 各実験方法における試料液量Vについて           | 30 |
| 図-19 | 各実験方法におけるV/M比について            | 30 |
| 図-20 | 実験に使用する放射性水溶液の初期濃度について       | 31 |
| 図-21 | 実験に使用する溶液の種類について             | 31 |
| 図-22 | 各実験方法における接触時間について            | 32 |
| 図-23 | 各バリア材に対する振盪方法について            | 32 |
| 図-24 | 対象地層毎の設定温度について               | 33 |
| 図-25 | 各バリア材に対する固液分離方法について          | 33 |

This is a blank page.

## 1. はじめに

原子力施設等から発生する放射性廃棄物の処分における安全評価においては、各種の環境パラメータの他に、放射性核種の地中移行に関する吸着パラメータとして分配係数(Distribution Coefficient)が広く利用されている。しかし、この安全評価に用られる分配係数値の与え方等<sup>1)-4)</sup>については、各元素毎に固有な値を与えるのかあるいは範囲を与えるのか<sup>5)</sup>、確率論的解析値を与えるのか<sup>6), 7)</sup>、核種の化学的特性に応じて分類した値を与えるのか<sup>8), 9)</sup>、多様化した放射性廃棄物の埋設処分の安全評価への適用方法については、今だ議論されている状況である。

この分配係数に関して国内外ともに様々な論文が報告されているが、放射性核種の溶存状態や吸着媒体の特性、種類、水質、環境雰囲気、各種測定条件等の因子の影響を受けることから、報告された分配係数値をそのまま利用することは難しい。そのため試料の特性や測定条件等の比較可能な条件を選定した上で、統計的な処理を施さなければならない。

この分配係数の測定に関して、ある程度標準な測定条件によって実施<sup>10)</sup>されるならば、各研究機関で得られたデータの相互比較が可能となる。また、処分場における各種環境因子の変動幅が想定されるならば、処分場における各種バリア材(天然バリア及び人工バリア)の大まかな分配係数の値や範囲等が推定でき、処分システムにおける事前安全評価等に有効に利用することが可能となる。特に、超長期の安全評価上重要となるC-14, Tc-99, I-129, TRU核種等の長寿命核種については、測定可能な国内施設・設備、場所も限られ、数少ない国内データを有効に利用するためにも、相互比較できないようなデータの収集は極力避けることが、時間的にもコスト的にも必要である。このように、国内における数少ないデータをより有効に活用するためにも、また、実施している測定手法の適切さを判断する手段としても、合理的で且つ標準的と考えられる測定条件についての検討が必要である。

ここでは、国内データの有効利用、関係機関との相互比較、測定手法の適正判断が行えるような合理的且つ標準的と考えられる測定条件等について検討するため、国内研究機関等における測定担当者あるいは経験者、並びに分配係数を利用する評価関係者等にアンケート調査を実施した。

このアンケート調査では、測定試料の採取方法から保管方法、前処理方法、試料の物理／化学的特性等の分析項目や実際のKd測定条件等々について、各項目毎に詳細に、自由に意見等を記入して頂いた。以下に、本アンケート調査に至るまでの経緯及び調査の概要、並びに調査結果等について報告する。

## 2. 経緯

放射性廃棄物処分施設に関する安全評価に用いる分配係数測定方法と利用方法等の調査研究を通して、標準的方法論を提言することを目的に、環境中における放射性核種の移行、安全評価における分配係数の利用、分配係数測定方法の現状と問題点、分配係数の測定例などについて、環境放射能研究委員会内に設けられた安全評価用パラメータ検討WG<sup>11)</sup>により文献調査を行い、「分配係数の測定法及び利用法」<sup>12)</sup>として取りまとめるとともに、各研究機関の協力の下に「分配係数

に関する相互比較実験」をこれまでに6回にわたって実施した。第1回から第5回までは、各測定条件、物理化学的要因等に関する検討を参加4機関（放射線医学総合研究所、九州環境管理協会、三菱マテリアル、日本原子力研究所）にて実施した。また、第6回の相互比較実験には、放射線医学総合研究所、北海道大学大学院、九州環境管理協会、三菱マテリアル、日立、三菱重工、東芝、日揮、日本原子力研究所の9研究機関における実験者20名が参加した。以下に第1回から第6回までの実験内容を簡単に示す。

第1回実験では、測定対象試料を定め、各測定機関に試料を配布し、大まかな測定条件等を決め、これまで各研究機関で実施してきた測定機材、器具類を使用し、それぞれ各研究機関の測定方法に従って実施した後、測定値を持ち寄り、各機関で得られた測定値の比較を行った。その結果、各研究機関間で数倍からおよそ1オーダー以上の測定値の違いが生じていた。そこで、それぞれの測定条件についてさらに細かく調査を進めた結果、実験溶液のpHやECなど液性による差異が大きく測定値に影響していることが推察された。

第2回実験では、これら液性について可能な限り同じように調整することを試みた結果、各研究機関間で比較的安定した値が得られ、対象核種間の測定値の大小関係はほぼ同じ傾向を示したが（Cs-137 > Co-60）、各研究機関間の測定値の差は依然として大きく、数倍の差が生じていることが判明した。

第3回実験では、測定試料の不均一性などに着目し、配布した試料を回収し、さらに、それを再分割し、再度関係機関に配布し直す等、測定試料のクロスチェックを試みた。しかし、測定値の差は第2回実験結果とほぼ同じ傾向を示した。この結果から、測定試料における不均一性や試料の輸送方法、保管状態などによる影響はあまり大きくないことなどが推察された。

第4回実験では、実験に関する実験機材を可能な限り統一して、1機関で使用している実験機材を他の研究機関に配布して実験することとした。その結果、これまでの実験結果とは異なり、比較的近い安定した測定値が各研究機関より報告された。これらの結果から、測定機材による影響がこれら測定値の差異を生じさせていることが推察された。そこで、各機関が使用している実験機材について再検討した結果、実験容器の材質は同じであっても、その容器の形状が異なっていることが原因ではないかと推察された。

第5回実験では、容器の形状の違いや材質の違い、容器表面処理の影響、容器の振盪状況の影響等について実験的検討を行った。その結果、対象とした核種（Co-60, Cs-137等）においては、容器の材質やその表面処理による影響は小さく、容器形状による差異、つまり、容器の形状の違いによる底面積の違いが測定値に影響を与えることが確認された。

また、容器の振盪状況による影響については、振盪機による振盪とハンドシェイクによる測定値の違いを比較検討した結果、ハンドシェイクにより得られた測定値が振盪器により得られた測定値よりも絶えず大きく、容器の種類、形状、材質によらずいずれも安定した測定値が得られることが確認された。しかし、これらの測定値の変動幅は依然数倍の範囲を示していた。

第6回実験では、実験機材を可能な限り統一し、実験者の差異による分配係数測定値の変動幅について定量的な把握を試みた。その結果、実験者の違いによる変動幅は振盪条件により異なり、振盪機を使用した場合には2～3倍程度、ハンドシェイクの場合は2倍以下となることが明らかになった。

第1回から第6回までの相互比較実験における実験結果の詳細については、原研の公開レポート<sup>13-15)</sup>としてまとめられているので参照して頂きたい。

以上で相互比較実験を一次終了したが、測定された分配係数はどのような測定条件で測定されたものなのか再確認するためと、分配係数の合理的あるいは標準的と考えられる測定条件等に関する検討を行うため、国内実験関係者に本報告書末尾に示した付録1のアンケート調査を実施した。アンケート調査では、ある程度妥当と思われる標準的な測定条件や問題点など、さらに、論文などには記載されていない細かな測定操作や考え方、注意しなくてはならない問題点等について、自由に意見を書き込んで頂いた。本アンケート調査では、多くの貴重な意見が寄せられたので、アンケート調査用紙に結果及び意見をほぼ全文記入したので参照して頂きたい。

### 3. 調査概要

#### 3. 1 調査内容

本アンケート調査は、各研究機関がこれまでに行ってきの分配係数の測定方法に関するものであり、主として浅地層処分における分配係数の測定条件に主眼が置かれている。一部、還元環境雰囲気等に関する設問もあるが、深地層を対象とした測定条件については、雰囲気、酸化還元電位や還元剤等々、国内の情報がまだ少ないため、関係設問を設け、これらの考え方や問題点などの意見を記入して頂いた。

本調査は、以下に示す1)～4)の諸項目について実施した。

##### 1) 試料の採取・調達方法等について

###### 【固体試料】

- ・天然バリア試料採取方法： オープンカット/コアボーリング/標準試料購入等  
;試料状態毎(攪乱/未攪乱等)/試験方法毎
- 採取状態： 雰囲気(大気/低酸素/密封等)  
;試料状態毎(攪乱/未攪乱等)/試験方法毎
- ・人工バリア試料作成等 : 試料名/製品名/規格等; 試験方法毎
- 配合比 : 結合材/水/粗骨材/細骨材等/材齡等

###### 【液体試料】

- ・実験水採取等：河川水/雨水/井戸水/湧水/人工地下水/海水/平衡水等; 試験方法毎

##### 2) 試料の保管、前処理方法等について

###### 【固体試料】

- ・保管状態 : 保管状態(大気/雰囲気調整)  
;試料状態毎(攪乱/未攪乱状態)/バリア材毎/実験方法毎
- 乾燥状態(空気乾燥(風乾)/乾燥処理等)  
;試料状態毎(攪乱/未攪乱状態)/バリア材毎/実験方法毎
- 雰囲気(大気/低酸素(脱酸素)、還元雰囲気等)

; 試料状態毎(攪乱/未攪乱状態)/バリア材毎/実験方法毎  
温度(室温/低温(冷蔵)/冷蔵等)

; 試料状態毎(攪乱/未攪乱状態)/バリア材毎/実験方法毎

- ・前処理方法: 乾燥方法 空気乾燥/強熱乾燥(室温/低温(乾燥温度, 乾燥時間))

; 試料状態毎(攪乱/未攪乱状態)/バリア材毎/実験方法毎

粉碎(粉碎方法(ハンマー/粉碎器等)/粉碎粒度等); バリア材毎/実験方法毎  
篩い分け(篩分け粒度範囲); バリア材毎/実験方法毎

洗浄(洗浄水/水道水/蒸留水等)

; 試料状態毎(攪乱/未攪乱状態)/バリア材毎/実験方法毎

滅菌処理等(加熱滅菌/放射線滅菌等)

; 試料状態毎(攪乱/未攪乱状態)/バリア材毎/実験方法毎

#### 【液体試料】

- ・保管方法: 霧囲気(大気/低酸素/還元環境等)

- ・保管温度: 温度(室温/低温(冷蔵/冷凍等))

- ・前処理方法: 濾過処理(フィルター孔径等)、遠心分離(回転数/時間/回数等)、  
滅菌処理等(加熱滅菌/放射線滅菌等)

#### 3) 試料の分析項目等について

##### 【固体試料】

- ・試料の地質情報

天然バリア: 産地、地質年代、地層名、土壤岩石種、地下水年代、透水係数等

人工バリア: 産地、製造元、セメント/骨材等種類、水セメント比、養生方法/期間等

- ・試料の物理化学的特性

物理的性質(粒度分布、比重、密度、湿潤密度、空隙率、含水比、透水係数等)

化学的性質(pH、酸化還元電位、伝導度、共存イオン濃度、有機物量、C/N、CEC、AEC、  
粘土鉱物種及び組成)

分析のための溶出水の作成方法: 溶出水作成のためのV/M、前処理等

##### 【液体試料】

化学的性質(pH、酸化還元電位、伝導度、共存イオン濃度、有機物量、C/N、

CEC、AEC、粘土鉱物種及び組成)

#### 4) 分配係数の測定方法等について

- ・反応容器:

種類(瓶タイプ/遠心管タイプ/防瓶タイプ); 対象核種毎/バリア材毎/実験方法毎

サイズ(直径×高さ); 対象核種毎/バリア材毎/実験方法毎

材質(ガラス/ポリエチレン/ポリプロピレン/ポリカーボネイト/テフロン/塩ビ/  
アクリル等); 対象核種毎/バリア材毎/実験方法毎

容量(mL); バリア材毎/実験方法毎

- ・試料量: 固体試料M(g)/液体試料V(mL)、固液比V/M; バリア材毎/実験方法毎

## ・実験水の調整：

pH調整（購入時のR I液の希釈或いは中和調整等）

; 対象核種毎/バリア材毎/実験方法毎

核種濃度調整（購入時のR I液の実験水による希釈/蒸留水/イオン交換水/

平衡水等）; 対象核種毎/バリア材毎/実験方法毎

核種化学的濃度の調整（購入時のR I液の化学的濃度無調整、

化学的濃度調整、溶解度の考慮）; 対象核種毎/バリア材毎/実験方法毎

核種化学形調整（購入時のR I液の化学形無調整、

単体の添加など化学濃度調整等）; 対象核種毎/バリア材毎/実験方法毎

核種の混合について（单一核種による実験、混合核種による実験等）

; 対象核種毎/バリア材毎/実験方法毎

溶液内共存イオン濃度調整（購入時のR I液無調整、添加する共存イオン種/濃度、

共存イオン添加化学濃度調整等）; 対象核種毎/バリア材毎/実験方法毎

・接触時間：接触時間（h/w/m）; バリア材毎/実験方法毎

・設定温度：室温、恒温器使用時（設定温度）; バリア材毎/実験方法毎

・振盪状況：ハンドシェイク（回数、時間）; バリア材毎/実験方法毎

振盪機使用（回転/往復/上下、時間）; バリア材毎/実験方法毎

・固液分離：濾過（濾過/吸引濾過/限外濾過等/濾過孔径/分画分子量等）

; バリア材毎/実験方法毎

・放射能測定：放射線測定機器/対象核種/容器の種類、材質、容量/測定に必要な前処理

; 対象核種の放射線種毎/バリア材毎/実験方法毎

上記の各項目については、得られた測定値がどのような影響で、どのような値になったのか、ある程度、核種の収着機作（メカニズム）等が推測できるような分析項目等が列挙されている。また、各項目に関する考え方については、それぞれ設問を設け、項目1) 試料の採取・調達方法等では1問、項目2) 試料の保管、前処理方法では3問、項目3) 試料の分析項目等では4問、項目4) 分配係数の測定方法では19問、合計28問を設定し意見などを記入して頂いた。

### 3. 2 調査方法

以上のように調査項目を設定し、一般的項目については具体的な内容を記載して、○×式で記入できるように単純化を行い、各項目に関する考え方や問題点などについては記述式とした。

この調査は、本検討に参加している京都大学原子炉実験所、放射線医学総合研究所、電力中央研究所、日本原燃株式会社、北海道大学大学院、九州環境管理協会、三菱マテリアル株式会社、株式会社日立製作所、ニュークリアディベロップメント、株式会社東芝、日揮株式会社、日本原子力研究所の12機関における分配係数実験関係者、並びに総合エネルギー研究所、中央開発株式会社、(株)奥村組、大成建設(株)、原子燃料工業株式会社、住友原子力工業株式会社、三井情報開発株式会社の有識者、各研究施設において実験経験を有する放射線計測協会、原子力サー

ビス株式会社、原子力エンジニアリング株式会社等の関係者等にお願いした。

アンケート調査結果は、本報告書末尾に示した付録1に記載して提出して頂いたものの他に、電話やFAX、E-mail等により、延べ45名の関係者から意見が寄せられた。調査開始当初は、小規模な調査を計画し、ある程度内容がまとまった段階で調査票等の改訂を行い、あらためて大学関係者、関係会社等の有識者等に調査を依頼する予定であったが、予想以上のデータや意見等が得られたことから、本アンケート調査結果を報告書としてまとめた。

## 4. 結果及び考察

本アンケート調査においては、測定方法の標準化など不可能ではないか等の否定的意見から、これまでの実験データからある程度の標準的、あるいは合理的と考えられる測定条件などが決められるのではないか、また、これまでの測定条件等から合理的な測定条件が見えているのではないか等の肯定的意見も数多く寄せられている（付録1参照）。

ここでは、客観的に各項目（測定条件等）について寄せられた情報を集計して、項目毎に頻度分布等を作成し、実験者が実際に行っている測定条件やその条件の範囲、最頻度点等を明らかにするとともに、それぞれの項目に関する問題点等について検討を行う。

### 4. 1 試料採取・調達方法等について

#### 1) 天然バリア試料の採取方法

天然バリア試料（土壌、岩石、泥状試料等）の採取方法は、試料の種類（土壌岩石泥状試料など）や採取状態（攪乱状態／未攪乱状態）によらず、僅かではあるがオープンカット法>コアボーリング法>その他（標準試料の購入）の傾向が見られる（図-1参照）。また、試料の種類によらずカラム法に比べて、バッチ法を対象にした試料採取件数が多く、分配係数の測定の多くがバッチ法による測定に依存していることが推察される。

一般に、天然バリア試料の採取に当たっては、採取場所や周辺環境における地質情報等について可能な限り事前に把握し、これらの情報を基に目的にあった採取計画や採取方法を構築することが必要である。前述のオープンカット法は、採取道具や採取エリア等も小規模なもので間に合い、攪乱、未攪乱（ブロックサンプリング等）どちらの採取についても対処し易い試料採取方法といえる。分配係数の測定に関する試料採取は、浅地層土壌を対象としている場合、ほとんどこのような方法で採取されている。

#### 2) 天然バリア試料の採取状態

天然バリア試料の採取状態（攪乱あるいは未攪乱）に関する調査結果から、バッチ法の場合には攪乱状態の場合が多く、カラム法の場合には、未攪乱状態の場合が僅かに多い傾向が見受けられる（図-2参照）。バッチ法では、「未攪乱試料使用」との回答が一部見られるが、これは「未攪乱状態で採取した試料を試験開始直前に処理／調整して使用する」と言う意味で記入され

たものであり、基本的には全て攪乱試料（所定の前処理等を行った試料）が使用されている。これは、浅地層試料の雰囲気等をできるだけ壊さないように「測定直前に処理する」との配慮によるものである。

カラム法では、攪乱状態で採取した試料を処理／調整した後、カラムに所定の充填率で充填して使用する場合と、未攪乱状態で採取した試料を直接使用する場合等、実験目的に応じて使い分けられている。例えば、試料の構造的な変化に影響を受けるような項目（拡散係数、透水係数、酸化還元電位等）については未攪乱状態での採取が必要である。

このように試料の採取状態（攪乱／未攪乱）については、雰囲気の影響を考慮する場合には、未攪乱状態で採取し、実験開始直前に試料を調整するか、試料採取後、長期間の保存はできるだけ避け、適宜実験を実施することが必要である。また、現地の地質状況を再現するため、還元性雰囲気下での実験が必要となる場合には、試料の採取方法から採取状態、保管状況等、採取時の雰囲気やその雰囲気を保持するための還元剤等も問題となる。これらのことについても、確定された方法がなく、今後の検討課題でもある。

### 3) 採取試料数について

採取試料数に関する項目はアンケート調査には示さなかったが、設問(1-1)に試料数に関する意見が示されている。処分地層の評価において、どの程度の試料数が必要か等について基本的な考え方方が定められている訳ではなく、処分場の地質、評価すべき面積、周辺の状況等により採取する試料数は異なる。試料数を可能な限り多く採取できれば良いが、時間的、予算的にも必要十分な試料を採取できる場合は非常に少ない。

放射性廃棄物の処分に関して広域的な地質を評価した例としては、国内では原研における極低レベルコンクリート廃棄物の埋設実地試験<sup>16), 17)</sup>と六ヶ所埋設センターにおける安全評価のための地質調査<sup>4)</sup>の2件が上げられる。

原研における埋設処分地の地質調査面積（北地区）はおよそ60万m<sup>2</sup>、総ボーリング数42本、1ボーリング当たりの面積は1.4万m<sup>2</sup>となり、単純に計算しておよそ120m間隔で縦横にボーリングが行われたことになる。また、六ヶ所の場合には、総面積約340万m<sup>2</sup>、総ボーリング数296本、1ボーリング当たりの面積は1.1万m<sup>2</sup>となり、およそ100m間隔で縦横にボーリングが行われたことになる。このように、どちらの場合も、およそ100m間隔に縦横にボーリングが行われ、地質の評価が行われたことが分かる。

また、建設土木関係における地盤調査においては、工事の種類や土層の均一性などに関して経験的ボーリング間隔の目安が示されている<sup>18)</sup>。鉄道道路などの地質調査では、「土層が均一な場合」：500m、「普通の場合」：200m、「不規則の場合」：50m間隔にボーリングが予定される。フィルダムでは「普通の場合」：100m以内、「土取り場等」では「均一な場合」：300-150m、「普通の場合」：150-50m、不規則な場合：50-15m間隔である。当然、地層の状況により判断されることであるが、この六ヶ所埋設センターと原研における2つの処分場のケースでは、「土層が普通」の場合の目安に良くあっている。比較的広範囲な地層を調査する場合のボーリングの数については、このようなところが一応の目安になっているものと考えられる。

これらボーリングによって得られた土壤試料に対して、安全評価のために測定された分配係数の測定試料数について見ると、原研では、各核種（Co, Sr, Cs, Ni, Cl, Ca, Eu,  $\alpha$ 核種（Am））とともに37点、少し粗い計算となるが単純にボーリングの数で割ると、1ボーリング当たり約1点の試料が分配係数の測定に使用されていることになる。また、六ヶ所の場合では、Co, Sr, Cs, Niについては、天然バリア試料（砂岩、凝灰岩、土壤等）合計487点、これも粗い計算になるが単純にボーリングの数で割ると、1ボーリング当たり約2点の試料が分配係数の測定に使用されたことになる。その他の核種（Nb, Tc, I, C,  $\alpha$ 核種等）については、ボーリングの数に対してほぼ1割程度の試料を対象に測定されているようである。このように地質調査のためのサンプリング試料全量を分配係数の測定に使用している訳けではない。放射能測定の容易な $\gamma$ 核種については全体的な核種の吸着特性を評価するため、ある程度多くのデータが収集されており、これに対して $\beta$ 核種や $\alpha$ 核種については、測定の困難さや取り扱い場所の制約等から、あまり多くのデータは収集されていない。特に $\alpha$ 核種については、国内における実験可能な施設も少なく、実験データも非常に少ない。

分配係数の測定試料数としては、1地点当たり1～2試料という傾向が見受けられる。時間的、予算的にも余裕が有れば、十分な試料数による繰り返し測定等も行えるが、限られた時間、予算内では大変難しい問題である。この測定試料数については、特に定められた考え方に基づいている訳ではなく、放射能測定の精度や再現性等を考慮して、実験者により適宜決定されている。

例えば原研では、経験的ではあるが1試料／1条件当たり最低3～10個のデータに基づいて1点を現わすようにしている。特に、測定試料数等は記述されている公開論文は非常に少なく、「分配係数値」しか示されていないものが多々見受けられる。また、実験値についてどのような数学的処理が行われたのか不明な場合が多く、可能な限り数値の処理方法などについても明示しておくことが望ましい。さらに、試料採取方法に関する設問(1-1)の意見にも見られるように、分配係数の標準的な測定方法に関して測定手法の適切さを確認するという意味合いからも、標準的な試料等についての検討も必要である。

#### 4) 人工バリア材について

人工バリア材としては、コンクリート材料（セメント、粗骨材、骨材等）、コンクリート等、ペントナイト等（充填剤）、その他（樹脂、吸着剤等）が対象となる。これらは、既製品を使用しているケースが大部分である。既製品についてはJIS等の品質管理に従い、品質は所定の範囲に管理されている。セメントについては、モルタルの強度試験等においても特定の製品は指定されておらず、セメントの種類としてJIS-R 5210-1997<sup>19)</sup>に規定されている「ポルトランドセメント」を基本としている。したがって、セメント原材料の基本としてはポルトランドセメントが適切と思われる。

また、セメント原料は天然のものであり、品質管理はされてはいるものの各製造工場毎で化学的組成等のバラツキ等も指摘されていることから、分配係数の測定のような化学的実験等を実施する場合には、可能な限り同一時期に製造された材料による実験を継続して実施することが望ましい。

骨材（粗骨材、細骨材等）については、JIS-A1804(1999)「骨材のアルカリシリカ反応性試験

方法（迅速法）」<sup>20)</sup>に「粒径やアルカリシリカ反応が起こらないことを確認された材料を使用すること」と示されており、建築土木においては施工現場付近において入手可能なものが使用されることから、コンクリートの製造時には、地域に特有な骨材（天然材料）が使用される。したがって、標準的な骨材を定めることは難しいものと考えられる。これに対して、コンクリート試料の製作方法については指針等が示されており、コンクリートの強度試験のために設定された JIS-A 1132-1999 「コンクリートの強度試験用供試体の作り方」<sup>21)</sup>等を参考にすることも可能である。ここには、細骨材の国際基準として、標準砂（ISO 基準砂）について示されている。標準試料として明確なものは、この細骨材としての ISO 標準砂のみである。また、ベントナイトについては、モンモリロナイトを主成分とする粘土の名称であることから、粘土鉱物として市販されているモンモリロナイトを標準として使用することも考えられる。このような標準試料については、関係者による議論は進められているが実現には至っていないのが現状である。

#### 4. 2 試料保管、前処理方法等について

##### 1) 試料の保管状況について

固体試料（天然バリア材及び人工バリア材）の保管方法としては、一般的な環境試料と同じように、ほとんど室内／室温で保管されている（図－3 参照）。直射日光が当たらない冷暗所或いは冷蔵庫（低温）で保管されている場合は少なく、泥状試料のように微生物活性が予想されるような試料については冷蔵保管されている。人工バリア材としてのセメントモルタルやコンクリート試料の場合、試料作成（脱型）後、固体状態のまま大気雰囲気（室内室温）で保管され、実験開始前に粉碎／篩分け等の処理が行われている。

試料保管の雰囲気については、浅地層土壤、岩石、人工バリア材とともに、ほとんど大気雰囲気下で保管されている（図－3 参照）。未攪乱状態で採取された天然バリア材料（浅地層土壤等）では、パラフィンコーティング等の水分飛散防止対策が施され保管されているケースがあるが、これも大気雰囲気下での保管である。また、試料の雰囲気を維持するため脱酸素剤を使用した、低酸素雰囲気で密封保管しているケースも僅かではあるが見受けられる。

##### 2) 試料の前処理方法について

固体試料の前処理方法としては、乾燥、滅菌、洗浄、粉碎／篩い分け等が考えられる（図－4 参照）。

乾燥処理については、乾燥器による乾燥と大気雰囲気における風乾による処理は、ほぼ半々である。乾燥器を使用した乾燥については、天然試料を対象としていることから、一般の化学分析における強熱乾燥（110℃）は約1割以下と少なく、比較的低温で水分を飛散させる程度の乾燥が大気雰囲気（空気乾燥（風乾））で行われている。これは JIS-A 1210<sup>22)</sup> や土質試験法<sup>23)</sup> 等に示された浅地層土壤の処理方法にしたがっているためである。

滅菌処理については、天然バリア材、人工バリア材ともに全く行われていない（図－4 参照）。土壤などで含水比を求める際に、110℃で乾燥処理することはあるが、強熱乾燥による滅菌が目的ではなく乾燥或いは水分率の測定等が目的である。また、γ線等による生物学的な滅菌などの措

置は今のところほとんど考えられていないのが現状である。泥状試料やグライ土のような土壤では、硫酸還元菌などの影響により土壤の雰囲気、pH、Ehなども大きく変化することから、微生物に関する検討を進める際には、何らかの処理方法（対策）が必要になるものと考えられる。

洗浄処理については、土壤、泥状試料等ではほとんど実施されていないが、岩石の場合において一部実施されている（図-4参照）。岩石の洗浄については、硬岩の場合で組成などの変質が少ない場合に限られる。軟岩の場合では、固体表面の変質やイオンの溶出等、溶液中の溶存イオン組成に影響することが考えられるため、洗浄処理はほとんど行われていない。したがって、洗浄処理は試料の変質を伴う可能性があるため、好ましい処理方法ではない。

粉碎処理については、塊状試料の場合にはある程度の粉碎が行われている（図-4参照）。粉碎粒径は、土壤、岩石等では2mm以下、人工バリア材セメント系材料では5mm以下に分布しているが、粉碎粒径に関しても定まった考え方が示されている訳ではない。この粉碎処理の利点は、試料の均一性が確保できるところにある。しかし、粉碎粒径が細かくなればなるほど単位重量当たりの表面積は増大するため、単位重量当たりの核種の吸着量も増大し、単位重量当たりで示されている分配係数が大きくなる傾向を示す。したがって、ある程度の粉碎粒径を定めなければ、分配係数の値はオーダーで変化することになる。このような物理的な表面積の変化に加えて、粒径を細かくすることで、水層へのイオンの溶出状況の変化等を伴う場合もある。したがって、合理的な粉碎粒径の設定が必要である。

篩い分けについては、粉碎処理に比較して、かなり細かい篩い分け処理が行われている（付録1参照）。岩石やセメントモルタル、コンクリートなどについては、篩い分け粒径は $5,000\mu\text{m}$ 以下で細かく分布している。また、砂質土壤のような粒径分布( $2000\mu\text{m}$ 以下)を持っているものは、各粒径分画<sup>24)</sup>により構成鉱物組成が分けられており（図-5参照）、JIS A-1204「土の粒度試験方法」<sup>25)</sup>では、 $2000\mu\text{m} \sim 74\mu\text{m}$ ：砂、 $74\mu\text{m} \sim 2\mu\text{m}$ ：シルト、 $2\mu\text{m}$ 以下：粘土鉱物と分けられている。このとき $2\mu\text{m}$ 以下の粘土鉱物の割合が多い場合には、極端に大きな分配係数値が得られることがある。これらのことから篩い分け粒径についても何らかの取り決めが必要である。

### 3) 地下水等の液体試料について

地下水等の液体試料については、天然地下水、湧水、雨水、人工地下水、平衡水等が対象となる。これら液体試料の保管状況は、腐敗、微生物の発生等を考慮して冷蔵庫による低温保管（4℃以下／大気雰囲気）が一般的である。極一部であるが密封した容器をポリエチレン袋に入れ、脱酸素材による低酸素雰囲気での保管が見受けられる。

液体試料の前処理方法については、前処理せずそのまま保管する場合と濾過などの前処理を実施している場合が見られる。前処理としては、溶存する懸濁物質の濾過による除去が行われている。使用されている濾紙は6種濾紙或いはメンブレンフィルター等である。メンブレンフィルターの濾過孔径はほとんどの場合 $0.45\mu\text{m}$ が使用されている。これは、砂質土壤などを水に懸濁させた場合、上澄み液中の懸濁物質の粒径加積分布から大部分の懸濁物質を捕捉できる孔径であることから良く使用されているものと思われる。また、長期間の保管においては、溶存する鉄の水和によるコロイドの生成や、溶存有機物（腐植物質）の変質等についても注意が必要である。

#### 4. 3 試料の分析項目等について

##### 1) 地質特性について

分配係数の測定に際して考慮すべき地質特性、試料の物理化学的特性等、事前に調べておく必要があると思われる分析項目等について、図-6～図-11にそれぞれ示す。

天然バリア試料における地質特性に関する情報については、産地や土壤種／岩石種>>地層名、地質層序>>地下水年代、地下水流向流速、地下水位>動水勾配、現場透水係数>N値の傾向が見られる（図-6参照）。また、人工バリア試料の特性については、種類（セメント、ベントナイト）、配合（水セメント比／水、ベントナイト混合比、骨材粗骨材配合比）>>製造元、養生方法、養生期間>産地の傾向が見られる（図-7参照）。

##### 2) 試料の物理化学的特性について

試料の物理的特性については、粒度分布>空隙率>比重、密度、含水比>拡散係数、透水係数>湿潤密度、pF水分曲線、破壊強度の傾向が見られる（図-8参照）。また、試料の化学的特性については、CEC、AEC、pH>溶液に関する情報（共存イオン種及び濃度）、Eh、有機物量>粘土鉱物>伝導度、C/N値、腐植組成の傾向が見られ、放射性核種の収着メカニズムを推定するために必要な項目が上げられている（図-9参照）。

##### 3) 地下水、溶出水等の化学的特性について

地下水又は溶出水に関する化学的特性については、共存イオン組成、pH、Eh、>伝導度、溶存有機物>溶存酸素、腐植組成>C/N比、懸濁物質量／組成、粒度分布>濁度の傾向が見られる（図-10参照）。これらの分析項目もまた収着メカニズムを推定するために必要な分析項目である。平衡水の作成に関して、水の量V(mL)と固体試料量M(g)の比（固液比：V/M）については、各バリア材料によらずV/M=10を最頻度点として、1～300の間に分布している（図-11参照）。特に、ベントナイトでは、吸水性による物理的な状態の変化を生じるため、V/M=100としているケースが多々見受けられる。

これらの分析項目は、分配係数の測定には直接関係するものではないが、得られた測定値の解釈と核種の収着特性等を評価する上で重要な情報となる。全ての情報を網羅的に収集しておくことは差し支えないが、最低限分析しておかなくてはならない項目をある程度定めておく必要がある。これまでの各研究機関における相互比較実験の結果やアンケート調査の結果から、必要な分析項目として以下のような分析項目が上げられ、アンダーラインを施した項目については最低限の項目として事前に測定しておくことが望まれる。

測定試料に関する情報 : 試料産地、種類、配合等

物理的特性：粒度（或いは比表面積）、比重、含水比等

化学的特性：CEC、AEC、pH、Eh、有機物、粘土鉱物等

実験水特性に関する情報：採取地、調整方法等

化学的特性：pH、Eh、共存イオン種及び濃度、溶存有機物、懸濁物質等

#### 4. 4 分配係数の測定方法等について

##### 1) 実験に使用されている容器について

バッチ法に使用されている容器材質をバリア材毎に図-12に示す。また、核種及びバリア材毎に使用されている容器材質を図-13にそれぞれ示す。

容器材質は、天然バリア材を対象にした場合ではPP（ポリプロピレン）製>>G（ガラス）製>PTFE（テフロン）製の傾向があり、人工バリア材ではG製>PP製>PTFE製の傾向が見られる。容器材質PE（ポリエチレン）やPC（ポリカーボネート）、その他（PMMA（アクリル）等）はあまり使用されていない。また、対象核種に対しては、 $\beta$ 核種における天然バリア材の場合、PP製>G製>PC製、人工バリア材の場合ではG製>PC製、また、 $\alpha$ 核種における天然バリア材の場合にはPTFE製>PP製、人工バリア材では全てPTFE製であることが分かる。これは、これまで対象としてきた $\beta$ ・ $\gamma$ 核種では、容器壁への収着も少なく、且つ放射能測定の容易性から実験数が多いため比較的安価な容器材質として、PP製或いはG製が使用されてきたためである。 $\alpha$ 核種の場合には、核種の化学形が複雑になる場合が多く、容器壁への収着が問題となる核種が多いことから、実験コストは多少高くなるが容器表面が無極性を示し収着が少ないPTFE（テフロン）製が良く使用されている。

また、バッチ法で使用されている容器容量を図-14に示す。容器容量は、 $50\text{ml} > 10\text{ml} >> 30\text{ml} > 100\text{ml}$ の傾向が見られる。特に、放射性廃棄物の発生量を押さえるため、サンプル数が多い場合は小容量の容器が使用されている。 $\alpha$ 核種の場合にはグローブボックス内で実験が行われるため、 $\alpha$ 廃棄物の発生量の低減化のため容器容量は小さく設定される傾向にある。ただ、グローブボックス内での放射線作業において、不用意な容器の小型化は取り扱い上問題となることがある。グローブを使用した放射線作業において、取り扱い容易な最小容量としては、約10ml程度ではないかと考えられる。これ以上小さくなると蓋の開閉やサンプリングなどの操作が非常にしづらくなる等、安全上の問題が生じることがある。

容器材質に関する設問(4-1)の意見の中に、核種の特性に応じて材質を決めているケースが示されており、TRU核種についてPP製で実験を行っても大きな影響は無いとの報告もあり、全ての実験をPTFE製で行う必要はないことが推察される。全ての実験をPTFE製で進めると実験コストの大部分を容器費用で占めることから、適宜対応が必要である。実験コストの面でさしつかえなければ、表面収着の少ないPTFE製容器が推奨される。

また、放射性廃棄物の低減化、減容化等を考慮すると可燃処理が可能なPP製、圧縮処理可能なG製も有効である。いずれの材料にしろ実験の際には、プランクテストを行い容器壁等への収着を確認する事が重要である。

各バリア材に対するカラム材質を図-15、カラム寸法（直径）を図-16にそれぞれ示す。カラム材質については、PMMA製>PP製>PTFE製の傾向が見られる。これは、バッチ法とは異なり、カラム特有な形状による加工性が重視されているためと思われる。カラム寸法については、 $5\text{cm} \Phi >> 2.5\text{cm} \Phi > 1\text{cm}$ ,  $30\text{cm} \Phi$ の傾向が見られ、長さは主に10cm以下が主であり、今回の調査においては原研のカラム実験( $30\text{cm} \Phi \times 120\text{cmh}$ ,  $30\text{cmh}$ )が最大である。特に、分配係数値

が大きい核種や $\alpha$ 核種についてはカラム寸法は小さくなる傾向がある。

## 2) 試料重量M、液量Vについて

分配係数の測定において使用されている試料重量M(g)及び試料液量V(ml)を図-17及び図-18にそれぞれ示す。また、試料液量V／試料重量Mの比(V/M比)を図-19に示す。

試料重量Mについては、バッチ法では、 $3g > 1g > 5g > 10g$  の傾向があり、カラム法では、 $30g > 10g > 100g > 50g > 1g$  の傾向が見られる。このようにバッチ法に比べてカラム法では、試料重量Mは1桁ほど大きい試料量が使用されている。

液量Vについては、バッチ法では、 $30ml > 10ml > 100ml > 50ml$  の傾向があり、カラム法では、特定せず $> 1000ml > 100ml$  の傾向が見られる。カラム法において、液量が特定されていないケースがあるが、これはバッチ法で得られた分配係数値が大きい核種でも地中を移行する成分が僅かに存在する場合<sup>26), 27)</sup>などがあり、一概には決められないためである。

試料重量Mと試料液量Vの最頻度点から、 $V(30ml)/M(3g)=10$ が得られる。また、V/M比の頻度分布からも $V/M=10$ の傾向が見られる。この比は、六ヶ所埋設センターの安全評価の際の分配係数測定に使用された固液比でもあり、放射線作業の容易性等からも経験的ではあるが良く使用されている値である。この値については、化学的な根拠等は示されてはいないが、これまでの経験的な値として広く利用されており、合理的且つ標準的な値として利用できるものと考えられる。また、この試料重量Mや液量Vについて、試料の均一性が担保される最小量は放射線作業における安全な取扱量から考慮すると、 $V/M=10$ の場合、およそ $M \approx 1 g$ 、 $V \approx 10 ml$ 程度と考えられる。

試料重量M(g)に関して、本調査において水分率などの項目を設定していなかったため、別途聞き取り調査を実施した。深地層を対象としている機関では、岩石や粘土鉱物を取り扱っており、M(g)は「乾燥重量当たり」で示されていることが多い。これは、粘土鉱物等では水分量により鉱物層間距離などが変形するため、実験開始前に乾燥処理等を施すためである。それに対して、浅地層を対象としている研究機関では、土壤等を取り扱っており、M(g)は空気乾燥重量(風乾重量)で示されていることが多い。

これは、土壤処理などの標準的な方法として、JIS-A 1201 T-1978 「土の粒度試験及び物理試験のための試料調整法」<sup>22)</sup>などに示される、「空気乾燥をする試料調整方法」等に準じているためである。このときの空気乾燥(風乾)とは、「常温下でそれ以上空気乾燥が進まなくなる程度に乾燥することである」と示されており、現実的には、「パレットなどに広く土壤を敷き広げ、ときどきかき回し、数日放置する」或いは「扇風機で風をあてる」、「低温乾燥器で60℃位で時々かき混ぜ、1昼夜乾燥する」等、いずれも曖昧な表現が示されている。このように土壤等を対象とする場合には、強熱乾燥による変質を避けるため空気乾燥が推奨されていることから、空気乾燥時における試料重量M(g)は水分量が含まれた値として表示されている。

これまでの浅地層土壤に関する分配係数の測定においては、砂質土壤等が使用されていることが多く、含水比が比較的少ないため(ほとんど1%以下)、空気乾燥重量Mについては水分率を補正する程の大きな問題にはならなかった。しかし、ローム質土壤、赤色土、黒ボク土、グライ土等々、多種多様な浅地層土壤を対象にして分配係数データが収集されるようになると、空気乾

燥状態での含水比が大きく異なり、非常に高い含水比のため空気乾燥重量と強熱乾燥重量は大きく異なり、 $V$ は大きく、 $M$ は小さくなることから、分配係数値は必然的に大きくなる傾向にある。

以上のことから、試料重量 $M$ の単位については「乾燥重量当たり」で表すことが必要と考えられる。このとき分配係数の単位 [ $m^3/g$ ] は、 [ $m^3/dry\ weight(g)$ ] と示すことになる。SI 単位では [ $m^3/dry\ weight(kg)$ ] 或いは [ $m^3/dry\ weight(t)$ ] と表される。

このように、試料重量 $M=乾燥重量$ については、これまで報告書等にはほとんど示されていないことから、分配係数値の利用に当たっては十分な注意が必要となる。

### 3) 放射性水溶液について

放射性水溶液の初期 pH調整について、天然バリア材を対象とするとき、pH調整をする場合としない場合のほぼ半々に分かれる。人工バリア材を対象とするときには、pH調整はほとんど行われていないのが現状である。天然バリア材の場合、材料自体の緩衝作用の強さにもよるが、若干酸性側に偏った測定値が示されている可能性がある。人工バリア材の場合は、セメントなどのように強アルカリ性を示すものについては、放射性水溶液の酸性度をある程度無視できるため、pH調整等がほとんど行われていないのが現状である。

このpH調整は、核種の初期の化学形を左右するため、核種の収着メカニズムを検討する上でも、核種の化学形を揃える意味からも重要な作業である。

放射性水溶液の初期放射能濃度については、図-20に示すように  $100Bq/m^3 > 10Bq/m^3 > 1000Bq/m^3 > 1Bq/m^3$  の傾向が見られる。最頻度点の初期放射能濃度は  $100Bq/m^3$  である。この濃度は、 $\gamma$ 核種の場合、試料の表面線量率は放射線作業における被曝線量として問題となるほどの放射線量ではないが、不用意な作業被曝を押さえるために遮蔽体等を検討する必要がある。

この他、初期放射能濃度を「特定せず」との回答が見られるが、あらかじめ初期濃度をある程度設定し、放射性核種（水溶液）を添加した場合でも、容器壁等への収着、付着、沈着等が生じ濃度が変化することから、「初期濃度として、はっきりとは決めてはいない」という意味でアンケートに記入されている。この容器壁への収着等が大きい場合には、ブランクテストの状態で核種濃度が時間とともに変化するため十分な注意が必要である。

いずれにしても核種濃度は不必要に高い必要はなく、放射能測定上必要最低限の放射能量で済むように計画を立てることが望ましい。特に、放射性物質の取扱量が放射性同位元素の使用許可申請を満足しているかどうかについては、十分な注意が必要である。

この核種濃度については、放射能濃度の他に、比放射能から計算される核種の化学的濃度についても調べておく必要がある。核種の収着については、核種自身の化学的な濃度や共存イオン濃度等が分配係数値に影響を及ぼすため、放射性核種の購入の際に添付されてくる仕様書を参考にして、溶液中の核種の化学的濃度と共存イオン濃度等について確認を行っておくことが望ましい。

また、化学的濃度が高い長寿命核種等については、溶解度より計算される濃度限度に近い濃度、或いは、より低い濃度で実験されている場合が多く、核種自信の濃度による影響についても注意が必要である。特に、 $\alpha$ 核種に関する溶解度については、現在でも明確に示されていないものも多く注意が必要である。

これらのことから、放射性水溶液に関する情報としては、核種の化学形がある程度推定可能な

項目として、放射能濃度( $\text{Bq}/\text{ml}$ )と化学的濃度( $\text{M/l}$ )、pH、Eh、共存塩の種類とその濃度等を明確にしておくことが望ましい。

#### 4) 実験水溶液について

実験に使用される水の種類を図-21に示す。実験水は、人工地下水>天然地下水>溶出平衡水の傾向が見られる。この3つの実験水には、共存イオンが存在しており、ある程度原位置の水質を再現しているものと考えられる。

実験方法で見ると、バッチ法およびカラム法ともに実験水として人工地下水が使用されているケースが多い。この人工地下水は天然の地下水とほぼ同様な共存イオン種及び濃度を化学薬品を用いてある程度再現したものであり、天然の有機物や粘土鉱物、懸濁物質やバクテリア等、水中に浮遊する天然の物質の影響を避けるために製作されたものである。

また、天然の地下水や平衡水等を実験水として使用する場合には、これら天然の懸濁物質等の影響を避けるため濾過などの前処理が行われる。この濾過処理については、ほとんど $0.45 \mu\text{m}$ のメンブレンフィルターが使用されている。

実験水に関する設問(4-9)の意見の中に、「測定しようとする試料と水が有れば、どこでも実験が可能となる実験水として平衡水が良いのではないか」等の意見が見受けられる。この平衡水を使用した場合、試料毎に共存イオン濃度も異なるが、原位置の状態を一番簡単な方法で表現しているものと考えられる。

#### 5) 接触時間について

各実験方法における接触時間については、図-22に示すように、最頻度点の接触時間は1週間であることが分かる。その傾向は、バリア材の種類によらず、1週間>1ヶ月>1日、3ヶ月の傾向を示している。この接触時間については、放射線作業における被曝や安全上からも極端に長い条件はあまり好ましくないことから、ある程度吸着平衡が確認される合理的な時間として、この1週間が設定されたものと考えられる。

##### 分配係数の測定において

では吸着平衡の確認方法をどうすべきかを考慮しないと、この接触時間も正確には決まってこない。吸着量的には十分に吸着平衡と見られる僅かな変化でも、分配係数値で示した場合、時間と共に上昇して行く傾向がしばしば観察される。

これは、 $V/M=10$ のケースで、吸着量99.9%の場合の $K_d=9990$ となり、吸着量99.99%の時、 $K_d=99990$ となるためである。吸着量的にはほとんど吸着平衡と考えて差し支えない状況でも、分配係数値として示した場合にはオーダーの変化となって現れる。放射能測定の検出限界や精度を考慮すると、吸着率としてこの4桁(four nine)の精度が限界ではないかと思われる。

放射能測定上、時間をかけなければ何らかの値を得ることが可能であるが、分配係数値が非常に大きい場合には、水中の核種濃度は極めて低く、放射能測定における誤差(計数値に対する誤差の割合)も大きくなり、大きな値あるいは大きな範囲で分配係数値がばらつくことになる。

したがって、接触時間については、吸着平衡時の放射能測定上の誤差等も合わせて考えておく必要がある。吸着平衡と考えられる状態については、数学的な値の処理の仕方等も明確に示して

おく必要があると考えられる。

#### 6) 振盪方法について

各バリア材に対する振盪方法を図-23に示す。最頻度点を示す振盪方法は、ハンドシェイクによるものであることが分かる。バリア材によらず、ハンドシェイク>往復振盪>>上下、回転の傾向が見られる。

これまで各研究機関で実施してきた相互比較測定実験の結果から、実験容器内の試料が十分に攪拌される振盪条件が確保されていれば、比較的安定な分配係数値が得られることが確認されている。したがって、このハンドシェイクによる振盪方法は、試料の攪拌方法として有効であることが分かる。ただ、放射性物質の取り扱いについて考えると、これまでの経験から汚染事故の可能性も否定できない。放射線作業上の安全性を考慮すると、ハンドシェイクはあまり推薦できる振盪方法とは言い難いものである。

振盪方法に関する設問(4-11)の意見には、試料が十分に攪拌できて、作業上も安全と考えられる方法として、ローラー式回転器が有効であるとの記述がある。いずれにしても、振盪／攪拌という操作は物理的な動きが伴うため多少の危険を伴うが、放射線事故(汚染事故)等を防ぐための方法としては、ローラー式回転器等による振盪／攪拌が有効と思われる。ただ、どのような振盪方法においても、試料が十分に攪拌されていることを確認する必要がある。

#### 7) 温度設定について

温度設定については、図-24に示すように、最頻度点を示す設定温度は室温が多いことが分かる。これは温度コントロールされていないケースである。温度コントロールされている場合の設定温度としては $25^{\circ}\text{C} > 20^{\circ}\text{C} > 15^{\circ}\text{C} > 10^{\circ}\text{C} > 50^{\circ}\text{C} > 30^{\circ}\text{C}$ の傾向にある。日本における化学実験では、室温はおよそ $25^{\circ}\text{C}$ と考えられていおり、この室温と温度コントロールの場合の頻度を合わせると、最頻度点を示す設定温度は $20\sim 25^{\circ}\text{C}$ となる。

対象地層毎に実験されている設定温度を比較すると、浅地層を対象とする場合は $10\sim 25^{\circ}\text{C}$ 、深地層を対象とする場合は $20\sim 50^{\circ}\text{C}$ であり、設定温度範囲に重なりが見られるのが $20\sim 25^{\circ}\text{C}$ である。

また、試験場所の標準状態については、JIS-Z 8703-1983「試験場所の標準状態」<sup>28)</sup>に以下のように規定されている。

標準状態の温度：「標準状態の温度は、試験の目的に応じて、 $20^{\circ}\text{C}$ 、 $23^{\circ}\text{C}$ または $25^{\circ}\text{C}$ のいずれかとする。」

標準状態の湿度：「標準状態の湿度は、相対湿度 $50\%$ または $65\%$ のいずれかとする。」

標準状態の気圧：「標準状態の気圧は、 $86\text{kPa}$ 以上、 $106\text{kPa}$ 以下とする。」

この標準状態については、「標準状態は標準状態の気圧の下で標準状態の温度及び標準状態の湿度の各1つを組み合わせた状態とする。」と示されている。

さらに、ISO-554-1976においては、試験のための標準状態を3種定め、そのうち推奨される状態は「温度 $23^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $50\%$ 、気圧 $86\text{kPa}$ 以上 $106\text{kPa}$ 以下」と示されている。

このように試験場所の標準的な温度として、いずれの場合も20℃～25℃の範囲が考えられていることが分かる。この他、ガラス器具などの容積検定に係る標準温度は20℃であったり、古い時代には15℃であったり、対象物や年代、国毎に標準的な温度の考え方がかなり異なっている。

以上のことから、分配係数の測定において標準的な実験温度を想定すると、20℃～25℃の範囲が想定される。この温度の許容差については、恒温槽等の温度コントロール機器等を使用した場合には、±1℃の温度制御は十分可能である（許容差温度1級）。また、コントロールがない室温の場合には、季節にもよるが±5℃前後（許容差温度5級）と考えられる。

化学実験における温度の影響は多くの因子に現れ（吸着量、脱離量、反応速度、pH、酸化還元電位、伝導度、溶解度等々）、色々な状態の変化をもたらすことから、実験上の誤差などを極力小さくするためには、やはり温度コントロールすることが望ましい。

#### 8) 固液分離方法について

各バリア材に対する固液分離方法を図-25に示す。バリア材によらずフィルター法が最頻度点を示す。フィルター法以外は、あまり変わらず限外濾過>遠心分離>ダイレクト（静置後分取）の傾向が見られる。この他、2つの方法を組み合わせて、数時間静置後／フィルター濾過、あるいは遠心分離後／フィルター濾過が行われている。

固液分離については、いろいろな方法が使用されているが、どこまでを固体とし、どこからを液体と考えるのかについて統一した考え方などが必要である。フィルター法では、溶存している懸濁物粒子のみを除去して、フィルターを通過したものは、液相に含まれると解釈することから、フィルター孔径の選び方により大きく分配係数値が変化する。また、フィルターの材質やフィルターホールダーの材質などについても十分な注意が必要である。

遠心分離では、設定した回転数で沈降しないものは液相に含まれる。これまでの各研究機関における相互比較実験<sup>13)-15)</sup>では遠心分離後（3,000rpm, 10min）、フィルター濾過（0.45μm）を行い、通過した部分については液相に含まれるものとして分配係数値を算出している。また、この方法は原研における極低レベル埋設処分における安全評価や六ヶ所埋設センターの安全評価のための分配係数の測定の際にも用いられた方法である。

特に、固液分離方法は直接的に分配係数値に影響を与えるため、どこまでが固相で、どこからが液相と考るのか、固体と液体の分離に関する考え方を定めておく必要がある。

#### 9) 放射能測定器について

γ核種の場合にはGe半導体検出器>NaI、β核種の場合には液体シンチレーションカウンター>ガスフローカウンター（GM）、α核種の場合には液体シンチレーションカウンター>シリコン半導体検出器>ICP-MS等が使用されている。

γ核種の場合には固体試料および液体試料ともに前処理操作がほとんど必要ないためGe半導体検出器やNaI検出器による測定が有効に利用できる。

αβ核種の場合には、液体試料では、前処理などが比較的少ない液体シンチレーションカウンターが使用されている。固体試料では、化学分離抽出操作等が必要であるが、最終的には液体の状態にして液体シンチレーションカウンター等で測定されている。

測定方法に関する設問（4-14）には、標準的な測定器機を定めるのは、実験のできる場所が限定されてしまうことから、測定機器の限定は避け、それぞれの試料作成に係る操作手順や留意点、測定に関する検出限界や測定誤差等の条件を示しておくことが必要である等の意見が示されている。この他、実験の際に単一核種で実験を行うのか、混合核種で行うのかという問題がある。基本的には単一核種での実験が望ましいと考えられる。特に放射性水溶液のpH調整などが行われていないケースにおいては、核種を混合することによって液性が大きく酸性側に偏り、単一核種により得られた値と混合核種で得られた分配係数値がオーダーで変化することもある。さらに、共存塩の種類やその濃度の影響、放射線測定上の問題等も考えられることから、可能な限り単一核種での実験が望ましい。

以上、本アンケート調査結果から可能な範囲で問題点等を示した。今回のアンケート調査では、測定に関する全ての項目を網羅してはいないが、この調査によってこれまで実施してきた分配係数の測定に関する現状や疑問点並びに問題点等について、ある程度確認できたのではないかと考えられる。

本アンケート調査の設問に寄せられた意見は、試料採取方法では26件、試料保管方法等については35件、分析項目などについては48件、分配係数測定条件については344件、合計453件を数えた（付録1参照）。この他、筆者らの勉強会で報告された意見は、第1回では48件、第2回では12件（付録2参照）を合わせると合計513件の意見が提示されることになる。これらについては、本報告書の巻末にほぼ全文記載したので参考して頂きたい。

## 5. まとめ

天然バリア材に関する試料採取方法は、目的別に分析化学便覧や土質試験法、JIS等の既存の採取方法に準拠してそれぞれ実施されている。人工バリア材については、標準的な材料や製作、調整方法等はほとんど規定されていない。

試料の保管状況としては、保管雰囲気はほとんどが大気条件下で、水分飛散防止にパラフィンコーティングや脱酸素剤による低酸素雰囲気による保管が一部で実施されている。保管温度では、固体試料は室温で、液体試料は低温（冷蔵）で保管されている場合が多い。試料の前処理としては、固体試料では空気乾燥（風乾）が多く、試料重量には水分量が含まれている場合が多い。篩い分けに関しては統一した見解は見られないが、砂質土壌等ではJISに準拠した篩い分け方法が利用されている。液体試料では腐敗防止のため、懸濁物の濾過後、低温保管が行われている。

試料の分析項目では、解析に必要な項目として、固体試料では粒度、pH、Eh等、液体試料ではpH、Eh、共存イオン種及び濃度等が挙げられる。特に、吸着反応におけるメカニズムや核種の化学形がある程度推定できる項目を事前に分析しておくことが望ましい。

分配係数の測定条件では、容器材質については、 $\beta$ ・ $\gamma$ 核種を対象とした場合にはポリプロピレン或いはガラス製、TRU核種の場合にはテフロン製が主に使用されている。容器容量について

は概ね10~50mlに分布し、試料液量Vは30ml、試料重量は3gをピークに分布が見られる。固液比V/Mは、V/M=10をピークに1~300の範囲で分布が見られる。特に、ベントナイトを対象とした場合にはV/M=100が使用されている場合が多い。

実験水については、人工地下水、天然水、平衡水等、共存イオンが存在する条件の実験水が目的別に使い分けられている。実験pHは中性付近が多く、放射性水溶液の初期のpH調整はあまり行われていないことから、核種の初期の化学形について注意が必要である。接触時間は1週間をピークに広い分布が見られ、吸着平衡の確認方法等について検討が必要である。測定温度は、室温が多く、浅地層を対象とする場合には10~25°C、深地層では20~50°Cに分布が見られ、設定温度範囲に重なりが見られるのは20~25°Cである。振盪条件では、振盪器使用の場合には往復振盪が主流であるが、振盪器を使用しない場合にはほとんどがハンドシェイクである。固液分離では、フィルター濾過の頻度が高く、遠心分離法との併用も一部行われている。フィルターの濾過孔径としては、0.45 μmが圧倒的に多く使用されている。放射能測定では、γ核種の場合にはGe半導体検出器、αβ核種の場合には液体シンチレーション検出器による測定が主に行われている。

## 6. あとがき

今回の調査においてこのように多くの意見が寄せられたことは、分配係数の標準的測定条件の設定が如何に多くの問題を含み、難しい（やっかいな）ものであるかを示していると思われる。この調査において、測定に関する全ての条件をカバーしているものではないが、実際に行われている測定条件の範囲がある程度明確になり、問題点が何処にあるのかなどが明らかになったものと思われる。また、付録1に示した調査結果には、論文などに記載されていない実験上の問題点、分配係数測定に関する現状、疑問点等が示されており、今後実験を開始される方々の参考になるものと思われる。

原研において別途進められている文献調査やデータベースの作成により、これまで行われてきた国内外の測定条件に関する範囲等がある程度明らかになってきている状況<sup>29), 30)</sup>から、今後、これらの結果と比較検討等を行い、合理的且つ標準的な測定条件等について検討を進め、日本原子力学会標準委員会で進めている分配係数の標準的測定方法の検討<sup>31)</sup>等に寄与して行きたいと考えている。

## 謝 辞

本調査にあたって多大なご協力を頂きました、処分安全研究室小川弘道室長並びに研究室員の方々、さらに、貴重なご意見等をお寄せいただいた各研究機関の関係者諸氏に心から感謝いたします。また、本報告をまとめるに当たり貴重な御助言等を頂いたバックエンド技術部山本忠利主任研究員に感謝致します。

## 参考文献

- 1) 加藤正平、藪田肇：「放射性廃棄物浅地中処分の安全評価に用いる分配係数」日本原子力学会誌、vol.28, No.4, pp344-351(1986)
- 2) 原子力環境整備センター：環境パラメータシリーズ2「土壤と土壤溶液間の放射性核種の分配係数」、RWMC-90-P-13(1990)
- 3) 栄山修、高須亜紀、池田孝夫、木村英雄、佐藤正知、長崎晋也、中山真一、新堀雄一、古屋廣高、三頭聰明、山口徹治：「核種移行モデルにおける吸着分配係数の概念とその適用性」原子力バックエンド研究 vol.5, No.1 , pp3-19(1998)
- 4) 日本原燃株式会社：「六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センター廃棄物埋設事業許可申請書」(1989)
- 5) Pinner,A.V.,Hill,M.D.: "Radiological protection aspects of shallow land burial of PWR operating waste" ,NRPB-R138(1982)
- 6) Sheppard,M.I., Beals,D.I., Thibault,D.H., O'Connor,P. : "Soil nuclide distribution coefficients and their statistical distributions , AECL-8364(1984)
- 7) Hideo KIMURA, Tomoyuki TAKAHASHI: "Development of probabilistic assessment methodology for geologic disposal of radioactive wastes" , International Conference on Topical Issues in Nuclear, Radiation and Radioactive Waste Safety(1998) .
- 8) Ishierwood,D.: "Preliminary report on retardation factors and radionuclide migration " ,UCID-17551(1977)
- 9) Burkholder,H.C.: "Nuclear waste partitioning incentives," Proc. Conf. on Management of Radioactive Waste Partitioning as an Alternative, NR-CONF-001, pp444(1976)
- 10) 武部慎一：京大炉実験所「天然バリアKd」専門研究会報告書、「浅地層土壤等における長寿命核種の分配係数」KURR-KR-44(1999)
- 11) 環境放射能研究委員会：私信  
(平成9年度環境放射能研究委員会の活動報告、私信 (1998))
- 12) 内田滋夫、保田浩志、馬原保典、佐々木則行、高橋知之、木村英雄、松鶴秀夫：「分配係数の測定法及び利用法」JAERI-Review 95-009(1995)
- 13) 高橋知之、武部慎一、木村英雄、松鶴秀夫、保田浩志、内田滋夫、佐伯明義、馬原保典、佐々木規行、矢島達哉、芦川信雄：「分配係数の相互比較実験」－測定値の変動要因の検討－、JAERI-Research 97-066(1997)
- 14) 高橋知之、武部慎一、木村英雄、松鶴秀夫、保田浩志、内田滋夫、佐伯明義、馬原保典、佐々木規行、芦川信雄、小崎完、矢島達哉、西高志、大野拓郎、豊原尚実、本山光志：「分配係数の相互比較実験」－実験者による測定値の差異に関する検討－、

## JAERI-Research 97-089 (1997)

- 15) 高橋知之、武部慎一、木村英雄、松鶴秀夫、保田浩志、内田滋夫、佐伯明義、馬原保典、佐々木規行、芦川信雄、小崎完、矢島達哉、上田真三、西高志、野下健司、大野拓郎、豊原尚実、金子昌章、本山光志、雨夜隆之：京大炉実験所「天然バリアK d」専門研究会報告書、「分配係数の比較実験及びアンケート調査」KURR-KR-44 (1999)
- 16) 日本原子力研究所東海研究所：廃棄物埋設事業許可申請書平成6年11月(1994)
- 17) 阿部昌義、大越実、吉森道郎：「極低レベルコンクリート廃棄物の埋設実地試験」デコミッショニング技法第15号, pp50-58 (1996)
- 18) (社) 全国地質調査業協会連合会編：新版ボーリングポケットブック (1995)
- 19) 日本規格協会：日本工業規格：「ポルトランドセメント」、JIS-R 5210-1997 (1997)
- 20) 日本規格協会：日本工業規格 「骨材のアルカリシリカ反応性試験方法（迅速法）」JIS-A 1804 (1999)
- 21) 日本規格協会：日本工業規格 「コンクリートの強度試験用供試体の作り方」JIS-A 1132 (1999)
- 22) 日本規格協会：日本工業規格：土の粒度試験及び物理試験のための試料調整方法、JIS-A 1201-T 1978 (1978)
- 23) 土質工学会：土質試験法、土質工学基準「土質試験のための乱した土の試料調整方法」、JSF T 101-1990, p21-30 (1990)
- 24) 大羽裕、永塚鎮男：「土壤生成分類学」、p20, 養賢堂 (1988)
- 25) 日本規格協会：日本工業規格 「土の粒度試験方法」、JIS-A 1204 (1990)
- 26) 武部慎一、向井雅之、古宮友和、神山秀雄：通気層土壤試験の低吸着領域における放射性核種の移行挙動、JAERI-M 92-205 (1993)
- 27) 武部慎一、向井雅之、古宮友和、神山秀雄：通気層土壤試験の低吸着領域における放射性核種の移行挙動-流量の影響とその解析、JAERI-M 93-034 (1993)
- 28) 日本規格協会：日本工業規格 「試験場所の標準状態」、JIS-Z 8703 (1983)
- 29) 武部慎一、阿部昌義：「分配係数に関するデータベースの開発」(1) 分配係数データの収集、JAERI-Data/Code 2001-005 (2001)
- 30) 武部慎一、阿部昌義：「分配係数に関するデータベースの開発」(2) データベースの作成、JAERI-Data/Code 2001-006 (2001)
- 31) 成合英樹、宮川俊晴：「日本原子力学会標準委員会の発足と今後への期待」、日本原子力学会誌、42, p975-979 (2000)

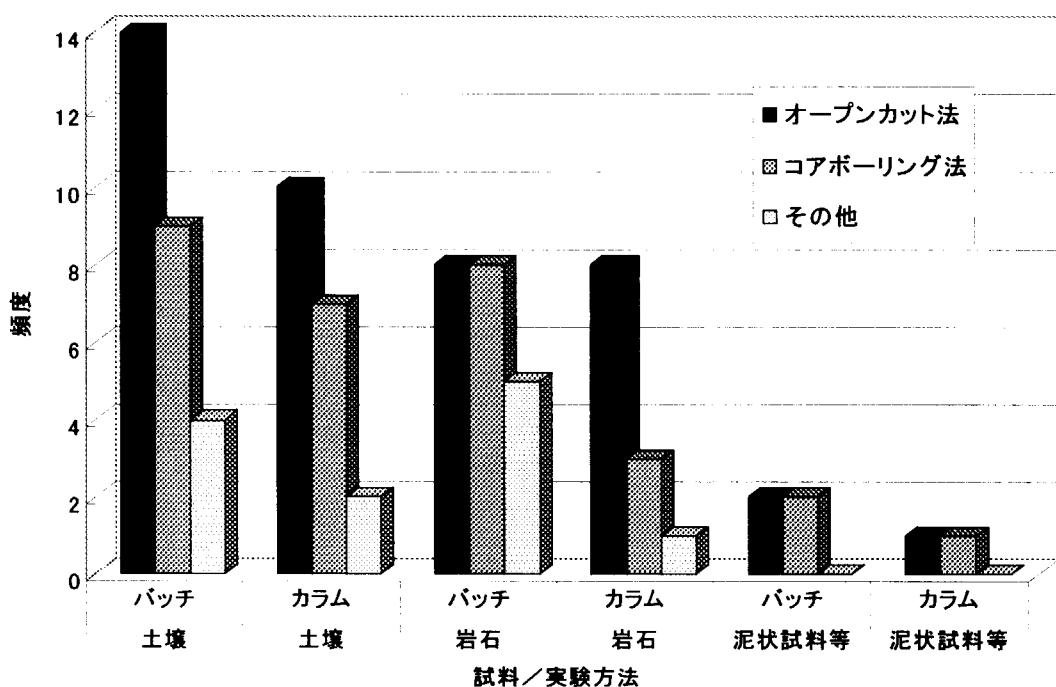


図-1 試料採取方法

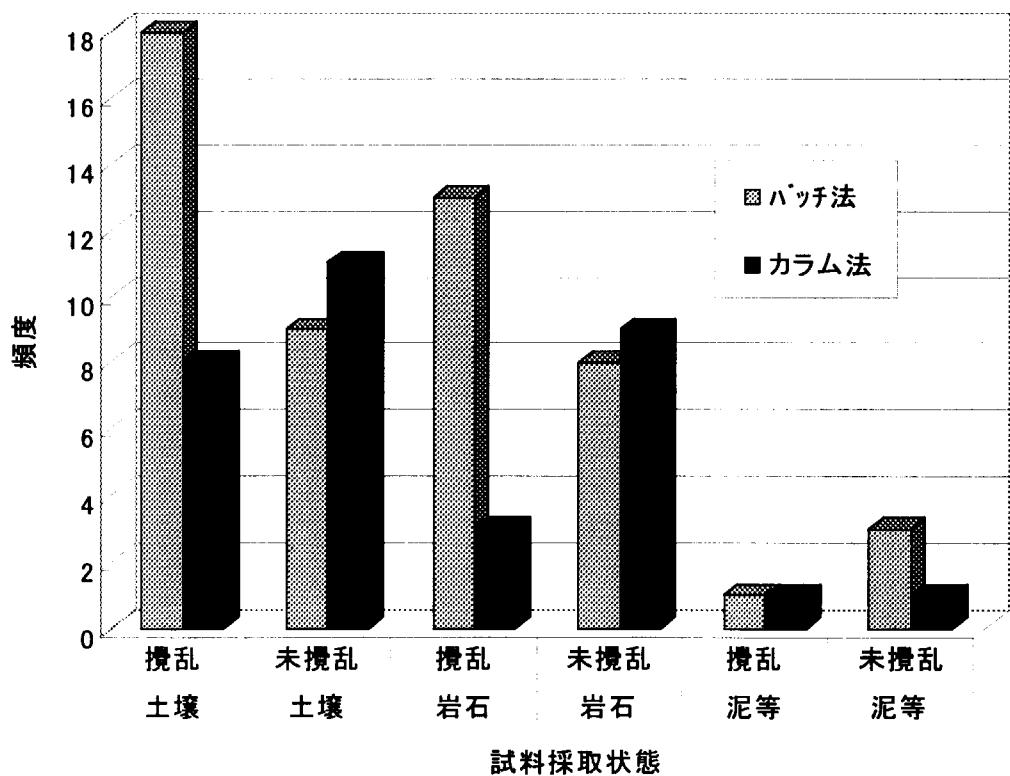


図-2 試料の採取状態

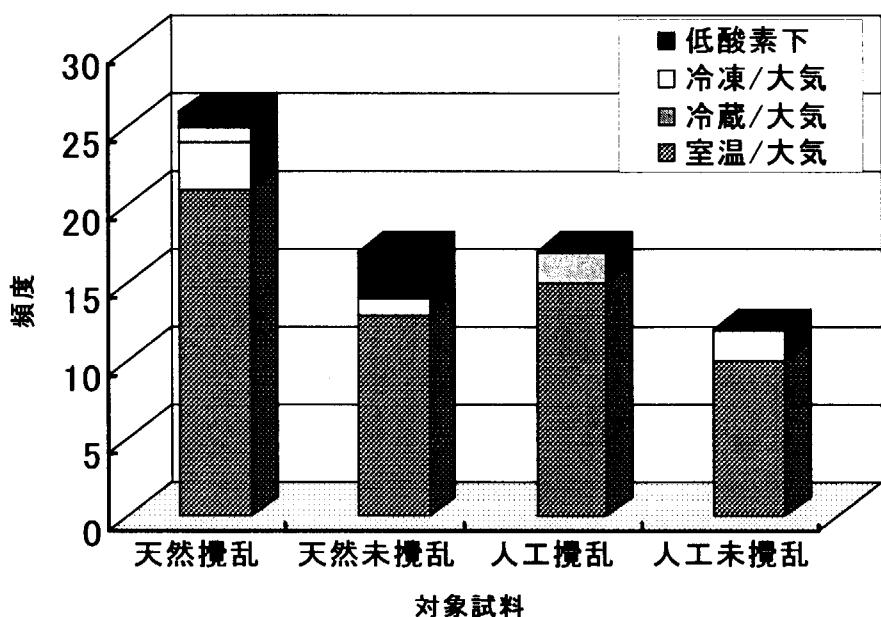


図-3 試料保管方法(対象試料と保管雰囲気)

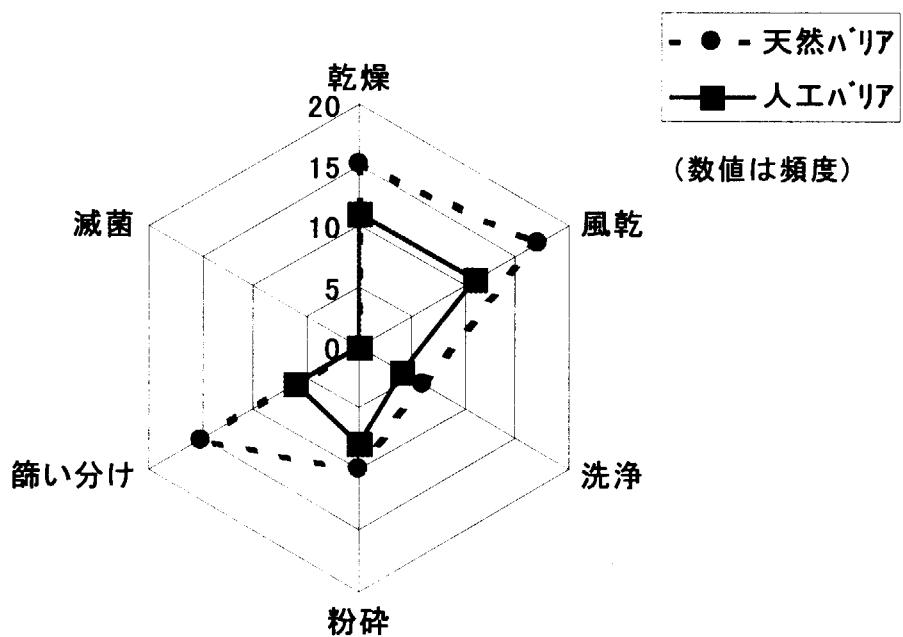


図-4 各バリア材の試料前処理状況/頻度

|               | 2       | 0.2 | 0.02 | 0.002     | (mm) |      |       |        |        |      |
|---------------|---------|-----|------|-----------|------|------|-------|--------|--------|------|
| 国際法 磯         | 粗砂      | 細砂  | シルト  | 粘土        |      |      |       |        |        |      |
| 日本農学会法 磯      | 粗砂      | 細砂  | 微砂   | 粘土        |      |      |       |        |        |      |
| アメリカ U SDA法 磯 | 細砂<br>砂 | 粗砂  | 中砂   | 細砂<br>極細砂 | シルト  | 粘土   |       |        |        |      |
| ソ連ガチンスキー法 石 磯 | 粗砂      | 中砂  | 細砂   | 粗シルト      | 中シルト | 細シルト | 粗粘土   | 細粘土    | 膠質粘土   |      |
|               | 3       | 1   | 0.5  | 0.25      | 0.05 | 0.01 | 0.005 | 0.0005 | 0.0001 | (mm) |

(土壤生成分類学より<sup>24)</sup>)

図-5 土壤の粒径区分の比較

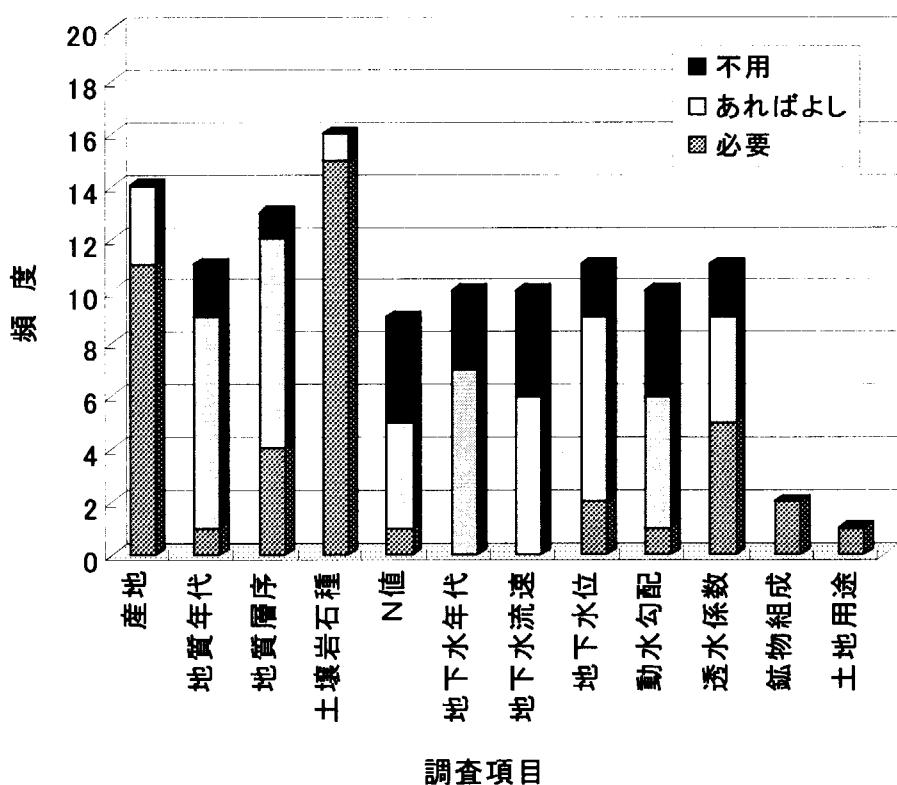


図-6 天然バリア材に関する地質特性の分析項目について

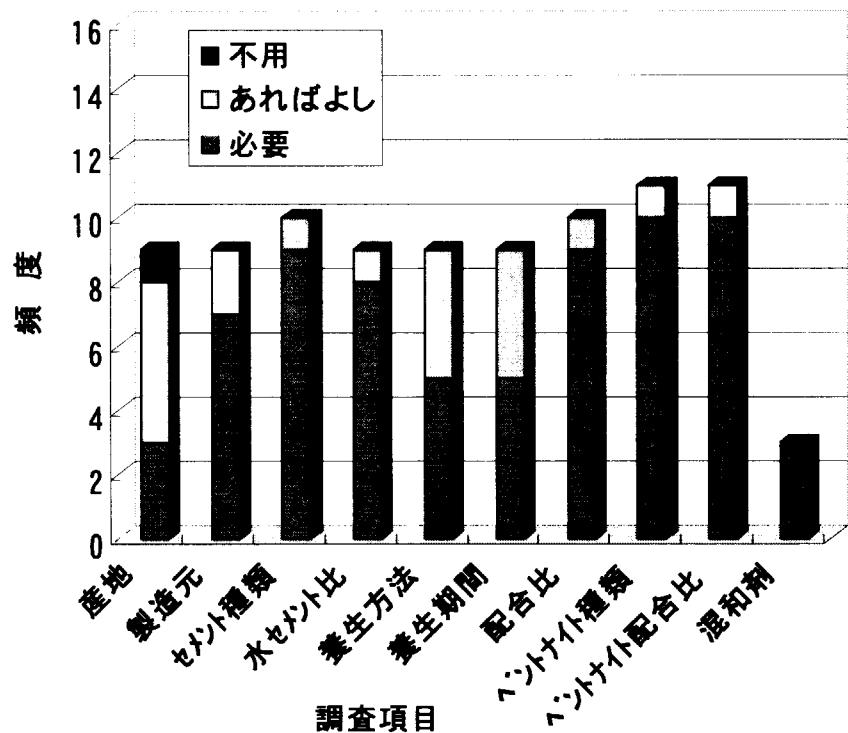


図-7 人工バリア材の調整に関する分析項目について

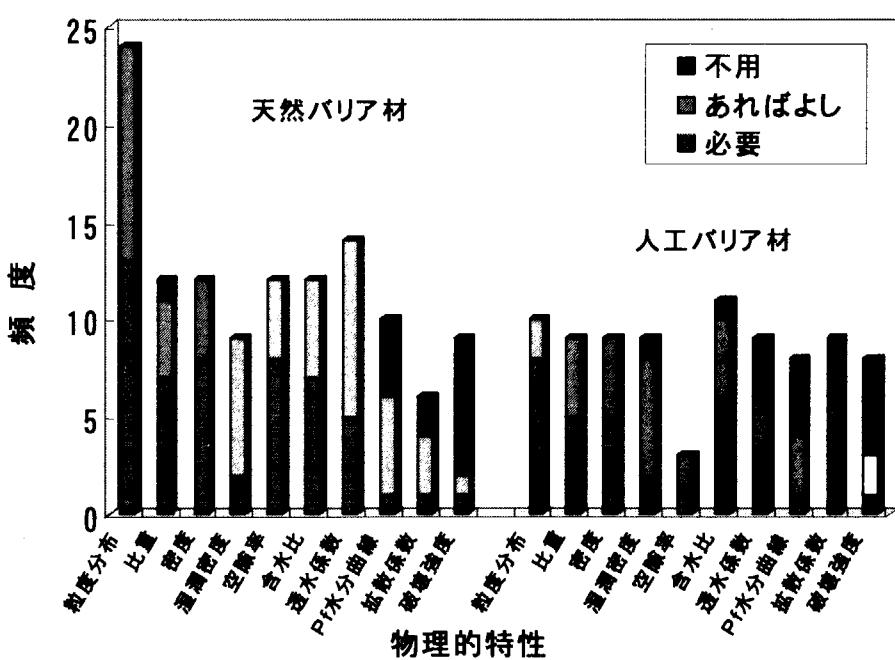


図-8 各バリア材の物理的特性に関する分析項目について

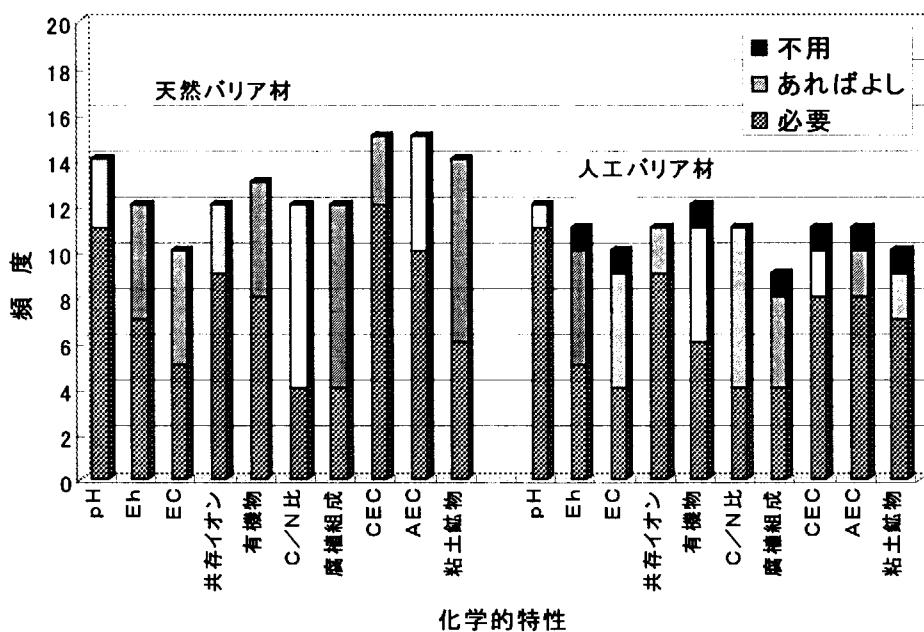


図-9 各バリア材の化学的特性に関する分析項目について

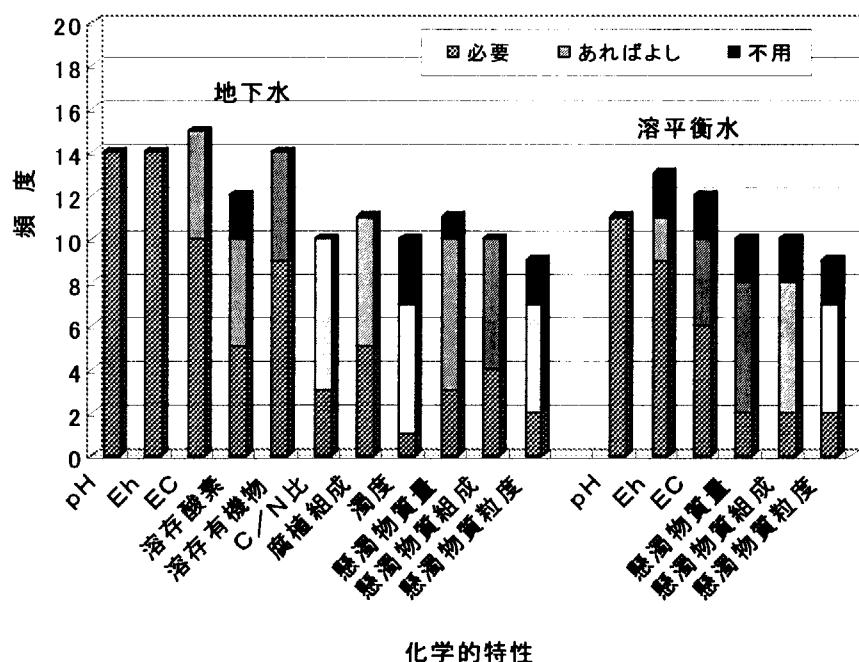


図-10 地下水及び溶出平衡水の化学的特性に関する分析項目について

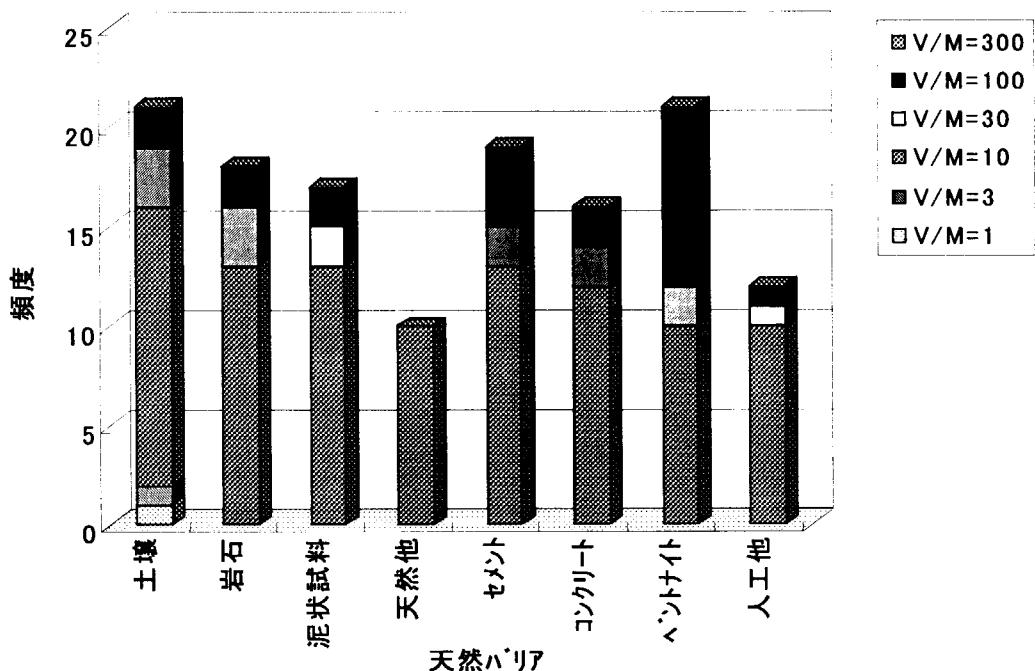


図-11 各バリア材の平衡水の作成にかかるV/M比について

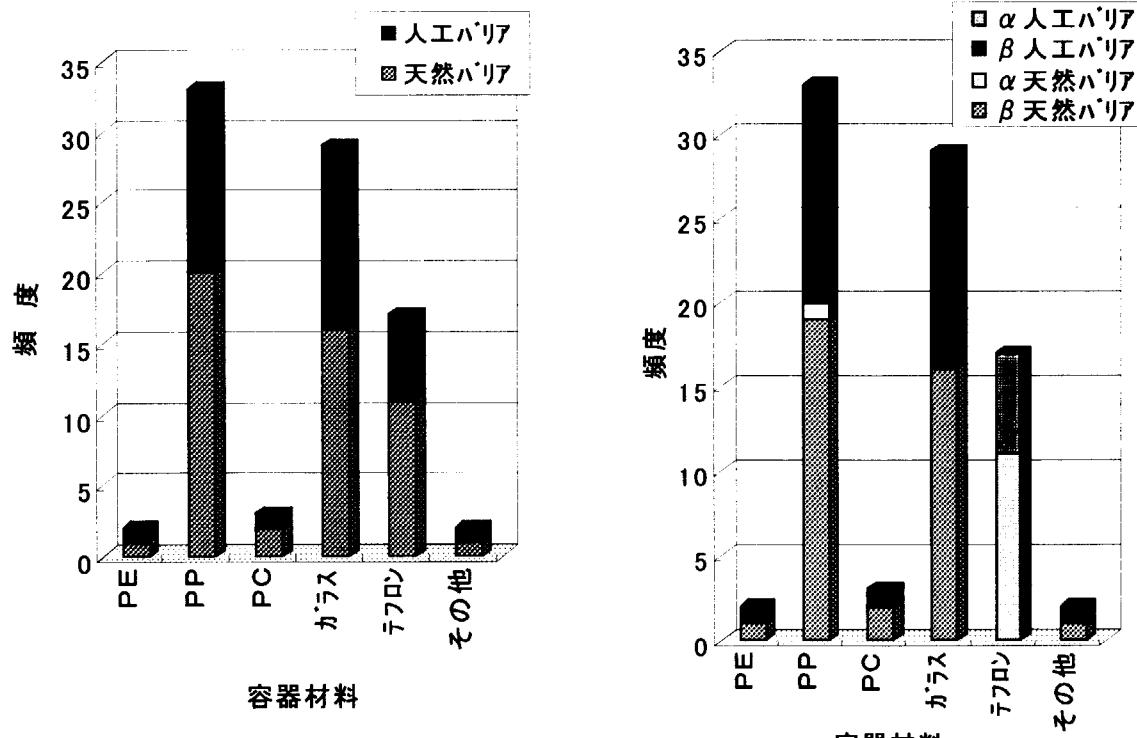


図-12 各バリア材に対する実験容器材料について

図-13 各核種に対する実験容器材料について

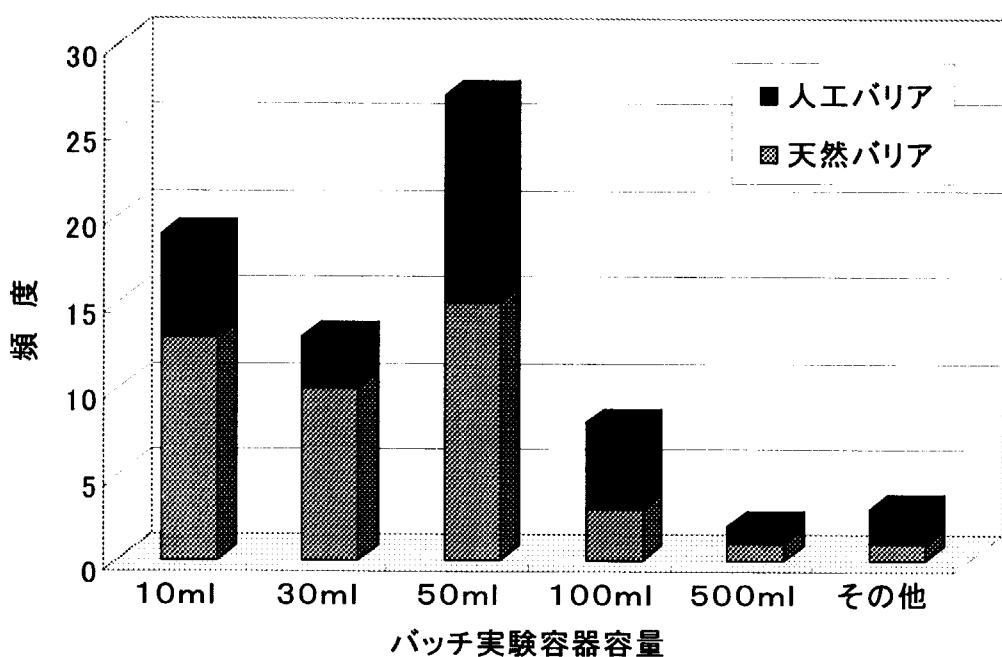


図-14 各バリア材によるパッチ実験容器容量について

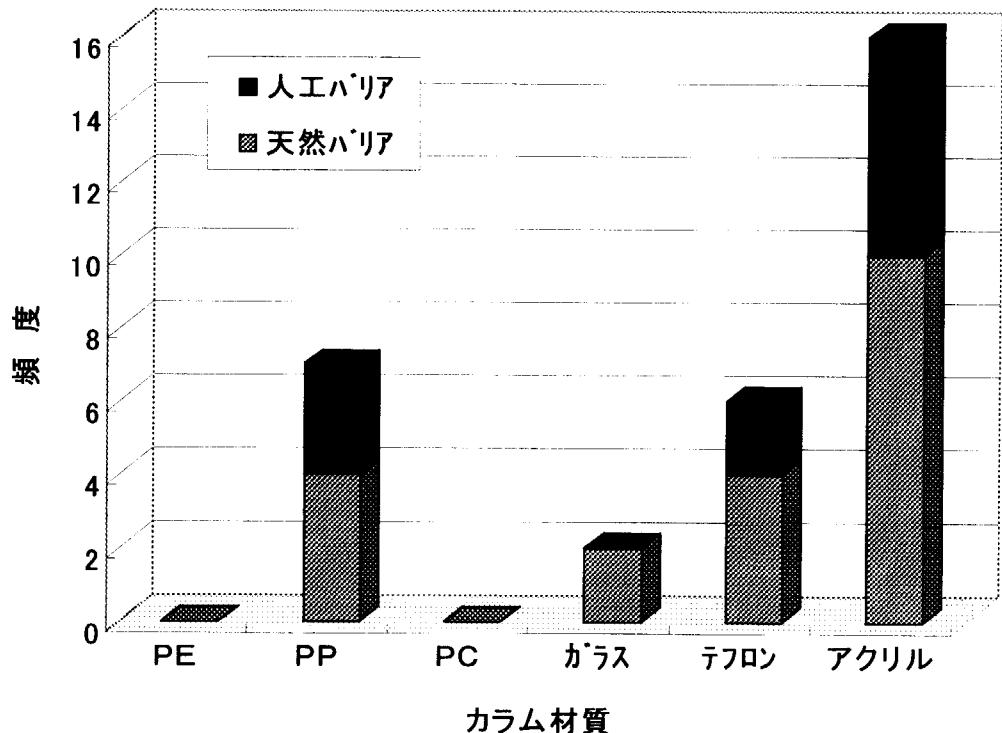


図-15 各バリア材に対するカラム材質について

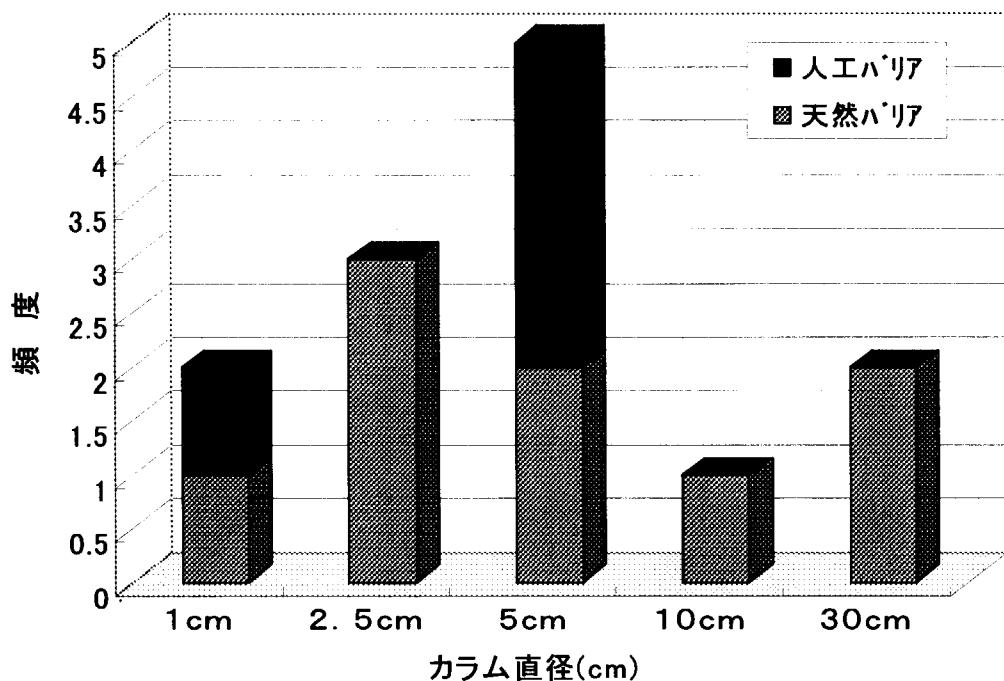


図-16 各パリア材に対するカラム寸法について

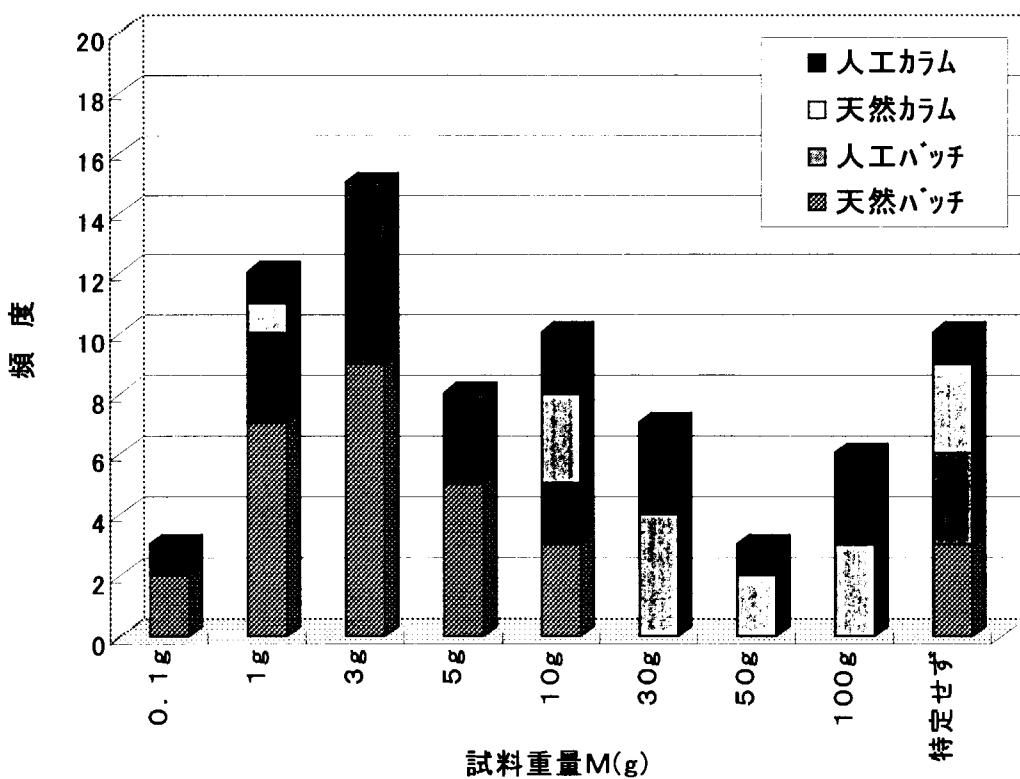
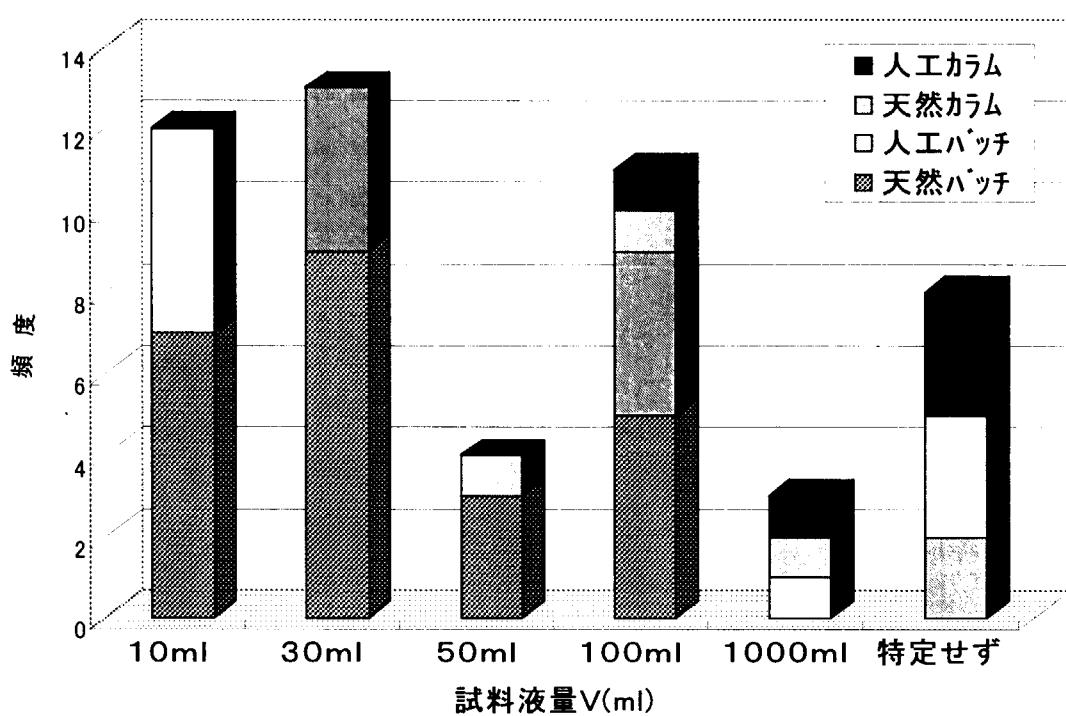
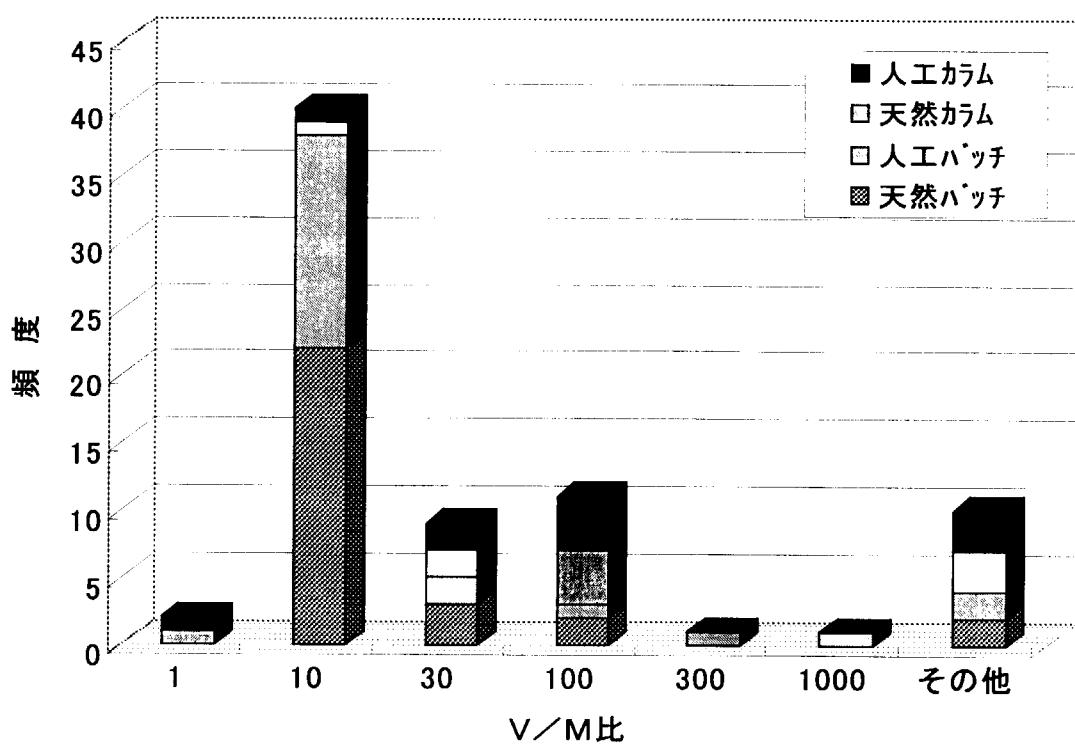


図-17 各実験方法における試料重量Mについて

図-18 各実験方法における試料液量  $V$  について図-19 各実験方法における  $V/M$  比について

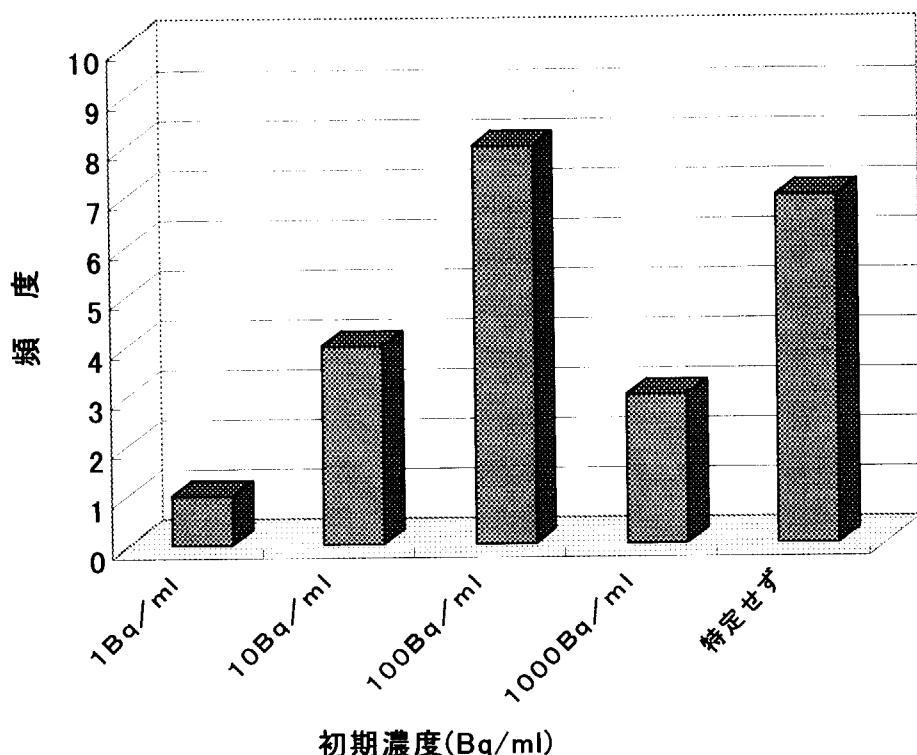


図-20 実験に使用する放射性水溶液の初期濃度について

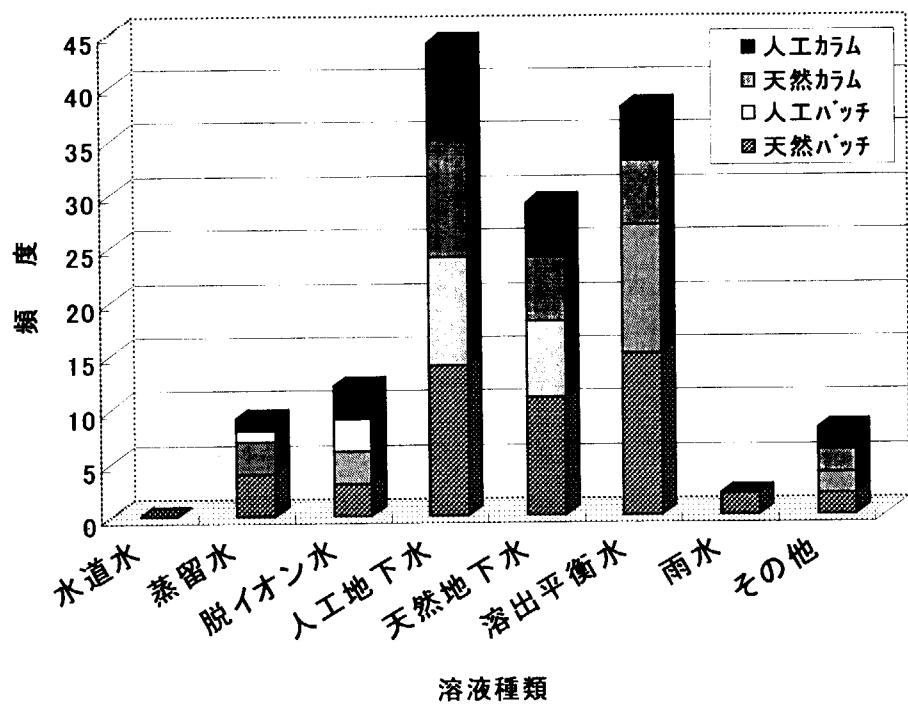


図-21 実験に使用する溶液の種類について

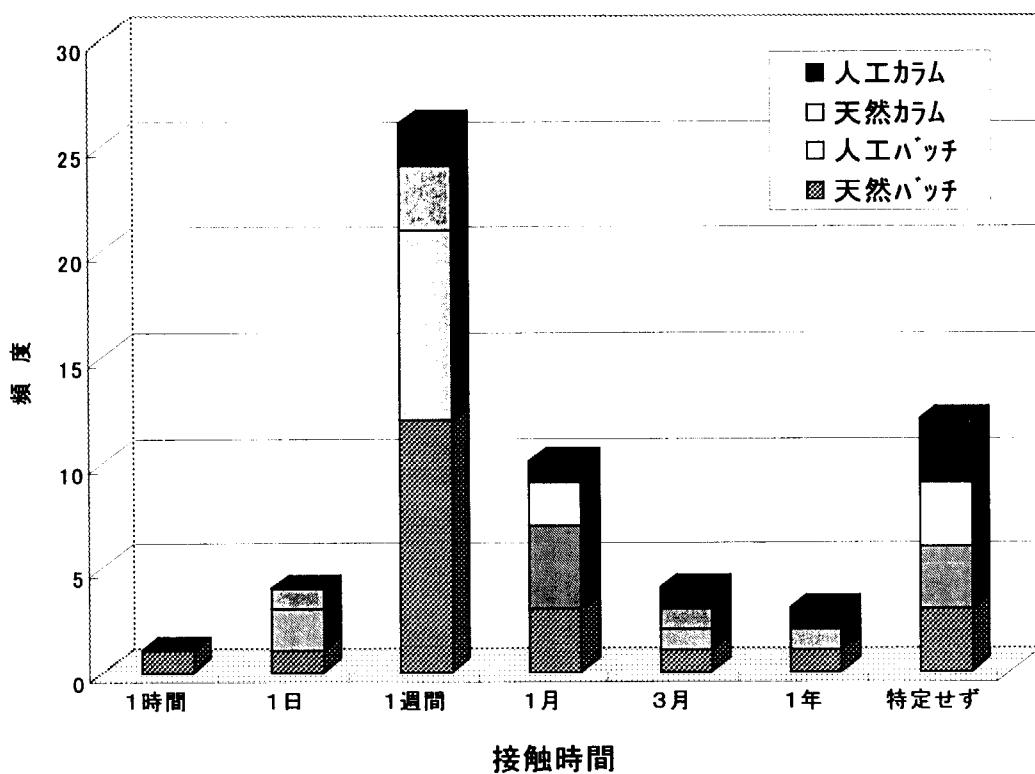


図-22 各実験方法における接觸時間について

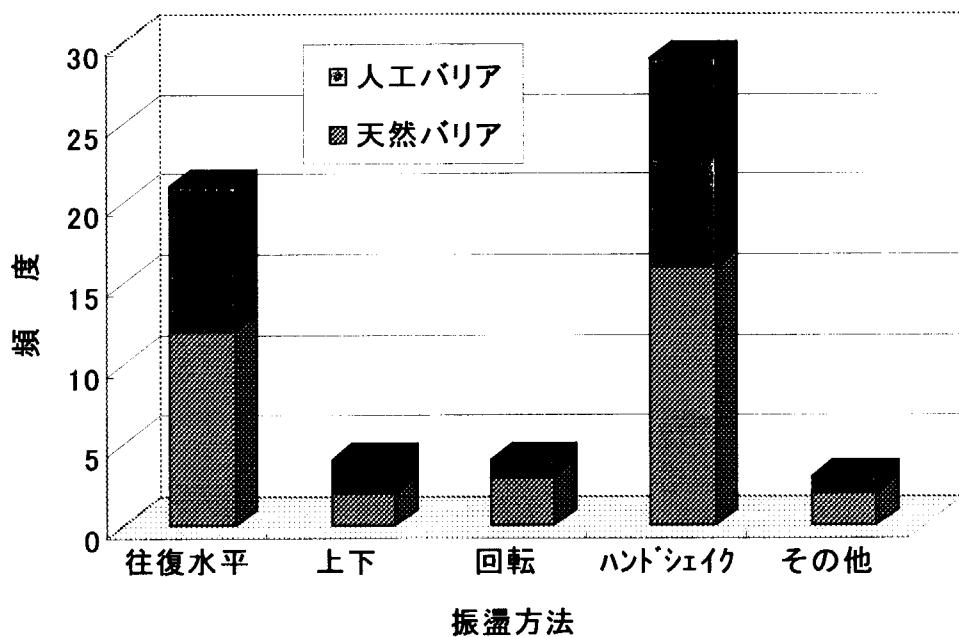


図-23 各バリア材に対する振盪方法について

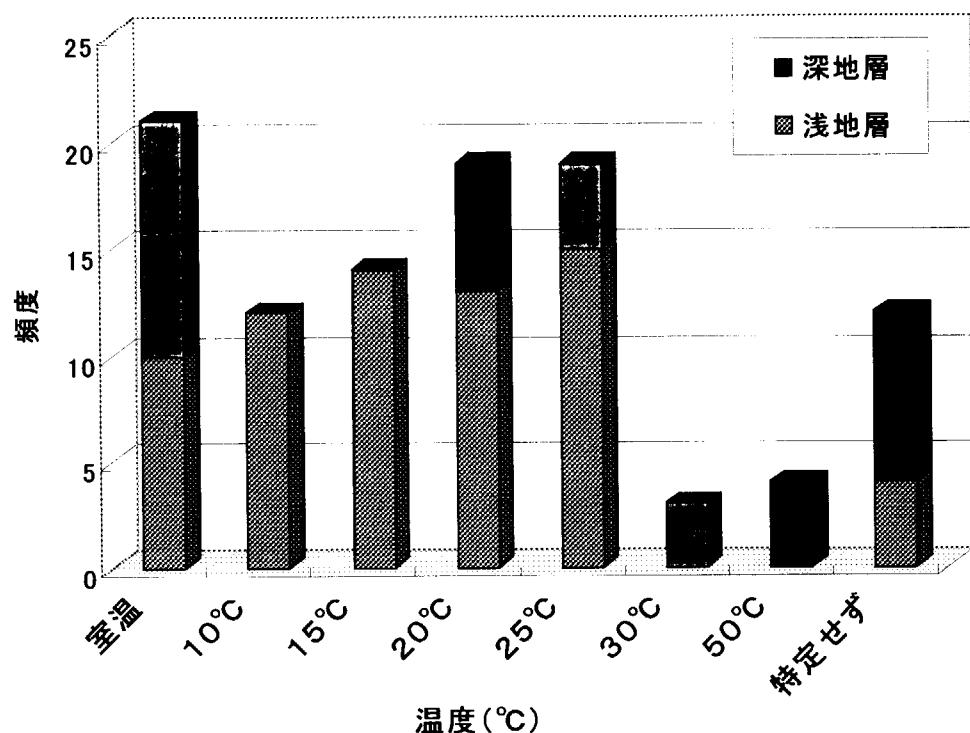


図-24 対象地層毎の設定温度について

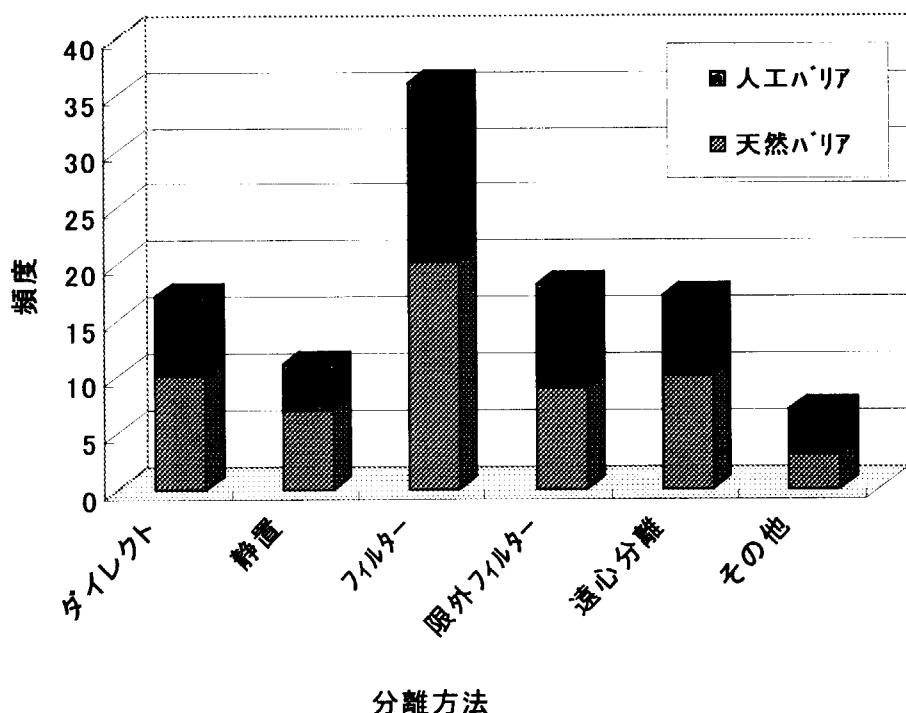


図-25 各パリア材に対する固液分離方法について

## 付 錄

付録1. 分配係数の測定条件等に関するアンケート調査

付録2. 分配係数に関する勉強会での意見

## 付録1.

### 分配係数の測定条件等に関するアンケート調査

アンケート調査用紙に記載された内容については、集計した数値を（ ）内に示すとともに、寄せられた意見は各意見欄にほぼ全文記載した。また、各研究機関において実施された比較測定実験における測定条件に関する項目については文字囲いを施した。

1) 試料の採取・調達方法等について

・試料はどのように採取・調達されていますか？当てはまる（ ）に○をご記入ください。また、バッチ法あるいはカラム法どちらの実験を対象に採取・調達されたのか？（ ）に○を記入ください。（重複可）

**【天然ガリ試料】**

## &lt;土壤試料採取方法&gt;

|   |                        | バッチ法 | カラム法 |
|---|------------------------|------|------|
| (10) オープンカット法によるハンドリング（地表面、浅地層等の露頭面からの採取） | 攪乱試料                   | (10) | (5)  |
|   | 未攪乱試料                  | (4*) | (5)  |
|   | (*試験直前に試料を粉碎し、バッチ実験使用) |      |      |
| (9) コアボーリングによる採取                          | 攪乱試料                   | (6)  | (3)  |
|   | 未攪乱試料                  | (3*) | (4)  |
|   | (*試験直前に試料を粉碎し、バッチ実験使用) |      |      |
| (4) その他（標準試料等の購入）                         | 攪乱試料                   | (2)  | ( )  |
|   | 未攪乱試料                  | (2)  | (2)  |
| （製品名等：ケイ砂(1), カオリン(1), 黒ゴケ土(2)、豊浦砂(1)）    |                        |      |      |

## &lt;岩石試料採取方法&gt;

|   |       |     |     |
|---|-------|-----|-----|
| (8) オープンカット法によるハンドリング（地表/浅/深(坑道)等の露頭面からの採取） | 攪乱試料  | (5) | (3) |
|   | 未攪乱試料 | (3) | (5) |
| (8) コアボーリングによる採取                            | 攪乱試料  | (5) | ( ) |
|   | 未攪乱試料 | (3) | (3) |
| (5) その他（市販品（標準試料）等の購入等）                     | 攪乱試料  | (3) | ( ) |
| （製品名：鉱物標本(1), _____）                        | 未攪乱試料 | (2) | (1) |

## &lt;泥状試料採取方法&gt; (セメント(1), 海底土(2), 湖底土等(1))

|  |       |     |     |
|--|-------|-----|-----|
| (2) オープンカット法によるハンドリング(河川敷等)                                      | 攪乱試料  | (1) | (1) |
|  | 未攪乱試料 | (1) | ( ) |
| (2) グルピテイコアラー, ポックスコアラー, スミスマッキンティヤ-コアラー, 他(_____)               |       | (2) | (1) |
| ( ) その他（市販品（標準試料）等の購入, 他_____）                                   |       | ( ) | ( ) |
| <その他>（有機物(7)、金属酸化物( ), 天然の吸着剤( )等）                               |       |     |     |
| (7) 既製市販品購入  |       | (5) | (2) |
| （メルク(3), アルドリッヒ(3), 和光(3), 他京セラセミック試料(1), 日本地質化学社(1), レアメタル社(1)） |       |     |     |
| (3) 自己製作   |       | (3) | ( ) |
| (2) その他（石英砂(1), ガラスビーズ(1), _____）                                |       | (2) | (1) |

・天然水に関するものに地下水等がありますが、実験に使用する場合にはどのように採取しますか？

## &lt;地下水等採取方法&gt; :

|  |  |     |     |
|--|--|-----|-----|
| (4) 試料採取近傍にボーリング孔を掘削し採水                  |  | (3) | (1) |
| (7) 試料採取近辺の既設井戸からの採水                     |  | (5) | (2) |
| (4) 土壌層、岩石層の露頭部分からの浸出水を採取                |  | (3) | (1) |
| (3) その他（河川、海水等採取方法, 他深度毎に試料を採取(2) _____） |  | (2) | (1) |

## 【人工バリア材】

〔人型〕〔シルバーリー〕  
〈セメント、粗骨材、骨材等〉

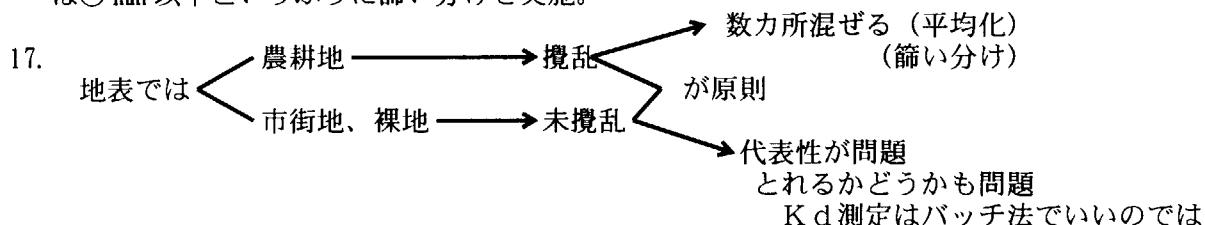
\* 試料採取方法および試料の採取状態(攪乱、未攪乱等)等に関するご意見を記入ください。

(1-1)

- (1-1)

  1. 基本的には、攪乱試料による測定が良いと思う。未攪乱の場合、試料個々の特性等のバラツキは、特殊な現象が起きている可能性がある。
  2. 地層の状態をありのまま再現したいのであれば、未攪乱コアでカラム試験を行い、バッチ試験においては、攪乱したもので粒度を調整する。水分状態を均一にするなどの処理でよいと考えます。
  3. 目的によって使い分けることもある。未攪乱である必要性は必ずしもない。未攪乱の代表性について、採取頻度や試料数なども調べておく必要がある。
  4. 地下深部の試料を雰囲気も含めて未攪乱で維持するのは実質的に不可能。何らかの代替え案が必要。可能な方法を列举しておく必要もある。
  5. ケースバイケース、可能な限り同一の調整方法が望ましい。
  6. 浅地層（土壤、人工バリア等）を対象とする場合には、土壤等試料は攪乱、風乾し、2 mm以下（JIS 規準礫以下）のサイズに篩い分けしたものを使用。堆積岩、コンクリート等は約5mm程度に粉碎して、便宜的に5～2 mmまでを篩い分けして、風乾し使用。浅地層を対象の場合には雰囲気は考慮していない。しかし、浅地層土壤でも水田土やセディメント等還元雰囲気の存在する土壤については、未攪乱で採取し、密封容器に入れ冷蔵庫等に保管し、水分量を別に求めておいてから実験にそそままでの状態で使用し、雰囲気調整は行わない。
  7. 深地層岩石等を対象の場合、今のところは雰囲気を考慮せず、浅地層岩石と同じように処理している。試料は未攪乱状態でオープンカットして採取し、ラップ、パラフィンコーティング、木箱固定して試料を採取する。実験開始前に開封し、岩石等は約5～2 mmの粒径に調整し、そのままの状態（攪乱）で実験に供する。（水分は別に測定）。試料は測定容器に入れ、実験水を所定量満たし、密封して数日放置した後、実験を開始している。岩石、セディメント等は水に浸漬し、空気と遮断してある場合、比較的還元雰囲気が元の状態に復活する。特に、未攪乱岩石等のカラム実験では、水を飽和させておくと内部までは酸化されていないため、雰囲気が維持されている可能性がある。実験には、脱気水が良い。
  8. 基本的に分配係数の測定では、バッチ法では攪乱、カラム法では未攪乱。未攪乱についての意味は地層の構造および雰囲気が維持されていること。地層特有な値が得られるが、試料の代表性についての問題等もあり、労が多く、得られるデータのバラツキも多い。代表制の問題があり、何個実験すればよいのか不明確である。とりあえず、こんなデータが出ましたとしか、いえない場合が多い。たとえフィールドで範囲を区切っても、その部分のデータがどの範囲まで適用可能なのか？地質工学的な検討も必要。
  9. 攪乱、乾燥等処理により複雑な微生物等の影響が少なくてすむ。未攪乱の場合、微生物により土壤雰囲気が維持されていることが多い。実験データのバラツキが未攪乱では多い、難解なデータになることがある。安全評価のような場合には、あまり複雑な系でないものが良い。また、試料の採取数や測定数に関する検討も必要ではないか？
  10. 試料は可能な限り未攪乱状態が良い。攪乱状態では化学的組成は変化しないが、地層中の雰囲気が変化している場合がある。

11. 試料採取方法は、採取した試料が代表的組成であることを証明する必要があるため、攪乱は必要であると考えます。
  12. 当社では、天然バリアのための分配係数の測定は数多く行っておりません。したがって、上記のアンケートでは、放射性核種に係わらず、他の陽イオン・有機物等の分配係数の測定も含めて、解答いたしました。ローム土のような団粒構造を持つ土壤では、カラム試験の分配係数は、攪乱土壤と未攪乱土壤では大きく異なる。しかし、未攪乱土壤では、カラム試験の際の器壁との間の密着性が問題になり、器壁の間の流れを抑制する工夫が必要である。極端にティリングの大きい実験結果や極端に分散が少ない実験結果では、器壁の間の流れを疑つた方が良い。
  13. カラム法は水が流れないと試験ができないが、このようなことが現実の地層でも起きている以上、未攪乱で採取すべきと思う。バッチ法は未攪乱で多数の試料のバラツキを統計的に処理することを目的とする以外は攪乱で十分と思う。むしろ一定の値が得られること及びその値とカラム法とを比較することが重要と考える。
  14. 現在、私の場合、Kd測定はコンクリート系のものに限られています。試験計画時に迷うのは、下記のような点であります。
    - ・固液比をどうするか (pHが高いためその影響が事前に分からぬ)
    - ・試料の形状 (粉碎するか、塊状とするかなど)
    - ・試薬として何を使うか (塩化化合物 or 硝酸化合物など)
  15. 攪乱・未攪乱の明確な定義が必要かと思います。もう少し具体的に定義してはどうか(2)。
  16. 当社では天然バリアの分配係数はあまり測定はしていないので、今回は人工バリアについてのみ回答致します。
- セメントのKd測定では以下の点に注意しています。
- ・セメント試料は密閉容器で養生。
  - ・試料の均一性を確保するため、固化体は全量粉碎。粉碎は実験前に行うようにし、CaCl<sub>2</sub> (乾燥、脱CO<sub>2</sub>用)を入れたデシケータに保管。
  - ・表面積により粒径が変わるので必要に応じて分級。但し、分級の場合には試料の収率が著しく落ちるので（また、試料の均一性も問題になる場合がある）、多くのケースでは○mm以下というふうに篩い分けを実施。



18. 過去に電共研、電力委託研究等でモルタル/岩/土壤/ベントナイトの使用実績はありますが、自ら採取実績はありません。JNFLから供給してもらっている。
19. 試料の採取に関しては、表層に地層が暴露しているところから数十cm程度堀り込んで、オープンカット採取するのが、コストの面からは有効である。深部においてはボーリングしかないので、かなりの予算が必要である。対象とする廃棄物処分の処分システムにより対象地層の深度が異なる。深部地層の採取においては、新しく、ボーリングせず深部坑道が設置されているような部分から、オープンカット法で採取するのがコスト的には有効であるが、なかなか原子力を表にして、採取することは難しい状況である。
20. 採取方法に寄らず、試料はできるだけ未攪乱で採取し、必要に応じてそれを粉碎して使用するのが良いと思われる。また、処分場の地層を評価するのにどの程度のサンプル数が必要なのか、おおよその基準などについても検討が必要ではないか(2)。
21. 処分場内の地層を評価する際、単一の地層であっても、表層土壤ではかなり複雑に堆積物が混在し、互層を形成している場合が多く、均一な地層とは何か、どの程度が均一と見なせるのか等、大まかでも良いから、検討しておく必要がある。
22. 試料採取に当たっての注意事項ぐらいなら、JIS等に準拠することで問題がないのではないか。ただし、採取試料の雰囲気についての検討はこれまで、問題にされていないと考えられるので、カナダなど深部地層での実験方法などを調べて検討しても良いだろう。
23. 未攪乱状態でも、試料のサイズにもよるが、雰囲気を調整しながらの採取は不可能なよう思う。未攪乱で大気中で採取し、素早くシールドするのが現状のような気がする。シールドは、雰囲気を調整したグローブボックスなどで開封し、試料調整を行うと言うのが妥当な所では無かろうか。

24. あまり雰囲気に注意してもコストがかかりすぎでは、実施は不可能である。試料の採取に関する雰囲気の問題については、ある程度、妥当なラインを提示しても良いと思う。（化学的な検討はなかなか難しい）
25. 標準化について、どの実験者が実施してもある程度同じ傾向が得られる、標準試料が必要（2）である。実験手法の確認（2）など、実験者間のデータの比較も必要である。物理化学的な特性がある程度測定され、核種の吸着傾向なども比較的多く調べられている土壤などを標準試料として、実験者に配布する事も検討して欲しい（2）。

## 2) 試料の保管、前処理方法等について

- ・採取した試料の保管方法はどのようにされていますか？また、実験に供する試料の前処理についてどのように調整していますか？試料の状態に応じ、対象試料（天然バリア（土壤、岩石、泥状試料、その他）、人工バリア材（セメントモルタル等、コンクリート等、ペントナイト等、その他））、実験方法（パッチ法あるいはカラム法）等あてはまる（）に○を記入ください（重複可）。

### 【保管状況】

|                                      | 対象試料                          | パッチ法 | カラム法 |
|--------------------------------------|-------------------------------|------|------|
| (21) 室温 容器あるいは（一部）ビニール袋に採取し、そのまま保管*1 | （○を付けてください）                   |      |      |
| 攪乱状態                                 | 〔土(9)・岩(6)・泥(1)・他(2)〕 (9) (5) |      |      |
| 〔セ(4)・コ(3)・ベ(5)・他(1)〕 (6) (3)        |                               |      |      |
| 未攪乱状態                                | 〔土(3)・岩(4)・泥( )・他( )〕 (3) (4) |      |      |
| 〔セ(2)・コ(2)・ベ(2)・他(1)〕 (3) (2)        |                               |      |      |
|                                      | (モンモリロナイト(1))                 |      |      |

密封容器にそのまま保管\*1

|       |                               |
|-------|-------------------------------|
| 攪乱状態  | 〔土(5)・岩(5)・泥( )・他(1)〕 (6) (1) |
| 未攪乱状態 | 〔土(4)・岩(4)・泥(1)・他( )〕 (2) (4) |
|       | 〔セ(3)・コ(2)・ベ(1)・他( )〕 (3) (2) |
|       |                               |

\*1: 場合によります。

### （4）冷蔵 採取試料はそのまま冷蔵保管

|       |                               |
|-------|-------------------------------|
| 攪乱状態  | 〔土(2)・岩(2)・泥(1)・他( )〕 (2) (1) |
| 未攪乱状態 | 〔土(1)・岩(1)・泥( )・他( )〕 (1) (1) |
|       | 〔セ(1)・コ(1)・ベ(1)・他( )〕 (1) (1) |
|       |                               |

### （2）冷凍 採取試料はそのまま冷凍保管

|       |                               |
|-------|-------------------------------|
| 攪乱状態  | 〔土( )・岩( )・泥(1)・他( )〕 (1) ( ) |
| 未攪乱状態 | 〔土( )・岩( )・泥(1)・他( )〕 (1) ( ) |
|       | 〔セ( )・コ( )・ベ( )・他( )〕 ( ) ( ) |
|       |                               |

### （3）その他（）

|                               |
|-------------------------------|
| 〔土(0)・岩(2)・泥( )・他( )〕 (1) (3) |
| 〔セ( )・コ( )・ベ( )・他( )〕 ( ) ( ) |

- ・同じ場所から採取した地下水とともに、密封容器に封入したポリエチレン袋に鉄粉を封入したものを酸素ゲッタとして同封した。(1)
- ・低酸素下保管(岩石)(1)

### 【前処理方法】

|                                  | パッチ法                           | カラム法 |
|----------------------------------|--------------------------------|------|
| (54) 乾燥 試料は風乾（室温）(28)（○を付けてください） |                                |      |
| 攪乱試料                             | 〔土(8)・岩(5)・泥(1)・他(1)〕 (15) (4) |      |
| 〔セ(4)・コ(2)・ベ(3)・他( )〕 (9) ( )    |                                |      |
| 未攪乱試料                            | 〔土(1)・岩(1)・泥( )・他( )〕 (2) ( )  |      |
| 〔セ(1)・コ(1)・ベ( )・他( )〕 (2) ( )    |                                |      |
|                                  | (セメントの未攪乱はモルタル)                |      |

試料は乾燥機(26)

(110 °C 24時間(4)) , (110 °C 12時間(1)) , (50 °C 24時間(2)) ,

(40 °C 72時間(1)) で乾燥

攪乱試料 (土(4)・岩(4)・泥(2)・他(2)) (12) (3)

|       |                       |       |       |
|-------|-----------------------|-------|-------|
| 未攪乱試料 | (セ(3)・コ(2)・ベ(3)・他( )) | ( 8 ) | ( 1 ) |
|       | (土(1)・岩(2)・泥( )・他( )) | ( 3 ) | ( 2 ) |
|       | (セ(1)・コ(1)・ベ(1)・他( )) | ( 3 ) | ( 1 ) |

(ペントナイトの未攪乱は成形したもの)

・酸素による酸化を防ぐため、雰囲気制御型グローブボックス内において室温で約72時間で乾燥させた。洗浄は行わなかった。(1)

## ( ) 滅菌 採取試料は紫外線、

## 放射線等による滅菌処理

|       |                       |     |     |
|-------|-----------------------|-----|-----|
| 攪乱試料  | (土( )・岩( )・泥( )・他( )) | ( ) | ( ) |
|       | (セ( )・コ( )・ベ( )・他( )) | ( ) | ( ) |
| 未攪乱試料 | (土( )・岩( )・泥( )・他( )) | ( ) | ( ) |
|       | (セ( )・コ( )・ベ( )・他( )) | ( ) | ( ) |

## その他の滅菌処理

|       |                       |     |     |
|-------|-----------------------|-----|-----|
| 攪乱試料  | (土( )・岩( )・泥( )・他( )) | ( ) | ( ) |
|       | (セ( )・コ( )・ベ( )・他( )) | ( ) | ( ) |
| 未攪乱試料 | (土( )・岩( )・泥( )・他( )) | ( ) | ( ) |
|       | (セ( )・コ( )・ベ( )・他( )) | ( ) | ( ) |

## (4) 洗浄 水道水による洗浄(2)

|      |   |       |     |
|------|---|-------|-----|
| 攪乱試料 | (土( )・岩(1)・泥( )・他( ))                   | ( 1 ) | ( ) |
|      | (土( )・ <u>岩(1)</u> ・泥( )・ <u>他( )</u> ) | ( 2 ) | ( ) |

## 蒸留水による洗浄(2)

|      |                       |       |       |
|------|-----------------------|-------|-------|
| 攪乱試料 | (土(1)・岩(3)・泥( )・他(1)) | ( 5 ) | ( 2 ) |
|      | (土( )・岩(2)・泥( )・他( )) | ( 2 ) | ( 1 ) |

その他( ) (土( )・岩(1)・泥( )・他( )) (1) (1)

## (7) 粉碎 必要な粒径に(粗)粉碎

## 天然バリア試料\*

| (土壤 | :粒径 mm ~ mm                             | バッチ法  | カラム法  |
|-----|---|-------|-------|
|     | :粒径0.1mm(140mesh)~0.7(1)mm(22mesh))     | ( 2 ) | ( 2 ) |
|     | :粒径0.44mm(32mesh)以下(0.5mm(30mesh)以下(1)) | ( )   | ( )   |
|     | :粒径0.84mm(18.5mesh)以下(1))               | ( 1 ) | ( )   |
|     | :粒径2.0mm(8.6mesh)以下(1))                 | ( 1 ) | ( )   |

## スタンプミル粉碎

| (岩石 | :粒径 mm ~ mm               | ( 3 ) | ( 2 ) |
|-----|---------------------------|-------|-------|
|     | :粒径0.1mm ~ 0.7mm(1))      | ( )   | ( )   |
|     | :粒径<3mm以下 ~ (1))          | ( 1 ) | ( 1 ) |
|     | :粒径2.0mm以下(1) mm          | ( 1 ) | ( )   |
|     | :粒径5.0mm以下(1) mm          | ( 1 ) | ( )   |
|     | :粒径0.84mm(18.5mesh)以下(1)) | ( 1 ) | ( )   |
|     | :粒径0.5mm(32mesh)以下(1))    | ( )   | ( )   |

(泥状 :粒径2.0以下 mm)

(その他 :粒径 mm ~ mm)

土壤, 岩石 : \* Case by Case (2)

人工バリア材\* (セメント等 :粒径0.35 mm ~ 以下(1) mm)

:粒径0.1 mm ~ 0.7(1) mm)

:粒径0 mm ~ 0.15(1) mm)

:粒径5 mm ~ 10(1) mm)

:粒径 mm ~ mm)

スタンプミル粉碎 (コンクリート等 :粒径0.35 mm ~ 以下(1) mm)

:粒径0.1 mm ~ 0.7(1) mm)

:粒径2 mm ~ 5(1) mm)

(ペントナイト等 :粒径 mm ~ mm)

:粒径0.84 mm ~ 以下(1) mm)

:粒径 mm ~ mm)

( 3 )

( 1 )

( )

( 1 )

( )

( )

|  |       |       |
|--|-------|-------|
| (その他 : 粒径 mm ~ mm)                             | ( )   | ( )   |
| : モルタル   | ( 1 ) | ( 1 ) |
| (セメント, コンクリート, ペントナイト : * Case by Case (1))    | ( 1 ) | ( 1 ) |
| <br>   |       |       |
| ( 7 ) (粉碎) 篩分け 必要な粒径に篩分け                       | バッチ法  | カラム法  |
| 天然バリア試料 (土壤 : 粒径 未記入)                          | ( 2 ) | ( 2 ) |
| : 粒径 < 0.04-2mm (1), 2mm 以下 (3), )             | ( 3 ) | ( 2 ) |
| : 粒径 32mesh 以下 (1), )                          | ( 1 ) | ( 1 ) |
| (岩石 : 粒径 未記入)                                  | ( 3 ) | ( 2 ) |
| : 粒径 0.074-0.42mm (1) 42mesh 以下 (1))           | ( 2 ) | ( 0 ) |
| : 粒径 0.04-3 (1), 32mesh 以下 (1) )               | ( 2 ) | ( 2 ) |
| : 粒径 2.0 以下 (2), )                             | ( 2 ) | ( )   |
| (泥状 : 粒径 2.0 以下 mm ~ mm)                       | ( 1 ) | ( )   |
| (その他 : 粒径 0.04-1 (1) mm ~ mm)                  | ( 1 ) | ( 1 ) |
| (土壤, 岩石 : * Case by Case (2))                  | ( 1 ) | ( 1 ) |
| 人工バリア材 (セメント等 : 粒径 0.074-0.42mm (1) 42mesh 以下) | ( 2 ) | ( )   |
| : 粒径 0 mm ~ 0.15 mm)                           | ( 3 ) | ( )   |
| (コンクリート等 : 粒径 42-20mesh (0.351-0.833mm))       | ( 2 ) | ( )   |
| (ペントナイト等 : 粒径 42mesh (0.351mm) over mm)        | ( 1 ) | ( )   |
| (その他 : 粒径 mm ~ mm)                             | ( )   | ( )   |
| (その他 : モルタル)                                   | ( 1 ) | ( 1 ) |
| (セメント, コンクリート, ペントナイト : * Case by Case (1))    | ( 1 ) | ( 1 ) |
| ( 5 ) その他                                      | ( 1 ) | ( 1 ) |

(腐食物質等の処理については前処理等がございましたら添付ください)

- ・腐食物質(1)
- ・粉碎篩分け等は研究の目的に添って設定一義的に決めていない(1)
- ・40mm × 5mm のディスクに切断(1)

【地下水等試料の場合】 当てはまる所に○をご記入ください。

(保管方法) (14) 容器等にそのまま保管 (合成地下水のみ(1))

- ( 5 ) 空気中
- ( 3 ) 低酸素雰囲気内保管
- ( 2 ) 他・鉄粉酸素ゲッター使用(1)
  - ・ポリエチレン袋に鉄粉を封入したものを酸素ゲッターとして入れて、空气中で保管(1)
- ( 7 ) 冷蔵保管(10°C(1))
- ( ) 冷凍保管
- ( 1 ) その他 (実験直前に作製(1), )
- ( 6 ) 何もせずそのまま
- ( 7 ) 濾過処理 (濾過フィルター孔径 5A(2), 0.45( 6 ) μm)
- ( ) 遠心処理 (遠心回転数 、 遠心時間 時間 回)
- ( ) 加熱処理 ( ℃ 時間)
- ( ) 紫外線、放射線等殺菌処理 ( )
- ( 3 ) その他
  - ・容器壁への核種吸着を防ぐため、酸を添加する。(1)
  - ・現地の土壤と接触させて測定(1)
  - ・N<sub>2</sub>ガス等バーピング(1)

\* 深地層を対象にした場合、低酸素雰囲気等での保管の必要性等についてご意見等を記入ください(2-1)

1. 当然不可欠であると考えられますが、保管の手法は難しそうなので、やはり、原位置あるいは現場近くでフレッシュな試料を使うのが良いでしょう。
2. 試料を密閉容器に入れ、周囲を全て不活性ガスあるいは窒素ガスで置換し、冷凍保存するのが最上かと思われます。
3. 対象元素に依存する。ただし、多くの場合、特に外部からの混入がないように保存し、後日作業時に低酸素雰囲気に戻せば特に支障はないと考えている。
4. 低酸素雰囲気中で保管できればそれに越したことはない。現実的には難しい。「必要性」と

いう意味では、これまで低酸素雰囲気で保管していないからと言って実験がよくないと文句を言われたことはない。

5. サイド特性を正確に把握する上では必要。
6. 低酸素濃度の依存性はどの濃度から発生しているのか等不明。低酸素濃度の影響については %, ppm, ppb, ppt のレベルなのか判断する必要がある。影響が少なければ、低酸素雰囲気での保管はあえて必要ないかもしれない。
7. 雰囲気は試料表面の処理がある程度行われていれば、内部までの変化は少ないと思われる。
8. 深い地層を対象とする場合には、試料をグローブボックス等の低酸素雰囲気に維持できる装置内に保管する必要があるものと考えられます。
9. 還元雰囲気の地下水を対象にする場合、pH および Eh は、大きな要因と考えられ、重要。
10. ケースバイケースでしょう。低酸素雰囲気で保管したからといって完全に現地の状態を保持しているとはいえないでしょうから、低酸素雰囲気で保管したものと保管しなかったものと比較して、異なった結果が得られたからと言って、保管の効果が完全とはいえないところが難しい。
11. 必須であると考えています。但し、岩石サンプルで形状が大きければ特別な環境での保管は不要と考えています。
12. 低酸素雰囲気での Kd 測定では以下の点に注意しています。地下水等の溶液試料はグローブボックス内で混合ガス (3% - 水素 / 97% - 空気) バブリング (~10min) を行い溶存酸素を除去。Eh の低下を確認する。(グローブボックス内は常に上記混合ガス雰囲気)
13. Np 等雰囲気によって原子価が顕著に変化する可能性が大きいものについては必要と考えられる。(pH, Eh 管理等) Co, Ni 等 pH に影響され易いものに関しては特に必要がないと考える。
14. 原研における日加協力研究により、深部地下坑道内で、深部岩石に深部岩石より浸出した雰囲気調整したグローブボックス内で採取し、核種移行試験を行ったデータからは、還元雰囲気において Np や Tc は岩石表面に吸着(収着)され、深部への移行は殆ど無いという結果が得られていることから、還元雰囲気の問題は、核種に寄っては非常に大きく現れてくるものである。ただ、自然環境における還元環境の範囲においては、雰囲気の影響を受けない核種もある。これら辺の問題を整理して、むやみやたらな雰囲気調整したデータは必要ではない。雰囲気に関する問題は核種の化学形に依存するので、分類分けなど、大まかな検討を先に進めて示しておく必要がある。
15. 雰囲気については、核種の化学形により地中移行状況に大きく影響を与える他、地層を構成する成分についても変化を及ぼす事がある。未攪乱で採取した岩石などをガムに充填し密閉して水を飽和させ、透水係数や拡散実験などを行っている際に、試料の表面が着色し、青灰色から濃い藍色等に変化する場合がある。特に、ステンレス性の容器に試料を入れた場合に、この現象が顕著に見られる。この変色した部分の X 線回折、赤外などの分析結果から粘土鉱物はスマートタイトであることが分かった。このことから試料中に含まれる粘土鉱物内の鉄が 2 価に還元されたためではないかと推察される。つまり、岩石試料内の雰囲気は大気雰囲気で採取していても、試料内の雰囲気は還元雰囲気をある程度維持しているものと思われる。また、この雰囲気の維持或いは表面の雰囲気の復活に、容器の材質ステンレスが電気的に関与している可能性がある。何か、これら辺に雰囲気維持に関するヒントがあるかも知れない。
16. 雰囲気の調整に関しては、採取は大気中で、前処理以降の雰囲気を調整するのが現実的。
17. 雰囲気の調整について、雰囲気だけでは還元雰囲気とはならず、矢張り、還元剤が必要である。従って、電気的な (Eh) 還元雰囲気維持するためには化学濃度のかなり濃い領域で、実験せざるを得ない。イオン強度も高くなり、実験結果に影響が現れ、還元剤の影響か? 還元雰囲気の影響か? 判別できない事が起こる。自然界の地層の還元環境は、数万年、数十万年地中において形成されたものであり、無理矢理還元剤の使用により Eh を変化させても、得られたデータが自然環境を現しているとは考えにくい。したがって、試料は、できるだけ未攪乱状態で採取し、低酸素雰囲気で、低温保存。必要に応じて解体して、供試体を作製するのが、妥当なところと考える。
18. 雰囲気の調整には気体と液体の雰囲気の調整がある。気体には、不活性ガス Ar 或いは窒素ガスを使用し、酸素除去用に水素ガス(触媒)で除去して酸素濃度 1 ppm 以下に調整が可能(グローブボックスなどに使用)。試料保管時に使用可能なものとしては脱酸素剤エージレスなどが使用されている。液体については、還元剤として亜硫酸及び亜硫酸塩、アルカリ性で強還元剤のヒドラジンなどがある。これらの溶液中の化学濃度は % オーダーで使用されているなど、還元剤による Kd 値への影響が大きい。したがって、雰囲気を無理に調整しようとすれば、還元剤の影響は避けられない。
19. 雰囲気の問題として空気雰囲気を低酸素 (ppm 以下) 濃度としても試料の雰囲気(酸化還

元電位E h) は殆ど変化しない。試料内の電位を下げるには、還元剤が有効だが、濃度が高く実験結果に影響を与える。妥協点をどうするかについては大変難しい。

20. 還元雰囲気と低酸素雰囲気とは基本的に異なるが、混同されているケースがままある。雰囲気について定義を明確にしておく必要もある。

\* 試料の粉碎については、どの程度の粉碎（粒径は？）が適当と考えられますか？天然バリア試料（土壌や岩石）と人工バリア材（コンクリート等）とでは考え方方が異なると思います。ご意見等を記入ください。（2-2）

1. 問題は、岩石です。安全側の評価のためにはあまり小さくするのはどうかと思いますが・・判断しがたい問題です。
2. 試料表面での核種吸着が中心と考えると粒径がKdに影響してくると思います。粒径と比表面積のデータを取得しておけば粒径0.5mm程度で良いと思います。
3. 天然試料では、0.1mm～1mm程度の粒径内で、Kdの値にほとんど差は無いと考えます。ただし、粗骨材の混入しているコンクリート等は、もう少し細かくした方が良いかと思います。
4. 土壌は構成粒子の規模までは粉碎は容認される。岩石は原則として粉碎しない。必要に応じて粉碎し、粉碎の影響は把握しておく。人工バリア材は材料による。全般に、データ取得の目的等により使い分けざるを得ない。
5. 試料の比表面積を変えない程度に粉碎するのが良いと思う。ただし、移行機構が移流の媒体に対しては、粉碎した試料に対して吸着試験を行うのに意味があるが、拡散媒体については、粉碎するのはナンセンス。インタクトな試料について拡散試験を行って分配係数を得るべき。
6. 浅地層（土壌、人工バリア等）を対象とする場合には、土壌等試料は攪乱、風乾し、2mm以下（JIS規準礫以下）のサイズに篩い分けたものを使用。堆積岩、コンクリート等は約5mm程度に粉碎して、便宜的に5～2mmまでを篩い分けして、風乾し使用。浅地層を対象の場合には雰囲気は考慮していない。しかし、浅地層土壌でも水田土やセディメント等還元雰囲気の存在する土壌については、攪乱で採取し、密封容器に入れ冷蔵庫等に保管し、水分量を別に求めておいてから実験にそのままの状態で使用し、雰囲気調整は行わない。  
(問い合わせ1-1より)
7. 土壌についてはなるべく天然の状態をそこなわない程度、例えば、<32meshが適当ではないかと思います。岩石については、できるだけ粒径をそろえ、その比表面積を測ることが有用だと思います。人工バリア材の粒径については何ともいえません。
8. 人工バリア材（コンクリート系）：マトリックスへの吸着自体はどちらかというと小さいと推測しています。むしろ強アルカリ雰囲気となることによる沈殿等の方が大きいと思います。このことと粉碎試料を用いた場合には、容器中で固化する可能性も有るため、5～10mm程度の塊状が適切ではないかと思います。
9. とりあえず粒径をそろえておけば良いと思います。
10. 本来、セメントの粉碎粒径はセメントの粉状劣化時の粒径（表面積）に合わせるべきだと思いますが、粒径は継続的に変化し、長期的にどのように劣化していくかも明らかにはなっていません。また、セメント組成の長期的変動や地下水水流速等も厳密には影響するものと考えられます。  
但し、地下水水流速が十分に遅く吸着平衡に達する時間も十分にあると仮定すれば、核種はセメント内部に拡散し有効吸着表面積は十分に大きくなり、セメントの粉碎粒径は細かくても良いとも考えられます。現状では、粉碎が容易な42mesh以下(<0.35mm)か100mesh以下(<0.15mm)とするのが現実的ではないでしょうか？
11. 表面積が変わらない程度に軽く碎くべき→これは難しいのか？  
自動粉碎機の指定は出来ないか→酸で洗うことは必要なのか？
12. 粒径の影響については、今まであまり議論されていないように思います。したがって、どの程度が適正かについては明確には分かりません。但し、細ければ細かい程交換容量・分配係数がプラスの方向に推移すると考えます。粒径とKdもしくは交換容量（京大福井先生の実験等）の関係等を調査した上で何らかの結論が出るのではないかでしょうか。
13. 岩石やコンクリートなどの分配係数で、本当に粉碎したのもで測定して良いのかどうかなどを検討しておく必要がある。粉碎が適当でない場合には、固体そのもので、拡散浸透実験などの結果から求めた方がよいかも知れない。いずれにしろ、考え方の問題。
14. 岩石や人工バリア試料など粉碎については基準が無く、実験者の作業性などから決めている用に思われる。
15. バリア材によって粒径を変える必要性はなく、細かく粉碎すればするほど表面積も増える傾向にあり、吸着などは大きくなる。岩石などを細かく粉碎して、篩い分けてしまうと、小さい粒径には粘土鉱物などが多く含まれるなど、粒径で組成の不均一性が生じるなど問題が

ある。従って、 $\text{○} \mu\text{m}$ 以下を除去すると言うような操作を施すと、全く違った値を示すことがある。岩石など粉碎したとしても粒径の範囲を決めない方が良い。粉碎器による粉碎の大きさをある程度決め手おけばよいと思う。

\* 試料保管方法、前処理方法に関する全般的なご意見を記入ください(2-3)

1. 人工バリア材（セメント系）は表面の中性化反応が進む中で、試料保存は、なるべく「固まり」の状態で行い、粉碎は実験直後に実施した方が良いと思います。
2. 理想的には未攪乱かつ採取場所の雰囲気を維持して保管することが望ましい。これは何が分配係数に影響するか、まだ不明な点があるため。しかしながら、実質的には技術面の制約や経済性により大気雰囲気で密封保管する程度になることも起こり得る。上述の場合と同様、データ取得の目的により使い分けざるを得ない。ただ、それ以前の問題として何が本来の地質特性、水質特性であるのかを正確に分析する手法は、必ずしも確立されておらず、そういう意味では今後とも検討が必要と思います。
3. 拡散媒体として考えた場合、間隙構造を変化させ無いことが最も重要。
4. 人工バリア材（コンクリート系）：破碎試料を用いる場合には、保管によって中性化の進行が促進されます。そのため、破碎後、速やかに溶液中に漬ける等の方法が妥当だと思います。
5. 分配係数測定の諸条件は、突き詰めれば突き詰めるほど複雑で制約が多くなって行くことと思われます。しかし、それらの条件が多くなりすぎると、実験が敬遠されデータ数が少なくなることが懸念されます。現在、必要なことはこれらの多数の実験パラメータを排除するための、核種吸着原理の検討であると考えています。
6. 採取後できるだけすぐ使うべきだが、無理な場合、一連の前処理（採取から保管方法まで：篩い分け、乾燥、粉碎含む）を標準化すべき。
7. 基本的には余り影響を与える因子とはならないと考えられますが、実埋設環境条件と極端にかけ離れていなければ良いかと思います。
8. 一般の試料の保管方法と大きく異なることはない。基本的に、JIS等を参考にして良い。前処理については、処理の仕方で、土壌、岩石など性質が異なることが考えられるため、ある程度 JIS、土質試験法などを参考に、決めておいた方がよい。
9. 大まかな前処理方法は必要。保管方法による変質を避けるためにも合理的な方法を示すこと。
10. Kd の問題だけでなく、多くの分析に共通した問題であり、既存の処理方法を基に決めてはどうか。

### 3) 試料の分析項目等について

- ・分配係数の測定等に関して、考慮すべき地質情報や調査(実地調査、文献調査等)しておく必要性のある項目についてそれぞれ記入ください。必要と思われるものに(○)、あればよし(△)、不使用なものに(×)(重複可)

<天然バリア試料> : (土壌(15)、岩石(12)、泥(4)、その他(1))

- (○11, △3, X0) 産地
- (○ 1, △8, X2) 地質年代
- (○ 6, △8, X1) 地質層序
- (○ 8, △8, X1) 地層名
- (○17, △1, X0) 土壌、岩石等種類
- (○ 1, △4, X6) N値 (?, 不明等のコメント(3))
- (○ 0, △9, X3) 地下水年代
- (○ 0, △8, X4) 地下水流向流速
- (○ 2, △9, X2) 地下水位
- (○ 1, △6, X4) 動水勾配
- (○ 5, △6, X2) 現場透水係数
- (○ 1) その他 (鉱物組成(3), 鉱物組成比(1), 用途 (畠地か乾地か等) (2), )

<人工バリア材> : (セメント(9)、コンクリート(5)、ペントナイト(10)、その他( ))

- (○ 9, △2, X0) 製造元等
- (○ 5, △5, X1) 産地
- (○10, △1, X0) セメント種類
- (○10, △1, X0) 水セメント比

- (○ 7, △6, X0) 養生方法(水中、空氣中等)  
 (○ 7, △6, X0) 養生期間  
 (○11, △1, X0) 骨材、粗骨材配合比  
 (○12, △1, X0) ベントナイト種類  
 (○12, △1, X0) ベントナイト混合比  
 ( 3 ) その他 (ベントナイトであれば組成、CEC等(2)、混和剤(特に有機物系)(1), \_\_\_\_\_)

・試料の物理・化学的特性に関して、考慮すべき項目等について記入ください。必要と思われるものに(○)、あればよし(△)、不用なものに(×) (重複可)

<天然バリア試料>：(土壤(15)、岩石(12)、泥(3)、その他(1))

(物理的特性)

- (○15, △11, X0) 粒度分布  
 (○ 7, △5, X1) 比重  
 (○ 8, △5, X0) 密度  
 (○ 2, △7, X1) 湿潤密度  
 (○10, △4, X0) 空隙率  
 (○ 7, △6, X0) 含水比(水分率)  
 (○ 5, △10, X0) 透水係数 ((○5, △5, X0) 飽和 (○5, △5, X0) 不飽和 )  
 (○ 1, △5, X6) pF 水分曲線  
 (○ 6, △5, X2) 拡散係数  
 (○ 1, △1, X8) 破壊強度

(化学的特性)

- (○13, △3, X0) 土壤pH (pH(H<sub>2</sub>O, KCl))  
 (○ 9, △5, X0) 酸化還元電位 (Eh)  
 (○ 5, △7, X0) 伝導度  
 (○10, △5, X0) (溶出水に関する情報)共存イオン濃度種及びその濃度  
 ((Ca<sup>2+</sup>(5), Mg<sup>2+</sup>(5), Na<sup>+</sup>(5), K<sup>+</sup>(5), Fe<sup>(2+, 3+)</sup>(1),  
 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>(5), SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>(5), Cl<sup>-</sup>(5), PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>(1))  
 (その他のイオン : Al(1) \_\_\_\_\_))  
 (○ 9, △6, X0) 有機物量  
 (○ 5, △9, X0) C/N比  
 (○ 5, △9, X0) 腐植組成 (ミン酸、フルボ酸、他 \_\_\_\_\_)  
 (○14, △3, X0) 陽イオン交換容量(CEC(17), Ca<sup>2+</sup>( ), Mg<sup>2+</sup>( ), Na<sup>+</sup>( ), K<sup>+</sup>( ),  
 (他 : \_\_\_\_\_))  
 (○12, △5, X0) 陰イオン交換容量(AEC(17), SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>( ), HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>( ), PO<sub>4</sub><sup>2-</sup>( ),  
 (他 : \_\_\_\_\_))  
 (○ 7, △9, X0) 粘土鉱物分析 (X線回折あるいは化学分析)  
 (SiO<sub>2</sub>(2), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2), TiO<sub>2</sub>(2), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2), FeO(1), CaO(2), MgO(2),  
 Na<sub>2</sub>O(2), K<sub>2</sub>O(2), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(1), CO<sub>2</sub>(2), F(1), H<sub>2</sub>O(1))  
 (他 : 粘土鉱物種及び定量値等 \_\_\_\_\_)  
 ( ) その他 ( \_\_\_\_\_))

(地下水又は溶出水に関する化学的特性)

- (○16, △0, X0) 地下水組成  
 ((Ca<sup>2+</sup>(2), Mg<sup>2+</sup>(2), Na<sup>+</sup>(2), K<sup>+</sup>(2), Fe<sup>(2+, 3+)</sup>(2), HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>(2),  
 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>(2), Cl<sup>-</sup>(2), PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>(2))  
 (その他のイオン : Si(1), \_\_\_\_\_))  
 (○16, △0, X0) pH  
 (○16, △0, X0) 酸化還元電位 (Eh)  
 (○12, △5, X0) 伝導度  
 (○ 5, △7, X2) 溶存酸素  
 (○10, △6, X1) 溶存有機物量  
 (○ 3, △8, X1) C/N比  
 (○ 5, △7, X1) 腐植組成 (ミン酸、フルボ酸、他 \_\_\_\_\_)  
 (○ 1, △6, X4) 濁度  
 (○ 3, △7, X2) 懸濁物質量  
 (○ 4, △6, X2) 懸濁物質組成(鉱物、有機物等)

(○ 3, △6, X2) 懸濁物質粒度分布

( ) その他(保管状態(2),

(上記の天然バリア材の化学的特性共存イオン濃度と地下水、溶出水の共存イオン  
とが重なっているので、天然バリアの方を削除してはどうか?)

\*分配係数の測定に関して、上記項目全てを網羅しておく必要はないものと思われます。最低限確認しておかなければならぬと考えられる項目についてご意見等を記入ください。(3-1)

1.  $K_d$ は化学的係数であり、平衡値であるので、地下水の化学的特性(上記項目で○をつけたもの：粒度分布、比重、密度、空隙、含水比、拡散係数、共存イオン濃度、有機物、CEC、AEC、粘土鉱物、地下水組成、pH、Eh、伝導度、要損有機物)が最も重要であると考える。ただし、 $K_d$ 値を比較議論するためには、試料の上記の化学的特性も不可欠である。
2. 固相試料は粒度、鉱物組成、イオン交換容量が特に必要。液相はpH、液相組成が特に必要と思う。また、固・液単独の特性だけでなく、固液接触後の特性(特に液相)を把握する必要があると思います。
3. 鉱物組成、鉱物組成比、pH、共存イオン濃度、腐食組成、腐食組成比等
4. 上記○印を付けたもの(粒度分布、比重、空隙率、飽和透水係数、土壤pH、酸化還元電位、伝導度、共存イオン濃度、CEC、AEC、地下水組成、地下水pH、Eh、伝導度、溶存酸素)で通常の $K_d$ 測定は十分と思われます。ここで通常とは溶存物質濃度が希薄で懸濁物質を含まないものを指す。,
5. 固相については比表面積(粒度分布)、鉱物組成、液相についてはpH、Eh、主要イオン濃度。
6. 一番上の質問は、天然バリアに対してはサイトをスペシフィックな研究なのか否かで答えが全く違ってしまいます。あまり意味のない質問だと思います。天然バリア試料の化学的特性として、pH、Eh、伝導度があげてありますが、意味が分かりません。
7. 固相については、比表面積(粒度分布)、鉱物組成。液相についてはpH、Eh、主要イオン濃度。
8. とりあえずは、上記○印の把握が必要と思います。(粒度分布、地下水組成、pH、酸化還元電位、溶存有機物量)
9. 測りやすいものとして(E C、pH、CEC) →  
あと存在形態に関する情報は重要(難しいが)
10. Co, Ni もしくは TRU核種(Am, Np, Pu)に注目した場合、pH/キレート/TOC成分等が重要な影響因子であると考えられます。したがって以下の項目が最低限必要と思われます。  
pH、Eh、TOC、C/N比、PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>、バリア材組成
11. 核種の吸着に関して、pH、Ehなどから化学形がある程度推定できるが、共存イオン濃度なども分かれば、EQ3NRやMINTEQなど計算による化学形の推定が可能である。
12.  $K_d$ のデータがいっぱいあるが、一概に比較できないのは、これら補完データが少ないとても関係している。よけいなモノは取る必要がないが、最低限何が必要か等示しておくことが重要。

・ 天然バリア試料の溶出水の場合 V/M比はどの程度が良いと思われますか?(重複可)

土壤試料 : V/M=1(1), 3(1), 10(14), 30(3), 100(3), 300( ), 1000( ),

その他(1) (特定できず(1), 特定せず(1)、現実に近い方が良い(1), 10-100(1))

岩石試料 : V/M=1(0), 3(0), 10(13), 30(4), 100(3), 300( ), 1000( ),

その他(1) (特定できず(1), 特定せず(1)、現実に近い方が良い(1), 10-100(1))

泥状試料 : V/M=1(0), 3(0), 10(13), 30(2), 100(3), 300( ), 1000( ),

その他 (特定できず(1), 10-100(1), 現実に近い方が良い(1), \_\_\_\_\_)

その他試料 : V/M=1(0), 3(0), 10(10), 30(0), 100( ), 300( ), 1000( ),

その他 (特定できず(1), 現実に近い方が良い(1), \_\_\_\_\_)

\* V/M比に対する御意見を記入ください(3-2)

1. JIS等で定められた値に統一する。あるいは、 $K_d$ を測定するV/Mに合わせる。
2. 実際の条件(フィールド)に近くするためにはV/Mが小さい方が良いと思うが、実験室用で試験があるので、フィールドと全く同じ条件にはならない。(特にバッチ法)したがって、V/Mは実験操作が容易な10~100程度が妥当であると思う。
4. 原則低いV/M比が望ましいが、実際としては $K_d$ 算出の都合で変化させざるを得ない。
4. 現実に近い方が良い。
5. 基本的には、V/Mの影響は無いはずの領域での吸着平衡値 $K_d$ であるはずだが、V/Mに

より反応系内の化学的組成等も微妙に変化するため、実際の実験では、かなりの範囲で値が変化しているケースがある。V/M値が極端に小さいか大きいでは、オーダーでの変化も考えられる。溶液内の組成や条件、共存イオン濃度、pH等の変化の影響も大きいが、攪拌がうまくいっていない場合や平衡状態に達していない場合などが考えられ、吸着平衡におけるKdを議論するのであれば、ある程度のV/M範囲が必要で、極端にV/Mが小さい場合には、基本的にヘンリー型吸着では現されない場合が多い。ただし、それぞれの化学組成（条件）で吸着平衡は仮定されるので、ラングミュア、フロイントリッヒ等の吸着平衡式によるkd値でも問題はない。特に、溶解度が問題となる場合には、高濃度領域における吸着平衡式を仮定してkdを求める手はある。こうなると同一核種で濃度依存性をはっきりさせなくてはならない問題が生じてくる。対象廃棄物中の核種の化学的な濃度も検討しておく必要がある。

6. 実験目的で異なると考えます。  
一期埋設で使用したV/M=10は一つの基準になると思います。
7. "良い"というのは難しい、状況に応じて良し悪しは変化するもの。
8. 最大公約数的にとにかく決めてしまうこと。(2)
9. 第1次埋設申請ではV/M比は10でなされており、現状に到っております。また、吸着機構はラングミュア型等温吸着と考えられますのでV/M=3~10では恐らく顕著な変化はないものと思われます。
10. 本来、V/Mの比に大きく影響しないのが分配係数であり、影響を受けているのは分配比である。V/Mが変化することにより溶液内の化学的性質が変化しなければ問題がないが、V/Mにより大きくイオン強度も異なり、影響を受ける。
11. 放射性核種を使用した実験では廃棄物の発生量の問題も大きく影響し、できるだけ、廃棄物発生量を削減する事が必要。従って、VやMについてもできるだけ小さく設定している。特にα核種を含む廃棄物については、極力小容量で行っている。αは全てグローブボックス内で実験されるため、グローブをはめた状態で作業性を考えると最小でおよそ10ml/1g程度が可能な容量。
12. 実際の作業を考えると最小5ml程度。これ以下は作業性が悪く危険性もある。α核種を考えた場合、最低液量は10ml程度。

<人工バリア材> : (セメント(9)、コンクリート(5)、ペントナイト(12)、その他( )) (重複可)

(物理的特性)

- (○ 9, △2, X0) 粒度分布
- (○ 9, △4, X0) 比重
- (○ 6, △4, X0) 密度
- (○ 2, △6, X2) 湿潤密度
- (○ 1, △2, X1) 空隙率 (\*人工バリアにもこの項目を入れてはどうか(3))
- (○ 6, △5, X1) 含水比(水分率)
- (○ 5, △3, X3) 透水係数 ((○3, △2, X3) 飽和 (○3, △2, X3) 不飽和 )
- (○ 1, △3, X5) pF水分曲線
- (○ 5, △2, X3) 拡散係数
- (○ 1, △2, X6) 破壊強度

(化学的特性)

- (○13, △1, X0) 土壌pH (pH(H<sub>2</sub>O, KCl)) (\*土壌を削除のこと(2))
- (○ 7, △5, X1) 酸化還元電位 (Eh)
- (○ 4, △6, X1) 伝導度
- (○11, △2, X0) 共存イオン濃度種及びその濃度  
 $\frac{(\text{Ca}^{2+}(1), \text{Mg}^{2+}(1), \text{Na}^+(1), \text{K}^+(1), \text{Fe}^{(2+, 3+)}(1), \text{HCO}_3^-(1), \text{SO}_4^{2-}(1), \text{Cl}^-(1), \text{PO}_4^{3-}(1), )}{(\text{その他のイオン: } \underline{\hspace{10cm}})}$
- (○6, △7, X1) 有機物量
- (○4, △7, X1) C/N比
- (○4, △4, X2) 腐食組成 (ジン酸, フルボ酸, 他\_\_\_\_\_)
- (○9, △2, X1) 陽イオン交換容量  
 $(\text{CEC}(9), \text{Ca}^{2+}(\ ), \text{Mg}^{2+}(\ ), \text{Na}^+(\ ), \text{K}^+(\ ), (\text{他: } \underline{\hspace{10cm}}))$
- (○9, △2, X1) 陰イオン交換容量  
 $(\text{AEC}(9), \text{SO}_4^{2-}(\ ), \text{HCO}_3^-(\ ), \text{PO}_4^{2-}(\ ), (\text{他: } \underline{\hspace{10cm}}))$
- (○8, △2, X1) 粘土鉱物分析 (X線回折あるいは化学分析)

( $\text{SiO}_2$ (1),  $\text{Al}_2\text{O}_3$ (1),  $\text{TiO}_2$ (1),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ (1),  $\text{FeO}$ (1),  $\text{CaO}$ (1),  
 $\text{MgO}$ (1),  $\text{Na}_2\text{O}$ (1),  $\text{K}_2\text{O}$ (1),  $\text{P}_2\text{O}_5$ (1),  $\text{CO}_2$ (1),  $\text{F}$ (1),  $\text{H}_2\text{O}$ (1))  
(他: 粘土鉱物種及び定量値等)

( ) その他 ( )  
(溶出水に関する化学的特性)

(○12, △1, X0) 溶出水組成  
( $\text{Ca}^{2+}$ (6),  $\text{Mg}^{2+}$ (2),  $\text{Na}^+$ (4),  $\text{K}^+$ (2),  $\text{Fe}^{(2+, 3+)}$ (2),  
 $\text{HCO}_3^-$ (6),  $\text{SO}_4^{2-}$ (2),  $\text{Cl}^-$ (2),  $\text{PO}_4^{3-}$ (2))

( ) その他のイオン: ( )

(○13, △0, X0) pH

(○11, △2, X2) 酸化還元電位 (Eh)

(○ 7, △4, X2) 伝導度

(○ 2, △6, X3) 懸濁物質量

(○ 2, △6, X3) 懸濁物質組成 (鉱物、有機物等)

(○ 2, △5, X3) 懸濁物質粒度分布

( ) その他 ( )

\* 目的に応じてそれぞれ分析項目が異なると思われますが、最低限必要と思われる分析項目についてご意見等 を記入ください。(3-3)

1. 人工バリア材の場合、溶出水中の共存イオンが多くなると考えられるので、溶出水の組成、pH等の情報に注意が必要だと思う。
2. 鉱物組成、鉱物組成比、pH、共存イオン濃度、腐食組成、腐食組成比。
3. 上記○印を付けたもの (粒度分布、比重、空隙率、飽和透水係数、土壤pH、酸化還元電位、伝導度、共存イオン濃度、CEC、AEC、溶出水組成、pH、Eh、伝導度)
4. 固相については比表面積 (粒度分布)、鉱物組成、液相についてはpH、Eh、主要イオン濃度。
5. 人工バリア材の化学的特性として、pH、Eh、伝導度があげてありますが、意味が分かりません。
6. pH、Eh(2)
7. とりあえずは、上記○印の把握が必要と思います。(粒度分布、粘土鉱物分析、溶出水組成、pH、酸化還元電位、伝導度)
8. 分配係数への影響が大きい可能性がある有機物濃度、核種添加時の液性については、分析が必要だと思います。
9. Co, Ni もしくはTRU核種 (Am, Np, Pu) に注目した場合、pH/キレート/TOC成分等が重要な影響因子であると考えられます。したがって以下の項目が最低限必要と思われます。  
(pH、Eh、TOC、C/N比、 $\text{PO}_4^{3-}$ 、バリア材組成)
10. どの場合もpH、Eh、共存イオン濃度など。化学形の推定が付くデータが必要。論文などの検定、結果の解釈にも重要。
11. 項目にコロイドに関する情報が抜けている。

\* 人工バリア材の溶出水の場合: V/M比はどの程度が良いと思われますか? (重複可)

セメント試料 :  $V/M=1$ ( ), 3( ), [10(13), 30(2), 100(4)], 300( ), 1000( ),

その他 (現実に近い方がよい(1), 10-100(1), Case by Case(1), )

コンクリート試料 :  $V/M=1$ ( ), 3( ), [10(12), 30(2), 100(3)], 300( ), 1000( ),

その他 (10-100(1), Case by Case(1), 現実に近い方がよい(1), )

ペントナイト試料 :  $V/M=1$ ( ), 3( ), [10(10), 30(2), 100(9)], 300( ), 1000( ),

その他 (10-100(1), Case by Case(1), 現実に近い方がよい(1), )

(ペントナイト100%の場合はNA型の場合、 $V/M=10$ で困難、但し、第1期埋設に示された15%混合土壤では、何とか可能、フィル-及び遠心条件による。Ca型では $V/M=10$ で可能。注意が必要)

その他試料 :  $V/M=1$ ( ), 3( ), [10(10), 30(1), 100(1)], 300( ), 1000( ),

その他 (Case by Case(1), 現実に近い方がよい(1), )

\* V/M比に対する御意見を記入ください(3-4)

1. V/Mが小さいとバッヂ法の場合、固液の攪拌が難しくなる可能性があると思う。  
(特にセメント試料の時等)
2. 原則低いV/Mが望ましいが、実体としてはKd算出の都合で変化せざるを得ない。

3. 現実に近い方が良い
4. V/M比は、実際の環境に近いことが望ましいと考えますが、実験上の操作性（濾過、測定試料の採取等）からV/Mは10が良いと考えます。
5. 実験目的で異なると考えます。
6. 収着機構解明のためにパラメータにする以外は、ある固定比（例えば10）で統一すれば良いと思います。
7. 第1次埋設申請ではV/M比は10でなされており、現状に到っており。また、吸着機構はラングミュア型等温吸着と考えられますのでV/M=3~10では恐らく顕著な変化はないものと思われます。（天然バリアと同じ）
8. ベントナイトの場合、膨潤などの問題があり、土壤などと同じ条件は難しい。(2)
9. ベントナイトの型、Na型あるいはCa型で性質が異なり、条件が決めにくい。同一条件下行う場合に濾過、遠心など別の問題が生じる。特殊な物については、可能な限り情報を整理して、条件設定する必要がある。
10. 基本的なものとして他のV/M比からかけ離れていては、分析値に影響する。人工バリアであっても、あまり極端な比は避けるべき。天然バリアで行われているV/Mと同じでかまわないと考えている。
11. 人工バリアにおけるV/Mの意味については、明快な回答はできない。こう考えてはどうかというラインを示す事が必要。

#### 4) 分配係数の測定方法等について

分配係数の測定方法について、再度確認したいと思います。当てはまるところに○を記載ください。天然バリア試料対象の場合は（天然バリア試料）欄へ、人工バリア材対象の場合は（人工バリア材）欄に記入ください。また、実際に行っている内容や今後こうした方が良いのではないか？というようなご意見も含めて記入ください。Kd検討会で比較実験を行った項目については文字囲いを付けてあります。

##### ・容器材質、容量、寸法等について

###### 【バッチ法】

<天然バリア試料>：（土壤(13)、岩石(11)、泥(3)、その他(1)）

###### 容器材質

(1) ポリエレン (20) ポリプロピレン (11) テフロン (2) ポリカーボネート (16) ガラス (1) 他 (\_\_\_\_\_)

(6) 核種により容器材質が異なる場合

材質：ポリプロ (20) 核種名：C-14(1), Ce(1), Nd(1), Eu(4), Co-60(4),

Sr-85(4), Cs-137(4), Np(1)

材質：テフロン(11) 核種名：Np-237(4), Pu-238(3), Am-241(4)

材質：ガラス(20) 核種名：C-14(3), Ce(1), Nd(1), Eu(3), Co-60(3), Sr-85(3),

Cs-137(3), Np-237(3)

材質：ポリカーボネート(2) 核種名：Np-237(2),

材質： 核種名：

(1) その他（予め容器への吸着試験を実施し、傾向を判断した方が良いと思います。(1)）

容器容量 (8) 10ml (8) 30ml (14) 50ml (3) 100ml (1) 500ml

(10) 他（ガラス：10ml(4), 30ml(1)と50ml(1)、ポリカーボネート：10ml(1)

テフロン：30ml(1) 500ml(1) )

(目的と制約に応じて(1), )

<人工バリア材>：（セメント(10)、コンクリート(5)、ベントナイト(10)、その他( )) （重複可）

###### 容器材質

(1) ポリエレン (13) ポリプロピレン (6) テフロン (1) ポリカーボネート (13) ガラス ( ) 他 (\_\_\_\_\_)

(3) 核種により容器材質変更する場合

材質：テフロン(6) 核種名：Pu(1), Am(2), Np(1), Ra(1), Pa(1), Ac(1)

材質：ガラス(13) 核種名：ヨウ素(1), Eu, Cd, Sn, Se, Tc, Cl, Cs, Co, Sr, Fe, Ni, C

材質：PP(13) 核種名：その他(1)

材質：PE(1) 核種名：

材質：PC(1) 核種名：Sr(1)

(1) その他 (予め容器への吸着試験を実施し、傾向を判断した方が良いと思います。(3))

容器容量 (6) 10ml (3) 30ml (12) 50ml (5) 100ml (1) 500ml  
(2) 他 (1,000ml (1), 目的と制約に応じて(1), \_\_\_\_\_ ml)

## 【カラム法】

<天然バリア試料> : (土壌(10)、岩石(7)、泥( )、その他(2))  
カラム材質( )ポリエチレン (6)ポリプロピレン (5)テフロン ( )ポリカーボネート (2)ガラス  
(12) 他 (アクリル(11)、塩ビ(1) )

(1) 核種により容器材質変更する場合

材質: アクリル(1) 核種名: C-14(1), Np-237(1),  
材質: \_\_\_\_\_ 核種名: \_\_\_\_\_

(1) その他 (大きい方が望ましいが実験のスケールによる制約がある。 (1) \_\_\_\_\_)  
カラム寸法 (内径 10 cm × 長さ 10 cm, 試料高さ 5-10 cm (2))  
(内径 2.5 cm × 長さ 5 cm, 試料高さ 5 cm (2))  
(内径 2.5 cm × 長さ 5 cm, 試料高さ 2.5 cm (1))  
(内径 1.0 cm × 長さ 5 cm, 試料高さ 1 cm (1))  
(内径 1.0 cm × 長さ 5 cm, 試料高さ 5 cm (1))  
(内径 5.0 cm × 長さ 15.0 cm, 試料高さ 10.0 cm (1))  
(内径 5.0 cm × 長さ 30.0 cm, 試料高さ 30.0 cm (2) 土壌)  
(内径 10.0 cm × 長さ 10 cm, 試料高さ 10 cm (1) 土壌、岩石)  
(内径 30.0 cm × 長さ 120.0 cm, 試料高さ 120.0-90 cm (1) 土壌)  
(内径 30.0 cm × 長さ 30.0 cm, 試料高さ 30.0 cm (1) 土壌、砂岩)  
(1) その他 (拡散試験溶試料: 直径 40mm 程度、厚さ 5mm 以上(1))

<人工バリア材> : (セメント(4)、コンクリート(3)、ペントナイト(6)、その他( )) (重複可)

カラム材質( )ポリエチレン (3)ポリプロピレン (2)テフロン ( )ポリカーボネート ( )ガラス  
(6) 他 (アクリル(4)、塩ビ(1)、sus(1)、 )  
( ) 核種により容器材質変更する場合

材質: アクリル 核種名: β γ 核種  
材質: テフロン 核種名: α 核種  
材質: \_\_\_\_\_ 核種名: \_\_\_\_\_  
( ) その他 ( \_\_\_\_\_ )

カラム寸法 (内径 2.5 cm × 長さ 5 cm, 試料高さ 5 cm (1))  
(内径 5.0 cm × 長さ 5 cm, 試料高さ 3 cm (1))  
(内径 1.0 cm × 長さ 5 cm, 試料高さ 5 cm (1))  
(内径 5.0 cm × 長さ 15 cm, 試料高さ 10 cm (1))  
(内径 5.0 cm × 長さ 30 cm, 試料高さ 30 cm (1))  
(内径 10.0 cm × 長さ 10 cm, 試料高さ 10 cm (1) ペントナイト、コンクリート)  
(内径 25.0 cm × 長さ 20 cm, 試料高さ 20 cm (1) ペントナイト)  
(1) その他 (拡散試験溶試料: 直径 20mm 程度、厚さ 5mm 以上(1))

\* 多種の化学形を有する核種を対象とした場合、容器壁への吸着の影響が無視できない場合があります。特に生成される錯体等の性質等も十分考慮しておく必要があります。TRU核種等の実験においては容器壁への付着等の問題が日々見られ、各核種の化学形に応じて容器材質を選定しておくことも必要ではないかと考えられます。各核種に対する容器材質についてご意見等を記入ください。 (4-1)

1. 容器壁への吸着は pH によって大きな影響を受けるようです。特に TRU核種の場合、中性から弱塩基性領域で無視出来ないので、使用する容器への吸着量を予め検討しておく必要がある。テフロン、ダイフロンを使用してもコロイドの付着等は避けられない。
2. 各核種毎と言うよりは、一般的な材質で統一条件で測定し、容器への付着状況をブランクテストとして求めておくことでもよいのでは。ただし、ブランクの状態と試料が存在する状態とでは、核種の溶存状態が異なることなど、注意が必要。
3. 容器材質は可能な限り無極性に近いものを選定するが、膨大な試料の測定には、テフロンなどではコストが非常に高く、馬鹿にならない。化学的安定性、コスト、放射性廃棄物の増大等を考慮し、一般的に使用されているもののなかで、大部分の核種は、ポリエチレンあるいは

はポリプロピレン（可燃廃棄物で処理可能）で測定可能。TRU核種はテフロン、ダイフロン、ポリカーボネート等。

比較実験では可能な限り、容器等は同一の物がよいが、全てテフロンではコストが高い。影響のない物までテフロンを使用する必要はない。

4. 核種の容器への吸着についても詳細に検討する必要があると思いますが、時間的な余裕が無く、ポリプロピレンで実験しているのが現状です。また、容器を選定する場合、容器の価格と廃棄物としての処理のし易さもポイントだと思います。
5. 鉱物表面での表面錯体と同じように容器表面での表面錯体として取り扱えば定量的に取り扱う事ができる。
6. 完全に容器壁吸着を排除することはできないので、常にブランクを立てて補正する事を考えている。
7. 溶液のイオン強度がある程度高ければ、TRU核種もそれほど吸着しないのでアクリルの拡散セルを使っている。吸着が無視できない場合にはテフロンに変更する必要があると思っている。
8. Puを用いたバッチ試験においてガラス容器への付着が多く、ポリプロピレン容器には少ないことを実験で確認しました (JAERI-M88-038)。よってTRU元素系については、ポリプロピレンが良いのではないかと思っています。
9. 核種に対する試験はそれほど行っていませんが、有機物質の場合には吸着の少ないテフロン等を用いています。ブランクとの比較で行っているので、ブランク試験の結果がおかしい場合にはやり直しています。
10. 同感ですが細かく選定できたとしても複雑になり実用性の点で課題が残ると思います。むしろ、機材の問題を指摘した上で、2, 3の材質をコメントするに留めては如何でしょうか。
11. カラム実験の経験が有りません。(2)
12. 壁の有効吸着面積を計算できないか? → 補正するため  
核種毎にその補正の必要性が明らかに成ればよい。
13. 影響があると考えられる化学形態としてはアコ錯体（コロイダル）が重要なものと考えますが、経験上ポリプロピレン（不都合は生じていない）が適当かと思われます。
14. 容器の材質よりもブランクテストがしっかりとすれば、比較検討ができる。ブランクの数も1点ではなく試料数と同じ数だけ必要ではないか。1試料当たり3本の場合には3本のブランクを用意して行う。
15. ブランクテストの際、(実験水+RI溶液) の他、試料内の溶液状態を考慮して、それと同程度の共存イオンを添加するか、平衡水を作成して濾過した平衡水にRIを添加したもの等、ブランクの溶液状態についても考慮しておく必要がある。これまで多く実験されている Co-60, Sr-90(r-85), Cs-137等では殆どの土壤で影響は見られないが、TRU核種など化学形が変化するものについては、結果を解釈する上で注意すべき事である。ただし、基本的には (実験水+RI溶液) で良いかもしれないが、注意書きも必要である。
16. 容器材質の他に容器の形態が振盪状況によってはかなり影響されることが前回の実験で確認されており、容器の形状と振盪方法の両方について、基本的なものを決めることが必要。
17. 比較実験の中で容器壁の洗浄について影響の比較を行ったが、酸による容器洗浄の効果は殆ど認められていないことから、酸による洗浄は必要ないものと思う。有機物やバクテリアなどの問題については、今後検討する必要がある。
18. とにかく全てテフロンではコストが高くなる。ただ、データの正確さから考慮すると $\alpha$ 核種についてはテフロンが良い。 $\beta\gamma$ 核種では、PP, PC, PE, ガラスでは大きくは違わない。核種特性に応じて決めてはどうか。
19. ブランクテストにおいて蒸留水や雨水など共存イオン濃度が極端に小さい場合は、どの容器材質でも容器への付着は避けられない。加水分解核種などでは、中性付近で容器に付着して初期濃度が安定しない場合がある。比較測定実験で行ったように、同一の共存イオン濃度を添加するか、試料との平衡濃度が得られてから、実験を開始するかのどちらかになると考えられる。
20. 容器への付着は避けられない。ブランクも共存イオンをほぼ同じにする必要がある。それに平行水を使うのが最も簡単。

\*目的によりカラム寸法(試料寸法)も異なると思いますが、一般的に分配係数を測定する際のカラム寸法(試料寸法)としてどの程度が適当と考えられますか？ご意見を記入ください(4-2)

1. カラム寸法及び流入・流出端の形状については、一次元のデータを得ることを目的とする最も一般的な試験では、トリチウム水等の破過曲線で理論的な一次元の移流分散が得られるような設計であれば基本的に良いと思われる。

2. ホット実験の場合、実験施設設備の大きさ（グローブボックスなどの作業場所の大きさ）、廃棄物の発生量等とも微妙に影響される。周りの状況に左右されることが多い。これまで、最大で $30\text{cm } \phi \times 120\text{cmh}$  の試験の他、 $30\text{cm } \phi \times 30\text{cmh}$ 、 $10\text{cm } \phi \times 10 \sim 30\text{cmh}$ 、 $5\text{cm } \phi \times 10 \sim 30\text{cmh}$ 、 $2\text{cm } \phi \times 2 \sim 5\text{cmh}$  等のカラムが使用されている。

$K_d$  を測定する場合、試料中の核種濃度分布から計算により求める事が多く、一次元の解析で取り扱いやすいサイズとして $5 \sim 10\text{cm } \phi \times 10 \sim 30\text{cmh}$  位、核種の流出状況（破過曲線）から求める場合には、数 cm の小型のもので良い。両方を合わせて解析するのは、マスバランスの取り方が大変難しい。

### 3. Case by Case

4. 一般化は困難であり、技術的必要性や時間的制約から決めている。少なくとも試料の代表性が得られるよう配慮している。
5. 拡散試験の試料サイズとして、直径 $20\text{mm}$  以上、厚さ $5\text{ mm}$  以上ほしいと思います。
6. カラム法ではあまり試験していないのでよく分かりません。(2)
7. よく分かりませんが基本的には $5\text{径} \times 30\text{cm}$  を標準としています。 $K_d$  の大きなもの、透水係数の低いものについては、 $5\text{径} \times 2.5\text{cm}$  で実施した場合も有ります。カラム寸法を短くした場合には、それ相応に流速を小さくする必要があると思われます。目安としてはカラム滞留時間として $30\text{分} \sim 1\text{時間}$  程度ではないでしょうか。透水係数が低い場合には $2 \sim 4\text{時間}$  以上にも及ぶ場合も有ります。
8. 予め分配係数がどの程度かを推定し、高い値で有れば $1\text{ cm}$  でも十分であり、低い値で有れば、長くする必要が有ります。
9. (実験遂行上)  $5\text{cm 径} \times 10\text{cm}$  ぐらいが扱いやすいと思う。
10. カラム寸法は、SV (Space Velocity), 破過特性をある程度 estimate し、カラム出口溶出液採取量、破過時間により適正な数値を評価すれば良いと思います。
11. カラムのサイズについては、廃棄物発生量など制限があり、大きければ良い物ではない。ただ、地層を評価する際に、ある程度の大きさが必要であるとの考え方もある。安全評価のための確認実験なのか、この実験で評価に使用する $K_d$  等をだそうとするのか。大きなサイズの物ほど核種移行挙動は地層試料の影響を受け、結果の解釈には $K_d$  以外のものが必要になるケースが多い。
12. カラム法の位置づけ等議論が必要。(2)
13. 何を目的にカラム法を行うのか、大きさも目的による。
14. バッチ法とカラム法の使い分け、実際にどのような分配係数が使われるべきなのか、核種の地中移行を評価するにはどちらを使うべきか、意見を統一しておく必要がある。当然目的により、方法が違うのは当たり前であり、ある前提の基に安全評価についてはバッチ法を使用してはどうかなど、提案しておく必要がある。
15. かなり昔から、京都大学においてバッチ法とカラム法の分配係数について調べられ、各方面でも実験は行われているが、バッチ法のデータとカラム法のデータをつなぐのは大変難しく、往々にして、 $K_d$  のみでは評価できない結果が多い。ただ、地中を移行する核種の表面付近における大部分の移行はある程度なら評価可能であることもしっかりと評価すべきである。移行して深部へ行くのは、極一部であることも報告されている。大部分とは、どこまでかというような問題もあるが、これまでの $K_d$  で全く移行を表せない訳でもない。したがって、安全評価に使用する $K_d$  は、こうしたいという考え方をまとめておくことが必要。
16. どうもカラム法の場合には、特に大きくなればなるほど、マスバランスが合わなくなる。カラム内の分布と溶出液中濃度の両方を使って核種移行モデルに従って、フィッティングなどを行い、 $K_d$ 、 $R_f$  値を算出するが、この両方を合わせることは大変難しい。バッチ法ではグロスで、評価してしまうため、核種の僅かな化学形の変化などは滅多に現れてこないが、カラム法ではクロマトであるから、極微量な化学成分が分画され、カラム内に僅かなピークの分布や、流出液にピークが見られ、結局、分配係数では評価できなくなり、吸着・脱離速度を考慮したり、化学形そのものに分布を持たせたり、何とか結果をフィッティングして評価しているのが現状。安全評価の場合には、大まかな傾向がつかめ、かつ、各パラメータの感度解析による範囲が示されれば良いのではないか。話はそれだが、これらの影響が見られないような単純なイオン交換核種で有れば、カラム法は有効かも知れないが、大部分の核種はこのようには解析できない。これらの影響をみたくないときにはできるだけ小型の数センチサイズのカラムが適当。この違いをみたいときには大型カラムが最適。
17. 廃棄物の発生量から考慮すれば、小規模な実験が良い。核種の $K_d$  の大きさにもよる。
18. バッチ法の $K_d$  には複合的な吸着現象が全て複合されているが、カラム法では、吸着と脱離などが分離された影響が観察される。カラム法の意味を考える必要がある。

## ・試料重量Mについてどの程度が適当と考えますか？

## 【バッチ法】

(天然バリア試料) (3) 0.1g (7) 1g (9) 3g (5) 5g (3) 10g ( ) 30g(3)他(特定せず(1), 任意(2) g)

(人工バリア材) (1) 0.1g (3) 1g (6) 3g (3) 5g (2) 10g ( ) 30g

(3)他(特定せず(1), 任意(2) g)

## 【カラム法】

(天然バリア試料) (5) 1g (4) 10g (4) 30g (2) 50g (3) 100g

(3)他(特定せず(1), 任意(1), 約500g(1), 約300g(1), >100(1), \_\_\_\_\_g)(人工バリア材) (1) 1g (2) 10g (3) 30g (1) 50g (3) 100g(50mm  $\phi$  x 50mmH(1))

(1)他(特定せず(1), \_\_\_\_\_g)

## ・液量Vについて　どの程度が適当と考えますか？

## 【バッチ法】

(天然バリア試料) ( ) 1ml (7) 10ml (9) 30ml (2) 50ml (5) 100ml(6)他(50ml(3), 任意(1), 特定せず(1), 30-50ml(1), \_\_\_\_\_)

(人工バリア材) ( ) 1ml (5) 10ml (4) 30ml (4) 100ml

(4)他(特定せず(1), 任意(1), 1,000ml(1), 30-50ml(1), \_\_\_\_\_ml)

## 【カラム法】

(天然バリア試料) ( ) 1ml ( ) 10ml (1) 100ml (1) 1000ml

(3)他(特定せず(1), Kdに依存(1),  
カラム寸法によって異なる1000ml以上(1), \_\_\_\_\_)

(人工バリア材) ( ) 1ml ( ) 10ml (1) 100ml (1) 1000ml

(3)他(特定せず(1), カラム寸法によって異なる1000ml以上(1), \_\_\_\_\_)

(カラム試験における液量とは何か？とのコメント(2))

(カラムのサイズ、試料サイズにより適量は異なり何ともいえない(2))

## ・V/Mについて　どの程度が適当と考えられますか？

## 【バッチ法】

(天然バリア試料) ( ) 1 (22) 10 (3) 30 (1) 100(3)他(V/M=10-100(1), 任意(1), 特定せず(1), \_\_\_\_\_)

(人工バリア材) ( ) 1 (16) 10 (2) 30 (1) 100

(3)他(V/M=10-30(1), 特定せず(1), 任意(1), 300(1), \_\_\_\_\_)

## 【カラム法】

(天然バリア試料) (1) 1 (1) 10 (2) 30 (3) 100

(4)他(V/M=実際に近い値(1), 特定せず(1), Kdに依存(1), 30-100(1))

(人工バリア材) (1) 1 (1) 10 (2) 30 (3) 100

(4)他(V/M=10-30(1), 特定せず(1), 実際に近い値(1), 30-100(1), \_\_\_\_\_)

・カラム内試料の空隙容積( $\tau$ )に対する流下液量(V)との比はどの程度が適当と考えられますか？(天然バリア試料)  $V/\tau = ?$  ( ) 1 (2) 10 (2) 100 ( ) 1000(3)他(V/ $\tau$ =任意(1), 特定せず(1), C/C\_0=1になるまで(1), Kdに依存(1), \_\_\_\_\_)(人工バリア材)  $V/\tau = ?$  ( ) 1 (1) 10 ( ) 100 ( ) 1000(3)他(V/ $\tau$ =任意(1), 特定せず(1), C/C\_0=1になるまで(1), \_\_\_\_\_)\*分配係数の測定に関して、一般的なケースあるいは特殊なケース等( $K_d$ が極端に大きいか小さい場合)がありますが、実験上、適当と考えられるV/MあるいはV/ $\tau$ についてご意見を記入ください。(4-3)1.  $C_0$ と $C_e$ 間の濃度の減少が十分に認められ、且つ $C_e$ の検出感度が十分に得られることがV/Mを決定する基準になる。 $C_0/C_e$ が10-100程度になるV/Mが適当か？

2. V/Mを決定する際、実験操作上、次の点が問題となる。

・実験に使う事ができる固相の総量→均一でなるべく量が多い方がいい。

・実験に使う核種の総量→廃棄物の関係で少ない方が望ましい。

・液相の化学的特性に関する試験→液量(V)が大きい方がいい。

実験操作上、液量は30-50ml程度が適量だと思います。

3. 適切に $K_d$ が計算されるために、液相中の初期核種濃度と試験後の濃度の差が適切な範囲に

- あることが望ましい。それにより  $V/M$  を決めている。
4. カラム法における  $V/\tau$  は原則  $c/c_0=1$  まで行う(3)。むしろ流下液の供給速度が大事と考えている。
  5. 拡散試験で  $K_d$  を求める方法は、 $K_d$  が小さい場合に適しています。例えば  $0.1 \sim 10 \text{ ml/g}$  程度の  $K_d$  を精度よく測定できます。
  6.  $V/M$  は 10 が適当だと思います。(3)
  7. 液量については、適量かどうかは、用いる試料により異なります。  
何ともいえないと思います。
  8. 実験初期の段階で固液比の検討を行うようにしていますが、通常は 10 を目安にしています。ベントナイトの場合には、それでは振盪が不十分なので 300 度を使用しました。
  9.  $V/M = 10$  は第一基埋設の基準であり、まず重要な値だと思います。
  10. 全ての実験条件は、想定される分配係数に依存すると思います。従って、核種、固相、液相の条件で変化するを考えられます。
  11. (平均的)  $K_d$  の関数として与えられるもの。カラム法は標準法として位置づけ無くて良いのではないかと思う。
  12. バッチ法については  $V/M = 10$  で対応しており、今までこれといった不都合は生じていません。したがって、 $V/M = 10$  で宜しいかと思います。
  13.  $K_d$  が極端に大きい場合には  $V/M$  を大きくしないと溶液内核種濃度が検出限界以下となり、測定不能になる。この場合、検出限界の濃度から、 $K_d$  値は \*\*\* 以上という表現になる。  
実験を開始する前にはこの実験がどの程度の精度を持っているのか、 $K_d$  でどの程度まで算出できるのかの検討は実験者がそれぞれ行っているものである。これらの操作においては、論文にはあまり書かれていらない内容であるが、3 オーダーの実験か 4 オーダーの実験かは、各自が判断していることである。ここら辺についても、ちゃんと明示しておいた方が良いかも知れない。

・カラムへの実験溶液の供給速度について どの程度が適当と考えられますか？

- (天然バリア試料) 試料の飽和透水係数に対して  
 ( ) 飽和透水係数と同程度 ( ) 以下 (約 1/1(1) 程度) ( ) 以上 (加圧法)  
 (人工バリア材) 試料の透水係数に対して  
 ( ) 飽和透水係数と同程度 ( ) 以下 (約 / 程度) ( ) 以上 (加圧法)

\*供給速度を上げるため、圧力を加えて強制的に供給する加圧促進試験法についてどのように考えますか？媒体中に大きな変化を与えない範囲であれば、促進試験として有効と思われますがどうでしょうか？ご意見等 を記入ください。 (4-4)

1. ミクロな水の流水の場に影響が無ければ、化学的相互作用（間隙水や吸着・脱離）に多少の影響が合っても解析で考慮できると思います。
2. 媒体中に大きな変化を与えるのであれば有効。ただし、ほとんどが大きな変化を与えるから促進されているのだと思う。大きな変化を与えていないと評価すること自体が困難である。
3. 「媒体中に大きな変化を与えない範囲」であれば容認できる。ただし、「媒体中に大きな変化を与えない範囲」の解釈が難しいと思います。
4. 設問の趣旨がよくわかりません。圧力を加えないということがあり得るのですか？例えば静水圧程度で水が流れるようなツーツーのカラムで実験して意味があるのですか？加圧は当然必要だと思っています。
5. 指摘のように、媒体中に大きな変化を与えない範囲であれば、促進試験として有効と思われる。(2)
6. 促進は有効だと思います。実験のメリットは何度でも実施できる（労苦は伴いますが）ことだと思います。また、完全な現地状況は再現不可能でもあり、実験は一定のコントロール条件下で実施せざるを得ないと思います。むしろ促進により時間を稼ぎ、圧力等をパラメータとした実験により、外挿で原位置での移流等を推測することが実験を実施する意義だと思います。
7. 流速依存性の実験をして問題のない範囲であれば OK ではないでしょうか？
8. 吸着平衡が有る程度達成されているなら、有効と考えます。
9. 良くない。ものの流れのパターンが変わるとと思う。カラム法は標準法として位置づけ無くて良いのではないかと思う。
10. 標準法として決めるには多くの問題はあるが、大まかな考え方等を示すことが重要。
11. 予備試験を実施して問題が無ければ良いかと思われます。
12. 媒体中に大きな変化を与えない範囲で有れば促進試験として有効だと思う(2)
13. R I の吸着に関しての促進は振盪条件程度で、吸着平衡到達までの時間を短くすることで、

材料（試料）の促進については、セメント、コンクリートなどでは中性化である。天然の地層の促進とは何か、ということで、超長期的には岩石の期風化、鉱物化など、環境条件での加速に水の流れが上げられるが、試料の透水係数は一定である場合、何を持って促進とするのか、加圧して無理矢理流す場合でも、加圧による促進は僅かである。この際に、加圧による試料の堆積変形にも注意が必要である。試料の全面に拘束圧がかかり変形のない場合には構造の変形は無視できると思われるが、土壤、岩石によっては堆積変形を起こすものもある。

カラム法での促進は供給される水の量、表層土壤であれば、年間降雨量に対して連続して100年分を流すなどの加速は可能である。深層での加速試験は土被り圧程度で行う場合、促進の意味はほとんどないのではないか。

14. あえて促進する必要はない。状態の時間的な変化については別な取り組みがあると思われる。核種の吸着移行という事については、その試料の持つ透水係数以上で加速する必要はない。
15. 促進の意味について、可能な物、不可能な物、促進してはいけないもの等、考え方、項目などまとめておくこと。
16. 無理な促進データをとってもあまり意味のない結果になる。岩石や人工バリア材等の実験では加速自体無理。拡散で取り扱うが仮実験が有効。時間はかかるが、数ヶ月～数年の範囲で実験可能。無理な加速は意味がない。
17. 岩石などは土被り圧を受けてその深さに存在しているため、サンプリングで開放されると自分自身で破壊する場合がある。ここに水を流すことによって、さらに破壊は進むこともある。従って、容器に入れ拘束圧を試料全面にかけないと岩石などの変形が生じる。実際には、全面に拘束圧を加え、その中で水を注入することになる。多くの地質関係の研究機関でこのような透水試験が行われている。核種移行に関してはこのような拘束圧下での核種移行など検討する必要がある。

#### \* カラム内試料の状態について

カラムに充填する試料については、攪乱試料と未攪乱試料があります。攪乱試料については、実験者がある程度自由に空隙率等を設定し、充填することが可能です。未攪乱試料の場合には、未攪乱の状態で試料を成形した後、カラムに充填し、カラムと試料の隙間を樹脂等を流し込みシールする方法などが行われています。目的に応じて試料の状態は使い分けが行われていますが、実際の地層を評価する上で、どのような方法が適当と考えられますか？ご意見等を記入ください。

#### (4-5)

1. やはり実際の地層中における移行挙動を評価するためには（現実的なKdを得るために）未攪乱の試料を用いて、天然と同程度の水の流水を与えることが最適であると思います。ただし、未攪乱ゆえ、得られた結果がその土地の特性を代表していることを何らかの方法で確認することが必要であると考えます。
2. 目的による。(2)
3. 実際の地層を評価する際には、地質媒体の持つ不均一性を込みにして、水と物質の挙動を検討することになるので、化学反応を起こさない不活性ガスあるいは吸着がほとんどないと考えられる重水素をトレーサーとして、先ず水の挙動を追跡すると同時に、安定同位体によるKd値測定を行う方法が巨視的には優れていると思います。
4. 可能であれば後者の未攪乱試料を使う。砂層のように元々固結性が低いものは、攪乱も容認される。
5. 拡散試験は未攪乱試料で行わないと意味がありません。一方、カラム移流試験では、カラム内が均一であることが解析の大前提ですから、未攪乱の試料を使えば良いというものでも無いと思います。
6. 攪乱試料で移行性、それに及ぼす影響について詳細に調べ、その結果を未攪乱試料の実験結果を解析するために用いるというのが理想的だと思います。
7. 実際の地層を評価する上で最も大切なものは地層の不均質性と考えられます。みかけの分配係数が移行距離に応じて大きくなることは、周知の事実ですがこれも十分均質性を反映したものと考えられます。分配係数について、実地層がどのような不均質性を有しているかは、明らかではありませんが、地層の不均質性の上にさらにバラツキが加わっていると考えられます。実際に評価する上では、透水性の不均質性、分散の不均質性、分配係数の不均質性のバラツキを考慮した感度解析を行い、実験に許される精度を勘案してやるべきと思います。
8. なるべく未攪乱が良いと思います。但し、予め、まず攪乱試料で種々の物理・化学的傾向を把握しておく必要があると考えます。
9. 畑地では実際に攪乱されるので、特に配慮しない。
10. 破過特性の解析には空隙率が重要な評価因子の一つでありますので、予め空隙率を測定することにより実施可能かと考えます。

11. 両方の実験結果を照合し、内挿することが必要だと思います。そのため、様々な機関で実施する条件をある程度整えた上でベンチマークテスト式に実施。
12. 多くの地層に対してカラム実験が必要か否か、未攪乱試料の不均一性ばかりが目立つ。攪乱試料での基本的な実験が少なく、バッチ法と合わないのは、不均一性の問題も多々ある。たしかに、サイトスペシフィックな地中の核種移行は確認する必要はあるが、安全評価に使用するKdを測定する方法としては適当ではないと考える。
13. 未攪乱の試料はそれ1つの値であり、広域的な地層を評価する上で多くの未攪乱試料による実験が必要である。何か、広域的な地層を評価する尺度、考え方等、ある程度決めておかなくては話が進まない。
14. 未攪乱の条件についてもきちんとする必要がある。特に、深地層試料の採取など、雰囲気の問題をどうするかなど、試料採取から調整、実験開始から終了、測定まで一連の条件設定に対する検討が必要である。その前に、大気中における実験条件なども合意された物がないので、ここでまとめる作業も必要である。
15. カラム実験の場合、流出液濃度とカラム内核種分布状況等をフィッティングして、遅延係数、分配係数を求めるが、どうしてもマスバランスが合わないことが多い。流出状況だけ、分布だけで合わせることは簡単であるが、解析は難しい。大きな物ほど併せにくい傾向がある。単純にカラムによるKdを求めるだけなら、可能な限り小さなサイズが良い。これであればバッチ法のKdにより近くなるはずである。安全評価に使用するKdという意味であれば、小型で十分と思われる。地中移行を見るようなおきなものでは、どんどんKdでは評価できないという方向へ進む。したがって、サイズは小型、未攪乱でも小型であれば全体的に均質な値にまとまるように思える。飛び離れた値があれば、不均一性であり、統計処理による(代表値±標準偏差)で議論するのも良い。Kdだけでなく透水係数や拡散係数等、他の係数についても(代表値±標準偏差)での議論が必要と考える。
16. カラム実験の結果をどう使うのか、今だ不明で有り、どう利用したらよいのかなどの基準もない。カラム実験は本当に必要か?化学的には意味があるが、安全評価にはどう利用できるのか?議論が必要。

・ R I 溶液について

実験目的によりR I 溶液の調整方法も異なりますが、一般的に自然環境条件下(地下水条件や、地下環境条件等)における範囲内で実験する場合、どのようにR I 溶液を調整するのが適当と考えられますか?実験開始前の初期状態等についてご意見等を記入ください。(重複可)

【バッチ法】

<天然バリア試料>

- pH調整は ( 7) 調整しない (実験手法の検討のためこれまで無調整で行った)  
 ( 6) 調整する (およそpH=6-7(1), 4(2), 6(1), 目的による(1))  
 ( ) バリア材平衡 pH(1),  
 ( 4) 他 (土壤溶出水に添加(1), 特定せず(1),  
 (状況による。ベンチマーク等行う場合は調整しない方が良いと思う(1))

R I 溶液の濃度はおよそ ( 1) 1Bq/ml ( 4) 10Bq/ml ( 8) 100Bq/ml ( 3) 1000Bq/ml  
 ( 7) 他 (溶解度以下(1), 数 ppm 程度(1), 特定せず(1),  
 (検出下限値、溶解度による(1), Kd に依存(1), )  
 (V, M, Kd により決定(1), )  
 (試料により平衡濃度が異なり一概にいえない(1))

R I 溶液中のR I の化学形を考慮して化学分離等調整作業を行うか否か?

- ( 3) 普通は行わない  
 ( 9) 化学形を考慮する必要がある核種についてのみ行う  
 (対象核種名: 例えれば Np(1), Pu(1), Am(1), U( )等、他核種名 Co(1))  
 ( ) その他 ( )

<人工バリア材>

- pH調整は ( 4) 調整しない ( 1) 調整する (バリア材平衡 pH(1), )  
 ( 3) 他 (特定せず(1), )  
 (条件統一のため、R I 原液 pHと同じにする(1), )  
 (状況による。ベンチマーク等行う場合は調整しない方が良いと思う(1))

R I 溶液の濃度はおよそ ( 2) 1Bq/ml ( 1) 10Bq/ml ( 4) 100Bq/ml ( 2) 1000Bq/ml  
 ( 6) 他 (溶解度以下(1), 目的による(1), 特定せず(1), )  
 (検出下限値、溶解度による(1), )  
 (V, M, Kd により決定(1), )

|   |   |
|---|---|
| <p><b>【カラム法】</b></p> <p>&lt;天然バリア試料&gt;</p> <p>R I 溶液の</p> <p>&lt;人工バリア材&gt;</p> <p>R I 溶液の</p> | <p>(試料により平衡濃度が異なり一概にいえない(1))</p> <p>R I 溶液中のR I の化学形を考慮して化学分離等調整作業を行うか否か?</p> <p>( 1) 普通は行わない<br/>       ( 7) 化学形を考慮する必要がある核種についてのみ行う<br/>       (対象核種名: 例えば Np( ), Pu( ), Am( ), U( )等, 他核種名 _____)<br/>       ( ) その他 ( _____)</p> <p>pH調整は ( 2) 調整しない ( 4) 調整する (pH=6-7(1), 対象とする pH(2) )<br/>       (バリア材平衡 pH(1), _____)<br/>       ( 5) 他 (土壤溶出水に添加(1), 目的による(2), 特定せず(1), _____)<br/>       (状況による。ベンチマーケット等行う場合は調整しない方が良いと思う(1))</p> <p>濃度はおよそ ( 1) 1Bq/ml ( 4) 10Bq/ml ( 8) 100Bq/ml ( 2) 1000Bq/ml<br/>       ( 6) 他 (目的による(1), 特定せず(1), _____)<br/>       (検出下限値、溶解度による(1), Kd に依存(1),<br/>       (V, M, Kd により決定(1), )<br/>       (試料により平衡濃度が異なり一概にいえない(1))</p> <p>R I 溶液中のR I の化学形を考慮して化学分離等調整作業を行うか否か?</p> <p>( 6) 普通は行わない<br/>       ( 6) 化学形を考慮する必要がある核種についてのみ行う<br/>       (対象核種名: 例えば Np(1), Pu(1), Am(1), U( )等, 他核種名 _____)<br/>       ( ) その他 ( _____)</p> <p>pH調整は ( 1) 調整しない ( 2) 調整する (pH= _____)<br/>       (バリア材平衡 pH(1), _____)<br/>       ( 4) 他 (目的による(2), 特定せず(1), _____)<br/>       (状況による。ベンチマーケット等行う場合は調整しない方が良いと思う(1))</p> <p>濃度はおよそ ( ) 1Bq/ml ( 1) 10Bq/ml ( 1) 100Bq/ml ( 1) 1000Bq/ml<br/>       ( 6) 他 (目的による(2), 特定せず(1), _____)<br/>       (検出下限値、溶解度による(1), )<br/>       (V, M, Kd により決定(1), )<br/>       (試料により平衡濃度が異なり一概にいえない(1))</p> <p>R I 溶液中のR I の化学形を考慮して化学分離等調整作業を行うか否か?</p> <p>( 3) 普通は行わない<br/>       ( 4) 化学形を考慮する必要がある核種についてのみ行う<br/>       (対象核種名: 例えば Np( ), Pu( ), Am( ), U( )等, 他核種名 _____)<br/>       ( ) その他 ( _____)</p> |
|---|---|

\* その他、R I 溶液の調整方法は評価対象物等により異なるものと思われます。各バリア材を評価する際の適切な調整方法等についてご意見等を記入ください。(4-6)

1. 会社で使用できる最大核種使用量があまり大きないので、出来る限り低い濃度での実験を心がけています。
2. 実験値の正当性、信頼性、測定精度からくる最低限の放射能濃度で設定すべきで、無駄な廃棄物を発生しないようにすることも必要。
3. せっかくのご質問ですが、ケースバイケースでなかなか特定するのは困難と思います。
4. 設問の趣旨がよくわかりません。
5. R I トレーサーを用い溶液を調整する場合、対象となる元素 (R I と安定同位元素を合わせたもの) が溶解度以下であるように調整する必要がある。また、R I トレーサーは酸性溶液である場合が多いため、添加量によっては、浸漬液の初期 pH 条件が変わることがあるので注意する必要があるものと考えます。
6. 本来は、廃棄物固化体からの溶解形態が最も理想的ですが、現実的には可溶性のイオン形態で、できるだけ微量添加 (セメント側が受ける影響を少なくする。) が望ましいと思います。
7. できれば平均的組成の地下水で薄めるのが望ましい。  
(決まっていなければ純水や CaCl<sub>2</sub> 等)
8. セメント系材料の場合には、平衡 pH のコントロールは非常に難しいと思います。特に、カラム試験等の場合には、初期 pH を調整しても、試験中に変化してゆくものと考えられ、pH 調整の意味を十分に検討する必要があると思います。
3. 地層を評価する場合、地層中でのR I の状態が問題と思われる。対象地層中での核種の状態はどうなのか、浅地層処分では廃棄物はセメントであり、構造物はコンクリート、ともに強

アルカリの状態から漏出する。構造体付近では当然強アルカリ条件で存在するが、地層の緩衝作用により、中性化され、構造体から離れた部分では、中性と考えられる。長期の評価では、地層の平衡 pH になるものと考えられる。安全評価においての評価地点はどこか、どう考えるのかで、核種の初期 pH が決められる。地中移行挙動として評価するのであれば、中性条件での検討が必要と思われる。したがって、これまで反応系においてほぼ中性に成るような調整を行ってきてている。たとえば、バッチ法  $V/M=10$  で  $30mL, 3g$  の場合、R I 溶液は pH 3 ~ 4 程度に調整したものを約  $30\mu L$  程度添加すると反応系ないで約 1000 倍に希釈され pH は中性付近に落ち着く。R I 溶液購入時は 1 N あるいは 0.1 N の酸に溶解されているものが多くダイレクトに R I 溶液を添加すると反応系で pH 3 程度となり、当然大きく値に影響を与える。核種の移行形態と媒体内での条件設定についてもコメントすべきである。

10. これまでの比較実験の結果、初期の pH が大きく影響していることが分かっている。どの時点での核種移行評価なのか、曖昧にせず、はっきりと明示したらどうか。
11. 人工バリア材のセメント、コンクリートについては、強アルカリ性であり、強アルカリ性での条件が必要。初期の状態から R I 溶液を強アルカリ性にすることは、たいがいの核種の場合、加水分解等の問題があり、強アルカリ性にした R I 溶液を添加するのは大変難しい。したがって、反応系が強アルカリで平衡になった状態に R I 溶液を添加する事になるが、R I 原液 pH 1 以下のものをダイレクトに添加するのは、反応系の pH が大きく変わる可能性があるので好ましくない。人工バリア材の場合には、R I 原液を水で希釈し、pH 3 以上 5 程度まで持つていった方が良い。いずれにしても、平衡 pH が大きく変化しない程度の調整方法を考える必要がある。
12. 安全評価におけるパラメータの設定条件が曖昧であり、どこを評価しているのか考え方を明確にして評価すべきである。曖昧な表現が多いため、核種移行に関しても曖昧な表現となっている。核種の化学的な性質から、評価に必要な核種の移行形態を検討し、どこを、何を評価すべきかをもっと議論すべきであるが、データがないなどの事から、文献値などで評価計算が進められてしまう事にも問題がある。安全評価では、細かいことはいらないのかもしれない。Kd の測定法などよりも、どこかに（文献に）値があればよいと言うようなところも多々見られる。その為か、核種の初期状態が Kd を決定する重要なファクターとなるのに、R I 溶液の初期条件等はあまり議論されない。購入可能な R I 溶液と廃棄物中の核種の形態も異なる可能性が大きい。廃棄物体から漏出する核種の形態も様々な可能性がある。始める段階からブラックボックス的で、核種の形態を詳細に検討していない。安全評価はこんな物と考えず、化学的な根拠に基づいたパラメータを入力する必要がある。決して安全評価がいい加減とは言わないがもう少し明確に、化学的にパラメータが決定されても良さそうである。
13. どうも対象廃棄体内の核種の化学形が定かでないことから、このような問題が起こる。廃棄体内でのおよその核種の化学形について、実際のデータがほとんどない。R I ・ 研究所等廃棄物、低レベル廃棄物にしても核種量はある程度推定されているが、化学的な形についての情報が不足している。化学形が推定できれば、それに見合った、R I 溶液の調整が可能である。実際に廃棄体内の化学形が酸化物で有れば、それが溶解して、イオンとなるには膨大な時間がかかる。実験は大部分が、イオン形からスタートしている。この辺も長期の評価においてどう影響するのか考える必要があるかも知れない。

\* 分配係数は核種の化学形が異なれば、当然異なった値が得られます。多種の化学形を有する核種においては、核種の化学形毎に分配係数が設定されるべきと考えられます。自然環境条件範囲内 pH においても多種の化学形を考慮すべき核種が多々見受けられます。核種においては共存イオン、共存物質や雰囲気などにより極端に分配係数が変動するものもあります。現在、これらの影響を全て含めた形での分配比が分配係数値として示されています。多種の化学形を有する核種の分配係数の考え方について、ご意見等を記入ください。

また、これまでの安全評価における 1 核種 1 個の分配係数で評価することについてのご意見等も併せて記入下さい。（4-7）

1. バッチ法 Kd の値と液相中の化学形及びカラム法による移行挙動を比較しながら Kd の妥当性も含めて検討すべきであると考える。
2. 化学形が変化すると考えられる核種の場合、化学形を推定するため固液接触後の pH と Eh は少なくとも測定しておく必要があると思います。
3. そもそも 1 つの分配係数だけで評価することがナンセンス（上にかれているように）。本来は全ての媒体、核種に対して表面錯体モデルで取り扱えるように全てのパラメータを得るのが理想的であるが、それも難しい。ただし、世界の情勢はリアリスティックな値を吸着のメカニズムを押さえた上で得る方向に向かうべきであるという感じになっている。

4. 1核種1個のKdで評価する方法は、結果の解釈がし易いという点で有利。ただし、自然環境中の水に溶存している物質の状態は様々なので評価すべき対象のバックグラウンドに合わせた条件で測定方法を設定せざるを得ないと考えます。
5. 測定条件を明らかにしておけば、測定時の化学形が推定できるのでデータの使用には差し支えない。
6. 「安全評価における1核種1個の分配係数で評価する」ことは、評価対象とする地層の分布が一様と認められているためにそういった使い方がなされているものと思います。そうであれば、特に問題ないでしょう。また、1個の分配係数であっても、その値の裏には多くのデータがあるものと思います。
7. 試験条件を固定せず、例えばpH、Eh、リガンドの濃度等を振って実験を行い、化学種の変化による変動の範囲と、変動傾向をおさえるのが理想だと思います。
8. 処分される環境(pH, Eh等)での、核種の形態を評価し、その形態での分配係数を評価すれば良いものと考えます。
9. 安全評価の対象となりうる地質条件でのpH、イオン強度での分配係数が必用だと思います。その意味で、厳密にはある程度の範囲を設定した条件で、分配係数を取得することが重要だと思います。
10. 異なる化学形態であっても、両者の間に平衡関係が成立していれば最終的には同じ結果に落ち着くと考えられるため(地下水中の核種濃度は分配係数が低い方の形態に律速される)、そのpHやEhの環境下で安定な化学形態で核種を添加すれば良いと思います。両者の間に平衡が成立しない場合には二つの分配係数を考えるのも有効であると思いますが、実際にはどちらがどれだけの割合で存在するかというのを把握するのは非常に難しいと思います。  
本来、分配係数を用いた評価は、可逆的吸着平衡が成立し、かつ核種量がセメントの飽和吸着量に比べて十分に小さいHENRY則領域(濃度に関わらず吸着割合が一定)でのみ用いるべきですが、現状では、分配係数がどの条件まで適用できて、どこから適用できないのかということが明らかになっていません。現在、最も重要な課題がこの点であると考えています。
11. 支配する要因(pH、EC、有機物量)で分類してKdを与えるのがよいのではないか。  
情報がなければ代表的な値を使う。あればよりスペシフィックな値を。
12. 研究ベースでは大変興味あることと思われますが、現実問題(埋設処分関連)と致しましては、総括的な結果を用いれば十分と思われます。化学形毎に設定する場合、申請変更しなければならず、現実的ではないと考えます。理論的な裏付けとしての位置付けであれば良いかと思います。
13. 核種の化学形態は逐次、時間とともに変化し、廃棄物内、漏出時、構造体内、構造体からの漏出形態、地層への吸着形態、地層中の移行形態、地層への固定形態等々全て同じ形態はほとんどないにも係わらず、全ての化学的な影響をKdの中に放り込む評価コードが問題である。核種移行評価コードとしては、このような細かな解析による確認を行う必要があるが、安全評価コードでは、細かなものより大局的な全体を評価するものであり、基本的に実験者が核種の移行挙動を評価するための移行評価コードと安全評価コードとは考え方方が違う。評価に使用するKdがどの状態のものの影響が大きいのか、各核種の形態によるKdを測定し、実験側から安全評価には此の値が妥当であるなど示すだけのデータが国内に欲しいものと思う。
14. 核種によっては国内でほとんど測られた値すらないものもあり、可能な限り評価に必要なデータセットは国内で用意したいと思う。いくら文献調査しても、国内データとなると非常に少ない。Kdだけの問題でなく他のパラメータについても同様と思われるが、集中的にパラメータ整備を行えるようなシステム、予算化の方向も検討する必要がある。
15. Kdの測定法に関する検討を進める上で、Kd値の使用に関する矛盾が多く、いろいろな見直しが必要となる可能性があり、すでに行われた安全評価についても、その時点で得られているデータに基づいた見直しが今後展開される可能性もある。
16. 核種の化学形についてはEQ3NRやMINTEQ等で計算可能であるが、安全評価においてあまり細かいことを定義しても問題がややこしくなるだけで、解決にはならない。考え方をまとめることが必要。
17. 評価に際して、Kdを代表値で与えるのか、分布で与えるのか、範囲を持って示すのか、核種毎に化学的特性などグループ分けを行って使用するのか等々、考え方の統一が必要。今後の検討課題ではある。

・TRU核種を対象にした実験では、核種の放射能濃度の他に核種の化学的濃度(溶解度等)が

問題となります。分配係数の測定実験には、どの程度の化学的濃度が適当と考えられますか？

- (3) 溶解度より計算される化学濃度とほぼ同じ（上限値に近い濃度）
- (1) 溶解度より計算される化学濃度の1／10程度
- (1) 溶解度より計算される化学濃度の1／100程度
- (1) 溶解度より計算される化学濃度の1／100以下（およそ 1／\_\_\_\_\_ 程度）
- (1) 実験溶液中の共存イオン濃度と同程度の濃度
- (4) その他
  - ・溶解度以下の低濃度(1)
  - ・溶解度にも不確実さがありますので、溶解度が  $(m \pm \sigma)$  ならば  $(m - \sigma)$  程度とします。(1)
  - ・薄い法がよい（現実に近い）→しかし検出限界より大きくなければならない。

\*化学的濃度、溶解度等についてのご意見等を記入ください。（4-8）

1. 分析方法との関係からどうしても上限値に近い濃度を初期濃度として使用しなければ  $K_d$  を測定できない場合が存在する。
2. TRU核種の溶解度は共存イオン等、実験条件によって異なりますので、目安としては、計算上の溶解度を初期濃度にしています。バッチ法の場合は、濾過フィルタの孔径によっては、沈殿のコロイドが抜けることが考えられますので、濾過フィルタについての検討も必要だと思います。
4. 溶解度以上の濃度であっても、沈殿と吸着を見分けることが出来れば特に問題は無いと思います。とはいっても、両者を分ける技術は確立していませんが。
4. 初期濃度が溶解度を越えていても、平衡濃度が溶解度よりも十分低く、しかも吸着平衡が達成されている場合には原理的には正しい  $K_d$  が得られます。
5. 核種の溶解度として用いている値は、イオン強度が非常に高い水溶液中での実験値から求められています。但し、地下水のイオン強度が小さい場合にはコロイドが生成する可能性があり、それをどう取り扱うかが今後重要な問題になると思います。特に、溶解度が低くかつ分配係数も高いTRU核種などでは、吸着機構を判別する際にコロイドなのかイオンなのかが実験上区別がつかないケースも生じるかと思います。
6. 現場の（漏れる）RIは極希薄でしょうから、検出可能範囲内でできるだけ低い濃度が望ましい ( $K_d$  に依存)
7.  $K_d$  値によるが、これまでの吸着実験では、核種の使用許可制限、表面線量率、廃棄物発生量、核種の比放射能濃度、放射能測定の検出限界から計算される初期濃度等から、決められているように思われる。特に、放射性核種の場合、許可制限、放射能測定のし易い範囲等が濃度の決定条件になることが多い。化学的には非放射能濃度を基に計算されるが、キャリアフリーであれば、極低濃度であり問題はない。長半減期の核種で非放射能が低い核種については、元素の溶解度などが問題となる。許可制限、溶解度の問題がない場合でも放射能測定の可能性が無い場合には、コールド実験によることも検討する。
8. 現在の  $100\text{Bq}/\text{m}^3$  というのは放射能の使用制限と、放射能測定の検出限界から計算されるおよその  $K_d$  値から決められたものである。たとえば、放射能測定の方法により検出限界は異なるが、測定効率100%で  $1\text{m}^3$  当たりの  $\text{dps}$  から検出限界  $1\text{dps}$  としておよそ  $K_d: 6000\text{m}^3/\text{g}$  程度までなら測定時間1時間で可能などというようなことを前もって予測して、後は、実験試料数 × 放射性核種量 / 1試料 = 核種使用量を求め、許可制限を超えていないことを確認して実験を開始する。このようなことは実験者の常識で殆ど文章でかかれているものはない。
9. 実際の廃棄体中の濃度から溶出す核種濃度を推定してそれに合わせて、実験をすることも考えられる。浸出量は微量で、実際に近すぎても結果が出てこない。濃度を上げるのは、いわば加速試験。化学的濃度が高ければ、濃度の影響を受け  $K_d$  値は低下する。実際の微量な漏洩核種の  $K_d$  は、低濃度で大きい可能性がある。
10. 溶解度のデータについても実際の廃棄物中の化学形を考慮し、酸化物形からの溶解度等について、速度論的な取り扱いも必要。
11. 廃棄体からの核種の溶出について溶解度が使われているが、移行して行く核種濃度は高濃度とは考えにくく、 $K_d$  が使用される。高濃度における実験では、濃度の影響で  $K_d$  は小さくなる。小さくなった  $K_d$  で地中移行を評価するのは核種によっては安全側とは言えない状況もある。
12.  $K_d$  自体は希薄領域での吸着比であり、高濃度での吸着比とはオーダーで変化する。何を評価するのか、どこを対象としているのか、一つの  $K_d$  で廃棄体の周辺から、サイト内、サイト外まで評価するのは不可能。
13. 廃棄体中の核種の化学形は不明なものが多い。溶解度は小さく、移行して行く核種濃度も小

- さいと  $K_d$  として取り扱いやすい。廃棄体の形状によるが、溶解度の比較的大きく  $K_d$  が小さい核種は、高濃度で地中を移行する可能性がある。実験濃度については、廃棄体の特性に応じて、適宜、実験の濃度範囲等を定めておく必要がある。
14. 実験自体溶解度以上で実験しても意味がない。地中移行を評価するための  $K_d$  については、固／液平衡がなりたつのが条件である。高濃度の廃棄体から小さな溶解度で溶出した核種が、 $K_d$  で移行して行くのが基本的。溶解度の大きなものについては、廃棄体として良い事ではない。
  15. 低レベルを対象とした場合には、溶解度が小さく、低濃度における分配係数で評価可能。高濃度の場合が問題なのは、TRU核種やウランを含む廃棄物。 $K_d$  に対して速度論的取り扱い等が行われていることから、溶解度についても長期評価において速度論的取り扱いが必要かも。ただし、安全評価等で使われるものは単純なパラメータの方が良と思う。
  16. 地中における核種濃度が高濃度になる事は問題。ある化学濃度範囲でのデータは取っておく必要はあるが、濃度範囲の意味が何か？分かるようにしておくことも必要。

・実験溶液について 適当と考えられるものに○を記入ください。（重複可）

【バッチ法】

<天然バリア試料> ( ) 水道水 (4) 蒸留水 (3) 脱イオン水  
 (14) 人工地下水  
 (7) 単一イオン溶液 (例えば  $\text{CaCl}_2 \text{ solu. } 10^{-3} \text{ M}$  等、他 \_\_\_\_\_)  
 (7) 複数イオン混合溶液(必要と思われるものに○をつけてください)  
 混合イオン種は？ :  $\text{Ca}^{2+}$ (6),  $\text{Mg}^{2+}$ (5),  $\text{Na}^+$ (5),  $\text{K}^+$ (4),  $\text{Fe}^{(2+, 3+)}$ (3) 他(\_\_\_\_\_  
 $\text{HCO}_3^-$ (6),  $\text{SO}_4^{2-}$ (5),  $\text{Cl}^-$ (5),  $\text{PO}_4^{3-}$ (1) 他(\_\_\_\_\_  
 (11) 天然地下水 前処理 (8) する (2) しない  
 前処理方法 (8) 濾過 (2) 遠心分離 ( ) その他  
 (7) 溶出平衡水 前処理 (7) する (0) しない  
 前処理方法 (7) 濾過 (2) 遠心分離 (1) その他  
 (4) その他 (試験の目的によって違います(1), 蒸留水ペースの溶液(1),  
雨水(2))

<人工バリア材> ( ) 水道水 (3) 蒸留水 (3) 脱イオン水  
 (10) 人工地下水  
 (3) 単一イオン溶液 (例えば  $\text{CaCl}_2 \text{ solu. } 10^{-3} \text{ M}$  等(1)他 \_\_\_\_\_)  
 (7) 複数イオン混合溶液(必要と思われるものに○をつけてください)  
 混合イオン種は？ :  $\text{Ca}^{2+}$ (3),  $\text{Mg}^{2+}$ (2),  $\text{Na}^+$ (3),  $\text{K}^+$ (2),  $\text{Fe}^{(2+, 3+)}$ (1), ( ) 他 \_\_\_\_\_  
 $\text{HCO}_3^-$ (3),  $\text{SO}_4^{2-}$ (2),  $\text{Cl}^-$ (2),  $\text{PO}_4^{3-}$ (0), ( ) 他 \_\_\_\_\_  
 (イ)強度を調整するために例えば  $\text{NaCl}$ などをリガンドとして  
 $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ 等を加える(1))  
 (7) 天然地下水 前処理 (6) する (2) しない  
 前処理方法 (6) 濾過 (1) 遠心分離 ( ) その他  
 (9) 溶出平衡水 前処理 (6) する ( ) しない  
 前処理方法 (5) 濾過 (1) 遠心分離 (1) その他  
 (2) その他 (試験の目的によって違います(1),  
蒸留水ペースの溶液(1),)

【カラム法】

<天然バリア試料> ( ) 水道水 (1) 蒸留水 (3) 脱イオン水  
 (11) 人工地下水  
 (5) 単一イオン溶液 (例えば  $\text{CaCl}_2 \text{ solu. } 10^{-3} \text{ M}$  等、他 \_\_\_\_\_)  
 (6) 複数イオン混合溶液(必要と思われるものに○をつけてください)  
 混合イオン種は？ :  $\text{Ca}^{2+}$ (2),  $\text{Mg}^{2+}$ (2),  $\text{Na}^+$ (2),  $\text{K}^+$ (2),  $\text{Fe}^{(2+, 3+)}$ (0), ( ) 他 (\_\_\_\_\_  
 $\text{HCO}_3^-$ (2),  $\text{SO}_4^{2-}$ (2),  $\text{Cl}^-$ (2),  $\text{PO}_4^{3-}$ (0), ( ) 他 (\_\_\_\_\_  
 (イ)強度を調整するために例えば  $\text{NaCl}$ などをリガンドとして  
 $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ 等を加える(1))  
 (6) 天然地下水 前処理 (6) する (2) しない  
 前処理方法 (5) 濾過 (1) 遠心分離 (0) その他  
 (6) 溶出平衡水 前処理 (6) する ( ) しない

前処理方法 (5) 濾過 (1) 遠心分離 (1) その他  
 (2) その他 (試験の目的によって違います(1),  
蒸留水ベースの溶液(1),  
 )

<人工バリア材> ( ) 水道水 (1) 蒸留水 (3) 脱イオン水  
 (9) 人工地下水  
 (4) 単一イオン溶液 (例えば  $\text{CaCl}_2$  solu.  $10^{-3}$  M 等、他 \_\_\_\_\_)  
 (5) 複数イオン混合溶液 (必要と思われるものに○をつけてください)  
 混合イオン種は? :  $\text{Ca}^{2+}$  ( ),  $\text{Mg}^{2+}$  ( ),  $\text{Na}^+$  ( ),  $\text{K}^+$  ( ),  $\text{Fe}^{(2+, 3+)}$  ( ), 他 ( \_\_\_\_\_)  
 $\text{HCO}_3^-$  ( ),  $\text{SO}_4^{2-}$  ( ),  $\text{Cl}^-$  ( ),  $\text{PO}_4^{3-}$  ( ), 他 ( \_\_\_\_\_)  
 (イオン強度を調整するために例えば  $\text{NaCl}$ などをリガンドとして  
 $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  等を加える(1))  
 (5) 天然地下水 前処理 (3) する (2) しない  
 前処理方法 (3) 濾過 (1) 遠心分離 ( ) その他  
 (5) 溶出平衡水 前処理 (4) する ( ) しない  
 前処理方法 (3) 濾過 (1) 遠心分離 (1) その他  
 (2) その他 (試験の目的によって違います(1),  
蒸留水ベースの溶液(1),  
 )

\* 実験の目的により実験溶液の状態も異なりますが、評価する地層の自然環境条件 (pH範囲、共存イオン濃度範囲) 等を考慮してどのような実験溶液が適当と考えられますか？ご意見等を記入ください (4-9)

1. 実験系を一定に保つことが期待される溶出平衡水が最適なものではないでしょうか？
2. 天然バリア材の場合には、バリア材が接触している地下水をそのまま使うことが出来れば一番良いと思います。人工バリア材は、特にセメントの場合、多量のイオンが溶出してくるので溶出平衡水が適当だと思います。
3. 地下の還元条件 (低酸素条件) での実験を行う場合の方法について、知見があれば教えて欲しい。
4. バックグラウンドに模擬した人工地下水でも良いし、現場の水でも良いと考えます。(2)
5. 可能であれば地下に存在するものをそのままの形で使う。
6. 評価する地層が決まっているなら、そこの地下水なり、その地下水と人工バリア材を平衡にさせた溶液を作って実験すればよい。(2)
7. 上記の項目の他に酸化還元電位を考慮する必要があるものと考えます。
8. pH範囲は 6 ~ 8
9. 地下水の中でも特に重要なと考えているのは、 $\text{Na}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{3-}$ ,  $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  等ではないかと考えています。また、フミン酸等の有機物もより小さい有機物 (ベントナイトを通ってくるような) が今後重要となると思います。
10. できれば現場で得られる溶液に合わせるべき (平均的組成) → 標準法であれば  $\text{CaCl}_2$  でもいいのではないか。
11. <人工バリア>モルタル系 (コンクリート) の場合には、初期直接地下水と接し除去に平衡水に近づく過程をとると考えられるため、地下水もしくは純水ベース溶液とした方が良いと思います。場合によっては、平衡水を用いることも可能と思います。  
 <天然バリア>基本的には地下水もしくは純水ベースが良いかと考えます。
12. 人工地下水が適当だと思います。誰でも調整可能なため。但し、データとしては天然地下水か蒸留水、脱イオン水との比較が重要だと思います。
13. 基本的な条件として考えるのであれば、土壤にイオン交換水などを入れ、溶出するイオン濃度などが平衡となった時に、RIをその平衡水のpHに調整して添加するのが良いと思う。土壤や岩石により平衡水の条件は酸性からアルカリ性まで大きく変化する。一つの人工地下水や、 $\text{CaCl}_2$ 溶液を加えたとしても、その試料のKdにはならない可能性がある。多くの変化に対応するために、そのもののKdとして比較するには、その土壤などの平衡水が人間の手を加えなくても容易に平衡状態が作製されること等から、実験水として平衡水が良いと思われる。平成元年度当たりに下北土壤のKdの測定についてのダブルチェックが行われたが、その際にも議論になったが、土壤に水を加えるとイオンが溶出し吸着サイトが増えて、異なった値になるのでは等の意見があり、平衡水とは別にKdと同じV/M比で溶液を作製し、それを濾過して、実験水を作製した経緯もある。ただ、どちらの平衡水を使っても、Kd値に与える影響はほとんどなかった。平衡水よりも添加するRI溶液のpHに影響される。できるだけ平衡水に近いpH条件に調整するのが大変難しい。つまり、平衡水の濃度がオーダーで変化しない限りは、Kd値に大きくは影響は出ない。添加するpHの初期条件を

- どう考えるのか、決め手奥必要がある。
14. 実験水については、プランクを蒸留水などイオンが共存しない状態で行わないように。多くの実験でプランクの状態が曖昧になっているケースがある。プランクができるだけ測定試料と同じ形にするには、平衡水を使うのが良いと思う。
  15. 現場の地下水が良いと言う場合もあるが、地下水自体は、その地層の平衡水ではないことが多い。ただ、帶水層中を輸送するのはこの地下水である。通気層の場合には雨水などの浸透による土壤平衡水が核種を輸送すると考えられる。従って、通気層は平衡水、帶水層は地下水が良いかも知れない。(2)
  16. 基本的にその試料の  $K_d$  については、その試料の平衡条件で測定するのが安定な  $K_d$  値が得られ、そのものを現していると思われる。
  17. それぞれの試料で自然条件の範囲は異なり、全てに共通の濃度など設定はできない。可能なのは平衡水が手っ取り早い。 $K_d$  の考え方からいって、平衡水がよい。また、平衡水なら、実験者に寄らず、場所に寄らず、誰でも、同じ試料さえ持ていれば比較検討が容易である。標準的な条件については、どこで、誰が行っても同じ条件になるのが、安定した信頼性のあるデータとなると考えられる。従って、試料と水さえ有れば、同じ条件が設定できる平衡水が良いのでは。
  18. 実験水として、イオン交換水、雨水、平衡水、水道水、人工地下水、河川水、海水等々、状況に応じて使い分ける。実験の際には、いずれも溶存物、コロイド、有機物などの影響を避けるために、前処理として濾過等を行っておく必要がある。

・接觸時間について どの程度が適当と考えられますか？

【バッチ法】

＜天然バリア試料＞ (1) 1時間 (1) 1日 (16) 1週間 (3) 1月  
 (4) 他 (Case by Case(1), 特定せず(1), 平衡に達するまで(1),  
3月(1), 1年(1),)

＜人工バリア材＞ ( ) 1時間 (2) 1日 (13) 1週間 (4) 1月  
 (4) 他 (Case by Case(1), 特定せず(1), 平衡に達するまで(1),  
3月(1),)

【カラム法】

＜天然バリア試料＞ ( ) 1時間 (1) 1日 (3) 1週間 (2) 1月  
 (5) 他 (1年程度(1), Case by Case(1), 特定せず(1),  
3月(1), Kd に依存(1),  
(カラム形状、Kd により決定される(1),)

＜人工バリア材＞ ( ) 1時間 ( ) 1日 (2) 1週間 (1) 1月  
 (5) 他 (1年程度(1), Case by Case(1), 特定せず(1), 3月(1),  
(カラム形状、Kd により決定される(1),)

\*接觸時間に関するご意見(4-10)

1. 岩石と土壤とでは、異なりますが、土壤のような多孔質媒体の場合、真の意味の  $K_d$  は完全な平衡下での値ですが、移行を評価する際の固液間の吸着現象については、やはり瞬時平衡が基本的な考えになっていますので、土壤内部への拡散などは考慮せず、イオン交換のような反応のみを考慮した接觸時間で十分なのではないでしょうか？(3)
2. バッチ法の場合、固相表面が主体のイオン交換反応が中心であるとすると1週間程度で十分だと思います。(3)
3. 固相中及び液相中の核種濃度の平衡を確認するのであれば、1週間に固執する事はないと考えます。
4. 目的に依存するのではないか。
5. バッチ法：平衡に達するまで、カラム法：1年程度
6. カラム法の接觸時間の意味が分かりません。
7. 核種によると思う。平衡の確認後に決める。
8. 一週間を基本と考え場合により最長3月程度を考える。
9. 接触時間はやはりある程度パラメータにする必要があると思います。1週間でほぼ  $K_d$  が安定するケースもあれば、長期的に徐々に  $K_d$  が増加するケースもあると思います。特に、複数の化学形態の平衡が関与している場合、その可能性は高くなると思います。
10. 生物反応が認められない程度に。

11. バッチ法については1週間以上の接触時間で有れば結果に対して大きな変化はないと認識しています。（京大福井先生の研究実績に記載されていたように思われます。）
12. カラムについては1W～1M程度が妥当と思います。
13. 接触時間が長くなればなるほど試料自体の変質も進み、Kdイオン交換以外の影響がみられ、いつまで立ってもKdが上がり続けることがある。粘土鉱物について、1年ぐらい実験した結果、何度も階段状にKdが上昇していくのが観察されている。初期の段階が表面におけるイオン交換吸着で、後の上昇は、結晶層間に取り込まれて行くためと思われる。Kdとして考える接触時間としては、水の動きの時間が対象となるが、これまで扱ってきた土壤ではほぼ1週間程度で平衡値が得られている。土壤表面における吸着へ移行が成り立った状況として1週間程度が妥当かも知れない。
14. 吸着量から考えると99.9-99.99%吸着していればどちらも十分平衡と考えられるが、V/M=1.0の場合、吸着量が99.9%ではKd=9990、99.99%ではKd=99990と1オーダーも変化してしまう。このとき、放射能測定における検出限界の問題もあるが、測定上可能であることが多い。どこで平衡とするのか、判断は難しいのが現状。Kdがある程度のところで落ち着いてくれれば、接触時間も判断できる。
15. 石英砂に近いものであれば見かけ上、数時間で平衡がみられ、約1日で十分なときもある。鉱物など含まれるものについては、時間は何故か1週間程度かかる。
16. 国内外の土壤や岩石のKd測定条件をみても殆ど1週間程度で平衡としているケースが多い、土壤など表面の平衡に付いては、理由はあまり分からぬが1週間程度の時間が必要。
17. カラム実験においては地層の透水係数や試料のサイズなどが問題となり、流れの速度が規制される。接触時間という考え方より、カラム内の空隙に相当する水が何回交換されたかで実験時間が決められる。原研などでは、トリチウムを用いて水の移行速度を破過曲線曲線から求めた後、核種を流下し、核種の移行挙動から、核種の遅延係数等を求めている。試料のサイズは30cmΦ×30cmH等大きいもので最低3ヶ月～最大1年程度の実験を行っている。また、小型カラム実験では、核種の特性、カラム内地層の透水状況に合わせて、実験を行っているが、矢張り、カラム内ベットボリュウムに対して所定の倍数量の水を流し、実験が行われている。カラム法の実験時間はケースバイケース。カラム法の標準的な条件は大変難しいが何か決められるのか検討が必要。
18. カラム実験自体データが少ない事もあり、条件については今後も引き続き検討が必要。とりあえず、バッチ法に絞って、標準的な検討をしてはどうか？

・振盪方法についてどのような振盪方法が適当と考えられますか？（重複可）

【バッチ法】

<天然バリア試料>

- (12) 往復振盪 (水平方向) (50(1), 50-60(1), 5(1), 低 RPM(1), 100(1) RPM)
- (2) 上下振盪 (垂直方向) (100(1), RPM)
- (3) 回転振盪 (ローリング方式) (\_\_\_\_\_ RPM) → \* (装置あれば望ましい(1))
- (16) 定期的にハンドシェイク  
(約1分1回/1日(2), 3分2回/1日(1), 1分2回/1日(1), 2分/1回(1),  
1回/1日(2), 5分1回/1日(1),  
(約15秒1回/1日(1),  
(2) その他 (Case by Case(1),

<人工バリア材>

- (9) 往復振盪 (水平方向) (低 RPM(1), 100(1) RPM)
- (2) 上下振盪 (垂直方向) (100(1), RPM)
- (1) 回転振盪 (ローリング方式) (\_\_\_\_\_ RPM)
- (13) 定期的にハンドシェイク  
(約1分1回/1日(1), 3分2回/1日(1), 1分2回/1日(0), 1回/1日(2), 5分1回/1日(1),  
(約15秒1回/1日(1), 約0.5分1回/1日(1),  
(1) その他 (Case by Case(1),

#### \*振盪方法に関するご意見 (4-11)

1. 予め平衡到達時間を振盪方法毎に確認しておけば良いと思いますが
2. 天然バリア（粘土）や人工バリア（セメント固化体粉末）等は、50-60rpm程度では、攪拌されず固まってしまう可能性があると思う。核種吸着を平衡にするのが目的ならば1日1

回程度のハンドシェイクの方が現実的であると思う。

3. 振盪方法は、核種と吸着剤との接触を補助する手段なので、あくまでも平衡が達せられれば、良いと考えます。(2)
4. 試料の物理的变化(粉碎等)を避けること、固液の万遍ない接触を促すこと。
5. セメント等は、振盪を行わないと、水和が進み再度固まることがあります。このため、十分な振盪が必要と考えられます。(2)
6. 水中に土が舞うような瞬間がある方法がいいのでは?(2)
7. 振盪機の性能と内容物のゆれ具合により決定すればよいのではないかですか。
8. 濃度勾配がないようであれば良いと考えます。
9. 機械的な振盪より、よりランダムなハンドシェイクの方が効果があると思います。あるいは両者の併用(1日1回ハンドシェイク+常時機械振盪)が好ましいと思います。
10. 所有している装置によって決まる気がする。
11. 振盪については特に基準はないと思われますので、簡易で研究機関間のバラツキの少ない「ハンドシェイク」を推奨します。
12. ベントナイト、粘土、セメントなど特殊なものは、V/Mが大きくて振盪は難しく、ハンドシェイクしたとしても巧く攪拌されるかどうか疑問が残る。ペースト状になるもの、コロイド、ゼリー状になる物などについては、回転式等今後検討が必要。
13. 振盪条件と容器の形状は密接に関係し、測定値にも大きく影響を及ぼす。振盪は基本的に恒温槽内で、ハンドシェイクとし、振盪器については、ローリング或いは上下振盪式がよいのではないか。この3つの方法では、ほぼKd値は同じ値を示すが、往復振盪では、小さめの値となる傾向が明らかであるので、この辺を解説しておく必要がある。
14. これまでの比較測定実験から振盪方法が測定値に影響を与えていたことが確認されている。特に、実験者の違いに寄らす、ハンドシェイクの方法は、試料を攪拌すると言うことでは有效な方法である。特に、最後の、比較測定実験では、ハンドシェイクの時間や方法(振り方)等は規定していなかったので、きっちりと10分振盪、或いは数分乾強烈に振盪した人など20名の実験者がバラバラなハンドシェイク(1日/1回)したにも係わらず、振盪機を用いた場合よりも安定なKd値が得られたことは、非常におもしろい結果であった。土壤がきっちりと攪拌されていれば、接触時間にも関係するが、1週間でうまくまとまった値が得られている。この方法は、振盪機が無くともどこでもできる方法であり、有効である。  
但し、R I溶液を手でもって振り回すのは、安全上問題が無いわけではない。従って、容器内の土壤が、面を形成せずに、十分に攪拌される回転式の振盪機などが、安全面からは良いと思われる。特に、放射線事故に対する対策は十分検討すべきである。
15. 振盪は、十分攪拌されることが基本である。往復振盪では、測定試料に土壤面が形成されてしまい、安定なKd値が得られにくい。血液検査の際に利用されているローラー式回転機なども良い。機器による違いがなければ、「面が形成されないよう振盪すると良い」としても良い。
16. 振盪機による違いは往復振盪機以外のローラー式(横回転)、ジャーテスター(上下振盪)、回転番式(上下回転)等、いずれもハンドシェイクの場合と同じ値が計測される事から、振盪機器までの指定はいらない可能性がある。ただ、放射線取り扱いの安全上の観点から、ローラー式が一番安全な気がする。ジャーテスターは振動が大きく、水漏れなど汚染の可能性がある。ハンドシェイクは間違って、放り投げる危険性もある。回転番式は容器が逆さまになり、蓋の部分に、土壤が張り付き、サンプリングがしにくい等を考慮するとローラー式回転機が安全である。

#### ・ 温度コントロールについて

地層処分形態、地層深度、廃棄物の種類等により考慮すべき温度範囲が異なるものと思われます。それぞれ、どの程度の温度を想定するのが適当と考えられますか？(重複可)

<<浅地層の場合>>

#### 【バッチ法】

- |           |  |
|-----------|--|
| <天然バリア試料> | ( 3 ) 室温 ( 1 ) 20°C ( 1 ) 25°C ( ) 他 ( ) |
|           | (13) 定温コントロール ( 3 ) 20°C ( 6 ) 25°C      |
|           | (18) 他 (15°C (14), 10°C (3), 特定せず(1)     |
| <人工バリア材>  | ( 3 ) 室温 ( 2 ) 20°C ( 0 ) 25°C ( ) 他 ( ) |
|           | ( 8 ) 定温コントロール ( 1 ) 20°C ( 4 ) 25°C     |

(5) 他 (15°C(1), 10°C(3), 特定せず(1))

## 【カラム法】

<天然バリア試料> (3) 室温 (1) 20°C (2) 25°C ( ) 他  
 (10) 定温コントロール (3) 20°C (2) 25°C

(4) 他 (特定せず(1), 10°C(3), )

<人工バリア材> (1) 室温 (1) 20°C ( ) 25°C ( ) 他  
 (8) 定温コントロール (1) 20°C ( ) 25°C  
 (4) 他 (特定せず(1), 10°C(3), )

## &lt;&lt;深地層の場合&gt;&gt;

## 【バッチ法】

<天然バリア試料> (5) 室温 (およそ20°C(1), 25°C(4), \*1)  
 (9) 定温コントロール

(およそ35°C(1), \*1, 特定せず(1), 30-50°C(1), 60°C(1), 20(1))

<人工バリア材> (2) 室温 (およそ35°C(1), \*1)  
 (7) 定温コントロール

(およそ35°C(1), \*1, 特定せず(1), 30-50°C(1), 60°C(1), 20(1))

\*1 Case by Case(1)

## 【カラム法】

<天然バリア試料>

(3) 室温 (およそ20°C(1), 25°C(1), \*1)

(8) 定温コントロール (およそ60°C(1), \*1, 特定せず(1), 30-50°C(1), 20(1))

<人工バリア材>

(11) 室温 (\*1)

(7) 定温コントロール (およそ60°C(1), \*1, 特定せず(1), 30-50°C(1), 20°C(1))

\*1: Case by Case(1)

\*分配係数の測定において、対象とする地層深度ごとにどの程度の温度範囲を考慮する必要があると考えられますか？ご意見等記入ください。（4-12）

1. 処分位置で考えられる温度範囲
  2. 深地層で地温が高いところの地質材料を考える場合のみ考慮。これは、地層深度と温度上昇の関係によって定める。
  3. 現地温度が測定されていれば、その温度を標準とする。
  5. 対象深度がはっきりしているならば、それに対応した試験を行うのが当然です。
  5. 余り細かいと比較しにくくとえられる。
  6. 一般の吸着実験ならほぼ室温の定温コントロール（20°C或いは25°C）で行われるが、地層を対象の場合には、やはり、対象地層或いは対象深度の地温による実験が必用と思われる。深度による地温の変化は、地下の状態により異なり、どこか場所が定まらないうちは一般的な地温上昇率を用いて、検討が必要。例えば長万部4°C/100m（第4紀層）、茨城県勝田 2.9-3.1°C/100m（第4系）等、表層地温約10°C前後を考えると、一般の浅地層では20°C以下（10-15°C付近？）、深度200mでは20-25°C付近？、深度1000mでは、35-40°C付近と思われる。したがって、地温による影響は10-40°C程度の範囲で影響を確認しておけば、場所が特定されなくても、ある程度のことが分かるものと考えられる。ただ、この温度範囲においてはKd値に与える影響はあまり大きく現れるとは考えにくい。
  7. 地層深度と地温勾配について：
- 一般に、地温勾配は地表近くでは100mについて通常摂氏1-8°Cの範囲で変化します。活火山地帯では、時に20°C以上もあがるところもあります。地球全体では、地表近くの温度上昇の平均値は100mに約3°Cとされています。次に日本列島でみると、温泉地帯と非温泉地帯、或いはグリーンタフ地帯と非グリーンタフ地帯、火山地帯と非火山地帯では、地温上昇率の差は相当異なるものとされます。たとえば、茨城県勝田では、2.9-3.1°C/100m、鹿児島では1.5-2.6°Cを示し、いずれも非グリーンタフ地帯では約3°C/100mを示しています。また、八橋油田（秋田）では4.8°Cでグリーンタフ地帯です。もし岩種から地温勾配を推定する場合、新第3紀層であれば、グリーンタフ地域では4.8°C/100m程度、そうでない地域なら2-3°Cを見込めば大きな間違は少ないと思います。

花崗岩類、中・古生層、古第3紀層などで一般には、1. 5-3°C/100m程度と考えても良いのではないか。しかし、当然例外はあります。常磐炭田（古第3紀層）の温泉は花崗岩からの起源と考えられており、増温率は3.9°C/100mを示しています。

最後に私見になりますが、任意の地点の一定深度の地温を推定する場合、上記の地域特性を考慮して地温勾配を推定し、日本の平均的な地下水温度13~15°Cを加算するのはどうでしょうか。このように考えると既存データと調和します。

<参考文献> 室井渡・小幡利勝：「温泉の開発と設計」、地人書館 p56-59(1968)

白水春雄：「温泉のはなし」、技法堂出版 p38(1994)

8. 浅地層→実測定値、深地層→計算値。
9. 地質環境に詳しくないので分かりませんが、浅地層は5-20°C、深地層は35-60°C程度なのでしょうか？
10. 生物反応が現れない程度で室温に近い程度。1週間として20°Cぐらいが適當だろう。
11. 浅地層では10°C、深地層では60°C程度で行うという基準があったように思われます。
12. ベースの実験は、いずれも20°Cで実施すべきと思います。但し、吸着は当然温度と密度に係わっているため、10°C（地下環境？）～30°C（発熱環境？）（いずれももっと値は小さいor大きいかもしれません）としたパラメトリックな実験も必要だと思います。
13. 热力学的データは25°Cで整理されており、25°Cで実験が良いと思う。
14. 热力学データの25°Cで、地温や深部地層を考慮しても30°C前後。よりどころとしては、やはり热力学的データに準じる形が妥当ではないか。
15. 基本的には25°Cとし、恒温槽がない場合には室温とする。(2)

#### ・固液分離方法について

分配係数の測定では、バッチ法の場合、一般に上澄液を数ml採取し、その放射能濃度から分配係数を算出する方法が取られています。この上澄液に含まれる放射能濃度を測定する際の液の処理方法等について記入ください。また、カラム法の場合の流出液処理方法についても同様に記入ください。（重複可）

#### 【バッチ法】

##### <天然バリア試料>

- (4) そのまま分取（ダイレクトに放射能測定用試料とする）
- (6) 上澄み液は所定時間静置後、上澄みを分取し測定  
(静置時間：3H(2), 1H(2), 0.5H( ), 24H(1), その他(1), )
- (16) フィルターによる分離
  - (1) 濾紙（定性あるいは定量濾紙）( ) 0.45 μm 以上 ( \_\_\_\_\_ μm)
  - (11) 0.45 μm (2) 0.2 μm (2) 0.1 μm ( ) 0.1 μm 以下 ( \_\_\_\_\_ μm)
- (7) 限外濾過による分離  
分子分画量 ( ) 3,000 (3) 10,000 (3) 30,000 (1) 100,000  
(1) 300,000 (1) 他 (5,000(1))
- (8) 遠心分離  
(回転数：3,000 rpm, 回転時間：30 分, 回数：1回) (2)  
(回転数：3,000 rpm, 回転時間：15 分, 回数：1回) (2)  
(回転数：3,500 rpm, 回転時間：30 分, 回数：1回) (1)  
(1,000G-10,000G(1), G表示の方が良いのではないかとのコメント(2))
- (2) その他 (Case by Case(1), )

##### <人工バリア材>

- (2) そのまま分取（ダイレクトに放射能測定用試料とする）
- (2) 上澄み液は所定時間静置後、上澄みを分取し測定（静置時間：\_\_\_\_\_ h）
- (14) フィルターによる分離
  - (1) 濾紙（定性あるいは定量濾紙）( ) 0.45 μm 以上 ( \_\_\_\_\_ μm)
  - (11) 0.45 μm ( ) 0.2 μm (2) 0.1 μm ( ) 0.1 μm 以下 ( \_\_\_\_\_ μm)
- (6) 限外濾過による分離  
分子分画量 ( ) 3,000 (4) 10,000 (3) 30,000 ( ) 100,000  
( ) 300,000 ( ) 他 ( \_\_\_\_\_ )
- (5) 遠心分離  
(回転数：3,000 rpm, 回転時間：30 分, 回数：1回) (1)  
(回転数：3,500 rpm, 回転時間：30 分, 回数：1回) (1)  
(回転数：\_\_\_\_\_ rpm, 回転時間：\_\_\_\_\_ 分, 回数：\_\_\_\_\_ 回) ( )  
(1,000G-10,000G(1), G表示の方が良いのではないかとのコメント(2))

(2) その他 (Case by Case(1), \_\_\_\_\_)

## 【カラム法】

カラム法における流出液の処理はどのように行われていますか？

## &lt;天然バリア試料&gt;

- (6) そのまま分取 (ダイレクトに放射能測定用試料とする)  
 (1) 上澄液所定時間静置後、上澄み分取し測定 (静置時間 : \_\_\_\_\_ h)  
 (4) フィルターによる分離  
   (1) 濾紙 (定性あるいは定量濾紙) ( ) 0.45 μ m 以上 ( \_\_\_\_\_ μ m)  
   (4) 0.45 μ m ( ) 0.2 μ m (1) 0.1 μ m ( ) 0.1 μ m 以下 ( \_\_\_\_\_ μ m)  
 (2) 限外濾過による分離  
   分子分画量 ( ) 3,000 (3) 10,000 (3) 30,000 ( ) 100,000  
   ( ) 300,000 ( ) 他 ( \_\_\_\_\_ )  
 (2) 遠心分離 (回転数 : \_\_\_\_\_ rpm, 回転時間 : \_\_\_\_\_ 分, 回数 : \_\_\_\_\_ 回)  
   (1,000G-10,000G(1), G 表示の方が良いのではないかとのコメント(2))  
 (1) その他 (Case by Case(1), \_\_\_\_\_)

## &lt;人工バリア材&gt;

- (5) そのまま分取 (ダイレクトに放射能測定用試料とする)  
 (1) 上澄液は所定時間静置後、上澄み分取し測定 (静置時間 : \_\_\_\_\_ h)  
 (2) フィルターによる分離  
   (1) 濾紙 (定性あるいは定量濾紙) ( ) 0.45 μ m 以上 ( \_\_\_\_\_ μ m)  
   (2) 0.45 μ m ( ) 0.2 μ m (1) 0.1 μ m ( ) 0.1 μ m 以下 ( \_\_\_\_\_ μ m)  
 (3) 限外濾過による分離  
   分子分画量 ( ) 3,000 (3) 10,000 (2) 30,000 ( ) 100,000  
   ( ) 300,000 ( ) 他 ( \_\_\_\_\_ )  
 (2) 遠心分離 (回転数 : \_\_\_\_\_ rpm, 回転時間 : \_\_\_\_\_ 分, 回数 : \_\_\_\_\_ 回)  
   (1,000G-10,000G(1), G 表示の方が良いのではないかとのコメント(2))  
 (2) その他 (Case by Case(1), \_\_\_\_\_)

\*バッチ法における固液分離方法、カラム法における流出液の処理方法等に関するご意見等を記入ください。 (4-13)

1. バッチ法の場合、ある時点で液相中に懸濁しているものが実際の土壌でも水とともに可動な液相成分と見なせるか、それとも土壌間隙を透過できずトラップされる固相成分とみなせるかのどちらかであると考えます。その固相／液相成分と分けられる区別値で濾過するのが可能ならば、良い方法ではないでしょうか？(2)
2. 通常、シリンジで上澄み液を分取し、ディスポーザブル0.45 μ m メンブレンフィルターで濾過している。フィルター孔径はなるべく小さい方が良いと思う。（遠心分離は特に必要ないと思う）
3. 流出液（上澄液）は、あくまでも固相を含まないという前提。細かい固相を分離できる方法が適切な方法であって、それは、Case by Case としか言いようがない。
4. 透過拡散法では基本的に改めて固液を分離する必要性はありません。
5. コロイドの影響を受けない濾過方法が望ましいと考えています。
6. 固液分離に用いるフィルタは十分に検討してから使用する必要があると思います。特に、セルロース系フィルターはアルカリの作用によって反応サイトができる可能性があります。また、限外濾過フィルターは表面に保湿剤が塗られています。フィルターへの吸着やフィルター有機物との錯イオン形成がないことを確認する必要があると思います。
7. 核種毎にフィルターへの吸着量を評価できることが望ましい。
8. バッチ法の場合にはコロイダル（特にペントナイト）懸濁成分が生じる可能性があるため、濾過又は遠心分離もしくは両者併用が望ましいと考えます。カラム法の場合には流出液は充填物の濾過作用で基本的には清澄なものと考えられますが初期には濁る事があると思います。
9. バッチ法：フィルターや濾過による方法が望ましいと思いますが、簡便性からいって、遠心分離液の上澄みで良いと思います。  
カラム法：同上であり、測定数も必然的に多くなるため、遠心分離で良いと思います。
10. フィルターに吸着されないことを確認して濾過する必要がある。これまでシリンジの先端にミリポアフィルター製マイレックスフィルター (0.45 μ m, ポリプロピレン容器、メンブ

レンフィルター) を接続して濾過している。また、ベントナイトのような物については遠心濾過一体型のウルトラフィルター ( $0.45\mu\text{m}$ 、ポリプロピレン容器、メンブレンフィルター) を使用している。特にこれまでの核種や Np, Am においても吸着はほとんどなく他の核種においても使用可能と思われる。但し、TRU核種等については反応容器は全てテフロン製としている。サンプリング用のピペットチップもポリプロピレン製であり、大きな問題はこれまでない。したがって、どちらの濾過処理を行っても大きな影響は今のところ無い。今後新しい核種については確認が必要である。

11. フィルター濾過にしろ遠心にしろ前回の実験では大きな変化は見られなかった。遠心条件で  $0.45\mu\text{m}$  以下の粒度のものが落ちてしまえば別だが、一般的には、懸濁物質の粒径はこの程度の濾過で良いと思う。特殊なものについては適宜検討する。
12. 基本的には  $0.45\mu\text{m}$  フィルターがよいと思われる。濾過操作の容易性などのほか、懸濁物質の粒径分布などからみても、ある程度妥当なラインと思われる。これより小さい孔径では限外濾過になり操作がしにくくなることもある。
13. 可能で有れば、遠心分離後、濾過処理のダブルが良い。煩雑で有れば、数時間静置後、濾過でも良い。
14. 遠心分離の速度にもよるが、3000rpm位で10分程度が多いようであるが、これで土壤粒子の大部分は沈降する。浮遊する粒子や有機物などについては、濾過で除去するのが、簡単。高速遠心や超遠心を必要とする場合もあるが、なるべく特殊な機器を使わなくてできることが望ましい気がするがどうか？
15. 放射線作業としては、煩雑な方法は避ける必要がある。遠心分離は試験容器がそのまま使用でき、大変楽で安全な分離方法である。高速遠心の速度まで使用できる機器で有れば、濾過操作は不用。遠心分離／濾過ともに、固／液分離であるから、どちらかでも目的は達成されれば、1方法でもよいかも知れない。検討する必要がある。

・放射能測定器および測定試料の形態等についてご記入ください。

上記の試料処理後、放射能測定試料はどのように測定されますか？放射能測定は対象核種の放射線の種類により異なりますが、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 核種の測定方法や測定試料の形態について、ご記入ください。

$\gamma$ 核種：例  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ( $^{137m}\text{Ba}$ ),  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{237}\text{Np}$ ,  $^{241}\text{Am}$  等

$\beta$ 核種：例  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{63}\text{Ni}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{99}\text{Tc}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  等

$\alpha$ 核種：例  $^{235}\text{U}$ ,  $^{237}\text{Np}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$  等

・放射能測定器の種類について

$\gamma$ 核種：(10) Ge 半導体検出器 (6) NaI 検出器 ( ) GM検出器 ( ) 他 ( )

$\beta$ 核種：(10) 液体シンチレーション検出器 ( ) GM検出器 (1) 他 (2πガスプロ-カウンタ- (1), )

$\alpha$ 核種：(8) 液体シンチレーション検出器 (5) シリコン半導体検出器

(3) 他 (2πガスプロ-カウンタ- (1), ICP-MS, Ge (1), 専用品 (1), )

・測定試料の形状

( $\gamma$ 核種)

(9) 対象核種名

(Mn-54(1), Co-60(6), Sr-85(5), Cs-137(6), Np-237(2), Am-241(3), I-129(1),

Ag-110m(1), Tc-95m(1), 特定せず(1), Cs-134(3), Ba-133(1), I-125(2), )

測定容器の種類：(4) ガラス製液シリン (6) プラスチック容器 ( ) 他 ( )

容器の容量 : (6) 約20ml (0) 約50ml (1) 約100ml (2) 他 (5(2), 3(1), 10(1))

(2) その他 (NaIシンチレーション(1), Am-241(1), I-125(1), )

( $\beta$ 核種)

(9) 対象核種名 (C-14(5), Ni-63(4), Sr-90(1), H-3(4), Tc-99(3), I-125(1), )

測定容器の種類 (7) ガラス製液シリン (2) 他 (プラスチック液シリン(1), ポリ製液シリン)

容器の容量 (7) 約20ml (2) 他 (7ml(1), 3ml(1), ml)

( ) 蒸発乾固等の処理を行い測定

測定容器の種類：( ) ガラス製皿 ( ) SUS 製皿 ( ) 他 ( )

容器の寸法 : ( ) 25mm φ ( ) 50mm φ ( ) 他 (mm φ)

( ) その他 ( )

## (α核種)

## (6) 対象核種名

(Pu-238(2), Np-237(5), 241Am(4), 特定せず(1), Pu-239(1), U-233(1), U-235(1), )

測定容器の種類: (3) ガラス製液シボン (3) 他 (ポリエチレン(1), ポリスチック液シボン(2))

容器の容量 : (2) 約20ml (5) 他 (5(2), 2(1), 3(1), 10(1), ) ml

## (2) 電着等の処理を行い測定

測定容器の種類 : ( ) フィルム (1) SUS 製皿 ( ) 他 ( )

容器の寸法 : (2) 25mm φ ( ) 他 ( ) mm φ

## ( ) その他 ( )

\*放射能測定器の種類により検出限界も異なり、測定方法の違いによる分配係数への影響も多々考えられます。できる限り同一の測定方法による測定が望ましいと思われますが、線種あるいは核種毎に測定方法を決めるとしたら、どのような測定法が適当と考えますか？ご意見等を記入ください。（4-14）

1. 個人的には測定器を合わせる必要性はないと思います。測定器の長所と短所を目的によって使い分けた法が良いのでは？
2. できるだけ測定の前処理を必要としない方法をとる。  
例：Am-241は電着してα線測定をする方法より、低エネルギーのγ線を測定する方法が容易である。
3. 精度よく測定できるのであればよく、測定機器や方法を統一する必要性は乏しいのではないかでしょうか。
4. 測定方法を同一にする必要はない。どんな方法でも濃度が正確に測定できれば目的には適合する。測定された濃度と、測定限界濃度、測定値の不確実さが明らかであることが大切。
5. 今までの経験ではよほど低いカウント数でない限り、それほどKdには影響を及ぼさないと私は思います。（複数回計測してもほぼ同じカウントが得られます。）低いカウント数の場合には誤差を評価すべきだと思います。
6. 所有する装置を活用する必要があり、指定するのはいかがか、むしろ装置間のキャリブレーション（比較補正）をしっかりするべき。
7. 各研究機関所有の？
8. 現在使用していないので不明。
9. 測定法方を統一するより、しっかりと効率測定が問題である。とはいものの実際は測定器が異なればかなり異なる場合がある。測定限界付近で数カウントの違いでも、Kd値としての誤差はかなり大きくなる事がある。注意は必要だが、測定器の統一までいらない。これらの注意事項を定めておけばよい。
10. たとえば、ということで測定方法の例と注意事項を一覧できる表にまとめて見る必要はある。
11. 測定器を統一するのではなく、どの方法でもキャリブレーションの問題である。基本的な測定方法例として解説するのがよい。
12. 測定器までの仕様を規定しなくとも良い。各測定方法についての注意事項などまとめられれば、それをまとめて示しておくのが親切である。
13. 測定機器まで新しいものを購入するのは不可能。予算の関係からも、また、多くの機関で実験ができるようなものが望ましい。機器は設定せず、各区器を用いた時の測定方法をある程度決めておく必要はある。
14. 放射能測定機器により測定試料の調整方法が異なり、それが、測定値に影響を与える可能性はある。測定方法と言うよりは、測定試料の調整について、基本的な部分を示すことが必要。
15. 測定機器により検出限界も異なり、検出限界の求め方、最大Kd値の表し方など、統一しておけば問題はない。
16. どこの研究機関でも新たな測定機器を整備するほどの余裕はなく、既存のもので測定できるように、核種に応じて、放射能測定方法、測定試料調整など、わかりやすい解説、例等を示してはどうか？

## ・吸着平衡を確認する方法として、どのように行っていますか？

- (1) 上澄み液の濃度の継時変化より、平均した平衡吸着量が数%以内に収まったとき。

吸着量に換算して99.9% (或いは 99%) 以上と確認されたとき

- (13) 分配係数の継時変化を求め、吸着平衡を確認する

このとき (10) 誤差を評価しない (グラフから判断)

(3) 誤差を評価する

- (1) その他 (別途データを用いて試験を行う(1))

**\*その他吸着平衡に関するご意見がありましたら、記入ください。(4-15)**

1. 確認は非常に重要だと思います。同じように平衡の定義についての議論も重要なと思います。
2. 目的や必要性に応じて、必ずしも平衡条件で取得する必要はないと思います。
3. 通常の吸着平衡の他に、長期の化学平衡なども存在する可能性があります。非常に長い期間にわたって分配係数の変動を見ることが重要であると思います。
4. 場合に応じて平衡に達していないことを明記すべき。("at 7 days"とか)
5. 吸着平衡については、振盪方法などの攪拌実験条件にもよるが、吸着の立ち上がりから反応速度を求める訳ではないので、ある程度の時間を設定してもよい。核種の化学形により吸着平衡時間は異なることから、何か数値的に(平衡値±標準偏差)等決めておくことも良いと思うが。
6. 長期間のKd測定も必要である。媒体が水に浸漬され、変質する場合もありえる。鉱物の膨潤化やコロイド生成など、状態の変化等についても調べておくことも必要。
7. 接触時間の所でも平衡時間の確認をどのように行うのか?問題であることを記入したが、実際にKd値を計算したときに、ちゃんと値が上昇していれば問題がないが、得てして、突然減少したり、放射能測定の場合、不可思議なデータが得られることがたびたびある。時に、Kdが大きい場合には、溶液内核種濃度は希薄になるため、溶液の前処理の仕方で、微妙に値が変化する。Kd値でその値が2σ或いは3σの範囲に入った時点で平衡時のKd値とするなど、ある程度の統計的な措置が必要な気がする。
8. 放射能測定に関する測定誤差もKd値に影響する。Kdが大きく、溶液内濃度が小さい場合、やたらに長い時間をかけて多くのサンプルを測定するわけには行かない。この場合には、測定時間がある程度決めて検出限界を決める。従って、放射能測定器毎に試料の測定時間等を示しておいても良い。平衡時間については、Kd値の変動幅の誤差を評価して決めて良いのではないか?
9. 平衡について、「一定値」の根拠を明確にしておくことが必要。
10. 平衡時間が確認できるまでの時間を接触時間とするが、どこで、平衡値とするのかに付いての基準的なものはこれまで示されていない。評価の際に行われるKd値の数学的な取り扱いの検討に加えて検討しておく必要がある。
11. これまで、平衡値については平均値を使用しているが、平衡値について誤差を考慮した統計的な数値処理が必要。
12. 平衡についての考え方を数値で明確にしてはどうか?
13. 1週間の接触時間で全てが平衡になるとは限らないが、比較実験でそれぞれの平衡時間に合わせると、全ての試料で異なった平衡時間になり、比較できなくなる可能性がある。平衡の定義を数学的に行っても、ものによっては全く平衡以前のものがでるなど、なかなか、一概には表せない。ある程度、数学的に2σ以内にデータが収束し、かつ、平衡時間が1週間以内で有れば、接触時間を1週間として例外を除いては、基本的な条件になりうると考えられる。

**\*分配係数の測定法に関して、バッチ法とカラム法の使い分けに関するご意見等を記入ください(4-16)**

1. 単に吸着平衡値や吸着親和性の指標とするには、バッチ法Kdが明確だと思います。  
移行挙動を評価する目的のKd取得にはカラム法が直接的だと思います。ただし、バッチ法よりKdへの影響を及ぼす物理・化学的、その他条件は、はるかに多くなるにも係わらずそれを実施するのは困難です。従って、しっかりとしたモデル(吸着モデル、移行解析モデル)の提案と実験結果との比較をしっかりと行うことが必要だと考えます。
2. カラム法は実験設備と実験スケールが大きくなり取り扱いが難しくなるので、バッチ法を單なるスクリーニング試験と位置付けるのではなく、バッチ法のデータを実在状態での評価に使える方向で検討できれば、その方が望ましい。
3. 水の流れによる物質の移流が無視し得ない状況では、カラム法による破過曲線を重視し、拡散や吸着平衡で十分な条件ではバッチ法で良いと考えます。
4. 手法にもありますが、一般にカラムの方が核種移行評価上は適切なデータが取得できると考えられます。しかしながら、カラム法は、バッチ法よりも手間がかかることが多いため、両者の対比を確認した上でバッチ法データを主体とすることは容認されると考えています。
5. 基本的にはカラム法/拡散法を用いる。化学形の影響などの情報を得るためにバッチ法を使用する。
6. バッチ法は安全評価用のデータとして活用。また、吸着機構、吸着に及ぼす因子等の研究に用いるべき。カラム法はあくまでも移行性を検討すべき方法だと思います。

7. 前述の通り、カラム法は水の流れが無いと適応できない。水を通さない所の地層の値を求める意味がないと思う。たとえその  $K_d$  が非常に大きくて核種との接触がない以上無意味である。バッチ法は材料の  $K_d$  で有り、カラムは地層の  $K_d$  ともいえる。取扱方は異なると思う。
  8. 本来はカラム法がよい。パラメトリックな試験はバッチ法が良い。(2)
  9. バッチ法は簡便に現象を解明するには非常に有効な方法であり、カラム法はより処分形態に近い評価手法と考えています。
  10. カラム法の標準化は難しい。「バッチ法で得た値を比較に用いる」というスタンス→これはカラム法の値とは一致しない。
  11. バッチ法は、多くのサンプルと同じ様な相互比較ができる簡便な方法である。ただ、全ての収着挙動を含むので、カラム法のようなクロマト現象を追うことはできない。メインとなる吸着挙動については、バッチ法で評価しても良いと思われるが、僅かなクロマト現象、地中をテーリングして行く移行などについては、バッチ法では、解明できない。ケースバイケースで使い分けが必要。
  12. 分配係数として評価するにはバッチ法の  $K_d$  が有効に思われる。(2)
  13. カラム法の場合の  $K_d$  値はバッチ法に比べて大きな値が得られる傾向が見られる。特に、バッチ法では、限られた形状の中に一定濃度の共存イオンなどが絶えず存在する状況と異なり、土壤量子との新しい接触が繰り返されるため、カラム表面に大部分が吸着し、深部に行くに従って、指數関数的に濃度分布は減少するという傾向は、どこの実験でも得られている結果である。このような分布から得られた  $K_d$  はバッチ法で得られる一つの  $K_d$  値では評価できない事が多く、吸着や脱離の速度論的な取り扱い、核種の中に他の化学形を考える等が複雑な展開が必要になる。平衡を取り扱う  $K_d$  については、Sr の様な陽イオン核種で有れば非常にうまく地中移行を評価できることなどが分かっており、基本的には、バッチ法の  $K_d$  で評価しても良いと思う。
  14. 両方のメリット/デメリットを明確にしておく必要がある。どちらの値を使うのかはケースバイケース。
  15. 多くの機関で簡単に比較評価でき、標準的な条件が決まれば、大きなデータベースの作製が可能である。多くの機関で多くのデータが収集できる方法として、バッチ法は有効である。
  16. ケースバイケースの使い分けのリストなどまとめて頂けると助かる。(2)
  17. 測定方法ではなく、データの使い分けに悩みたくはありません。バッチ法、カラム法に限らず、全ての測定（実験）にはその実験者の意図する目的があるはずです。測定時の温度や液相の pH、あるいは液固比を設定した根拠は何であるかなどの個々の条件についての詳細な説明は別にしても、せめて安全評価用に測定した（された）データなのか、あるいは単なる研究のためのデータなのか程度の区別はつけておいて頂きたいものです。
- 安全評価などの目的が有れば、自ずからその測定対象に適した測定方法が選択できるはずだと思いますし、研究のための研究（？）のようにはっきりとした目的がないのであれば、バッチ法でもカラム法でもかまわないと思います。

\* 分配係数は、これまで殆ど空气中で測定されたものであり、深地層を対象とした雰囲気（低酸素雰囲気あるいは還元雰囲気）については、国内データは非常に少ない状況です。現在、動燃や原研等で低酸素雰囲気のグローブボックス等が作られ、ホット実験が開始されようとしていますが、低酸素雰囲気と還元雰囲気とは異なることや低酸素雰囲気による影響がどの程度（pm 単位なのか%単位）なのか等議論も残されております。限られた時間や実験施設設備において、より有効なデータを得るためにも深度や地層の状況に対応した酸素濃度あるいは還元雰囲気にに関する評価が必要に思われます。実験雰囲気に関してどのような条件を設定すべきなのかご意見等を記入ください (4-17)

1. 室内実験において、完全な還元雰囲気を設定することは難しいので、事前の策として、密閉容器中の溶液に窒素ガスあるいは不活性ガスを通気して、溶液中の酸素量を極力少なくし、分配係数に対する影響を確認することが考えられます。
2. 原則は、対象とする地層環境を模擬することです。核種によって雰囲気依存性が無いと判断できるものは、適宜測定可能な環境を設定することは容認されます。しかし、一度は環境依存性がないことを把握するための測定をすることが必要と考えています。
3. 酸化還元雰囲気は、放射性元素の価数に影響し、価数によって放射性元素の化学的挙動が全く異なるために注目されます。したがって、最も大切なことは放射性元素の価数を制御する事です。例えば、Np をIV価に維持するためには、酸化還元電位をマイナスにすれば良いのですが、U をIV価に維持するためにはこれよりも遙かに低い酸化還元条件（例えば-400mV）が必要です。実験の目的を考えればどのような条件を設定すべきかは自ずと決まります。

4. 還元雰囲気下で核種の化学形態が変化する（例：Tc-99等）ものについては、低酸素雰囲気下で還元条件を調整した試験が必要と考えます。
5. 国内の実験データに基づき代表ケースを設定すべきだと思います。
6. できるだけ現場に合わせる（具体的には良く知りません）べきだが、標準法としてE h等を規定するのは難しいだろう。
7. 分配係数自体吸脱着挙動の結果として得られる物理データでしょうから脱離過程を考慮することは重要と思います。
8. 多くのデータを整理した結果から裕度を評価してゆくことは重要と思います。
9. 人工バリア材、特にセメント系材料では、pH値が大きくなりすぎるため、分配係数の評価だけでは不十分と思います。しかし、代替値として何が良いのかは分かりません。
10. ケースバイケースですが、雰囲気についても一応の目安になる基本的なところは規定しておいた方が良いと思います。雰囲気の使用ガスにしても窒素、アルゴン、アルゴン+水素等、状況に応じて、いろいろ行われておりますし、水素の添加%も3-8%程度と異なりますが、その影響はどの程度なのかななど不明の点も多く、大まかなところで話し合い、妥当なラインを提示する必要があると考えます。
11. どうもこの雰囲気については現場に合わせるというわけにも行かないようで、実験室実験で現場に合わせるのは不可能。気体雰囲気は窒素やアルゴンに水素を混合してppm状態まで可能。水溶液は還元剤がないと電位は低下せず、還元剤の化学的影響が大きく現れる。設問2-1参照。ある程度、測定条件の意味合いをまとめる必要がある。何が雰囲気として良いのか判断しかねる所がある。
12. これらの、雰囲気に関するデータは非常に少ない。特に放射能についての国内データも少なく、比較検討できるよう、数少ない実験設備を有している研究機関は精力的に、無駄なく、データの収集をお願いしたい。
13. このような雰囲気を調整する実験設備は、国内でも限られており、綿密な計画が立てられていると思われるが、縦横の連絡を取り、有効なデータベースをオールジャパン体制で作るような計画を作成して欲しい。国内の安全評価はできるだけ国内データで評価しても良い時期のような気がする。OBとして若い実験者に期待している。
14. 雰囲気に付いては、何も深地層だけの問題でなく、浅地層土壤、畑作土壤等でも同じように還元雰囲気が存在する。表層場合、これら雰囲気にバクテリアの関与も考えられる。原子力分野以外の農業土木関係など広くコンタクトを取り、有効な手法を検討する必要がある。
15. 範囲を広げれば広げるほど広がるものである。範囲を区切って目先の標準化の実験条件について、まず検討して、特殊な雰囲気のような項目は、調査した上で再検討してはどうか？
16. 目的しだいだと思います。深地層を対象に考えているのであれば、対象としている深さにおける雰囲気を再現する方向で考えることになるでしょう。浅地層を対象にすればその雰囲気を再現することになると思います。ただ、完全に同じ雰囲気を再現するのは難しいと考えられますので、criticalな条件を選定しておく必要は有ると思います。何がcriticalかということも難しいのでしょうか・・・。

\*分配係数は多くの複雑な因子を含んだ値として現されています。そこでこれらの値は、ある範囲をもって現すか、あるいは統計処理等して現すことも必要と思われます。現在、安全評価等においてもこれら値の裕度の定量的な取り扱いが行われていません。さらに、現在の吸着過程を見ている分配係数の他に、脱離過程を考慮した分配係数についても数人の研究者等により検討されております。このほか、人工バリア材、廃棄体として溶融固化体などについて分配係数で評価するのか、浸出率の問題等、バリア材や地層を評価する上で、分配係数をどのように考え、どのように現すことが適当なのか？等、自由なご意見を記入ください。(4-18)

1. 多支にわたり内容を網羅するのは大変なことと思います。
2. 分配係数で核種の吸着を評価する場合：
  - ①低レベル核種の埋設処分と②高レベル核種の地層処分で試験条件や評価手法も変わってくると思いますので、目的別にk d 試験条件を変えて、標準化できれば良いと思います。
3. 特に、人工バリアでは、吸着能は、ほとんど考慮しない方向で考える国が多くなってきている。これは、吸着を取り扱うのが難しいことの証拠である。安全評価上吸着を考えないでもいい処分設計の方向も視野に入れる必要があるのではないかと考えられる。
4. 目的に応じて使い分けをすることが避けられないと考えています。安全評価における裕度は、感度解析により扱われていると思います。
5. 分配係数の測定で大切と言われていることで、このアンケートに明確に現れていないものをいくつか挙げます。試料の比表面積、試料の間隙径分布、誤差の評価、コロイド、有機物の影響の考慮、還元剤の選定、吸着のメカニズム、吸着モデルの考慮、吸着化学種の同定、不

- 可逆性、反応速度の考慮、放射線影響の考慮、濃厚系における活量係数の補正の考慮など
6.  $K_d$  を考える場合、手法と結果を一般に考えますが、それに定義を常に付加しておくべきであると考えます。
  7. 当社では、R I は使えませんし、放射性核種の分配係数は測定した例はほとんど有りません。他の有害物質（重金属、有機塩素系化合物、土壤中のイオン Na, Ca 等）等は良く測定しているので、その結果をお送りしました。これら環境中にある物質では、現地の汚染データが存在するので、最終的には現地のデータをフィッティングして、見かけの分散係数、分配係数を同定することが一般的です。したがって、あくまでも実験室の分配係数はその参考にしかすぎません。
  8. 理想的には、核種毎の収着原理を明らかにした上で分配係数の成立範囲を再検討し、必要があれば機構に基づく新たな、評価を構築すべきと思います。
  9. 脱着反応は溶出速度式で与えた方（時間軸を考慮した形）がいいのではないかと思う。この分配係数は、CECや有機物含有量のような「土壤一水系によるひとつの特性値」として定義すべき。 $\rightarrow$  標準分配係数 ( $K_d$ )  $\rightarrow$  JIS 規格を目指す。
  10. 分配係数について説明している辞典の中から、理化学事典（1996, 岩波）による説明を以下に掲げる。

分配係数：2液相、あるいは固液相間に分配している溶質の割合を示す係数。

(1) 热力学的分配係数：1つの溶質が互いに混ざり合わない2相に分配する場合、

平衡状態で  $a_1/a_2 = K_d$  ( $a_1, a_2$  は第1相、第2相における溶質の活量) の関係が成立し (ルンストの分配律)、平衡定数  $K_d$  を (熱力学的) 分配係数と呼ぶ。分配律が成り立つためには、  
 1) 真の熱力学的平衡が成立している。  
 2) 両相の成分は分配の過程で一定である。  
 3) 2相間に分配する化学種は同一である。

の3条件が必要であるが、実際の分配平衡では特に3)が満たされない場合が多い。そのため液液分配では、両相における溶質の全濃度の比として分配比を定義し、実用的に分配を記述している。

(2) 均一分配係数：水溶液から結晶が析出する際、液相中の微量成分が主成分の結晶と共同沈殿する場合がある。この場合には次式が成立する。この平衡定数  $D$  を均一分配係数と呼ぶ。

(固層中の微量成分濃度 / 固相中の主成分濃度) =  $D$  (溶液中の微量成分濃度 / 溶液中の主成分濃度)

(3) 対数分配係数：飽和主成分溶液から沈殿が生成する場合、沈殿の表面に結晶が成長すると考えたときの微量成分の分配は次式に従い、 $\lambda$  を対数分配係数とよぶ。

$$\log_{10}(\text{微量成分の全量} / \text{溶液中の微量成分の量}) = \lambda \log_{10}$$

(主成分の全量 / 溶液中の主成分の量)

(4) 通常分布係数：イオン交換平衡系  $nHR + M^{n+} \rightleftharpoons MR_n + nH^+$  において、溶液中の金属イオン  $M^{n+}$  の交換体相と溶液相における濃度比  $K_d$  は次式で表される。

$$K_d = (\text{樹脂に捕捉された } M^{n+} \text{ の量} / \text{溶液中の } M^{n+} \text{ の濃度}) = [M^{n+}]_r / [M^{n+}]_s$$

$R$  は付イオン交換体がもつ陰イオン部で、添字の  $r, s$  はそれぞれ樹脂相、溶液相を表す。この計数値は  $M^{n+}$  付イオンの交換体に対する選択性を表す指標であるが、一般には定数にはならない。 $M^{n+}$  付イオンが微量の場合には主成分イオン（この場合  $H^+$ ）の濃度によって定まる定数となる。

上記の(4)の通常分布係数が、放射性核種の地層中移行評価に用いられている分配係数である。すなわち、金属イオンが放射性核種イオンであり、樹脂が土壤或いは岩石などに当たり多くの場合  $m^3/kg$  なる単位を持つ。

ここで大切なことは、放射性核種がイオン形（通常陽イオン）であることが必要で、相でなければイオン交換平衡が成り立たないし、分配係数は求められない。分配係数の測定法に関する最大の問題は、放射性核種についてイオン交換平衡が成り立たない非イオン形の場合である。具体的には、水酸化物、酸化物或いはクラッドのような放射化合物の場合である。これらの場合は、放射性核種の化学特性に関係なく、粒径だけが問題となり、一見単純化されたように思われる。しかし、site specific な条件でカラム法により分配係数に相当するものを測定しても、それを放射性核種の地層中移行評価に用いることは、なかなか難しいと考える。ここに、1つの解決方法がある。それを以下の①～③に示す。

① 実験により、水酸化物、酸化物或いは放射化合物から僅かに水中に溶離する放射性核種が付イオン形（擬イオン形も含む）にあるかどうかを調べる。

② イオン形であることが確認されたならば、放射性核種の分配係数を別途測定する。

③ 但し、放射性核種の地層中移行評価には、溶離モデルが必要となり、溶離する分について分配係数を適用する方法をとらなければならない。

以上述べた方法は、難溶離性無機塩における溶解度積の考え方が基になっている。なお、

分配係数の使用において注意すべきことに、放射性核種の比放射能 ( $Bq/g$ ) がある。同一元素であっても、比放射能が高い（半減期が短い）核種で求められた分配係数を比放射能が低い（半減期が長い）核種に使うことは、濃度の関係から不安全側評価をもたらすことになる。例えば、Cs-137とCs-135, Ni-63とNi-59, Zr-95とZr-93, Nb-95とNb-94等。

私が若ければ、①の実験を行うところです。いわゆる溶解度の考えに基づいても、この実験は必要と考えます。

11. 実験の実施方法として、"現在 or 過去に実施した内容"についての質問なのか、"今後はこうあるべきだ"という希望なりコメント的な回答を期待しているのか判別できない質問が有ったように見受けられます。特に経験のない部分の質問で以上のような迷いが生じました。立場を明確に分けた上で質問事項を整理された方が良かったような気が致します。
12. 土壌の分配係数を測定する際に、1試料当たり何個測定して、その値が得られているのか、何回の測定で求めたのか、統計的な処理を行うのに必要な最低限の測定個数は如何？。測定条件と併せて、アンケートに記載されるべき物と思われる。経験的な物、六ヶ所で測定されたときのデータの数など国内データの整理が必要。今後測定される  $K_d$  はどの程度の測定数が最低限必要か？また、単一の土壌について  $K_d$  を測定し、広域的な地層を評価する場合にどの程度の試料数が必要なのか、また、その試料の代表制や、国内土壌に対する比較など、値の数学的な取扱に関する項目もある程度、了解の上に、ある程度決めておく必要があると思われる。
13. 測定されたデータ数にもよるが、どの程度の数学的処理（統計処理）が必要かなども検討しておく必要がある。
14. 核種の化学形も問題であるが、核種の崩壊による娘核種の分配係数についても同様に必要である。ウラン系列の核種のデータは特に少なく、実験できる場所も限られており、少ないデータを有効に利用できるようなシステムがあつても良いのではないか。研究者間の話で終わらせず、研究機関間の協力或いは共同研究などの形で、データベースとまでいかなくともデータファイルを作ることも重要と思われる。 $K_d$  に限らず、濃縮係数、移行係数等についても同様に行う必要がある。
- 標準化に関する、作業グループを数人に絞り文案を作成し、早急に公開できるようにする必要があると思う。そのためにも、これまでのような会合でなく、作業グループによる実施作業が必要である。今回のアンケートを元に、数人で分担して、標準的な分析法等の文書作成、データの収集、或いは必要ならば実験を行うなど必要に思われる。
15. 測定条件の PUBLISHMENT：一応、この辺で分配係数の測定条件について規格化を行い、標準的条件として Publishment してみることを希望致します。Publishment は JAERI-Research でも、それを PR していくべき十分認識されていくと思います。ご承知のように、最近の研究ではどうしてもヒューマンファクター的な要素が排除できないため、閉塞感がでて来ております。問題とされた振盪条件についても、研究機関で施設的事情があるものの、一応、振盪器を使用するという推奨条件を示せば良いと思います。その上で、振盪器が無く静置する場合や断片的に手で振盪する場合については、 $K_d$  が低めに得られる可能性があることを注記しておけば良いと思います。その他、サイト試料を対象とする場合には、pH 等を合わせるために、サイトの地下水に良く馴染ませておくこと等を注意事項として述べれば良いと思いますし、それでも残るヒューマンファクター的な差については、生じ得る事をきちんと述べれば良いと思います。
- 一応でも分配係数の測定基準が示されれば、世間でのバラツキは少しでも小さくなり、比較もし易くなっています。また、今回の試験条件（第2期埋設の測定条件）を基に推奨されれば、当初の目的の一つでもあった、第2期埋設等の支援にも資する事が可能になります。以上、まだ不確定要素はあるかもしれません、なるべく早く、関係しそうな方にレビュー（打診）を行い、一応の基準を Publishment することが関心と考えます。
16. 今後の方針として、新たなプロジェクトとしてしきり直しが必要かもしれません。個人的には分配係数の将来的な方向性を考えると、現在知られているメカニスティックモデル（表面錯体モデル）に対応するため、"パラメータ取得手法の標準化" と核種、岩種毎にパラメータを測定し"データベース化" を測っていくことが最も高いニーズと考えます。メカニスティックに立ち入らないと正直言って、あまり必要性が見えてきません。そんな中で、"安全評価用の  $K_d$  の評価手法" と言うことを中心に考えて見ました。

#### (1) バッチ試験以外からの分配係数測定条件の検討

分配係数は、移流型カラム試験で遅延係数を求める方法、実行拡散型カラム試験でフラックスは一定となるまでの時間を測定する方法（タイムラグ法）によっても評価できます。試料の圧密状態や水の移流の影響を考慮すると、バッチ試験よりも処分環境中の実際の  $K_d$  に近い値が得られるになります。これらの測定条件について標準化するとともに、標準化さ

れたバッチ試験条件についての保守性、また処分環境中での予想されるK<sub>d</sub>との関係について、ある程度定量的に明らかにする。

#### (2) バッチ試験の各測定条件による影響の調査

標準化されたバッチ試験の各条件について、その変動によるK<sub>d</sub>への影響の傾向性を把握し、データベース化する。サイトの安全評価で問題となる *isotherm*、固液比、イオン強度等の課題を中心に調べる。但し、核種や固相試料によって影響が異なる可能性が高く、あくまでも empirical な蓄積であるため、多数の試料によるデータベース化が必要となる。

#### (3) 測定が困難な元素に対するK<sub>d</sub>測定手法の開発

Th, Se 等、K<sub>d</sub>の測定が困難な元素に対する測定手法を検討する。主な課題は測定技術である。

#### (4) 雰囲気制御系での K<sub>d</sub> 測定手法の標準化

将来、高βγやTRU処分において深度が深くなった場合、還元雰囲気で分配係数を測定する必要が生じてくる。還元雰囲気に保持するための溶液や固相試料の脱気方法や分析方法を検討し、還元雰囲気中の測定手法について標準化を行う。

以上思いつくまま書いてしまいました。最後に蛇足ながら、認識レベルの統一化、打ち合わせや連絡をスムーズにするために、作業グループは少し絞った方が良いかもしれません。分担して作業を進めるためには、ある程度、密な体制が必要になると思います。先の試験のようにマニュアルを渡してのベンチマーク試験の実施や、コメントを幅広く求めていくためには、今のような体制でもいいのかもしれません。

17. 地層の核種移行を評価する場合のK<sub>d</sub>について考えるのか、安全評価に使用するK<sub>d</sub>として考えるのか方向性を明確にして、議論しておく必要がある。現在のところ、混在し、考え方が統一されていない。どちらの方向についても、議論し、考え方をまとめておくことが今後大変役に立つと思われる。
18. 第1期埋設時の許可申請のダブルチェックについても、明確なものがいままで数値の値が先走りしたように思われる。考え方をきちんと議論して欲しい。
19. K<sub>d</sub>検討会の中には、推進側と規制側が同居し、意見交換の場として有効な場所と考えられ、検討会で各項目毎に、議論して、双方でデータを取得し、納得の行く値を見定めることが必要。問題となるTRU核種などについては、実験可能な場所は限られるため、有効に実験を進める上でも、検討会は継続していくことが望ましい。今後の検討会の進め方など、次年度以降も見据えて検討が必要である。原研だけの問題ではない。全体を見たK<sub>d</sub>検討会として継続する事が重要である。
20. あまり大上段に振りかぶらずに、標準的な方法に限って、まず絞り込んでできるだけ早く、標準的な条件に関する提案をされるのが良いでしょう。
21. まず、基本的な条件はこのアンケートやこれまでの比較実験などでも見えていると思われ、京都大学等でのK<sub>d</sub>実験の状況など参考にすべき文献も出そろっているもので、雛形を作られてはどうですか？
22. 目的に応じて使い分けることになると思いますが、範囲の他に最頻度値あるいは中央値が示してあると使い易いのではないでしょうか。また、あくまでも実用性という観点からですが、分配係数として意味があるのか否か疑問に思えるような値（例えば異常に大きな値等）は、除外しても良いのではないかどうか。
23. 高レベルと低レベルで多少見解が異なる可能性があるが、K<sub>d</sub>理論や安全評価上の理屈は単純に限る。したがって、単純に理解できるデータが良い。K<sub>d</sub>が一定であってくれることが評価上好ましい。K<sub>d</sub>が分布する場合、その範囲を明確にすること。一般に大きい値が安全側であるが、シナリオによっては逆転する場合がある。他国のデーターと大差無いのが好ましい（大差有ると言い訳に煩わしい）。安全評価では、式に代入するだけだから、K<sub>d</sub>測定者がこの値しか出ないと言われば従うであろう。（事件データを曲げることは安全サイドの発想以外からは無いのでは。）計算モデルに沿うことがK<sub>d</sub>として好ましいのでは。その他、K<sub>d</sub>と他のパラメータの関係が判明していること（K<sub>d</sub>が他の因子の影響を受けない状態が望ましい）。
24. 過去に分配係数をよく利用してLLWの安全評価を行ってきました。その際、分配係数は核種によっては国内の文献値によるものや国外の評価コードを日本の現状にある程度手直して利用していたため、予めコードのライブラリーに組み込まれた値（国外の値）を使用していましたがありますが、どこから持ってきた分配係数なのか記載していないものも多々見受けられました。これから、分配係数が安全評価上、特に重要なので有れば、どういう条件のもとで出されたものかを安全評価コード上に明記する必要があります。様々な安全評価にどんな分配係数が使用されているのか調べたらいろいろな値が出てくるかもしれません。

\*今回の調査内容は項目が多く大変煩雑になっているように思われます。もう少しすっきり、書きやすした方が良い等。アンケート内容、記述方法等についてご意見等を記入ください。

(4-19)

1. 意見を書く部分の行間隔がもう少し広い方が書きやすい。(3)
2. 内容が多すぎるため、項目をすっきりさせる。(4)
3. 本アンケートの内容はアンケートのはじめに述べられているように、対面で意見交換すべきものがほとんどで、書面として表現することが難しい。上述のアンケートに具体的に答えられるようあるテストケースを設定してそれに対しての具体的な設問にすれば、もう少し、答える範囲が広がるよう思う。
4. 多大な努力を払って本アンケート用紙を作られた事がよくわかります。残念ながら、目的に応じて分配係数の取得方法を使い分けることが実際にあり得るので、明確に○×で答えられずに申し訳なく思います。
5. ここで扱う分配係数の定義をもう少し狭い範囲に限定した方が分かりやすくなるのではないでしょうか、たとえば、核種移行評価上適切な分配係数の取得方法、という定義ではどうしても対象地域の環境条件が影響して手法の一般化は困難です。そうではなく、たとえば、「手順の適切さを第3者が判断するための測定」、すなわち、適切な分配係数を取得する基本的技量があるかどうかを判断する事を目的とするなら、手法の一般化も可能だと思います。
6. 大変疲れましたが、内容を考えれば、このような形になるのもやむを得ないかと思います。多くの人から回答が得られ、有意義な結論が導き出されることを期待します。
7. 調査票冒頭の説明をみると、この調査は、「既存の分配係数の報告は不完全なものがほとんどなので、標準的な測定方法を確立して今後実験を行うべきだ」というところに力点があるようです。これについて申し上げたいことの一つは、分配係数の測定方法を標準化する事は不可能ではないかということです。  
分配係数の測定については、大変多くの様々な要請があり、全てを満たすような実験は極めて困難だからです。また、もう一つ申し上げたいのは、望ましい測定方法を決めるには、既存のデータをレビューする際の基準として極めて重要であるという事です。この調査と、これに基づく検討が実りあるものになることをお祈り申し上げます。
8. ご苦労様です。多忙にわたり内容を網羅するのは大変だと思います。宜しくお願ひいたします。
9. 種々の事情により、当たり障りのない解答になってしまいました。
10. 指摘の通り書きやすく、すっきり、書きやすく(2)、本当にそう思います。(1)
11. 回答も大変でしたが、問題の設定はもっと大変だったと思います。ご苦労様でした。
12. あまり細部にこだわらず、いろんな経験を基に、とりあえずの「ひな型」を作ればいいと思う。年と共にどんどん付属書を加えていけばよい。とにかく理由付けのできるところからおまかに決めて現段階での標準法を作るべき。それを、知見の集積に伴って、次第に洗練していく。→あるいは注釈として加えて行く。
13. 早急に対応するためには、実際に作業を行う作業グループが必要ではないか。
14. この時期まで、標準化できなかつたので、不可能ではないかと思われるが、これだけの多くの内容があり、これまでの経験も着実に増えている。実験条件など見直して、検討するのも良い時期であるかも知れない。
15. あきれるほど長く、かなりの時間を要するが、実りのある報告書をお待ちしています。
16. 単純なもの程、書くことがいっぱいあり、大変困ってしまいます。できる限り単純化して、広く利用してもらうのが良い方法である。できれば早めに。

## 付録2. 分配係数に関する勉強会での意見

## &lt;&lt;平成10年度第1回勉強会における意見&gt;&gt;

1. アンケートに記載された攪乱、未攪乱の定義が曖昧で、誤解し易いので、具体的に示した方がよい。
2.  $K_d$  の捉え方、考え方等が実験者によりバラバラであり、 $K_d$  の意味づけもはっきりした方がよい。安全評価で使用する  $K_d$ 、サイトスペシフィクな  $K_d$ 、平均的な  $K_d$ 、核種移行予測に使用する  $K_d$  等々。
3. 標準化は簡単なものではない。方法がバラバラで値があってもどういう条件なのかも不明のものがある。しかし、これまでの実験で有る程度方法が同じなら一定な値が得られており ( $R_I$  の希釈や  $pH$  に依存するが)、基本的なものは決められそうである。
4. 未攪乱はフィールドを見ているようだが、水の流れの影響が大きく、環境を模擬しているとは限らない。フィールドでの核種の移行を予測していくのか、評価に使用して行くのか、目的を明確に絞った標準化でないと大変難しい。
5. カラムは水の流れを確認するような実験に絞った方がよい。バッチ法の  $K_d$  では吸着を見て、この 2 つが補正できれば良い。
6. バッチ法とカラム法で  $K_d$  が違わなければバッチ法が容易である。但し、実験条件で違うのでどこに重点をおいて実験したら標準化した試験が出来るのか、クロスチェックの実験で見てきているのではないか。
7. 保存の状態がどの程度の影響があるのか、ある程度大まかに事を押さえておけば問題にはならないというような方向が見えてくればと思う。妥当なラインを決める。
8. 一般的なものをバッチ法で表す。方法論条件を押さえておけば良い。
9.  $K_d$  をどう使うのか? によっても考え方方が異なる。 $R_I$  移動を良く表すので有れば未攪乱カラムで、 $K_d$  を使ってシミュレーションするので有ればバッチでも良い。
10. 安全評価に使用する  $K_d$ 、下回っていれば問題はない。ある程度現実的な挙動が評価できる  $K_d$  としてバッチ法で得られたデータが使えるのではないか。
11. カラム法一バッチ法  $K_d$  が合わない時、 $K_d$  の成立が合わない条件は何か、原因、要因等を記載し、評価しておく必要がある。
12.  $K_d$  条件の細かい物を作るのか、一般的な操作を作るのか、安全評価に使える  $K_d$  をとるにはどうするのか、現地に規定される条件とは何か等、目的を絞った標準化が必要。
13. 標準化を進めていく方向はどちらか、指針としてか、オーソライズされた値になる。これくらいの条件で有ればこの位の  $K_d$  になるというものをまとめる。
14. 現地の物質移動を評価する場合の注意書きぐらいは作れる。
15. 基本的な値に + アルファをつけてフィールドを表すことなど留意点をあげる。
16. 標準的な手法から出てくるものが安全評価に使えるのか、標準的な方法で行えばある程度現地が推定できるという方向にまとめるのか、
17. 現地の物質移動はバッチ + カラム + 現地条件等を加味したもので表される。
18. アンケートの料理の仕方、ある程度ひな型を作つて検討してはどうか。最大公約数的にまとめて書くことが必要ではないか。
19. 未攪乱 - 攪乱、試料の入手方法、採取 - 保管、前処理を大まかに JIS 等を参考に決めること。
20. コメントで納得のいくコメントと方針が分かれるコメントをどうするのか。  
どう処理したらどういう物理量が影響するのか。
21. 試験終了した後の液性の分析項目が必要か否か。これまでの実験では  $pH$ 、伝導度、 $E_h$  等を測定しているが、この他の項目が必要か。
22. 固相の分配係数を測定する方法についても考慮するか否か。
23. 脱離の分配係数は必要か否か。
24. 本来はこうだが、実際はこうしているというものを書き込んでおくことも必要。
25. アンケートについては、例題を示してコメントをもらうなど、あなたは何を目的に  $K_d$  を測定しますか?、等、人工バリア、天然バリア等を分けてコメントする。分けることにより、それ以後の、コメントが変わってくる事がある。
26.  $K_d$  として評価する上で必要な分析項目は何かというような聞き方もある。
27. コロイドに関するアンケート項目が必要。解析、分析法など。
28.  $K_d$  の標準的な方法の他、追加で出すときに必要な留意点コメントも入れておく。
29. 結果に到るプロセス、研究目的と方法など、意見をもらう。
30. 追加アンケートでフィールドデータについての意見を、その他の方法、研究目的等を追加しておく。
31. フィールドでの試験や、岩石等の拡散試験（拡散係数）等についても今後の検討に加えては。

32. 岩石の標準的なつぶし方があるのか？なぜそうしたのか？、バックデータは？等
33. 最大粒径より大きいところで粉碎している。現場サイドの人が考えていることはどんなか？
34. J I S 規格など既存の物を巧く利用することが出来ないか。土木の透水係数測定の方法など。
35. カラム法の寸法について最大粒径の 20 倍以上等、器壁の影響を考える。
36. 試料の代表性について、粒径分布から何グラム以上取らなければ代表性が無いなど、粒径によっては 1 g でも代表制があるなど。他のデータを調べて見ることも必要。
37. 根拠無く数多く取る事は避けたい。よりどころがないのでどこかに頼らざるを得ない。
38. とりあえずは、規準の一つとなる、根拠、よりどころを探す。また、そこに到る経過で議論しても良いのではないか。
39. 規格化に向けて、化学工学などの既存の論文調査を行う。
40. ひな型を作つて注釈をつけていく。現場の経験から得られた数値、粒径を基に利用する。何故そうなったのか根拠ある物を利用し、考えられる物で検討する。
41.  $V/M=10$  の根拠について、経験的なもの等も考慮して行く。 $V$ 、 $M$ について誤差が少なくてすむ値なども考慮必要。
42. 攪拌方法、濾過方法等、フィルター径  $0.45 \mu m$  の根拠など
43. 遠心分離については、規準化を考えると rpm よりも G の方が良いと思われる。
45.  $K_d$  を測定する際に必要なものは何か、評価に必要なものは何か、
46. 広域的な地層の核種移行を評価する場合の  $K_d$  についてどう考えるか。
47.  $K_d$  の正確な値とは、代表値としての  $K_d$  とは、ある程度定義しておく必要がある。
48. 次回までに、回収したアンケート調査結果をまとめる。結果を検討して必要なら再度アンケート調査を行い、詳細についてのコメントを受け、基本的な測定方法に関するひな形の作成を検討する。

## &lt;&lt;平成10年度第2回勉強会における意見&gt;&gt;

アンケート調査結果について議論を進め以下のような意見が出された。

1. かなり面倒なアンケートではあったが、意見覧には多数の貴重な意見が寄せられた。これら意見の中で、早急に標準的な測定法に関する考え方をまとめ、ひな形作りを行うことが必要という意見が多く見られた。
2. アンケートにかなりの意見が見られるので、詳細なアンケート細については中止し、意見覧に多数の要望があった「ひな形」作りをスタートする事とする。こまかなる内容については、適宜、コメントを追加していくような方法で、数人の作業グループによるひな形作りを行うことが了承された。
3. 作業を始める前に標準の考え方を一般的なものに限定する。つまり大気中における浅地層を対象にした好気性条件における測定方法をたたき台とし、試料の調整から測定方法までの一連の作業についてまとめる。各作業内容を分別し、各項目毎によりどころとなるデータ、参考文献等示し、作業内容を固めて行く。深地層を対象とする項目についても試料の採取から、調整、測定の一連の流れについて、浅地層と同様に作業内容を分別し、低酸素条件あるいは還元環境条件等についてコメントを追加する。深地層の場合にはほとんどデータがないと思われる所以、これまでに実際に経験のある実験者の意見を聞き、注意事項としてまとめて行く。当初から完全なものでなくても、逐次データを収集し、改訂して行く。
4. 一般的な測定方法を基本とするが、この時期に雰囲気の影響に言及しない訳には行かない。最新の情報によるコメントをまとめるだけでも十分である。実際に行われている実験者からの声が伝えられればよい。この検討会には実験者も多く、直接的な意見が盛り込めるとと思われる。
5. 温度条件など熱力学的データから25℃で整理されており、基本的な温度は25℃とする。
6. アンケートで調べられた測定項目など、測られている項目などについてもリストを作成するなど、明示しておくことも必要。
7. 他のデータベースなどと比較して、各項目について検討しても良い。
8. バッチ法での簡便性、データの取得の容易性、吸着性の比較の容易性など基本的な流れは、バッチ法一大気条件とし、嫌気性についてはコメントをまとめる。また、カラム法一大気条件、嫌気条件についてもコメントをまとめる。適宜、改訂を進めて行くようとする。
9. 核種等について、化学的に同一な挙動を示すもの等をリストアップしてまとめ、データがあれば示しておく必要もある。鉛などの溶解度が問題となる核種など、化学形の分類など簡単に示して欲しい。
10. 試料保存、pH、希釀条件、单一核種で行うのか、化学形によっては注意しなくてはならない事項等、一つの目安的なもの、原則論で分ける。表にまとめる。
11. 深地層で対象とする水についても、サイト不明な状況では、海水、塩濃度、酸素濃度等、天然の地下水の濃度範囲等が明確でなく、基本的な人工実験水の範囲などについても、現段階での情報を調べておく必要もある。
12. 数人の作業グループによりひな形を作製し、順次項目毎に詳細解説を示して行く。

This is a blank page.

# 国際単位系(SI)と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

| 量     | 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   |
| 物質量   | モル     | mol |
| 光度    | カンデラ   | cd  |
| 平面角   | ラジアン   | rad |
| 立体角   | ステラジアン | sr  |

表3 固有の名称をもつSI組立単位

| 量           | 名称     | 記号 | 他のSI単位による表現         |
|-------------|--------|----|---------------------|
| 周波数         | ヘルツ    | Hz | s <sup>-1</sup>     |
| 力           | ニュートン  | N  | m·kg/s <sup>2</sup> |
| 圧力、応力       | パスカル   | Pa | N/m <sup>2</sup>    |
| エネルギー、仕事、熱量 | ジュール   | J  | N·m                 |
| 功率、放射束      | ワット    | W  | J/s                 |
| 電気量、電荷      | クーロン   | C  | A·s                 |
| 電位、電圧、起電力   | ボルト    | V  | W/A                 |
| 静電容量        | ファラード  | F  | C/V                 |
| 電気抵抗        | オーム    | Ω  | V/A                 |
| コンダクタンス     | ジーメンス  | S  | A/V                 |
| 磁束          | ウェーバ   | Wb | V·s                 |
| 磁束密度        | テスラ    | T  | Wb/m <sup>2</sup>   |
| インダクタンス     | ヘンリー   | H  | Wb/A                |
| セルシウス温度     | セルシウス度 | °C |                     |
| 光束度         | ルーメン   | lm | cd·sr               |
| 照度          | ルクス    | lx | lm/m <sup>2</sup>   |
| 放射能         | ベクレル   | Bq | s <sup>-1</sup>     |
| 吸収線量        | グレイ    | Gy | J/kg                |
| 線量当量        | シーベルト  | Sv | J/kg                |

表2 SIと併用される単位

| 名称     | 記号        |
|--------|-----------|
| 分、時、日  | min, h, d |
| 度、分、秒  | °, ', "   |
| リットル   | L, L      |
| ト      | t         |
| 電子ボルト  | eV        |
| 原子質量単位 | u         |

$$1 \text{ eV} = 1.60218 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ u} = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

| 名称       | 記号  |
|----------|-----|
| オングストローム | Å   |
| バーソル     | b   |
| バール      | bar |
| ガル       | Gal |
| キュリ      | Ci  |
| レンゲン     | R   |
| ラド       | rad |
| レム       | rem |

$$1 \text{ Å} = 0.1 \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m}$$

$$1 \text{ b} = 100 \text{ fm}^2 = 10^{-28} \text{ m}^2$$

$$1 \text{ bar} = 0.1 \text{ MPa} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm/s}^2 = 10^{-2} \text{ m/s}^2$$

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

$$1 \text{ rad} = 1 \text{ cGy} = 10^{-2} \text{ Gy}$$

$$1 \text{ rem} = 1 \text{ cSv} = 10^{-2} \text{ Sv}$$

表5 SI接頭語

| 倍数         | 接頭語  | 記号 |
|------------|------|----|
| $10^{18}$  | エクサ  | E  |
| $10^{15}$  | ペタ   | P  |
| $10^{12}$  | テラ   | T  |
| $10^9$     | ギガ   | G  |
| $10^6$     | メガ   | M  |
| $10^3$     | キロ   | k  |
| $10^2$     | ヘクト  | h  |
| $10^1$     | デカ   | da |
| $10^{-1}$  | デシ   | d  |
| $10^{-2}$  | センチ  | c  |
| $10^{-3}$  | ミリ   | m  |
| $10^{-6}$  | マイクロ | μ  |
| $10^{-9}$  | ナノ   | n  |
| $10^{-12}$ | ピコ   | p  |
| $10^{-15}$ | フェムト | f  |
| $10^{-18}$ | アト   | a  |

(注)

- 表1～5は「国際単位系」第5版、国際度量衡局1985年刊行による。ただし、1eVおよび1uの値はCODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海里、ノット、アール、ヘクタールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- barは、JISでは流体の圧力を表す場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- EC開発理事会指令ではbar、barnおよび「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

## 換算表

| 力       | N(=10 <sup>5</sup> dyn) | kgf      | lbf |
|---------|-------------------------|----------|-----|
| 1       | 0.101972                | 0.224809 |     |
| 9.80665 | 1                       | 2.20462  |     |
| 4.44822 | 0.453592                | 1        |     |

$$\text{粘度 } 1 \text{ Pa}\cdot\text{s} (\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2) = 10 \text{ P} (\text{ポアズ}) (\text{g}/(\text{cm}\cdot\text{s}))$$

$$\text{動粘度 } 1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ St} (\text{ストークス}) (\text{cm}^2/\text{s})$$

| 圧         | MPa(=10 bar)             | kgf/cm <sup>2</sup>      | atm                      | mmHg(Torr)            | lbf/in <sup>2</sup> (psi) |
|-----------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|---------------------------|
| 力         | 1                        | 10.1972                  | 9.86923                  | $7.50062 \times 10^3$ | 145.038                   |
| 0.0980665 | 0.0980665                | 1                        | 0.967841                 | 735.559               | 14.2233                   |
| 0.101325  | 0.101325                 | 1.03323                  | 1                        | 760                   | 14.6959                   |
|           | $1.33322 \times 10^{-4}$ | $1.35951 \times 10^{-3}$ | $1.31579 \times 10^{-3}$ | 1                     | $1.93368 \times 10^{-2}$  |
|           | $6.89476 \times 10^{-3}$ | $7.03070 \times 10^{-2}$ | $6.80460 \times 10^{-2}$ | 51.7149               | 1                         |

| エネルギー・仕事・熱量               | J(=10 <sup>7</sup> erg)   | kgf·m                     | kW·h                      | cal(計量法)                  | Btu                       | ft · lbf                 | eV                                       | 1 cal = 4.18605 J (計量法) |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|--|-------------------------|
| 1                         | 0.101972                  | $2.77778 \times 10^{-7}$  | 0.238889                  | $9.47813 \times 10^{-4}$  | 0.737562                  | $6.24150 \times 10^{18}$ | $= 4.184 \text{ J} (\text{熱化学})$         |                         |
| 9.80665                   | 1                         | $2.72407 \times 10^{-6}$  | 2.34270                   | $9.29487 \times 10^{-3}$  | 7.23301                   | $6.12082 \times 10^{19}$ | $= 4.1855 \text{ J} (15^\circ \text{C})$ |                         |
| $3.6 \times 10^6$         | $3.67098 \times 10^5$     | 1                         | $8.59999 \times 10^5$     | 3412.13                   | $2.65522 \times 10^6$     | $2.24694 \times 10^{25}$ | $= 4.1868 \text{ J} (\text{国際蒸気表})$      |                         |
| 4.18605                   | 0.426858                  | $1.16279 \times 10^{-6}$  | 1                         | $3.96759 \times 10^{-3}$  | 3.08747                   | $2.61272 \times 10^{19}$ | 仕事率 1 PS (仏馬力)                           |                         |
| 1055.06                   | 107.586                   | $2.93072 \times 10^{-4}$  | 252.042                   | 1                         | 778.172                   | $6.58515 \times 10^{21}$ | $= 75 \text{ kgf} \cdot \text{m/s}$      |                         |
| 1.35582                   | 0.138255                  | $3.76616 \times 10^{-7}$  | 0.323890                  | $1.28506 \times 10^{-3}$  | 1                         | $8.46233 \times 10^{18}$ | $= 735.499 \text{ W}$                    |                         |
| $1.60218 \times 10^{-19}$ | $1.63377 \times 10^{-20}$ | $4.45050 \times 10^{-26}$ | $3.82743 \times 10^{-20}$ | $1.51857 \times 10^{-22}$ | $1.18171 \times 10^{-19}$ | 1                        |  |                         |

| 放射能                  | Bq                        | Ci | 吸収線量 | Gy  | rad |
|----------------------|---------------------------|----|------|-----|-----|
| 1                    | $2.70270 \times 10^{-11}$ | 1  | 1    | 100 |     |
| $3.7 \times 10^{19}$ | 1                         |    | 0.01 | 1   |     |

| 照射線量                  | C/kg | R |
|-----------------------|------|---|
| 1                     | 3876 |   |
| $2.58 \times 10^{-4}$ | 1    |   |

| 線量当量 | Sv  | rem |
|------|-----|-----|
| 1    | 100 |     |
| 0.01 | 1   |     |

(86年12月26日現在)

分配係数の測定条件に関するアンケート調査