JAEA-Technology
2012-041

定常臨界実験装置（STACY）及び過渡臨界実験装置（TRACY）の燃料調製施設の運転記録

－平成 16 ～ 20 年度－

Operation Databook of the Fuel Treatment System of the Static Experiment Critical Facility (STACY) and the Transient Experiment Critical Facility (TRACY)

–JFY 2004 to JFY 2008–

石仙 順也　住谷 正人　関 真和　小林 冬実
石井 淳一　梅田 幹

Junya KOKUSEN, Masato SUMIYA, Masakazu SEKI, Fuyumi KOBAYASHI
Junichi ISHII and Miki UMEDA

東海研究開発センター
原子力科学研究所
福島技術開発試験部

Department of Fukushima Technology Development
Nuclear Science Research Institute
Tokai Research and Development Center

February 2013
Japan Atomic Energy Agency
日本原子力研究開発機構

JAEA-Technology

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ（http://www.jaea.go.jp）
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構　研究技術情報部　研究技術情報課
〒319-1195　茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

JAEA-Technology　2012-041

定常臨界実験装置（STACY）及び過渡臨界実験装置（TRACY）の燃料調製施設の運転記録
－平成 16～20 年度－

日本原子力研究開発機構東海研究開発センター原子力科学研究所
福島技術開発試験部
石仙　順也、住谷　正人、関　真和、
小林　冬実、石井　淳一、梅田　幹

（2012 年 12 月 3 日　受理）

定常臨界実験装置（STACY）及び過渡臨界実験装置（TRACY）の燃料調製施設においては、臨界実験で使用する硝酸ウラニル溶液を準備するため、実験目的に応じてウラン濃度、硝酸濃度、可溶性中性子毒物濃度等の調整を行っている。

平成 16 年度から平成 20 年度にかけては、STACY 及び TRACY で使用する燃料の調整のため、硝酸ウラニル溶液のU濃縮缶による濃縮及び脱硝を行った。並行して、平成 17 年度及び平成 18 年度には、核分裂生成物等の中性子吸収効果を定量するための STACY 実験のために、可溶性中性子毒物を添加した溶液燃料の調整を行った。この実験が終了した後、平成 18 年度及び平成 19 年度にかけて可溶性中性子毒物添加燃料の一部について、ミキサセトラを用いた溶媒抽出法により、中性子毒物の除去を行った。

本報告書は、これらの平成 16 年度から平成 20 年度に実施した燃料調製施設の運転データについてまとめたものである。

原子力科学研究所：〒319-1195　茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4

JAEA-Technology　2012-041

Operation Databook of the Fuel Treatment System of the Static Experiment Critical Facility (STACY) and the Transient Experiment Critical Facility (TRACY)
－JFY 2004 to JFY 2008－

Junya KOKUSEN, Masato SUMIYA, Masakazu SEKI,
Fuyumi KOBAYASHI, Junichi ISHII and Miki UMEDA

Department of Fukushima Technology Development
Nuclear Science Research Institute
Tokai Research and Development Center
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received December 3, 2012)

Uranyl nitrate solution fuel used in the Static Experiment Critical Facility (STACY) and the Transient Experiment Critical Facility (TRACY) is adjusted in the Fuel Treatment System, in which such parameters are varied as concentration of uranium, free nitric acid, soluble neutron poison, and so on.

Operations for concentration and denitraion of the solution fuel were carried out with an evaporator from JFY 2004 to JFY 2008 in order to adjust the fuel to the experimental condition of the STACY and the TRACY. In parallel, the solution fuel in which some kinds of soluble neutron poison were doped was also adjusted in JFY 2005 and JFY 2006 for the purpose of the STACY experiments to determine neutron absorption effects brought by fission products, etc. After these experiments in the STACY, a part of the solution fuel including the soluble neutron poison was purified by the solvent extraction method with mixer-settlers in JFY 2006 and JFY 2007.

This report summarizes operation data of the Fuel Treatment System from JFY 2004 to JFY 2008.

Keywords : Uranyl Nitrate, Solution Fuel, STACY, TRACY, Critical Experiment, Concentration, Denitration, Evaporator, Soluble Neutron Poison, Solvent Extraction, Mixer-Settler, Operation Date

目次

Contents

1. はじめに

燃料サイクル安全工学研究施設（NUCEF）では、臨界安全性の研究を目的として、定常臨界実験装置（STACY）及び過渡臨界実験装置（TRACY）を用いた実験を行い、再処理施設の合理的な臨界安全設計・管理に役立てるための臨界データの取得や、臨界事故時の溶液燃料及び放射性物質の挙動の解明を行っている。これらの臨界実験では燃料として硝酸ウラニル溶液（以下「ウラン溶液燃料」という。）を用いるため、燃料調製施設[1)]においてウラン溶液燃料の濃度調整や不純物除去（精製）等の燃料調製を実施してきた。

平成 16 年度から平成 20 年度にかけては、臨界実験に応じた ^{235}U 濃縮度 6wt%及び 10wt%のウラン溶液燃料を STACY 及び TRACY に供給するため、濃縮・脱硝による濃度調整を実施した。

この間、STACY 実験のニーズにより、可溶性中性子毒物を添加した ^{235}U 濃縮度 6wt%のウラン溶液燃料の調整を集中的に実施した。平成 17 年度には核分裂生成物（Fission Products：FP）の吸収効果による反応度を定量し、臨界解析での予測精度を検証するため、FP を核的に模擬した物質（非放射性の各種のみ。以下「模擬 FP」という。）を添加した燃料を調整した。平成 18 年度には、大型再処理施設の溶解槽の臨界安全管理に用いられる可溶性中性子吸収材の反応度効果を評価するために、ガドリニウムを添加した燃料を調整した。これらの実験に使用した燃料の一部については、平成 18 年度から平成 19 年度にかけて、ミキサセトラを用いた溶媒抽出法により可溶性中性子毒物の除去を実施した。

本報告書は、これら燃料の調整を行った燃料調製施設の運転データをまとめたものである。

2．ウラン溶液燃料の調整

ウラン溶液燃料は、STACY 及び TRACY における臨界実験に応じて、ウラン濃度及び硝酸濃度の調整、可溶性中性子毒物の添加を行う必要があったため、燃料調製施設の調整設備においてその濃度調整等を実施した。

2.1　濃縮・脱硝運転

ウラン溶液燃料の濃縮・脱硝による濃度調整は、調整設備に設置されたU濃縮缶の運転により実施している。U濃縮缶の濃縮運転は、所定量のウラン溶液燃料をU濃縮缶に液張りした後、蒸気により昇温し、蒸発量に応じてウラン溶液燃料を連続的に供給する半連続方式である。この運転により、U濃縮缶内の液量を一定に保ちながら、ウラン溶液燃料を蒸発濃縮する。

このとき、ウランと共に硝酸の濃度も上昇するが、硝酸濃度は臨界実験の要求に応じて低く抑える必要がある。そのため、U濃縮缶の脱硝運転により硝酸濃度を低減する。脱硝運転では、U濃縮缶への供給液をウラン溶液燃料から脱塩水に切替えて濃縮運転と同様の運転を行い、U濃縮缶の液量を一定に保ちながら水分を蒸発させる。蒸気中には僅かに硝酸が含まれているため、ウラン濃度は一定のまま硝酸濃度だけを低減することができる。[2)] 硝酸を所定の濃度まで低減するための管理は脱硝運転時間の調整により行い、平成 7 年度に実施した脱硝特性試験[3)]において得

たデータから必要な運転時間を評価している。

2.1.1　濃縮・脱硝運転による濃度調整実績

U 濃縮缶による濃縮・脱硝運転により、STACY 及び TRACY における臨界実験に用いるウラン溶液燃料等の濃度調整を行った。U 濃縮缶の運転実績の概要を表 2.1.1 に、運転記録を表 2.1.2 に示す。表 2.1.2 のウラン濃度の分析値は、アルカリ中和滴定法若しくは酸化還元滴定法による。また、硝酸濃度の分析値は、アルカリ中和滴定法若しくは酸化還元滴定法とアルカリ中和滴定法の併用による。（以下、同項目の分析値について同様。）また、目的別の運転バッチ数の割合を図 2.1.1 に、処理ウラン量の割合を図 2.1.2 示す。

U濃縮缶の運転は、平成 16 年度から平成 20 年度までに 56 バッチ実施し、合計約 519kgU の処理を行った。このうち 52 バッチ、約 480kgU が STACY に係る運転であり、全体の 9 割以上を占めている。TRACY に係る運転は、4 バッチ、約 39kgU である。このうち、それぞれの臨界実験用のウラン溶液燃料の濃度調整は、STACY 用について 29 バッチ、約 354kgU、TRACY 用について 2 バッチ、約 35kgU 実施し、合計で 31 バッチ、約 389kgU の処理を行った。

全体の中で STACY 臨界実験用のウラン溶液燃料の濃度調整は、運転バッチ数で約 5 割、処理ウラン量で約 7 割を占めており、当該期間における濃縮・脱硝運転の主たる運転目的であった。

2.1.2　臨界実験用ウラン溶液燃料の濃度調整結果

STACY 及び TRACY における臨界実験用のウラン溶液燃料の濃度調整結果を表 2.1.3 に示す。臨界実験に用いるウラン溶液燃料の濃度調整は、平成 16 年度から平成 20 年度にかけて 6 回実施した。このうち 5 回は濃縮・脱硝運転による濃度調整を行い、残りの 1 回は濃縮運転のみである。

これらの濃縮運転では、目標濃度に応じた量のウラン溶液燃料をU濃縮缶に供給して所定の液量まで蒸発濃縮することで目標濃度に調整した。今回実施した 6 回の濃縮運転では、ウラン濃度を目標濃度に対し－1.9%～＋0.6%の誤差範囲（平均－0.6%）で調整することができた。

脱硝運転については、先の脱硝特性試験結果を基に適切な脱硝運転時間を設定することで、硝酸濃度を目標濃度に対し－4.0%～＋6.5%の誤差範囲（平均＋1.7%）で調整することができた。今回実施した脱硝運転の結果と脱硝特性試験結果の比較を図 2.1.3 に示す。図中の黒印はウラン溶液燃料の供給量から計算した脱硝前（濃縮後）の硝酸濃度であり、白印は脱硝運転後の分析値による硝酸濃度である。両印の間隔は、各運転の脱硝時間である。なお、各値はそれぞれの運転における平均値である。（平成 21 年度の濃度調整については、5 バッチ実施したうち溶液燃料の初期組成が他のバッチと違う 1 バッチ目は除外した。）

2.2　可溶性中性子毒物の添加

STACY 臨界実験用ウラン溶液燃料については、平成 17 年度から平成 18 年度にかけて可溶性中性子毒物を添加した。可溶性中性子毒物は、平成 17 年度には模擬 FP としてサマリウム、セシウム、ロジウム及びユーロピウムの 4 元素を添加した。また、平成 18 年度はガドリニウムを添加した。

これらの可溶性中性子毒物の濃度は、析出を防止するための十分保守的な条件として、ウラン溶液燃料に対する溶解度の 1/5 以下の範囲とするように制限値を設けて管理している。表 2.2.1 に可溶性中性子毒物の濃度制限値を示す。

添加する可溶性中性子毒物は、それぞれの硝酸化合物の粉末を用いた。可溶性中性子毒物の濃度を管理するため、添加する化合物の重量は次式を基に計算した。

$$W = Ct \cdot V / ((Me \cdot x) / Mc) \qquad (2.1)$$

W　：添加する化合物重量（g）
Ct　：目標濃度（g/ℓ）
V　：添加後の想定液量（ℓ）
Me　：添加する可溶性中性子毒物元素の原子量（u）
x　：可溶性中性子毒物化合物（1 分子）に含まれる可溶性中性子毒物元素の数
Mc　：添加する可溶性中性子毒物化合物の分子量（u）

2.2.1　模擬核分裂生成物の添加

模擬 FP は、平成 17 年 7 月から 11 月にかけて、サマリウムを 6 回、セシウムを 3 回（サマリウム 4 回目から 6 回目と同時に添加）、ロジウムを 3 回、ユーロピウムを 3 回に分け順次添加し、合計 12 回の添加を実施した。

模擬 FP の添加は、調整設備の溶液払出槽から供給設備（Ｉ）のダンプ槽へのウラン溶液燃料の移送（約 10ℓ）に合わせて、その移送経路上に設けた注入口から投入することで実施した。なお、模擬 FP は、分取・秤量した模擬 FP 化合物の粉末を別途系統外にて水溶液とした後、投入している。この投入方法により、ウラン溶液燃料の払出元である溶液払出槽に添加した場合と比べ、模擬 FP の混入範囲を一部に限定するとともに、移送することのできない貯槽底部の残液（ヒール）による添加した模擬 FP の損失を減らすことができた。

模擬 FP は析出防止上濃度制限値以下に管理しなければならないことから、過剰な添加を防止する必要があった。そのため、添加までの過程で想定される以下 4 点の誤差等を式（2.1）に反映して、模擬 FP 化合物の添加量を決定した。

①ダンプ槽の液位計誤差（±0.6ℓ）
②移送するウラン溶液燃料の到達量
③秤量器の誤差（今回使用した秤量器では±0.05g）
④模擬 FP 化合物の分子量（水和数）

①及び②については、添加後のダンプ槽の液量が想定した液量を下回ると、模擬 FP 濃度が目標濃度より高くなるため、添加後の想定液量が小さくなるように反映した。

③については、秤量した模擬 FP 化合物の重量が、秤量器のプラス誤差分だけ多くなることを想定し、量り取る重量からあらかじめ差し引いた。

④については、添加する模擬 FP 化合物の水和数による分子量の誤差である。模擬 FP 化合物は水和物であるが水和数は確定していなかった。水和数を過大評価して模擬 FP 化合物の分子量を大きく見積もると、添加する模擬 FP 化合物重量の計算結果が過大となるため、安全側に無水和物であると仮定した。

誤差等を反映した式を、式（2.2）及び式（2.3）に示す。

$$W = Ct \cdot V / ((Me \cdot x) / Mcs) - w \qquad (2.2)$$
$$V = (Vo + L) + Va + Vp \qquad (2.3)$$

W　：添加する化合物重量（g）
Ct　：目標濃度（g/ℓ ）
V　：添加後の想定液量（ℓ ）
Me　：添加する可溶性中性子毒物元素の原子量（u）
x　：可溶性中性子毒物化合物（1 分子）に含まれる可溶性中性子毒物元素の数
Mcs：無水和物と仮定した添加する可溶性中性子毒物化合物の分子量（u）
w　：秤量器のプラス誤差（＋0.05g）
L　：ダンプ槽液位計のマイナス誤差（－0.6ℓ ）
Vo　：添加前のダンプ槽液量（ℓ ）
Va　：添加時に移送するウラン溶液燃料の液量（予定 10ℓ に対し 7ℓ 又は 8ℓ ）
Vp　：添加する可溶性中性子毒物溶液の液量（ℓ ）

式（2.3）による模擬 FP 添加後の想定液量及び実績液量を表 2.2.2 に示す。想定液量は、実績液量に対して 1.0ℓ から 3.1ℓ 下回っていた。この結果、①及び②に対する措置により、想定液量が十分安全側に見積られていたことが確認できた。

この想定液量に③、④に対する措置を加えた式（2.2）により、模擬 FP 化合物重量を計算して添加を行った。模擬 FP の添加結果を表 2.2.3 に示す。表 2.2.3 の各添加元素の濃度の計算に用いた分析値は、サマリウム及びユーロピウムについては同位体希釈質量分析法、ロジウムについては ICP 発光分光分析法、セシウムについてはイオンクロマトグラフ法による。各模擬 FP の濃度は、目標濃度に対しサマリウムで約 24%、セシウムで約 2%、ロジウムで約 14%、ユーロピウムで約 26%、それぞれ低い結果となった。この結果、本方法を用いることで、可溶性中性子毒物を目標濃度より低く管理したうえでウラン溶液燃料に添加できることが確認できた。しかし、本方法では添加した元素によっては目標濃度に対し、約 14～約 26%の大きな差異が発生している。これは④に対する措置が大きく影響したものと考えられる。なお、この差異については、次節に記述する平成 18 年度に実施したガドリニウム添加時に小さくする試みを行っている。

12 回の模擬 FP の添加作業により、定常的な可溶性中性子毒物の添加作業を確立することができた。模擬 FP の添加作業フローを図 2.2.1 に、全 12 回の模擬 FP の添加に係る各データを表 2.2.4 に示す。模擬 FP を添加したウラン溶液燃料は、最終的に約 97kgU である。

2.2.2　ガドリニウムの添加

ガドリニウムは、平成 18 年 6 月から 10 月にかけて、7 回に分け順次添加を実施した。

ガドリニウムのウラン溶液燃料への添加は、平成 17 年度に実施した模擬 FP の添加と同様の方法である。ガドリニウムを濃度制限値以下で管理するための措置も、模擬 FP の添加時と同様に式（2.2）、式（2.3）により実施した。ただし、目標濃度との差異を小さくするため、移送するウラン溶液燃料の到達量及び添加するガドリニウム化合物の水和数を、それぞれ移送実績及び文献[4)]を参考にした値に変更した。ガドリニウムの添加作業フローを図 2.2.2 に示す。

式（2.3）によるガドリニウム添加後の想定液量及び実績液量を表 2.2.5 に示す。移送するウラン溶液燃料の到達量は、1 回目から 3 回目は模擬 FP の添加に倣い 7ℓ と想定したが、4 回目から 6 回目は移送実績から 9ℓ とした。その結果、想定液量と実績液量の差異は、5 回目には 0ℓ 、6 回目には－1.1ℓ となり、想定液量が実績液量を上回ってしまった。そのため、ガドリニウム濃度が最大となる 7 回目の添加では、確実に想定液量を安全側に設定するため、添加前のダンプ槽の液量を想定液量とした。

ガドリニウムの添加結果を表 2.2.6 に示す。表 2.2.6 のガドリニウム濃度の計算に用いた分析値は同位体希釈質量分析法による。ただし、第 6 回目のみ、ICP 発光分光分析法による。ガドリニウムの添加においては、添加するガドリニウム化合物の水和数を無水和物ではなく、文献を参考に 6 水和物と設定して、式（2.2）により添加するガドリニウム化合物重量を計算した。しかし、この水和数が過大評価であると、添加するガドリニウム化合物重量の計算結果は過大になってしまう。そのため、添加時には安全確認として秤量値から無水和物と仮定したガドリニウム元素重量を再評価し、無水和物であっても濃度制限値以下であること確認した。ただし、最後の 7 回目の添加については、無水和物ではなく 5 水和物として評価し、濃度制限値以下であることを確認した。この水和数の値は、添加 1 回目から 6 回目のガドリニウム溶液の分析結果から計算した水和数約 5.9 を安全側に評価したものである。

この方法によりガドリニウムの添加は、濃度制限値より低く管理したうえで目標濃度に対し平均約－1%の差異で実施することができ、模擬 FP 添加時と比べ目標濃度に対する差異を小さくすることができた。

全 7 回のガドリニウムの添加に係る各データを表 2.2.7 に示す。ガドリニウムを添加したウラン溶液燃料は、最終的に約 101kgU である。

3．ウラン溶液燃料の精製

平成 17 年から平成 18 年度にかけて、STACY では可溶性中性子毒物を添加したウラン溶液燃料を用いて臨界実験を実施した。この臨界実験に使用したウラン溶液燃料は、臨界実験に再使用することから、可溶性中性子毒物を除去する必要があった。そのため、可溶性中性子毒物を添加したウラン溶液燃料の一部について燃料調製施設の精製設備において可溶性中性子毒物の除去を行った。

3.1　精製運転

可溶性中性子毒物の除去は、燃料調製施設の精製設備に設置された抽出器、U 逆抽出器等のミキサセトラを用いた溶媒抽出法により行う。精製設備のミキサセトラは、容積約 0.7ℓ のミキサ部と同約 2.9ℓ のセトラ部の一組を 1 段として、抽出器は 16 段、U 逆抽出器は 12 段で構成されている。[5)]

また、精製運転の停止期間中、溶媒として用いている 30%TBP/n-ドデカン（以下「溶媒」という。）がミキサセトラ内で硝酸により劣化してウランの逆抽出を阻害する DBP（Dibutyl phthalate）が発生するため、DBP を除去するための溶媒洗浄を燃料調製施設の精製附属設備に

おいて実施した。

精製運転の実績概要を表 3.1.1 に、運転記録を表 3.1.2 に示す。また、精製運転に係る系統図を図 3.1.1 に示す。

3.1.1　可溶性中性子毒物添加ウラン溶液燃料の精製

精製設備では、可溶性中性子毒物を添加したウラン溶液燃料の処理に先立ち、平成 18 年 7 月から 8 月にかけて実機における可溶性中性子毒物の分離性能を確認する精製運転を実施した。この運転では、STACY の系統内を洗浄した模擬 FP を含む洗浄液を精製した。洗浄液は事前に精製運転に適した硝酸濃度（約 3N）に調整した。調整後の洗浄液量は約 79ℓ 、洗浄液に含まれていたウラン量は約 2kgU であった。主要なミキサセトラの運転条件を表 3.1.3 に、運転結果を表 3.1.4 に示す。表 3.1.4 の各元素の濃度は、サマリウム、ロジウム及びユーロピウムについては ICP 発光分光分析法、セシウムについてはイオンクロマトグラフ法を用いて分析した値である。（以下、同項目の分析値について同様。）

精製運転の結果、洗浄液に含まれていた 4 種類の模擬 FP（サマリウム、セシウム、ロジウム、ユーロピウム）について、分析下限値未満まで洗浄液から分離することができた。本精製運転では、ウランの回収率は約 96%であった。また、各元素の除染係数はサマリウムで 6.7、セシウムで 392.3、ロジウムで 106.9、ユーロピウムで 2.2 を超えることを確認した。元素により除染係数に大きな差が出たが、洗浄液に含まれていた初期の模擬 FP 量と分析下限値の違いによるものである。

十分な分離効果が確認できたため、平成 19 年 6 月から 7 月にかけて、同運転条件において模擬 FP を添加したウラン溶液燃料の一部と、模擬 FP 及びガドリニウムを含む洗浄液について精製を実施した。ウラン溶液燃料等は精製運転前に調整し、ウラン溶液燃料はウラン濃度約 166gU/ℓ 及び硝酸濃度約 2.9N とし、洗浄液は硝酸濃度約 2.9N とした。調整後のウラン溶液燃料は約 114ℓ で約 19kgU、洗浄液は約 62ℓ で約 6kgU となった。

精製運転の結果を表 3.1.5 に示す。表 3.1.5 のガドリニウム濃度は、ICP 発光分光分析法を用いて分析した値である。精製運転の結果、ウラン溶液燃料及び洗浄液中の可溶性中性子毒物は、全て分析下限値未満まで分離することができた。本運転では、ウランの回収率は約 98%であった。また、各元素の除染係数はサマリウムで 5.0、セシウムで 148.5、ロジウムで 61.0、ユーロピウムで 1.2、ガドリニウムで 1.6 を超えることを確認した。

良好な精製結果が得られたことから、本運転様式は今後の定常的な精製運転に適用できることが確認できた。本運転では、精製運転後の廃液処理を含め約 25kgU の処理を約 1.5 月で実施した。処理した洗浄液を燃料に置き換えると、同期間で約 29kgU の処理が可能である。

3.1.2　溶媒洗浄

精製設備では、平成 18 年度、ウラン溶液燃料等の処理を開始する前に試運転を実施していた。この試運転期間においては、設備の停止中にミキサセトラ内で劣化して DBP が増加した溶媒は入替えを行い、有機廃液として廃棄していた。その入替えに伴う有機廃液の発生量は 1 回あたり約 200ℓ であった。

ウラン溶液燃料等の処理を開始するにあたり、有機廃液を低減することを目的に、劣化した溶媒を再使用することから、図 3.1.1 に示す溶媒洗浄工程で洗浄して DBP を除去することとした。

そのため、洗浄により溶媒中の DBP が除去できること、及び、洗浄に伴い発生する有機廃液が入替えに伴う有機廃液より少ないことの 2 点を確認する溶媒洗浄試験を平成 18 年 5 月から 7 月にかけて実施した。

溶媒洗浄試験のフロー図を図 3.1.2 に示す。溶媒洗浄試験では、劣化のない溶媒を用い、抽出器、U逆抽出器内の劣化溶媒を置換する（追出す）ように順次運転し、追出した劣化溶媒を溶媒洗浄器で炭酸ナトリウムにより洗浄し再使用することとした。この抽出器、U逆抽出器、溶媒洗浄器の一連の運転を繰返し行い、溶媒を系統内で循環させながら DBP 濃度の低下傾向を確認した。なお、溶媒洗浄試験時の各ミキサセトラの運転条件は、表 3.1.2 の運転記録のとおりである。この運転条件は、調整液を供給しないこと以外、通常の精製運転と同じ条件である。

溶媒洗浄試験において各ミキサセトラ内から追出した溶媒中の DBP 濃度変化を図 3.1.3 に示す。抽出器から追出した溶媒の DBP 濃度は運転毎に低下し、4 回目の運転後には分析下限値未満の濃度まで低下した。U逆抽出器から追出した溶媒の DBP 濃度は、2 回目の運転後一旦上昇したが、その後は順調な低下傾向を確認できた。一旦上昇したのは、U逆抽出器に供給した抽出器から追出した溶媒が、U逆抽出器内の溶媒より劣化していたためである。この溶媒劣化の差は、ミキサセトラ内の水相硝酸濃度（抽出器は約 2～3N、U逆抽出器は約 0.01～0.5N）によるものと考えられる。また、各回の洗浄運転で追出した劣化溶媒（最大 DBP 濃度 1030mg/ℓ ）については、それぞれ溶媒洗浄器を 1 回通すことで、DBP 濃度を分析下限値未満まで除去することができている。これらの結果から、本方法による溶媒洗浄により、溶媒中の DBP を問題無く除去できることが確認できた。

また、この溶媒洗浄試験に伴い発生した有機廃液は、各ミキサセトラの運転に伴う廃希釈剤のみである。その量は、抽出器、U逆抽出器及び溶媒洗浄器の一連の運転 1 回で約 4ℓ であった。本試験ではその運転を 4 回実施したため、発生した廃希釈剤は約 16ℓ である。溶媒の劣化の程度により運転回数の増加が考えられるが、入替え時に発生する約 200ℓ の有機廃液と比較すると、十分低く抑えられる。

これらの結果、溶媒洗浄試験の方法により劣化した溶媒を洗浄して再使用することで有機廃液を低減できることが確認できた。この方法を溶媒洗浄運転として確立して平成 19 年度の精製運転前にも実施し、有機廃液の発生量を低減した。

4. おわりに

燃料調製施設では、STACY 及び TRACY に臨界実験に用いる ^{235}U 濃縮度 6wt%及び 10wt%のウラン溶液燃料を供給するため、濃縮・脱硝による濃度調整及び可溶性中性子毒物（模擬 FP 及びガドリニウム）の添加を行った。また、可溶性中性子毒物を添加したウラン溶液燃料の一部から、その除去を行った。

平成 16 年度から平成 20 年度までの期間で実施した濃縮・脱硝運転では、臨界実験用ウラン溶液燃料の濃度調整を約 389kgU、その他の濃度調整を約 130kgU、合計 519kgU の濃度調整を実施した。STACY で用いる臨界実験用ウラン溶液燃料には、平成 17 年度に模擬 FP を、平成 18 年度にガドリニウムを濃度制限値以下に管理したうえで添加した。模擬 FP を添加したウラン溶

液燃料は約 97kgU、ガドリニウムを添加したウラン溶液燃料は約 101kgU である。

平成 18 年度、平成 19 年度には精製運転を実施し、可溶性中性子毒物を添加したウラン溶液燃料及びその洗浄液を約 27kgU 精製した。また、精製運転前に溶媒洗浄試験を行い、精製運転に伴う有機廃液を低減する溶媒洗浄運転を確立した。

平成 21 年度以降、燃料調製施設では、引き続き臨界実験用ウラン溶液燃料を供給するための運転を実施している。

謝辞

本報告書を作成するにあたり、貴重なご助言を頂いた福島技術開発試験部の森田泰治部長、柳澤宏司次長及び白橋浩一氏に深く感謝します。また、試料分析を行って頂くと共に本報告書の作成にあたりご助言を頂いた旧安全試験施設管理部燃料技術課分析グループの方々、燃料調製施設の運転・保守において多大なご協力をいただいた旧安全試験施設管理部の方々に厚くお礼申しあげます。

参考文献

1）杉川進他，“燃料サイクル安全工学研究施設(NUCEF)核燃料調製設備の概要(受託研究)”，JAERI-Tech 97-007(1997)

2）梅田幹他，“蒸発缶を用いたウラン溶液中遊離硝酸濃度の低減化”，日本原子力学会 1997 年（第 35 回）春の年会要旨集，K21(1997).

3）石仙順也他，“核燃料調製設備の運転記録”，JAERI-Tech 2005-004(2005).

4）化学大辞典編集委員会編，“化学大辞典４”，共立出版株式会社(1963) .

5）梅田幹他，“臨界安全形状ミキサセトラの設計、製作及び機能試験”，JAERI-Tech 96-058(1997).

表 2.1.1　U 濃縮缶の運転実績概要（1／2）

	実施時期	目的	運転内容	調整燃料量（濃縮度）
1	H16.4.19～26	STACY 洗浄液の濃縮	目標濃度：－ 運転回数：1 調整後濃度：23.2gU/ℓ　3.14N 液量減容：約 762→約 35ℓ	約 1kgU （6%）
2	H16.5.12	STACY 燃料払出後の系統洗浄に伴う濃縮	目標濃度：－ 運転回数　：1 調整後濃度：201.0gU/ℓ　3.03N	約 7kgU （6%）
3	H16.10.19～11.18	STACY H17 年度臨界実験用ウラン溶液燃料の濃度調整(1/2)	目標濃度：330gU/ℓ　2N 運転回数　：6 調整後濃度：326.5gU/ℓ　2.05N	約 72kgU （6%）
4	H17.4.19～21	STACY 洗浄液の濃縮	目標濃度：－ 運転回数：1 調整後濃度：71.4gU/ℓ　0.53N 液量減容：約 469ℓ →約 36ℓ	約 3kgU （6%）
5	H17.5.11～6.2	STACY H17 年度臨界実験用ウラン溶液燃料の濃度調整(2/2)	目標濃度：330gU/ℓ　2N 運転回数　：6 調整後濃度：329.9gU/ℓ　1.92N	約 70kgU （6%）
6	H17.6.23～8.2	STACY H18 年度臨界実験用ウラン溶液燃料の濃度調整	目標濃度：330gU/ℓ　2N 運転回数　：10 調整後濃度：約 329gU/ℓ　約 2.0N	約 117kgU （6%）
			（調整済燃料と統合後） 調整後濃度：327.6gU/ℓ　1.95N	約 130kgU （6%）
7	H17.8.31	STACY 燃料払出後の系統洗浄に伴う濃縮(1/2)	目標濃度：－ 運転回数　：1 調整後濃度：221.9gU/ℓ　1.47N	約 8kgU （6%）
8	H17.11.10	STACY 燃料払出後の系統洗浄に伴う濃縮(2/2)	目標濃度：－ 運転回数　：1 調整後濃度：180.3gU/ℓ　1.06N	約 6kgU （6%）
9	H18.4.17～21	STACY 洗浄液の濃縮	目標濃度：4N 運転回数：1 調整後濃度：34.7gU/ℓ　4.02N 液量減容：約 708ℓ →約 35ℓ	約 1kgU （6%）
10	H18.5.10	STACY 燃料払出後の系統洗浄に伴う濃縮	目標濃度：－ 運転回数　：1 調整後濃度：412.6gU/ℓ　1.61N	約 15kgU （6%）
11	H18.6.19～7.4	精製設備運転（試運転）に伴う濃縮	目標濃度：－ 運転回数　：1 調整後濃度：3.8gU/ℓ　2.52N	<1kgU （6%）
12	H18.7.21～8.2	精製設備運転に伴う濃縮	目標濃度：－ 運転回数　：1 調整後濃度：43.8gU/ℓ　3.65N	約 2kgU （6%）
13	H18.8.22～31	PIT/PIV のための系統洗浄に伴う濃縮	目標濃度：－ 運転回数　：1 調整後濃度：211.1gU/ℓ　2.43N	約 8kgU （6%）
14	H18.10.25	STACY 燃料払出後の系統洗浄に伴う濃縮	目標濃度：－ 運転回数　：1 調整後濃度：約 323gU/ℓ　約 1.8N	約 12kgU （6%）
15	H18.11.9～10	精製設備運転後の系統洗浄に伴う濃縮	目標濃度：－ 運転回数　：1 調整後濃度：319.7gU/ℓ　1.78N	約 12kgU （6%）

表 2.1.1　U 濃縮缶の運転実績概要（２／２）

	実施時期	目的	運転内容	調整燃料量（濃縮度）
16	H19.4.16～20	STACY 洗浄液の濃縮	目標濃度：－ 運転回数：1 調整後濃度：約 112gU/ℓ　約 0.8N 液量減容：約 679ℓ →約 36ℓ	約 4kgU （6%）
17	H19.5.9	STACY 燃料払出後の系統洗浄に伴う濃縮	目標濃度：－ 運転回数　：1 調整後濃度：約 169gU/ℓ　約 1.9N	約 6kgU （6%）
18	H19.6.6	精製設備運転（準備）に伴う濃縮	目標濃度：－ 運転回数　：1 調整後濃度：<1gU/ℓ　約 2.2N	<1kgU （6%）
19	H19.6.21～7.13	精製設備運転に伴う濃縮	目標濃度：－ 運転回数　：3 調整後濃度：約 214gU/ℓ　約 1.7N	約 23kgU （6%）
20	H19.11.1	STACY 燃料の受入に伴う濃縮	目標濃度：－ 運転回数　：1 調整後濃度：325.3gU/ℓ　2.58N	約 12kgU （6%）
21	H19.11.8～14	STACY H20 年度臨界実験用ウラン溶液燃料の濃度調整	目標濃度：300gU/ℓ　1.5N 運転回数　：2 調整後濃度：約 302gU/ℓ　約 1.5N	約 22kgU （6%）
			（調整済燃料と統合後） 調整後濃度：294.9gU/ℓ　1.53N	約 68kgU （6%）
22	H20.4.16～21	STACY 洗浄液の濃縮	目標濃度：－ 運転回数：1 調整後濃度：46.9gU/ℓ　2.22N 液量減容：約 481ℓ →約 36ℓ	約 2kgU （6%）
23	H20.5.12	STACY 燃料払出後の系統洗浄に伴う濃縮	目標濃度：－ 運転回数　：1 調整後濃度：117.9gU/ℓ　2.17N	約 4kgU （6%）
24	H20.5.14	6wt%濃縮度ウラン溶液燃料の系統洗浄	目標濃度：－ 運転回数　：1 調整後濃度：<1gU/ℓ　0.01N	<1kgU （6%）
25	H20.6.11～19	TRACY H20 年度臨界実験用ウラン溶液燃料の濃度調整	目標濃度：470gU/ℓ　0.7N 運転回数　：2 調整後濃度：約 468gU/ℓ　約 0.5N	約 35kgU （10%）
26	H20.6.25	TRACY 燃料払出後の系統洗浄に伴う濃縮	目標濃度：－ 運転回数　：1 調整後濃度：115.9gU/ℓ　0.18N	約 4kgU （10%）
27	H20.6.27	10wt%濃縮度ウラン溶液燃料の系統洗浄	目標濃度：－ 運転回数　：1 調整後濃度：1gU/ℓ　<0.01N	<1kgU （10%）
28	H20.8.19～29	精製設備運転（試運転）に伴う濃縮	目標濃度：－ 運転回数　：1 調整後濃度：2.5gU/ℓ　2.22N	<1kgU （6%）
29	H20.10.14～11.13	STACY H21 年度臨界実験用ウラン溶液燃料の濃度調整	目標濃度：390gU/ℓ　1.4N 運転回数　：5 調整後濃度：382.8gU/ℓ　1.49N	約 73kgU （6%）

表 2.1.2　U 濃縮缶運転記録（１／３）

	運転日	U濃縮缶運転条件		運転時間		U濃縮缶液温		蒸気温度		運転後U濃縮缶データ			運転後分析値		処理量
		設定液位 (mm)	蒸気流量 (kg/h)	濃縮 (h)	脱硝 (h)	濃縮後 (℃)	脱硝後 (℃)	濃縮後 (℃)	脱硝後 (℃)	液量 (ℓ)	密度 (g/cm^3)	温度 (℃)	ウラン濃度 (g/ℓ)	硝酸濃度 (N)	(kgU)
1	H16.4.19～23,26	1414	30	30.3	―	100.8	―	113.5	―	35.4	1.135	26.2	23.2	3.14	<1
2	H16.5.12	1414	30	5.8	―	102.3	―	116.0	―	35.84	1.356	39.4	201.0	3.03	7.2
3	H16.10.19	1414	30	0.85	4.0	103.6	103.0	117.5	116.8	36.65	1.503	39.1	340.7	2.10	12.5
	H16.11.4			0.65	5.0	103.7	102.9	117.5	116.3	36.46	1.503	40.2	339.7	2.01	12.4
	H16.11.9			0.63	4.5	103.9	103.3	117.8	117.0	36.47	1.508	39.8	342.6	2.09	12.5
	H16.11.11			0.50	5.0	103.3	102.5	116.8	115.9	36.57	1.467	39.4	312.5	1.97	11.4
	H16.11.16			0.62	5.0	103.4	102.8	116.8	115.4	36.42	1.483	40.2	322.7	2.06	11.8
	H16.11.18			1.05	5.0	103.9	102.8	117.8	102.8	36.71	1.494	41.0	333.7	1.94	12.3
4	H17.4.19～21	1414	30	19.4	―	97.4	―	109.8	―	36.35	1.108	40.9	71.4	0.53	2.6
5	H17.5.11	1414	30	1.8	―	101.6	―	115.2	―	35.35	1.483	38.7	319.9	1.91	11.3
	H17.5.17			1.6	―	102.1	―	116.3	―	35.14	1.505	38.2	337.8	1.94	11.9
	H17.5.23			1.7	―	101.1	―	115.1	―	35.43	1.501	38.8	336.2	1.97	11.9
	H17.5.25			1.8	―	101.3	―	114.6	―	35.68	1.485	39.3	324.7	1.94	11.6
	H17.5.31			1.9	―	101.7	―	115.4	―	35.45	1.493	39.7	330.2	1.98	11.7
	H17.6.2			1.9	―	101.0	―	114.3	―	35.70	1.490	39.1	326.6	1.97	11.7
6	H17.6.23	1414	30	1.7	―	101.6	―	115.2	―	35.61	1.497	38.4	331.5	1.96	11.8
	H17.6.28			1.7	―	101.1	―	114.7	―	35.74	1.492	38.2	328.6	1.95	11.7
	H17.7.5			1.8	―	100.8	―	114.7	―	35.74	1.493	38.6	327.4	1.96	11.7
	H17.7.7			1.9	―	101.9	―	115.7	―	35.46	1.520	35.6	341.1	2.18	12.1
	H17.7.12			1.6	―	101.6	―	115.2	―	35.63	1.490	38.5	323.1	2.04	11.5
	H17.7.19			1.6	―	101.5	―	115.1	―	35.46	1.490	38.7	323.4	2.05	11.5
	H17.7.21			1.6	―	101.7	―	115.4	―	35.61	1.492	38.7	326.0	2.03	11.6
	H17.7.26			1.7	―	101.1	―	114.7	―	35.63	1.495	38.9	329.0	1.97	11.7
	H17.7.28			1.7	―	101.4	―	115.4	―	35.49	1.495	38.8	329.2	1.97	11.7
	H17.8.2			1.7	―	100.8	―	114.6	―	35.50	1.497	39.3	331.9	1.98	11.8

表 2.1.2　U 濃縮缶運転記録（２／３）

	運転日	U濃縮缶運転条件		運転時間		U濃縮缶液温		蒸気温度		運転後U濃縮缶データ			運転後分析値＊		処理量
		設定液位 (mm)	蒸気流量 (kg/h)	濃縮 (h)	脱硝 (h)	濃縮後 (℃)	脱硝後 (℃)	濃縮後 (℃)	脱硝後 (℃)	液量 (ℓ)	密度 (g/cm^3)	温度 (℃)	ウラン濃度 (g/ℓ)	硝酸濃度 (N)	(kgU)
7	H17.8.31	1414	30	4.8	―	100.0	―	113.8	―	35.98	1.338	38.5	221.9	1.47	8.0
8	H17.11.10	1414	30	2.8	―	99.2	―	112.6	―	35.73	1.274	36.0	180.3	1.06	6.4
9	H18.4.17～21	1414	30	30.2	―	101.6	―	114.3	―	35.21	1.182	24.7	34.7	4.02	1.2
10	H18.5.10	1414	30	1.7	3.1	103.5	103.2	117.8	116.6	36.39	1.594	39.0	412.6	1.61	15.0
11	H18.6.19、7.3～4	1414	30	14.5	―	99.5	―	111.2	―	35.40	1.077	35.4	3.8	2.52	<1
12	H18.7.21～8.2	1414	30	16.6	5.1	102.9	111.8	102.0	114.3	35.30	1.170	39.1	43.8	3.65	1.5
13	H18.8.22	1414	30	2.9	3.4	103.0	102.3	116.6	116.3	35.95	1.355	38.9	211.1	2.43	7.6
	H18.8.23			1.5	4.9	107.1	103.5	121.7	118.6						
	H18.8.24			―	6.0	―	102.1	―	116.1						
	H18.8.25			―	5.2	―	101.5	―	115.2						
	H18.8.31			2.0	3.0	102.1	101.5	115.4	115.2						
14	H18.10.25	1414	30	1.8	1.7	102.3	102.1	115.7	115.5	36.86	1.469	38.7	(323.3)	―	11.9
15	H18.11.9～10	1414	30	5.5	6.6	103.6	102.5	117.7	116.2	36.66	1.489	24.2	319.7	1.78	11.7
16	H19.4.16～20	1414	30	29.1	―	98.3	―	110.6	―	36.05	1.180	24.6	(112.5)	(0.81)	4.1
17	H19.5.9	1414	30	2.0	1.6	100.3	100.3	113.4	113.3	35.87	1.284	36.5	169.2	1.91	6.1
18	H19.6.6	1414	30	5.6	―	99.0	―	111.4	―	36.03	1.031	101.1	(0.5)	(2.20)	<1
19	H19.6.21、27～28	1414	30	5.7	―	100.6	―	114.3	―	36.65	1.209	38.3	100.3	2.80	3.7
	H19.7.3～6、10			9.0	―	101.3	―	115.4	―	36.09	1.501	38.3	355.0	1.56	12.8
	H19.7.12～13			3.4	―	98.4	―	111.4	―	34.58	1.285	24.3	(188.5)	(0.74)	6.5

＊：（　）の値は供給したウラン量及び硝酸量からの計算値

表 2.1.2　U 濃縮缶運転記録（３／３）

	運転日	U濃縮缶運転条件		運転時間		U濃縮缶液温		蒸気温度		運転後U濃縮缶データ			運転後分析値*		処理量
		設定液位 (mm)	蒸気流量 (kg/h)	濃縮 (h)	脱硝 (h)	濃縮後 (℃)	脱硝後 (℃)	濃縮後 (℃)	脱硝後 (℃)	液量 (ℓ)	密度 (g/cm^3)	温度 (℃)	ウラン濃度 (g/ℓ)	硝酸濃度 (N)	(kgU)
20	H19.11.1	1414	30	2.9	1.8	103.5	103.3	117.4	117.1	35.96	1.499	39.0	325.3	2.58	11.7
21	H19.11.8	1414	30	0.3	2.3	101.9	101.8	115.2	115.2	36.92	1.450	37.1	306.7	1.65	11.3
	H19.11.14			0.4	4.0	101.6	101.4	115.1	114.9	37.09	1.428	38.1	296.7	1.43	11.0
22	H20.4.16～18、21	1414	30	22.7	―	99.4	―	112.6	―	35.73	1.134	39.0	46.9	2.22	1.7
23	H20.5.12	1414	30	4.8	―	100.4	―	113.8	―	35.82	1.221	38.1	117.9	2.17	4.2
24	H20.5.14	1414	30	4.2	―	97.0	―	109.8	―	36.82	1.000	37.5	0.96	0.01	<1
25	H20.6.11～13	1414	30	0.3	18.9	103.3	101.6	118.1	116.4	37.29	1.634	25.0	459.4	0.47	17.1
	H20.6.17～19			0.3	18.4	103.8	101.8	118.7	116.8	36.92	1.640	40.6	475.8	0.49	17.6
26	H20.6.25	1414	30	4.6	―	97.3	―	109.9	―	35.78	1.158	38.0	115.9	0.18	4.1
27	H20.6.27	1414	30	4.4	―	97.0	―	109.4	―	36.69	1.006	25.0	1.0	<0.01	<1
28	H20.8.19、27～29	1414	30	9.2	6.1	99.5	99.2	111.8	111.2	34.64	1.081	24.2	2.5	2.22	<1
29	H20.10.14	1414	30	3.0	2.5	104.8	104.1	119.0	118.0	36.90	1.549	25.2	380.2	1.35	<1
	H20.10.15～17			1.7	13.0	106.2	102.5	121.4	116.6						
	H20.10.22～23			1.4	8.0	104.4	102.8	118.4	116.6	37.17	1.558	39.1	395.8	1.43	14.7
	H20.10.29～30			1.4	8.0	104.1	102.7	118.3	116.6	37.01	1.570	38.3	405.1	1.43	15.0
	H20.11.6～7			1.4	7.0	104.4	102.6	118.5	116.4	37.09	1.577	24.7	400.8	1.50	14.9
	H20.11.12～13			1.7	7.0	104.1	102.8	118.4	116.9	37.22	1.554	37.7	390.7	1.51	14.5

表 2.1.3　STACY・TRACY 臨界実験用ウラン溶液燃料の濃度調整結果

運　転	調整目標濃度		調整後濃度		誤差			
	ウラン濃度 (gU/ℓ)	硝酸濃度 (N)	ウラン濃度 (gU/ℓ)	硝酸濃度 (N)	ウラン濃度 (gU/ℓ)	ウラン濃度 (%)	硝酸濃度 (N)	硝酸濃度 (%)
STACY H17 年度臨界実験用ウラン溶液燃料の濃度調整 (1/2)	330	2	326.5	2.05	−3.5	−1.1	0.05	2.5
STACY H17 年度臨界実験用ウラン溶液燃料の濃度調整 (2/2)	330	2	329.9	1.92	−0.1	−0.1	−0.08	−4.0
STACY H18 年度臨界実験用ウラン溶液燃料の濃度調整	330	2	329.1*	2.01*	−0.9	−0.3	0.01	0.5
STACY H20 年度臨界実験用ウラン溶液燃料の濃度調整	300	1.5	301.7*	1.54*	1.7	0.6	0.04	2.7
TRACY H20 年度臨界実験用ウラン溶液燃料の濃度調整	470	<0.7	467.8*	0.48*	−2.2	−0.5	—	—
STACY H21 年度臨界実験用ウラン溶液燃料の濃度調整	390	1.4	382.8	1.49	−7.2	−1.9	0.09	6.5
平均誤差	—	—	—	—	−2.1	−0.6	0.03	1.7

＊：当該調整に係るＵ濃縮缶運転各バッチの分析値の平均値

表 2.2.1　可溶性中性子毒物の種類及び最大濃度

可溶性中性子毒物の種類	最大濃度
サマリウム	0.190g/ℓ 以下
ロジウム	1.57g/ℓ 以下
セシウム	3.95g/ℓ 以下
ユーロピウム	0.0315g/ℓ 以下
ガドリニウム	0.84g/ℓ 以下

表 2.2.2　模擬 FP 添加後のダンプ槽液量の想定値と実績値

添加回数	想定液量				実績液量 (ℓ)	実績－想定 (ℓ)
	ダンプ槽初期液量 (ℓ)	ｳﾗﾝ溶液の想定到達量 (ℓ)	添加する模擬 FP 溶液*1 (ℓ)	想定液量 (合計−0.6ℓ*2) (ℓ)		
1	175.1	8	0.6	183.1	184.1	1.0
2	184.1	8	0.6	192.1	193.2	1.1
3	193.2	8	0.6	201.2	202.2	1.0
4	202.6	8	4.1	214.1	216.1	2.0
5	215.8	7	4.1	226.3	229.4	3.1
6	229.1	7	4.1	239.6	242.0	2.4
7	242.0	7	0.7	249.1	251.4	2.3
8	251.1	7	0.7	258.2	260.5	2.3
9	260.8	7	0.7	267.9	270.2	2.3
10	267.3	7	0.6	274.3	276.0	1.7
11	275.7	7	0.6	282.7	285.4	2.7
12	285.0	7	0.6	292.0	294.1	2.1

＊１：このうち、0.1ℓ は模擬 FP 溶液追出し用の脱塩水。
＊２：液位計のマイナス誤差を考慮した液量。

表 2.2.3　模擬 FP の添加結果

添加回数	添加元素	目標濃度 (g/ℓ)	分析値による濃度* (g/ℓ)	誤差 (%)
1	Sm	0.06333	0.048	−24.2
2	Sm	0.12666	0.096	−24.2
3	Sm	0.18999	0.144	−24.2
4	Sm	0.18999	0.144	−24.2
	Cs	1.1753	1.159	−1.4
5	Sm	0.18999	0.143	−24.7
	Cs	2.3506	2.306	−1.9
6	Sm	0.18999	0.144	−24.2
	Cs	3.526	3.454	−2.0
7	Rh	0.5117	0.435	−15.0
8	Rh	1.0233	0.881	−13.9
9	Rh	1.535	1.318	−14.1
10	Eu	0.01049	0.008	−23.7
11	Eu	0.02099	0.015	−28.5
12	Eu	0.03148	0.023	−26.9
平均誤差 (%)	Sm	−24.3		
	Cs	−1.8		
	Rh	−14.3		
	Eu	−26.4		

＊：模擬 FP 水溶液の分析値による添加量と、添加後のダンプ槽液量から計算した濃度。

表 2.2.4　模擬 FP 添加に係るデータ

日付	種類	添加模擬 FP					添加後の ﾀﾞﾝﾌﾟ槽液量 (ℓ)	添加後の 濃度 (g/ℓ)
		化合物秤量値 (g)	水溶液重量 (g)	分析値 (mg/g)	添加重量 (g)	累計重量 (g)		
H17.7.4	Sm①	25.89	517.44	17.1	8.85	8.85	184.1	0.048
H17.7.11	Sm②	28.49	520.49	18.7	9.73	18.58	193.2	0.096
H17.7.19	Sm③	31.08	521.42	20.3	10.58	29.16	202.2	0.144
H17.7.25	Sm④	5.49	4363.87	0.429	1.87	31.03	216.1	0.144
	Cs①	368.96		57.4	250.49	250.49		1.159
H17.7.29	Sm⑤	5.18	4405.66	0.405	1.78	32.81	229.4	0.143
	Cs②	411.07		63.2	278.44	311.25		1.357
H17.8.8	Sm⑥	5.65	4453.87	0.434	1.93	34.74	242.0	0.144
	Cs③	458.85		68.9	306.87	341.61		1.412
H17.8.15	Rh①	357.84	950.79	115	109.34	109.34	251.4	0.435
H17.8.22	Rh②	383.88	976.61	123	120.12	229.46	260.5	0.881
H17.8.29	Rh③	412.71	1005.17	126	126.65	356.11	270.2	1.318
H17.10.24	Eu①	6.34	496.27	4.20	2.08	2.08	276.0	0.008
H17.10.28	Eu②	6.80	496.85	4.52	2.25	4.33	285.4	0.015
H17.11.4	Eu③	7.25	497.22	4.76	2.37	6.7	294.1	0.023

表 2.2.5　ガドリニウム添加後のダンプ槽液量の想定値と実績値

添加回数	想定液量*3				実績液量 (ℓ)	実績－想定 (ℓ)
	ダンプ槽初期液量 (ℓ)	移送するウラン溶液 (ℓ)	添加するGd溶液*1 (ℓ)	合計−0.6ℓ*2 (ℓ)		
1	223.5	7.0	0.6	230.5	233.2	2.7
2	232.2	7.0	0.6	239.2	241.9	2.7
3	240.9	7.0	0.6	247.9	250.9	3.0
4	250.2	9.0	0.6	259.2	261.5	2.3
5	261.5	9.0	3.5	273.4	273.4	0.0
6	276.9	9.0	3.0	288.3	287.2	−1.1
7	286.6	―	―	―	297.8	11.2

＊１：このうちGd溶液は、1～5回目は0.5ℓ 、6回目は1ℓ 。残りはGd追出し用の脱塩水。
＊２：液位計のマイナス誤差を考慮した液量。
＊３：添加7回目の想定液量は、安全側にダンプ槽の初期液量とした。

表 2.2.6　ガドリニウムの添加結果

添加回数	目標濃度 (g/ℓ)	分析値による濃度*1 (g/ℓ)	誤差 (%)
1	0.02	0.020	0.0
2	0.04	0.040	0.0
3	0.06	0.059	−1.7
4	0.08	0.079	−1.3
5	0.10	0.100	0.0
6	0.40	0.410*2	―*3
7	0.744	0.721	−3.1
平均誤差 (%)	−1.0		

＊１：模擬FP水溶液の分析値による添加量と、添加後のダンプ槽液量から計算した濃度。
＊２：6回目のみ分析手法の違いから誤差が大きいため安全側に最大誤差の値を用いて評価した。
＊３：*2の理由により誤差は評価していない。

表 2.2.7　ガドリニウム添加に係るデータ

日付	添加 Gd					添加後の ﾀﾞﾝﾌﾟ槽液量 (ℓ)	添加後の 濃度 (g/ℓ)
	化合物秤量値 (g)	水溶液重量 (g)	分析値 (mg/g)	添加重量 (g)	累計重量 (g)		
H18.6.19	13.18	512.54	9.00	4.61	4.61	233.2	0.020
H18.7.3	14.18	513.58	9.67	4.97	9.58	241.9	0.040
H18.7.7	15.18	515.61	10.3	5.31	14.89	250.9	0.059
H18.7.24	16.78	515.59	11.4	5.88	20.77	261.5	0.079
H18.7.31	18.90	517.10	12.8	6.62	27.39	273.4	0.100
H18.10.16	253.63	1246.53	72.6	90.5	117.89	287.2	0.410
H18.10.23	279.77	1258.45	76.9	96.77	214.66	297.8	0.721

表 3.1.1　精製運転実績概要

	実施時期	目的	運転内容	精製燃料量 （濃縮度）
1	H18.5.16～7.14	溶媒洗浄に伴う運転 （溶媒洗浄試験）	ミキサセトラ運転日数：19 日 抽出器運転回数　　：5 Ｕ逆抽出器運転回数：7 溶媒洗浄器運転回数：7	―
2	H18.7.18～8.1	可溶性中性子毒物（模擬 FP）を含む STACY 洗浄液の精製 （分離性能確認）	ミキサセトラ運転日数：11 日 抽出器運転回数　　：9 Ｕ逆抽出器運転回数：9 溶媒洗浄器運転回数：5	約 2kgU （6%）
3	H18.8.28～29	ミキサセトラ洗浄運転	ミキサセトラ運転日数：2 日 抽出器運転回数　　：1 Ｕ逆抽出器運転回数：1 溶媒洗浄器運転回数：0	―
4	H18.10.26～11.8	ミキサセトラ洗浄運転	ミキサセトラ運転日数：7 日 抽出器運転回数　　：2 Ｕ逆抽出器運転回数：2 溶媒洗浄器運転回数：3	―
5	H19.5.16～6.1	溶媒洗浄に伴う運転	ミキサセトラ運転日数：10 日 抽出器運転回数　　：4 Ｕ逆抽出器運転回数：4 溶媒洗浄器運転回数：2	―
6	H19.6.19～11.19	可溶性中性子毒物（模擬 FP・Gd）を含む STACY 洗浄液及び可溶性中性子毒物（模擬 FP）添加 STACY 燃料の精製	ミキサセトラ運転日数：15 日 抽出器運転回数　　：15 Ｕ逆抽出器運転回数：14 溶媒洗浄器運転回数：7	約 25kgU （6%）
7	H19.9.12	ミキサセトラ洗浄運転	ミキサセトラ運転日数：1 日 抽出器運転回数　　：0 Ｕ逆抽出器運転回数：1 溶媒洗浄器運転回数：0	―
8	H19.11.19	ミキサセトラ洗浄運転	ミキサセトラ運転日数：1 日 抽出器運転回数　　：0 Ｕ逆抽出器運転回数：0 溶媒洗浄器運転回数：1	―
9	H20.7.23～8.22	溶媒洗浄に伴う運転	ミキサセトラ運転日数：10 日 抽出器運転回数　　：4 Ｕ逆抽出器運転回数：4 溶媒洗浄器運転回数：3	―

表 3.1.2　精製運転記録（１／５）

	運転日	精製処理量		運転時間(h)			ミキサ部撹拌機（rpm）	ミキサセトラ運転条件（上段：抽出器、中断：U逆抽出器、下段：溶媒洗浄器）						
								流量（ℓ/h）				差圧（Pa(mmAq)）		
		装荷ｳﾗﾝ（kgU）	製品ｳﾗﾝ（kgU）	抽出器	U 逆抽出器	溶媒洗浄器		調整液	溶媒/U装荷溶媒/廃溶媒	ｽｸﾗﾌﾞ液/ｽﾄﾘｯﾌﾟ液/洗浄液	希釈剤	抽出器/U逆抽出器/溶媒洗浄器	各洗浄器	水相ﾘｻｲｸﾙ
1	H18.5.16			—	—	4.7		—	6.0	2.4	0.34	−240.3	−284.4	—
	H18.5.17			—	—	5.5						(−24.5)	(−29.0)	
	H18.5.24			5.0	—	—		—	6.0	9.0	0.42	−222.6	−264.8	—
	H18.5.29			—	5.1	—						(−22.7)	(−27.0)	
	H18.5.30			—	4.7	—		—	12.0	0.38/0.44	0.06	−205.9	−260.9	−3922.7
	H21.6.5			—	—	2.5						(−21.0)	(−26.6)	(−400.0)
	H21.6.6			5.2	—	—								
	H21.6.12			—	5.8	—								
	H21.6.15			—	3.1	—								
	H21.6.16	—	—	—	—	2.9	450							
	H21.6.20			6.1	—	—								
	H21.6.22			—	5.6	—								
	H21.6.26			—	—	3.0								
	H21.6.27			5.0	—	—								
	H21.6.28			—	5.5	—								
	H21.6.29			—	—	3.0								
	H21.7.11			4.6	—	—								
	H21.7.12			—	4.4	—								
	H21.7.14			—	—	5.2								

表 3.1.2　精製設備の運転記録（２／５）

	運転日	精製処理量		運転時間(h)			ミキサ部撹拌機（rpm）	ミキサセトラ運転条件（上段：抽出器、中断：U逆抽出器、下段：溶媒洗浄器）						
								流量（ℓ/h）				差圧（Pa(mmAq)）		
		装荷ｳﾗﾝ（kgU）	製品ｳﾗﾝ（kgU）	抽出器	U 逆抽出器	溶媒洗浄器		調整液	溶媒/U装荷溶媒/廃溶媒	ｽｸﾗﾌﾞ液/ｽﾄﾘｯﾌﾟ液/洗浄液	希釈剤	抽出器/U逆抽出器/溶媒洗浄器	各洗浄器	水相ﾘｻｲｸﾙ
2	H18.7.18	1.6	1.5	5.2	—	—	450	3.0	6.0	2.4	0.34	−240.3 (−24.5)	−284.4 (−29.0)	—
	H18.7.19			5.2	5.4	—								
	H18.7.20			5.2	5.3	5.3		—	6.0	9.0	0.42	−222.6 (−22.7)	−264.8 (−27.0)	—
	H18.7.21			5.2	5.3	—								
	H18.7.24			5.5	5.1	5.5		—	12.0	0.38/0.44	0.06	−205.9 (−21.0)	−260.9 (−26.6)	−3922.7 (−400.0)
	H18.7.25			5.0	5.5	—								
	H18.7.26			5.0	1.9	4.9								
	H18.7.27			5.0	4.9	—								
	H18.7.28			5.0	4.9	5.3								
	H18.7.31			—	5.1	—								
	H18.8.1			—	—	3.0								
3	H18.8.28	—	—	5.1	—	—	450	—	6.0	2.4	0.34	−240.3 (−24.5)	−284.4 (−29.0)	—
								—	6.0	9.0	0.42	−222.6 (−22.7)	−264.8 (−27.0)	—
	H18.8.29	—	—	—	5.2	—		—	—	—	—	—	—	—

表 3.1.2　精製設備の運転記録（３／５）

	運転日	精製処理量		運転時間(h)			ミキサ部 撹拌機 (rpm)	ミキサセトラ運転条件（上段：抽出器、中断：U逆抽出器、下段：溶媒洗浄器）						
								流量（ℓ/h）				差圧（Pa(mmAq)）		
		装荷ｳﾗﾝ (kgU)	製品ｳﾗﾝ (kgU)	抽出器	U 逆 抽出器	溶媒 洗浄器		調整液	溶媒/ U装荷溶媒/ 廃溶媒	ｽｸﾗﾌﾞ液/ ｽﾄﾘｯﾌﾟ液/ 洗浄液	希釈剤	抽出器/ U逆抽出器/ 溶媒洗浄器	各洗浄器	水相 ﾘｻｲｸﾙ
4	H18.10.26			—	—	3.0		—	6.0	2.4	0.34	−240.3 (−24.5)	−284.4 (−29.0)	—
	H18.10.27			5.7	—	—	500 （抽出器/ U 逆抽出器）							
	H18.10.31			—	5.8	—		—	6.0	9.0	0.42	−222.6 (−22.7)	−264.8 (−27.0)	—
	H18.11.1	—	—	—	—	3.1								
	H18.11.2			6.0	—	—	450 （その他）	—	12.0	0.38/0.44	0.06	−205.9 (−21.0)	−260.9 (−26.6)	−3922.7 (−400.0)
	H18.11.7			—	5.8	—								
	H18.11.8			—	—	3.0								
5	H19.5.16			4.8	—	—		—	6.0	2.4	0.34	−240.3 (−24.5)	−284.4 (−29.0)	—
	H19.5.18				5.5	—								
	H19.5.21			5.0	—	—	500 （抽出器/ U 逆抽出器）	—	6.0	9.0	0.42	−222.6 (−22.7)	−264.8 (−27.0)	—
	H19.5.23			—	5.0	—								
	H19.5.24	—	—	—	—	5.7		—	12.0	0.38/0.44	0.06	−205.9 (−21.0)	−260.9 (−26.6)	−3922.7 (−400.0)
	H19.5.28			5.0	—	—								
	H19.5.29			—	4.6	—	450 （その他）							
	H19.5.30			5.0	—	—								
	H19.5.31			—	5.1	—								
	H19.6.1			—	—	5.2								

表 3.1.2　精製設備の運転記録（４／５）

	運転日	精製処理量		運転時間(h)			ミキサ部撹拌機（rpm）	ミキサセトラ運転条件（上段：抽出器、中断：U逆抽出器、下段：溶媒洗浄器）						
								流量（ℓ/h）				差圧（Pa(mmAq)）		
		装荷ｳﾗﾝ（kgU）	製品ｳﾗﾝ（kgU）	抽出器	U 逆抽出器	溶媒洗浄器		調整液	溶媒/U装荷溶媒/廃溶媒	ｽｸﾗﾌﾞ液/ｽﾄﾘｯﾌﾟ液/洗浄液	希釈剤	抽出器/U逆抽出器/溶媒洗浄器	各洗浄器	水相ﾘｻｲｸﾙ
6	H19.6.19	24.8	24.5	5.0	—	—	500（抽出器/U 逆抽出器） 450（その他）	3.0	6.0	2.4	0.34	−240.3 (−24.5)	−284.4 (−29.0)	—
	H19.6.20			5.0	4.5	—								
	H19.6.21			5.0	5.1	4.5		—	6.0	9.0	0.42	−222.6 (−22.7)	−264.8 (−27.0)	—
	H19.6.22			5.0	5.0	—								
	H19.6.27			5.0	5.2	5.2		—	12.0	0.38/0.44	0.06	−205.9 (−21.0)	−260.9 (−26.6)	−3922.7 (−400.0)
	H19.6.28			5.0	4.9	—								
	H19.6.29			5.1	4.9	4.6								
	H19.7.3			5.0	5.1	—								
	H19.7.4			5.0	5.0	5.2								
	H19.7.5			5.0	5.0	—								
	H19.7.6			5.0	5.1	4.7								
	H19.7.10			3.6	5.0	—								
	H19.7.11			5.0	3.7	4.6								
	H19.7.12			5.0	5.5	—								
	H19.7.13			5.0	5.2	5.9								
7	H19.9.12	—	—	—	5.4	—	500	—	—	—	—	—	—	—
								—	6.0	9.0	0.42	−222.6 (−22.7)	−264.8 (−27.0)	—
								—	—	—	—	—	—	—

表 3.1.2　精製設備の運転記録（５／５）

	運転日	精製処理量		運転時間(h)			ミキサ部撹拌機（rpm）	ミキサセトラ運転条件（上段：抽出器、中断：U逆抽出器、下段：溶媒洗浄器）						
								流量（ℓ/h）				差圧（Pa(mmAq)）		
		装荷ｳﾗﾝ（kgU）	製品ｳﾗﾝ（kgU）	抽出器	U 逆抽出器	溶媒洗浄器		調整液	溶媒/U装荷溶媒/廃溶媒	ｽｸﾗﾌﾞ液/ｽﾄﾘｯﾌﾟ液/洗浄液	希釈剤	抽出器/U逆抽出器/溶媒洗浄器	各洗浄器	水相ﾘｻｲｸﾙ
8	H19.11.19	—	—	—	—	2.6	450	—	—	—	—	—	—	—
								—	—	—	—	—	—	—
								—	12.0	0.38/0.44	0.06	−205.9 (−21.0)	−260.9 (−26.6)	−3922.7 (−400.0)
9	H20.7.23	—	—	5.0	—	—	500	—	6.0	2.4	0.34	−240.3 (−24.5)	−284.4 (−29.0)	—
	H20.7.25			—	5.6	—								
	H20.7.30			—	—	2.3			6.0	9.0	0.42	−222.6 (−22.7)	−264.8 (−27.0)	—
	H20.8.1			5.0	—	—								
	H20.8.5			—	5.4	—			12.0	0.38/0.44	0.06	−205.9 (−21.0)	−260.9 (−26.6)	−3922.7 (−400.0)
	H20.8.6			—	—	2.4								
	H20.8.18			5.0	—	—								
	H20.8.20			5.0	4.6	—								
	H20.8.21			—	5.0	—								
	H20.8.22			—	—	4.6								

表 3.1.3　精製設備の主要なミキサセトラの運転条件

機器	流量(ℓ/h)				ミキサセトラ内の滞留時間(min)			
	有機溶媒	水溶液			ミキサ部		セトラ部	
		調整液	ｽｸﾗﾌﾞ液/ｽﾄﾘｯﾌﾟ液	水溶液合計	有機溶媒	水溶液	有機溶媒	水溶液
抽出器（1～9 段目）	6	3	2.4	5.4	3.5	3.9	14.5	16.1
（10～16段目）		―	2.4	2.4		8.8		36.3
U逆抽出器	6	―	9	9	3.5	2.3	14.5	9.7

表 3.1.4　可溶性中性子毒物（模擬 FP）を含む洗浄液の精製運転（分離性能確認）結果

項目			精製前	精製後	除染係数	ｳﾗﾝ回収率(%)
液量(ℓ)			78.6	35.3	―	―
濃度	ｳﾗﾝ(gU/ℓ)		20.6	43.8	―	―
	可溶性中性子毒物	ｻﾏﾘｳﾑ(mg/ℓ)	3	<1	―	―
		ｾｼｳﾑ(mg/ℓ)	881	<5	―	―
		ﾛｼﾞｳﾑ(mg/ℓ)	48	<1	―	―
		ﾕｰﾛﾋﾟｳﾑ(mg/ℓ)	1	<1	―	―
重量	ウラン(gU)		1619.2	1546.1	―	95.5
	可溶性中性子毒物	ｻﾏﾘｳﾑ(mg/ℓ)	235.8	<35.3	>6.7	―
		ｾｼｳﾑ(mg/ℓ)	69246.6	<176.5	>392.3	―
		ﾛｼﾞｳﾑ(mg/ℓ)	3772.8	<35.3	>106.9	―
		ﾕｰﾛﾋﾟｳﾑ(mg/ℓ)	78.6	<35.3	>2.2	―

表 3.1.5　可溶性中性子毒物を含む洗浄液及び模擬 FP 添加ウラン溶液燃料の精製運転結果

項目			精製前			精製後	除染係数	ｳﾗﾝ回収率 (%)
			洗浄液	溶液燃料	合計			
液量(ℓ)			62.2	114.1	―	―	―	―
濃度	ウラン（gU/ℓ）		99	166.3	―	104.3	―	―
	可溶性中性子毒物	ｻﾏﾘｳﾑ(mg/ℓ)	<20	―	―	<5	―	―
		ｾｼｳﾑ(mg/ℓ)	420	―	―	<5	―	―
		ﾛｼﾞｳﾑ(mg/ℓ)	180	530	―	<5	―	―
		ﾕｰﾛﾋﾟｳﾑ(mg/ℓ)	4	10	―		―	―
		ｶﾞﾄﾞﾘﾆｳﾑ(mg/ℓ)	30	<5	―	<5	―	―
重量	ウラン（gU）		6158	18975	25133	24511	―	97.5
	可溶性中性子毒物	ｻﾏﾘｳﾑ(mg/ℓ)	―	5819	5819	<1175	>5.0	―
		ｾｼｳﾑ(mg/ℓ)	26124	148330	174454	<1175	>148.5	―
		ﾛｼﾞｳﾑ(mg/ℓ)	11196	60473	71669	<1175	>61.0	―
		ﾕｰﾛﾋﾟｳﾑ(mg/ℓ)	249	1141	1390	<1175	>1.2	―
		ｶﾞﾄﾞﾘﾆｳﾑ(mg)	1866	―	1866	<1175	>1.6	―

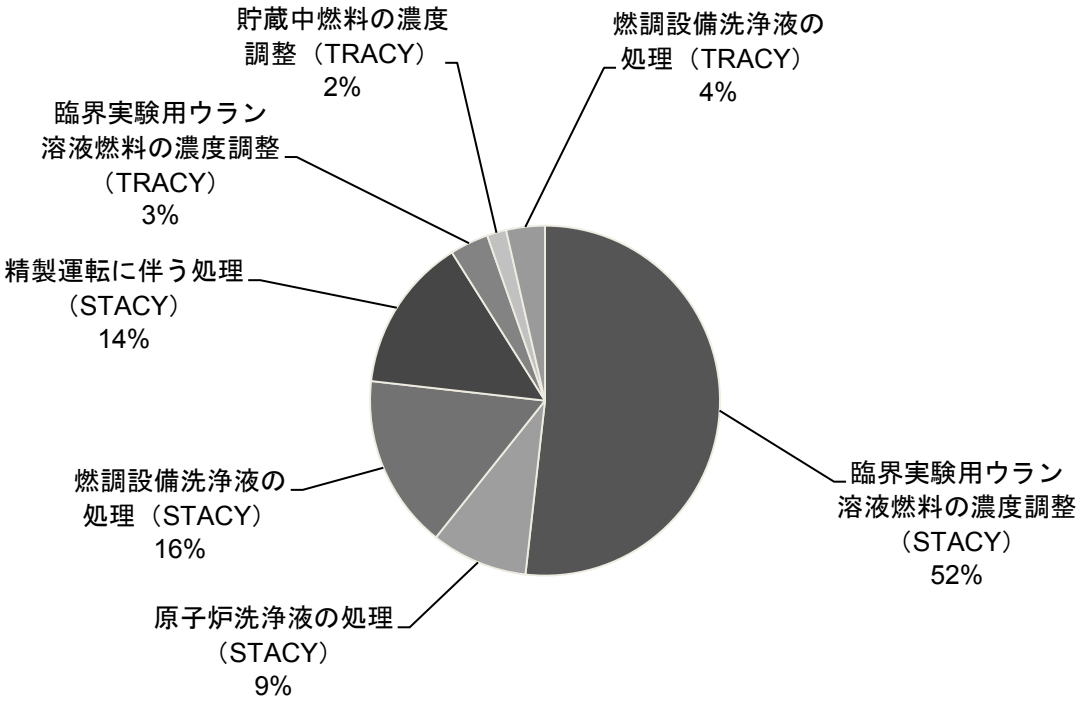

図 2.1.1　U濃縮缶運転バッチ数の目的別割合

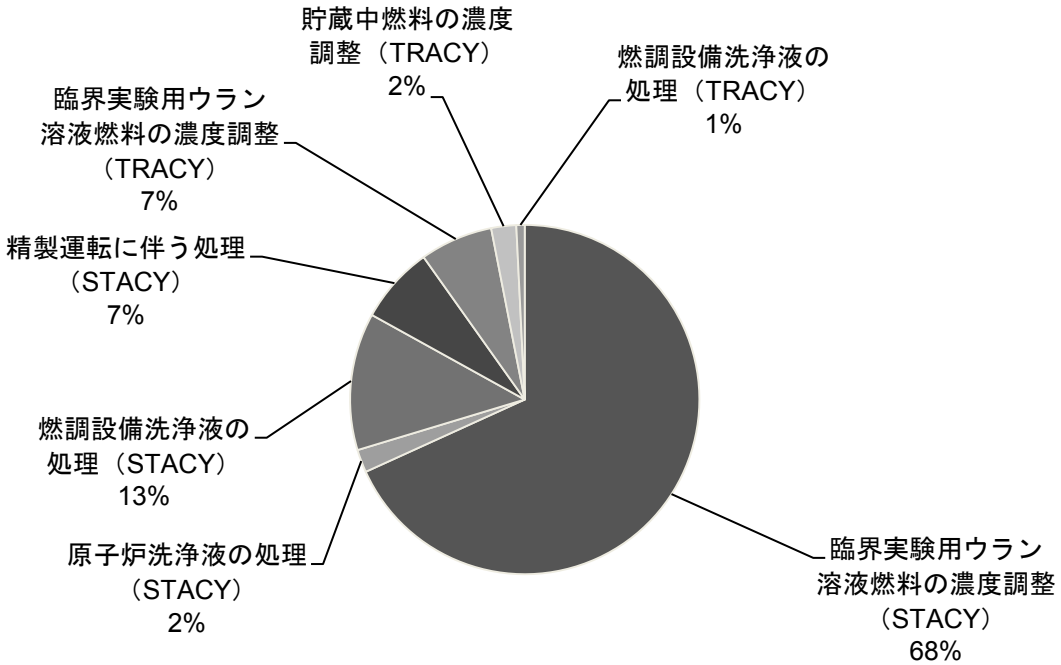

図 2.1.2　U濃縮缶処理ウラン量の目的別割合

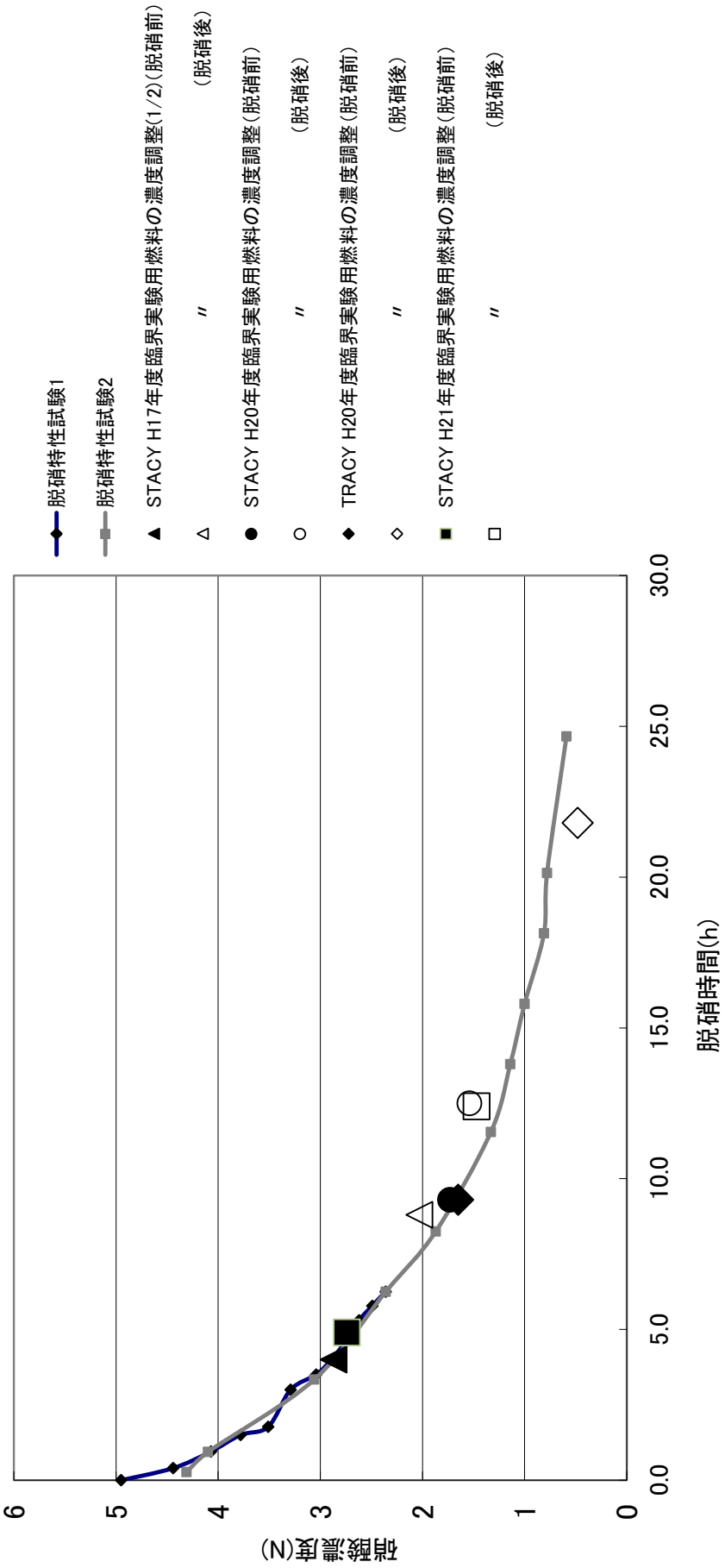

図 2.1.3　脱硝運転結果と脱硝特性試験結果の比較

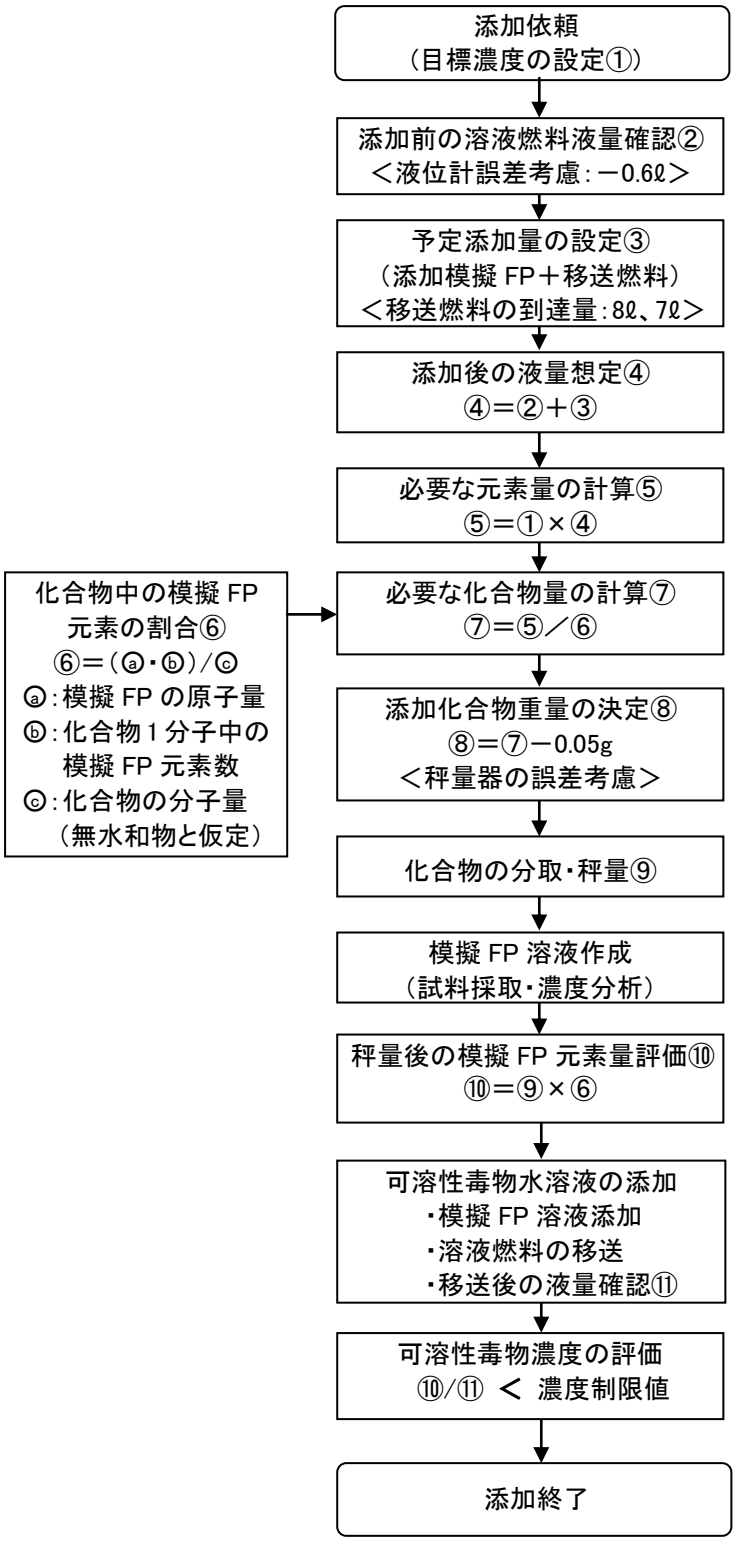

図 2.2.1　模擬 FP の添加作業フロー

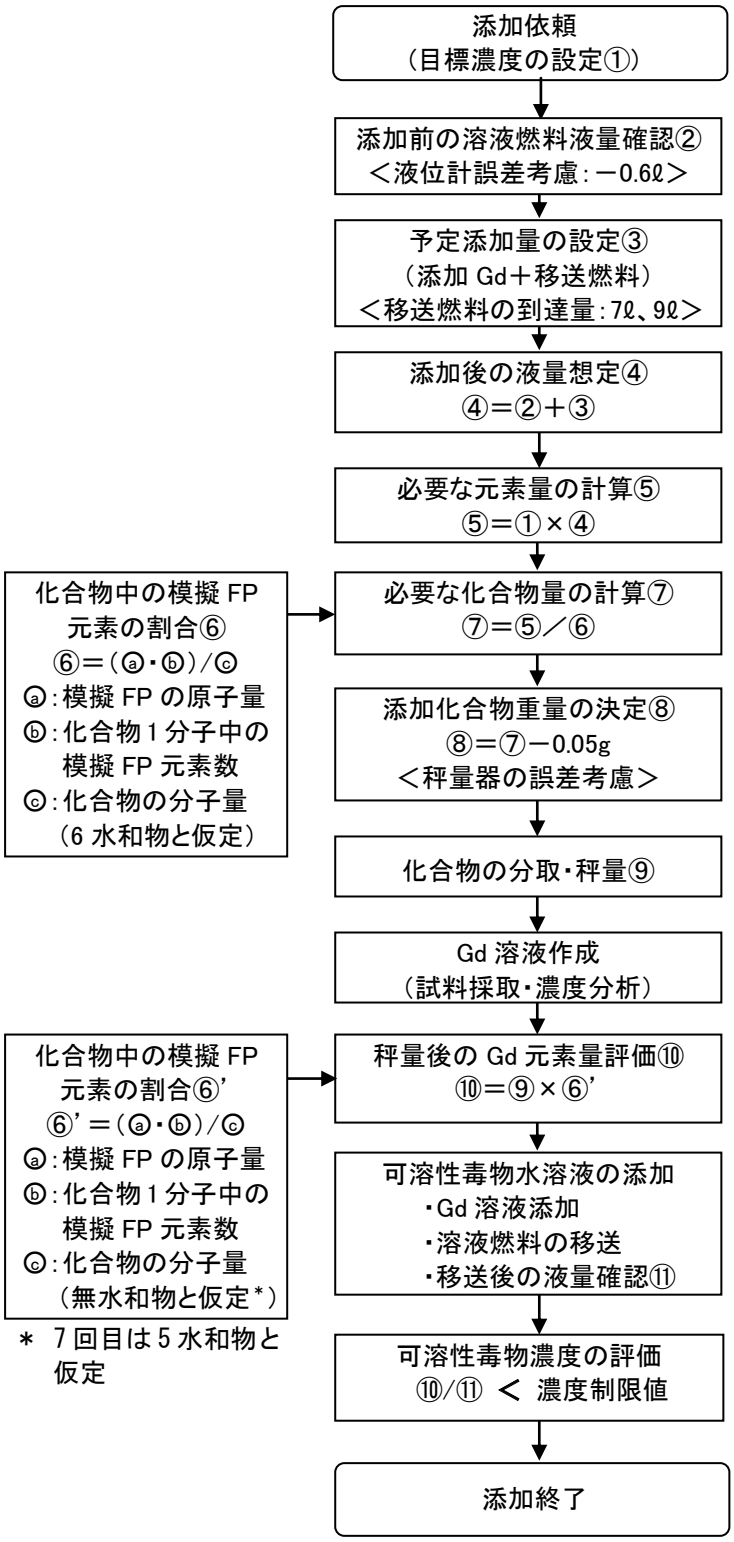

図 2.2.2　ガドリニウムの添加作業フロー

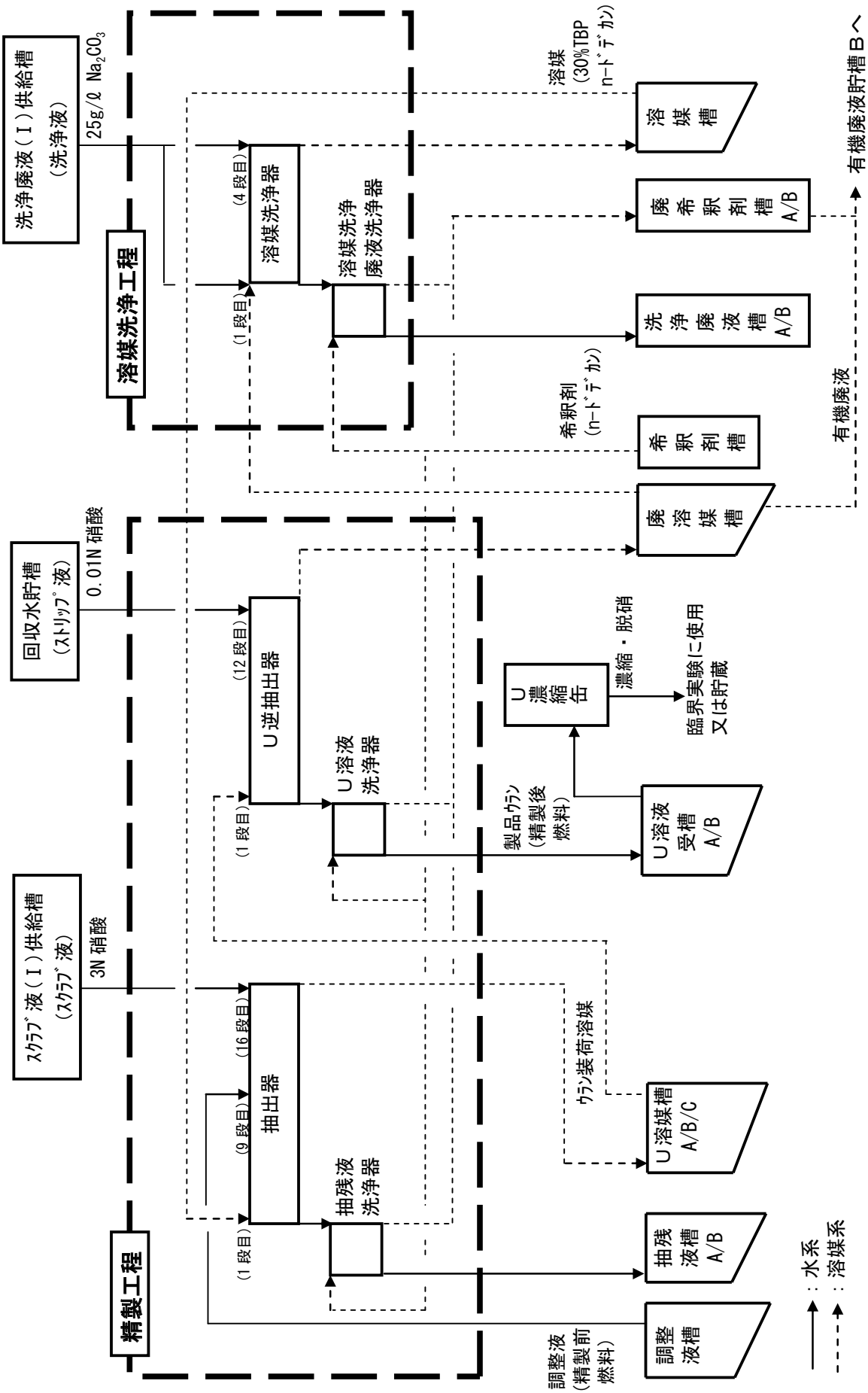

図 3.1.1　精製運転に係る系統図

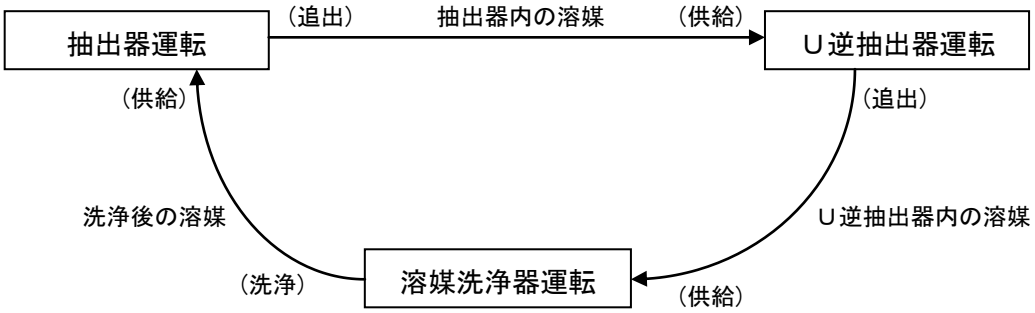

図 3.1.2　溶媒洗浄試験フロー図

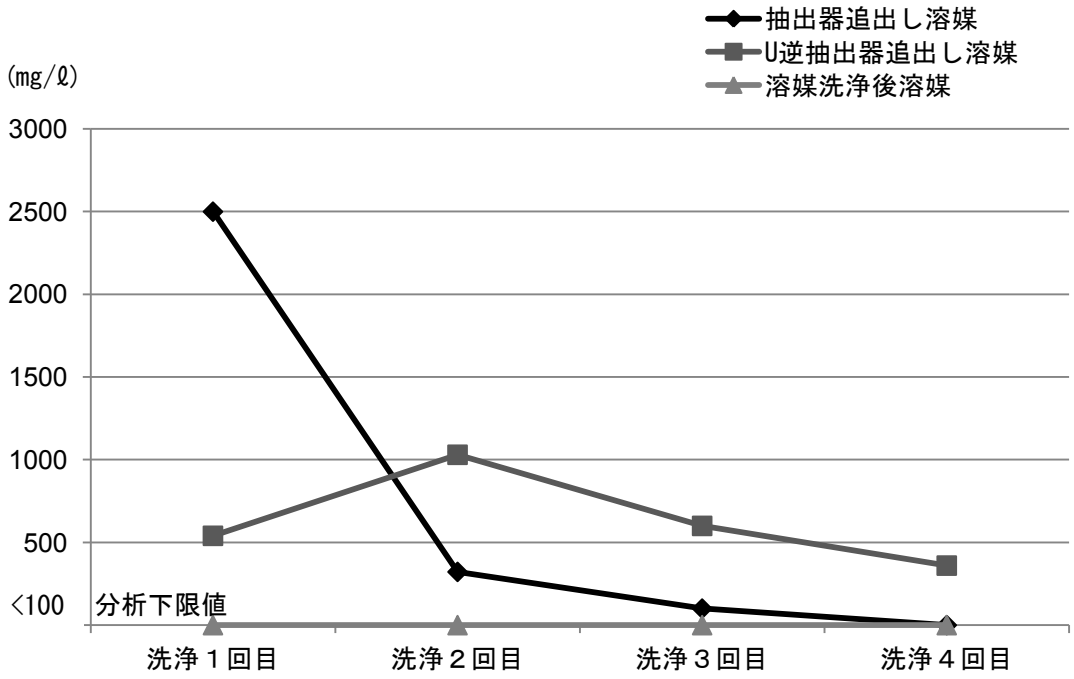

図 3.1.3　溶媒洗浄試験における各ミキサセトラ内追出し溶媒中の DBP 濃度変化

国際単位系（SI）

表１．SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	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

表２．基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m^2
体積	立法メートル	m^3
速さ，速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s^2
波数	毎メートル	m^{-1}
密度，質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m^3
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m^2
比体積	立方メートル毎キログラム	m^3/kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m^2
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度[a]，濃度	モル毎立方メートル	mol/m^3
質量濃度	キログラム毎立法メートル	kg/m^3
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m^2
屈折率[b]	（数字の） 1	1
比透磁率[b]	（数字の） 1	1

(a) 量濃度（amount concentration）は臨床化学の分野では物質濃度（substance concentration）ともよばれる。
(b) これらは無次元量あるいは次元１をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の１は通常は表記しない。

表３．固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン[b]	rad	1 [b]	m/m
立体角	ステラジアン[b]	sr[c]	1 [b]	m^2/m^2
周波数	ヘルツ[d]	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	$m^{-1}\ kg\ s^{-2}$
エネルギー，仕事，熱量	ジュール	J	N m	$m^2\ kg\ s^{-2}$
仕事率，工率，放射束	ワット	W	J/s	$m^2\ kg\ s^{-3}$
電荷，電気量	クーロン	C		s A
電位差（電圧），起電力	ボルト	V	W/A	$m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-1}$
静電容量	ファラド	F	C/V	$m^{-2}\ kg^{-1}\ s^4\ A^2$
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	$m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-2}$
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V	$m^{-2}\ kg^{-1}\ s^3\ A^2$
磁束	ウエーバ	Wb	Vs	$m^2\ kg\ s^{-2}\ A^{-1}$
磁束密度	テスラ	T	Wb/m^2	$kg\ s^{-2}\ A^{-1}$
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	$m^2\ kg\ s^{-2}\ A^{-2}$
セルシウス温度	セルシウス度[e]	℃		K
光束	ルーメン	lm	cd sr[c]	cd
照度	ルクス	lx	lm/m^2	$m^{-2}\ cd$
放射性核種の放射能[f]	ベクレル[d]	Bq		s^{-1}
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト[g]	Sv	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
酸素活性	カタール	kat		$s^{-1}\ mol$

(a)SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
(b)ラジアンとステラジアンは数字の１に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の１は明示されない。
(c)測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
(d)ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
(e)セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
(f)放射性核種の放射能（activity referred to a radionuclide）は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
(g)単位シーベルト（PV,2002,70,205）についてはCIPM勧告2（CI-2002）を参照。

表４．単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘度	パスカル秒	Pa s	$m^{-1}\ kg\ s^{-1}$
力のモーメント	ニュートンメートル	N m	$m^2\ kg\ s^{-2}$
表面張力	ニュートン毎メートル	N/m	$kg\ s^{-2}$
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	$m\ m^{-1}\ s^{-1}=s^{-1}$
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s^2	$m\ m^{-1}\ s^{-2}=s^{-2}$
熱流密度，放射照度	ワット毎平方メートル	W/m^2	$kg\ s^{-3}$
熱容量，エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	$m^2\ kg\ s^{-2}\ K^{-1}$
比熱容量，比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	$m^2\ s^{-2}\ K^{-1}$
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	$m\ kg\ s^{-3}\ K^{-1}$
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m^3	$m^{-1}\ kg\ s^{-2}$
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	$m\ kg\ s^{-3}\ A^{-1}$
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m^3	$m^{-3}\ sA$
表面電荷	クーロン毎平方メートル	C/m^2	$m^{-2}\ sA$
電束密度，電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m^2	$m^{-2}\ sA$
誘電率	ファラド毎メートル	F/m	$m^{-3}\ kg^{-1}\ s^4\ A^2$
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	$m\ kg\ s^{-2}\ A^{-2}$
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	$m^2\ kg\ s^{-2}\ mol^{-1}$
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	$m^2\ kg\ s^{-2}\ K^{-1}\ mol^{-1}$
照射線量（X線及びγ線）	クーロン毎キログラム	C/kg	$kg^{-1}\ sA$
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	$m^2\ s^{-3}$
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	$m^4\ m^{-2}\ kg\ s^{-3}=m^2\ kg\ s^{-3}$
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	$W/(m^2\ sr)$	$m^2\ m^{-2}\ kg\ s^{-3}=kg\ s^{-3}$
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m^3	$m^{-3}\ s^{-1}\ mol$

表５．SI 接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10^{24}	ヨタ	Y	10^{-1}	デシ	d
10^{21}	ゼタ	Z	10^{-2}	センチ	c
10^{18}	エクサ	E	10^{-3}	ミリ	m
10^{15}	ペタ	P	10^{-6}	マイクロ	μ
10^{12}	テラ	T	10^{-9}	ナノ	n
10^{9}	ギガ	G	10^{-12}	ピコ	p
10^{6}	メガ	M	10^{-15}	フェムト	f
10^{3}	キロ	k	10^{-18}	アト	a
10^{2}	ヘクト	h	10^{-21}	ゼプト	z
10^{1}	デカ	da	10^{-24}	ヨクト	y

表６．SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1h =60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	’	1’=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	”	1”=(1/60)’=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	$1ha=1hm^2=10^4m^2$
リットル	L，l	$1L=1=1dm^3=10^3cm^3=10^{-3}m^3$
トン	t	$1t=10^3\ kg$

表７．SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位で表される数値
電子ボルト	eV	$1eV=1.602\ 176\ 53(14)\times10^{-19}J$
ダルトン	Da	$1Da=1.660\ 538\ 86(28)\times10^{-27}kg$
統一原子質量単位	u	1u=1 Da
天文単位	ua	$1ua=1.495\ 978\ 706\ 91(6)\times10^{11}m$

表８．SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
バール	bar	$1\ bar=0.1MPa=100kPa=10^5Pa$
水銀柱ミリメートル	mmHg	1mmHg=133.322Pa
オングストローム	Å	$1\ Å=0.1nm=100pm=10^{-10}m$
海里	M	1 M=1852m
バーン	b	$1\ b=100fm^2=(10^{-12}cm)2=10^{-28}m^2$
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的な関係は、対数量の定義に依存。
ベル	B	
デジベル	dB	

表９．固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
エルグ	erg	$1\ erg=10^{-7}\ J$
ダイン	dyn	$1\ dyn=10^{-5}N$
ポアズ	P	$1\ P=1\ dyn\ s\ cm^{-2}=0.1Pa\ s$
ストークス	St	$1\ St=1cm^2\ s^{-1}=10^{-4}m^2\ s^{-1}$
スチルブ	sb	$1\ sb=1cd\ cm^{-2}=10^4cd\ m^{-2}$
フォト	ph	$1\ ph=1cd\ sr\ cm^{-2}\ 10^4lx$
ガル	Gal	$1\ Gal=1cm\ s^{-2}=10^{-2}ms^{-2}$
マクスウェル	Mx	$1\ Mx = 1G\ cm^2=10^{-8}Wb$
ガウス	G	$1\ G =1Mx\ cm^{-2} =10^{-4}T$
エルステッド[c]	Oe	$1\ Oe \triangleq (10^3/4\pi)A\ m^{-1}$

(c) ３元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「 ≙ 」は対応関係を示すものである。

表10．SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位で表される数値
キュリー	Ci	$1\ Ci=3.7\times10^{10}Bq$
レントゲン	R	$1\ R = 2.58\times10^{-4}C/kg$
ラド	rad	$1\ rad=1cGy=10^{-2}Gy$
レム	rem	$1\ rem=1\ cSv=10^{-2}Sv$
ガンマ	γ	1 γ =1 nT=10-9T
フェルミ		1フェルミ=1 fm=10-15m
メートル系カラット		1メートル系カラット = 200 mg = 2×10-4kg
トル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
カロリー	cal	1cal=4.1858J（「15℃」カロリー），4.1868J（「IT」カロリー）4.184J（「熱化学」カロリー）
ミクロン	μ	$1\ \mu =1\mu m=10^{-6}m$

（第8版，2006年改訂）