

JAERI-Tech
99-028



JP9950174



再処理特別研究棟における
未精製ウラン廃液処理試験

1999年3月

河内昭典・三森武男・宮島和俊

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

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。

入手の間合わせは、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、お申し越してください。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おこなっております。

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.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1999

編集兼発行 日本原子力研究所

再処理特別研究棟における未精製ウラン廃液処理試験

日本原子力研究所東海研究所バックエンド技術部

河内 昭典・三森 武男・宮島 和俊

(1999年2月10日受理)

原研再処理特別研究棟（以下、「再処理特研（JRTF）」）では昭和43～44年にかけてJRR-3の使用済燃料（アルミニウム被覆、金属ウラン、燃焼度600 MWD/T, U）を使った湿式再処理試験を実施し、高純度プルトニウム約200 gを回収した。この再処理残存廃液のうち未精製ウラン廃液はウラン精製工程を経ていたために発生した廃液であり、高濃度のU（350 mg/mL）および微量のPu（ 1×10^{-3} mg/mL）等の α 核種や主に ^{137}Cs や ^{90}Sr からなる β （ γ ）核種を含んでいる。原研・放射性廃棄物処理場（JWTF）において本廃液を安定な形態で中間貯蔵するため、まず、同廃液中から微量のPuを除去する必要があることがあった。

原研ではユニチカ㈱と共同で開発した、優れたPu吸着性能を有する繊維状吸着材を用いた処理プロセスからなる「未精製ウラン廃液処理装置」を平成7年に製作した。本吸着材は無機系バインダーを添加し、カートリッジ状に成型することによって工学規模の廃液処理プロセスに適応可能なように開発したものであり、吸着材組成は大きな比表面積と高い親水性を持つ繊維状活性炭（FAC）（以下、「高親水性吸着材」）65 wt%および無機系バインダー35 wt%である。本装置は廃液22 Lをバッチ方式で処理するものであり、平成8年より2年間で約1,700 Lの処理を完了し、以下の知見を得た。

繊維状吸着材は基礎試験と同様に高濃度のウランを含む廃液中でPuに対する高い選択性を示した。また、空塔速度（SV）や処理温度による依存性が見られ、SV 0.64h^{-1} および処理温度20～30°Cで処理を行うことにより95%以上のPu除去率を示した。吸着材1 gあたりのPu吸着量は0.02～0.03 mgであった。

これらの結果より繊維状吸着材によるプルトニウム吸着除去プロセスの工学規模への適用が可能であることが実証された。

なお、本吸着材は大部分が炭素である高親水性吸着材と無機系バインダーから構成され、焼却による大幅な減容が可能である。そのため、本プロセスは今後、増大する核燃料取扱施設からのTRU核種含有廃棄物処理において二次廃棄物発生量の低減化の観点から非常に有用である。

本報告書は、電源開発促進対策特別会計法に基づき、科学技術庁からの委託によって行った研究成果である。

東海研究所：〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2-4

Plutonium Removing Test from Unpurified Uranium Solution in JRTF

Akinori KAWACHI, Takeo MIMORI and Kazutoshi MIYAJIMA

Department of Decommissioning and Waste Management

Tokai Research Establishment

Japan Atomic Energy Research Institute

Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received February 10, 1999)

JAERI's Reprocessing Test Facility (JRTF) had been operated from 1968 to 1969 and then spent fuel (U/Al metal, burnup 600MWD/T,U) from a research reactor (JRR - 3) was reprocessed. The reprocessing tests were carried out successfully, and about 200g of highly purified plutonium (Pu) was recovered. Because a uranium purification system was not installed in JRTF, about 1,700L of unpurified uranium solution containing U (350 mg/mL), Pu (1.0×10^{-3} mg/mL) and beta (gamma) nuclides was generated from these tests. It was necessary to remove Pu from the unpurified uranium solution for interim storage in JAERI's Waste Treatment Facility (JWTF).

JAERI and Unitika, Ltd. have jointly developed an inorganic adsorbent, which has good properties to remove Pu from reprocessed liquid wastes. Based on the results of laboratory-scale tests, JAERI constructed the engineering-scale apparatus using the inorganic adsorbent for the unpurified uranium solution in FY 1995. The inorganic adsorbent was molded in the cartridge form by adding the inorganic binder to be easily applied in the industrial fields. The cartridge consisted of 65wt% of fibrous activated carbon (FAC), which had the specific surface area of approximately $2,000 \text{ m}^2/\text{g}$ and high hydrophilicity and 35wt% of inorganic binder. The treatment capacity of the apparatus was 22L / batch. The treatment of 1,700L of liquid was completed in FY 1997.

The results of Pu removing tests by the adsorbent were summarized as follows:

The adsorbent showed high selectivity for Pu in the liquid waste containing a large amount of U. The removal capacity of Pu depended on space velocity (SV) and

The work was performed under contract with Atomic Energy Bureau of Science and Technology Agency of Japan.

temperature. The proper conditions were 0.64 h^{-1} for SV and $20 - 30 \text{ }^\circ\text{C}$ for temperature. Pu removal efficiency was up to 95% and amount of adsorbed Pu was $0.02 - 0.03 \text{ mg-Pu/g-FAC}$.

It was confirmed that the inorganic adsorbent had an excellent ability to remove Pu from reprocessed liquid wastes on an engineering-scale.

As the inorganic adsorbent consists of inorganic binder and FAC, which component is more than 90% of carbon, it is easily reduced the volume by incineration. Therefore, it is possible to expect useful applications from the standpoint of volume reduction of the radioactive waste contained TRU nuclides.

Keywords : Plutonium, Unpurified Uranium Solution, Reprocessing Liquid Waste, Inorganic Adsorbent, Fibrous Activated Carbon (FAC), Inorganic Binder, Space Velocity (SV)

This is a blank page.

目 次

1. 緒言	1
2. 処理プロセスの概要	2
2.1 未精製ウラン廃液の性状	2
2.2 繊維状吸着材の性状	2
2.3 処理プロセスの概要	2
2.4 Pu 吸着予備試験	3
2.5 未精製ウラン廃液処理装置の概要	4
3. 繊維状吸着材によるPu 吸着除去実証試験	6
3.1 試験項目	6
3.2 放射能分析	7
3.3 結果および考察	8
4. 使用済み吸着材および処理済み液の処理	10
4.1 使用済み吸着材の減圧脱水処理	10
4.2 使用済み吸着材のセメント固化処理	11
4.3 処理済み液の中和処理	12
4.4 処理済み液のプラスチック固化処理	13
4.5 廃棄物発生量	14
5. まとめ	15
参考文献	15

Contents

1. Introduction	1
2. The Outline of Treatment Process for Unpurified Uranium Solution	2
2.1 Properties of Unpurified Uranium Solution	2
2.2 Properties of Inorganic Adsorbent	2
2.3 The Outline of Treatment Process	2
2.4 Preliminary Examinations for Pu Adsorption	3
2.5 The Outline of Treatment Apparatus for Unpurified Uranium Solution	4
3. Pu Removing Test Using Inorganic Adsorbent	6
3.1 Experimental Items	6
3.2 The Measuring Method of Radioactivity	7
3.3 Results and Discussion	8
4. Disposal of Used Adsorbent and Treated Solution	10
4.1 Dehydration of Used Adsorbent	10
4.2 Solidification of Used Adsorbent with Cement	11
4.3 Neutralization of Treated Solution	12
4.4 Solidification of Treated Solution with Plastic	13
4.5 Volume of Radioactive Waste	14
5. Conclusion	15
References	15

1. 緒言

日本原子力研究所再処理特別研究棟（以下、「再処理特研」）では昭和43～44年にかけて実施したJRR-3の使用済み燃料（アルミニウム被覆、金属ウラン、燃焼度600MWD/T,U）を使った湿式再処理試験において高純度Pu約200gを回収した。再処理特研ではその際に発生したTRU含有廃液（総量70m³）を貯留・管理するとともに放射性液体廃棄物からTRU核種を効率的に分離除去する技術開発を行ってきた。本試験において処理対象となった未精製ウラン廃液はウラン精製工程を経ていないために発生した硝酸酸性の液体であり、高濃度のUおよび微量のPu等からなる α 核種の他、主に¹³⁷Csや⁹⁰Srからなる β (γ)核種を含有している。本廃液はそのままでは α 廃棄物として取扱わねばならず、原研・放射性廃棄物処理場（以下、「処理場」）において安定な形態で中間貯蔵するため、まず、同廃液中から微量のPuを除去する必要があった。

これまで原研はユニチカ(株)との共同研究において大きな比表面積を持ち、高い親水性を付与した繊維状活性炭（以下、「高親水性吸着材」）がPuに対して選択的な吸着性能を有することを見い出した。さらに高親水性吸着材に無機系バインダーを添加し、カートリッジ状に成型することによって実際の廃液処理プロセスに容易に適応可能な繊維状吸着材の開発に成功した¹⁾。

そこで再処理特研では繊維状吸着材を用いて廃液中のPuを吸着除去するプロセスからなる「未精製ウラン廃液処理装置」を平成6年度および7年度に製作した。さらに平成8年度から2年間の未精製ウラン廃液処理実証試験において繊維状吸着材によるPu吸着除去プロセスの評価を行うとともに約1.7m³の廃液の処理を完了した。

本報告書は未精製ウラン廃液処理実証試験で得られた成果について取りまとめたものであり、処理プロセスの概要、繊維状吸着材によるPu吸着除去試験および使用済み吸着材、処理済み液の処理について述べ、繊維状吸着材による廃液処理プロセスの有用性を示す。

2. 処理プロセスの概要

2.1 未精製ウラン廃液の性状

未精製ウラン廃液は湿式再処理試験においてウラン精製工程を経ていないために発生した廃液であり、再処理特研、廃液操作・貯蔵室地下2階タンク室の貯槽(WV-8)に約1.7m³が保管・管理されてきた。本廃液は高濃度のUおよび微量のPu (²³⁹Pu+²⁴⁰Puとして算出)からなる α 核種、主として¹³⁷Csや⁹⁰Srからなる β (γ)核種その他、多くの溶解性金属成分を含有している。本廃液の性状を表-1に示す。

2.2 繊維状吸着材の性状

本プロセスに採用した繊維状吸着材は高親水性吸着材を主成分に無機補強材(ガラス繊維、ロックウール)および無機硬化剤(ベントナイト)を無機系バインダーとして添加し、カートリッジ状に成型した無機系の吸着材である(以下、「吸着材A」)。基材となる高親水性吸着材は繊維状活性炭(FAC)に硝酸酸化あるいは空気酸化を施すことにより、比表面積を低下させることなく、本来疎水性の活性炭表面に含酸素官能基を化成させ、高い親水性を付与し、イオン状物質に対する親和性を高めたものである。高親水性吸着材および繊維状吸着材の外観を図-1に示す。

また、繊維状吸着材の組成の違いによるPu吸着性能を比較するため、無機系バインダー量を低減した繊維状吸着材(以下、「吸着材B」)を試験系列に加えた。表-2に吸着材AおよびBの特性を示す。吸着材Aの成型方法は構成材料を水中で分散し、減圧吸引する湿式成型法であるのに対し、吸着材Bは湿式成型後、無機硬化剤(リチウムシリケート)を含浸させ、カートリッジ化したものであり、高親水性吸着材含有量を減量することなく、無機系バインダー量のみを低減したものである。

2.3 処理プロセスの概要

未精製ウラン廃液の処理は繊維状吸着材を用いて廃液中のPuを除去するバッチ方式の処理プロセスを基本としている。

硝酸廃液中のPuは硝酸錯イオンの形態で繊維状吸着材に吸着し、繊維状吸着材の細孔サイズ、比表面積といった物理的な因子および静電的な相互作用が重要な因子となると考えられる。繊維状吸着材が1M前後の硝酸酸性領域において非常に良好なPu吸着性能を示すことから²⁾、本プロセスは0.6M硝酸溶液である本廃液を前処理することなく、直接Puを除去することが可能であった。

処理プロセスのフローを図-2に示す。廃液は貯留タンク(WV-8)から装置内の廃液受入れタンクまで所定量揚液された後、一定流量でPu吸着塔に供給される。処理済み液が放射能分析の結果、処理場の廃液受入条件を満足しなかった場合、移送ポンプにより廃液受入タンクに移送し、再度Puの吸着除去を行う。

受入条件を満足した処理済み液は中和処理を行い、 β (γ)液体廃棄物として処理場に引き渡され、プラスチック固化処理後、保管・管理される。一方、使用済み吸着材は吸着材中に含まれた

廃液を真空ポンプにより減圧脱水し、セメント固化処理後、 α 固体廃棄物として処理場へ搬出される。吸着材 A は比較的湿潤強度が弱く、廃液流通後の破碎が容易であることから、使用済み吸着材の後処理としてセメント固化を行う本プロセスに適しているを考えた。

なお、本プロセスでは使用済み吸着材の固定化にセメント固化処理を選択したが、繊維状吸着材は焼却処理による大幅な減容が可能であり、将来的には焼却工程を含めた一連のプロセスにより廃棄物の低減化が期待できる。

2.4 Pu 吸着予備試験

2.4.1 通液条件の選定

通液条件選定に当たってヘキサクロロ白金酸カリウム溶液を用いた実験室規模のコールド流通試験を実施した。この化合物は遷移金属化合物であり、酸性領域で錯イオンを形成し、本来、イオン状物質の吸着には不向きな繊維状吸着材に対して特異的に良好な吸着挙動を示す³⁾ことから、コールド流通試験の被吸着質として選択した。

実験室規模のコールド流通試験の結果を図-3 に示す。1.64h⁻¹ 以下の低い空塔速度 (SV) で処理することにより、破過曲線が一致し、SV の影響が抑えられること、また、SV を一定とし、繊維状吸着材カラムの D (径) を 15、25、35mm とした場合、15mm 以上では 5%破過時間が非常に短くなることを確認した。これらの結果、SV を 1.64h⁻¹ 以下、繊維状吸着材カラムの D (径) と L (層高) の比 (L/D) を 3 以上とすることが望ましいと判断した。さらに流通方向に関してはバッチごとに繊維状吸着材カラムの交換が必要であることから、操作性等を考慮し、Down-flow とした。Down-flow ではわずかに破過が早まることが確認されており、スケールアップをする場合、繊維状吸着材充填量を増加する等、若干のカラム利用率の低下を考慮する必要があった。

本装置は 1 日の通液時間を約 6 時間とし、22 L / batch / day のバッチ処理方式により 2 年間で全量約 1.7m³ の処理を完了する計画とした。

なお、空塔速度 (SV) とは単位時間において繊維状吸着材カラムが充填容積あたりに処理する廃液量を示す値である。

2.4.2 繊維状吸着材充填量の算出

繊維状吸着材充填量の算出にあたり、実廃液を用いた実験室規模のホット流通試験を行った。

(1) 実験室規模のホット流通試験

Pu 破過曲線を図-4 に示す。本試験の結果、以下の知見を得た。

・ Pu 漏出

通液初期に Pu 漏出が認められた。この Pu 漏出は図-5 に示すように通液初期に繊維状吸着材からの無機系バインダーの溶出が原因と考えられる酸濃度の低下によって Pu 硝酸錯イオンの一部に加水分解を生じ、繊維状吸着材との親和性が低下したためと考えられる。これより、処理プロセスへの適応において無機系バインダーの溶出による影響が大きい場合、無機系バインダーの溶出を解消するため、繊維状吸着材の酸処理を実施する等の考慮が必要である。また、C/C₀=0.1

後、処理済み液の Pu 濃度が大きく上昇し、処理場の受入条件を満足しないことが予想されることから、この 10%破過点を Pu 吸着性能低下の目安とした。

・ Pu 吸着量および除去率

一連の流通試験における Pu 除去率は 96%であり、10%破過時の Pu 吸着量は 0.029 mg-Pu/g-FAC であった。

(2) 繊維状吸着材充填量

本装置に適用するために必要な繊維状吸着材充填量を算出した。

本装置においてバッチあたりの Pu 処理量は約 26.4mg-Pu/batch (設計当初の未精製ウラン廃液の Pu 濃度分析値より算出) である。これより、高親水性吸着材充填量は実験室規模のホット流通試験における動的吸着容量 (0.029 mg-Pu/g-FAC) から、1バッチあたり 910 g-FAC 必要となる。さらに設計上の安全係数を考慮し、本装置に適用するために必要な高親水性吸着材量を約 1000g/Batch とした。この結果、吸着材 A の FAC 含有率 (65%) より、繊維状吸着材の必要量は約 1500g となり、6 段充填することとした。

(3) 廃棄物処理場の廃液受入条件

未精製ウラン廃液は処理後、B-1 レベル β (γ) 液体廃棄物として処理場に搬出することとした。なお、処理場の廃液受入条件は以下とおりである。

- ・ α 放射能濃度 370 Bq/mL 未満
- ・ α/β (γ) 放射能比 0.1 以下

2.4.3 未精製ウラン廃液処理条件

実験室規模の流通試験等による予備検討の結果、繊維状吸着材による未精製ウラン廃液処理条件を以下のとおりとする。

- ・ 吸着材カラム 径 122 mm
- 層 高 480 mm (80 mm \times 6 段)
- 容 積 5.6 L
- ・ 通液速度 3.6 L/h
- ・ 空塔速度 (SV) 0.64 h⁻¹
- ・ 廃液処理量 22 L/Batch
- ・ 流通方向 Down-flow

2.5 未精製ウラン廃液処理装置の概要

「未精製ウラン廃液処理装置」の全体構成を図-6 に示す。本装置は未精製ウラン廃液を既設廃液貯槽より揚液するための揚液ポンプ、廃液受け入れおよび Pu 吸着除去後の処理済み液の中

和処理を行う廃液タンク、廃液タンクより吸着塔に廃液を供給する廃液供給ポンプ、繊維状吸着材カラムを充填する Pu 吸着塔、処理済み液を受け入れるろ液タンク、処理済み液をろ液タンクから廃液タンクに移送するろ液移送ポンプ、使用済み吸着材の減圧脱水時に負圧吸引するための真空ポンプおよびろ過セット、その他、セメントミキサ、試薬貯留タンク等により構成される。主要機器の仕様を表-3に示す。

なお、これらの主要機器は容量 6.3m³のグローブボックス R (L3000 mm×W1200 mm×H1750 mm) に収納し、再処理特研 241 号室に設置した。

以下に主要機器の概略について述べる。

(1) 主要機器

・揚液ポンプ

廃液操作・貯蔵室地下 2 階タンク室貯槽から装置内廃液タンクまでの施設間高度差および廃液比重 (1.6) を考慮し、揚程約 40m (水換算) の送液能力を必要とした。ポンプは自給式キャンドポンプで接液部をステンレス鋼製とした。工程上必要な送液量は約 5 L/min であるが、ポンプ性能の検討結果により約 40 L/min で吐出した後、バイパスラインから約 35 L/min を貯槽に戻すことで送液量を調整した。揚液所要時間は約 4.5 分程度となる。

・Pu 吸着塔

繊維状吸着材は図-7に示すアクリル製ホルダーに収納し、ステンレス製円筒型ケーシング (ϕ 165 mm×H 600 mm) に装填した。また、廃液流通時に繊維状吸着材からの微粉の流出を防ぐため、ホルダー最下部に SUS 製焼結フィルタ (#100) を装填することとした。

また、廃液タンク、ろ液タンク、セメントミキサーおよびグローブボックスの外観を図-8, 9, 10, 11 に示す。

・サンプリングライン

本実証試験において Pu 吸着除去前廃液、Pu 吸着塔流出液および処理済み液のサンプリングおよび放射能分析を行うため、それぞれ廃液タンク、Pu 吸着塔出側およびろ液タンクの 3 箇所にサンプリングラインを設けた。

(2) インターロック機構

繊維状吸着材の圧力損失増加に伴うカラム上部の液位上昇が懸念されたため、Pu 吸着塔内の液位上昇時に廃液供給を停止させる機構とした。廃液タンクおよびろ液タンクについても液位に関して異常が発生した際、関連機器類の停止を行うため、電極式液位計によるインターロック機構を設けた。インターロックの一覧を表-4に示す。

3. 繊維状吸着材による Pu 吸着除去実証試験

3.1 試験項目

未精製ウラン廃液処理装置を用いて工学規模の繊維状吸着材による Pu 吸着除去プロセスの評価を行うため、各条件下で繊維状吸着材の Pu 吸着性能について検討した。

3.1.1 Pu 吸着量および Pu 選択性

Pu 吸着除去前後の Pu 濃度比 (C/C_0) から Pu 破過曲線を求めた。また、Pu 吸着除去処理における U および β (γ) 放射能成分の流出液中への漏出挙動を把握し、Pu に対する選択性について確認した。以下に処理条件を示す。

・繊維状吸着材	吸着材 A
・通液速度	3.6 L/h
・空塔速度 (SV)	0.64 h ⁻¹
・処理温度	30 ℃

*なお、カラム径、層高、容積、充填量は 2.4.3 項と同様とした。

3.1.2 空塔速度 (SV) の影響

Pu 吸着性能に及ぼす SV の影響を把握するため、Pu 吸着塔への廃液供給速度を変更し、様々な SV における Pu 破過挙動を確認した。以下に処理条件を示す。

・繊維状吸着材	吸着材 A
・通液速度	3.6、6.0、7.8 L/h
・空塔速度 (SV)	0.64、1.07、1.40 h ⁻¹
・処理温度	20 ℃

*なお、カラム径、層高、容積、充填量は 2.4.3 項と同様とした。

3.1.3 温度の影響

本装置の機器設置環境において季節ごとの温度変動は大きく (10~30℃)、吸着性能を評価する場合、その影響は無視できないと考えられる。しかし、本装置では保温や断熱等の処置を施さない設計としたことから、バッチごとの Pu 除去率と処理温度との関連性を確認するとともに約 30℃と約 20℃時での Pu 破過挙動の比較を行った。以下に処理条件を示す。

・繊維状吸着材	吸着材 A
径	122 mm
層高	400 mm
容積	4.7 L

充填量	1250 g (FAC 含有量 810 g)
・通液速度	3.6、6.0 L/h
・空塔速度 (SV)	0.77、1.28 h ⁻¹
・処理温度	10 ~ 30 °C

処理温度 20°Cにおける Pu 破過試験

・通液速度	3.6 L/h
・空塔速度 (SV)	0.64 h ⁻¹
・処理温度	20 °C

*なお、カラム径、層高、容積、充填量は 2.4.3 項と同様とした。

3.1.4 繊維状吸着材組成の影響

吸着材 B を用いた Pu 吸着性能比較試験を行い、繊維状吸着材組成が Pu 吸着性能に及ぼす影響を確認した。以下に処理条件を示す。

・繊維状吸着材	吸着材 B
充填量	1200 g (FAC 含有量 990 g)
・通液速度	3.6、6.0、7.2 L/h
・線速度 (LV)	0.31、0.51、0.61 m/h
・空塔速度 (SV)	0.64、1.07、1.28 h ⁻¹
・処理温度	15 °C

*なお、カラム径、層高、容積、2.4.3 項と同様とした。

3.2 放射能分析

サンプリング試料については α スペクトル、全 β 放射能、 γ スペクトル分析を行った。 α スペクトル分析及び全 β 放射能分析はタンタル板上で蒸発乾涸させた試料をそれぞれシリコン半導体検出器 (ORTEC 社製 MCA-7800-8A2)、 4π ガスフローカウンター (CANBERRA 社製 2400F 型 α/β 自動測定装置) を用いて行った。 γ スペクトル分析については試料 5 mL をガラス製バイアル瓶に分取し、Ge 半導体検出器 (ORTEC 社製 MCA-7800-8A2) を用いて行った。

分析結果より次式を用いて濃度比 (C/C_0)、除去率および吸着量等を求め、吸着性能に関する評価を行った。

$$\begin{aligned} \text{濃度比 } (C/C_0) &= C/C_0 \\ \text{除去率 } (\%) &= \{(C_0 - C)/C_0\} \times 100 \\ \text{吸着量 } (\text{Bq or mg}) &= (C_0 - C) \times V \end{aligned}$$

C_0 : 吸着除去前の放射能濃度 (Bq/mL or mg/mL)

C	:	吸着除去後の放射能濃度	(Bq/mL or mg/mL)
V	:	処理廃液量	(mL)

3.3 結果および考察

3.3.1 Pu吸着量およびPu選択性

Pu 破過曲線を図-12 に示す。この結果、通液初期において Pu 吸着塔からの流出液が認められなかった。これは繊維状吸着材の廃液保持によるものであり、その量は約 0.8CV であった。 C/C_0 は通液量約 6.9CV で 0.1 (10%破過点) を越えた。 C/C_0 は 10%破過後に大きく上昇し、処理場の受入条件を満足しない場合が認められたため、基礎試験と同様に 10%破過点を繊維状吸着材カラム交換の目安とした。10%破過時点の Pu 吸着量は 0.033 mg-Pu/g-FAC であり、 $SV0.64h^{-1}$ において、各 Run ごとに求めた Pu 除去率は 95%以上を示した。また、表-5 に示すように Pu 吸着除去前後の U および $\beta(\gamma)$ 放射能成分の濃度に有為な差が認められないことから、繊維状吸着材が高濃度の U を含む廃液中においても Pu に対して高い選択性を有することが確認された。

Pu および共存する U、 $\beta(\gamma)$ 放射能成分の漏出挙動に関して詳細に検証した。流出液中の U、 $\beta(\gamma)$ 放射能濃度および酸濃度を図-13 に示す。

本実証試験において基礎試験で見られた通液初期の Pu 漏出は認められなかった。この Pu 漏出は無機系バインダー中のアルカリ性成分の溶出により Pu 硝酸錯イオンに加水分解が生じ、繊維状吸着材との親和性が低下したためと考えられた。しかし、スケールアップした場合、通液初期の酸濃度の低下が大きく、加水分解生成物は溶解度が低下し、吸着材層内に捕捉されたと考えられる。実際、pH2.5 以上で Pu はコロイド性を現し、ガラス表面においても著しく吸着することが報告されている⁴⁾。

また、U および $\beta(\gamma)$ 放射能成分も流出直後に濃度低下が認められ、1 CV 通液後に処理前の濃度にはほぼ等しい値となった。この要因についても U および $\beta(\gamma)$ 放射能成分の加水分解生成物 (不溶性の塩あるいは水酸化物の微粒子) の機械的な捕捉あるいは吸着が起こったためと考えられる。なお、 $\beta(\gamma)$ 放射能成分が硝酸塩として溶液中に存在する場合、繊維状吸着材への吸着について浸漬試験により検討した結果、表-6 に示すとおり吸着量は極微量あるいは全く認められておらず、基礎流通試験においても繊維状吸着材への吸着は全く認められなかった。

3.3.2 SV の影響

Pu 吸着性能に及ぼす SV の影響について図-14 に示す。SV が $0.64\sim 1.40h^{-1}$ まで増加するに従い、破過が早まり、Pu 吸着性能の低下が確認された。この結果、本吸着材を用いた Pu 吸着除去における SV の影響は大きく、Pu 吸着性能を十分に発揮させるには SV を可能な限り小さく設定し、接触時間を長くすることが望ましいと考えられた。さらに装置の運転の効率を考慮した場合、当初、設定した $SV0.64h^{-1}$ 程度が最も有効であることが立証された。

3.3.3 温度の影響

処理温度および各 Run ごとの Pu 除去率を図-15 に示す。また、3.3.1 項に示した処理温度

約 30℃時の Pu 破過挙動との比較のため、約 20℃時の Pu 破過曲線を図-16 に示す。これらの結果、処理温度が約 10~30℃まで変動する中で、Pu 除去率が 80~99%まで変動することが確認された。また、処理温度が上昇することにより 10%破過点が延び、処理量は約 20℃時が約 3.8CV であるのに対し、30℃時が約 6.3CV と増加することが確認された。Pu 吸着量は約 20℃時が 0.020 mg-Pu/g-FAC で、約 30℃時が 0.033 mg-Pu/g-FAC であった。これは温度の上昇により吸着材細孔内への Pu の拡散が良好になるためと考えられた。

3.3.4 繊維状吸着材組成の影響

バインダー量を低減した吸着材 B を用いた比較試験を行った。処理温度約 15℃とした場合の Pu 破過曲線を図-17 に示す。吸着材 B は吸着材 A と比較し、10%破過点までの廃液処理量が約 1.5 倍に増加し、Pu 吸着量は 0.028 mg-Pu/g-FAC であった。また、図-18 に示すように吸着材 B においては $SV0.64h^{-1} \sim 1.28h^{-1}$ の範囲において SV の増加による Pu 吸着性能の低下は認められなかった。

これらの結果は繊維状吸着材中に含まれるバインダー量の差に起因するものと考えられる。つまり、吸着材中のバインダー成分が部分的に高親水性吸着材表面を覆い、一部廃液との接触が不良になっている場合がある。この結果、バインダー含有量の低減により、Pu 吸着性能の若干の向上が見込めるといえるものである。なお、繊維状吸着材の酸処理によるバインダー分の洗浄によっても同様に Pu 吸着性能が向上することが確認された。

4. 使用済み吸着材および処理済み液の処理

使用済み吸着材および処理済み液の処理としてそれぞれ使用済み吸着材は減圧脱水処理後にセメント固化、処理済み液は中和処理後にプラスチック固化を行った。以下に詳細について述べる。

4.1 使用済み吸着材の減圧脱水処理

4.1.1 処理の概要

本吸着材は Pu に対する選択性は高いが、使用済み吸着材中の保持廃液量に比例して $\beta(\gamma)$ 放射能の含有量も大きくなる。そのため、セメント固化処理前に装置内の真空ポンプにより保持廃液分を可能な限り脱水・回収する必要がある。減圧脱水処理は真空ポンプでろ液タンク～Pu 吸着塔下部を負圧に引き、繊維状吸着材カラム上下に差圧を負荷することで実施する。

なお、減圧脱水中に処理済み液より飛散、吸引される微粒子等を回収するため、真空ポンプの直前にろ過セットを設置することとした。また、脱水された廃液は処理済み液とともに後処理することとした。

4.1.2 処理条件および結果

(1) 処理条件

・真空ポンプ	ベローズ式エアポンプ
	排気量 最大 30 L/min
	到達真空度 210 Torr
・ろ過セット	パイレックスガラス製 (内部 2 L ポリ瓶)
・吸引時間	約 30 分

(2) 処理結果

得られた知見は以下のとおりであった。

・使用済み吸着材の廃液保持量

脱水前の廃液保持量は約 4.5 L (重量換算で約 83%) であった。脱水後は約 2 L が脱水され、廃液回収率は約 40% であった。この結果、使用済み吸着材重量は平均約 1000 g/個であり、その約 75wt% が保持廃液分であった。また、脱水量は約 15 分間の脱水処理で平衡に達した。

・使用済み吸着材の放射能含有量

保持廃液量により $\beta(\gamma)$ 放射能の含有量も増加し、使用済み吸着材 1 個あたり平均約 4.5×10^6 Bq となった。また、Pu 含有量は大部分が吸着分であり、1 個あたり平均約 7.6×10^6 Bq (Pu 量に換算し、約 3.4 mg) であった。

・カラム充填位置における廃液回収率

表-7 に示すように脱水後の廃液保持量はカラム内充填位置あるいは充填数によって大きく異なり、カラムの上部あるいは繊維状吸着材充填量の少ないカラムの方が廃液の回収率は高かった。

4.2 使用済み吸着材のセメント固化処理

4.2.1 処理の概要

減圧脱水後、使用済み吸着材はセメントミキサーによりインドラム方式にて破碎し、セメント固化処理を行う。

当初、固化処理は混練中の微粉の周囲への飛散を防止するため、延長筒備え付けやセメントミルクを用いた混練を検討したが、実際の処理での微粉の飛散が非常に少なかった。以下にその処理条件、手順および結果を示す。

4.2.2 処理条件、手順および結果

(1) 処理条件

- ・混練比 : 使用済み吸着材：水：セメント＝1：0.8：1.2
- ・使用済み吸着材 : 2個/固化体
- ・セメント : C種高炉セメント（耐硫酸塩セメント；日本セメント(株)製）
- ・固化体重量 : 約10 kg
- ・固化容器 : 7 L SUS 製容器

(2) 処理手順

- ① アクリル製吸着材ホルダーより取り出した使用済み吸着材2個を入れた容器をミキサーにセットし、羽根を操作しながら、吸着材の破碎を行った。
- ② よく破碎した後、ミキサーを停止し、所定量の半分のセメントに続き、水を加えた。
- ③ 5分程度混練した後、残りのセメントおよび水を加え、混練した
- ④ ミキサーから固化容器を降ろし、2～3日養生を行った。
- ⑤ 養生後、セメントミルク 1.4kg（水：セメント＝0.4：1）を加え、1～2日養生した後、蓋を付け密封し、バッグアウトした。

(3) 処理結果

セメント固化処理の状況を図-19に示す。本処理工程において得られた知見は以下のとおりであった。

・混練条件

アクリル製吸着材ホルダーから抜き出された使用済み吸着材はカートリッジ形状を維持しているが、セメントミキサーにより容易に破碎することができた。破碎、混練の容易さは湿潤強度によらず、吸着材Aと吸着材Bでは特に差は認められなかった。

混練は以下の条件で実施した。

- 条件1；使用済み吸着材：水：セメント＝1：0.8：2（吸着材2個/固化体；発生量2個/batch）
 - 条件2；使用済み吸着材：水：セメント＝1：0.5：1.4（吸着材3個/固化体；発生量3個/batch）
 - 条件3；使用済み吸着材：水：セメント＝1：1：2.4（吸着材1.7個/固化体；発生量3個/batch）
- 混練後、約2～3日の養生した後、固化体上部をコールドのセメントミルク（水：セメント＝0.4：

1) によりキャッピングを行った。

・分散性

固化状態に問題はなかったが、分散状態には固化体ごとのばらつきが大きく、混練条件による差は特に認められなかった。しかし、条件 2 の混練比は容器内の固化体容積が大きく、微粉の飛散が多いため、取り扱い性に若干難があった。

・表面線量当量率

セメント固化体は α 固体廃棄物として処理場に搬出し、1 個あたりの表面線量当量率は最大 25 μ Sv/h であった。

・廃棄物発生量

各条件において発生した廃棄物量を固化体容積の観点から評価すると表-8 のとおりであり、使用済み吸着材の処理としてセメント固化処理を選択することにより廃棄物量は 2 ~ 5 倍の増量となった。

4.3 処理済み液の中和処理

4.3.1 処理の概要

Pu を吸着除去された処理済み液は処理場への搬出後のプラスチック固化処理のため、中和処理を行う必要がある。そのため、廃液を一旦、ろ液タンクから廃液タンクにろ液移送ポンプを用いて移送し、約半分（約 11 L）ずつ中和処理を行う。

4.3.2 処理条件、手順および結果

(1) 処理条件

・処理済み液	:	0.6 M (酸濃度)
廃液量	:	22 L
・ NaOHaq.	:	18 M
添加量	:	約 3 L

(2) 処理手順

- ① Pu 吸着処理および使用済み吸着材の脱水処理後、ろ液タンクから廃液タンクに半分（約 11 L）ずつろ液移送ポンプにより移送した。
- ② 移送後、攪拌機を駆動し、pH 計で pH を監視しながら、NaOH タンクから NaOHaq. を廃液タンクに供給し、中和処理を行った。
- ③ 中和終了した後、廃液を 5 L ポリ瓶に抜き出し、繰り返し残り半分の処理を行った。

(3) 処理結果

図-20 に NaOHaq. 添加量、pH、スラッジ形態および廃液の温度上昇を示した。本処理工程において得られた知見は以下のとおりであった。

・アルカリ添加量

未精製ウラン廃液は廃液中のUの価数、化学形態は特定できないが、U濃度が非常に高く、中和に際して、添加した水酸化ナトリウム溶液がウラン水酸化物生成に消費されたと考えられ、廃液の酸濃度から算出される量よりも過剰量の水酸化ナトリウムの添加が必要であった。本処理工程では処理済み液 3.5Lあたり 18M 水酸化ナトリウム溶液を約 1 L 添加しており、約 30vol%の増量となった。

・廃液の性状

水酸化ナトリウム溶液添加直後より発生した黄橙色のスラッジは pH 1～2 付近まで再溶解し、pH 2 付近からスラッジが沈降し、pH 7～9 付近で黄色から橙色に変色した。見かけの沈殿発生量は廃液 4.5L に対して沈殿 2～3.5L となり、粘性が非常に大きくなった。

上澄み液の放射能分析より全 α 放射能濃度 0.3～8Bq/mL、全 β 放射能濃度 $2 \times 10^1 \sim 5 \times 10^2$ Bq/mL、 γ 放射能濃度 $2 \times 10^1 \sim 9 \times 10^2$ Bq/mL であり、中和によって発生した水酸化物の溶解度低下により各放射能成分が大部分スラッジに移行したことを確認した。

・表面線量当量率

中和後の処理済み液は 5 L ポリエチレン製瓶でバグアウトされ、内容量約 4.5L のポリエチレン製瓶 1 本当たりの表面線量当量率は最大 40μ Sv/h であった。

以上の結果、処理済み液の中和処理によるスラッジ発生によりタンク内の攪拌効率が不良となり、pH の確認や処理後の廃液の抜き出しが困難となったことから、処理済み液を 5 L ポリエチレン製瓶に抜き出した後、中和処理を行うこととした。

4.4 処理済み液のプラスチック固化処理

4.4.1 処理の概要

中和された処理済み液は非常に塩濃度が高く、セメント固化処理等が困難なため、処理場へ搬出した後、プラスチック固化処理し、保管・管理する。固化剤には熱硬化樹脂である不飽和ポリエステル樹脂を使用することとした。この樹脂はビニルエステル樹脂とスチレンを混合した液体に重合開始剤を添加することにより、常温で架橋反応を開始し、重合・硬化するものであり、硬化した樹脂の三次元網状構造の中に廃棄物を閉じ込め固定化される。

4.4.2 処理条件および結果

(1) 処理条件

- ・混合比 : 使用済み吸着材：樹脂：開始剤・触媒 = 1 : 1.7 : 0.14
- ・樹脂 : スチレンモノマー、ビニルエステル樹脂
- ・開始剤・触媒 : N,N-ジメチル-p-トルイジン、60%過酸化ベンゾイル
- ・処理済み液含有量 : 約 30 L/固化体
- ・固化容器 : 100 L SUS 製ドラム缶

(2) 処理結果

得られた知見は以下のとおりであった。

・混練条件

通常、プラスチック固化では廃棄物を乾燥し、粉体とした後、処理が行われるが⁵⁾、本廃液の処理は二相に分離した処理済み液中のスラッジを均一に分散した後、樹脂と混合させた。処理済み液の樹脂への投入は 100L ドラム缶内で攪拌しながら実施し、室温で約 10 分間の攪拌した後、攪拌機を抜き、2 時間放置することにより、系内の上昇温度は最高 60～80℃となり、固化が進行した。さらに数時間放置することによって、固化がほぼ完了したことを確認した。固化体はコールドの固化剤によりキャッピングを行った。ドラム缶内の容積は約 80L となった。

・廃棄物容積

発生した廃棄物量を固化体容積の観点から評価すると表-9 のとおりであり、処理済み液の処理にプラスチック固化処理を選択することにより廃棄物量は 4 倍以上の増量となった。

4.5 廃棄物発生量

廃棄物処理場において受け入れられた処理済み液は 100L ドラム缶を使用し、インドラム方式でプラスチック固化された後、200L ドラム缶に収納し、保管・廃棄された。7 L の SUS 製容器中で使用済み吸着材を固化したセメント固化体は 200L ステンレス製ドラム缶（ポリエチレン内容器付き）に最大 9 個ずつ収納され保管・廃棄された。

2 年間の未精製ウラン廃液処理において発生した放射性廃棄物量を表-10 に示す。これより、未精製ウラン廃液 1640L を処理し、処理済み液（1700L）のプラスチック固化体がドラム缶 83 本（総重量 13.3ton）、使用済み吸着材（164 個）のセメント固化体がドラム缶 18 本（総重量 2.7ton）となる放射性廃棄物が発生した。また、最終的な廃棄物発生量を容積比で評価した場合、それぞれ 200L ドラム缶に収納後、保管・廃棄とするため、セメント固化体発生量は使用済み吸着材に対して 20 倍以上の増量、プラスチック固化体発生量は廃液量に対して約 10 倍の増量となった。

本プロセスでは使用済み吸着材のセメント固化による固定化を選択したため、廃棄物量が増加する結果となった。しかし、本吸着材は主成分である高親水性吸着材の構成元素の大部分が炭素および水素、酸素であることから、焼却により大部分が炭酸ガスおよび水蒸気となるという焼却特性が特徴的な吸着材であり、その減容比は高親水性吸着材で 500、繊維状吸着材では残さが無機バインダー分のみとなり、最大 20 となる⁶⁾。そのため、本吸着材を用いた Pu 吸着除去プロセスは使用済み吸着材の焼却処理と組み合わせることにより再処理残存廃液に伴い発生する廃棄物の減容も可能となり、廃棄物の減容化の観点からも非常に有用なプロセスとなることが期待できる。

なお、本実証試験で発生した使用済み吸着材の一部は平成 11 年度に実施される「可燃性解体廃棄物減容処理装置」を用いた焼却・水熱固化処理試験に供試される。

5. まとめ

平成8年4月～平成10年3月の2年間において未精製ウラン廃液約1.7m³の処理を完了し、以下の知見を得た。

・通液初期にUおよび β ・ γ 放射能成分のわずかな濃度低下が認められたが、繊維状吸着材は高濃度のUを含む廃液中においてもPuに対して高い選択性を示した。

・Pu吸着性能に及ぼすSVや温度の影響は大きく、SVを小さく、処理温度を20℃以上に設定することが望ましいことが確認された。SVを0.64h⁻¹、処理温度を30℃で処理することによりPu除去率は95%以上を示し、Pu吸着量は0.033 mg-Pu/g-FACであった。

・繊維状吸着材中の無機系バインダー量を低減することにより、さらにPu吸着性能の向上が見込めることを確認した。

以上の結果、繊維状吸着材を用いたPu吸着除去プロセスの工学規模への適応が可能であることが実証された。

また、本プロセスは焼却処理により廃棄物の減容も可能な繊維状吸着材を用いたものであり、今後、廃棄物の減容化の観点からも非常に有用なプロセスとなることが期待できる。

参考文献

- 1) 三森武男、高橋英樹；Journal of the RANDEC, 14, 73(1996)
- 2) 三森武男、高橋英樹；ibid.
- 3) 柴田貞夫、渡利一夫、金子克美；RADIOISOTOPES, 39, 226(1983)
- 4) ユー・ペー・ダビドフ；“溶液中の放射性核種の存在状態”，現代工学社，156(1985)
- 5) 石川健彦ほか；“放射性廃棄物管理，日本の技術開発と計画”，日本原子力産業会議，69(1997)
- 6) 三森武男、高橋英樹；Journal of the RANDEC, 14, 73(1996)

表-1 未精製ウラン廃液性状

		分析値
Pu濃度 (²³⁹ Pu+ ²⁴⁰ Pu)	Bq/mL	2.28E+3
	mg/mL	9.91E-4
U濃度	Bq/ mL	8.68E+3
γ (¹³⁷ Cs) 濃度	Bq/ mL	1.22E+3
全 β 濃度	Bq/ mL	1.36E+4
金属成分	mg/mL	Ca 1.50E-3 Cr 6.70E-3 Fe 2.56E-2 Mg 3.80E-4 Mn 7.40E-4 Na 3.79E-2 Ni 2.50E-3 etc
酸濃度	M	0.60

表 - 2 繊維状吸着材の特性

吸着材	成型法	吸着材組成 wt%			成型密度 g/cm ³	吸着材重量 g	カートリッジ成型性		
		高親水性吸着材	無機補強材	無機硬化剤			形状安定性 ^{*A}	ハンドリング性 ^{*B}	湿潤強度 ^{*C}
A	湿式成型法	65	ガラス繊維+ロックウール: 30	ベンタナト: 5	0.28	260	最良	最良	不良
B	後含浸法	80	ガラス繊維: 17	リチウムシリケート: 3	0.22	200	最良	最良	最良

* A : 加熱成型後、吸着材がカートリッジ形状を維持しているかによって判断した。

* B : 吸着材をハンドリングした際の微粉発生の有無および形状維持性によって判断した。

* C : 吸着材を純水中に1時間浸漬した後、取り出し、一定荷重で押さえた時にカートリッジ形状を維持しているか判断した。

表 - 3 未精製ウラン廃液処理装置主要機器仕様

	主要寸法 mm	容積	流体	主要部材質	使用条件	
					温度	圧力
廃液タンク	300φ×425H	280	原液 および 処理済み液	SUS304	常温	水頭圧
ろ液タンク	400φ×285H	280	処理済み液	SUS304	常温	-0.75kg/cm ²
Pu吸着塔	150φ×580H	100	処理済み液	SUS304	常温	-0.75kg/cm ²

表 - 4 インターロック機構一覧

プロセスの状態	インターロック操作
廃液タンク液面 「高」	揚液ポンプ 「停止」 廃液揚液弁 「閉」 NaOH水供給弁 「閉」 純粋供給弁 「閉」 ろ液移送ポンプ 「停止」 ろ液戻り弁 「閉」
廃液タンク液面 「低」	廃液供給ポンプ 「停止」 攪拌機 「停止」
Pu吸着塔液面 「高」	廃液供給ポンプ 「停止」 廃液供給弁 「閉」
ろ液タンク液面 「低」	ろ液移送ポンプ 「停止」

表-5 Pu吸着除去処理済み液の性状

		Pu吸着除去前	Pu吸着除去後
Pu濃度	Bq/mL	2.28E+3	8.40E+1
	mg/mL	9.91E-4	3.65E-5
U濃度	Bq/mL	8.68E+3	8.60E+3
γ (^{137}Cs) 濃度	Bq/mL	1.22E+3	1.18E+3
全 β 濃度	Bq/mL	1.36E+4	1.26E+4
酸濃度	M	0.60	0.32

表-6 予備検討における β ・ γ 放射能成分 (^{137}Cs) の吸着試験^{*A}

供試材	重量 g	全 β 濃度	
		初期濃度 Bq/mL	浸漬後濃度 Bq/mL
繊維状吸着材カートリッジ	0.107	1.54E+3	1.56E+3
繊維状吸着材カートリッジ	0.208	1.54E+3	1.58E+3

供試材	重量 g	γ (^{137}Cs) 濃度	
		初期濃度 Bq/mL	浸漬後濃度 Bq/mL
繊維状吸着材カートリッジ	0.208	6.00E+2	5.69E+2
高親水性吸着材	1.004	6.00E+2	5.73E+2
ガラス繊維	0.502	5.28E+2	5.28E+2
ロックウール	0.502		5.28E+2
ベントナイト	0.500		4.50E+2

*A: 24時間浸漬

表-7 減圧脱水後の使用済み吸着材の重量

	吸着材重量(g)	回収率* ^A (%)	吸着材重量(g)	回収率* ^A (%)
吸着材充填数	6 段		5 段	
上部から 1 段目	770	58	830	65
2 段目	880	49	980	57
3 段目	940	44	1040	53
4 段目	1120	30	1070	51
5 段目	1150	27	1090	50
6 段目	1160	27	-	-
1 個あたり平均	1000	39	1000	55

*A : 減圧脱水前の重量を 6 段充填 ; 1450g/段、5 段 ; 1700g/段として求めた。

表-8 セメント固化処理における廃棄物発生量 (容積比)

	使用済み吸着材 (C)	固化体容積 (D)	容積比 (D/C)
	L /batch	L /batch	-
条件 1	5.6	7 × 2	2.5
条件 2	5.6	7 × 3	3.8
条件 3	4.8	7 × 3	4.4

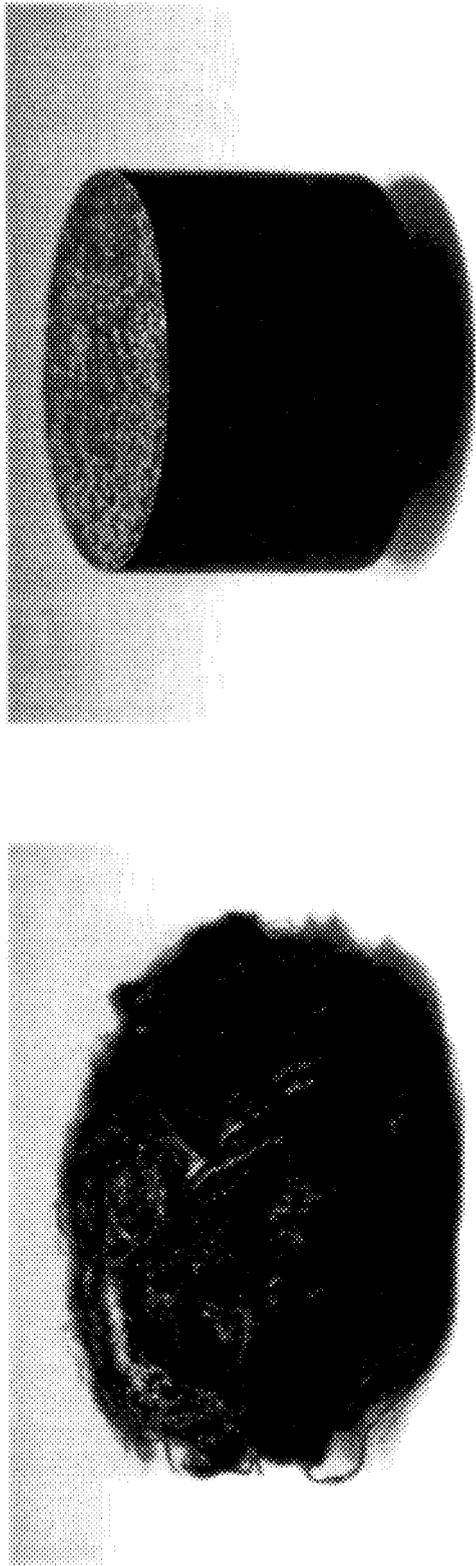
固化体容積 (D) は固化容器 (7L) を基準に算出

表-9 プラスチック固化処理における廃棄物発生量 (容積比)

中和処理前 液量 (E)	中和処理後 液量	固化体 (F)	容積比 (F/E)
L	L	L	-
23	30	100	4.3

固化体容積 (F) は固化容器(100LSUS 製ドラム缶)を基準に算出

This is a blank page.



	比表面積 m ² /g	細孔容積 mL/g	平衡水分率 %
繊維状吸着材	1700	0.9	10
高親水性吸着材	2000	1.1	30

図 - 1 高親水性吸着材 (左) および繊維状吸着材 (右)

This is a blank page.

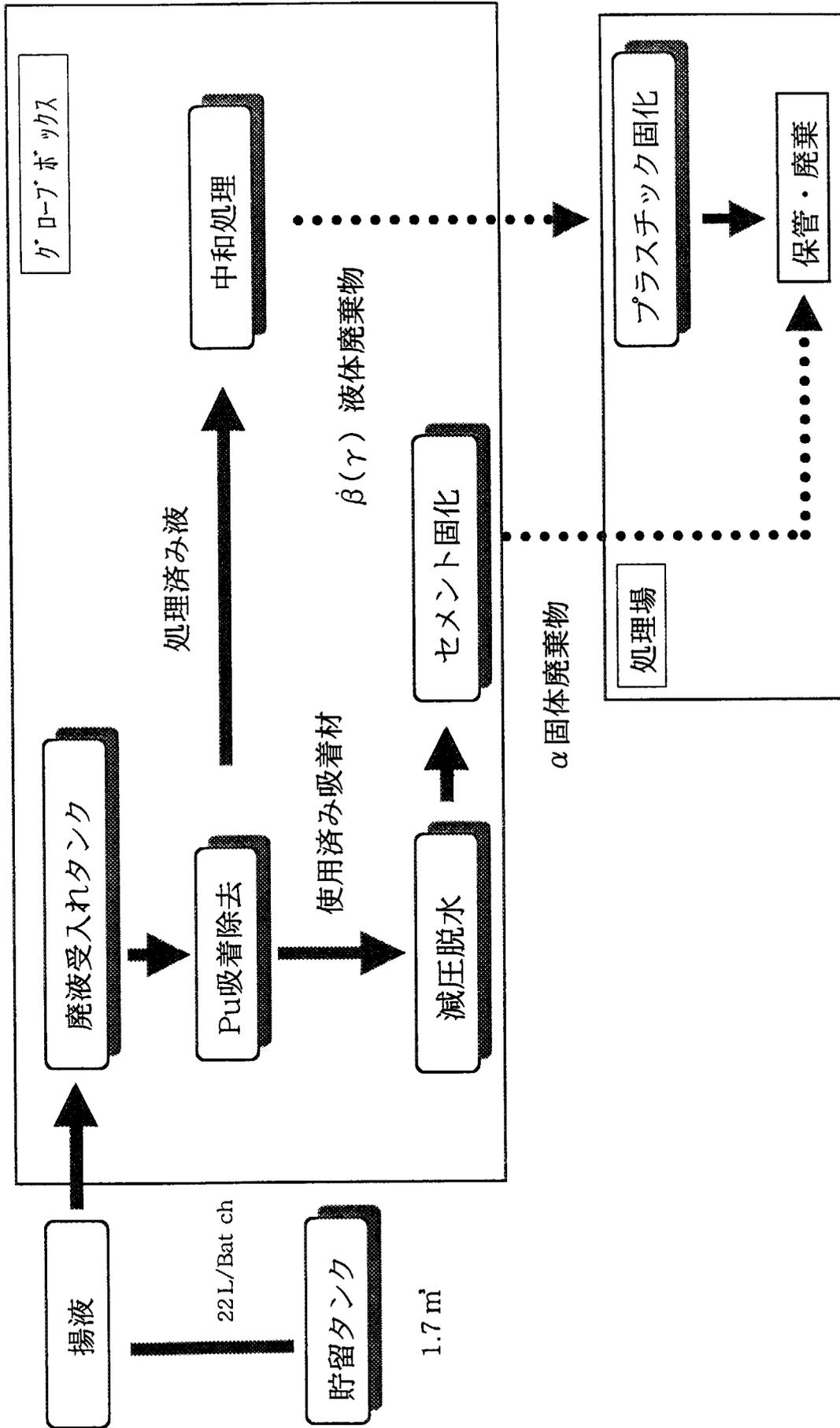
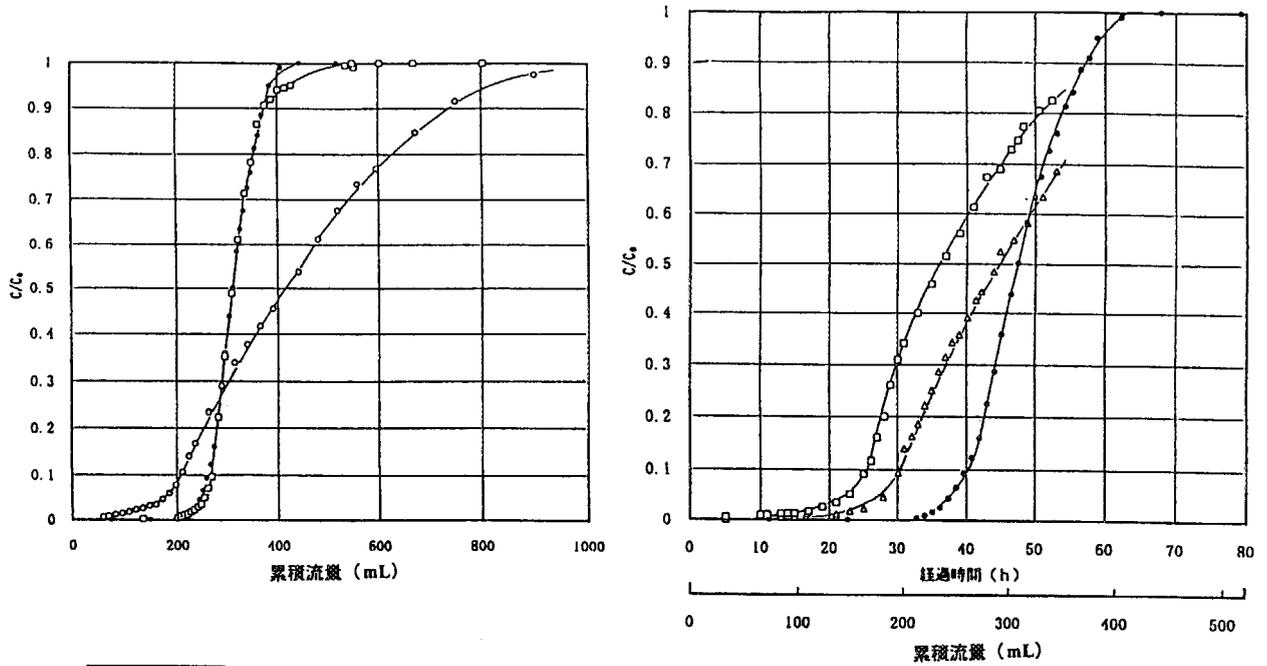


図-2 未精製ウラン廃液処理フロー図



SVの影響

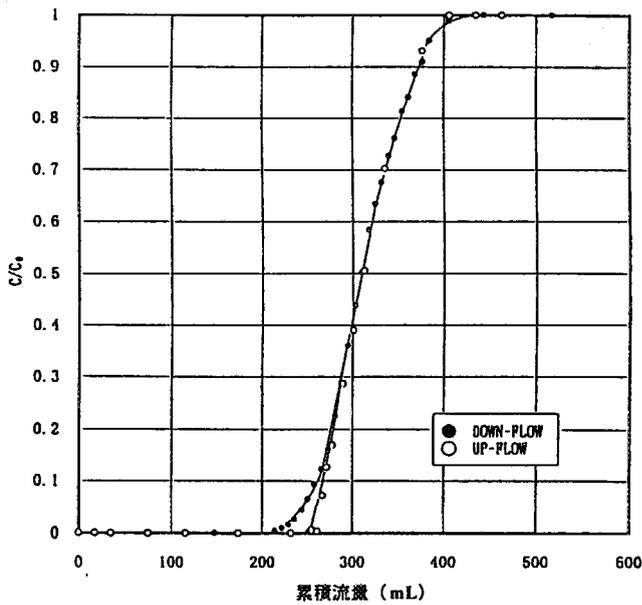
供試液: K_2PtCl_6 (Pt濃度; 200mg/L)

●層高 : 45 mm	□層高 : 45 mm	△層高 : 45 mm
外径 : 15 mm	外径 : 15 mm	外径 : 15 mm
流速 : 6.52mL/h	流速 : 6.52mL/h	流速 : 6.52mL/h
充填量 : 1.30 g	充填量 : 1.30 g	充填量 : 1.30 g
SV : $0.82 h^{-1}$	SV : $1.64 h^{-1}$	SV : $3.28 h^{-1}$
L/D : 3	L/D : 3	L/D : 3

L/Dの影響

供試液: K_2PtCl_6 (Pt濃度; 200mg/L)

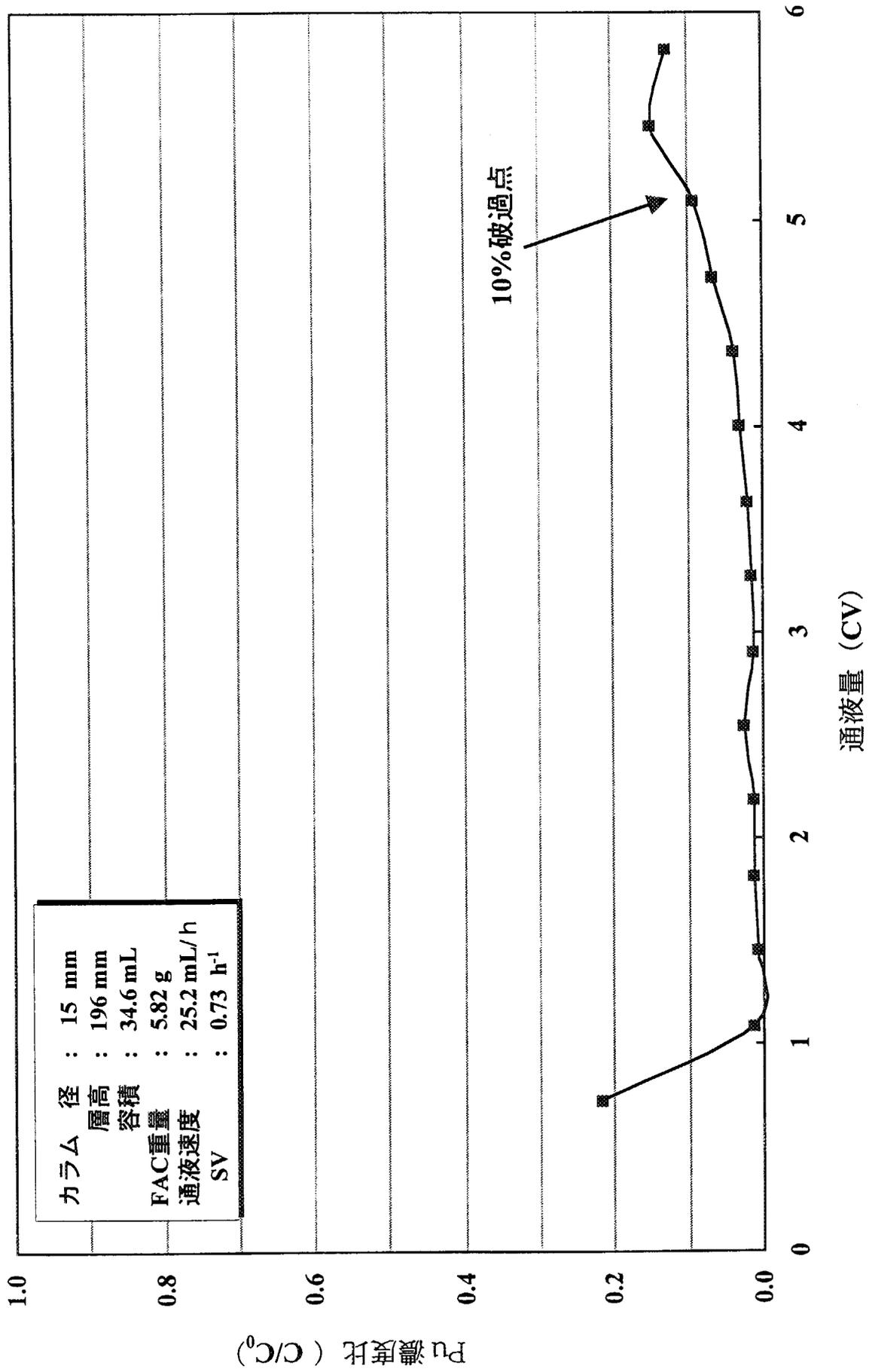
●層高 : 45 mm	□層高 : 16.2mm	△層高 : 8.3 mm
外径 : 15 mm	外径 : 25 mm	外径 : 25 mm
流速 : 6.52mL/h	流速 : 6.52mL/h	流速 : 6.52mL/h
充填量 : 1.30 g	充填量 : 1.30 g	充填量 : 1.30 g
SV : $0.82 h^{-1}$	SV : $0.82 h^{-1}$	SV : $0.82 h^{-1}$
L/D : 3	L/D : 0.65	L/D : 0.24



流通方向の影響

供試液: K_2PtCl_6 (Pt濃度; 200mg/L)

図 - 3 通液条件の選定 (コールド流通試験)



カラム 径 : 15 mm
 層高 : 196 mm
 容積 : 34.6 mL
 FAC重量 : 5.82 g
 通液速度 : 25.2 mL/h
 SV : 0.73 h⁻¹

図-4 基礎試験における Pu 破過曲線

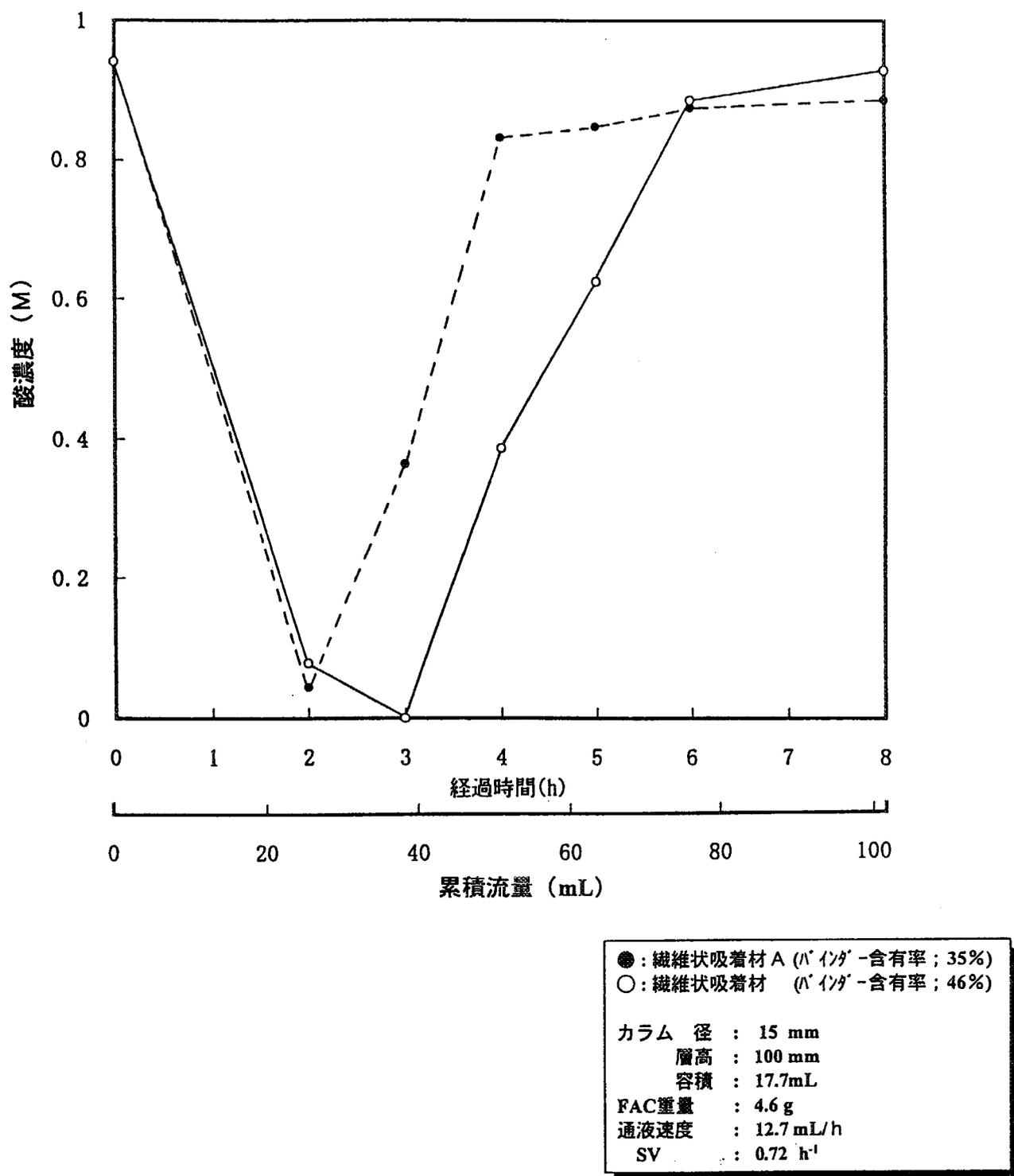
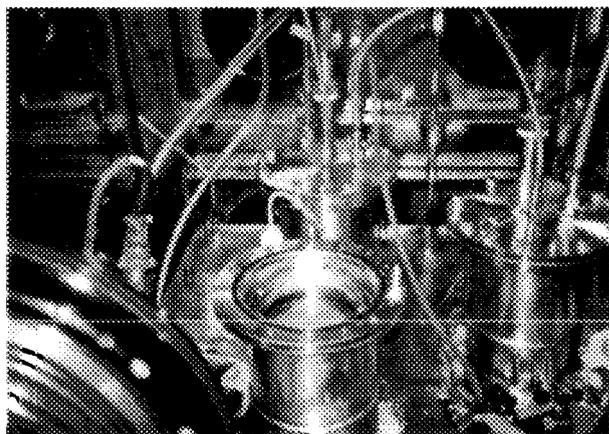
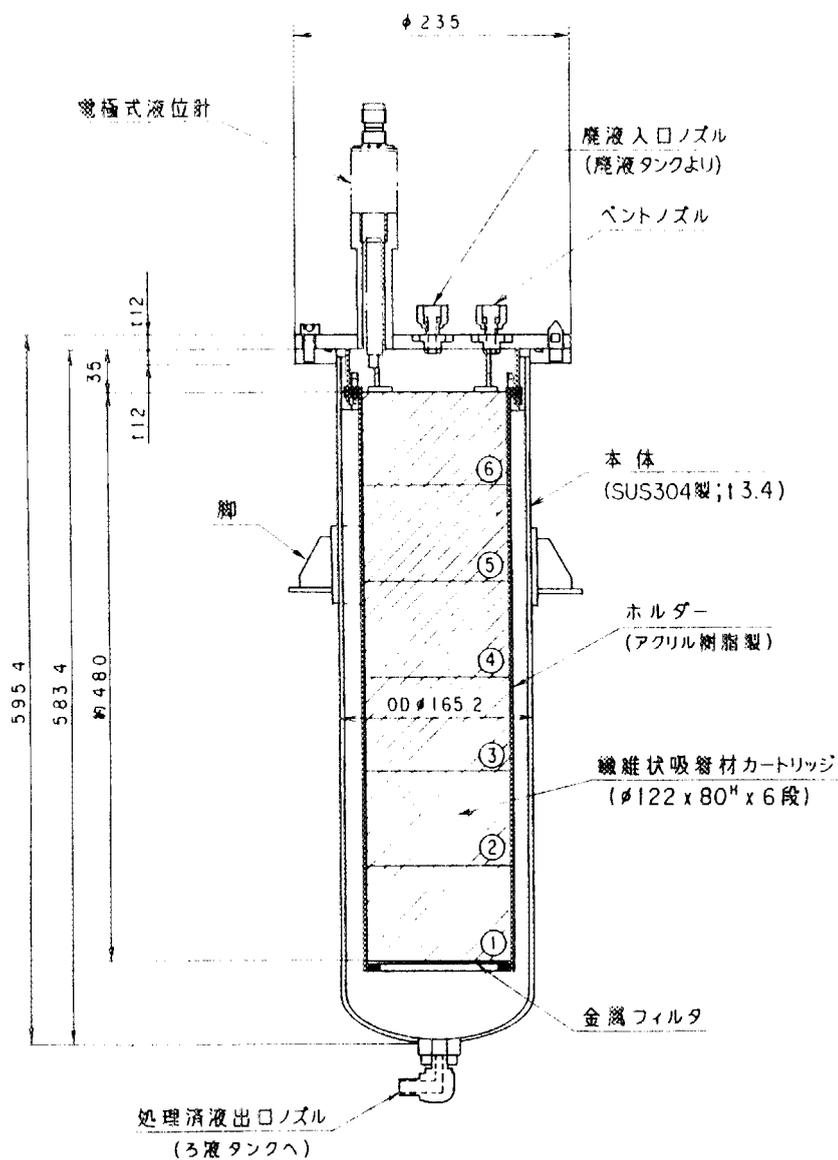


図-5 繊維状吸着材を用いた液流通による酸濃度の挙動

This is a blank page.



▲ Pu 吸着塔

アクリル製ホルダー ▶

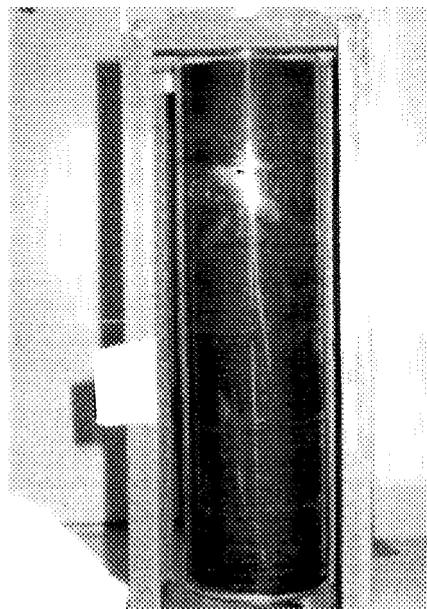


図 - 7 Pu吸着塔外観図

This is a blank page.

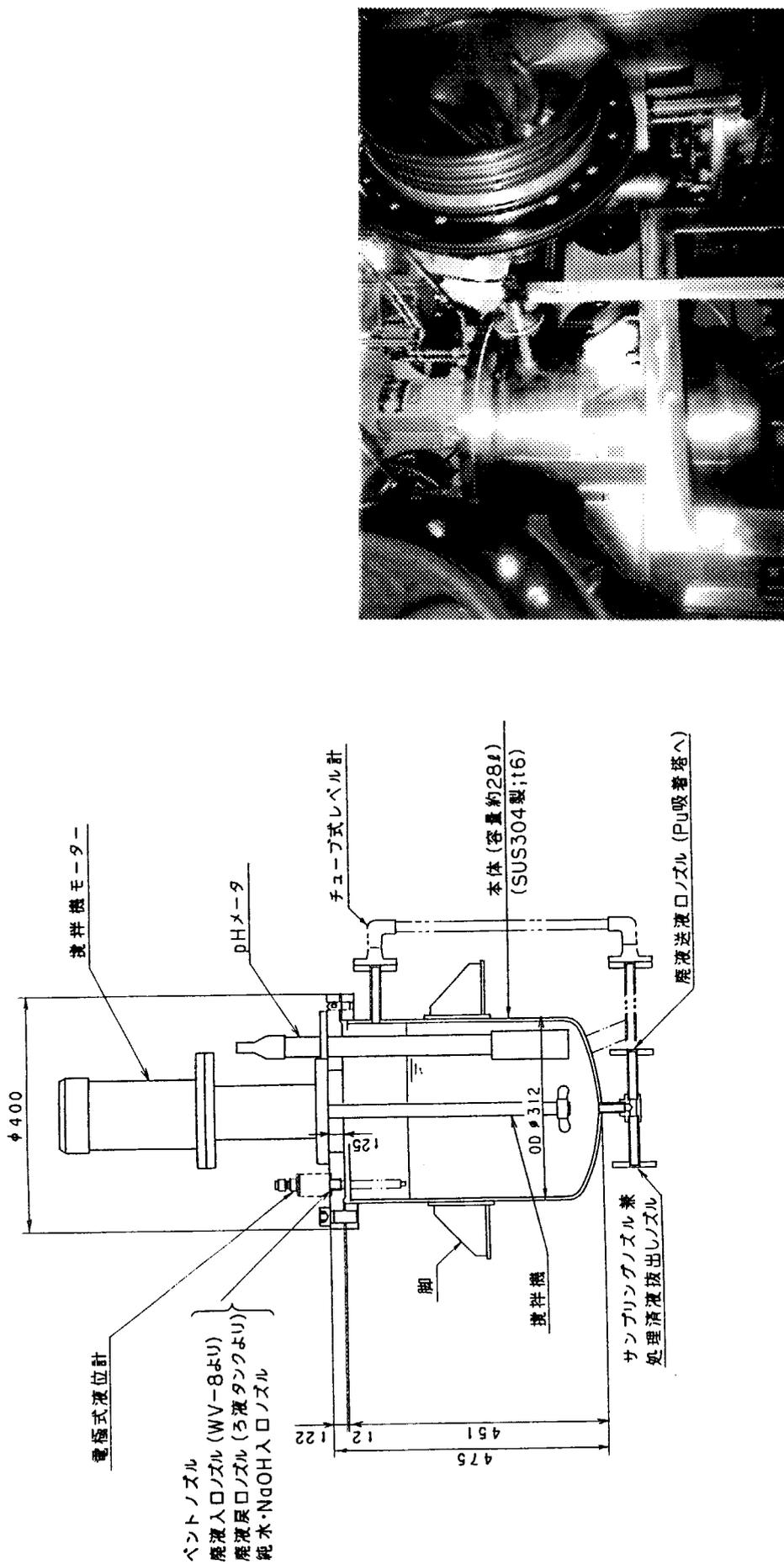


図-8 廃液タンク外観図

This is a blank page.

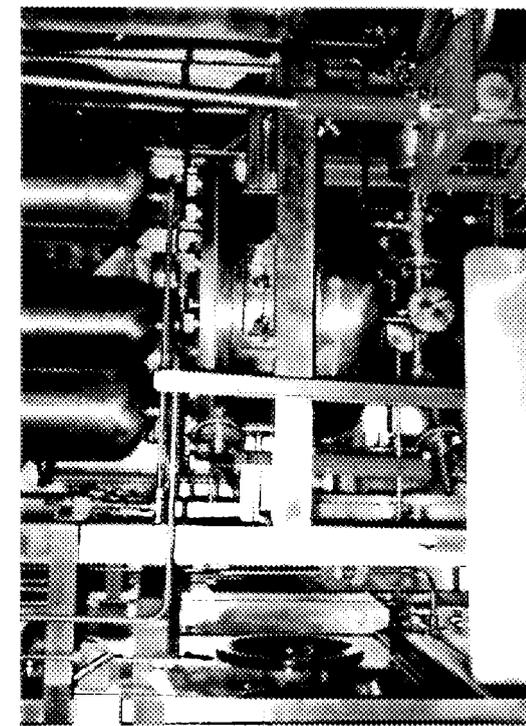
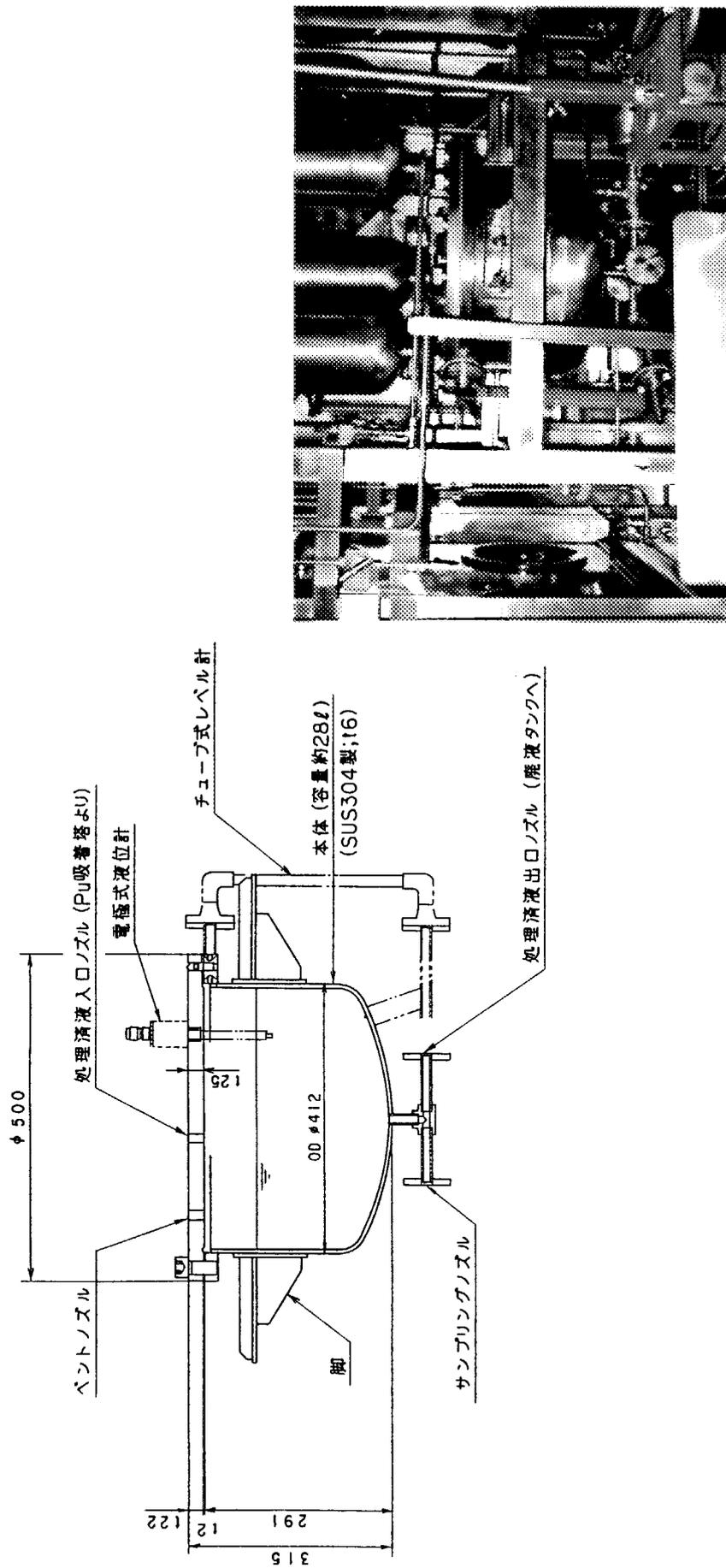


図-9 ろ液タンク外観図

This is a blank page.

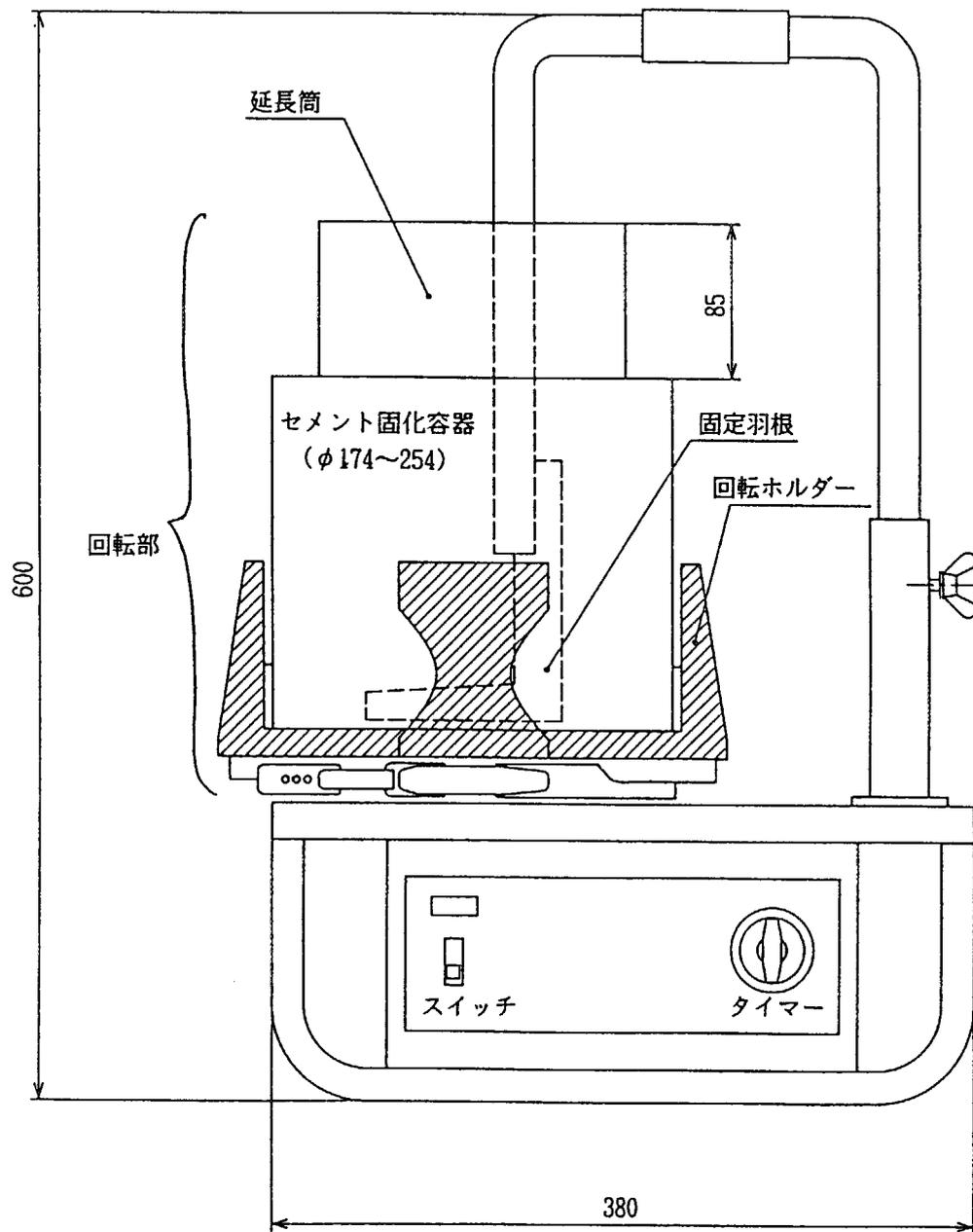


図-10 セメントミキサ外観図

This is a blank page.

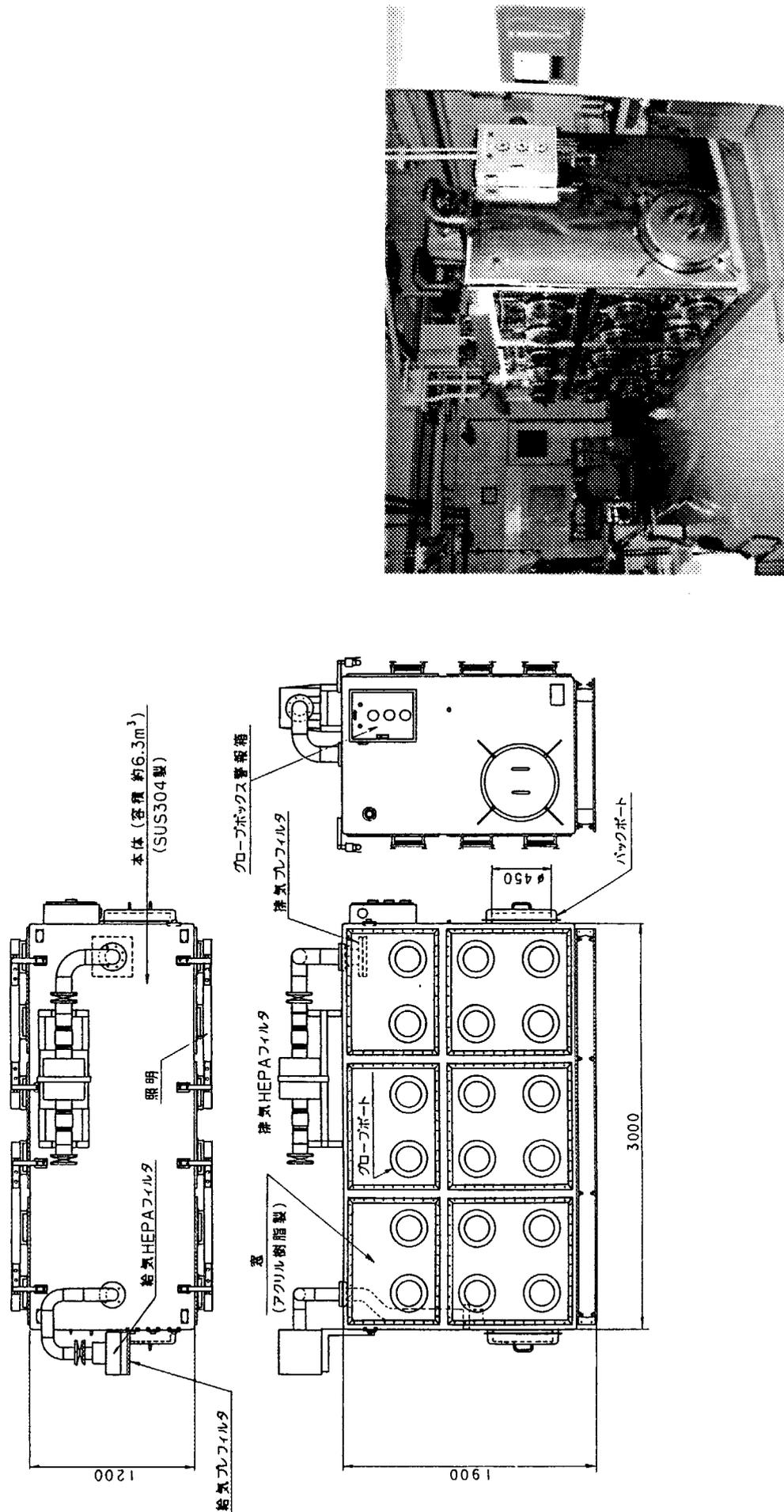


図-11 グローブボックス外観図

This is a blank page.

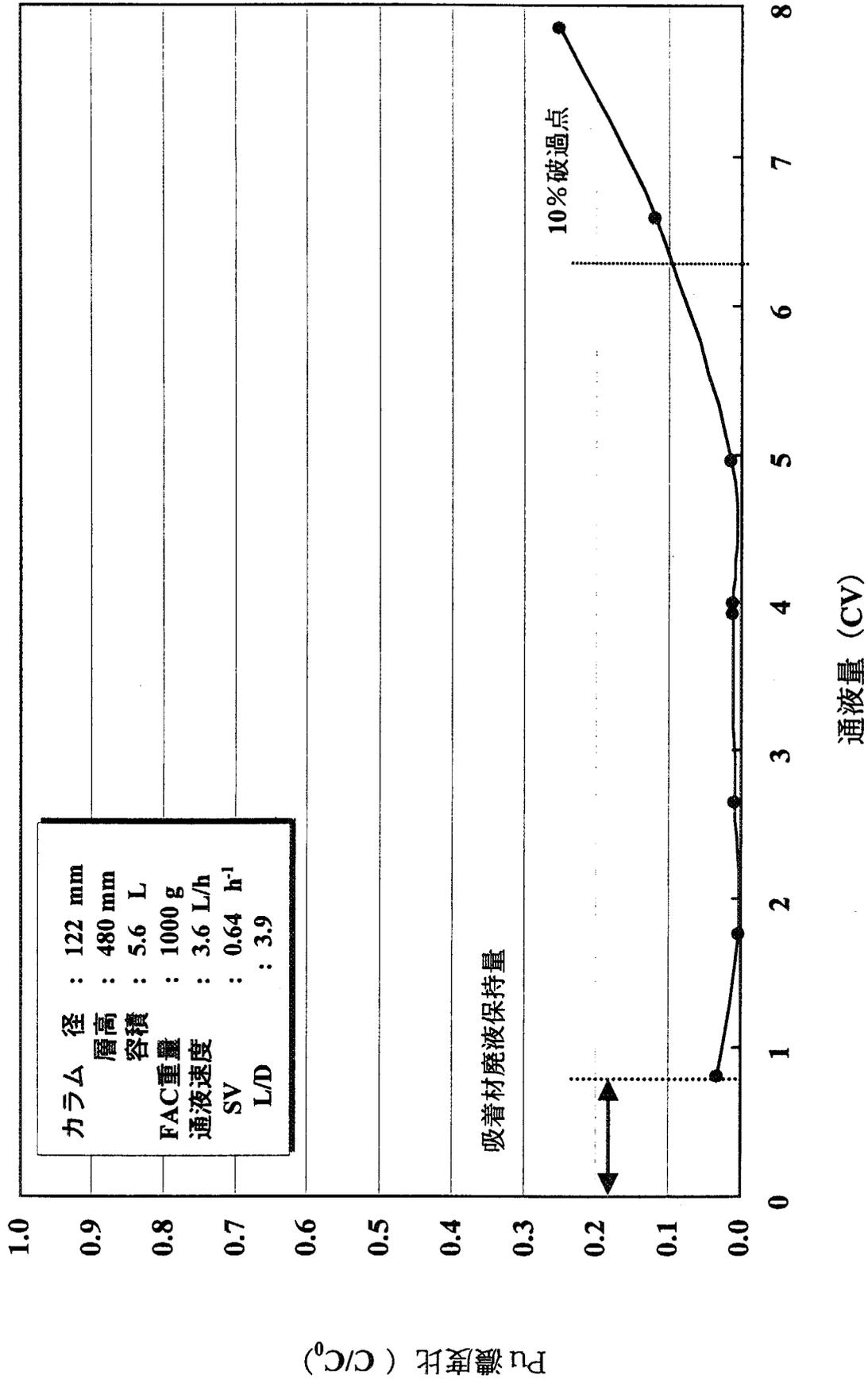


図-12 Pu破過曲線

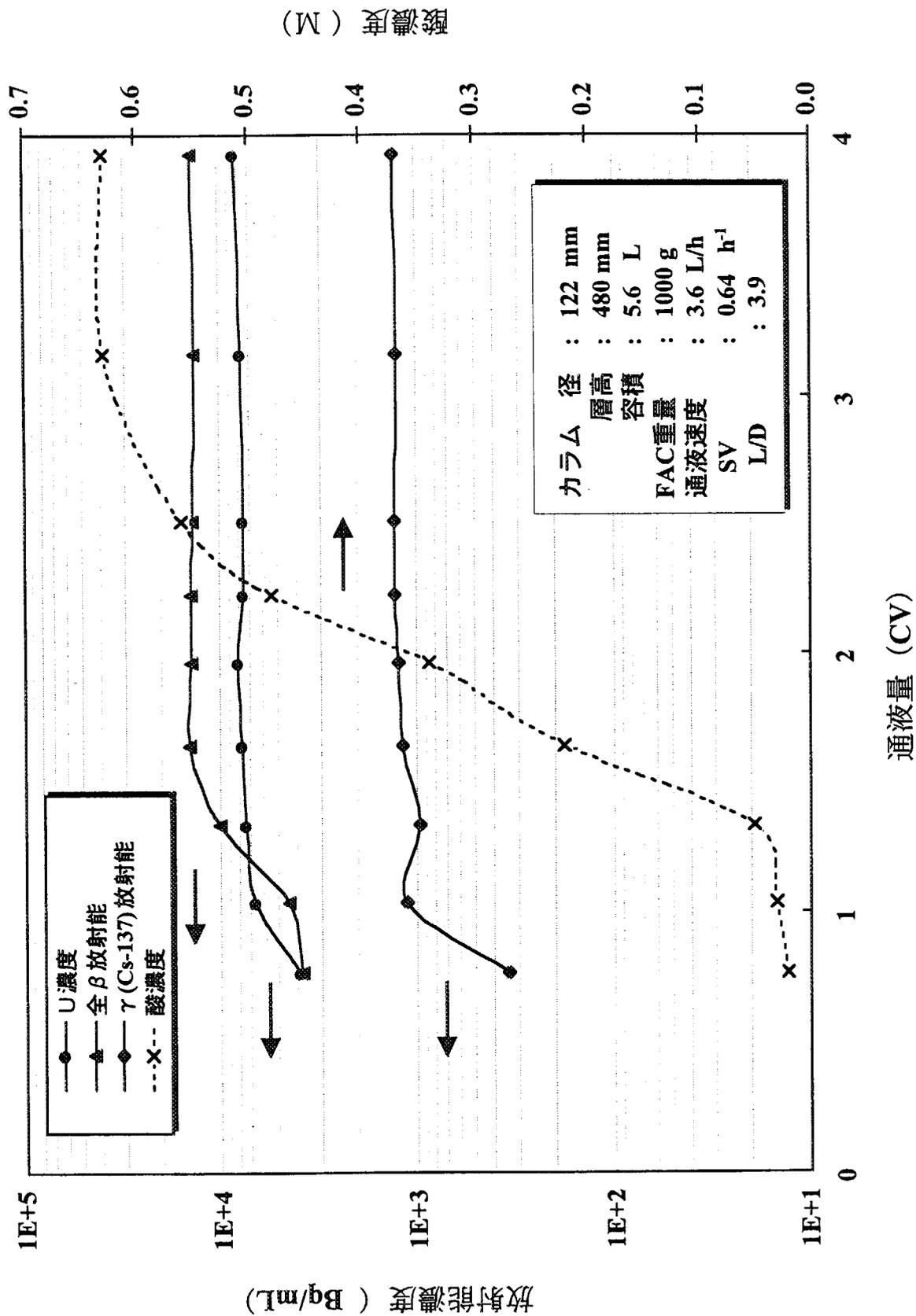


図-13 共存成分の漏出曲線

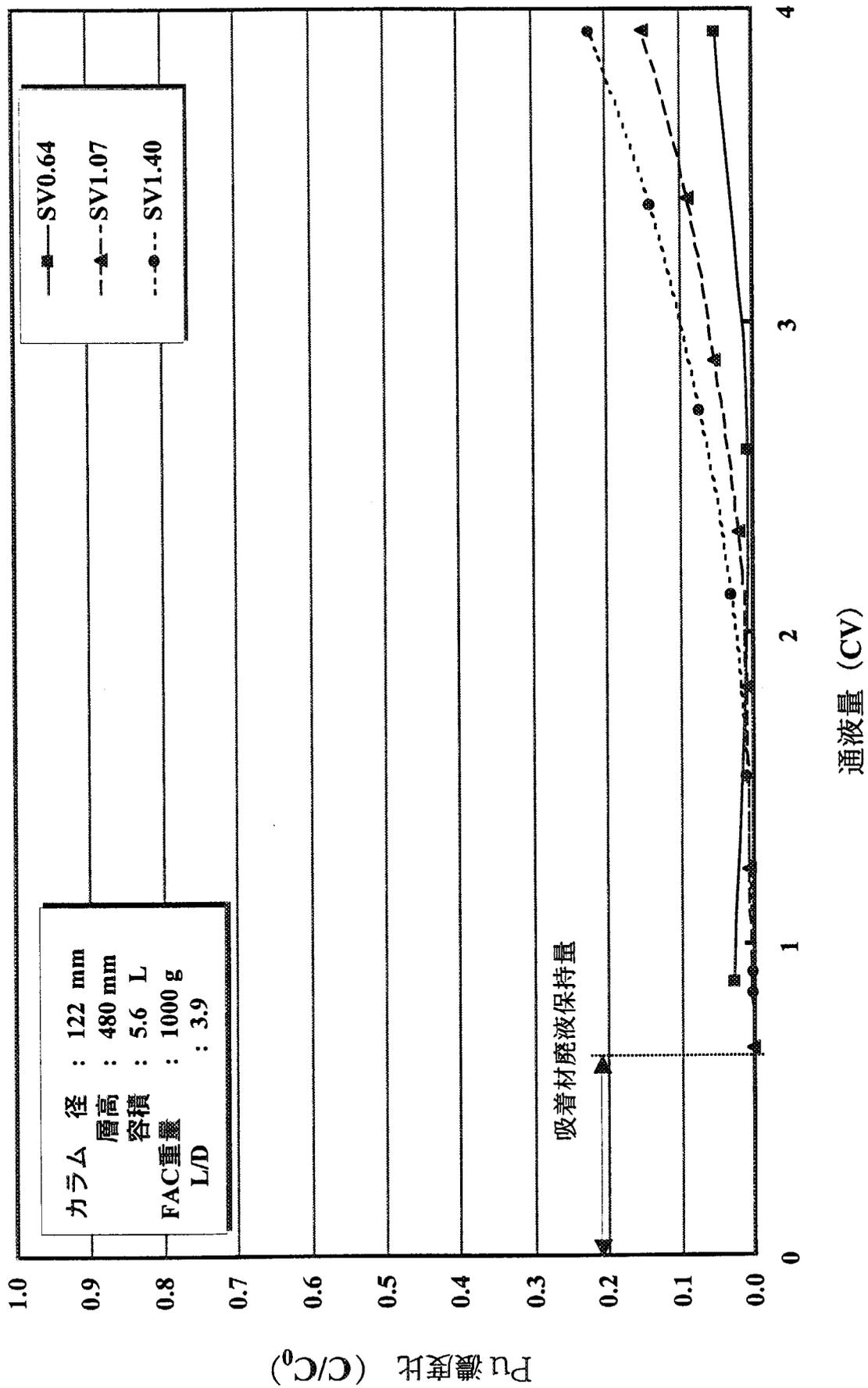


図-14 Pu吸着性能に及ぼすSVの影響

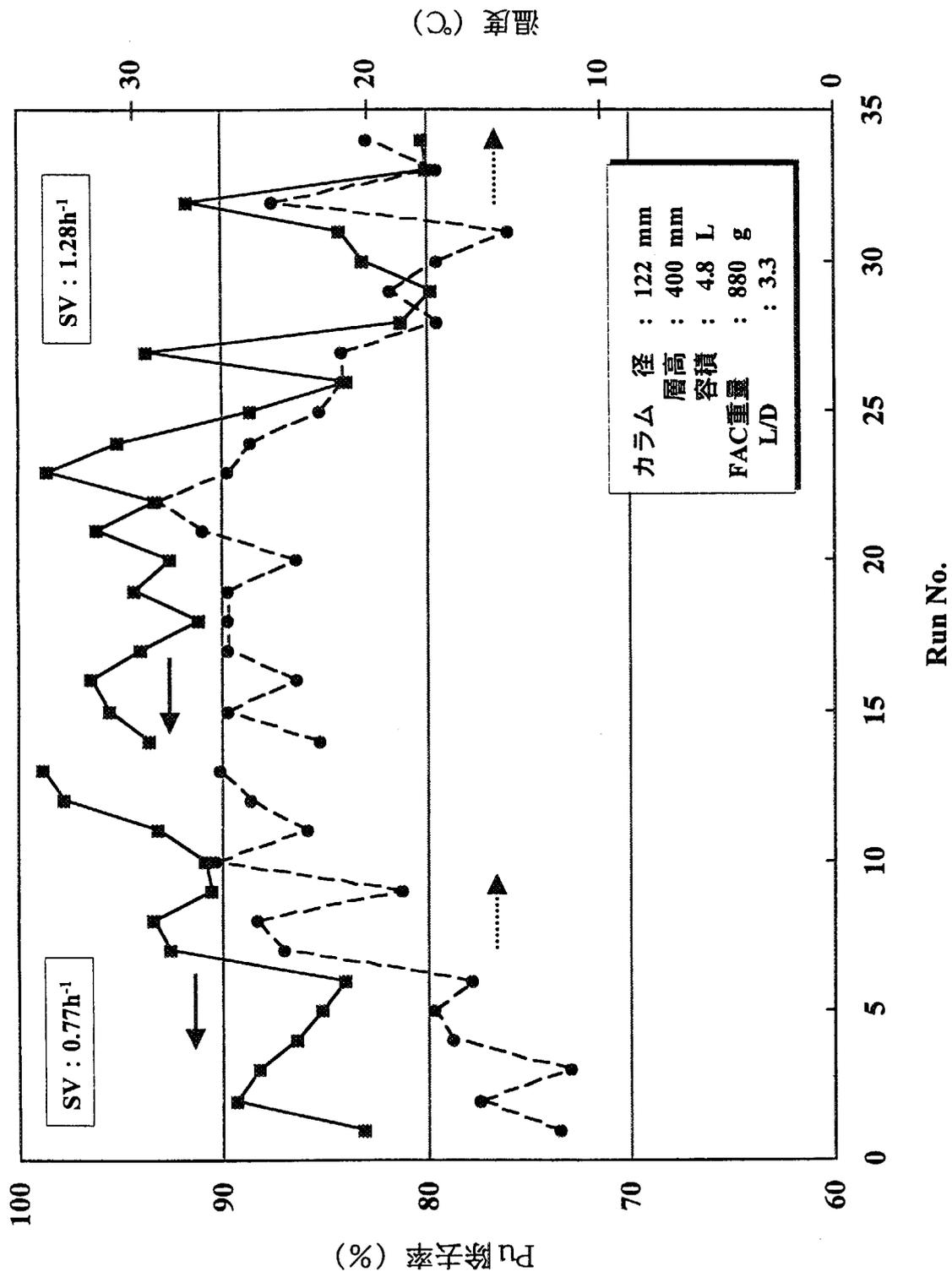


図-15 Pu吸着性能に及ぼす温度の影響

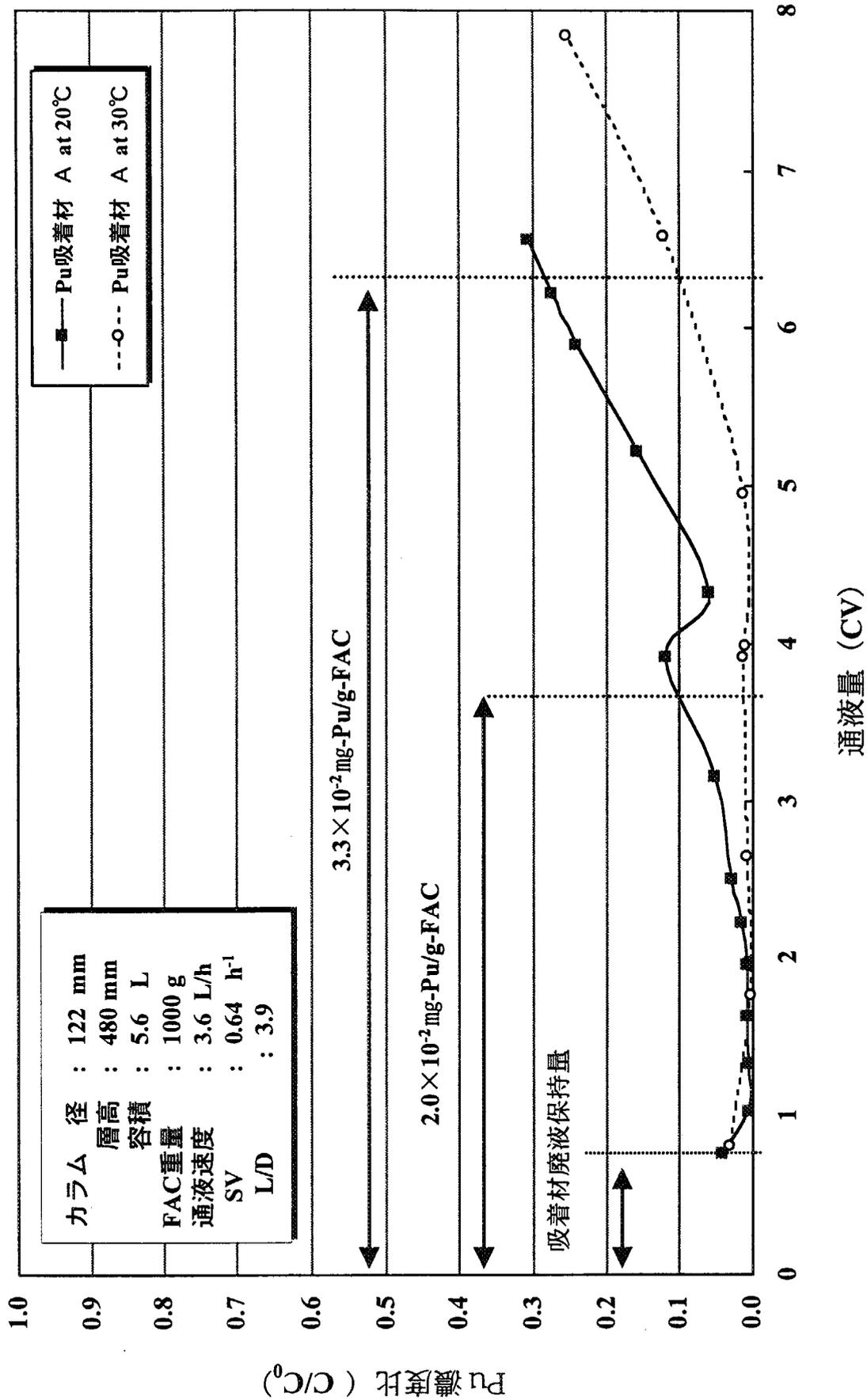


図-16 Pu吸着性能に及ぼす温度の影響

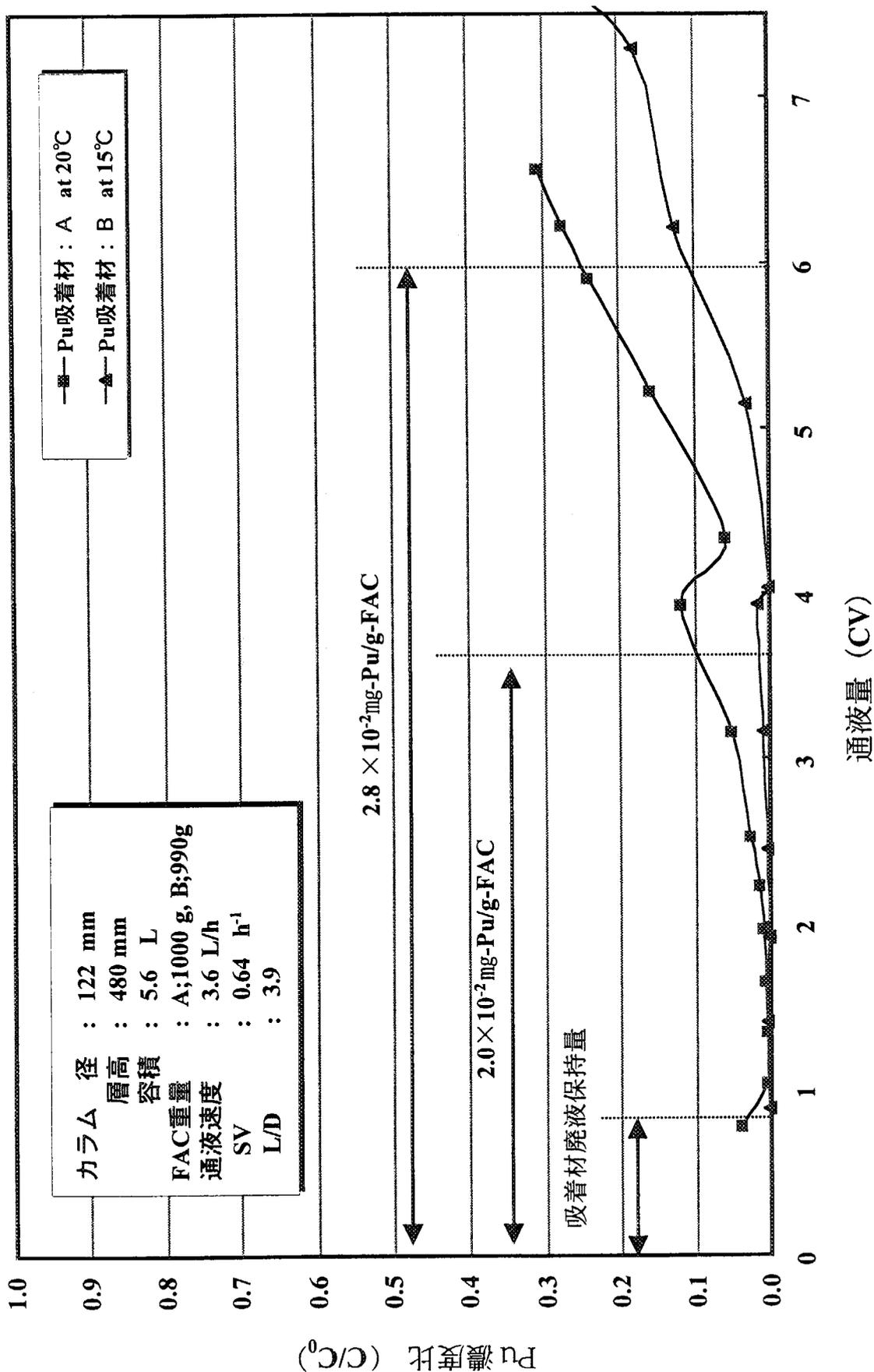


図-17 Pu吸着材比較試験

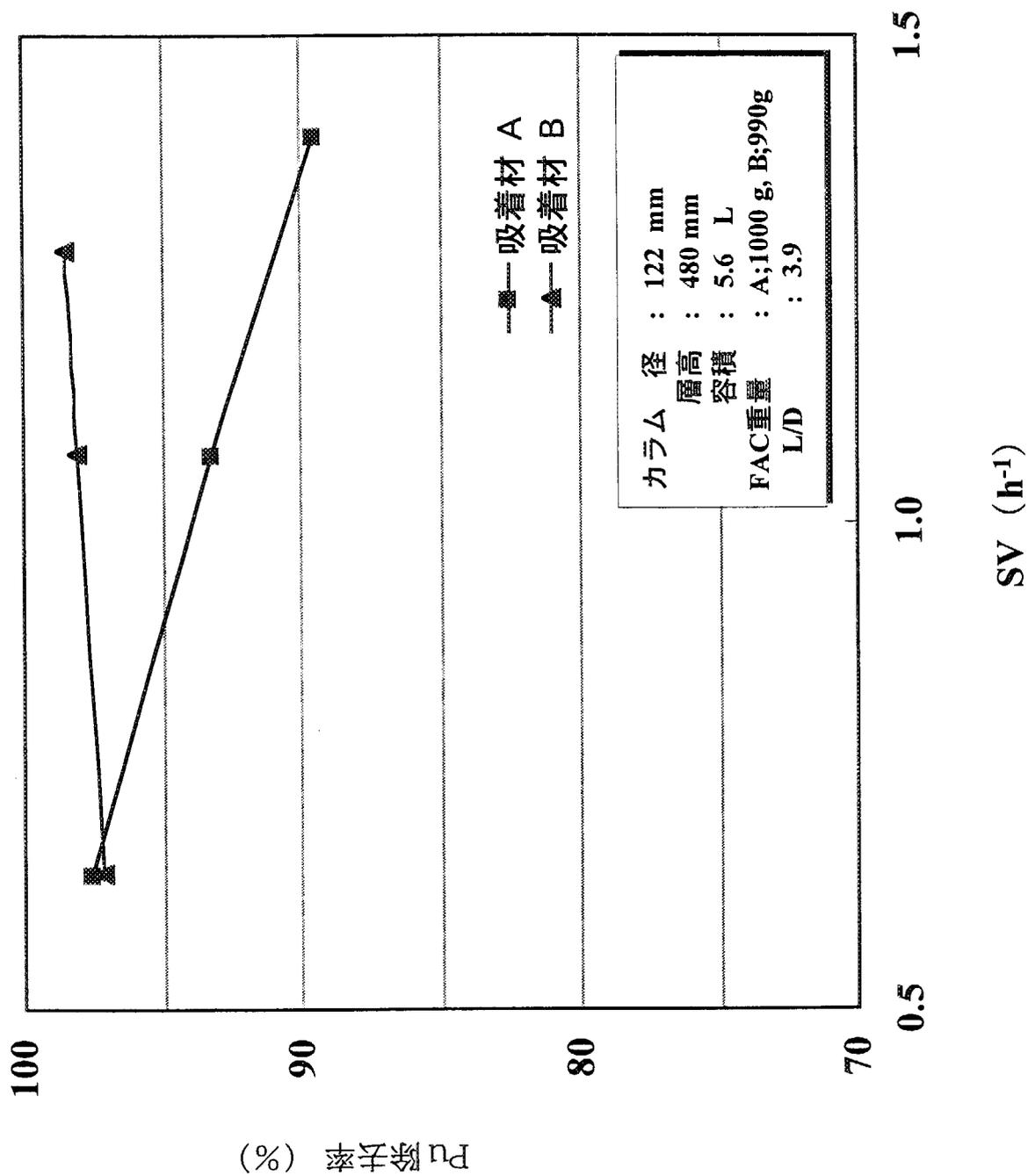
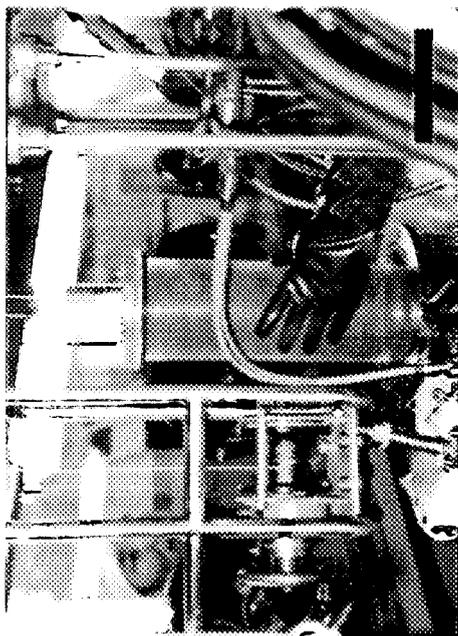
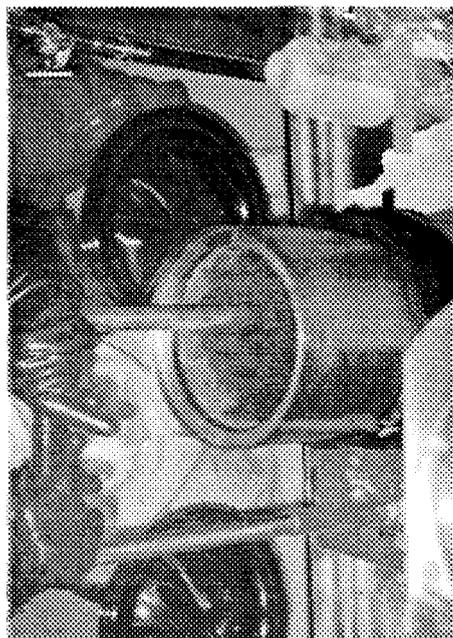


図-18 Pu吸着材比較試験 (SVの影響)

This is a blank page.



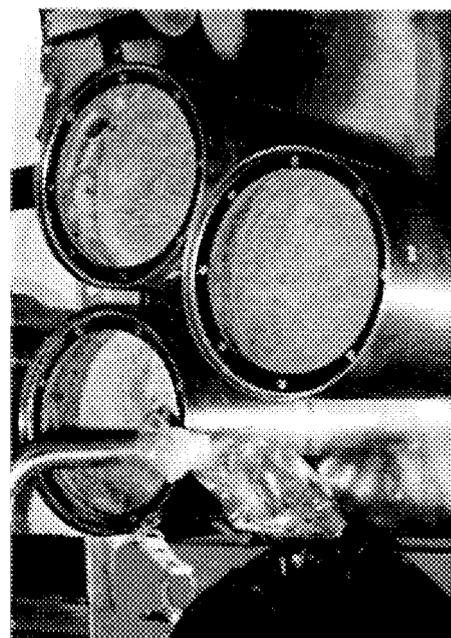
(写真-1 繊維状吸着材カラム抜き出し)



(写真-3 セメント固化処理)



(写真-2 使用済み吸着材)



(写真-4 セメント固化体)

図-19 セメント固化処理状況

This is a blank page.

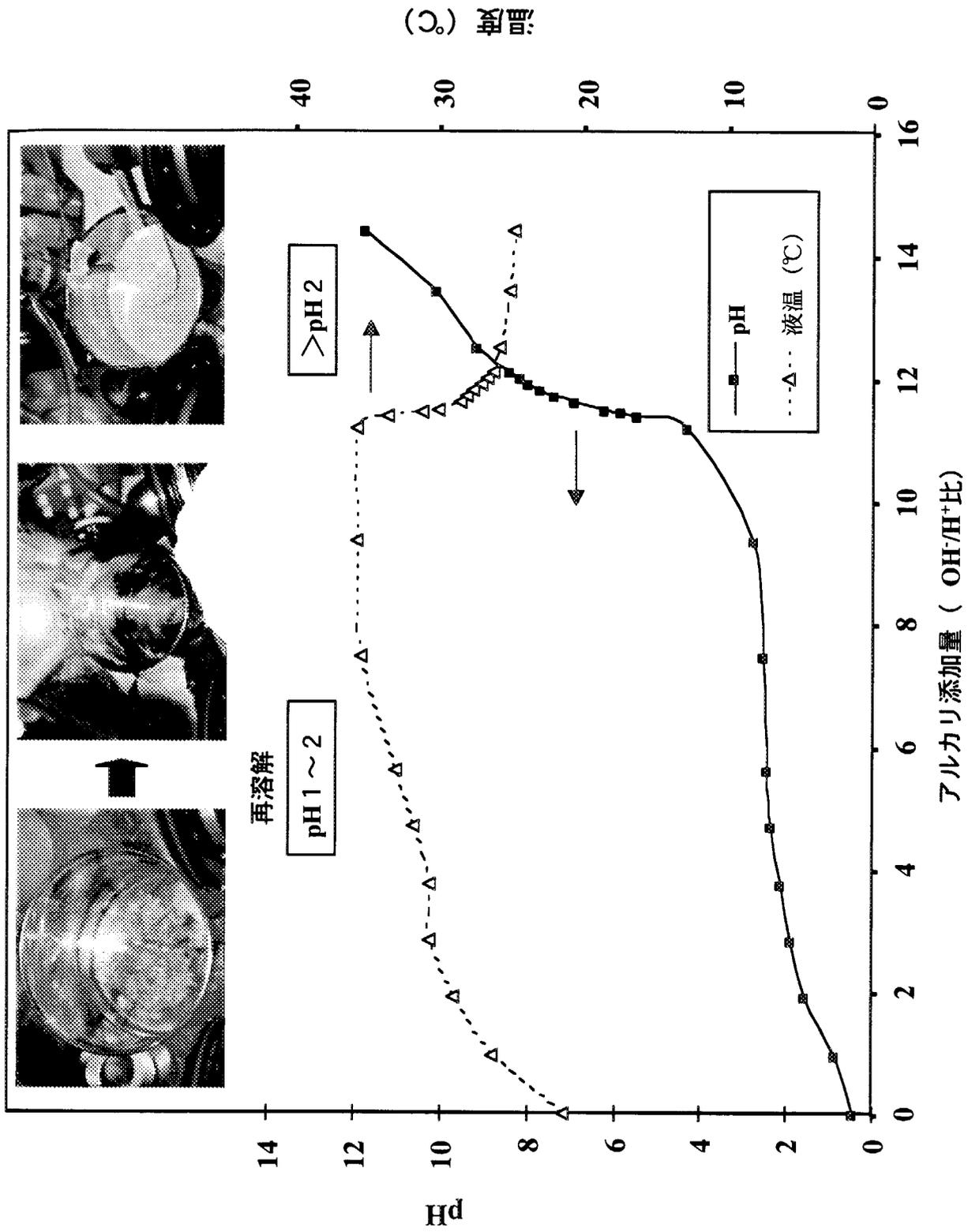


図-20 処理済液の中和処理

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
物質の量	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 ⁻¹
力	ニュートン	N	m·kg/s ²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N·m
工率, 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	ジーメンズ	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
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	ルーメン	lm	cd·sr
照射度	ルクス	lx	lm/m ²
放射能	ベクレル	Bq	s ⁻¹
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
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

1 eV = 1.60218 × 10⁻¹⁹ J
1 u = 1.66054 × 10⁻²⁷ 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	b
バール	bar
ガリ	Gal
キュリー	Ci
レントゲン	R
ラド	rad
レム	rem

1 Å = 0.1 nm = 10⁻¹⁰ m
1 b = 100 fm² = 10⁻²⁸ m²
1 bar = 0.1 MPa = 10⁵ Pa
1 Gal = 1 cm/s² = 10⁻² m/s²
1 Ci = 3.7 × 10¹⁰ Bq
1 R = 2.58 × 10⁻⁴ C/kg
1 rad = 1 cGy = 10⁻² Gy
1 rem = 1 cSv = 10⁻² 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, 1 eV および 1 u 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, ヘクト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わす場合に限り表 2 のカテゴリに分類されている。
- EC 閣僚理事会指令では bar, barn および「血圧の単位」mmHg を表 2 のカテゴリに入れている。

換算表

力	N (=10 ⁵ dyn)	kgf	lbf
	1	0.101972	0.224809
	9.80665	1	2.20462
	4.44822	0.453592	1

粘度 1 Pa·s (=1 N·s/m²) = 10 P (ポアズ) (g/(cm·s))

動粘度 1 m²/s = 10⁴ St (ストークス) (cm²/s)

圧	MPa (=10 bar)	kgf/cm ²	atm	mmHg (Torr)	lbf/in ² (psi)
	1	10.1972	9.86923	75.0062 × 10 ³	145.038
力	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	0.101325	1.03323	1	760	14.6959
	1.33322 × 10 ⁻⁴	1.35951 × 10 ⁻³	1.31579 × 10 ⁻³	1	1.93368 × 10 ⁻²
	6.89476 × 10 ⁻³	7.03070 × 10 ⁻²	6.80460 × 10 ⁻²	51.7149	1

エネルギー・仕事・熱量	J (=10 ⁷ erg)	kgf·m	kW·h	cal (計量法)	Btu	ft·lbf	eV
	1	0.101972	2.77778 × 10 ⁻⁷	0.238889	9.47813 × 10 ⁻⁴	0.737562	6.24150 × 10 ¹⁸
	9.80665	1	2.72407 × 10 ⁻⁶	2.34270	9.29487 × 10 ⁻³	7.23301	6.12082 × 10 ¹⁹
	3.6 × 10 ⁶	3.67098 × 10 ⁵	1	8.59999 × 10 ⁵	3412.13	2.65522 × 10 ⁶	2.24694 × 10 ²⁵
	4.18605	0.426858	1.16279 × 10 ⁻⁶	1	3.96759 × 10 ⁻³	3.08747	2.61272 × 10 ¹⁹
	1055.06	107.586	2.93072 × 10 ⁻⁴	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 ²¹
	1.35582	0.138255	3.76616 × 10 ⁻⁷	0.323890	1.28506 × 10 ⁻³	1	8.46233 × 10 ¹⁸
	1.60218 × 10 ⁻¹⁹	1.63377 × 10 ⁻²⁰	4.45050 × 10 ⁻²⁶	3.82743 × 10 ⁻²⁰	1.51857 × 10 ⁻²²	1.18171 × 10 ⁻¹⁹	1

1 cal = 4.18605 J (計量法)
= 4.184 J (熱化学)
= 4.1855 J (15 °C)
= 4.1868 J (国際蒸気表)
仕事率 1 PS (仏馬力)
= 75 kgf·m/s
= 735.499 W

放射能	Bq	Ci
	1	2.70270 × 10 ⁻¹¹
	3.7 × 10 ¹⁰	1

吸収線量	Gy	rad
	1	100
	0.01	1

照射線量	C/kg	R
	1	3876
	2.58 × 10 ⁻⁴	1

線量当量	Sv	rem
	1	100
	0.01	1

