

区分変更  
12年8月/日

社内資料

## 不溶性タンニンによる廃液処理プロセスの開発（Ⅱ）

－カラム式プルトニウム吸着基礎試験－

1994年4月

動力炉・核燃料開発事業団  
東海事業所

この資料は、動燃事業団社内における検討を目的とする社内資料です。ついては複製、転載、引用等を行わないよう、また第三者への開示又は内容漏洩がないよう管理して下さい。また今回の開示目的以外のことには使用しないよう注意して下さい。

本資料についての問合せは下記に願います。

〒319-11 茨城県那珂郡東海村大字村松 4 - 33

動力炉・核燃料開発事業団 東海事業所

技術開発推進部 技術管理室

## 不溶性タンニンによる廃液処理プロセスの開発（Ⅱ）

### －カラム式プルトニウム吸着基礎試験－

沼田 浩二\*  
根本 剛\*  
都所 昭雄\*

### 要 旨

プルトニウム第二、第三開発室などのプルトニウム燃料施設から発生する硝酸プルトニウム及びウラニルを含む放射性廃液は、現在プルトニウム廃液処理設備において凝集沈殿処理（鉄共沈法）、キレート樹脂吸着法等の併用で処理を行っている。

しかし、本処理に伴って発生するスラッジ、廃樹脂等の副生物は、乾固物の形としたのち放射性固体廃棄物として貯蔵しているため、その最終処理には未だ手をつけていない。長期的展望に立てば、このような副生物の発生しないあるいは発生しても最小限度に留めるような処理プロセスの開発が望まれており、不溶性タンニン（以下吸着剤という）によるノンスラッジ廃液処理プロセスの開発を行っている。今回は、前年度のビーカスケールバッチ試験に引続き、不溶性タンニンを用いた微量プルトニウムのカラム方式による吸着基礎試験を実施した。

本試験では、不溶性タンニンのプルトニウム吸着性能を把握するため、DFに及ぼす線速度及びカラム長さの影響ならびに試験液中のプルトニウム濃度の影響を調べた。また、連続通水試験を実施し、不溶性タンニンの破過点確認試験を実施した。その結果、次のことが明らかになった。

- (1) パラメータ試験結果から、
  - 1) 線速度が遅いほどDFが向上する。
  - 2) カラム長さが長いほどDFが向上する。
  - 3)  $\alpha$ 線放射能濃度が低いほどDFは低下する。
- (2) 連続通水試験結果から、 $10^5 \text{Bq/ml}$ オーダの試験液を処理した場合、タンニン充填量の約40倍まで処理が可能である。
- (3) 中和処理後の $10^5 \text{Bq/ml}$ オーダの廃液を $10^{-3} \text{Bq/ml}$ （放出基準値の1/10）までPuを除去するためには、適切な線速度及びカラム長さを選定することにより可能である。

---

\* 核燃料技術開発部 転換技術開発室

## 目 次

1. 緒 言 .....	1
2. 不溶性タンニンと吸着特性 .....	2
3. 試験方法 .....	3
3.1 不溶性タンニンの調整 .....	3
3.2 試験液 .....	3
3.3 試験装置 .....	4
3.4 試験方法 .....	5
3.4.1 バッチ法によるプルトニウム吸着試験 .....	5
3.4.2 カラム法によるプルトニウム吸着試験 .....	5
3.5 $\alpha$ 線放射能濃度の測定 .....	6
4. 試験結果及び考察 .....	7
4.1 バッチ法によるプルトニウム吸着試験 .....	7
4.1.1 プルトニウム吸着時の経時変化 .....	7
4.1.2 プルトニウム吸着量と吸着剤量との関係 .....	8
4.1.3 プルトニウム吸着とpHとの関係 .....	9
4.1.4 プルトニウム吸着量と溶液中のプルトニウム濃度の関係 .....	10
4.2 カラム法によるプルトニウム吸着試験 .....	11
4.2.1 DFに及ぼす線速度の影響 .....	11
4.2.2 DFに及ぼすカラム長さの影響 .....	12
4.2.3 DFに及ぼす試験液の放射能濃度の影響 .....	13
4.2.4 連続通水時の破過点確認試験 .....	15
5. 結 論 .....	16
6. 参考文献 .....	17

## 1. 緒 言

MOX燃料製造施設であるプルトニウム燃料第一、第二及び第三開発室から発生する硝酸プルトニウム/ウラニルを含む工程廃液及び分析廃液は、プルトニウム燃料第二開発室の湿式回収室(A/F104)に設置してあるプルトニウム廃液処理設備に受入れ、必要に応じて中和ろ過後、鉄共沈・活性炭吸着・キレート樹脂吸着処理を行い、放射性核種を除去している。

これらの処理に伴う中和沈澱物、スラリーなどの二次的副生物の発生は避けられず、本設備の焙焼工程で加熱焙焼処理により減容し酸化物としたのち、放射性固体廃棄物として貯蔵している。しかし、これらの副生物の保管・最終処理を今後どうするかが大きな課題になっている。したがって、原子力界の大きな目標である「廃棄物発生量の低減化」の観点から、副生物の発生しないあるいは発生しても処理が容易な新しい廃液処理プロセスの開発が望まれている。

著者らは、不溶性タンニン(以下吸着剤という)<sup>1)</sup>がTRU元素、重金属などに対して高い吸着性を有すること<sup>2), 3)</sup>、この吸着剤は植物中のタンニンを原料としたC、H、Oの元素から構成しているため、焼却減容が可能であり、副生物発生量の低減化につながることに着目した。

しかし、核燃料製造工程から発生する廃液中のウラン、プルトニウムのうち、ウラン吸着時の吸着速度、吸着量などの吸着特性については、ある程度データが揃っているが<sup>3)</sup>、プルトニウムに関するデータはカラム試験で得られた濃度変化のみであり、プロセスへの適用性を検討する上で不十分である。例えば、プルトニウムはどのような吸着挙動を示すのか、また $\alpha$ 線放射能濃度が現在の放出基準値よりさらに一桁程度まで除去可能かなど実験を通じてデータを蓄積する必要がある。したがって、プルトニウムを含む放射性廃液処理への適用性の検討に必要なデータを得るため、前年度実施したビーカスケールの基礎試験に引続き、第二段階として吸着剤充填カラムによるプルトニウム除去基礎試験を実施した。

本報では、微量のプルトニウムを含む溶液を用い実施したビーカスケールバッチ試験結果の一部と不溶性タンニン充填カラムを使用して実施したDFに及ぼす線速度及びカラム長さの影響ならびに溶液中の $\alpha$ 線放射能濃度の影響などの基礎的特性について報告する。

## 2. 不溶性タンニンと吸着特性

ウラン吸着剤は、ウラン含有廃液の処理、海水からのウラン回収などの目的でこれまでに多くの吸着剤が開発されている<sup>4) - 5)</sup>。それらのうち、有機系吸着剤の一つとしてタンニン系吸着剤があり、吸着性能の改良がなされている。

今回使用した吸着剤<sup>1)</sup>は、縮合型タンニン粉末をアンモニア水に溶解し、アルデヒド水溶液を混合してゲル状組成物にし、この組成物を室温または加熱熟成して得られたもので、水、酸またはアルカリのいずれに対しても不溶である。従来のタンニン系吸着剤<sup>5)</sup>は、微粒子の凝集物であるため、充填カラムに通液している間に凝集形態が変化し、カラムの圧損が増大するという欠点があった。本吸着剤は微粒子をゲル状にすることにより、通液性を改良したものである。

このゲル状吸着剤は、TRU元素のほか、クロム、水銀、鉛、鉄、コバルトなどの金属成分をよく吸着する。これは図-1に示すようにポリフェノール性水酸基が官能基となって、金属元素とキレート化合物を形成するためと考えられる。また、ゲル状にすることにより上記官能基が金属元素と配位し易い立体構造になり、かつ極めて強い親水性物質であるため、優れた吸着性能を示すものと考えられる。

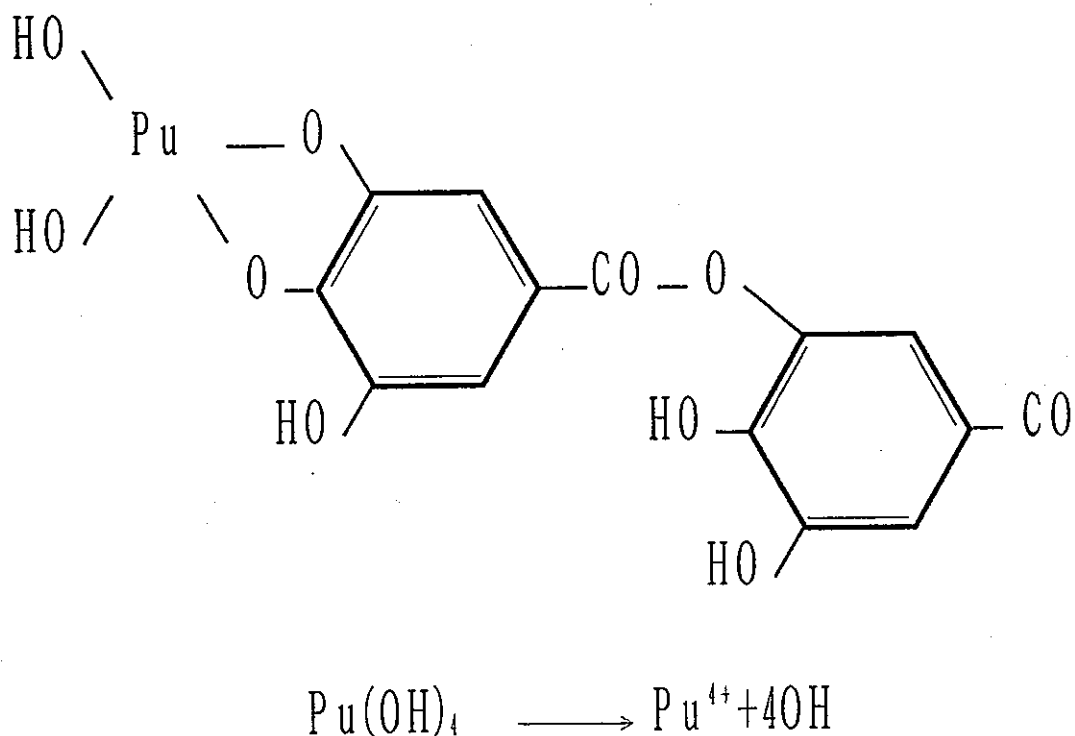


図-1 不溶性タンニンのPuイオン吸着時の構造式

### 3. 試験方法

#### 3.1 不溶性タンニンの調整

通常、この吸着剤はpH 2の酸性水溶液（約0.1N-HNO<sub>3</sub>）中に密封保管している。この保管状態のまま使用するとやや酸性領域であるため、吸着性能に影響を及ぼす恐れが懸念されるので、本試験では吸着剤を純水で洗浄しpH 6～pH 8にして使用した。また、カラム法による試験では吸着剤を充填したカラムにバッチ法と同様に純水を通液し、pHを中性領域に調整した。なお、本試験においてはすべて0.2～1.0mmに細分化した吸着剤を使用した。

#### 3.2 試験液

試験に供した試験液は、プルトニウム溶液であり、下記のとおり調整した。

硝酸プルトニウム溶液を図-2に示すフローにより精製し、本試験液とした。なお、ほぼ中性領域、の試験液のα線放射能濃度は約10<sup>4</sup>～10<sup>5</sup>Bq/ml（10<sup>-1</sup>～10<sup>-2</sup>mgPu/ml）である。

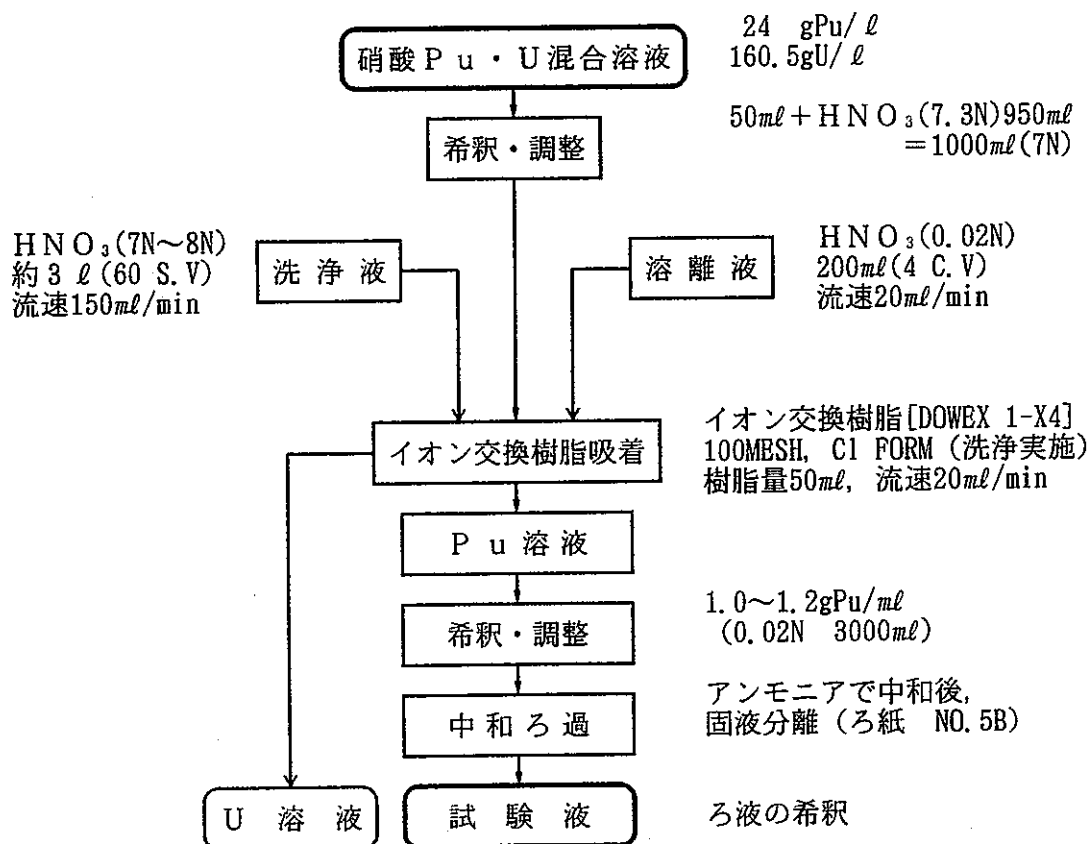


図-2 プルトニウム試験液調整時のフローシート

### 3.3 試験装置

バッチ試験装置としては、吸着剤と試験液を攪拌するためのビーカー（100ml）とマグネツトスターラ（3連式）を使用した。なお、カラム法による試験装置の概略を図-3に示す。装置は、試験液槽、タンニン充填カラム（ガラス製）、定量チューブポンプ、処理液槽などで構成し、グローブボックス内に設置した。なお、当該グローブボックスは、試験時に処理液のコンタミを避けるため、プルトニウム取扱い量が少なくかつ湿式系のグローブボックス（W-15）において実施した。また、 $\alpha$ 線放射能濃度が低い試験液（約 $10^{-1}$ Bq/ml以下）を使用した試験は、フード内に同一試験装置を設置して実施した。

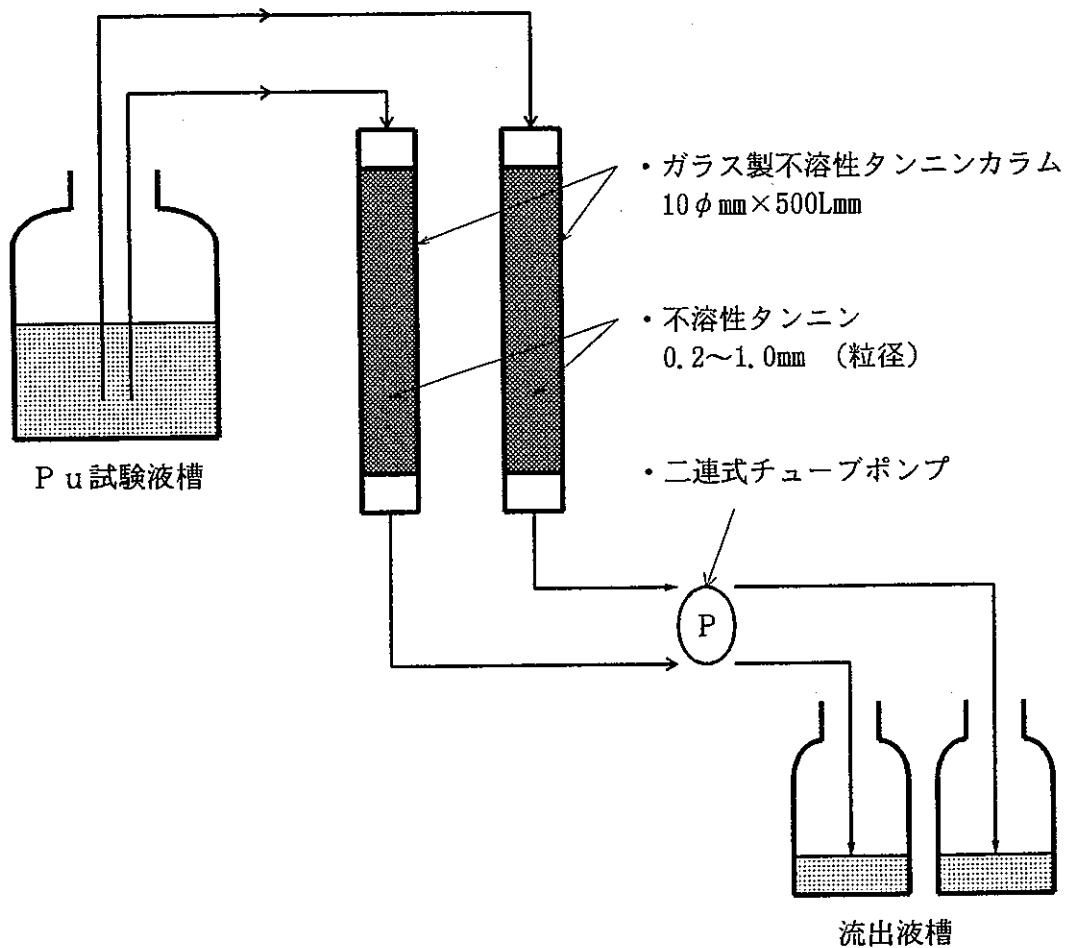


図-3 カラム法による試験装置の概略図



### 3.4 試験方法

#### 3.4.1 バッチ法によるプルトニウム吸着試験

十分洗浄した一定量の吸着剤をビーカーに入れ、さらに所定のpHに調整した一定量の試験液を加え、室温でマグネットスターラで所定時間攪拌した。その後、ろ紙（東洋濾紙No5B）で吸着剤を分離除去し、ろ液中のプルトニウム濃度を $\alpha$ 線放射能から求めた。

吸着剤の吸着量及び吸着率は次式により求めた。

$$n = V(C_0 - C)/m \dots\dots\dots (1)$$

$$p = (C_0 - C)/C_0 \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 $n$  は吸着量(Bq/g)、 $p$  は除去率(%)、 $m$  は吸着剤量(g)、 $V$  は試験液の容量(ml)、 $C_0$ 及び $C$  はそれぞれ試験開始前及び平衡到達後の $\alpha$ 線放射能濃度である。

なお、吸着量はすべて湿潤重量の値を基準とした。

#### 3.4.2 カラム法によるプルトニウム吸着試験

バッチ法と同様に細分化した吸着剤を内径5mm $\phi$ または10mm $\phi$ のカラムに所定の長さに充填した。カラム内充填剤量の約10倍量の純水をゆっくり通液し、pHを6~8の中性領域に調整するとともに、カラム内の気泡を除去した。

試験は、線速度(LV)、カラム長さ、 $\alpha$ 線放射能濃度をパラメータに通液し、一定時間ごとカラム流出後の溶液中の $\alpha$ 線放射能濃度を測定し、DFを求めた。

##### 1) パラメータ試験

パラメータは、以下に示す3項目とし、流出液中の $\alpha$ 線放射能濃度を測定してDFを求め、DFに及ぼす影響を把握する。

- |                     |   |                                      |
|---------------------|---|--------------------------------------|
| (1) 線速度             | : 4.6~200   | (cm/hr)                              |
| (2) カラム径及び長さ        | : 5mm $\phi$ ×450mm, 10mm $\phi$ ×500mm   |                                      |
| (3) $\alpha$ 線放射能濃度 | : $8.7 \mu\text{g}^{\text{Pu}}/\text{ml} \sim 8.7 \times 10^{-7} \mu\text{g}^{\text{Pu}}/\text{ml}$ |                                      |
|                     |   | ( $10^5 \sim 10^{-2} \text{Bq/ml}$ ) |

##### 2) 連続通水時の破過点確認試験

吸着剤を充填したカラムに一定濃度の試験液を連続通水し、流出液中の $\alpha$ 線放射能濃度を測定した。流出液中の $\alpha$ 線放射能濃度が通水前の試験液中の $\alpha$ 線放射能濃度に達するまで通水を継続し、破過点及び湿潤吸着剤1g当たりのPu核種の吸着量を放射能濃度から推定した。

### 3.5 $\alpha$ 線放射能濃度の測定

試料皿（SUS製直径50mm $\phi$ ）に試料を正確に1ml～5ml入れ、ホットプレート上で蒸発乾固・空冷したのち、 $\alpha$ 線計測装置で1min～5min計測した。検出器の計数効率はおらかじめ標準試料で測定し求めた値を採用した。

#### 4. 試験結果及び考察

##### 4.1 バッチ法によるプルトニウム吸着試験<sup>6) 7)</sup>

##### 4.1.1 プルトニウム吸着時の経時変化

プルトニウム溶液50ml中に吸着剤をそれぞれ1g（乾燥重量0.2g）と10g（乾燥重量2.0g）添加し、プルトニウム吸着量の経時変化を調べた。なお、プルトニウム溶液中の $\alpha$ 線放射能濃度は $7.77 \times 10^3 \text{ Bq/ml}$  ( $6.75 \times 10^{-4} \text{ mgPu/ml}$ )、pHは7.1であった。

図-4に示すように、吸着剤の添加量によりプルトニウムの平衡吸着濃度は変化するが、吸着時間はいずれも5分から10分で平衡に到達した。なお、1時間後におけるプルトニウムの除去率はいずれも約98.5%であった。

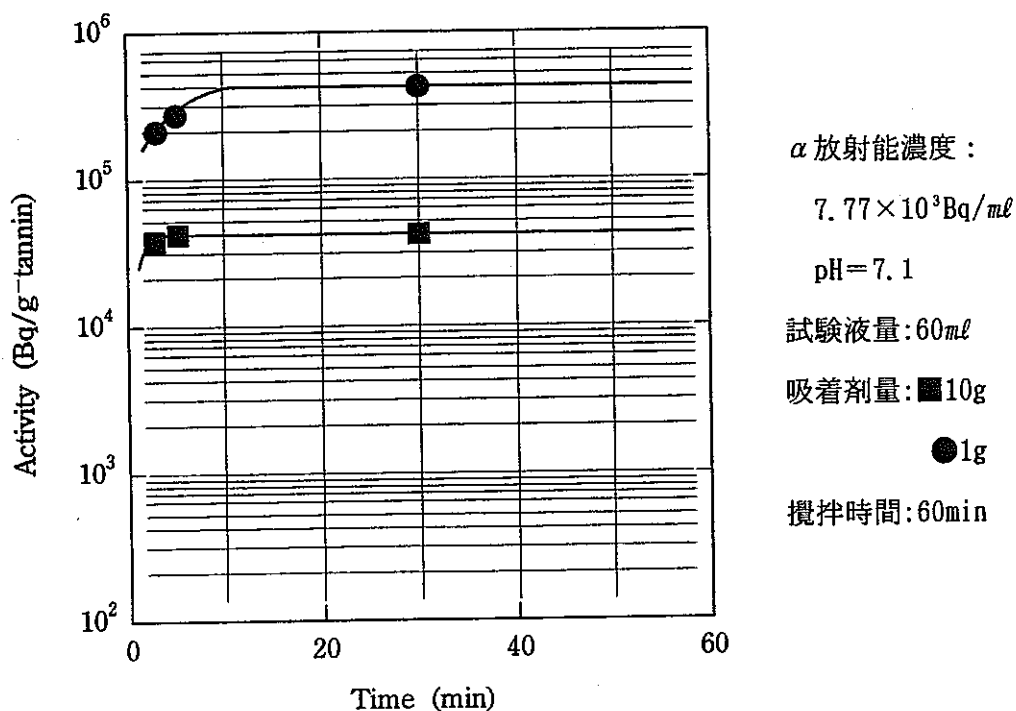


図-4 プルトニウム吸着時の経時変化

#### 4.1.2 プルトニウム吸着量と吸着剤量との関係

つぎに、吸着剤の単位重量あたりの吸着量及び除去率が吸着剤の添加量によってどのように変化するかを調べた。すなわち、 $\alpha$ 線放射能濃度が $3.86 \times 10^5 \text{ Bq/ml}$  ( $3.4 \times 10^{-2} \text{ mg Pu/ml}$ )の溶液60ml中に吸着剤をそれぞれ1、5及び10g添加し、4.1.1の実験と同じ条件で1時間接触させた。

その結果、図-5に示すように吸着剤量が増加するにつれて、吸着剤の単位重量あたりのプルトニウム吸着量は減少する傾向が認められた。また、吸着剤の増加に伴って吸着率はわずかに減少する傾向を示したが、いずれも98.5%以上であった。なお、プルトニウムの最大吸着量は、吸着剤（乾燥状態）1gあたり $0.175 \text{ gPu}^{21}$ でありウランの $0.208 \text{ gU}^{23}$ とほぼ同じ値を示した。

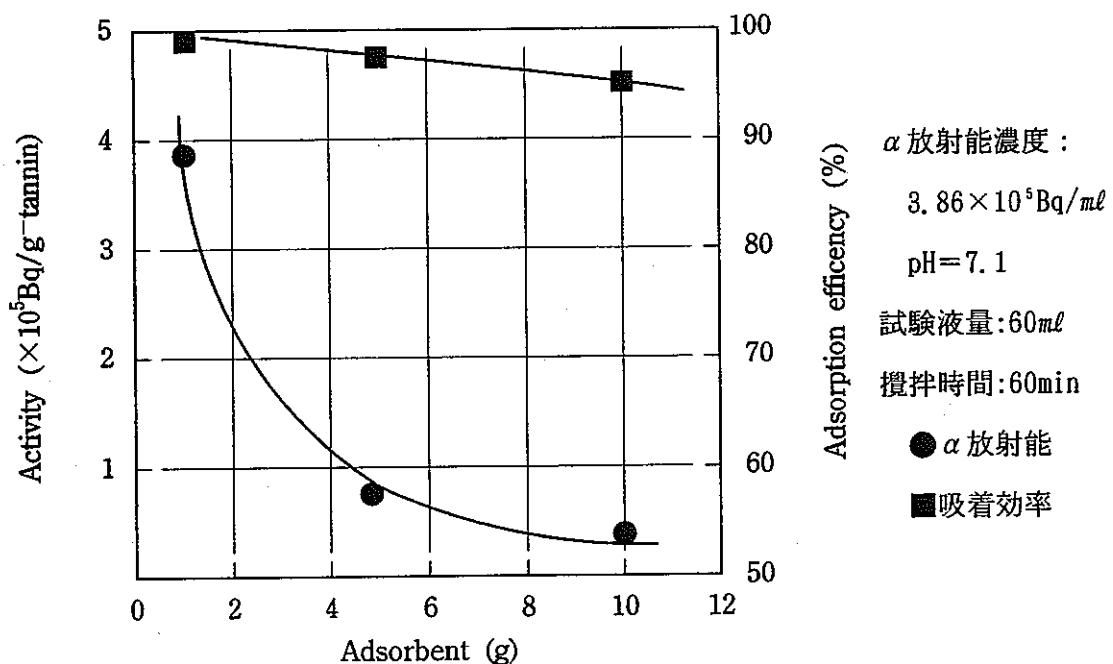


図-5 プルトニウム吸着量と吸着剤量の関係

#### 4.1.3 プルトニウム吸着とpHとの関係

吸着剤によるプルトニウムの吸着量が溶液のpHによってどのように変化するかについて、吸着剤量0.1g～5gの範囲でpHを4、5、6、7、8、9及び10の7段階に変化させて、プルトニウム溶液（ $\alpha$ 線放射能濃度 $6.40 \times 10^2 \text{ Bq/ml}$ ）60mlを1時間攪拌し、プルトニウムの吸着量を調べた。なお、pHの調整は硝酸あるいはアンモニア水を用いた。

その結果、図-6に示すように、プルトニウムの吸着量は、pHが4～10の範囲ではいずれもほとんど変化なく、ほぼ100%吸着された。一般に、吸着剤は強酸性溶液ではpHの低下とともに溶液中の $\text{H}^+$ イオンが増加し、 $\text{H}^+$ が優先して吸着剤に吸着する。一方、pHが高くなると $\text{NH}_4^+$ イオンの増加とともに $\text{NH}_4^+$ が吸着するため、除去率が低下するといわれている<sup>3)</sup>。今回のプルトニウムの場合はウランの場合<sup>3)</sup>と同様にあまりその影響を受けず、かなり高範囲のpHで使用できることがわかった。

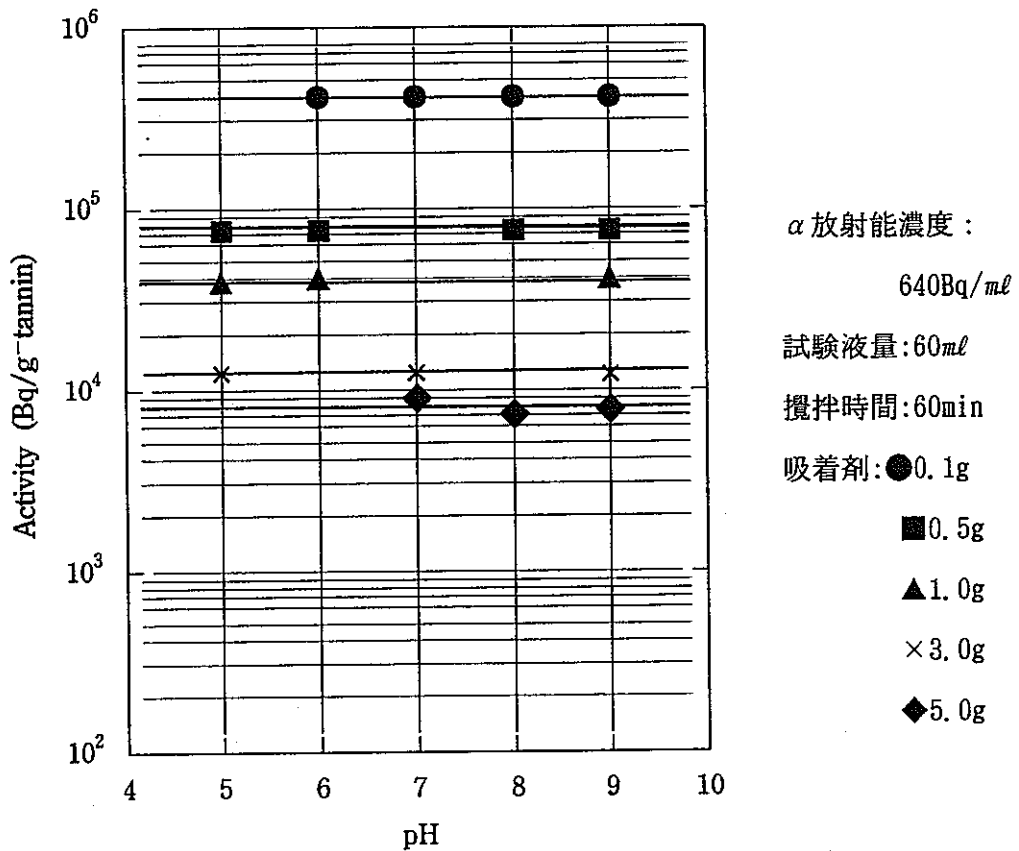


図-6 プルトニウム吸着とpHの関係

4.1.4 プルトニウム吸着量と溶液中のプルトニウム濃度の関係

吸着剤によるプルトニウムの吸着量がプルトニウム濃度によってどのように変化するかを調べた。吸着剤 1 g に対して  $\alpha$  線放射能濃度の異なる溶液 60ml を攪拌し、1 時間後の吸着量を調べた。

室温下における吸着平衡後の平衡吸着量を図-7 に示す。一般に液相から固相への吸着現象は(3)式に示すようにフリードリッヒ吸着等温式<sup>8)</sup>に従うといわれている。

$$\text{フリードリッヒ式: } q = kc^{1/n} \dots\dots\dots (3)$$

$$\log q = \log k + 1/n \log c$$

ここで、 $q$  : 吸着剤 1g あたりの吸着物質の量 (Bq/g)

$c$  : 吸着平衡時の溶液中の吸着物質の濃度 (Bq/ml)

$k, 1/n$  : 任意のパラメーター

このフリードリッヒ式の  $k$  の値が大きいほど吸着剤の吸着能が高く  $1/n$  の値が 0.5 以下で吸着剤として実用性がある。特に、 $1/n$  の値が 0.1 ~ 0.5 の時吸着が良好に起こり、2 より大きいと吸着が起こりにくいといわれている。今回使用した吸着剤では、 $1/n$  は 0.78 以下であり、また  $k$  は 0.20 である。

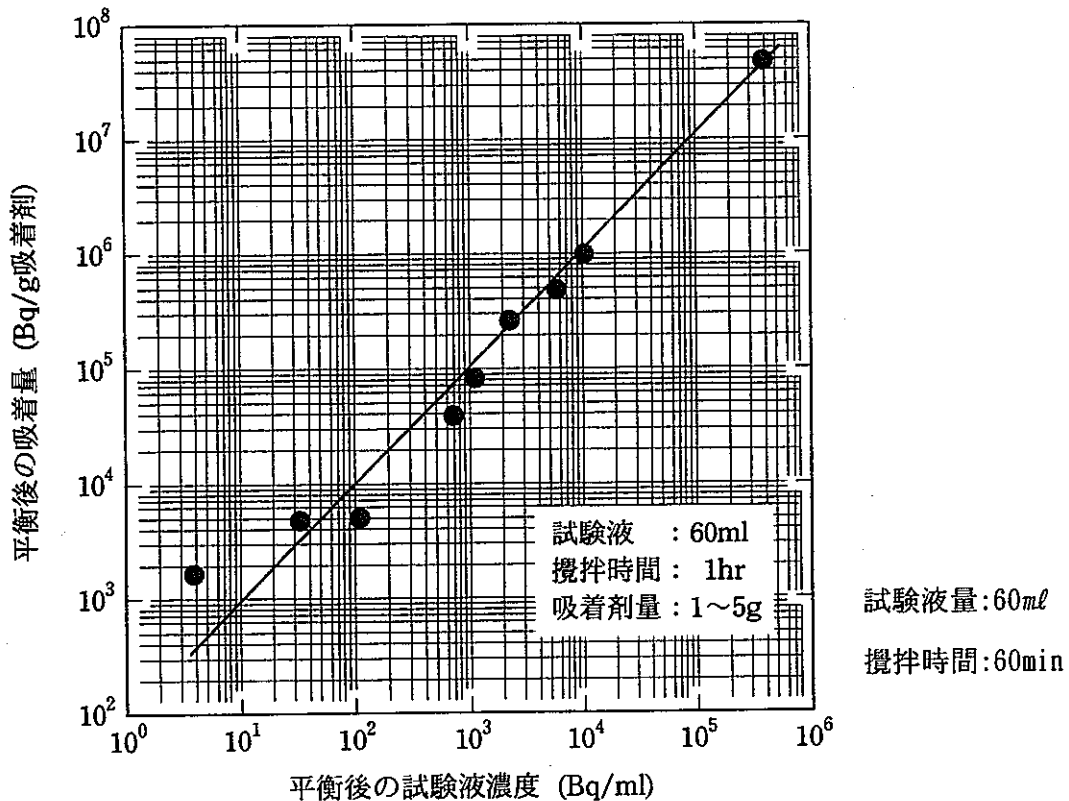


図-7 吸着平衡後の平衡吸着量

## 4.2 カラム法によるプルトニウム吸着試験

### 4.2.1 DFに及ぼす線速度の影響

カラム法による実廃液からのプルトニウムの除去を想定し、通液線速度の変化に伴う流出液中のプルトニウム濃度の変化を調べ吸着に及ぼす影響を調べた。

内径5mmφ×長さ45cm及び内径10mmφ×長さ50cmの2種類のカラムに吸着剤を充填し、線速度を4.6cm/hr～200cm/hrで、α線放射能濃度が $1.5 \times 10^5 \text{ Bq/ml}$  ( $1.3 \times 10^{-2} \text{ mg Pu/ml}$ )、pH3.3の液を通水し、流出液中のα線放射能濃度を測定し、DFを求めた。その結果を図-8に示す。

流出液中のα線放射能濃度は、線速度が遅くなる程吸着剤のPuの吸着が良くなるため低下する傾向を示し、DFが向上した。線速度が早い場合にDFが小さい要因は、ピーカバッチ試験時の吸着速度の測定試験結果と同様に吸着剤の吸着速度があまり速くないことが起因するものと考えられる。なお、予想される実廃液の処理量と吸着速度から求めた線速度4.6cm/hrでのDFは、約 $4 \times 10^4$ であった。

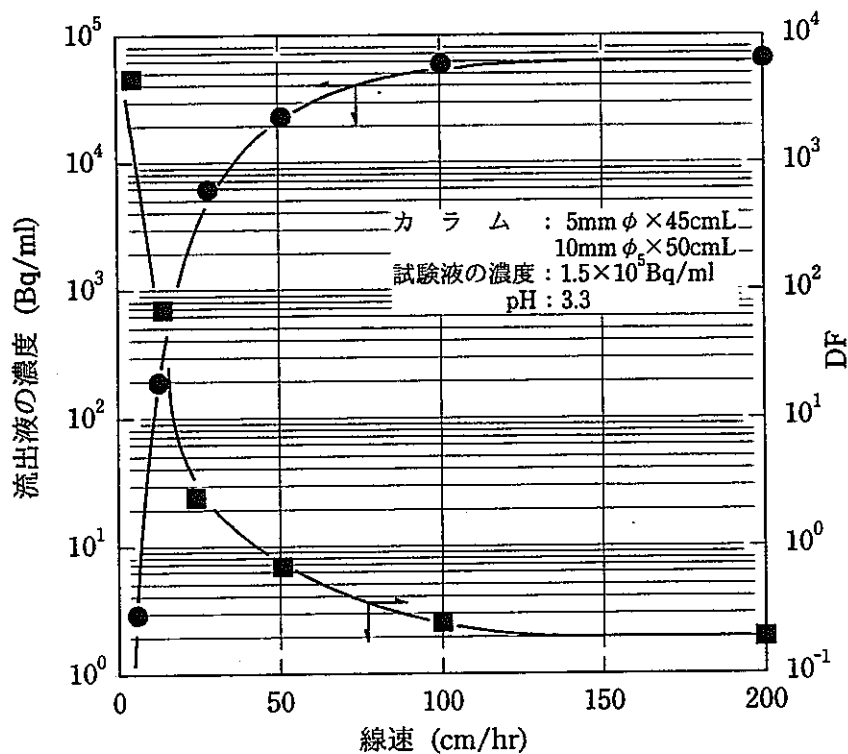


図-8 DFに及ぼす線速度の影響

4.2.2 DFに及ぼすカラム長さの影響

カラム直径は10mmを使用し、線速度を15.2cm/hrに一定とし、 $\alpha$ 線放射能濃度は $3.72 \times 10^5 \text{ Bq/ml}$  ( $3.2 \times 10^{-2} \text{ mgPu/ml}$ ) でpH3.0の条件下において、吸着剤充填カラムの長さを5cm~50cmまで変化させた場合の流出液中の $\alpha$ 線放射能濃度を測定し、DFを求めた。その結果を図-9に示す。試験液中の $\alpha$ 線放射能濃度及び線速度が一定ならば、カラム長さに比例して流出液中の $\alpha$ 線放射能濃度は低下し、DFが向上する傾向を示した。

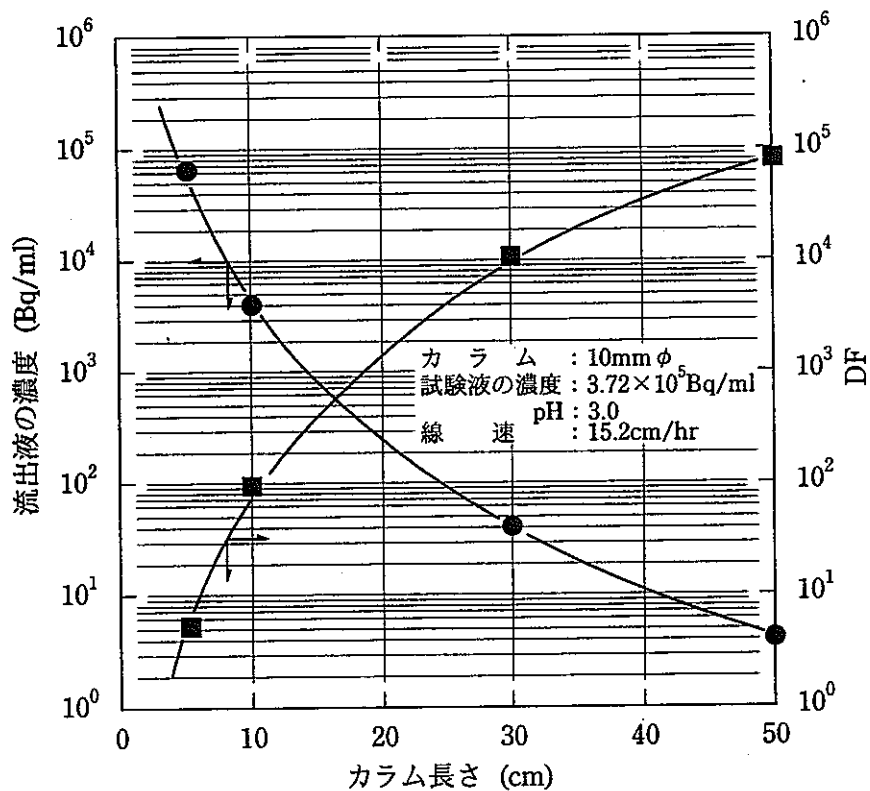


図-9 DFに及ぼすカラム長さの影響



4.2.3 DFに及ぼす試験液の放射能濃度の影響

直径10mmφ、長さ50cmのカラムを使用し、線速度4.6cm/hrを一定とし、試験液のα線放射能濃度を $10^5$ Bq/ml~ $10^{-2}$ Bq/mlの間で変化させた場合のDFと流出液中のα線放射能濃度の関係を調べた。その結果を図-10に示す。α線放射能濃度が高い溶液程DFは大きくなり、低濃度になるにつれてDFが低下する傾向を示した。既に実施したバッチ試験時において吸着平衡時の平衡吸着量はフリードリッヒの式に従うことが実証されている。今回の試験結果も、ビーカバッチ試験で得られた結果と同様に、本式で整理することができた。また、溶液中のα線放射能濃度が変化した場合、放出基準値の $5.6 \times 10^{-2}$ Bq/mlまでの処理に必要なカラム長さを推定した結果を図-11に示した。なお、流出液中のα線放射能濃度の目標値を $5.6 \times 10^{-3}$ Bq/ml ( $4.9 \times 10^{-10}$ mgPu/ml)、線速度4.6cm/hrとした場合、試験液のα線放射能濃度が $10^5$ Bq/mlオーダーでは約2mのカラム長さが必要になることがわかる。

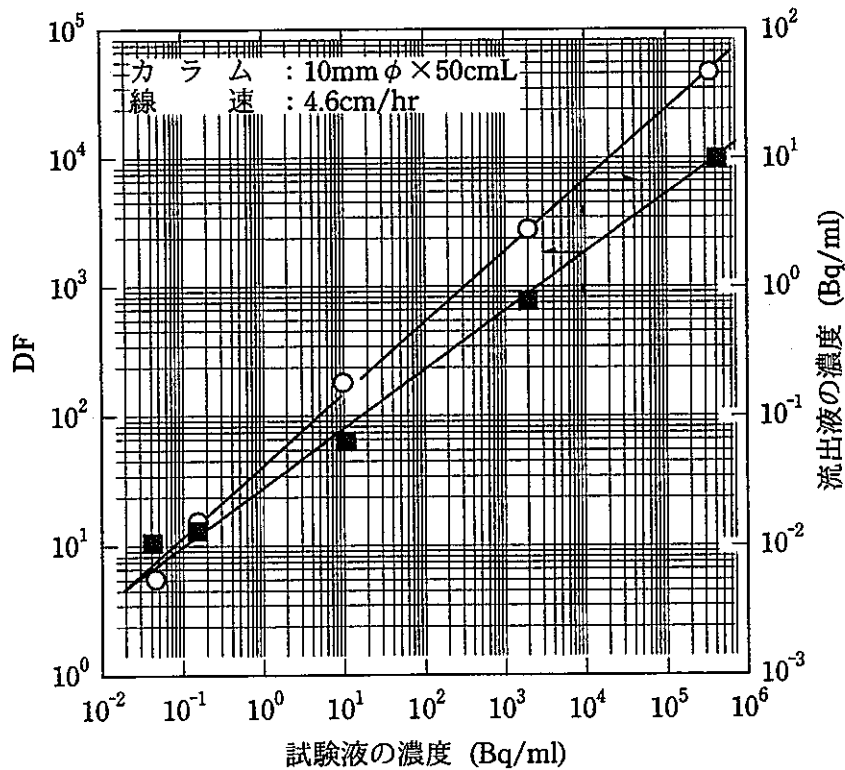


図-10 DFに及ぼす試験液α線放射能濃度の影響

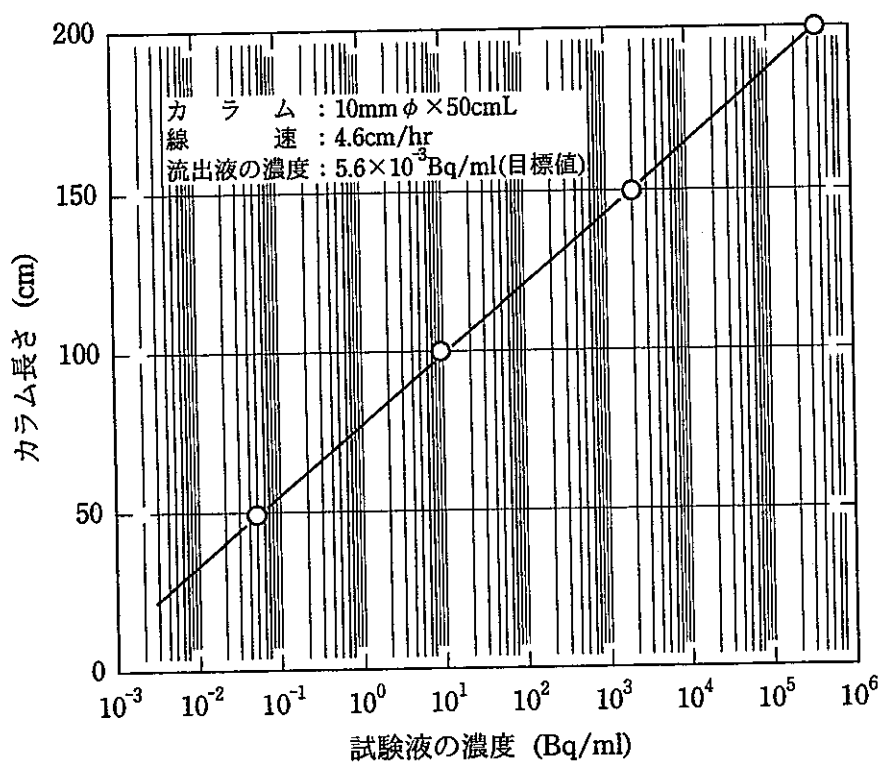


図-11 試験液 $\alpha$ 線放射能濃度とカラム長さの影響

4.2.4 連続通水時の破過点確認試験

試験は、直径10mmφ、長さ50cmのカラムにα線放射能濃度 $3.72 \times 10^5 \text{ Bq/ml}$  ( $3.2 \times 10^{-2} \text{ mgPu/ml}$ )の試験液を線速度4.6 cm/hrで連続通水を行い、流出液中のα線放射能濃度の傾向をみた。その結果を図-12に示す。流出液中のα線放射能濃度は、約40倍（通液量/吸着剤量）から上昇傾向を示し、50倍量では、ほぼ通水前試験液のα線放射能濃度に達した。破過点におけるPu核種の吸着量はフリードリッヒの式で整理した吸着量（4.3 mg Pu/g吸着剤）と本試験の流出液中のα線放射能濃度から求めた吸着量（3.3 mgPu/g吸着剤）とほぼ一致した。なお、カラムのバンド幅は（長さ）は約15cmと推定できる。

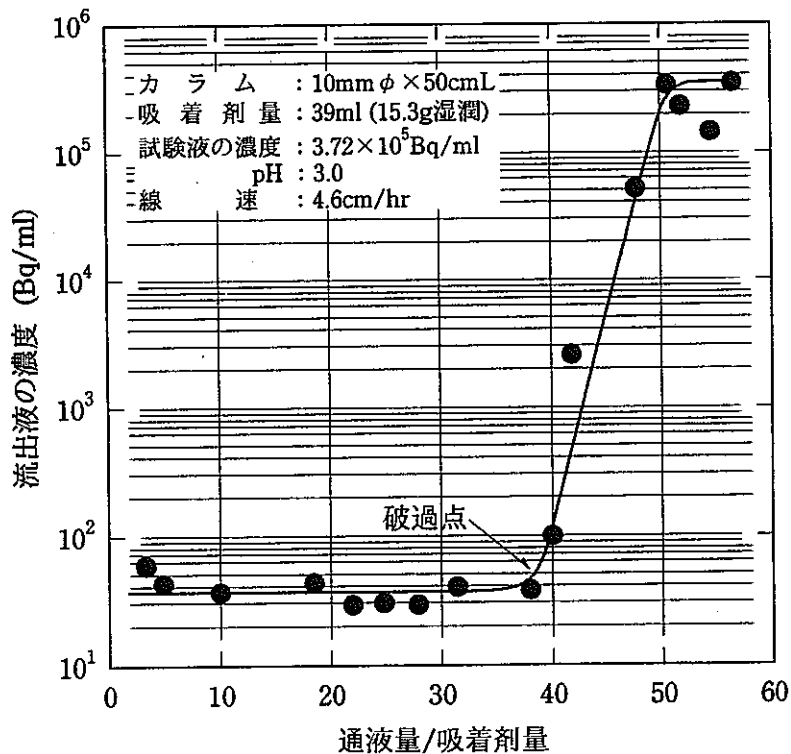


図-12 連続通水時の破過曲線

## 5. 結 論

プルトニウム取扱い設備から発生する放射性廃液中に含まれる極微量の $\alpha$ 線放射性核種（主としてプルトニウム）を除去するための吸着剤として、吸着特性を中心に基礎的なビーカスケールバッチ試験及びカラム試験を行った。その結果、次のような結論が得られた。

- (1) 通常、吸着剤の吸着性能は処理対象液のpHに依存するが、本吸着剤のpHは4～10と広い範囲でプルトニウムを効率的に、しかも短時間で吸着することが可能である。
- (2) 吸着剤1g（乾燥重量0.1g）あたりのプルトニウムの飽和吸着量は約0.175gであり、ウランの0.208gとほぼ同じ吸着容量を示す。
- (3) 溶液中の $\alpha$ 線放射能濃度範囲（ $10^5 \sim 10^0$ Bq/ml）での吸着はフリードリッヒ式により整理できる。また、処理後の $\alpha$ 線放射能濃度として、現在 $10^{-3}$ Bq/mlを目標にした場合でも本式で整理することができた。
- (4) カラム法によるパラメータ試験により以下のことが明らかになった。
  - ① 線速度が遅いほどDFが向上する。
  - ② カラム長さが長いほどDFが向上する。
  - ③  $\alpha$ 線放射能濃度が低いほどDFは低下する。
- (5) カラム法による連続通水試験により、 $10^5$ Bq/mlオーダの溶液を処理した場合、タンニン充填量の40倍までの処理が可能である。
- (6) 中和処理後の $10^5$ Bq/mlオーダの溶液を $10^{-3}$ Bq/ml（放出基準の1/10）までPuを除去る場合は、適切な線速度及びカラム長さを選定することにより、ノンスラッジ廃液処理プロセスへ不溶性タンニンが適応できる。

今後は、中和処理後の実廃液を用いたPu除去の確証試験を実施するとともに、不溶性タンニンを使用したノンスラッジ廃液処理プロセスの詳細設計を開始する計画である。

終わりに、本試験を行うにあたり、試料の $\alpha$ 線放射能濃度測定に協力して頂いた原子力技術株式会社の関係者に対し感謝いたします。また、貴重な吸着剤（不溶性タンニン）の提供と有意義な助言を頂いた三菱原子燃料株式会社 亀井義信氏に深く感謝の意を表します。

## 6. 参 考 文 献

- 1) 三菱原子燃料(株), “不溶性タンニンのウラン・重金属吸着剤”, 新金属工業, No.348, 29, (1992)
- 2) 亀井義信, 白土渡, 森川公私, “不溶性タンニンによるウラン含有廃液処理”, 日本原子力学会「1992年春の年会」予稿集, 3C28, 1992
- 3) 亀井義信, 白土渡, 森川公私, “不溶性タンニンによる TRU含有廃液処理”, 日本原子力学会「1992年春の年会」予稿集, C29, 1992
- 4) 坂口孝司, “生物体や生体物質を利用するウラン資源の回収”, 月刊海洋科学, Vol. 15, No.11, p. 681, 1983
- 5) 特許特開平 5-66291, H3. 12. 12, “金属元素吸着剤の製造方法及び該吸着剤による金属元素の吸着分離方法”
- 6) 沼田浩二, 高橋芳晴, 都所昭雄, “ノンスラッジ廃液処理プロセス開発 (I) -不溶性タンニンによるPu吸着挙動-”, 日本原子力学会「1993年春の年会」予稿集, H37, 1993
- 7) 沼田浩二, 根本剛, 都所昭雄, PNC PN8430 93-001, “不溶性タンニンによる廃液処理プロセス開発-バッチ式Pu吸着試験-”, 1993年4月,
- 8) 慶伊富長, “吸着: 共立全書157”, 共立出版 1976
- 9) 沼田浩二, 根本剛, 都所昭雄, “ノンスラッジ廃液処理プロセス開発 (II) -カラム式不溶性タンニンによるPu吸着挙動-”, 日本原子力学会「1994年春の年会」予稿集, H7, 1994