

本資料は 年 月 日付けで登録区分、
変更する。 2001. 6. 6

[技術情報室]

再処理高レベル廃液中のTRU元素の湿式分離研究

CMPO に対する高レベル廃液中のFP, TRU 元素の分配
及び小型ミキサ・セトラによるフローシート評価試験 [I]

1991年6月

動力炉・核燃料開発事業団
東海事業所

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

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

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

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2001



再処理高レベル廃液中の TRU 元素の湿式分離研究

CMPO に対する高レベル廃液中の FP, TRU 元素の分配
及び小型ミキサ・セトラによるフローシート評価試験 [I]

実施責任者 富樫 昭夫

報告者 根本 慎一, 野村 和則, 坂井 敏幸

木村 通, 栗林 正和

要 旨

再処理高レベル廃液中に含まれている超ウラン元素 (TRU) の除去を目的とし, 1990 年度より基礎研究を開始した。本基礎試験では, 米国アルゴンヌ国立研究所で開発された TRUEX プロセス (TRans Uranium EXtraction) をベースに, 高レベル廃液への適用性の検討を行った。試験ではバッチ抽出法及び小型ミキサ・セトラによる連続抽出法により, CFP 高レベル廃液中の主要核種の挙動を調べた。以下に結果の概要を示す。

- (1) TRUEX 法で用いられている CMPO 抽出剤は, 硝酸濃度が約 4 N の高レベル廃液からでも十分に高い分配比で Am を抽出できる。
- (2) 硝酸濃度を 0.01 N 程度に低めることより, Am を逆抽出することも容易であった。
- (3) 共存する希土類元素に対しても同様な挙動が確認され, Am とほぼ同じ分配比であった。このことは, Am/RE の分離技術開発の必要性を示す結果もある。
- (4) 核分裂生成物 (FP) の中では Ru が挙動上問題であった。つまりフィード中の Ru の約 10 % が Am と共に抽出される。かつ, Ru の分配比は抽出部で約 0.1 であるのに対し, 洗浄部では約 10 と大きな値になることが判った。
- (5) 本試験では Zr のスクラブ効果を向上させる為, シュウ酸を洗浄剤に添加した。その結果, 洗浄部上段 (洗浄液の供給段) において Ce, Eu 等の沈殿の発生が見られた。

以上, 本研究を通し CMPO を抽出剤とする TRUEX 法の高レベル廃液への適用性の評価を行った結果, 上記の様に基本的には TRU 等に対して優れた抽出剤であることが判った。又, 高レベル廃液へ適用するに当たって開発しなければならない課題を明かとした。

目 次

1. 序 論	1
2. 高レベル廃液	3
3. 試 験	4
3.1 バッチ抽出法による基礎試験	4
3.1.1 試験装置及び器具	4
3.1.2 試験試薬	4
3.1.3 試験パラメータ	5
3.1.4 試験方法	5
3.2 小型ミキサ・セトラによる連続抽出試験	6
3.2.1 フローシートの選定	6
3.2.2 試験装置	6
3.2.3 試験試薬	6
3.2.4 試験方法	7
4. 結果及び考察	8
4.1 バッチ抽出法による基礎試験	8
4.1.1 結 果	8
4.1.2 考 察	9
4.2 小型ミキサ・セトラによる連続抽出試験	11
4.2.1 結 果	11
4.2.2 考 察	12
5. ま と め	14
6. 今後の課題	16
7. 謝 辞	17
8. 参考文献	18

1. 序 論

Purex 法による使用済燃料の再処理プロセスにより、燃料溶解液は U, Pu とその他の元素に分解される。U, Pu はさらに分離・精製され、U 製品, Pu 製品として回収される。一方、その他の元素を含む高レベル廃液は、より安定なガラス固化体へ変換し、深地層に保管処分される計画となっている。⁽¹⁾

再処理に伴って生ずる高レベル廃液中には多数の金属イオンが含まれ、種々の観点から幅広い研究対象を提供している。このなかで近年、オメガ計画にも見られるような、湿式分離法を中心とする核種分離技術が注目されており、これが高レベル廃棄物の処分上有利ではないかという議論がなされている。また、各国においても次世代再処理技術の高度化の一環のために核種分離技術を含めた研究開発を進めるとの動きも見られる。⁽²⁾

本報告書は、平成 2 年度より着手した、再処理高レベル廃液中の TRU 元素の湿式分離研究の一環として実施した、CMPO による基礎及び小型ミキサ・セトラ連続試験の結果についてまとめたものである。

FBR 燃料用の本格的な再処理施設が未だ存在していない現在、将来再処理技術としての開発・研究項目が数多くあり、その可能性のひとつとして TRU の湿式分離回収技術がある。従来行われている Purex 法では、U, Pu の回収に主眼を置いているが、さらに他の TRU をも回収し、核燃料サイクルの中に取り込んでいく、といった新たなプロセス開発の研究も進められている。⁽³⁾

高レベル廃液から U を含む TRU を他の F.P. と分離する研究は、これまでにいくつか行われてきた。これまでに開発されてきた抽出剤を示すと、

D2EHPA	(酸性リン酸エステル)	KfK, 他
DIDPA	(")	原研
DBBP	(中性リン酸エステル)	BNWL, PNC
TBP	(")	Purex
CMPO	(中性二座有機リン酸)	ANL

などがある。⁽⁴⁾

D2EHPA は 3 価の原子価を有する Am, Cm の抽出分離に用いられてきているが、抽出条件を pH 領域 ($10^{-3} \sim 10^{-5}$ N) とする必要がある。このため、高レベル廃液を脱酸したのちに抽出操作が行われる。これに対して DIDPA は、中性度 (約 0.5 N) の酸からも抽出が可能であるが、脱硝工程が必要とされる。

一方、DBBP は TBP と抽出反応が同じであり、適当な塩折剤を選ぶことにより抽出性を改善できる。

今回、我々が使用した CMPO は、これらの溶媒と異なり、酸性度が高レベル廃液と同等の硝酸条件下においても十分な抽出性を示す。特に、Pu に対する抽出性は極めて高いものであるが、そのため、逆抽出にはフッ化水素の添加といった操作を必要とする。

我々は、再処理高レベル廃液と同等の硝酸濃度条件で十分な抽出性を示す CMPO に注目し、再処理工程から発生した高レベル廃液に対する TRU 分離性能を調べることにした。すなわち、TRUEX 法を基本とした再処理高レベル廃液からの TRU 分離のためのフローシート開発を目的に、まず本年度は、CMPO の TRU 抽出性能確認及び高レベル廃液中に含まれる元素のうち挙動上問題となる核種並びにその問題点の抽出を行うことにした。

参考として、ANL より報告のあった U 及び TRU の CMPO に対する分配比の酸濃度依存性を表わしたグラフを図-1 に示す。

2. 高レベル廃液

表-1 に FBR 及び LWR の使用済燃料の再処理工程より発生した高レベル廃液の組成を示す。⁶⁾ この表-1 から、全 γ 放射能に対する各核種の γ 放射能の割合を表わしたグラフを図-2 に示した。この図-2 から、FBR 及び LWR の使用済燃料再処理高レベル廃液中の γ 核種の存在率はほぼ同じ傾向にあることがわかる。このうち、Cs の存在率が最も高く、およそ 40 ~ 50 % 程度を占めている。また、Ce や Eu に代表される希土類元素の存在比は 40 % 程度であった。

図-3 には全ての放射能に対する各 α 放射能の割合を表わしたグラフを示した。90 % 以上が Am 及び Cm といった 3 個の原子価を持つ超プルトニウム元素であり、 α 核種の大部分を占めている。

本試験は FBR 使用済燃料の再処理試験から発生した高レベル廃液を対象として行ったものであるが、このように、燃焼度、燃料組成及び再処理工程の規模による若干の違いがあるものの、FBR、LWR の両高レベル廃液組成が存在率としてはよく似た傾向にあるということから、本研究の成果が LWR 再処理高レベル廃液にも応用できる可能性は大きい。

3. 試 験

試験は高速炉使用済燃料の再処理試験で発生した高レベル廃液を用い、CPF に於いて実施した。実施した試験は大きく分けて、以下に示す2試験である。

1) バッチ抽出法による基礎試験

抽出剤濃度、水相中の硝酸、錯化剤、 NO_3^- 濃度等をパラメーターとした系にF再高レベル廃液を添加し、含有放射性物質の分配平衡データを採取した。この結果より、抽出メカニズムの検討や連続抽出条件の設定を行った。

2) 小型ミキサ・セトラによる連続抽出試験

バッチ試験の結果と文献情報をもとに基本的なフローシートを選定し、連続運転によるCMPOの抽出分離性能を調べ、再処理廃液からのTRU分離法（TRUEX法）の課題抽出を行った。

3.1 バッチ抽出法による基礎試験

3.1.1 試験装置及び器具

◦ サンプル容器 (20 ml)

予め調整されたCMPO溶媒及び硝酸溶液を必要量だけ入れておく容器。これをそのまま利用し、抽出操作時の容器としても利用した。

◦ 振とう機

セル内でのマニピュレータによる遠隔操作作業の負担を軽減するため、有機相-水相の攪拌振とう機を使用した。従来の振とう機は分液ロート(100 ml)を最大4本まで振とう可能な装置であったが、試験の効率化を計り、容器の取り付け治具を改良、サンプル容器10本まで振とう可能なものとした。

◦ ろ紙及びロート

有機相-水相の相分離にはろ紙及びロートを使用した。

3.1.2 試験試薬

- 硝酸 (HNO_3) : MW = 63.01, 特級
- 硝酸ナトリウム (NaNO_3) : MW = 84.99, 特級
- シュウ酸 ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$) : MW = 126.07, 特級
- OφD [iB] CMPO ($\text{C}_{24}\text{H}_{42}\text{NO}_2\text{P}$) : MW = 407.58
- TBP ($\text{C}_{12}\text{H}_{27}\text{O}_4\text{P}$) : MW = 266.32, 特級
- n-ドデカン ($\text{C}_{12}\text{H}_{26}\text{N}_2$) : MW = 170.34, 特級

3.1.3 試験パラメータ

試験パラメータは硝酸濃度、硝酸根濃度、錯化剤濃度を変化させた。各パラメータの値は以下に示す通りである。パラメータの組合せ等詳細については表-2～表-4に示した。

◦硝酸濃度

0.05, 0.14, 0.51, 0.96, 3.18, 5.85 N

◦硝酸根濃度

0.14, 0.5, 1.0, 3.0, 6.0 M

◦錯化剤濃度 (シュウ酸)

0.01, 0.05, 0.1, 0.2 M

3.1.4 試験方法

試験のフローを図-4に示した。以下、抽出剤の前処理、酸平衡及び抽出の方法について簡単に説明する。

3.1.4.1 抽出剤の前処理

CMPOの洗浄については、 NaCO_3 を洗浄剤として以下に示す方法で行った。なお、本法はCPFでのTBP洗浄法に従ったものである。

- ① 0.5 M- NaCO_3 と、同量のCMPOを混合する。
- ② 混合液を10分間攪拌する。
- ③ 攪拌後十分に静置した後有水分離を行い、水相は廃棄処分する。
- ④ 残った有機相にこれと同量の0.5 M- NaCO_3 を加え、②、③の操作を行う。
- ⑤ 残った有機相に、やはり同量の0.02 M- HNO_3 を加え、②、③の操作を行い、以上で抽出剤の洗浄(前処理)を終了とする。

3.1.4.2 酸平衡処理

水相-有機相混合による硝酸変動を極力少なくするよう、抽出剤をセル内に搬入する前に、試験パラメータに合わせた酸平衡処理を行った。

- ① 試験で用いるCMPOを混合溶媒と試験で用いるのと同じ条件の硝酸溶液を各々8 ml用意する。
- ② 添加する高レベル廃液と同じ酸濃度の硝酸1 mlを①で用意した硝酸溶液に添加する。
- ③ CMPO混合溶媒と②の硝酸溶液を混合、10分間攪拌した後、静置・相分離を行う。
- ④ 水相は廃棄し、有機相はRIカプセルに取り、以上で酸平衡処理を終了とする。

3.1.4.3 抽出試験

- ① 前処理、酸平衡を行ったCMPO抽出剤と硝酸溶液をセル内へ搬入する。
- ② 硝酸溶液に高レベル廃液1 mlを加える。
- ③ これにCMPO混合溶媒8 mlを加える。
- ④ このRIカプセルを改良したホルダーに取り付け、振とう機にセット、10分間攪拌する。

- ⑤ ホルダーを取りはずし、RI カプセルを取り出す。
- ⑥ 予め用意しておいたロートとろ紙を用いて相分離を行う。
- ⑦ 相分離した有機相-水相を RI カプセルに取り、サンプルとして分析依頼する。

3.2 小型ミキサ・セトラによる連続抽出試験

3.2.1 フローシートの選定

W.W.Schulz らにより紹介されている、FPF (Plutonium Finishing Plant) で発生した廃液から Pu, Am を除去/回収するためのケミカル・フローシートを図-5 に示す。

このフローシートでは、1.5 M 硝酸濃度の廃液を Feed 液として供給している。この Feed 中には、F.P. 元素は含まれていない。抽出部でこの Feed と 0.25 M-CMPO/0.75 M-TBP 混合溶液を接触させた後、0.25 M の希硝酸で溶媒を洗浄している。次に、さらに薄い 0.05 M の硝酸で逆抽出を行い、これによりほとんどの Am を回収している。一方、Pu は 0.05 M という低い酸濃度領域でも、溶媒中に抽出されたままであり、ほとんど回収されていない。このフローシートでは、さらにフッ酸を加えることにより Pu の逆抽出を行っている。

我々は、F.P. 元素を含む FBR 使用済燃料再処理基礎試験で発生した高レベル廃液を Feed 液とした場合の、この TRUEX PROCESS フローシートの基本的な評価をすることを目的として、バッチ試験結果も参考にして、図-6 に示したフローシートを選定し試験を実施した。選定したフローシートの主な特徴は、以下に示す 3 点である。

- ① Feed 液として、F.P. 元素を含む 4 N の FBR 燃料再処理廃液を用いた。
- ② Zr の洗浄を考慮し、洗浄液には 0.1 M のシュウ酸を加えた。
- ③ フッ酸は使用せずに希硝酸による逆抽出のみとし、各核種の挙動を追うこととした。

3.2.2 試験装置

連続試験には実験室用小型ミキサ・セトラ (Sonal 社製, Cyrano 型: ミキサ部 6 ml/段, セトラ部 17 ml/段, 段数 16) を 2 つのセル (CA-3, CA-4) に設置し、使用した。抽出溶媒、高レベル廃液、洗浄液は CA-3 セル内に設置した小型微量定量ポンプ (協和精密製) でミキサ・セトラに所定の流量で供給した。

セル壁をまたがるミキサ・セトラ間の抽出溶媒の移送には、同小型ポンプを用いた。逆抽出液は、実験室 A からセル壁貫通配管を通し CA-4 セル内ミキサ・セトラに供給した。

ミキサ・セトラからの流出液受槽は、総て 3 l のポリタンを用い、それらには図-6 に従った表示をした。

3.2.3 試験試薬

・抽出溶媒:

0.2 M の CMPO となる様に 30 % TBP/n-ドデカンで溶解調整した溶媒を使用した。尚、30 % TBP は DBP 等の不純物を除去するため、予めアルカリ及び酸洗浄を施したも

のを用いた。

• 高レベル廃液：

今回用いた高レベル廃液中の Pu 濃度が極めて低いため、分析に困難を伴うことが予想された。従って、CA-4セル内に保管している回収 Pu (3.01 g/l) を 14 ml 添加した。

• 洗浄液：

0.3 N 硝酸-0.1 mol/l シュウ酸混合溶液

• 逆抽出液：

0.01 N 硝酸溶液

3.2.4 試験方法

試験は先ず、流量の調整、セトラ部の界面の調整を十分に行うために高レベル廃液の代わりに硝酸溶液を用い、その他は条件通りの溶液を供給した。流量及び界面の調整が終了した後、高レベル廃液に切り換えホット試験を開始した。図-6に流量条件を示す。

ミキサ・セトラ運転終了後、各段のサンプリングを行った。

4. 結果及び考察

4.1 バッチ抽出法による基礎試験

4.1.1 結果

表-5～7に各パラメータ試験の結果を示す。

表-5 硝酸濃度依存性

表-6 硝酸銀濃度依存性

表-7 錯化剤濃度依存性

これらの表には、各核種の水相中濃度に対する有機相濃度の割合、すなわち分配比 D も示してある。これらの分配比を縦軸に、各パラメータを横軸にとり、プロットしたグラフを各々図-7～9に示した。

図-7 硝酸濃度依存性

図-8 硝酸根濃度依存性

図-9 錯化剤濃度依存性

- Sb, Cs -

Sb, Cs は、ほとんど溶媒に抽出されなかった(表-5)。Sb は分析限界以下として有機相中には検出されなかったため、分配比を求めることはできなかったが、Cs についても有機相中に検出された量は極微量であり、いずれの硝酸濃度領域においてもほぼ 10^{-3} 以下という値になっている。また、図-8及び図-9からもわかるように、塩折剤や錯化剤の添加による影響もほとんど認められず、やはり溶媒にはほとんど抽出されないことが判った。

- Ru -

硝酸濃度依存性を示したグラフ(図-7)をみると、Ru は分配比 $D = 0.1$ 前後の値を示しており、あまり有機相に抽出されないことがわかる。このことは、U を含む TRU との分離を考えた場合、高レベル廃液中に留めておくという点で有利なことであるといえる。また、硝酸根濃度依存性(図-8)及び錯化剤濃度依存性(図-9)については、これらの添加による Ru への影響はほとんど認められない。

- 希土類元素 -

硝酸濃度依存性からわかるように、Ce, Pr, Eu はいずれも同じ挙動をとっている。また図-7には比較として、前に示した Am の分配比の文献値も表わしたが、Am についても同じ挙動をとっていることがわかる。図-8の硝酸根濃度依存性をみると、Ce の分配比 D がほぼ硝酸根濃度の3乗(勾配3)に比例して上昇していることがわかる。一方、図-9(錯化剤濃度依存性)の Ce の変化をみると、添加したシュウ酸の濃度がある値 ($0.05 \sim 0.1 \text{ mol/l}$) を越えてから、Ce の分配比が低下していく様子が認められる。

4.1.2 考 察

- Zr -

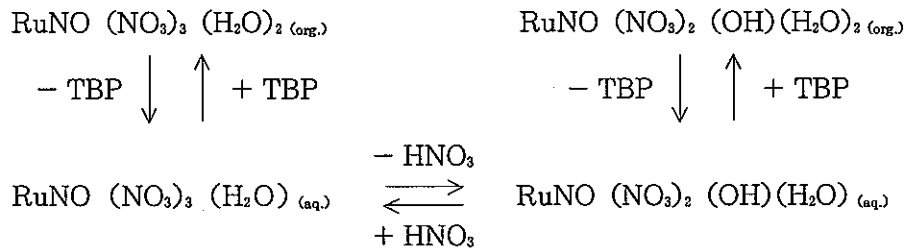
図-9から、硝酸濃度条件が他の核種とは異なるものの、シュウ酸添加によりZrの分配比Dが低下するという結果を得ている。ZrはCMPO-TBP混合溶媒に対し、硝酸溶液中からよく抽出されるので、これを洗浄する方法としてシュウ酸のような錯化剤を添加することが有効であると考えられる。

- Sb, Cs -

Sb, Csは図-7~8からCMPO-TBP混合溶媒にほとんど抽出されないという結果を得た。従って、U及びTRUとの分離を考えた場合、高レベル廃液に留めておくという点で、特に問題になる核種とはならないものと考えられる。

- Ru -

Ruは、Sb, Csに比べて分配比は高いが、値は0.1程度と低く、大部分は抽出されずに高レベル廃液に留めておくことができるものと考えられる。しかしながらRuは、Purex法でも知られているように、硝酸溶液中で複雑な化学形をとることが知られており、一旦抽出されたRuの洗浄に注意しなければならない。一般に問題とされるRuの複雑な挙動は、硝酸溶液中に共存する亜硝酸によるものとされている。¹³⁾すなわち、亜硝酸が存在しなければRuは硝酸溶液中で4価の硝酸ルテニウムとなるが、亜硝酸を含む系ではニトロシルルテニウムイオンを生成するようになる。このイオンは、非常に多くの錯塩(NO₃⁻, NO₂⁻, OH⁻, H₂Oのような配位子も含む)中に存在し、かつ、それら錯塩は容易に相互交換する。また、溶液の条件が変わると異った錯塩間に新しい平衡状態が確立される。ちなみに、硝酸ルテニウムは、TBPに対し低い抽出性を示す。また、Ruのニトロシル錯体の化学形からTBPへの抽出反応は次に示すように、



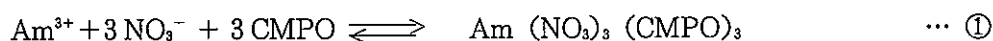
Highly Extractable

Poorly Extractable

トリニトラトニトロシルルテニウムはジニトラトニトロシルルテニウムよりもTBPへの抽出性が高い。¹³⁾ 図-8及び図-9を見る限りでは、塩折剤や錯化剤の添加によるRuへの影響はほとんど認められない。しかしながら、温度依存性(高温下で除染係数はトリニトラトニトロシルルテニウムに支配される。)の報告もされていることから、その他の要因変化に依存性を持つことが考えられる。

- 希土類元素 -

Ce等の希土類元素は、いずれも同じ抽出挙動をとり、また、Amとも同じ挙動をとるといった結果を得た。一般に、3価の原子価を有する希土類元素は化学的に同じ挙動をとり、同じく3価の原子価を有する超プルトニウム元素のAm, Cmもまた同じような挙動をとるといわれている。ANLからの報告に、CMPOによるAmの抽出反応式として次のような反応式が示されている。



①式から平衡定数Kは、

$$K = \frac{[\text{Am} (\text{NO}_3)_3 (\text{CMPO})_3]_{\text{org.}}}{[\text{Am}^{3+}]_{\text{aq.}} [\text{NO}_3^-]_{\text{aq.}}^3 [\text{CMPO}]_{\text{org.}}^3} \quad \dots \textcircled{2}$$

となり、さらにこれを用いて分配比Dを表すと、

$$D = K [\text{NO}_3^-]^3 [\text{CMPO}]^3 \quad \dots \textcircled{3}$$

となる。③式から、分配比Dは硝酸根濃度の3乗、またCMPO濃度の3乗に比例することがわかる。ここで、硝酸根濃度及びCMPO濃度を各々一定の条件とすると、

$$\text{NO}_3^- \text{ const. : } \log D = 3 \log [\text{CMPO}] + \text{const.} \quad \dots \textcircled{4}$$

$$\text{CMPO const. : } \log D = 3 \log [\text{NO}_3^-] + \text{const.} \quad \dots \textcircled{5}$$

で表される。従って、これらの関係を両対数で表わせば、その勾配は3となる。

図-10は硝酸濃度を一定とした系での、分配比のCMPO濃度依存性を示したHorwitzらの結果である。⁶⁾ Amの分配比DはCMPO濃度の3乗に比例し、④式を満足する結果となっている。Amの分配比の硝酸根濃度依存性についての報告は入手していないので、⑤式を確かめることはできなかった。しかしながら、図-8の本試験の硝酸根濃度依存性の結果をみると、Ceの分配比Dがほぼ硝酸根濃度の3乗(勾配3)に比例して上昇していることがわかる。これは⑤式と同じ傾向を示していることになる。この結果と、一般に3価の希土類元素とAmが同じ化学的性質をもつといわれることから、3価の原子価を持つ希土類元素に対しても①のような抽出反応式があてはまるものと考えられる。従って、3価の原子価を持つ元素M³⁺に対して①式のように、



という関係が成立するものと考えられる。

錯化剤の添加により、ある濃度から分配比が低下していること(図-9)と0.1N以下の硝

酸濃度領域で分配比が低いこと（図-7）から、Ceに代表される希土類元素については、一旦溶媒中に抽出されたものは希硝酸あるいはシュウ酸により洗浄することができると考えられる。また、Amと化学的挙動が同じであることから、希土類元素はこれを同伴する核種となると考えられる。

4.2 小型ミキサ・セトラによる連続抽出試験

4.2.1 結果

連続運転終了後にとった小型ミキサ・セトラバンク内の有機相及び水相サンプルの分析値を表-8～13に示した。

表-8～10 抽出-洗浄バンク

表-11～12 逆抽出バンク

表-13 硝酸濃度

小型ミキサ・セトラバンクのステージを横軸に、核種の濃度を縦軸にとり、プロットしたグラフを図-11～14に、また、硝酸濃度を縦軸にとったグラフを図-15～16に示した。

図-11～13 抽出-洗浄バンク濃度プロファイル

図-14 逆抽出バンク濃度プロファイル

図-15～16 硝酸濃度プロファイル

- Sb, Cs -

図-11はCsの濃度プロファイルのグラフである。比較のためにAmの濃度プロファイルを示してある。Csは抽出部で分配比 10^{-3} のオーダーとほとんど抽出されず、わずかに抽出されたCsは洗浄部で洗浄され、ほぼ全量がラフィネート側へ回収された。またSbについても、表-8からCsと同様ほぼ全量がラフィネート側へ回収された。

- Ru -

Ruは抽出部（Stage 1～6）で抽出されたRuの濃度が洗浄部（Stage 7～16）に移ってからもほとんど変化しないまま有機相出口に流出している（図-12）。また、逆抽出バンクにおいても有機相中の濃度に大きな変化はみられず（図-14）、希硝酸による逆抽出もされていない。

- 希土類元素及びAm, Cm -

図-13はCe及びEuの濃度プロファイルを示したグラフである。また、Amの濃度プロファイルも示してある。この図から、Ce及びEuの抽出挙動はAmとほとんど同じ挙動を示しており、ラフィネート側への検出はされていないことがわかる。一方、逆抽出バンクにおいてもCe、Eu及びAmは同じ挙動を示しており、希硝酸により数ステージで抽出されている。

ところで、図-13をみると有機相出口側ステージで水相中の濃度がいずれも低下している。これに関連して、連続試験運転中に抽出-洗浄バンク有機相出口ステージ（Stage 16）のセ

トラ部に白色の沈殿が観察された。この沈殿を試験終了後に回収し、定性分析を行ったところ、図-17のようなデータを得た。ここでは γ 分析を行ったので α 核種の定性的な評価はできないが、図-17から沈殿物の主な構成核種は、 γ 核種としてはCe, Euといった希土類元素であった。

4.2.2 考 察

－ Sb, Cs －

4.2.1の結果から、4.1バッチ抽出法による基礎試験で述べたとおり、Sb, Csは高レベル廃液中に留めておくという点で、U及びTRUの分離操作上特に問題とならないことがわかった。

－ Ru －

表-8のラフィネート出口ステージ(Stage 1)と有機相出口ステージ(Stage 16)のRu濃度から、およそ9割のRuが抽出されずにラフィネート側へ、残り1割程度のRuが溶媒に抽出されていることがわかる。これより、前述のバッチ抽出法による基礎試験の考察での議論から、このフローシート中のRuは、およそ9割は硝酸ルテニウムやジニトラトニトロシルルテニウムのような抽出性のRuではないかと推測することができる。またシュウ酸による洗浄効果も表れておらず、本フローシートとは異なる洗浄条件が必要になると考えられる。

－ 希土類元素及びAm, Cm －

Stage 16で発生した沈殿物は、定性分析の結果、主な構成核種が γ 核種としてはCe等希土類元素であったが、これはシュウ酸による沈殿物であると思われる。バッチ抽出法による基礎試験では、シュウ酸添加による沈殿の発生は観察されなかったが、この沈殿は微量ずつ発生していたものが、連続運転により蓄積されたためにわかった事実であると考えられる。ところで、バッチ抽出法による基礎試験の錯化剤をパラメータとした試験の結果において、Ceの濃度があるシュウ酸濃度から急激に低下する結果を得ている(図-9)。この試験では、試験混合液の相分離はろ紙を用いて行っているため、水相中で微量に発生したものがろ過されたと考えることができる。いずれにせよ、連続運転のフローシートを組む上で、沈殿物の発生は抽出設備の安定運転を阻害する要因となることから、シュウ酸添加条件はより低濃度にすべきかと思われる。

図-18に本試験で得られたAmに対するF.P.の除染係数(Decontamination Factor : D.F.)及びリーク率を示した。このことでD.F.は次式により求めた。

$$D.F. = \frac{[Am]_{org} / [F.P.]_{org}}{[Am]_{Feed} / [F.P.]_{Feed}}$$

D.F. : 除染係数

$[Am]_{org}$: 有機相出口 Am 濃度 [Bq/ml]

$[F.P.]_{Feed}$: 有機相出口 F.P. 濃度 [Bq/ml]

$[Am]_{org}$: Feed 中 Am 濃度 [Bq/ml]

$[F.P.]_{Feed}$: Feed 中 F.P. 濃度 [Bq/ml]

また、リーク率は以下の式より求めた。

$$\text{リーク率} = \frac{[Ii]_{aq} \cdot f_{aq}}{[Ii]_{Feed} \cdot f_{Feed}} \times 100 [\%]$$

$[Ii]_{aq}$: 水相出口核種 Ii 濃度 [Bq/ml]

$[Ii]_{Feed}$: Feed 中核種 Ii 濃度 [Bq/ml]

f_{aq} : 水相出口流量 [ml/hr.]

f_{Feed} : Feed 流量 [ml/hr.]

5. ま と め

本研究により、CMPOによるTRU元素の湿式分離について、以下に示す結果を得た。

- (1) CMPO抽出剤は、硝酸濃度が約4Nの高レベル廃液からでも十分に高い分配比でAmを抽出できる。
- (2) 硝酸濃度を0.01N程度に低めることにより、Amを逆抽出することも容易であった。
- (3) 共存する希土類元素に対しても、Amと同様の挙動をとることが確認された。
- (4) その他のF.P.の中では、Ruが挙動上問題となる。フィード中のRuの約10%がAm共に抽出される。ここでRuの分配比は抽出部で0.1程度であるのに対し、洗浄部では約10と大きな値になることがわかった。
- (5) 洗浄液にシュウ酸を添加したところ、洗浄液供給段においてCe、Eu等の沈殿の発生が確認された。

以上の様に、CMPO抽出剤はTRU等に対し、基本的には優れた抽出剤であることがわかった。また、高レベル廃液へ適用するに当たって開発しなければならない課題が明らかとなった。

以下に、FBR燃料再処理高レベル廃液中に含まれる主要核種について、本研究で得た結果を示す。

- Zr : 混合溶媒-硝酸系では比較的高い分配比Dで溶媒に抽出されるものと思われるが、洗浄液にシュウ酸を添加することにより溶媒から洗浄することができる可能性があることがわかった。
- Sb, Cs : Sbはほとんどの試験で溶媒中に検出されなかったため、その分配比を求めることはできなかったが、Csと同様ほとんど抽出されないため、容易にU及びTRUと分離することが可能である。Csは小型ミキサ・セトラによる連続試験でも全量がラフィネート側へ回収され、従って挙動上は特に問題となるような核種ではないことがわかった。
- Ru : 小型ミキサ・セトラによる連続試験の結果から、本試験のフローシート条件下ではおよそ9割のRuが非抽出性のもので1割程のRuは抽出性のものであり、これの逆抽出が極めて困難であることがわかった。従ってRuは注目すべき重要核種の一つとなるだろう。
- 希土類元素 : バッチ法による基礎試験から高濃度硝酸条件下では約10の高い分配比で抽出され、低濃縮領域では分配比Dは1以下に低下することを確認した。ただし、いずれの試験においても、Amと挙動を同じくし、また、シュウ酸添加により沈殿を生成するなど多くの課題が抽出され、Ruと同様重要な核種といえる。

U 及び TRU : Am, Cm について, 小型ミキサ・セトラによる連続試験の結果から, 高レベル廃液程度の高濃度硝酸条件下で容易に抽出され, 0.01 N の希硝酸により容易に逆抽出回収できることを確認した。ただし, 先に述べた通り, 希土類元素と同じ挙動をとるので, Am, Cm/希土類元素の分離が困難であるという課題を残している。U, Pu については, 本試験では検出されておらず (バッチによる基礎試験では γ 分析のみ行った), 抽出データを得ることはできなかつたが, 文献情報から極めて高い分配比で抽出されるものと思われる。P.F.P. のフローシートで Pu の逆抽出にフッ酸を使用するなど, 逆抽出が困難であることが予想される。

6. 今後の課題

本年度（平成2年度）CPFで行ったCMPOによるTRU分離に関するホット基礎試験の結果から、TRUEX法の課題がいくつか抽出された。

- (1) Ruは亜硝酸の存在する硝酸溶液中で複雑な化学形をとるために、CMPOのTBP混合溶媒に対して抽出されやすいものと抽出されにくいものがあり、抽出したRuは逆抽出洗浄することが困難である。
- (2) 希土類元素は錯化剤として添加したシュウ酸とある条件で沈殿を生じさせてしまう。
- (3) また、希土類元素はAmと同じ化学的挙動をとるため共に回収されてしまう（分離困難）。これらを含め、今後当面の課題として以下のようなものが挙げられる。
 - (1) CMPOによる抽出に関するホット基礎データの蓄積（抽出反応の把握）をさらに継続して行う。
 - (2) 抽出性のRuの存在率を低下させる条件の検討あるいは抽出されたRuの効果的な洗浄法の開発を行う。
 - (3) シュウ酸による沈殿を発生させない条件の選定、シュウ酸に替る錯化剤の検討、あるいは錯化剤添加法に替る効果的な洗浄法を開発する。
 - (4) U, Puの逆抽出法の検討を行う。
 - (5) TRUEX PROCESSで生じる廃液の処理方法を検討する。

7. 謝 辞

本研究を進めるに当り、多くの御指導、御助言をいただきました東海事業所湿式分離検討ワーキング・グループの当社・大西核燃料サイクル技術開発部次長並びに東海事業所・斉藤副所長（現・本社技術協力部）以下、ワーキング・グループメンバー各位に対し感謝の意を表します。

8. 参 考 文 献

- (1) 角田ら, 再処理高レベル廃液中の放射性核種の群分離に関する研究- DBBP, TBP, D2EHPA および D/M2EHPA (混合溶媒) による超ウラン元素および F.P. の抽出試験 1987, 5 PNC TN8410 87-08 (社内資料) P. 1
- (2) 第9回湿式分離検討ワーキング・グループ会合資料 1990, 1, 28
- (3) 群分離・消滅処理技術部会最終報告書 1989, 6 PNC SN4040 89-003(2) P. 11-13
- (4) E. P. Horwitz ら, THE TRUEX PROCESS AND THE MANAGEMENT OF LIQUID TRU WASTE. 1982 Separation Science and Technology
- (5) 山田ら, 放射性廃棄物の地層処分技術の開発-昭和63年度業務報告 PNC SN8440 89-023 P. 287-288
- (6) W. W. Schulz ら, THE TRUEX PROCESS: REMOVAL/RECOVERY OF TRU ELEMENTS I. CHEM. E. SYMPOSIUM SERIES NO. 103 P. 250-252, 261
- (7) 根本ら, 動燃における遠心抽出器開発-ウラン試験 1988, 9 PNC ZN8410 88-051 P. 58-59
- (8) E. P. Horwitz ら, TRANSURANIC DECONTAMINATION OF NITRIC ACID SOLUTIONS BY THE TRUEX SOLVENT EXTRACTION PROCESS-PRELIMINARY DEVELOPMENT STUDIES 1984, 7 ANL-84-45 P. 45

表-1 高レベル廃液組成の比較

	Concentration [Bq/ml]	
	LWR(TRP)	FBR(CPF)
Fission Products		
Zr-95	1.9E+06	—————
Nb-95	2.5E+06	—————
Ru-106	4.8E+08	2.0E+07
Sb-125	1.2E+07	9.5E+06
Cs-134	4.8E+08	1.6E+07
Cs-137	2.0E+09	2.4E+08
Fission Product Rare Earths		
Ce-144	9.3E+08	7.5E+07
Eu-154	7.0E+07	3.2E+06
Eu-155	3.6E+07	1.7E+07
Actinides Including TRU		
Pu-239+Pu-240	3.7E+05	—————
Pu-238+Am-241	1.9E+07	1.9E+07
Cm-242	8.1E+06	1.2E+06
Cm-244	1.9E+07	5.1E+05
Total- γ	4.8E+09	4.5E+08
Total- α	4.4E+07	2.1E+07

————— は分析限界以下

表-2 硝酸パラメータ試験条件

硝酸濃度 [N]					
0.05	0.14	0.51	0.96	3.18	5.85

- 使用する溶媒の組成はいずれも 0.2 M - CMPO / 1.0 M - TBP - n - ドデカン
- 0.05, 0.14 [N] のときは, 10 倍希釈の HAW を添加

表-3 硝酸根パラメータ試験条件

硝酸根濃度 [M]				
0.14	0.50	1.0	3.0	6.0

- 使用する溶媒の組成はいずれも 0.2 M - CMPO / 1.0 M - TBP - n - ドデカン
- H⁺ 濃度はいずれも 0.14 [N]
- NO₃⁻ 濃度 0.14 [M] のときは, 10 倍希釈の HAW を添加した

表-4 錯化剤パラメータ試験条件

錯化剤濃度 [M]			
0.01	0.05	0.1	0.2

- 使用する溶媒の組成はいずれも 0.2 M - CMPO / 1.0 M - TBP - n - ドデカン
- H⁺ 濃度はいずれも 0.14 [N]
- いずれも 10 倍希釈の HAW を添加した

表-5 バッチ試験結果 (酸濃度)

[N]	Ru-106			Sb-125			Cs-137		
	aq	org	D	aq	org	D	aq	org	D
0.05	2.1E+05	1.1E+04	5.4E-02	9.6E+04	————	————	3.2E+06	7.0E+03	5.5E-02
0.14	2.1E+05	2.2E+04	0.10	1.4E+05	————	————	3.5E+06	4.2E+03	1.2E-03
0.51	1.1E+06	6.8E+05	0.60	1.1E+06	————	————	3.1E+07	5.1E+03	1.6E-04
0.96	1.1E+06	8.2E+05	0.72	1.2E+06	————	————	3.0E+07	3.8E+03	1.3E-04
3.18	1.8E+06	2.5E+05	0.14	1.1E+06	————	————	3.0E+07	5.8E+03	2.0E-04
5.85	2.1E+06	1.1E+05	5.2E-02	1.3E+06	————	————	3.1E+07	5.7E+03	1.9E-04

[N]	Ce-144			Pr-144			Eu-155		
	aq	org	D	aq	org	D	aq	org	D
0.05	7.2E+05	4.5E+04	6.2E-02	4.2E+05	4.9E+04	0.12	1.9E+05	9.9E+03	5.1E-02
0.14	4.3E+05	3.2E+05	0.74	4.4E+05	3.0E+05	0.68	1.5E+05	8.3E+04	0.54
0.51	5.6E+05	5.5E+06	9.7	8.3E+05	4.8E+06	5.8	2.7E+05	1.5E+06	5.5
0.96	3.4E+05	6.9E+06	20	————	6.0E+06	————	1.1E+05	1.9E+06	18
3.18	6.2E+05	4.1E+06	6.6	————	3.7E+06	————	6.0E+04	1.1E+06	19
5.85	7.6E+05	5.5E+06	7.2	6.9E+05	5.1E+06	7.4	1.8E+05	1.6E+06	9.2

各フェーズの単位は [Bq/ml]

———— は分析限界以下

表-6 バッチ試験結果 (硝酸根酸濃度)

[M]	Ru-106			Sb-125			Cs-137		
	aq	org	D	aq	org	D	aq	org	D
0.14	2.1E+05	2.2E+04	1.0E-01	1.4E+05	4.2E+03	————	3.5E+06	4.2E+03	1.2E-03
0.50	1.6E+05	2.7E+05	1.7E+00	1.0E+05	1.5E+04	————	3.0E+06	1.5E+04	5.0E-03
1.0	1.0E+05	5.2E+04	5.0E-01	1.3E+05	5.1E+03	————	3.1E+06	5.1E+03	1.6E-03
3.0	4.4E+04	1.0E+05	2.4E+00	1.0E+05	1.1E+03	1.1E-02	3.0E+06	5.6E+03	1.9E-03
6.0	8.5E+04	1.3E+05	1.6E+00	1.9E+05	7.6E+03	4.0E-02	5.9E+06	4.5E+03	7.6E-04

[M]	Ce-144			Pr-144			Eu-155		
	aq	org	D	aq	org	D	aq	org	D
0.14	4.3E+05	3.2E+05	7.4E-01	4.4E+05	3.0E+05	0.68	1.5E+05	8.3E+04	5.4E-01
0.50	7.4E+04	1.2E+07	1.6E+02	————	1.1E+07	————	————	3.5E+06	————
1.0	————	5.9E+05	————	————	4.4E+05	————	————	1.6E+05	————
3.0	————	6.0E+05	————	————	5.1E+05	————	————	1.8E+05	————
6.0	————	7.3E+05	————	————	7.1E+05	————	————	2.1E+05	————

各フェーズの単位は [Bq/ml]

———— は分析限界以下

表-7 バッチ試験結果 (シュウ酸)

[M]	Zr-95			Ru-106			Cs-134		
	aq	org	D	aq	org	D	aq	org	D
0.01	————	1.8E+05	————	2.4E+05	1.1E+04	4.8E-02	2.9E+06	4.4E+03	1.5E-03
0.05	4.9E+03	1.4E+04	2.86	2.7E+05	4.5E+03	1.7E-02	3.1E+06	3.7E+03	1.2E-03
0.1	5.0E+03	7.1E+03	1.42	1.9E+05	5.8E+03	3.0E-02	3.0E+06	7.8E+03	2.6E-03
0.2	1.0E+04	3.7E+03	0.37	1.9E+05	4.7E+03	2.5E-02	3.0E+06	4.7E+03	1.6E-03

[M]	Ce-144			Pr-144			Eu-155		
	aq	org	D	aq	org	D	aq	org	D
0.01	4.3E+05	2.1E+05	4.9E-01	2.1E+05	1.6E+05	0.7538	1.2E+05	4.0E+04	0.33
0.05	1.6E+05	7.1E+04	0.5	————	4.1E+04	————	————	1.1E+04	————
0.1	1.4E+05	3.5E+04	0.24	1.3E+05	2.6E+04	0.21	————	5.7E+03	————
0.2	1.8E+05	4.1E+03	0.0	1.9E+05	————	————	————	————	————

各フェーズの単位は [Bq/ml]

———— は分析限界以下

表-8 抽出-洗浄バンクの濃度プロファイル(1)

Stage	Concentration [Bq/ml]					
	Ru-106		Sb-125		Cs-137	
	Aqueous	Organic	Aqueous	Organic	Aqueous	Organic
1	1.3E+07	9.6E+06	8.8E+06	————	2.1E+08	5.9E+04
2	————	————	————	————	————	————
3	————	————	————	————	————	————
4	1.5E+07	8.9E+06	9.0E+06	————	2.0E+08	6.3E+04
5	————	————	————	————	————	————
6	1.4E+07	1.0E+07	7.2E+06	————	2.0E+08	7.7E+04
7	1.8E+06	7.3E+06	————	————	1.8E+05	————
8	2.0E+06	6.4E+06	————	————	3.8E+04	————
9	1.0E+06	6.1E+06	————	————	————	————
10	9.4E+05	6.3E+06	————	————	————	————
11	————	————	————	————	————	————
12	8.9E+05	6.2E+06	————	————	————	————
13	————	————	————	————	————	————
14	8.7E+05	6.1E+06	————	————	————	————
15	————	————	————	————	————	————
16	————	5.2E+06	————	————	————	————

———— は分析限界以下, または未分析

表-9 抽出-洗浄バンクの濃度プロファイル(2)

Stage	Concentration [Bq/ml]			
	Ce144		Eu-155	
	Aqueous	Organic	Aqueous	Organic
1	————	2.7E+05	————	————
2	————	————	————	————
3	————	————	————	————
4	2.3E+06	2.2E+07	9.0E+04	3.8E+06
5	————	————	————	————
6	2.0E+07	2.1E+08	3.9E+06	5.0E+07
7	1.5E+07	2.0E+08	3.8E+06	4.9E+07
8	1.6E+07	2.0E+08	4.2E+06	4.8E+07
9	1.6E+07	2.0E+08	4.7E+06	4.8E+07
10	1.7E+07	2.0E+08	4.9E+06	4.9E+07
11	————	————	————	————
12	1.9E+07	2.0E+08	5.5E+06	4.9E+07
13	————	————	————	————
14	2.5E+07	2.1E+08	7.6E+06	5.1E+07
15	————	————	————	————
16	1.9E+05	1.1E+08	3.8E+04	1.3E+07

———— は分析限界以下, または未分析

表-10 抽出-洗浄バンクの濃度プロファイル (3)

Stage	Concentration [Bq/ml]					
	Pu-238+Am-241		Cm-242		Cm-244	
	Aqueous	Organic	Aqueous	Organic	Aqueous	Organic
1	4.5E+03	————	————	3.7E+01	————	————
2	————	————	————	————	————	————
3	1.3E+04	3.3E+05	————	3.9E+04	————	————
4	8.5E+04	2.0E+06	9.4E+03	1.8E+05	3.9E+03	9.5E+04
5	4.7E+05	1.2E+07	3.8E+04	7.4E+05	2.5E+04	4.3E+05
6	3.2E+06	2.8E+07	2.0E+05	1.4E+06	1.7E+05	7.8E+05
7	2.6E+06	3.4E+07	2.1E+05	1.8E+00	1.1E+05	1.0E+06
8	————	————	————	————	————	————
9	2.9E+06	6.9E+07	2.0E+06	3.8E+06	1.1E+06	2.2E+06
10	————	————	————	————	————	————
11	3.1E+06	6.5E+07	2.4E+05	3.6E+06	1.5E+05	1.9E+06
12	————	————	————	————	————	————
13	4.4E+06	6.1E+07	3.3E+05	3.2E+06	1.8E+05	1.7E+06
14	————	————	————	————	————	————
15	6.9E+05	4.1E+07	4.6E+05	2.3E+06	2.7E+04	1.3E+06
16	————	7.0E+07	————	3.9E+06	————	2.3E+06

———— は分析限界以下; または未分析

表-11 逆抽出バンクの濃度プロファイル(1)

Stage	Concentration [Bq/ml]			
	Ru-106		Ce-144	
	Aqueous	Organic	Aqueous	Organic
1	————	————	————	————
2	————	3.7E+06	4.1E+05	————
3	————	————	————	————
4	4.1E+06	3.3E+06	5.3E+04	————
5	————	————	————	————
6	3.5E+06	3.1E+06	————	————
7	————	————	————	————
8	2.4E+06	3.1E+06	————	————
9	————	————	————	————
10	1.6E+06	3.6E+06	————	————
11	————	————	————	————
12	1.2E+06	3.8E+06	————	————
13	————	————	————	————
14	8.5E+05	3.6E+06	————	————
15	————	————	————	————
16	4.5E+05	3.8E+06	————	————

———— は分析限界以下, または未分析

表-12 逆抽出バンクの濃度プロファイル(2)

Stage	Concentration [Bq/ml]					
	Pu-239+Pu-240		Pu-238+Am-241		Cm-242	
	Aqueous	Organic	Aqueous	Organic	Aqueous	Organic
1	—	—	—	—	—	—
2	6.1E+04	—	2.9E+06	4.1E+03	1.2E+05	—
3	—	—	—	—	—	—
4	2.6E+04	—	3.2E+04	—	3.6E+02	—
5	—	—	—	—	—	—
6	4.1E+03	—	3.0E+03	—	7.3E+03	—
7	—	—	—	—	—	—
8	1.5E+03	—	1.1E+03	—	—	—
9	—	—	—	—	—	—
10	7.1E+02	—	7.4E+02	—	—	—
11	—	—	—	—	—	—
12	2.7E+02	—	2.6E+02	—	—	—
13	—	—	—	—	—	—
14	3.8E+01	—	8.3E+01	—	—	—
15	—	—	—	—	—	—
16	9.3E+00	—	7.4E+01	—	—	—

— は分析限界以下, または未分析

表-13 硝酸濃度プロファイル

Stage	Concentration [N]			
	Extraction Stage		Stripping Stage	
	Aqueous	Organic	Aqueous	Organic
1	—	—	—	—
2	4.70	0.85	0.10	0.10
3	—	—	—	—
4	—	—	0.05	0.05
5	4.05	1.10	—	—
6	3.93	0.92	0.04	0.0001
7	2.61	—	—	—
8	—	—	0.02	—
9	—	—	—	—
10	—	—	—	—
11	—	—	—	—
12	—	—	—	—
13	—	—	—	—
14	—	—	—	—
15	—	—	—	—
16	—	0.17	—	—

— は分析限界以下, または未分析

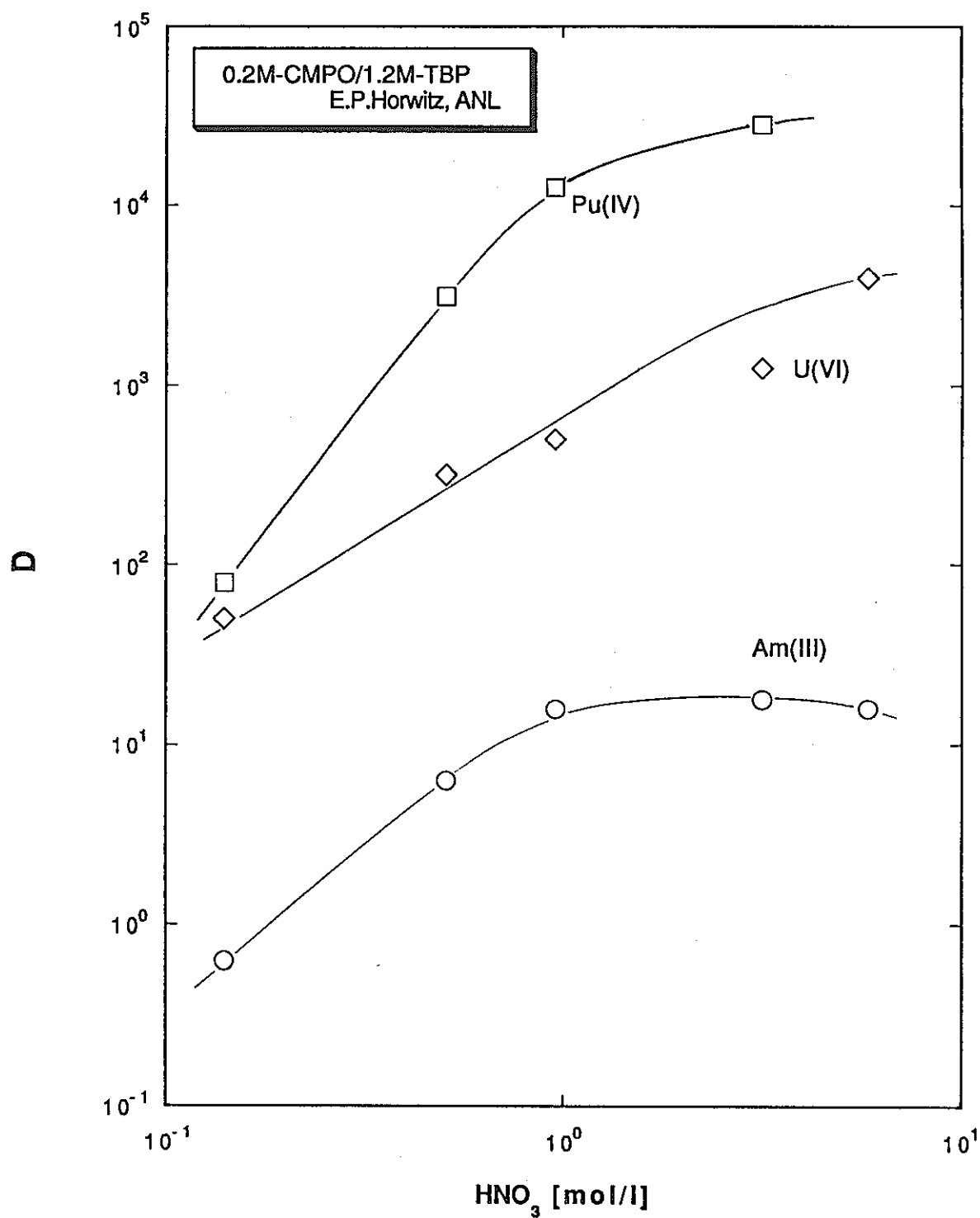


図-1 CMPO に対する U, Pu, Am 分配比の
硝酸濃度依存性⁽⁴⁾

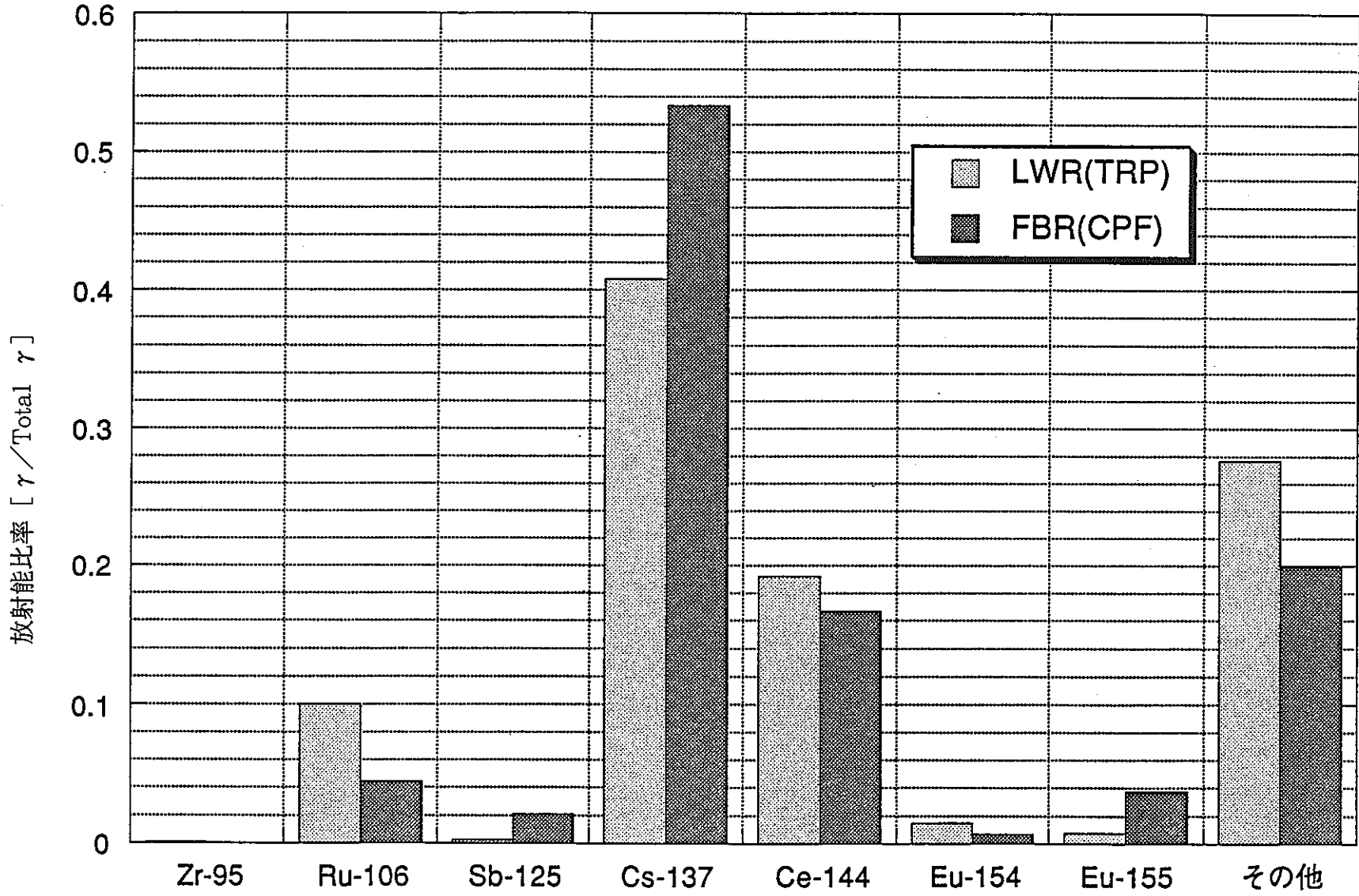


図-2 高レベル廃液組成の比較(1)

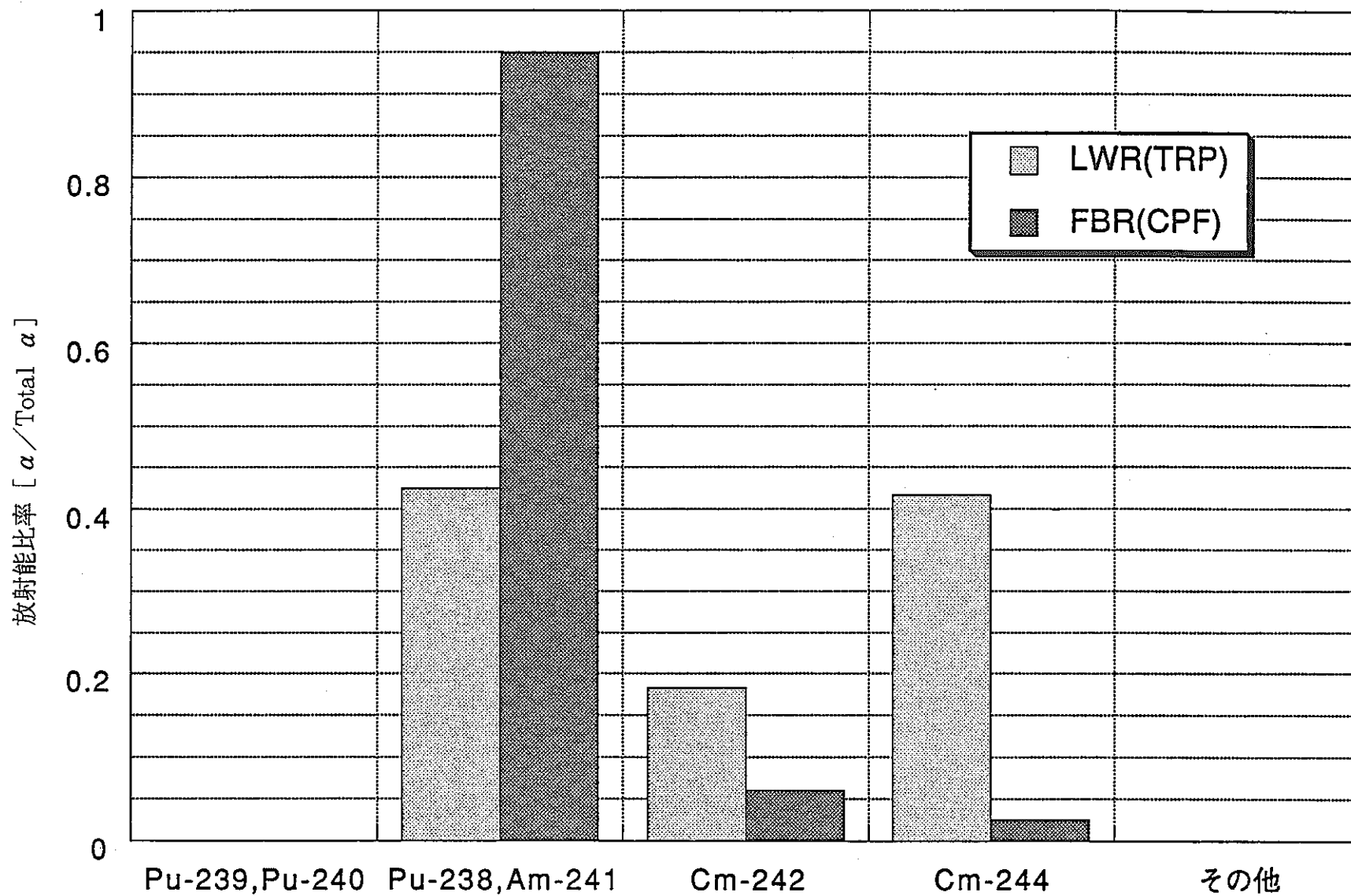


図-3 高レベル廃液組成の比較(2)

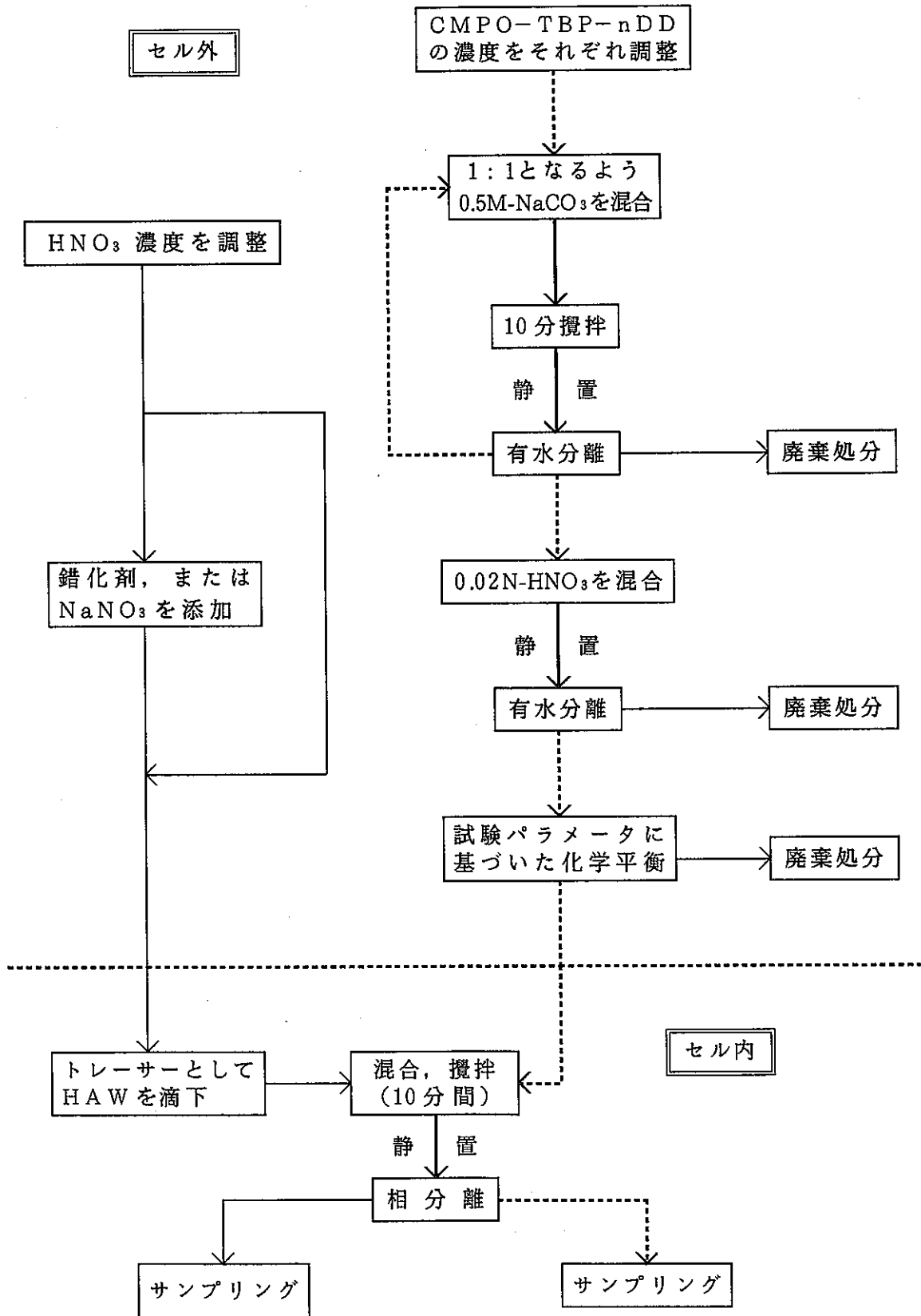


図-4 バ ッ 試 験 方 法

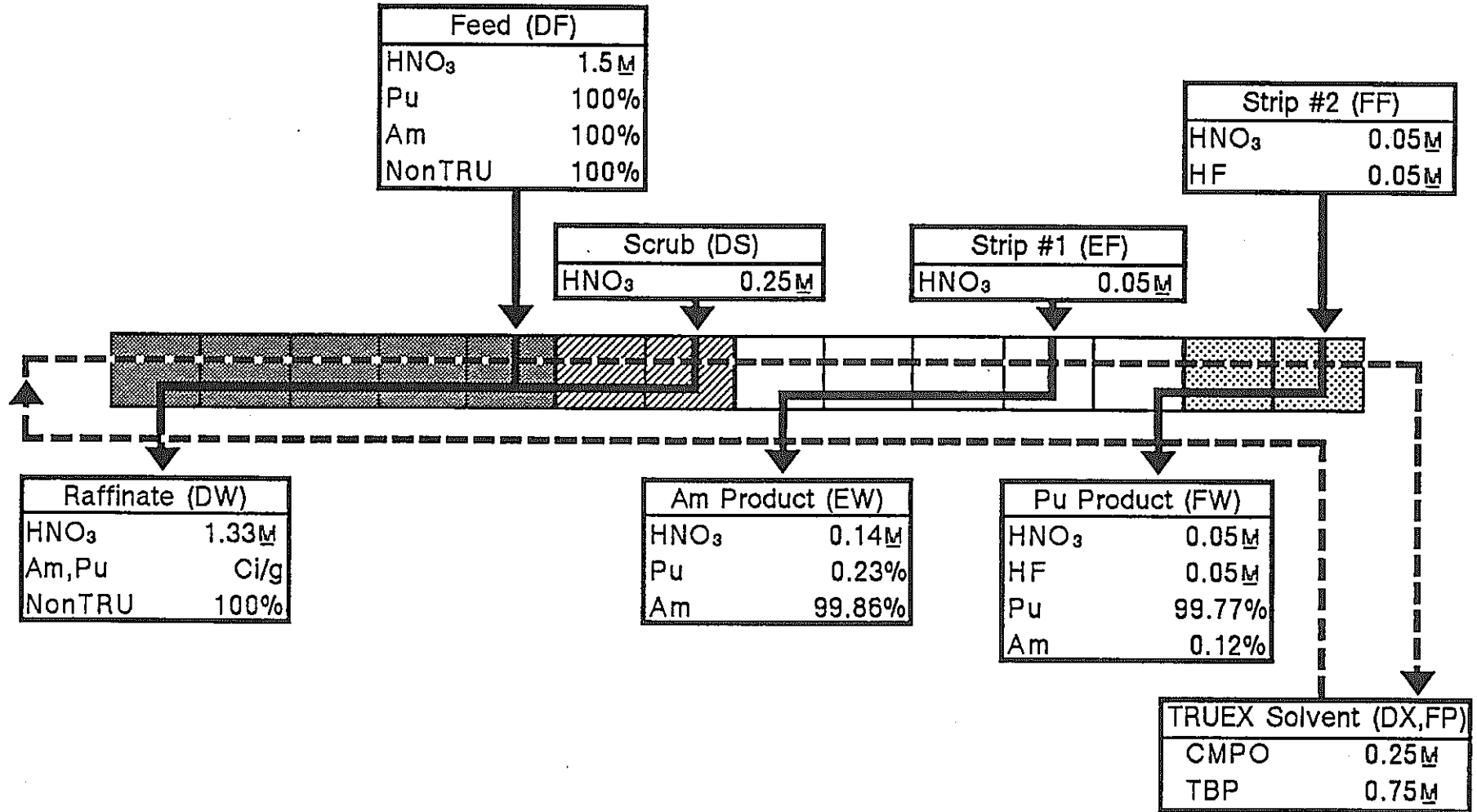


図-5 PFP 廃液の TRUEX フローシート

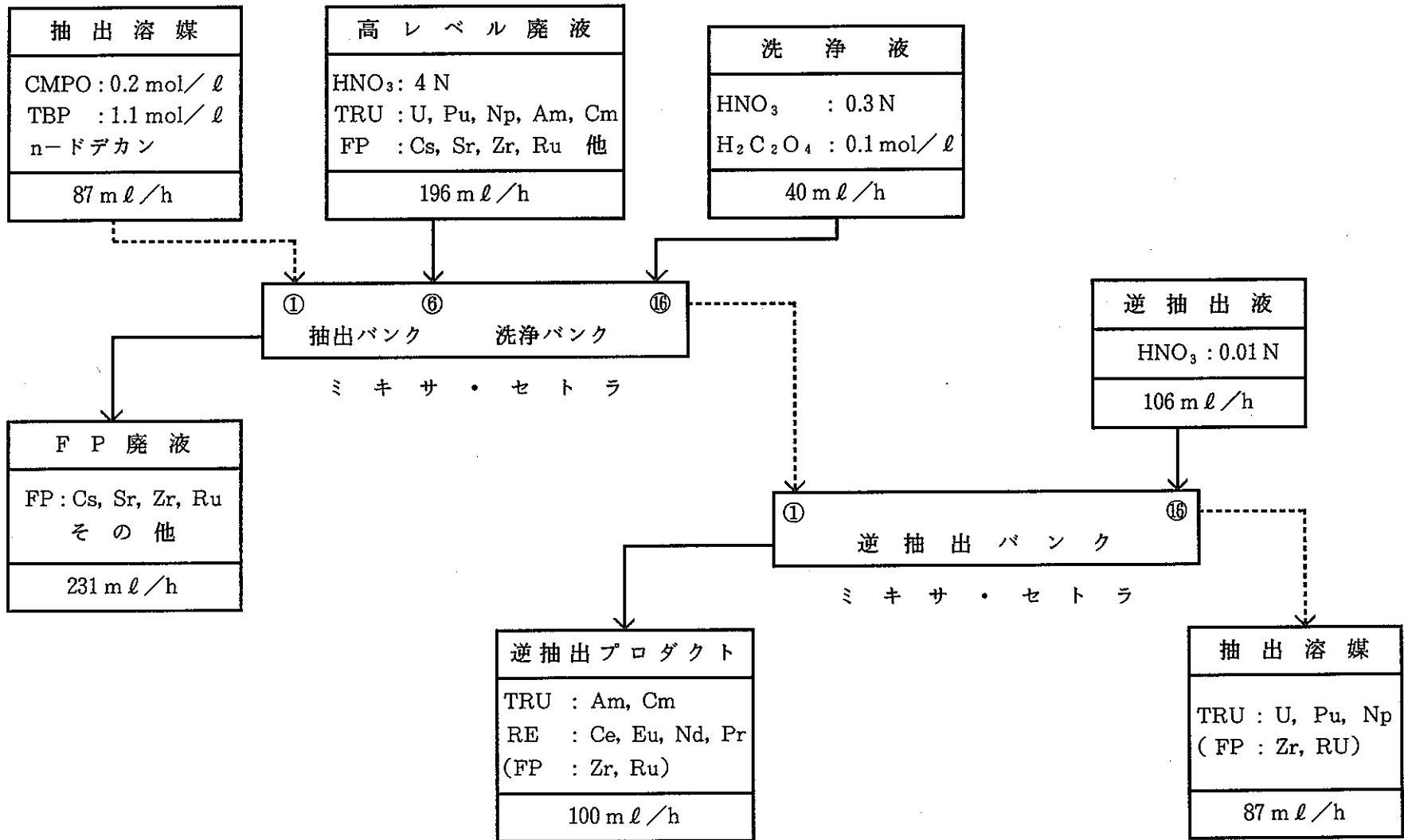


図-6 第1回小型ミキサ・セトラ連続試験フローシート

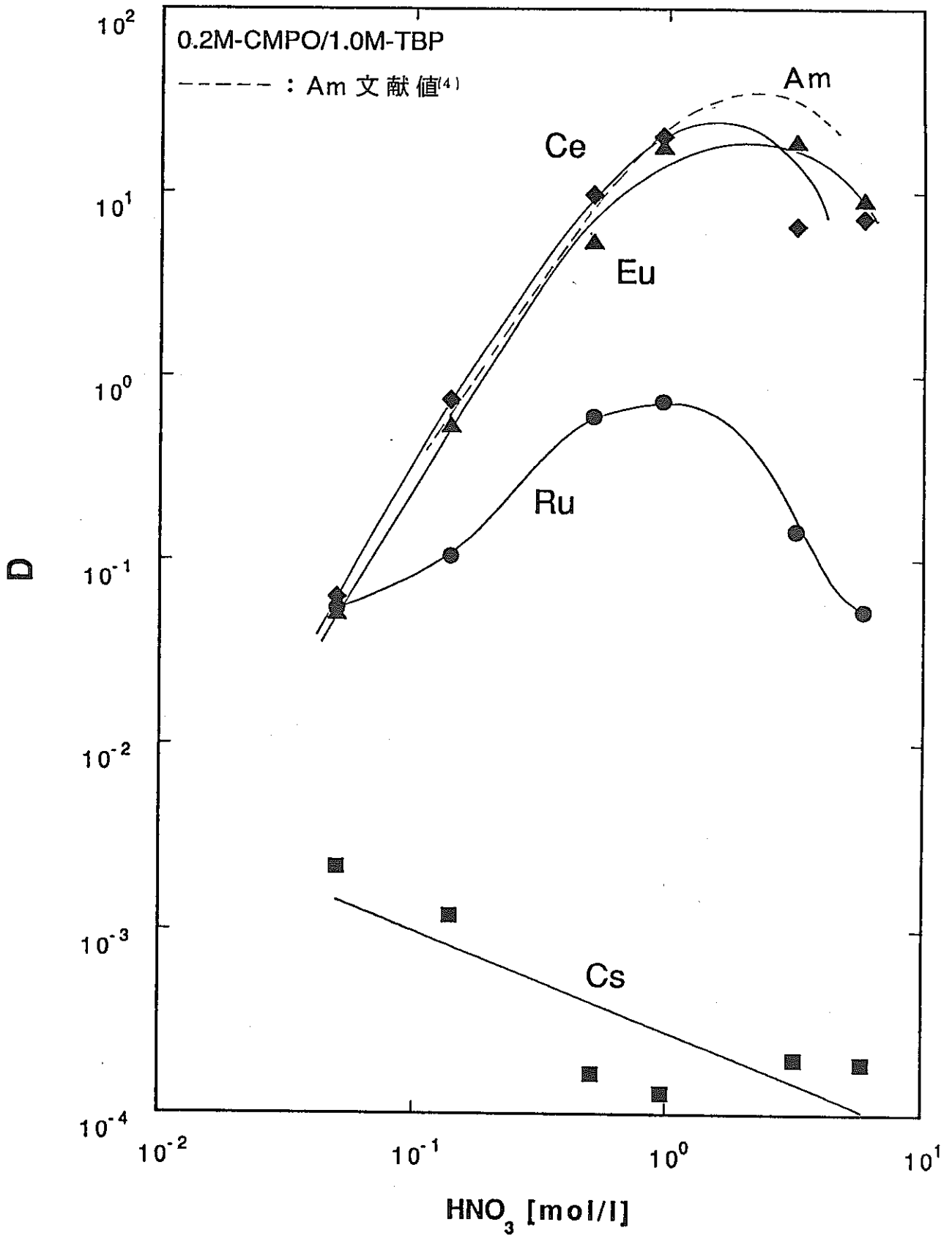


図-7 CMPO に対する Eu, Ce, Ru, Cs 分配比の硝酸濃度依存性

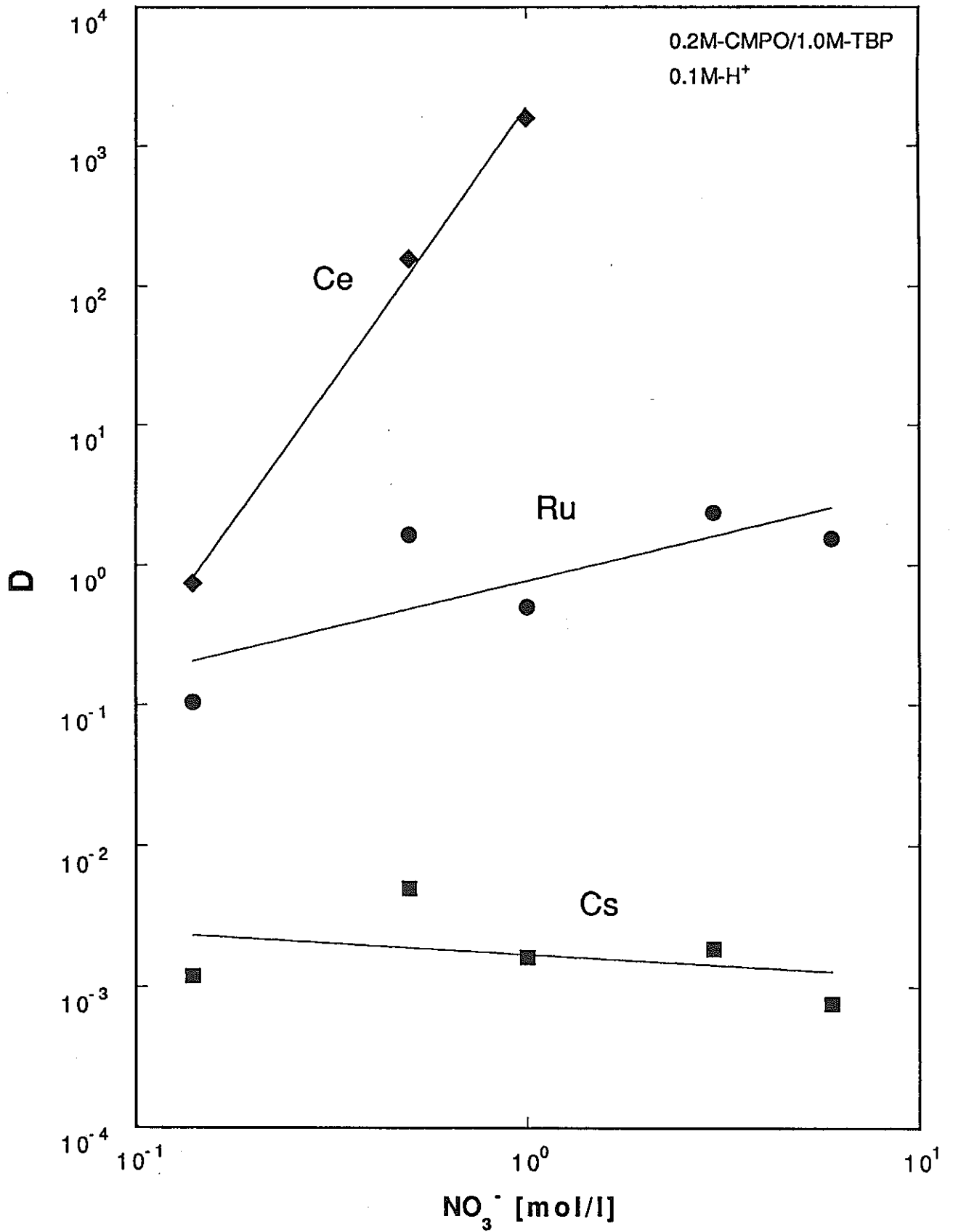


図-8 CMPO に対する Ce, Ru, Cs 分配比の NO₃⁻ 濃度依存性

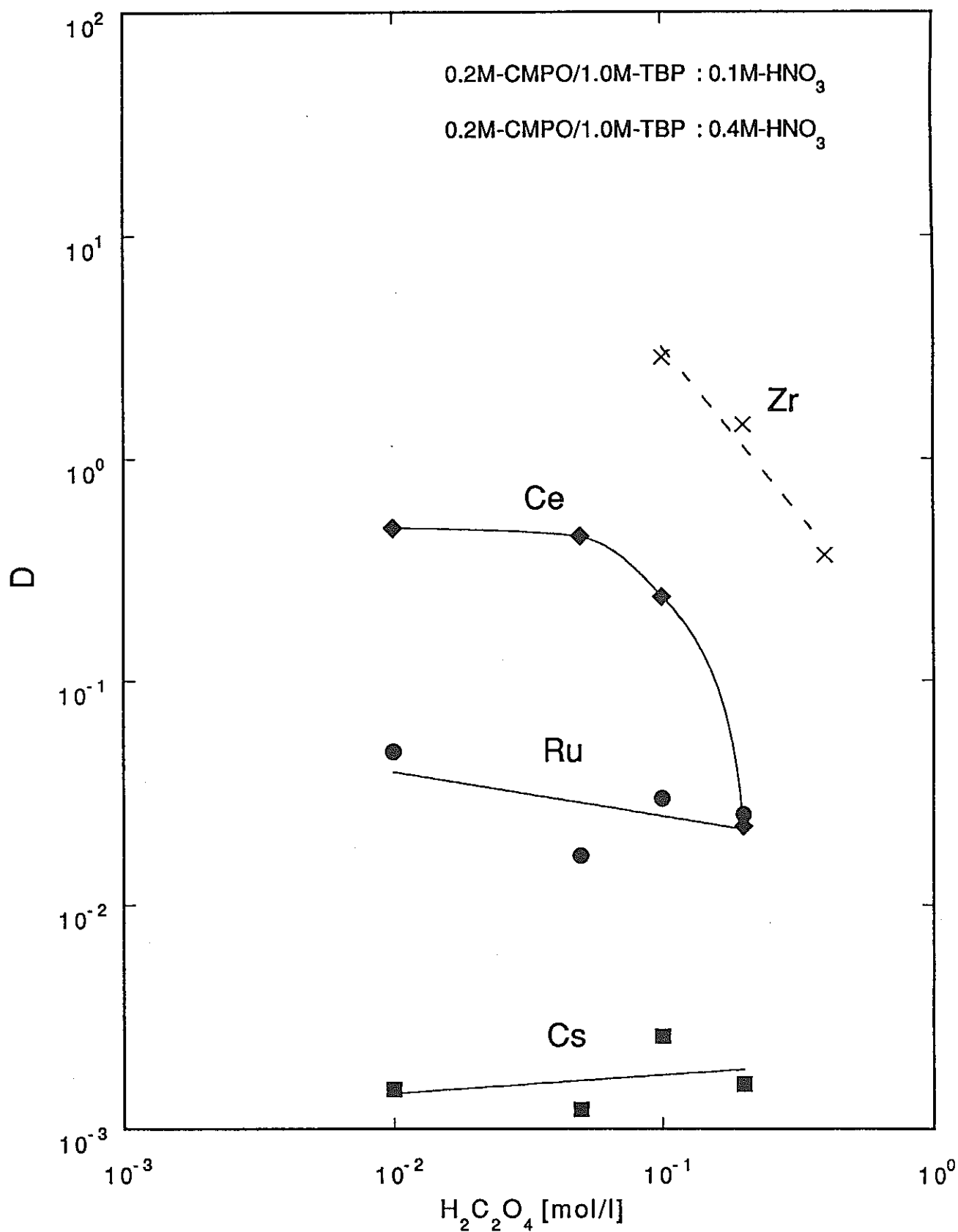


図-9 CMPO に対する Zr, Ce, Ru, Cs 分配比の錯化剤濃度依存性

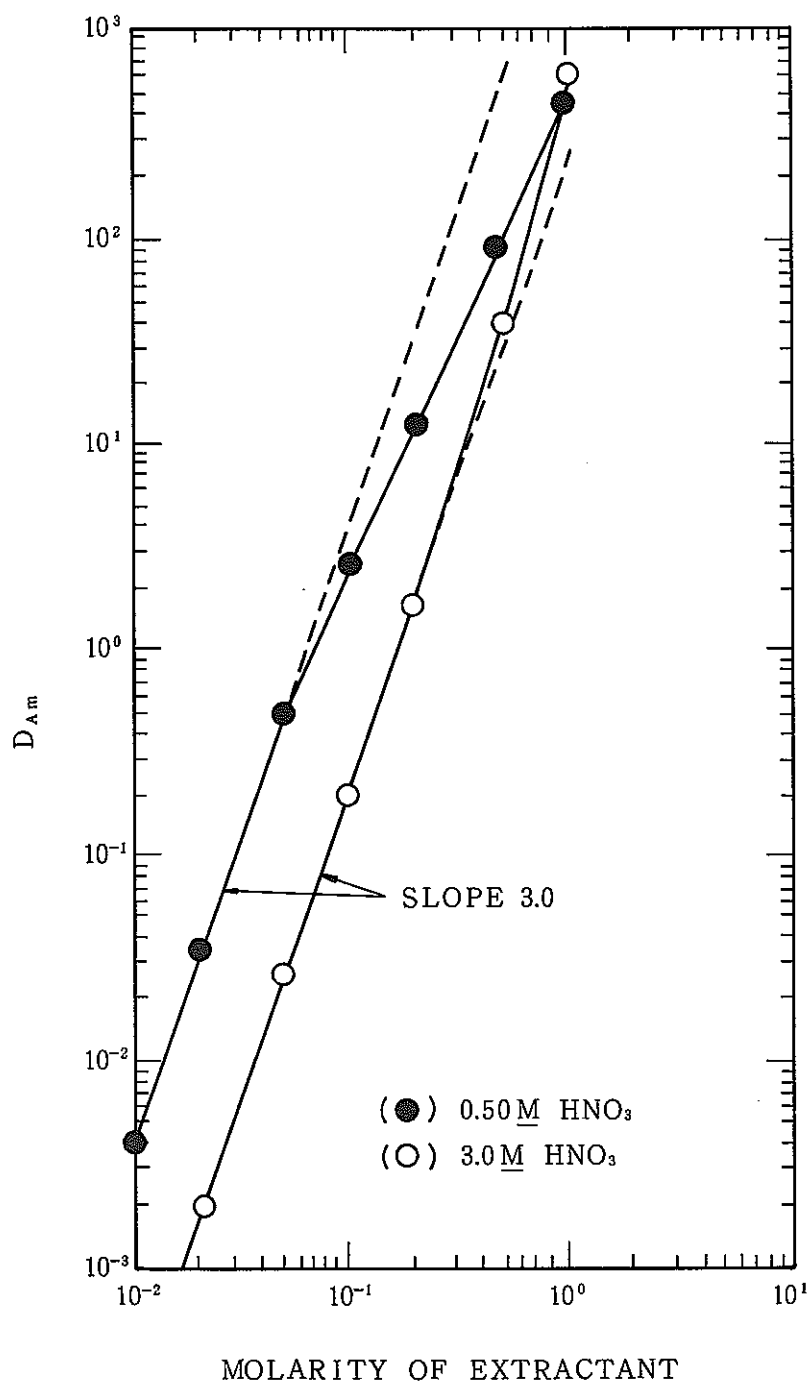


图-10 CMPO 依存性

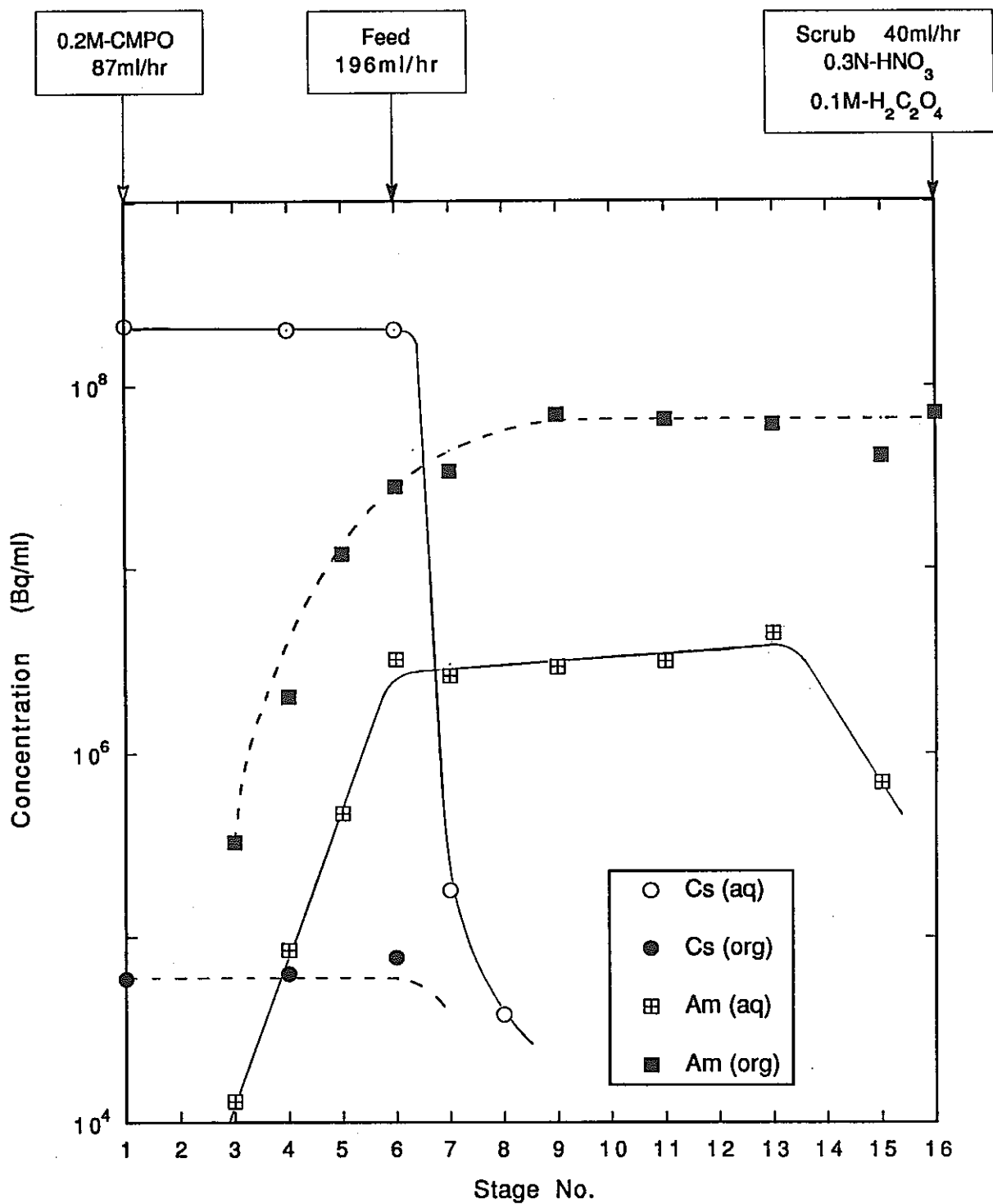


図-11 抽出-洗浄バンクの濃度プロファイル-1

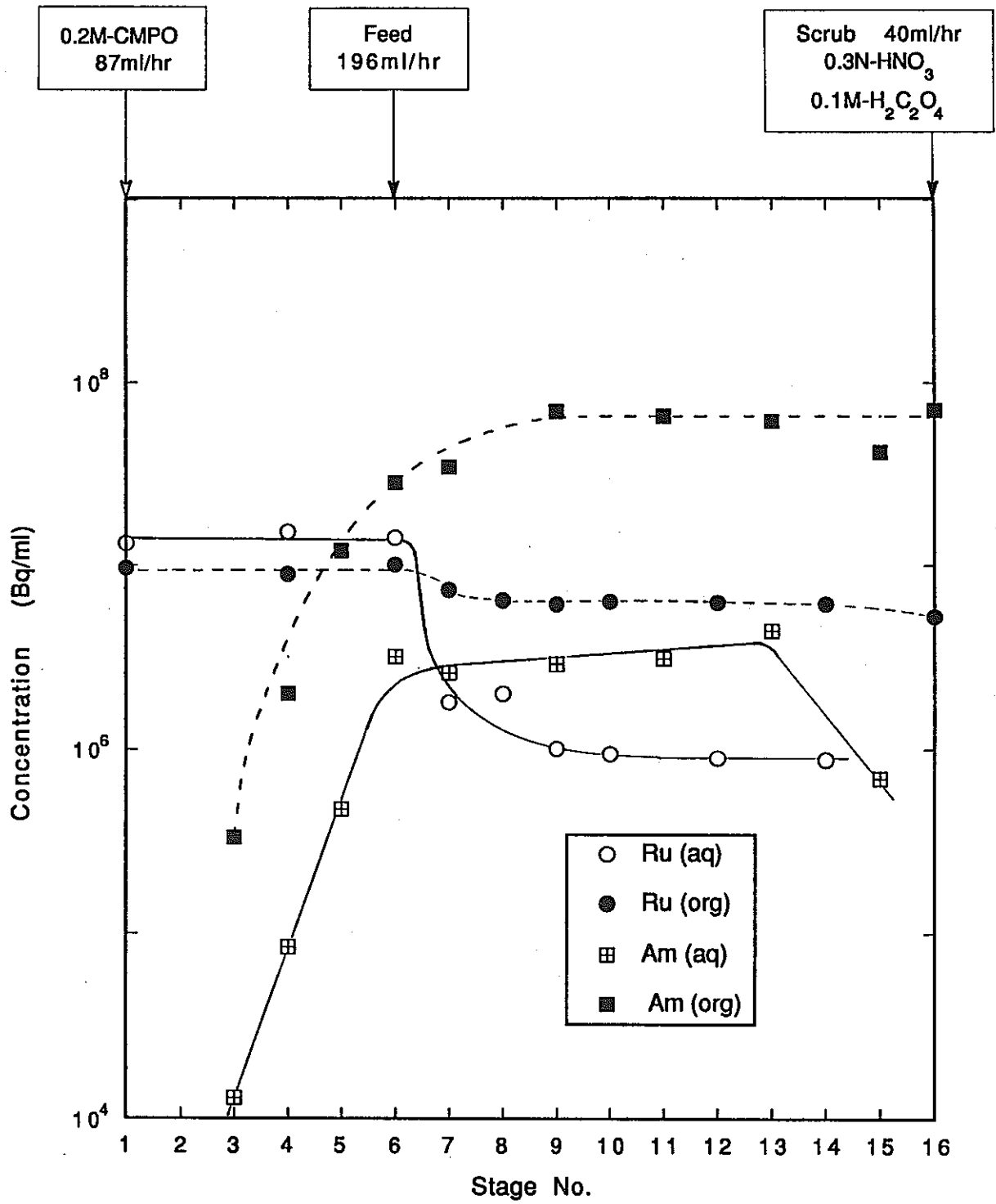


図-12 抽出-洗浄バンクの濃度プロファイル-2

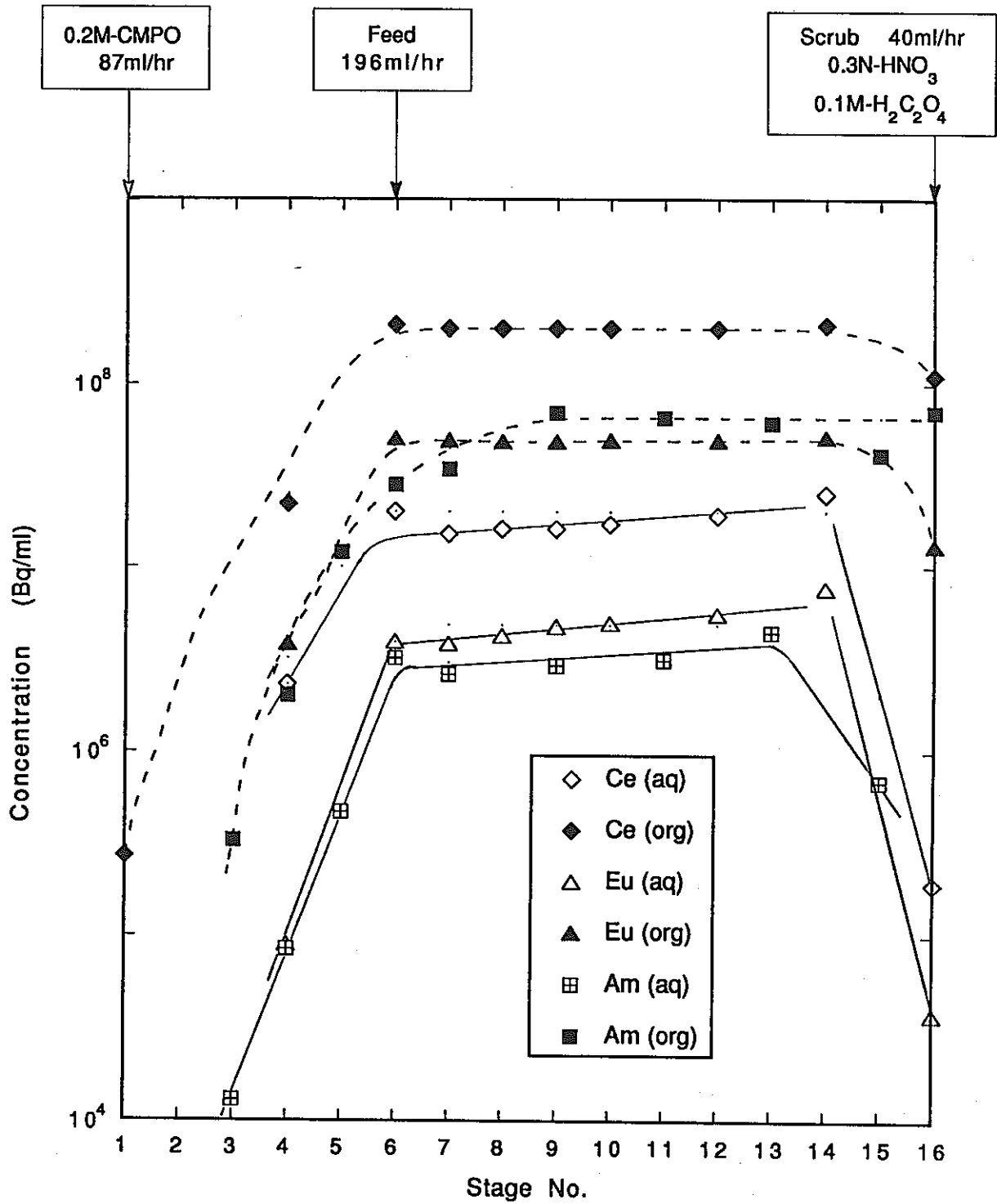


図-13 抽出-洗浄バンクの濃度プロファイル-3

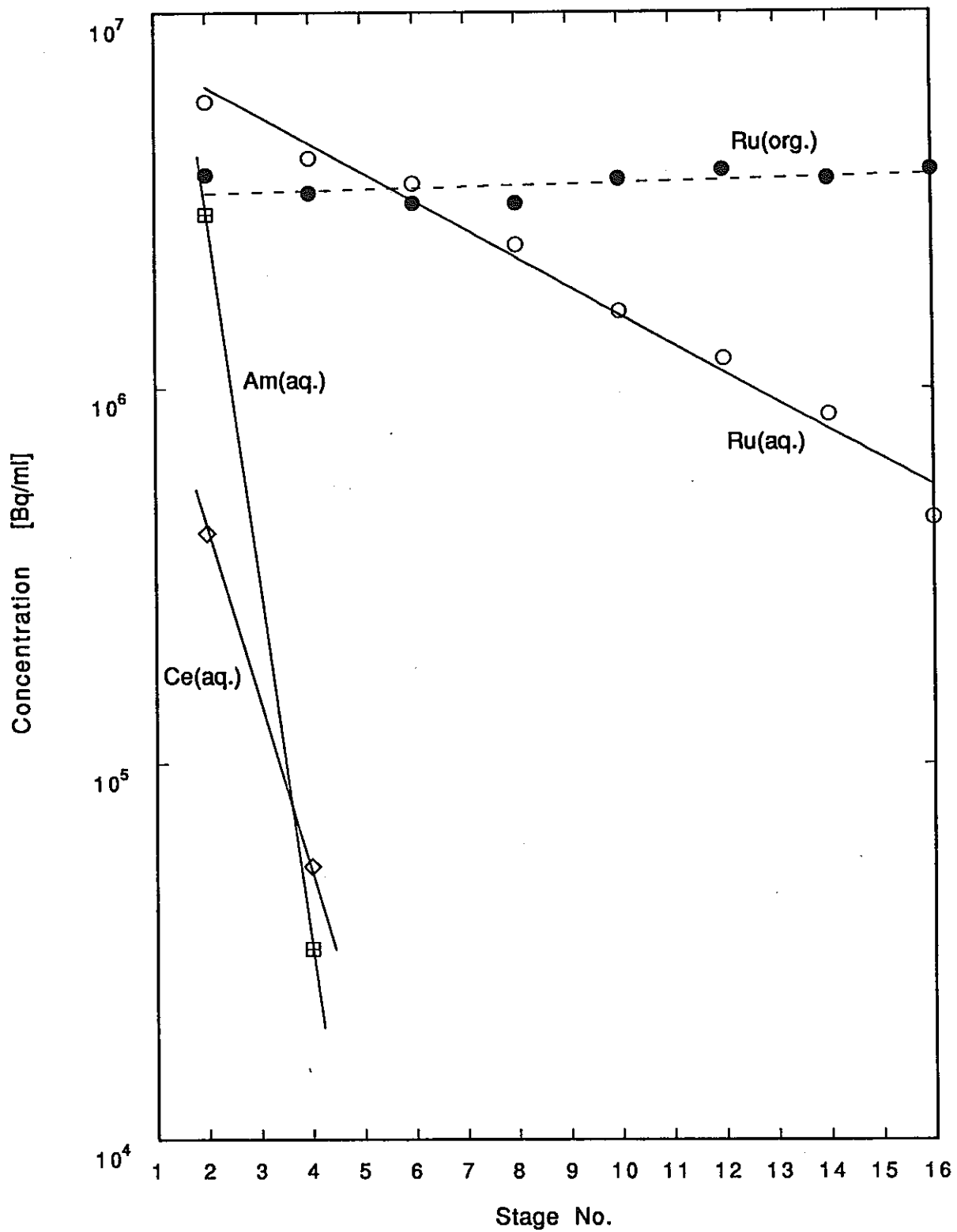


図-14 逆抽出バンクの濃度プロファイル

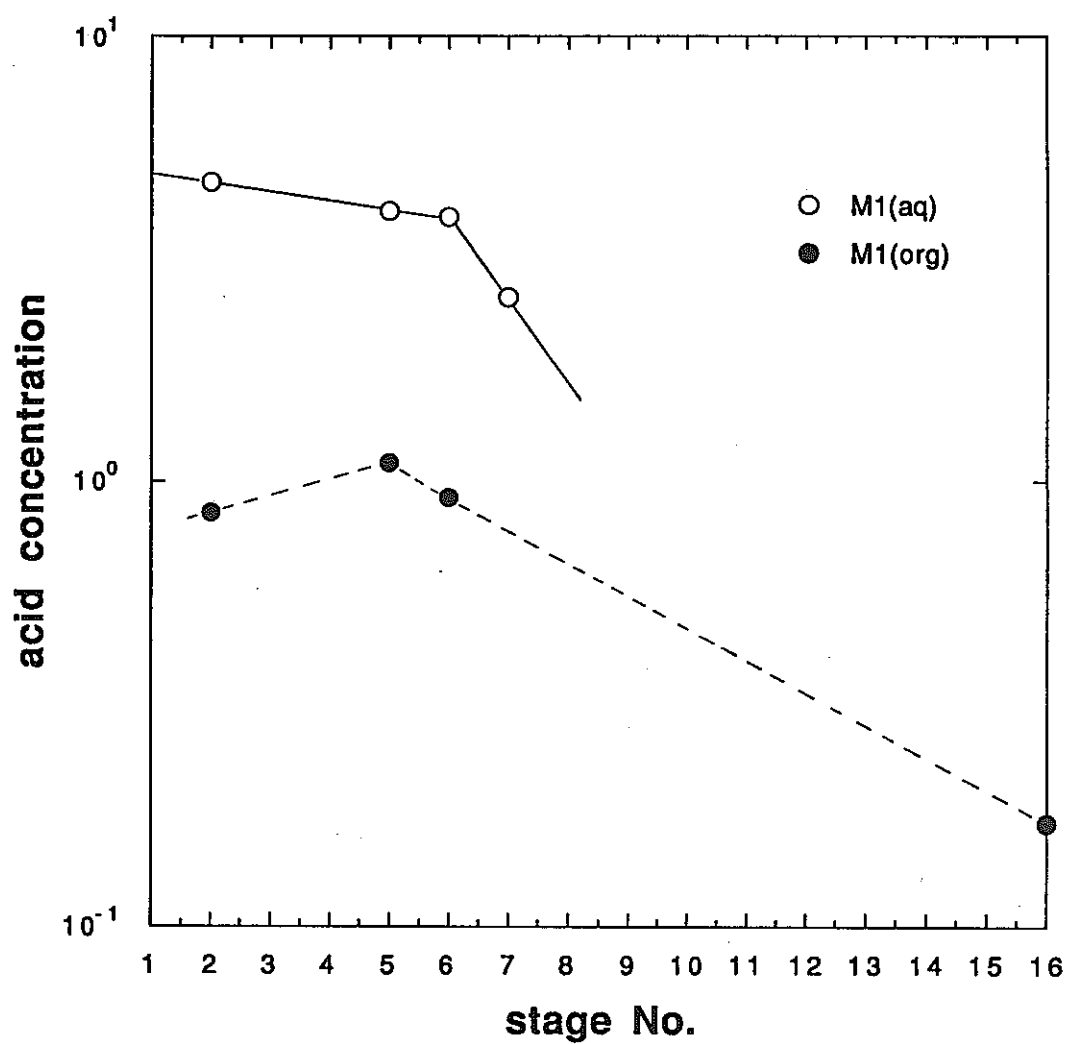


図-15 抽出-洗浄バンクの硝酸濃度プロファイル

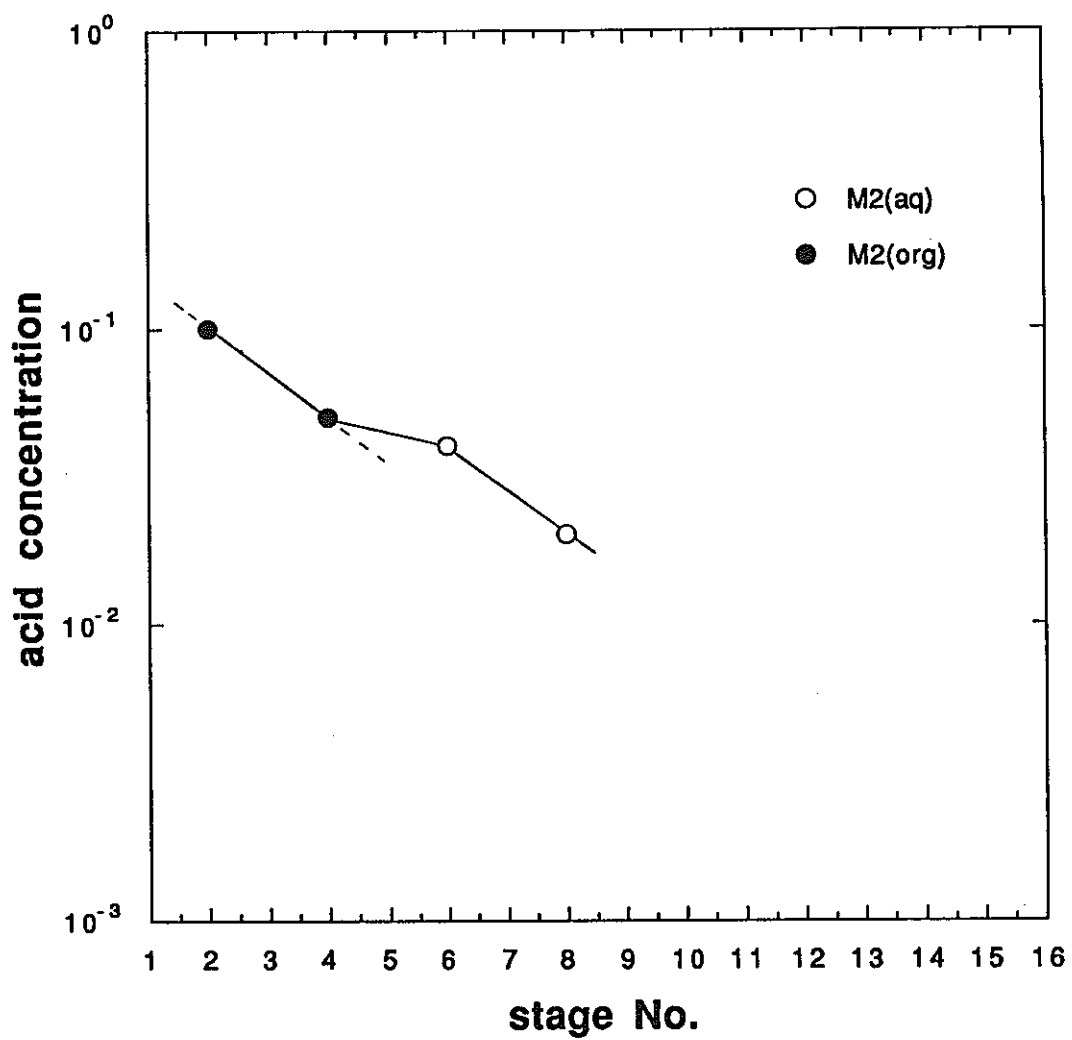
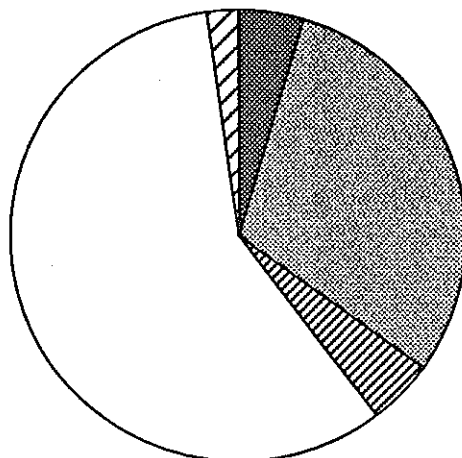


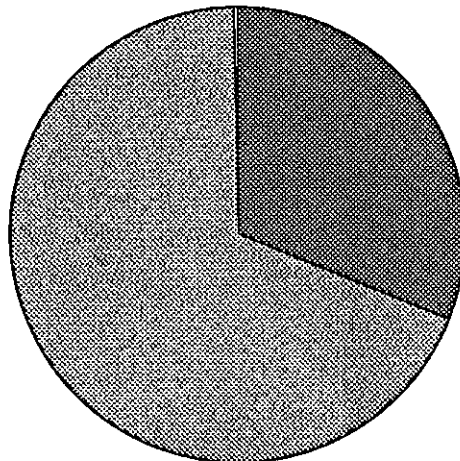
図-16 逆抽出バンクの硝酸濃度プロファイル

HAW溶液組成



- Eu-155+154
- Ce-144+Pr144
- ▨ Ru-106
- Cs-134+137
- ▨ Zr-95
- ▨ Sb-125

沈殿物組成



- Eu-155+154
- Ce-144+Pr144
- ▨ Ru-106
- Cs-134+137
- ▨ Zr-95

図-17 沈 澱 物 の 組 成

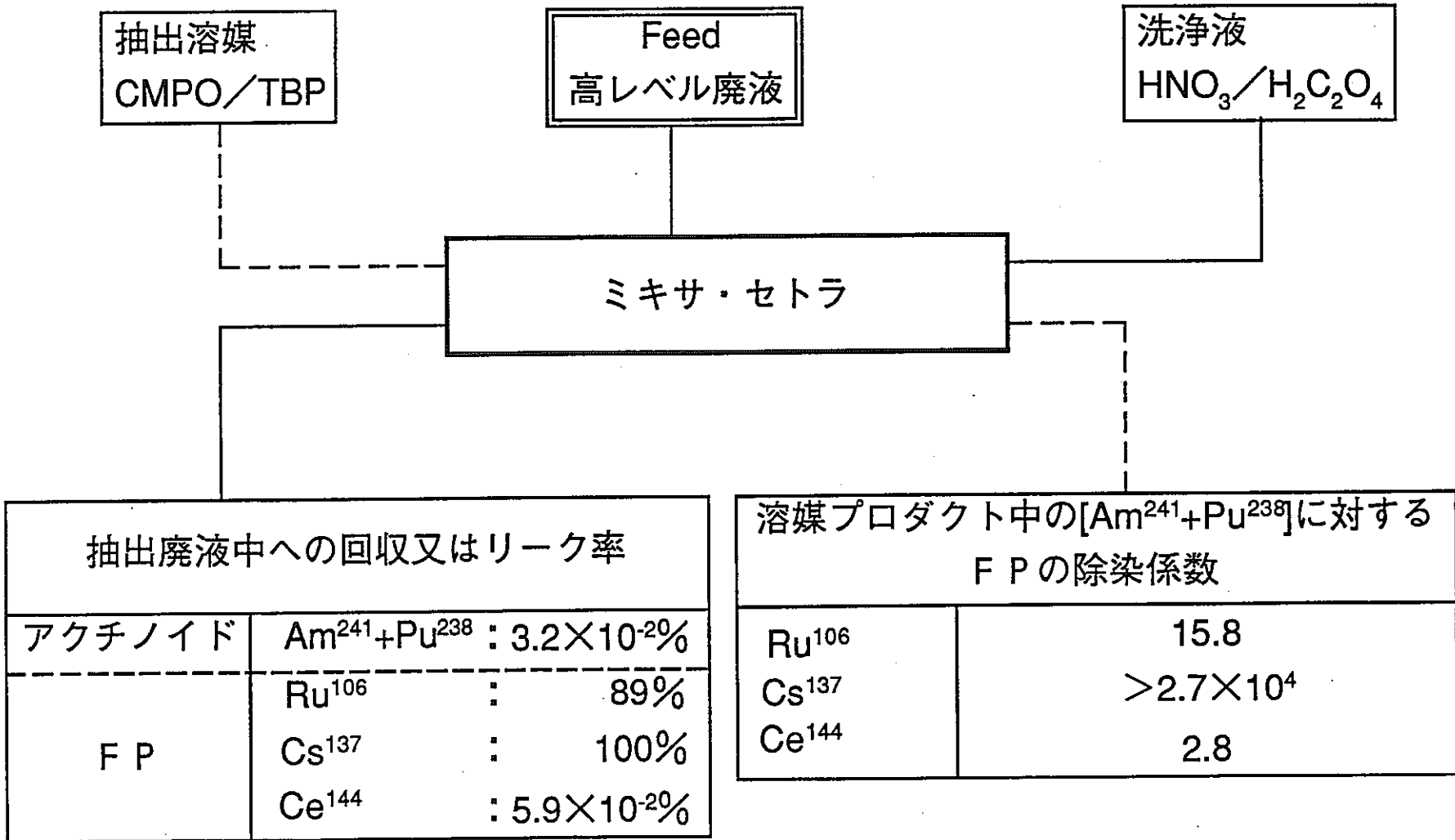


図-18 Am - 241 の 除 染 係 数