

PNC <sup>I</sup>J1150 96-007

本資料は	年	月	日	付けで
登録区分変更する。				[東海事業所技術情報室]

## 人工バリア材料に対する微生物の影響評価研究 (III)

(動力炉・核燃料開発事業団 研究概要)

1996年3月

石川島播磨重工業株式会社

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

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

電話:029-282-1122(代表)  
ファックス :029-282-7980  
電子メール:jserv@jnc.go.jp

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

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

この  
配布す  
この資  
配布目

This  
nor di  
writte  
Corporation.

関係者だけに  
さい。なお、  
。また今回の

ic reference  
t prior  
elopment

本資料についての問合せは下記に願います。

〒107 東京都港区赤坂1-9-13  
動力炉・核燃料開発事業団  
技術協力部・技術管理室



PNC 7/J1150 96-007

1996年3月

## 人工バリア材料に対する微生物の影響評価研究（Ⅲ）

石川島播磨重工業株式会社

### 要旨

硝酸塩等が含まれる廃棄物を地層処分した際に、ガス発生の原因となる可能性がある脱窒細菌の活動状況を評価するため必要となる、脱窒細菌の活性測定方法の検討を行い、測定が可能であることを確認した。

微生物の影響を評価する指標の一つとなる微生物のベントナイト中の移行挙動の評価を行った。この結果、ケイ砂を80%と、非常に多く混合したベントナイトについては、圧密密度に関わらず微生物が移行していることが確認された。

微生物の活動によるPu, Npの挙動に対する影響を評価するために必要な、Pu, Npの分析方法の検討及び試験方法の検討を行った。

---

本報告書は、石川島播磨重工業株式会社が動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果である。

契約番号 : 070D0224

事業団担当部課室および担当者 : 東海事業所 環境技術部 地層処分開発室  
(石川 博久)



PNC ~~2~~<sup>T</sup>J1150 96-007

March, 1996

Study on Microbial Effects on Engineering Barrier  
for Geological Disposal of Radioactive Wastes(III)

Ishikawajima-Harima  
Heavy Industries Co.,Ltd.

A b s t r a c t

Considering geological disposal of TRU wastes, gas generation is one of the important issue for assessment of the system integration. In this study, denitrifying bacteria, potential nitrogen gas generating bacteria through the reduction of nitrate substance, was investigated the evaluation methods of their activity, and confirmed the way of the testing. And migration test of bacteria through compacted and saturated bentonite was performed. Bacteria migration was observed in the bentonite(contain 80% silica sand). Then basic way of analysis and testing for Pu and Np was studied for evaluation of microbe effects on these elements in geological disposal environment.

---

Work performed by Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co.,Ltd. under  
contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

Contract No. : 070D0224

PNC Liaison : Geological Isolation Technology Section,

Tokai Works

(Hirohisa Ishikawa)

## 目 次

### 第1部 微生物の脱窒活性の測定基礎試験及び微生物の圧密ベントナイト中の移行性の判定試験

1. まえがき .....	2
2. 試験 .....	2
2.1 微生物の脱窒活性の測定基礎試験 .....	2
2.2 微生物の圧密ベントナイト中の移行性の判定試験 .....	2
3. 結果と考察 .....	2
3.1 脱窒活性測定の基礎試験 .....	2
3.2 微生物の圧密ケイ砂／ベントナイト中の透過試験 .....	4
4. まとめ .....	5
4.1 脱窒活性測定の基礎試験 .....	5
4.2 圧密ケイ砂／ベントナイト中の微生物透過試験 .....	5
5. 今後の課題 .....	6

### 第2部：硫酸塩還元菌等の作用によるPu, Npの酸化還元状態の検討及びベントナイトへのPu, Npの吸着に及ぼす硫酸塩還元菌等の影響調査

1. まえがき .....	10
2. 試験 .....	10
2.1 硫酸塩還元菌等の作用による Pu, Np の酸化還元状態の検討 .....	10
2.2 ベントナイトへのPu, Npの吸着に及ぼす硫酸塩還元菌等の影響試験調査 .....	15

## 第 1 部

微生物の脱窒活性の測定基礎試験及び微生物の圧密ベン  
トナイト中の移行性の判定試験

## 1. まえがき

これまで地層処分場における微生物の活動を評価するため、硫酸塩還元細菌（SRB）、硫黄酸化細菌（SOB）等の耐性領域図を作成してきた。その一環として、還元性領域に生息する脱窒細菌について、耐性領域図を作成するために必要となる活性の測定方法について検討を行った。また、ベントナイト中の微生物移行試験を平成6年度に引き続き本年度も試験パラメータを変えて実施した。

## 2. 試験

### 2.1 微生物の脱窒活性の測定基礎試験

処分環境における脱窒菌の作用を見るために下記に示す項目について基礎試験を行った。

- (1) 脱窒菌の選定
- (2) 培地の検討
- (3) 増殖特性
- (4) 菌体量／培養菌体濁度（蛋白量）の相関値測定
- (5) 脱窒活性の測定法の検討
- (6) 一定pH培養における菌の脱窒活性と菌体増殖、Eh変化の計測

### 2.2 微生物の圧密ベントナイト中の移行性の判定試験

前年度では乾燥ベントナイトへの微生物移行を調べたが、本試験は

ケイ砂（#3）：ケイ砂（#5）：ベントナイト＝4：4：2

の混合比であるケイ砂混合体の乾燥圧密1.8と1.2g/cm<sup>3</sup>の圧密ベントナイトについて、微生物の移行性の判定試験を行った。

## 3. 結果と考察

### 3.1 脱窒活性測定の基礎試験

#### (1) 脱窒菌の選定

下記の理由により脱窒菌としてpseudomonas種を選定した。

- ① 土壌や水域で最も普遍的に見られる菌種の一つである。
- ② 好気、嫌気条件下で生育が出来る。

③石油系化合物も含む多種多様の化合物を栄養源として利用（資化）するなど繁殖力が強い。

## (2) 培地

入手した脱窒菌株の予備培養を行った結果、有機物主体の培地で生育がよいことが分かった。

## (3) 増殖特性

500ml培養装置でpH、酸化還元電位（Eh）をモニターしながら脱窒菌を培養した。Heガス又はArガスを培養液に微量通気しながら、ヘッドスペースを置換し、攪拌、30℃で培養を行った。その結果、菌の増殖は嫌気的条件下でも非常に良く、培養約12時間で定常期に達し、増殖の良い菌株であることが分った。また、Ehは菌の増殖に伴い急速に低下し約-100mVになった。逆にpHは徐々に上昇し、概ね2日後にはpH8.3となった。

## (4) 菌体量／培養菌体濁度／菌体蛋白量の相関性

測定の結果以下のような相関値が得られた。

$$\text{菌体濁度 (660nm) } 1 = 0.321\text{mg 蛋白量} = 1.076\text{mg 菌体乾重量}$$

## (5) 脱窒活性測定法の検討

亜酸化窒素発生量による脱窒活性の測定法の検討の結果、図1-1に示すような測定手法を作成できた。この手法では、菌体量の少ない時でも遠心後の懸濁液量を減らすことで菌体濃度を濃縮でき、培養中の代謝産物を除けるので、脱窒活性量測定の精度を増すことなどの利点がある。以下に活性測定の基礎試験結果を述べる。

### a. ガス分析

この系のガスクロマトグラフによる亜酸化窒素のガス分析の検出限界は概ね5ppmであった。

### b. 活性測定液の選定

培地の栄養塩から塩化アンモニウムを除き、硝酸塩の他に亜硝酸塩を加えたものが活性測定に適していることを確認した。

### c. 酸素混入の影響

酸素の影響はガス相中の濃度が1%以上で著明に活性が低下し、阻害されることが分かった。そこで活性測定のガス分析は反応時間2点以上でN<sub>2</sub>O発生量の直線性を計り、また反応中の菌体量も合わせて計測した。



d. 活性測定の定量性

菌体量に比例して活性能が高く、また反応時間2時間までは直線性を示した。この結果、脱窒活性測定は菌体量は0.3ml(蛋白量約130 $\mu$ g)を用いることとした。

e. 増殖ステージにおける脱窒活性

嫌気条件下で活発に増殖している菌体は脱窒代謝を盛んに行っており、更に菌体の増殖状態で脱窒活性が異なり、その活性値は3.7倍の巾になった。

f. 一定pH培養における菌の増殖、Eh変化と脱窒活性

pHを $7.1 \pm 0.2$ に制御して同様に培養を行った。菌の増殖はこのpHでは極めて良く、これに伴うEhの低下傾向もpH無制御のものと同様であった。定常期の菌体量は無制御よりもやや高く、その後の菌体濁度の低下は40時間以降も見られなかった。また、この菌体の脱窒活性能はpH無制御菌体のものに比べて全ての菌体増殖ステージで高く、48時間培養菌においても高い比活性を示した。

### 3.2 微生物の圧密ケイ砂/ペントナイト中の透過試験

#### (1) 予備試験検討

ケイ砂/ペントナイト成型体は、透過試験容器内で水の浸潤と同時に調製した。また、膨潤成型体の低分子化合物の透過をリボフラビンと希食塩水を上面より投与して試した。これにより圧密 $1.8\text{g}/\text{cm}^3$ では20日以上、 $1.2\text{g}/\text{cm}^3$ では2週間を要することが推定された。成型体切片の切り出しはケイ砂混合のため、前回より1mm厚くし2mm強とした。これらの予備試験の結果から図1-2のような操作方法が適当であるとして、本試験に用いた。

#### (2) 菌透過試験結果

成型体のカット面は大腸菌の培養培地に含まれる紅色色素エオシンにより、上層部(IV)から低層部(I)に向けて着色しており、成型体中への培地の透過が充分なされていることは明らかであった。また実際の切出し切片の生理的食塩水中の懸濁液も上層部が強い赤色を示した。圧密成型体への大腸菌の透過試験の結果を表1-1に示す。圧密 $1.8\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $1.2\text{g}/\text{cm}^3$ 共に微生物菌数が確認され、最上部が桁違いに多いことを除いて、他の層ではあまり差異もなく菌の透過がうかがえた。傾向としてはむしろ成型体中央部層で菌数が少なく、底部(I)ではやや多い様である。これは底部では空気層に近く、成型体内での嫌気的環境などの違いで、菌の増殖が異

なったものと思われる。圧密の違いによる差は80%ケイ砂混合体では著明ではなかった。

表1-1 微生物浸透試験結果

試験 No. 圧密 $g/cm^3$ (菌投与日数) 寒天培地	混合成型体の各層切片 (0.5 g)中の菌数、 $\times 10^2$							
	801 1.8 (27日)		802 1.8 (22日)		803 1.2 (15日)		804 1.2 (18日)	
	一般生菌数	LB	LB	一般生菌数	一般生菌数	LB		
成型体層								
底部 I	31	23	244	97	35	248		
II	78.5	63	348	48	49	472		
III	42	49	122	23	25	616		
IV	—	—	—	—	—	—		
V	15	42	285	12	49	674		
最上部 VI	702	2870	234	228	37	1134		

#### 4. まとめ

##### 4.1 脱窒活性測定の基本試験

処分場における脱窒菌の活動による亜酸化窒素、窒素ガスの発生が考えられ、この菌の耐性領域を掴むための基礎試験を実施した。

- ①脱窒菌を選定し、培地組成と増殖特性 (pH、Eh、菌体量) を検討した。また菌体量を培養液の濁度と菌体蛋白量で算出できる相関関数値を求めた。
- ②脱窒活性測定に対する反応液組成、定量性や酸素の混入の影響などを検討して、その定量手法を設定した。
- ③培養菌の増殖ステージにおける脱窒活性は菌体の増殖菌が高いこと、また一定pHの制御培養菌における脱窒活性、Eh値の変化を調べた。

##### 4.2 圧密ケイ砂/ベントナイト中の微生物透過試験

ケイ砂混合比率80%の圧密ベントナイト (1.2, 1.8 $g/cm^3$ ) において、大腸菌を使っ

た微生物の透過試験を実施した。

①ベントナイト成型体の含水率、低分子化合物の透過速度は圧密 $1.2\text{g}/\text{cm}^3$ と $1.8\text{g}/\text{cm}^3$ で異なった。

②大腸菌の透過は両成型体とも菌体培養液供与の最上層部の菌数が桁違いに多いが、その他の層にも菌数が数多く検知され、この混合比では微生物が透過するものと判断された。

## 5. 今後の課題

今後の課題を下記に示す。

①脱窒菌は培養系、脱窒活性手法を設定できたので今後は各種pH条件で菌の増殖、Eh変化及び脱窒活性の測定を行って、脱窒菌の耐性領域図を作成する必要がある。

②ケイ砂／ベントナイト成型体への微生物の透過では、本試験では圧密度の違いによる菌の透過の差が認知できなかったが、ケイ砂混合比率のパラメータを変えて試験を行うことで透過性を明確にする必要がある。

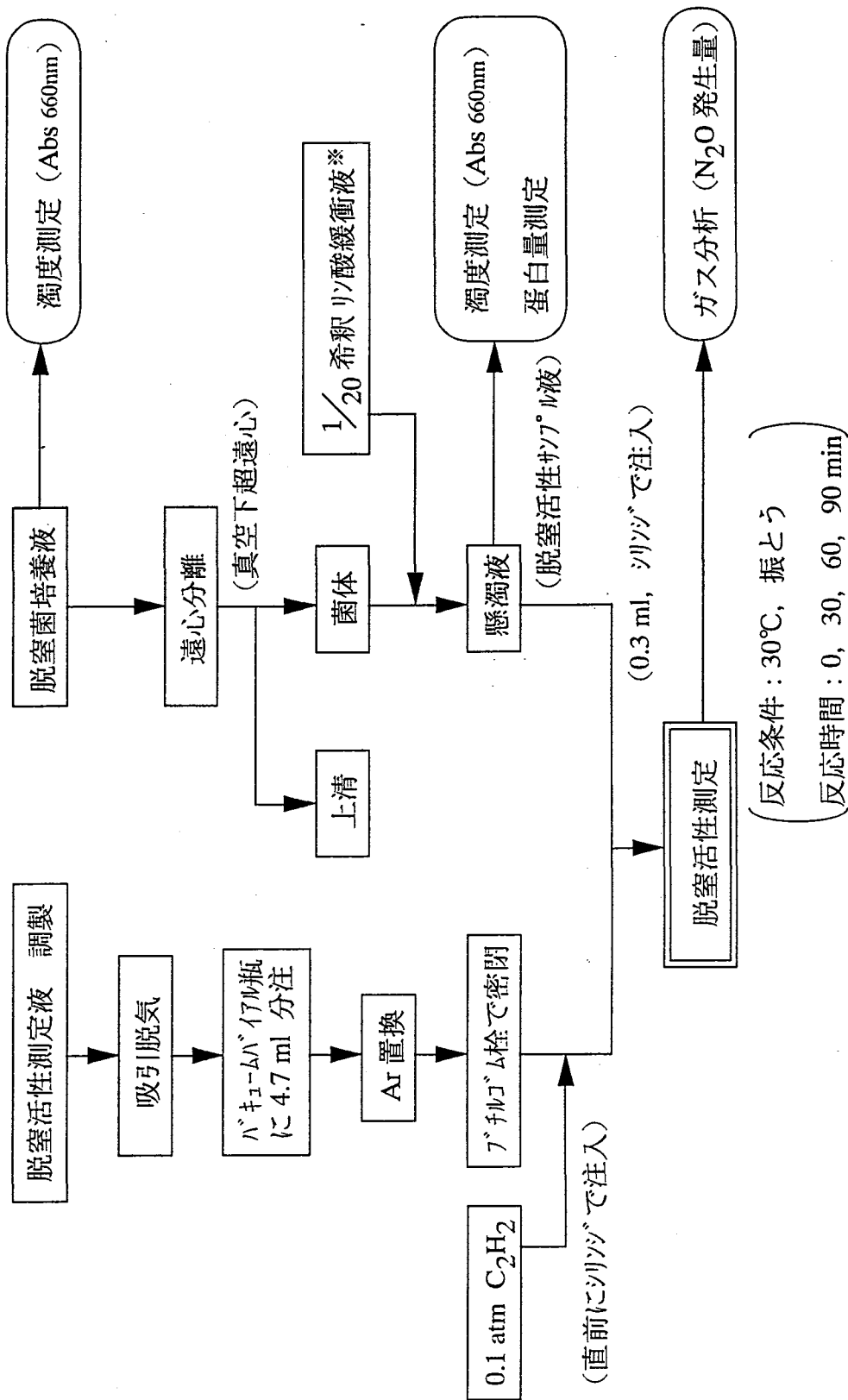
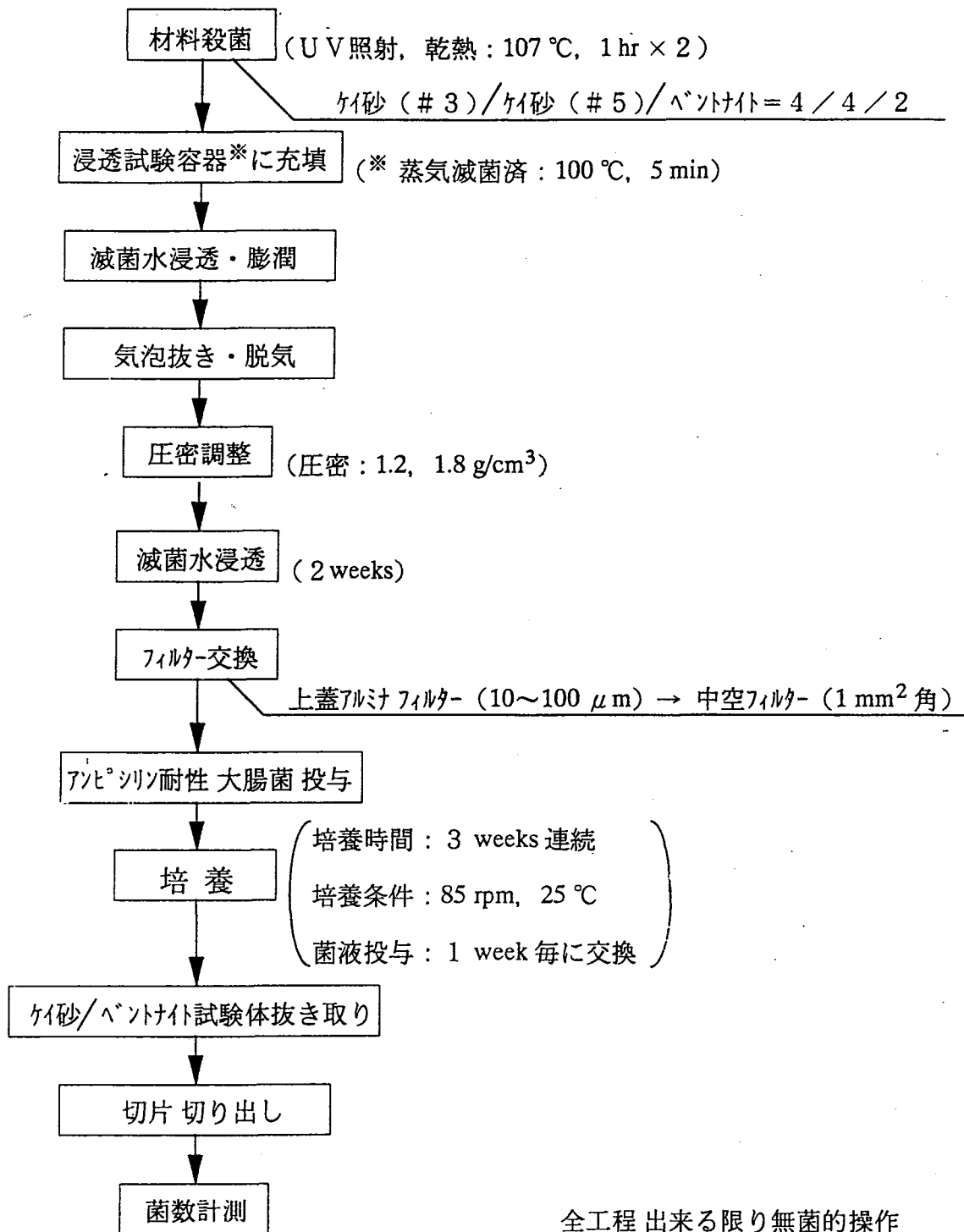


図 1-1 脱窒活性測定方法



使用培地：LB寒天培地，一般生菌数寒天培地

図1-2 ケイ砂混合ベントナイトへの微生物浸透試験操作手順

## 第 2 部

硫酸塩還元菌等の作用によるPu, Npの酸化還元状態の検討及び  
びベントナイトへのPu, Npの吸着に及ぼす硫酸塩還元菌等の  
影響調査

## 1. まえがき

地層処分では、長期にわたって人間とその環境への安全を保証することを、その基本設計の柱としている。それで、この長期間に起こるであろう色々なシナリオを想定し、その一つ一つのシナリオに対処する方法を考えなければならない。重要なシナリオの一つとしては、地層処分の長い埋設期間中に、緩衝材として使われたベントナイトの中に、何らかの理由で地下水が侵入し、ここに微生物が発生することが考えられている。その微生物の種類としては、ベントナイト内に通常含まれている成分を考えると、硫酸塩還元菌の可能性が、現在の所一番大きい。本研究では、この様なシナリオに対処するため、硫酸塩還元菌の作用によるPu, Npの酸化還元状態及びベントナイトへのPu, Npの吸着に及ぼす影響評価について検討した。

## 2. 試験

### 2.1 硫酸塩還元菌等の作用による Pu, Np の酸化還元状態の検討

#### 2.1.1 地下深層における硫酸塩還元菌の挙動に関する文献調査

本研究では、キーワードとして、硫酸塩還元菌、プルトニウム、ネプチュウム、挙動、移動、移行、影響、分配係数などを使い、数十万編の論文ファイルから、約150編以上の関連論文を、探し出した。関連論文が書かれた国としては、「地層処分」を真剣に考えているアメリカ、カナダ、ヨーロッパ諸国の先進国のものが圧倒的に多い。ただ、硫酸塩還元菌、または嫌気性微生物を、実際に利用して実験研究した報告は、本年度中に探し出せた論文アブストラクトの中には、残念ながら見つけれなかった。

#### 2.1.2 硫酸塩還元菌の培養

硫酸塩還元菌の均一集合体を連続バッチ方式で培養し、均一な硫酸塩還元菌集合体を得られるよう、ガラス製の硫酸塩還元菌培養器を新しい発想で設計・制作した(図2-1)。この硫酸塩還元菌の培養容器は、ガラス製で、テフロンシールを持ち、特性金具で密閉出来る市販の培養器から、本研究の目的に合うように特注して制作した。蓋の部分には5つの注入口があり、これらは、培養液注入口、排水出口)、生成ガス排出口、温度計差込口、pH・ORP測定口、それに予備口となる。培養容器内には、テフロンで覆われた磁石が、培養容器底辺から突出したガラス棒で支持され、宙づりにされ

ている。これは、(1) 培養容器内で出来た不要な沈殿物などを、不必要に攪拌して、硫酸塩還元菌の培養に悪影響を与えない、(2) テフロンで覆われた磁石が、長期の攪拌で磨耗し、不必要に鉄が培養液に溶出しない、ことを目的としている。

### 2.1.3 硫酸塩還元菌の殺菌確認試験

大型オートクレーブを使用し、硫酸塩還元菌集合体を殺菌する予備実験を行った。まず、16本(8組)の硫酸塩還元菌集合体サンプルを作成し、その半分(8本)はオートクレーブを使用して殺菌し、残り8本は殺菌しなかった。各組のサンプルのpHを、8.66から12.24の間で順次増加させた。図2-2は、2組(殺菌した組としない組)の硫酸塩還元菌集合体のプルトニウム-239の分配係数である。図から明かなように、オートクレーブで殺菌した硫酸塩還元菌集合体のプルトニウム-239の分配係数は、殺菌されていないコントロールの8組のサンプルの分配係数より、いずれも低い値を示した。

### 2.1.4 硫酸塩還元菌とPu, Npの相互作用試験調査と分析方法の確立

プルトニウム分析については、まず、環境サンプルからのプルトニウム抽出、濃縮、分離、精製、そしてアルミナで磨かれたステンレス・ディスクへの電着(電気メッキ)などの、長い化学分析工程がある。もちろん、環境サンプルからプルトニウムを抽出する前に、環境プルトニウムの抽出効率を正確に知るために、内部標準トレーサーとして、プルトニウム同位体-236の既知量を、環境サンプル中に混入しなければならない。このプルトニウム-236は、原子炉などの通常方法では出来ない同位体で、しかも、その濃度は、内部標準試料とするため正確でなければならない。本研究では、このプルトニウム-236は、イギリスのハウエル原子力研究所が製造し、しかもその濃度を保証したものを購入した。

ネプチュウムの環境サンプルの分析測定は、ガンマ線スペクトルで行った。通常のネプチュウム-237は、その娘核種があるが、本研究では、ネプチュウム-237をイギリスから輸入購入し、86.5 keVのエネルギーで定量測定している。硫酸塩還元菌のプルトニウムとネプチュウムの相互作用試験調査となる分析手順は、下記の順番で行った。

(1) 硫酸塩還元菌集合体を含む水溶液(溶存酸素ゼロ、pH調整前)にPu-23



9 又は  $\text{Np-237}$  を窒素雰囲気下で混入し、15 分間攪拌する。

(2) 水溶液(1)を、0.22 ミクロンのメンブレン・フィルターで、5 気圧の圧力をかけ、濾過する。

(3) 濾過水とフィルターを、別々のエーレンマイヤー・フラスコに入れ、内部標準トレーサーとしてプルトニウム-236 を既知の量入れる。それらのサンプルに8 規定の硝酸溶液 100 ml 入れ、プルトニウムをイオン状にして抽出する。

(4) 抽出されたプルトニウムは、イオン交換樹脂で、分離、精製する。

(5) 精製されたプルトニウムは、ステンレスのデスクに電着する。

(6) 電着されたプルトニウム-239 は、アルファ線計測器で、プルトニウム-236 の収率を考慮して、分析定量する。

一方、ネプチュウム-237 の分析の場合は、プルトニウムに比べると比較的簡単で(1)、(2)の後、ガンマー線計測器で、濾過水とメンブレン・フィルターで分析定量する。ただ、この場合、サンプルが酸性であるため、ガンマー線検出装置を腐食させないように、注意する事が重要である。

硫酸塩還元菌が死滅分解して、さらには硫酸塩還元菌が排出する酵素などの生化学生成物質で0.22ミクロンのフィルターでは、濾過出来ないサンプルについては、10万、3万、1万、5千、2千のMWのフィルターと遠心分離器の組み合わせで、分離している。このフィルターと遠心分離器を組み合わせた分離方法は、最近の分子生物学で、盛んに利用されているため、すでに市販の分離製品がある。

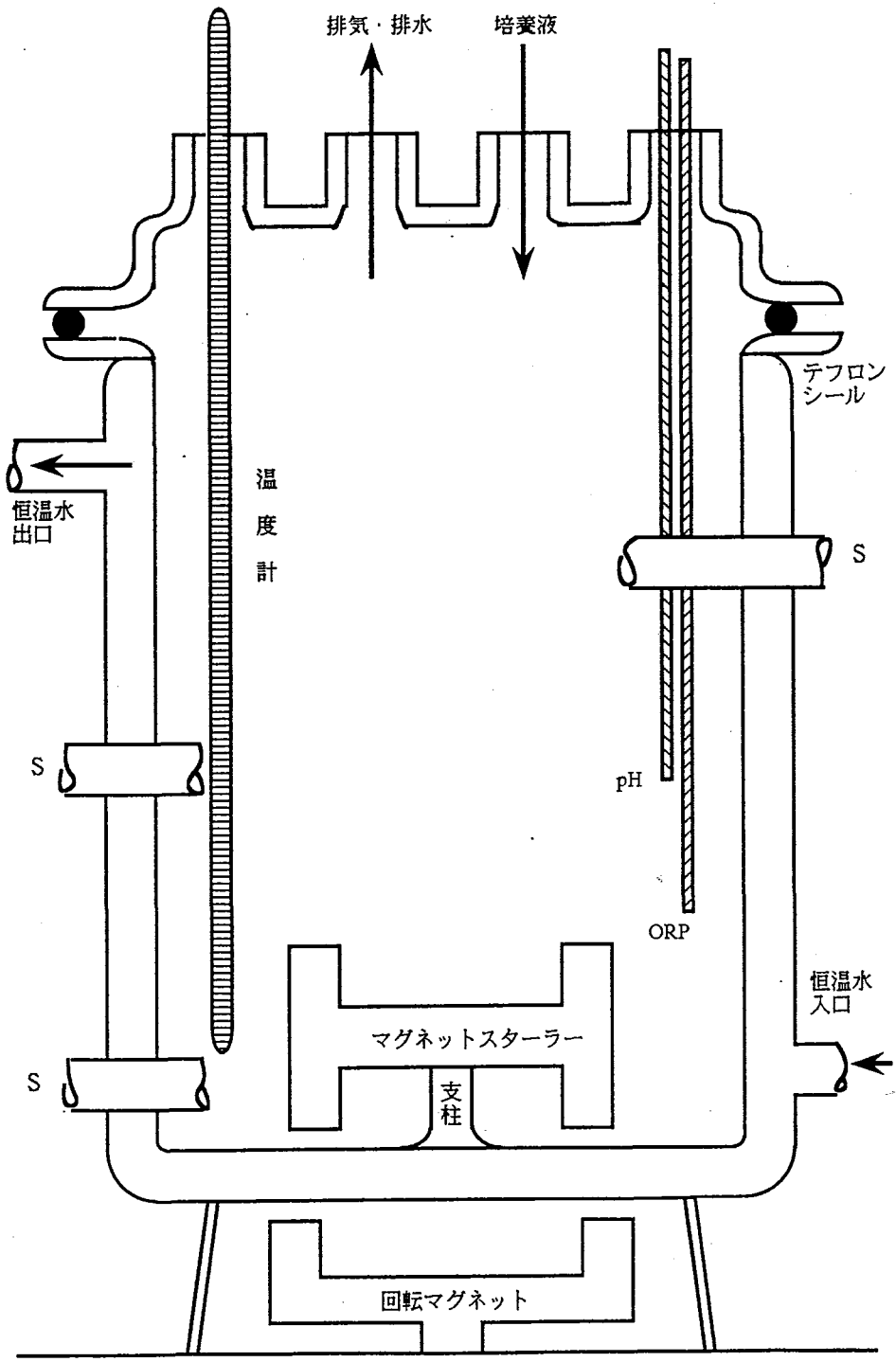
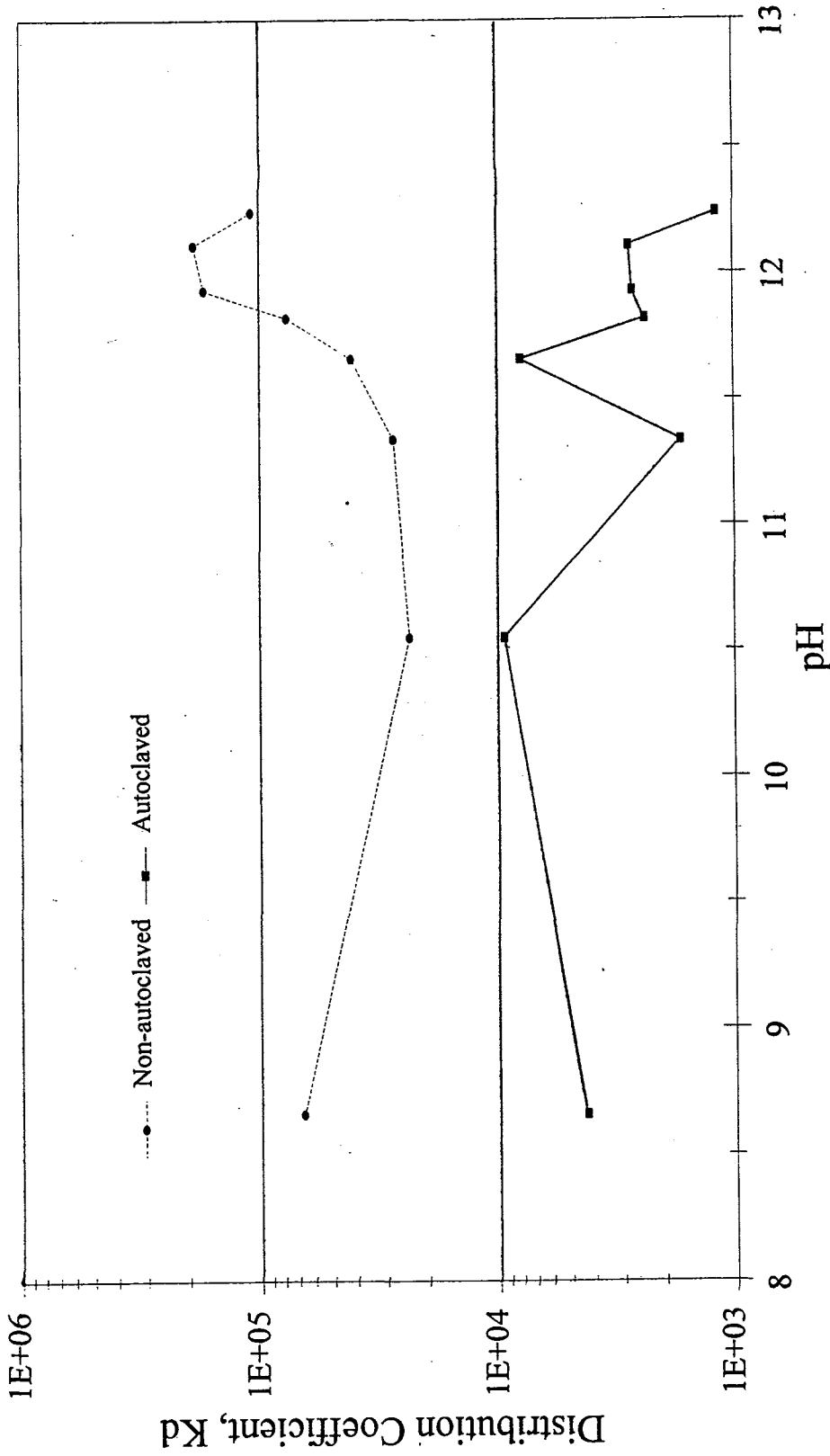


図2-1 硫酸還元菌集合体培養器



Distribution Coefficient Change  
with pH in Bacteria Solution

図 2-2 殺菌の有無における Pu<sup>239</sup> の硫酸還元菌に対する分配比

## 2.2 ベントナイトへのPu, Npの吸着に及ぼす硫酸塩還元菌等の影響試験調査

### 2.2.1 高放射性廃棄物の地層処分に利用されるベントナイトに関する文献調査

ベントナイトは、すでに世界各国で（日本国内で地層処분이考えられるような地下環境が想定出来る国に限るが）、地層処分の緩衝材、すなわち埋め戻し材として利用されることで、共通の合意を得ていると言っても過言ではない。したがって、この分野の研究は各国で盛んに行われ、文献もかなりある。例えばカナダでは、大きな（直径一キロ前後の）花崗岩の中に穴を掘って、ここに高放射性廃棄物を、地層処分しようとしている。もっとも、カナダは、ウランの埋蔵量が多い国なので、日本のように使用済み燃料を再処理せず、使用済み核燃料棒を、一定期間冷却して、その燃料棒のまま埋蔵する方針である。この点は、資源が少ない日本が、核燃料再処理まで行い、資源の有効利用ならびに、エネルギー面での出来る限りの自立を計ろうとしている日本とカナダとは違う所である。

カナダ原子力研究公社(AECL)の H. D. SharmaとD. W. Oscarson（マニトバ州のホワイトシェル実験所、1991年）は、プルトニウムがベントナイトと砂の混合物内で、どう拡散するかを、実験的に求めている。実験条件としては、カナダが、使う予定のベントナイト（マニトバ州南部Vermillion River Formationから採取されるベントナイト）と砂との混合物（重量比で1：1の割合）を中心に、その混合比とpHを大きく変化させて、プルトニウム-239の拡散係数を得ている。この実験で得られたベントナイト中でのプルトニウムの拡散係数は、 $2 \sim 7 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{S}$ であった。ここで面白い観察は、「約10%のプルトニウムは、その理由は判らないが、ベントナイト中でも非常に動き易い」と言う実験結果である。一方、日本のベントナイト中の物質の拡散係数については、小崎らが、実験的に、京都大学原子炉実験所で放射化された鉄(Fe-59)を利用して、求めている。それは、 $2.2 \sim 13 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$ の範囲で、これは前述カナダの拡散係数値と同様な実験データであった。なお、本年度の文献調査は、来年度も継続する。

### 2.2.2 ベントナイト中微生物の滅菌方法の検討

本研究を始めるにあたって、まず最初に取り組んだことは、「硫酸塩還元菌を通常のオートクレーブ滅菌法で滅菌する場合、この滅菌過程でどの程度ベントナイトの性質が変化するか？」であった。この目的のため、利用される予定の日本の国産ベント

ナイトを摂氏120度に加熱する前と後との二つの条件下で、機器分析による比較分析を行った。

(1) 走査電子顕微鏡(Scanning Electron Microscope)による分析

ベントナイト中の粒子の形は様々で、それらの粒子径も1ミクロン以下から20ミクロン以上と、大きく変化し、非常に不均一である。ただ、強いて重量的観点から言えば、5から10ミクロンの粒径の粒子が多い。摂氏120度に加熱する前のベントナイト粒子の顕微鏡撮影もおこなわれたが、粒径、形状に関する差異は、全く見いだせなかった。

(2) X線回折分析(X-ray Diffraction Analysis)

国産ベントナイト粒子の内部原子構造を解明するため、X線回折分析を行った。この分析で特に注意した点は、国産ベントナイトの重要な粘土鉱物、モンモリロナイトの低い角度での大きなピークを探すために、極端に低い角度までX線回折分析を測定したことである。摂氏120度の加熱前後における国産ベントナイトの結晶構造の変化については、小さなピークの僅かな変化が観察されたが、この変化がサンプルのばらつきによるものか、ベントナイトを摂氏120度に加熱したためかは、現時点では不明である。

(3) X線光電子分光分析(X-ray Photoelectron Spectroscopy)

国産ベントナイト粒子の元素組成を得るためX線光電子分光分析がなされた。使用されたX線としては、アルミニウムとカリウムの二種の単独アルファX線(1600eV)が利用された。ただ、このX線光電子分光分析では、水素の元素は分析できない。このX線光電子分光分析法の原理は、ベントナイト粒子表面に、アルミニウムとカリウムの二種の単独X線を照射し、表面元素の外殻電子を一時的に励起させて、それが安定化へ向かうとき放射するX線のエネルギーの強度とその量から、組成元素の決定とその量を測定する方法である。この分析方法の弱点は、小さい原子量の元素(マグネシウム、カルシウム、アルミニウム程度)しか、この分析条件では、測定出来ないことである。このX線光電子分光分析でベントナイトの元素組成のうち、酸素、シリコン、アルミ、炭素、ナトリウム、カルシウム、マグネシウムについて分析した結果、加熱処理前後の値の違いよりもサンプル間のばらつきが大きくなっていった。

### 2.2.3 Puと Npの還元状態での分析方法の検討（コロイド、微生物等の分離法も含む）

深層地下環境で起こるであろう現象は、現在の科学的知見では、下記のように整理されると考える。

(1) 処分場の環境は、還元性の強いもので、プラスのイオン状であったプルトニウムやネプチュウムは、急速に還元されていく。

(2) 還元環境と言えども硫酸塩還元菌の生滅は、微少な有機物、コロイド、生化学生成物（例えば、酵素や高分子蛋白）等を、オーバーパック周辺に生み出す。

(3) プルトニウムやネプチュウムは、これら硫酸塩還元菌の生滅から発生した高分子有機物あるいは簡単なメチル基と、強く結合する可能性がある。

コロイド、微生物、生化学的に硫酸塩還元菌から生成された物質（特に有機物）と結合したプルトニウムの新しい分析方法の開発方針としては、まず、二つの方向が考えられる。

- ① 2.1.3で述べた10万、3万、1万、5千、3千の分子量で分離するメンブレン・フィルターをサンプルからプルトニウム、ネプチュウムを抽出する前に用い、イオン状のプルトニウムと、前処理段階で分離分析する。
- ② 有機溶剤で、有機性プルトニウム、有機性ネプチュウムを前処理段階で抽出し、イオン状のものと分離分析する。