

J A E R I - M  
86-168

溶媒抽出器内在庫量計算モデルの検討  
と溶媒抽出器内在庫量計算プログラム  
“S E P H I S - J ” の開発

1 9 8 6 年 1 1 月

井原 均・西村 秀夫・猪川 浩次\*・井戸 勝\*\*

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

JAERI-M 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。  
入手の問合せは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）  
あて、お申しこしください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11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。

JAERI-M reports are issued irregularly.  
Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division, Department  
of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun,  
Ibaraki ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1986

---

編集兼発行 日本原子力研究所  
印 刷 口立高速印刷株式会社

溶媒抽出器内在庫量計算モデルの検討と溶媒抽出器内在庫量  
計算プログラム“SEPHIS-J”の開発

日本原子力研究所東海研究所燃料安全工学部  
井原 均・西村秀夫・猪川浩次<sup>\*</sup>・井戸 勝<sup>\*\*</sup>

(1986年10月15日受理)

再処理工場に対する改良保障措置手段として、ニア・リアル・タイム計量管理(N.R.T.MA)の適用化研究が進められている。このN.R.T.MAを再処理工場で実用化するには、いくつかの技術的な開発課題を残している。こうした開発課題の一つに、主要工程である溶媒抽出器の運転中の在庫量推定法の開発がある。これは、溶媒抽出器内の在庫量測定が難しい場合に、その在庫量の変動分が物質収支計算においてMUFとみなされ、変動が大きい場合には、変動を異常と見なし警報を出すことになる。このような場合には、その在庫量を正確に、かつ時間依存で推定することがN.R.T.MAを実施する上で必要不可欠となる。

溶媒抽出器の設計計算において、従来から使われている計算コードにSEPHIS, SOLVEX, TRANSIENTSなどがあるが、TASTEX Task-Fのワークショップにおいて、これらのコードは現実の運転(定常、非定常、Mass Transfer 平衡からのずれ、供給流の変動)を正確に追跡できないだけでなく、在庫量を過大に評価すると考えられていたのは誤りで、逆に20%以上過小に評価するとの指摘がなされた。これらの問題を解決するため、より正確に在庫量を推定できるコードとしてSEPHIS Mod 4, PUBGが米国で開発されている。しかし、SEPHIS Mod 4は米国の規制から国外への持ち出しが禁止され、また、PUBGはN.R.T.MA在庫推定コードとして施設の小型計算機で使うには、計算時間がかかり過ぎる。このため、SEPHIS Mod 3を基本にしてPUBGと同等で計算時間が1/3でできるSEPHIS-Jコードを開発した。さらに、開発したSEPHIS-J, SEPHIS Mod 3, PUBGによる定常、非定常計算によりコードの検証を行った。また、供給流量、濃度等の変動による在庫変化を検討し、測定誤差の範囲内でも在庫変動が大きい事が示した。

---

東海研究所：〒319-11 茨城県那珂郡東海村白方字白根2-4

\* 非常勤職員(財)核物質管理センター出向中)

\*\* (株)アイ・エス・エル

Investigation of an Inventory Calculation Model for a Solvent Extraction System and the Development of its Computer Programme - SEPHIS-J -

Hitoshi IHARA, Hideo NISHIMURA, Koji IKAWA<sup>\*</sup> and Masaru IDO<sup>\*\*</sup>

Department of Fuel Safety Research,  
Tokai Research Establishment, JAERI  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

( Received October 15, 1986 )

In order to improve the applicability of near-real-time materials accountancy (N.R.T.MA) to a reprocessing plant, it is necessary to develop an estimation method for the nuclear material inventory at a solvent extraction system under operation.

For designing the solvent extraction system, such computer codes as SEPHIS, SOLVEX and TRANSIENTS had been used. Accuracy of these codes in tracing operations and predicting inventories in the extraction system had been discussed. Then, much better codes, e.g., SEPHIS Mod4 and PUBG, were developed. Unfortunately, SEPHIS Mod4 was not available in countries other than the USA and PUBG was not suitable for use with a mini-computer which would be practical as a field computer because of quite a lot of computing time needed.

The authors investigated an inventory estimation model compatible with PUBG in functions and developed the corresponding computer programme, SEPHIS-J, based on the SEPHIS Mod3 code, resulting in a third of computing time compared with PUBG. They also validated the programme by calculating a static state as well as a dynamic one of the solvent extraction process and by comparing them among the programme, SEPHIS Mod3 and PUBG. Using the programme, it was shown that the inventory changes due to changes of feed flow and concentration were not so small that they might be neglected although the changes of feed flow and concentration were within measurement errors.

Keywords: Inventory Calculation Model, Solvent Extraction System,  
SEPHIS-J Code, Near-Real-Time Materials, Accountancy,  
Reprocessing Plant

---

\* JAERI's part time staff (transferred to Nuclear Material Control Center)

\*\* I.S.L. Ltd.

## 目 次

1. 序 論 .....	1
2. Mixer-Settler 型の溶媒抽出器 .....	3
3. 溶媒抽出器の計算モデル .....	5
3.1 SEPHIS Mod.3 の計算モデル .....	5
3.2 U と Pu の分離 .....	11
3.3 PUBG コードの数学モデル .....	13
3.4 SEPHIS-J の計算モデル .....	17
4. 計算結果とその検討 .....	21
4.1 SRP プラントの抽出器を用いた計算と実測データ .....	21
4.2 動燃東海再処理工場の共除染工程 (EXTRACTION-I) の定常, 非定常解析 .....	33
5. SEPHIS-J プログラム .....	55
5.1 サブルーチン .....	55
5.2 データ・ファイルの内容と形式 .....	57
5.3 コントロール・カード .....	60
6. 入力データ形式 .....	62
7. サンプルデータと計算結果 .....	69
8. 結 言 .....	89
謝 辞 .....	90
参考文献 .....	90

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Solvent Extraction Processes of the Mixer-Settler Type .....	3
3. Calculation Model of the Solvent Extraction System .....	5
3.1 Calculation Model of SEPHIS Mod3 Computer Programme .....	5
3.2 Uranium and Plutonium Partitioning in the Solvent Extraction Process .....	11
3.3 The Mathematical Model used in PUBG Computer Programme .....	13
3.4 Calculation Model of SEPHIS-J Computer Programme .....	17
4. Calculation Results and it's Analysis .....	21
4.1 Inventory Calculation of Solvent Extraction Process for the Savanna River Plant and it's Experimental Data .....	21
4.2 Steady State and Transient Analysis for EXTRACTION-I in the Tokai Reprocessing Plant of PNC .....	33
5. SEPHIS-J Programme .....	55
5.1 Subroutine .....	55
5.2 Description of Data File .....	57
5.3 Job Control Cards .....	60
6. Input Format .....	62
7. Sample Data and it's Output List .....	69
8. Conclusion .....	89
Acknowledgment .....	90
References .....	90

## 1. 序論

原子力発電所からの使用済燃料を再処理し、分離されたプルトニウム、ウランを再び利用する核燃料サイクルにおいて、再処理工場は、最も重要な施設の一つである。現在までに研究された再処理の方法はいくつもあるが、工業的な規模で運転されたものは、溶媒抽出法によるものだけである。この代表的な方法である Purex 法による Mixer-Settler 型の溶媒抽出器をモデルとしてミキサとセトラ内で起こっているプロセスを正確に表現することを目的に開発されたプログラムが SEPHIS (Solvent Extraction Processes Having Interacting Solutes) コードである。

これは、1972 年に ORNL の W.S.Groenier<sup>(1)</sup> によって開発され、その後、HEDL の Richardson<sup>(2)</sup> により改良されたもの、さらに、ORNL で改良されたバージョン<sup>(3)</sup> がある。SEPHIS-J は、ORNL で改良されたバージョン (SEPHIS Mod 3) を基本に開発している。

SEPHIS-J は、以下に記述する機能を持っている。

- (1) 抽出、逆抽出工程など、Purex 法の再処理施設の全てのミキサ・セトラ型溶媒抽出器に適用できる。
- (2) 運転時の抽出器では mass transfer が平衡状態であると言う仮定は成り立たないことがから mass transfer 平衡からのずれの取扱ができる。
- (3) 様々の運転条件下における濃度、在庫量計算ができる。運転パラメータ (供給流量、核物質濃度、硝酸濃度、TBP 濃度、各ステージの効率など) の組合せ、時間的変動に対応できる。
- (4) 計算の時間間隔、データ出力間隔を任意に選ぶことができる。(SEPHIS Mod 3 の計算時間間隔は (ステージ容量 / 全流量) でコード内で計算される)
- (5) 指定した出力渡度、時間までの計算ができ、そのときの抽出器内の濃度及び在庫量分布のデータを得ることができる。
- (6) 供給流の濃度、流量に現実の処理プラントと同様の変動を与えることができる。
- (7) 連結された抽出器の濃度、在庫量計算ができる。
- (8) 抽出器内の各成分の濃度、在庫量分布、入出力量データ等を時間依存でファイルに保存でき、GPLP コードにより図形表示することができる。

SEPHIS-J コードには、連続計算とそのデータ入力の簡易化、計算時間の短縮、使用コア領域の可変ディメンション化および機能モジュール化などのプログラム技術が用いられている。また、保障措置技術研究室で開発した保障措置有効性評価システムの再処理プラント全体のシミュレーションコードの機能モジュールとしても組み込まれている。

このようにして、開発された SEPHIS-J コードは、定常状態はもとより非定常においても、現在、溶媒抽出器内の在庫量を最も正確に推定できると言われている PUBG コード<sup>(4)</sup> と同等の結果が得られ、しかも、計算時間は PUBG の約 1/3 ですむ。

開発された SEPHIS-J コードと PUBG コードの比較計算を Savannah River Plant (SRP)

の ID および IE 抽出器と動燃東海再処理工場の共除染工程 (EXTRACTION-I)について実施し、計算結果に差のないことを示した。さらに、EXTRACTION-I をモデルに、運転条件によって、抽出器内の在庫量がどの様になるのかを調べるためのサーベイ計算を実施した。この結果、溶媒抽出工程を含む施設に対して、N.R.T.MA<sup>(5)</sup>を適用する場合には、以下の事を考慮して保障措置の設計を行う必要がある。

- (1) 供給される核物質の量とTBP量のバランスが取れない場合 (TBP量が少ない) , 10%少なくとも、ウエストの核物質濃度は許容限界 ( $Pu > 5.0 \times 10^{-5}$ ,  $U > 0.01g/l$ ) を越える。その時にはプルトニウム在庫量は定常時の2~3倍にもなる。
- (2) スクラップ供給液の硝酸濃度の減少は、ウエストのプルトニウム濃度の変化なしに (測定限界以下である), 在庫量を増加させる。
- (3) Mass transfer 平衡からのずれにおいては、ウエストのプルトニウム濃度を観察することにより把握することが可能である。抽出器の性能や運転操作により Mass Transfer Efficiency が0.8以下になるとウエストとして許容限界を越える濃度のプルトニウムが流出する事となる。

## 2. Mixer-Settler 型の溶媒抽出器

Mixer-Settler型の溶媒抽出器は、有機相と水相溶液が10~25ステージぐらいの水平に並んだ槽内で繰り返し混合され分離される。ステージはミキサ室とセトラ室で構成されている。

Fig. 2.1 にステージの構造を、 Fig. 2.2 にステージでの両相の溶液の流れを示す。

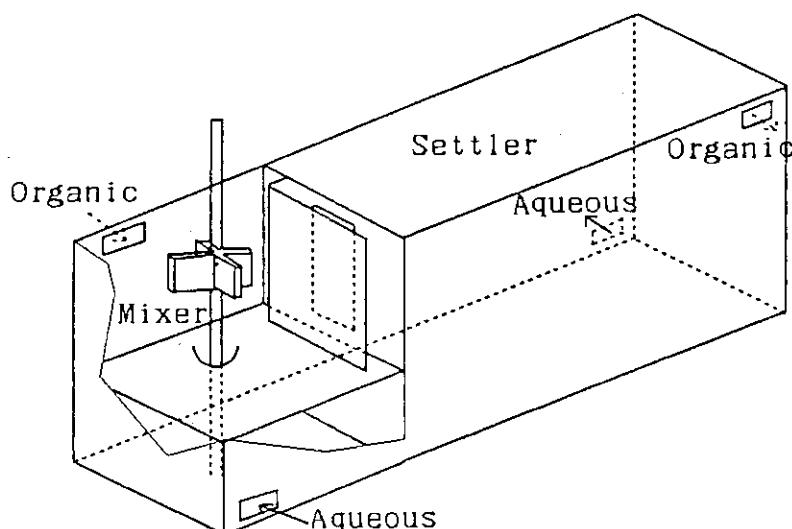


Fig. 2.1 Structure of Mixer-Settler Contactor

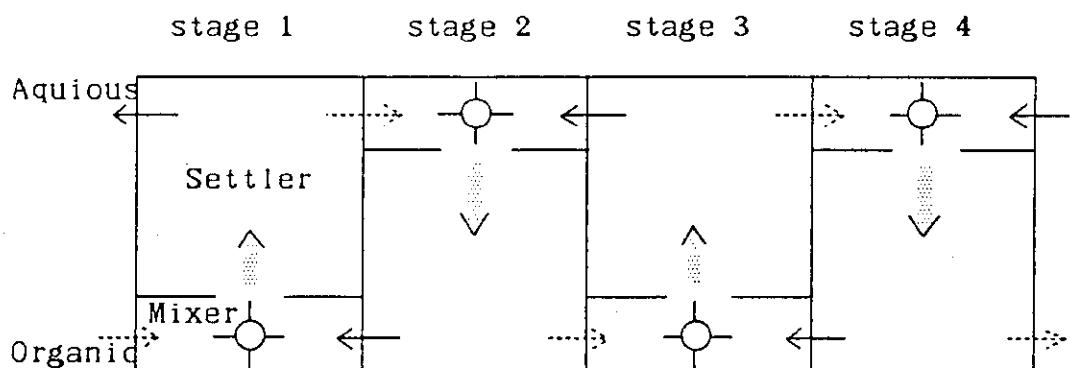


Fig. 2.2 Aqueous and Organic flow in stages

このMixer-Settler型の溶媒抽出器の欠点は、装置内に滞留する時間が長く、溶液に含まれるウランおよびプルトニウムの量が多いことである。このため、溶媒が放射線により損傷され抽出能力が落ちてしまう、これを防ぐため自身は抽出能力を持たない希釈剤(dodecan)が使用されている。この改良型として、滞留量を減少させかつ両液の接触時間を短縮する遠心抽出器の開発が進められている。これは、ウランやプルトニウムが多量に存在するセトラ室を小さな遠心分離器に改良したもので、米国の Savannah River National Laboratory で開発されたものは、容積が 2 % に、溶媒への損傷は 1/5 になっている。

Mixer-Settler型の溶媒抽出器は、東海再処理工場や大部分のヨーロッパの再処理工場で使用されている、また、原研で開発計画が進んでいる N U C E F もこのMixer-Settler型の溶媒抽出器が精製工程に用いられ、F P、不純物の除去、ウランとプルトニウムの分離に使用される。しかし、今後、作られる再処理工場では、滞留量、時間の少ない遠心抽出器やパルスカラムの採用が検討されると思われる。

保障措置の観点から、このような新しい溶媒抽出器の採用は、工程内の核物質の在庫量を減少させ、N.R.T.MA の適用においては、推定の難しい未測定在庫量の減少につながる反面、運転操作の影響が即在庫量の変動となって現れる事が予測され、運転操作と一体になった保障措置の適用が必要となろう。

### 3. 溶媒抽出器の計算モデル

#### 3.1 SEPHIS Mod 3 の計算モデル

Purex 法による Mixer-Settler 型の溶媒抽出器内の各成分の濃度分布を計算するためのモデルを Fig. 3.1 に示す。各ステージには、隣接したステージおよび外部から流れ込むストリームと隣接したステージおよび外部へ流出するストリームがある。この流れの他に、このモデルでは、2つの Recycle Flow を必要に応じて定義することができる。

1つは抽出器内の相比率と流量比率が異なる場合、これを同じにするように、セトラ部からミキサ部へ逆流するものである。もう1つは、流量に比べて、ステージの容量が不釣合いな場合に、両方の相であふれ、ミキサ部へ流れ込むものである。

モデルでは、有機相はステージ番号が増加（小→大）する順に、水相は逆に減少（大→小）するようにステージ番号を定義している。したがって、Recycle Flow を除いたネット流量は、

$$NF_i = A_{i+1} + O_{i-1} + A_i^f + O_i^f$$

となる。また、ステージのトータル流量は、

$$TF_i = A_{i+1} + O_{i-1} + A_i^f + O_i^f + A^{r1} + A^{r2} + O^{r1} + O^{r2}$$

となる。流量比率は、

$$FR_i = \frac{A_{i+1} + A_i^f}{O_{i-1} + O_i^f}$$

$$PR_i = \frac{A_{i+1} + A_i^f + A^{r1} + A^{r2}}{O_{i-1} + O_i^f + O^{r1} + O^{r2}}$$

となる。したがって、抽出器内の各ステージにおいて、トータル流量とステージ容量の比率が同じになる。この比率が溶液の滞留時間となり、計算を行う時の時間ステップになる。

この時間ステップは、

$$\Delta t = \frac{V_i}{TF_i}$$

と表すことができる。

時刻  $t$  における  $j$  の物質収支式は、

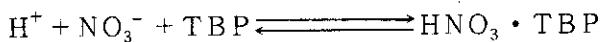
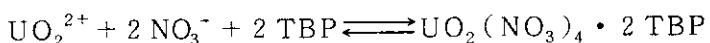
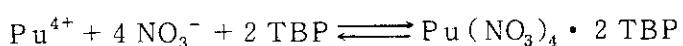
$$\begin{aligned} & A_{i+1} X_{i+1, t - \Delta t} + O_{i-1} Y_{i-1, t - \Delta t} + A_i^f X_i^f + O_i^f Y_i^f \\ & = (A_i + A^p_i) X_{i,t} + (O_i + O^p_i) Y_{i,t} \end{aligned}$$

となり、これと以下に示す分配係数(D)で関係づけられた分配平衡の式により濃度が計算される。

$$X_{i,t} = Y_{i,t} / D$$

Purex法の溶媒抽出工程では、それ自体は抽出能力をもたない合成 dodecane ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{CH}_3$ ) が希釈材として広く使われている。また、溶媒としては tributyl phosphate : TBP ( $(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2)_3\text{PO}_4$ ) が用いられ、通常、軽水炉燃料の場合 30 Vol.%, また、FBR 燃料では、15 Vol.% が使われる。このTBPは、有機相中に均一に分散し、水相へは移動しないものとしてモデル化している。

分配係数(D)は、水相濃度と有機相濃度を関連させるもので、硝酸溶液中に存在する U や Pu の金属イオンを有機溶媒で抽出する場合の平衡状態における水相と有機相の濃度比である。次に、分配係数と化学平衡の関係を再処理において基本となる  $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4 - \text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 - \text{HNO}_3 / \text{TBP} - \text{dodecane}$  系をモデルにして記述する。この場合の化学平衡は



で、表すことができる。左辺が水相で右辺が有機相を表す。この平衡関係を式で示すと、

$$K_{\text{Pu}} = \frac{[\text{Pu}(\text{NO}_3)_4 \cdot 2 \text{TBP}]}{[\text{Pu}^{4+}] [\text{NO}_3^-]^4 [\text{TBP}]^2}$$

$$K_{\text{U}} = \frac{[\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 2 \text{TBP}]}{[\text{UO}_2^{2+}] [\text{NO}_3^-]^2 [\text{TBP}]^2}$$

$$K_{\text{H}} = \frac{[\text{HNO}_3 \cdot \text{TBP}]}{[\text{H}^+] [\text{NO}_3^-] [\text{TBP}]}$$

となる。ここで、〔 〕はモル濃度である。HEDL の Richardson は、この平衡定数(K)の代わりに、みかけの平衡定数 (K') を硝酸濃度の関係として表現している。それは、

$$K'_{\text{Pu}} = \frac{[\text{Pu}(\text{NO}_3)_4 \cdot 2 \text{TBP}]}{[\text{Pu}^{4+}] [\text{TBP}]^2} = K_{\text{Pu}} [\text{NO}_3^-]^4$$

$$K'_{\text{U}} = \frac{[\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{TBP}]}{[\text{UO}_2^{2+}] [\text{TBP}]^2} = K_{\text{U}} [\text{NO}_3^-]^2$$

$$K'_{\text{H1}} = \frac{[\text{HNO}_3 \cdot \text{TBP}]}{[\text{H}^+] [\text{TBP}]} = K_{\text{H1}} [\text{NO}_3^-]$$

$$K'_{\text{H2}} = \frac{[\text{HNO}_3 \cdot 2 \text{TBP}]}{[\text{H}^+] [\text{TBP}]} = K_{\text{H2}} [\text{NO}_3^-]$$

ここで、KH1は、TBPの1分子と結合した酸、KH2は、TBPの2分子と結合した酸の平衡関係である。更に、Richardsonの分配データが Solute Free Basis 濃度に対応しているので、通常のモル濃度(大文字)からこの Solute Free Basis 濃度に(小文字)に変換し、平衡方程式を解いている。この変換の関係は、

$$\begin{aligned}\frac{m_a}{M_a} &= \frac{1.0}{1.0 - 0.0724 U_a - 0.13 Pu_a - 0.0309 H_a - 0.031 S_a} \\ &= 1.0 + 0.0724 u_a + 0.13 pu_a + 0.0309 h_a + 0.031 s_a\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{m_o}{M_o} &= \frac{1.0}{1.0 - 0.097 U_o - 0.139 Pu_o - 0.043 H_o - 0.0174 W_o} \\ &= 1.0 + 0.097 u_o + 0.139 pu_o + 0.043 h_o - 0.0174 w_o\end{aligned}$$

ここで、添字 a は水相を、 o は有機相を表す。また、 W\_o と w\_o は、有機相における水の濃度であり、

$$\begin{aligned}W_o &= (3.95 - 0.0144 t) \left( 1.0 - \frac{U_o}{U_{os}} - \frac{Pu_o}{Pu_{os}} - \frac{0.65 H_o}{H_{os}} \right) \cdot F^{1.65} \\ w_o &= (4.2 - 0.015 t) \left( 1.0 - \frac{2 U_o}{T} - \frac{2 Pu_o}{T} - \frac{0.6 h_o}{T} \right) \cdot F^{1.69}\end{aligned}$$

U<sub>os</sub>, Pu<sub>os</sub>, H<sub>os</sub> は、それぞれ TBP を飽和させるために必要なウラン、プルトニウム、硝酸のモル濃度である。そして、これらは、それぞれ以下のように計算できる。

$$U_{os} = \frac{0.5 T}{1.0 + 0.046 T}$$

$$Pu_{os} = \frac{0.5 T}{1.0 + 0.09 T}$$

$$H_{os} = \frac{T \cdot (1.0 - 0.00609 (3.95 - 0.0144 t)) \cdot F^{1.65}}{1.0 + 0.043 t}$$

ここで、os, F, T は、

os : 飽和溶媒での溶質のモル濃度

F : 無水の Solute Free 溶媒中の TBP の体積分率

T : TBP モル濃度 (3.65145 F)

t : 温 度 (C)

である。

Richardson の分配データは、25°C, 100% TBP を基準にして、

$$K_u^* = 3.7 n_a^{1.57} + 1.4 n_a^{3.9} + 0.011 n_a^{7.3}$$

$$K_{h1}^* = 0.135 n_a^{0.82} + 0.0052 n_a^{3.44}$$

$$K_{h2}^* = K_{h1}^*$$

ここで、

$$n_a = h_a + 2 U_a + 4 Pu_{4a} + 3 Pu_{3a} + S_a$$

プルトニウムの平衡定数は、ウランの平衡定数の関数として、

$$K_{pu4}^* = K_u^* ( 0.20 + 0.55 F^{1.25} + 0.0074 n_a^2 )$$

である。更に、温度およびTBPの関数として

$$K_u = K_u^* ( 4 F^{-0.17} - 3 ) e^{2500\tau}$$

$$K_{pu4} = K_{pu4}^* ( 4 F^{-0.17} - 3 ) e^{200\tau}$$

$$K_{h1} = K_{h2} = K_{h1}^* ( 1.0 - 0.54 e^{-15F} ) \cdot e^{340\tau}$$

ここで、 $\tau_0$ を平衡状態温度(°K)として、 $\tau$ は

$$\tau = \frac{1}{\tau_0} - \frac{1}{298}$$

で、表される。プルトニウムの還元反応を考慮して、 $Pu^{3+}$ は、

$$K_{pu3} = 0.04 n_a^{1.8} + 0.000156 \cdot F \cdot n_a^7$$

と、表している。

抽出反応にあずからないTBP濃度( $T_f$ )は、

$$T_f = T - 2(K_u \cdot U_a + K_{pu4} \cdot Pu_{4a} + K_{pu3a} \cdot Pu_3 + K_{h2} \cdot h_a) \cdot T_f^2 - K_{h1} \cdot h_a \cdot T_f$$

で表される。この2次方程式を解くと

$$T_f = \frac{-(K_{h1} \cdot h_a + 1) + \sqrt{(K_{h1} \cdot h_a + 1)^2 + 8(K_u \cdot U_a + K_{pu4} \cdot Pu_{4a} + K_{pu3a} \cdot Pu_3 + K_{h2} \cdot h_a) \cdot T}}{4(K_u \cdot U_a + K_{pu4} \cdot Pu_{4a} + K_{pu3a} \cdot Pu_3 + K_{h2} \cdot h_a)}$$

となる。この $T_f$ と平衡定数から分配係数は、

$$D_u = K_u \cdot T_f^2$$

$$D_{pu4} = K_{pu4} \cdot T_f^2$$

$$D_p u_3 = K_p u_3 \cdot T_f^2$$

$$D_h = K_h_1 \cdot T_f + K_{h2} \cdot T_f^2$$

と、計算できる。

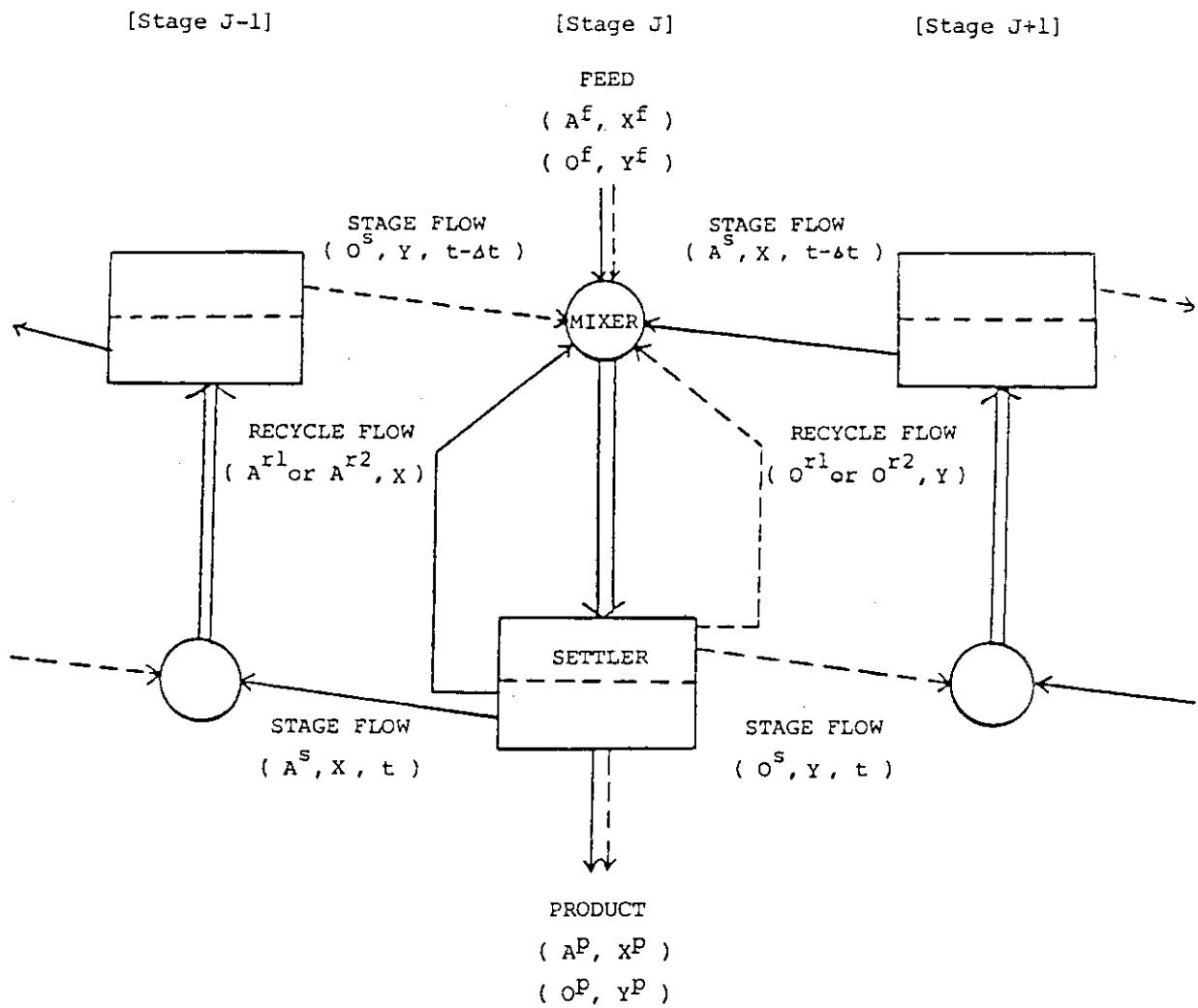


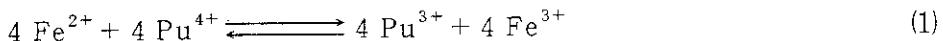
Fig. 3.1 Stage Model

Note :	—	Aqueous Flow
	---	Organic Flow
A		Aqueous Flow Rate
O		Organic Flow Rate
X		Concentration of Aqueous
Y		Concentration of Organic
f		Feed
P		Product
s		Stage
r1		Recycle by Phase Rate
r2		Recycle by Stage filled
t		Present Time
$\Delta t$		Time Interval

### 3.2 UとPuの分離

TBPに対するPuの分配係数は、 $\text{Pu}^{3+}$ より $\text{Pu}^{4+}$ の方が大きく、 $\text{Pu}^{3+}$ はTBPではほとんど抽出されない。従って、有機相に抽出されたUとPuのPuをストリップの際に3価に還元することにより、Uのみがストリップされ、Puはそのまま有機相に残る。このようにして、UとPuを分離する事ができる。この工程を分離工程と呼んでいる。この場合、 $\text{Pu}^{4+}$ の還元剤として、硝酸第一鉄、HAN、ウラナスなどが実用化されている。硝酸第一鉄を用いる場合や陰極電解還元の場合は、非常に早く還元が行われるが、HANやウラナスを還元剤に用いる場合には還元が遅いので十分な滞留時間を与える必要がある。以下に、SEPHIS-Jで取り扱っている還元剤とその化学反応および計算モデルを示す。

#### (1) 硝酸第一鉄 ( $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ )



上記の化学反応により $\text{Pu}^{4+}$ は、 $\text{Pu}^{3+}$ に還元される。モデルでは、時間間隔内にステージに供給される $\text{Pu}^{4+}$ の量を越えた過剰の $\text{Fe}^{2+}$ が供給されるものとし、 $\text{Pu}^{4+}$ 全量が $\text{Pu}^{3+}$ に還元されると仮定している。また、 $\text{Pu}^{4+}$ が $\text{Fe}^{2+}$ より多い場合には、 $\text{Fe}^{3+}$ が逆に $\text{Fe}^{2+}$ に還元されるとしている。従って、入力された $\text{Fe}^{2+}$ と釣り合った $\text{Pu}^{3+}$ が、時間ステップの終わりに、ステージから出力される。

#### (2) ウラナス (一次反応) ( $\text{U}(\text{NO}_3)_4$ )



この還元反応を、Puのみで考えると

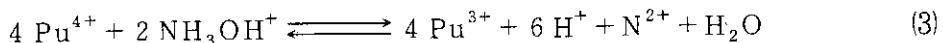
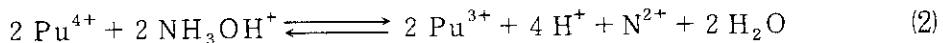


となる。この場合 $\text{Pu}^{4+}$ の反応定数を、水相について $K_a^1$ 有機相に対して $K_o^1$ とし、更に、 $\text{Pu}^{3+}$ の反応定数も $\text{Pu}^{4+}$ と同様に $K_a^2$ 、 $K_o^2$ とすると、マスバランス式は、水相について、

$$\frac{dX_4}{dt} = -K_a^1 X_4 \quad , \quad \frac{dX_3}{dt} = K_a^1 X_4 - K_a^2 X_3$$

となる。有機相についても同じである。ここで、 $X_4$ は、水相の $\text{Pu}^{4+}$ の濃度で、 $X_3$ は、 $\text{Pu}^{3+}$ の濃度である。なお、過剰のウラナスは、 $\text{U}^{6+}$ に酸化され、更にTBPにより抽出されてウラン精製工程に流出する。

#### (3) HAN (Hydroxylamine nitrate) ( $\text{NH}_3\text{OHNO}_3$ )



過剰のHANが供給された場合には、(2)式の反応が起り $\text{Pu}^{4+}$ 、1モルがHANに還元され、1モルの $\text{Pu}^{3+}$ と2モルの $\text{H}^+$ が発生する。

この場合、

$$\frac{-d[\text{Pu}^{4+}]}{dt} = \frac{K' \cdot [\text{Pu}^{4+}]^2 (\text{NH}_3\text{OH}^+)}{[\text{Pu}^{3+}]^2 [\text{H}]^4 [1 + \beta_1 (\text{NO}_3^-)]^2}$$

の反応速度式が G. S. Barney によって導かれている。ここで、 $\beta_1$  は PuNO に対する安定度定数である。更に、 $K'$ ,  $\beta_1$  の実験式が求められている。

$$K' = 6 \times 10^{42} \cdot e^{-28500/\text{°K}}$$

$$\beta_1 = 2 \times 10^{33} \cdot e^{-22100/\text{°K}}$$

時間ステップでステージ内に HAN により還元される  $\text{Pu}^{4+}$  の量は、時間ステップを  $\Delta t$  とすると、

$$\begin{aligned} \Delta \text{Pu}^{3+} &= -\Delta \text{Pu}^{4+} \\ &= K \cdot V_a \cdot \Delta t \left( \frac{X_4}{X_3} \right)^2 \end{aligned}$$

ここで、

$$K : \frac{K' [\text{NH}_3\text{OH}^+]^2}{[\text{H}^+]^4 [1 + \beta_1 (\text{NO}_3^-)^2]^2}$$

$V_a$  : 水相の容量

$V_o$  : 有機相の容量

$X_4, X_3$  : 出力水相の  $\text{Pu}^{4+}$ ,  $\text{Pu}^{3+}$  の濃度

$x_4, x_3$  : 入力水相の  $\text{Pu}^{4+}$ ,  $\text{Pu}^{3+}$  の濃度

$Y_4, Y_3$  : 出力有機相の  $\text{Pu}^{4+}$ ,  $\text{Pu}^{3+}$  の濃度

$y_4, y_3$  : 入力有機相の  $\text{Pu}^{4+}$ ,  $\text{Pu}^{3+}$  の濃度

である。物質収支は、

$$\begin{aligned} \Delta \text{Pu}^{3+} &= V_a X_3 + V_o Y_3 - V_a x_3 - V_o y_3 \\ &= KV_a \cdot \Delta t \cdot \left( \frac{X_4}{X_3} \right)^2 \end{aligned}$$

$\text{Pu}^{3+}$  の分配係数を  $D_3$ , 相比率を  $PR$  とすると、

$$D_3 = Y_3 / X_3$$

$$PR = V_a / V_o$$

から、

$$(X_4)^2 = \frac{(X_3)^3 (PR + D_3) - (X_3)^2 (PR x_3 + y_3)}{K \cdot PR \cdot \Delta t}$$

となる。

また、プルトニウム全体の物質収支から、

$$V_a (X_3 + X_4) + V_o (Y_3 + Y_4) = V_a (x_3 + x_4) + V_o (y_3 + y_4)$$

が得られ、これに、 $D_4 = Y_4 / X_4$ ,  $D_3$ , PRを代入し、整理すると、

$$X_3 = \frac{PR \cdot (x_3 + x_4) + y_3 + y_4 - X_4 (PR + D_4)}{PR + D_3}$$

となる。この式から、出力水相の  $Pu^{4+}$  の濃度 ( $X_4$ ),  $Pu^{3+}$  の濃度 ( $X_3$ ) は、 $D_3$ ,  $D_4$  に初期値を設定し、Newton - Raphson 法により、相対誤差が 0.001 以下になるまで反復計算を行い、その解として得られる。すなわち、 $X_4$  に適当な値 ( $V_1$ ) 設定し、 $X_3$  を計算し、さらに、次式により  $f(V_1)$ ,  $f'(V_1)$  を計算する。

$$f(V_1) = (V_1)^2 - \frac{(X_3)^3 (PR + D_3) - (X_3)^2 (PR x_3 + y_3)}{K \cdot PR \cdot \Delta t}$$

$$f'(V_1) = 2 \cdot V_1 + \frac{3 (X_3)^2 (PR + D_3) - 2 \cdot X_3 (PR x_3 + y_3)}{K \cdot PR \cdot \Delta t}$$

これから、

$$V_2 = V_1 - \frac{f(V_1)}{f'(V_1)}$$

を求め、相対誤差 (EPS) より小さくなるまで繰り返し計算を行う。この時、

$$\frac{|V_i - V_{i+1}|}{V_i} < EPS, \quad i \leq 50$$

の反復回数(i)の最大は、50であり、収束しない場合は、メッセージをプリントし、50回目の値を  $Pu^{4+}$  の濃度とみなし、他の濃度計算を行う。

### 3.3 PUBG コードの数学モデル

#### a) コードの概要

PUBG コードは、ロスアラモス研究所がクレムソン大学に依頼して開発したプログラムである。Purex 法による再処理工程では、共除染、分離、精製工程において水相と有機相との相境界で核物質の移動に関する反応が起こる。一つは、acid-base 反応で、他は redox 反応である。これら二つの反応および物質の移動はミキサ内で優勢に起きる。セトラは、ミキサから出てくる細かい分散 (dispersion) の分離を行っている。

溶媒抽出器内の重要な成分には、 $H^+$ ,  $UO_2^{2+}$ ,  $Pu^{4+}$ ,  $Pu^{3+}$ ,  $NO_3^-$ , TBP と還元塩とし

て用いられる  $U^{4+}$ , HAN などがある。成分  $H^+$ ,  $UO_2^{2+}$ ,  $Pu^{4+}$  は水相および有機相の両方に、有機相内では TBP とそれらの nitrate salt adducts として溶解される。成分  $Pu^{3+}$ ,  $U^{4+}$ , HAN とフリーの  $NO_3^-$  は水相のみに溶解可能であり、一方 TBP は有機相のみに溶解可能である。

PUBG では、水相と有機相の流れの観測は、水相がステージの小さい方から大きい方へ、有機相が反対方向に流れると仮定している。抽出器内の各ステージは、ミキサとセトラの二つの部分からなる。ミキサは、セトラに比べて小さいが物質の移動はミキサで起きる。しかし、全ての濃度の暫時な反応は、セトラを通る流量比により支配され、在庫量はセトラの流量、濃度に大きく依存する。抽出器内の各ステージ、各相に含まれる成分の濃度計算に関して、PUBG では以下のようにモデル化している。

ミキサ部では、定常状態近似と物質収支から多項式を導出し、これを繰り返し計算によって解いている。また、セトラ部では、成分に関する物質収支式を時間の関数として 4 次の Runge-Kutta 積分によって解いている。Mass transfer 平衡からのずれは、成分毎に定義できる物質移動係数 ( $K_x$ ) および interfacial Area ( $A$ ) で表せると仮定している。その他、 $U^{4+}$ , HAN による  $Pu^{4+}$  から  $Pu^{3+}$  への還元について、Autooxidation rate を入力することにより還元を調整することが出来るようになっている。このように、分配係数に関するデータおよび実験式は、SEPHIS と同じであるが、解法および数学モデルは全く異なる新しいコードであると言える。

### b) 数学モデル

PUBG で使用している数学モデルをセトラ方程式、ミキサ方程式および温度勾配の取り扱いについて以下に記す。

#### (i) セトラ方程式

セトラ内の成分に関する物質収支方程式は、

$$d(X_p^s V_p^s) / dt = F_p^m X_p^m - (F_p^s + P_p^s) X_p^s + (C_x R_x + S_x N_x) V_p^s \quad (1)$$

と、

$$d V_p^s / dt = F_p^m - F_p^s - P_p^s \quad (2)$$

である。

ここで、

$$d(X_p^s V_p^s) / dt = V_p^s dX_p^s / dt + X_p^s dV_p^s / dt \quad (3)$$

であり、 $X_p^s$  は、セトラ  $s$  の相  $p$  (ここでは、水相に対しては  $p=a$  で有機相には  $p=o$ ) 内の成分  $x$  のリッター当りのグラム数で示した濃度である。 $V_p^s$  セトラ  $s$  内の相  $p$  のボリュームであり、 $F_p^m$  はミキサ  $m$  からの interstage 流であり、そして  $F_p^s$  と  $P_p^s$  はセトラ  $s$  から出していく相  $p$  に関する interstage 流と Product stream 流である (Fig. 4.1 参照)。Contactor の定常運転では、 $dV_p^s / dt = 0$  である。

$R_x$  は、 $U^{4+}$  または HAN による  $Pu^{4+}$  から  $Pu^{3+}$  への還元の割合である。 $N_x$  は、Nitrate イオンの存在による  $U^{4+}$  の  $UO_2^{2+}$  への autooxidation rate である。 $C_x$  と  $S_x$  は、これらの還元反応に含

まれる成分に対するそれぞれの stoichiometric 係数である。U<sup>4+</sup>還元の割合は、

$$R_x = \frac{170 [U^{4+}] [Pu^{4+}]}{[H^+]^2}$$

となる。また、HAN還元では、

$$R_x = \frac{K' [HAN]^2 [Pu^{4+}]^2}{[H^+]^4 [Pu^{3+}]^2 (Kd + [NO_3^-])^2}$$

となる。ここで、K'は、30°Cにおいて、0.029 M<sup>5</sup>/secであり、31 Kcals/molのactivation エネルギーを持つ。PuNO<sub>3</sub><sup>3+</sup>の解離 (dissociation) 定数、Kdは、0.33 Mである。N<sub>x</sub>は、

$$N_x = \tau [U^{4+}] [NO_3^-]$$

で表わされる。ここで  $\tau$  は与えられたサイズ、phase ratio および Flow rate の Contactor の出力データに対して、較正されるインプット・パラメータである。

(3)式へ(1)と(2)式を代入することにより、

$$\begin{aligned} dX_p^s/dt &= (F_p^m X_p^m - (F_p^s + P_p^s) X_p^s + (C_x R_x + S_x N_x) V_p^s - X_p^s \\ &\quad (F_p^m - F_p^s - P_p^s)/V_p^s \end{aligned} \quad (4)$$

が得られる。これらの式は、時間の関数として4次の Runge-Kutta 積分を用いて解かれる。

## (ii) ミキサ方程式

物質収支方程式(1)と(2)は、ミキサ内での成分に対して適用すると、以下のようになる。

$$\begin{aligned} dX_p^m/dt &= [F_p^{s\pm 1} X_p^{s\pm 1} + F_p^\phi X_p^\phi - F_p^m X_p^m + V_p^m (C_x R_x + S_x N_x) \\ &\quad \pm A_m K_x^m (X_o^m (eq) - X_o^m (F_p^{s\pm 1} + F_p^\phi - F_p^m))]/V_p^m \end{aligned} \quad (5)$$

ここで、(±)(+)は、有機相に対するもので、(−)は、水相に対するものである。肩文字  $\phi$  は、Feed流の特性を示している。A<sub>m</sub>K<sub>x</sub><sup>m</sup>(X<sub>o</sub><sup>m</sup> − X<sub>o</sub><sup>m</sup>(eq))は、相間の物質移動の割合を制御するものである。K<sub>x</sub><sup>m</sup>は、成分(X)に関する物質移動係数であり、A<sub>m</sub>は、ミキサ[m]の物質移動面積である。X<sub>o</sub><sup>m</sup>は、ミキサ[m]の有機相内の成分 X の瞬間の濃度であり、X<sub>o</sub><sup>m</sup>(eq)は、成分 X の水相濃度に関する平衡状態での瞬間の値である。これにより、

$$X_o^m (eq) = D_x X_a^m$$

となる。ここで、D<sub>x</sub>は、水相および有機相間の成分(x)に関する分配係数である。定常状態であり、かつ  $dV_p^m/dt = 0$  であると仮定すると、(5)式は、

$$F_p^{s\pm 1} X_p^{s\pm 1} + F_p^\phi X_p^\phi - F_p^m X_p^m + V_p^m (C_x R_x + S_x N_x) \pm A_m K_x^m (D_x X_a^m - X_o^m) = 0 \quad (6)$$

ミキサ内の成分の濃度に関する次の解析的表現が、同時式 (simultaneous equations) のこれらのセット間の変数 X<sub>p</sub><sup>m</sup> の消去によって得られる：

$$\begin{aligned} X_o^m &= (F_o^m + A_m K_x^m + D_x A_m K_x^m F_o^m / F_a^m)^{-1} [D_x A_m K_x^m (\sigma_{ox} + \sigma_{ax}) / F_a^m \\ &\quad + \sigma_{ox} + D_x A_m K_x^m V_a^m (C_x R_x + S_x N_x) / F_a^m] \end{aligned} \quad (7)$$

および、

$$X_a^m = [\sigma_{ax} + \sigma_{ox} - F_o^m X_o^m + V_a^m (C_x R_x + S_x N_x)] / F_a^m \quad (8)$$

ここで、 $\sigma_{px} = F_p^{s+1} X_p^{s+1} + F_p^\phi X_p^\phi$  である。

これらの式の解法を議論する前に、 $A_m$  が零になると、

$$\lim_{A_m \rightarrow 0} X_o^m = \sigma_{ox} / F_o^m$$

となり相間で物質の移動は起きず、そして  $A_m$  が無限大になると、

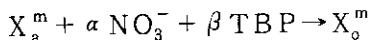
$$\lim_{A_m \rightarrow \infty} X_o^m = (1 + D_x F_o^m / F_a^m)^{-1} D_x [\sigma_{ox} + \sigma_{ax} + V_a^m (C_x R_x + S_x N_x)] / F_a^m$$

となり、この場合には全ての濃度は平衡分配係数によって決定されるということを記しておく。これらの式を解くことの困難は、 $D_x$ s が  $X_a^m$  と TBP 濃度 (Total nitrate イオン濃度あるいは Salting strength と同様に) implicit な関数であるということである。

各分配係数は次の型の式を通して対応する平衡定数に関連する。

$$D_x = K_x^{\text{eq}} [NO_3^-]^\alpha [TBP]^\beta$$

ここに、指數  $\alpha$  と  $\beta$  は次の平衡反応における stoicheometric 係数に関連する。



平衡定数は、salting strength, Free TBP 濃度、および濃度の関数として経験的に形成された。

式(7)と(8)は Newton 法により iteratively に解かれる。

$$(X_o^m)_{i+1} = (X_o^m)_i - f(X_o^m) / f'(X_o^m)$$

ここで、 $(X_o^m)_{i+1}$  は  $f(X_o^m)$ 、式(7)の residue および  $f'(X_o^m) / f(X_o^m)$  の導関数を使って前の値から推定される。

### c) 温度勾配

相間の熱の移動は、セトラ内よりもミキサ内でよりもっと早く起きると仮定される。PUBG では、ミキサ内に相間の瞬間の熱の移動がある。セトラ内には無く、セトラ温度は、隣接したミキサから入って次のミキサへ出て行く熱フローによって決められる。

$$d(V_p^s T_p^s) / dt = V_p^s dT_p^s / dt + T_p^s dV_p^s / dt \quad (9)$$

ここで、 $T_p^s$  はセトラ内の相 P の温度である。上の仮定と式(3)を用いて式(9)は次のようになる。

$$dT_p^s / dt = [F_p^m T^m - (F_p^s + P_p^s) T_p^s - T_p^s (F_p^m - F_p^s - P_p^s)] / V_p^s \quad (10)$$

これらの式は  $T_p^s$  に関して 4 次の Runge - Kutta 積分によって解かれる。ミキサ内の瞬時の熱の移動は両方の相の温度に関する次の式を解く：

$$T^m = \sum_p (F_p^{s+1} T_p^{s+1} + F_p^\phi T_p^\phi) C_p / \sum_p (F_p^m C_p) \quad (11)$$

ここで、 $C_p$  は相  $p$  に関する比熱であり、そして符号の表記は前の定義と同一である。平衡分配係数は温度に関する弱い関数であり、十分な精度は溶解している塩を無視することによっても得ることができる。これにより水相に対しては  $1.0 \text{ cal/g}$  度の比熱となる。有機相に関しては、比熱は  $C_o = 0.321 + 0.078 (\text{TBP})$  によって与えられる。ここで TBP 濃度はボリューム fraction として表現されている。

### 3.4 SEPHIS-J の計算モデル

SEPHIS Mod 3 のモデルでは、いくつかの問題点が指摘されている。それらは、

- (1) 抽出器の性能、運転操作などによる分配平衡からのずれではなく、常に、分配平衡が成り立っているものと仮定している。このため、抽出器内の在庫量を 20% 程過小に計算する。
  - (2) ミキサ部とセトラ部をまとめて一つの物質収支式で解き、時間に対する積分を行っていない。
  - (3) 計算の時間間隔 ( $\Delta t$ ) を (ステージ容量 / 全流量) にコード内で設定し、この時間内では物質収支式の諸係数は変化しないものと仮定して解いている。従って、この時間内では、リサイクル流による混合を除いては、抽出器内において各相の混合は起こらず濃度は一定に保たれる。これらの事から、実際の抽出器の立ち上がりにおいて、各ステージの濃度は連続的に立ち上がるにもかかわらず、このコードでは、不連続な立ち上がりを示す。
- これらの問題点を克服するために、SEPHIS-J のモデルでは、Mass transfer 平衡のずれを、Mass Transfer Efficiency を入力することにより取り扱えるようにし、計算の時間間隔 ( $\Delta t$ ) も入力で任意に選ぶことが出来るようにした。物質収支を表す時間依存の微分方程式の積分を、 $\int F dt \approx F \Delta t$  と近似して、物質収支式を差分化して解いている。
- SEPHIS-J のステージモデルを Fig. 3.2 に示す。そして、物質収支に関係する変数および係数を以下のように定義すると、

$$O = O^s = O^{i-1} + f_o + R_o$$

$$A = A^s = A^{i+1} + f_a + R_a$$

$$x_{in} = \frac{A^{i+1} \cdot x_s^{i+1} + f_a x_f + R_a x_s^i}{A}$$

$$y_{in} = \frac{O^{i-1} \cdot y^{i-1} + f_o y_f + R_o y_s^i}{O}$$

$$R = A/O$$

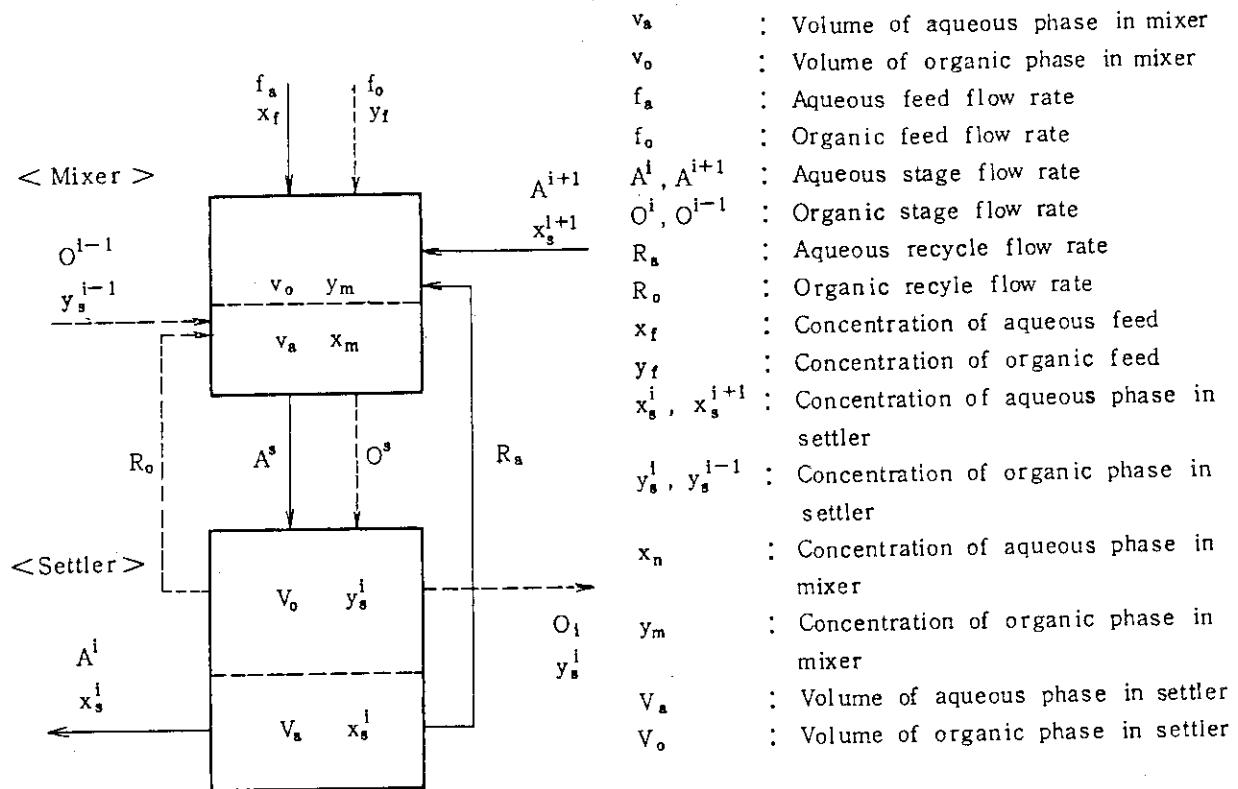


Fig. 3.2 Stage Model

ミキサ内の物質収支式は、化学反応が無い場合には以下のように表わされる。

$$v_a \frac{dx_m}{dt} + v_o \frac{dy_m}{dt} = A \cdot x_{in} + O \cdot y_{in} - A \cdot x_m - O \cdot y_m \quad (1)$$

これを  $t \rightarrow t + \Delta t$  間で積分すると

$$\begin{aligned} v_a (x'_m - x_m) + v_o (y'_m - y_m) &= \int A \cdot x_{in} dt + \int O \cdot y_{in} dt \\ &\quad - \int A \cdot x_m dt - \int O \cdot y_m dt \end{aligned} \quad (2)$$

となる。ここで、 $x'_m, y'_m$  は、それぞれ時刻( $t + \Delta t$ )における水相、有機相の核物質濃度、 $x_m, y_m$  は、それぞれ時刻( $t$ )における核物質濃度である。これは、 $\int F dt = F \cdot \Delta t$  とすると、

$$\begin{aligned} v_a (x'_m - x_m) + v_o (y'_m - y_m) &= A \cdot x_{in} \cdot \Delta t + O \cdot y_{in} \cdot \Delta t \\ &\quad - A \cdot x_m \cdot \Delta t - O \cdot y_m \cdot \Delta t \end{aligned}$$

となり、さらに、

$$v_a x'_m + v_o y'_m = (v_a - A \cdot \Delta t) x_m + (v_o - O \cdot \Delta t) y_m + A \cdot X_{in} \cdot \Delta t + O \cdot Y_{in} \cdot \Delta t$$

となる。ここで右辺は既知量であり、

$$R = (v_a - A \cdot \Delta t) x_m + (v_o - O \cdot \Delta t) y_m + A \cdot X_{in} \cdot \Delta t + O \cdot Y_{in} \cdot \Delta t$$

とすると、

$$v_a x'_m + v_o y'_m = R$$

となる。Mass transfer efficiency ( $E_f$ ) = 1.0 の場合 (平衡状態) は水相と有機相では、

$$D = \frac{y}{x}$$

の関係が成り立つ。この 2 式より、

$$x'_m = \frac{R}{v_a + v_o D}$$

となる。水相について Mass Transfer Efficiency ( $EF_a$ ) が定義されている場合には、

$$X^* = y/D$$

$$EF_a = \frac{A \cdot X_m - (A^{i+1} \cdot X^{i+1} + f_a \cdot X_f + R_a \cdot X^i)}{A \cdot X^* - (A^{i+1} \cdot X^{i+1} + f_a \cdot X_f + R_a \cdot X^i)} = \frac{X_m - X_{in}}{X^* - X_{in}}$$

$$= \frac{P_x I_x}{Q_x I_x}$$

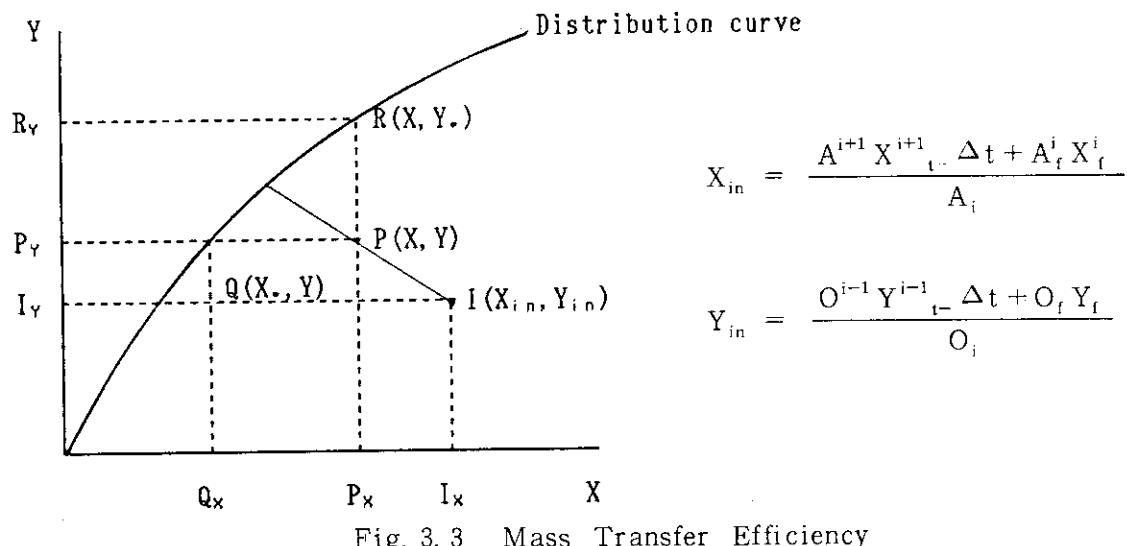
となり、有機相について定義されている時は、

$$Y^* = D \cdot y$$

$$EF_o = \frac{O \cdot Y_m - (O^{i-1} \cdot Y^{i-1} + f_o \cdot Y_f + R_o \cdot Y^i)}{O \cdot Y^* - (O^{i-1} \cdot Y^{i-1} + f_o \cdot Y_f + R_o \cdot Y^i)} = \frac{Y_m - Y_{in}}{Y^* - Y_{in}}$$

$$= \frac{I_y P_y}{I_y R_y}$$

となる。これを図で示したもののが Fig. 3.3 である。



水相, 有機相のそれぞれで定義された Mass Transfer Efficiency と上記の物質収支式とから, 各成分の濃度, X, Y が計算できる。同様に, セトラ部の物質収支式は,

$$V_a \frac{dx_s}{dt} + V_o \frac{dy_s}{dt} = A \cdot x'_m + O \cdot y'_m - A \cdot x_s - O \cdot y_s \quad (3)$$

$$\begin{aligned} V_a (x'_s - x_s) + V_o (y'_s - y_s) &= A \cdot x'_m \Delta t + O \cdot y'_m \Delta t \\ &\quad - A \cdot x_s \Delta t - O \cdot y_s \Delta t \end{aligned}$$

となり, 化学反応がない場合には,

$$x'_s = \frac{(V_a - A \cdot \Delta t) x_s + A \cdot \Delta t \cdot x'_m}{V_a}$$

$$y'_s = \frac{(V_o - O \cdot \Delta t) y_s + O \cdot \Delta t \cdot y'_m}{V_o}$$

として, 水相, 有機相の成分濃度を計算する事が出来る。なお, 化学反応が起きる場合には, (1), (3)式の右辺に, 化学反応項が加わり, ミキサ, セトラ部とも反復計算を行い濃度を計算する。いずれの解き方でも, 各 stage における水相および有機相の容量の変動はないものとしている。すなわち,

$$\frac{dv_a}{dt} = 0, \quad \frac{dv_o}{dt} = 0, \quad \frac{dV_a}{dt} = 0, \quad \frac{dV_o}{dt} = 0$$

の仮定が成り立つものとしている。

このようにして, SEPHIS-Mod 3 コードの弱点を取り除いた SEPHIS-J コードは, 定常状態はもとより, 非定常においても, PUBG コードとほぼ同じ結果が得られる。

## 4. 計算結果とその検討

### 4.1 S R P プラントの抽出器を用いた計算と実測データ

モデルとして選んだプラントおよび抽出器は、 Savannah River Plant ( S R P ) の 1 D および 1 E BANK である。このプラントを選択した理由は、

- (1) 実験室規模のプラントであり、リサイクルなどの流れがなくシンプルである。
- (2) 測定データが多く、実験解析も行われている。<sup>(6)</sup>
- (3) PUBGとの比較計算にも使われ、TRANSIENTS<sup>(7)</sup>を用いた計算結果も報告されている。

である。解析に用いた 1 D, 1 E BANK を Fig. 4. 1 に示す。

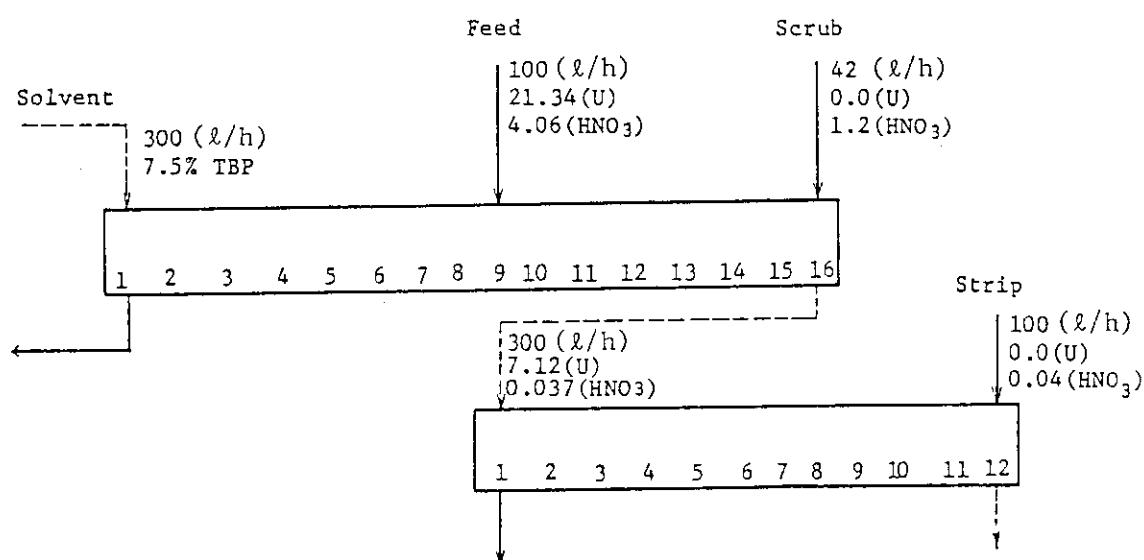


Fig. 4. 1 1 D and 1 E Bank of S R P

Mass Transfer Efficiency をパラメータとして、1 D BANK のウランの Inventory の計算値と実測値を示したのが Fig. 4. 2 の上図であり、C/E を表示したのが、下図である。SEPHIS-J コードでは、約 10% 程ウランの Inventory を過小に推定する (EF = 1.0 の所) ことがわかる。また、ウランの Inventory は、EF が 1.0 まではゆるやかに増加し、0.5 の点で最大 (5.083 Kg) となり、0.2 まで減少する事がわかる。ウランの Inventory を、水相、有機相に分離して、C/E とともに示したもののが Table 4. 1 である。更に、各 Stage における、水相、有機相のウランの濃度分布を、EF パラメータとして、実測値とともに示したものが Fig. 4. 3 である。これらを総合的にみると、実測値の誤差は不明であるが、EF をパラメータとして、全体の Inventory にフィッティングしても、Stage 内の各相の濃度分布をよく再現するものでない事がわかる。

また、EFによる効果は、Feed Stageの成分抽出に大きく現われ、水相のウラン濃度を過大評価する傾向がある。

Stage内ウランInventoryの総量にフィッティングするように、EFを調整し、その時の水相のウラン濃度分布について、実測値、TRANSIENTSの結果およびPUBGの結果とともに、示したのがFig. 4.4である。そのC/Eを下図に示す。同様に、有機相のウラン濃度分布をFig. 4.5に示す。水相について、フィッティングした( $EF = 0.665$ )SEPHIS-Jの結果とTRANSIENTSの結果は、よく似たパターンを示している。どの計算結果も、実測値をよく再現しているとは言えない。比較的パターンが似ているPUBGの結果でも、C/Eで0.37～1.46と大きな違いがあり、測定誤差とも考えられない。有機相の濃度分布は、それぞれの計算コードによる違いは少ない。16番目のStage(Product)では、C/Eで1.2と計算結果が過大評価になり、逆に、Feed Stage(9番目)から第6Stageまででは、過小評価し、PUBGでC/Eが最大0.23となる。

逆抽出を行っている1E BANKについての結果を以下に示す。1E BANK内の在庫量は、Mass Transfer Efficiencyが小さくなるにつれて増加する。これとC/Eを図として表わしたもののがFig. 4.6である。また、水相、有機相に分けて、C/Eとともに表わしたもののが、Table 4.2である。更に、各Stage毎にウラン濃度分布を示したものがFig. 4.7である。1E BANKのウラン濃度分布は、EFが小さくなるに従い、各Stageとも濃度が増し、そのパターンも類似したものとなっている。水相における各Stageのウラン濃度を、実測値と各計算コードの結果およびそのC/Eとともに表わしたものがFig. 4.8である。有機相について図示したものがFig. 4.9である。この1E BANKでは、濃度の低いStageが多く、測定が出来ない事もあり、実測データが少ない。PUBGとSEPHIS-J( $EF = 0.83$ )の結果には差がない。実測値との差は大きいが、濃度が小さいため、1E BANKとしてのInventory全体から考えると、影響は小さい。

以上、今回の解析は、規模の小さなSRPの抽出および逆抽出におけるウランについての限られた解析であるが、SEPHIS-J、PUBGとも、抽出器内の濃度をよく再現するものでない。濃度分布を実測値に一致させて、抽出器内のInventoryが合うようにする事が、今後の課題である。更に、PuとUの混合溶液が供給される共除染工程およびPuとUの分離を行う分離工程での解析も必要である。しかし、これらについては、測定データが少なく、PNCおよびNUCEFでの測定を期待するものである。

Table 4.1 Uranium Inventory in the 1D Contactor

	Aqueous Phase		Organic Phase		Total	
	(g)	C/E	(g)	C/E	(g)	C/E
Experiment	1474.4		3516.2		4990.6	
SEPHIS-J						
EF = 1.0	1350.5	0.916	3128.0	0.890	4478.5	0.897
0.9	1456.3	0.988	3203.5	0.911	4659.8	0.934
0.8	1524.0	1.034	3259.7	0.927	4783.7	0.959
0.7	1586.6	1.076	3318.9	0.944	4905.5	0.983
0.655	1615.2	1.095	3347.8	0.952	4963.0	0.994
0.6	1642.1	1.114	3375.8	0.960	5017.9	1.005
0.5	1672.3	1.134	3410.6	0.970	5082.9	1.018
0.4	1647.6	1.117	3377.3	0.960	5024.9	1.007
0.3	1537.5	1.043	3196.2	0.909	4733.7	0.949
0.2	1340.0	0.909	2751.4	0.782	4091.4	0.820
PUBG						
A = 2	1503.4	1.020	3253.4	0.925	4756.8	0.953
TRANSIENT						
EF = 0.7	1790.3	1.214	3404.0	0.968	5194.3	1.041

Table 4.2 Uranium Inventory in the 1E Stripping Contactor

	Aqueous Phase		Organic Phase		Total	
	(g)	C/E	(g)	C/E	(g)	C/E
Experiment	3326.6		205.8		3532.4	
<b>SEPHIS-J</b>						
EF = 1.0	2826.0	0.850	46.9	0.228	2872.9	0.813
0.9	3106.3	0.934	142.2	0.691	3248.5	0.920
0.83	3322.8	0.999	233.8	1.136	3556.6	1.007
0.8	3431.1	1.031	282.8	1.374	3713.9	1.051
0.7	3842.1	1.155	487.6	2.369	4329.7	1.226
0.6	4388.3	1.319	786.4	3.821	5174.7	1.465
0.5	5097.3	1.532	1215.9	5.908	6313.2	1.787
0.4	5949.3	1.788	1813.8	8.813	7763.1	2.198
0.3	6808.4	2.047	2603.0	12.648	9411.4	2.664
0.2	7168.3	2.155	3555.5	17.276	10723.8	3.036
<b>PUBG</b>						
A = 4.805	3318.0	0.997	224.0	1.088	3542.0	1.003
<b>TRASIENTS</b>						
EF = 0.7	3206.8	0.964	261.8	1.272	3468.6	0.982

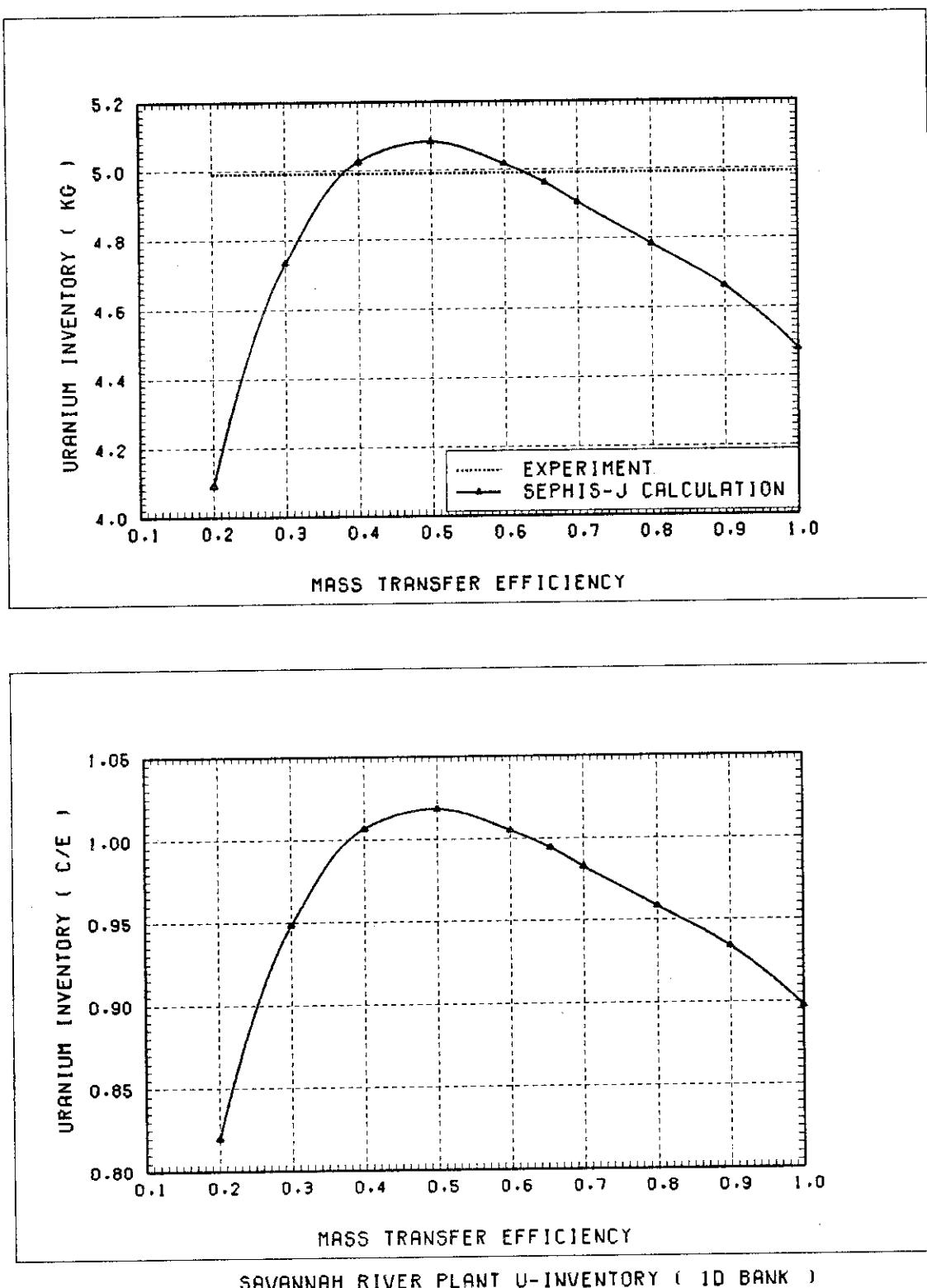


Fig. 4.2 Calculated Uranium Inventory in the 1D Contactor as a Parameter of Mass Transfer Efficiency compared with Experimental Measurement

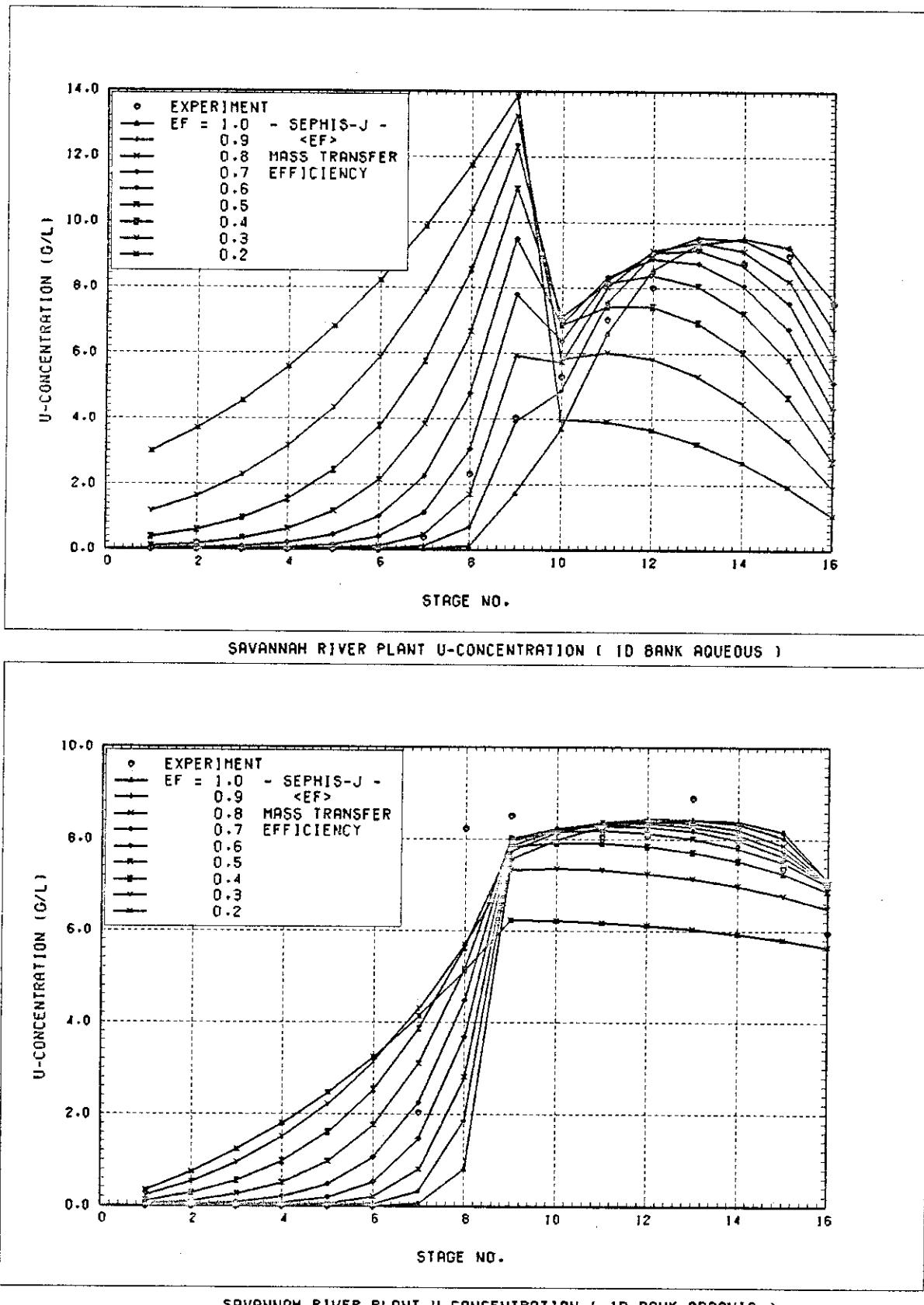


Fig. 4.3 Calculated Steady State Uranium Concentration Profiles of Aqueous Phase (upper) and Organic Pase (lower) in the 1D Contactor

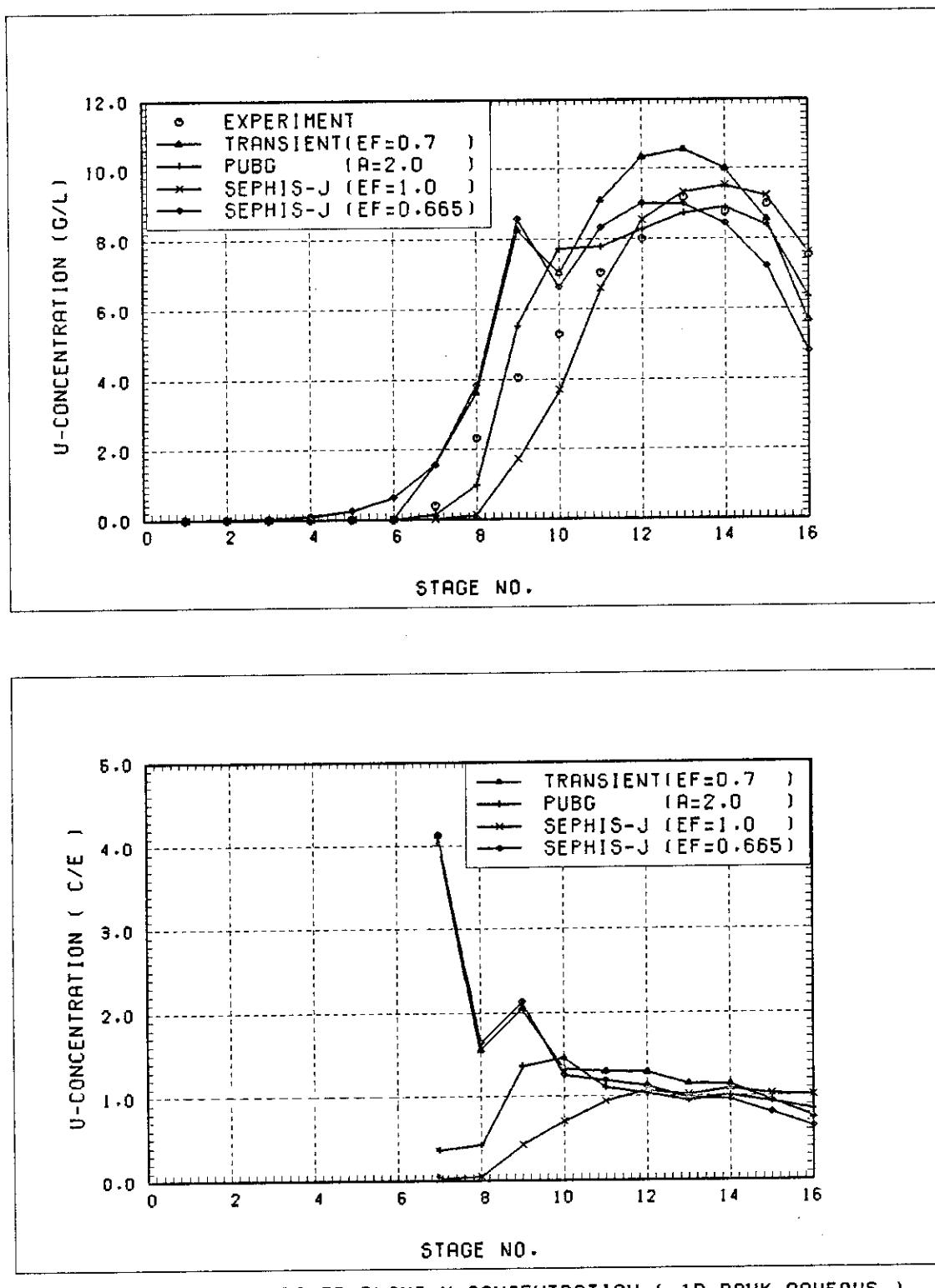
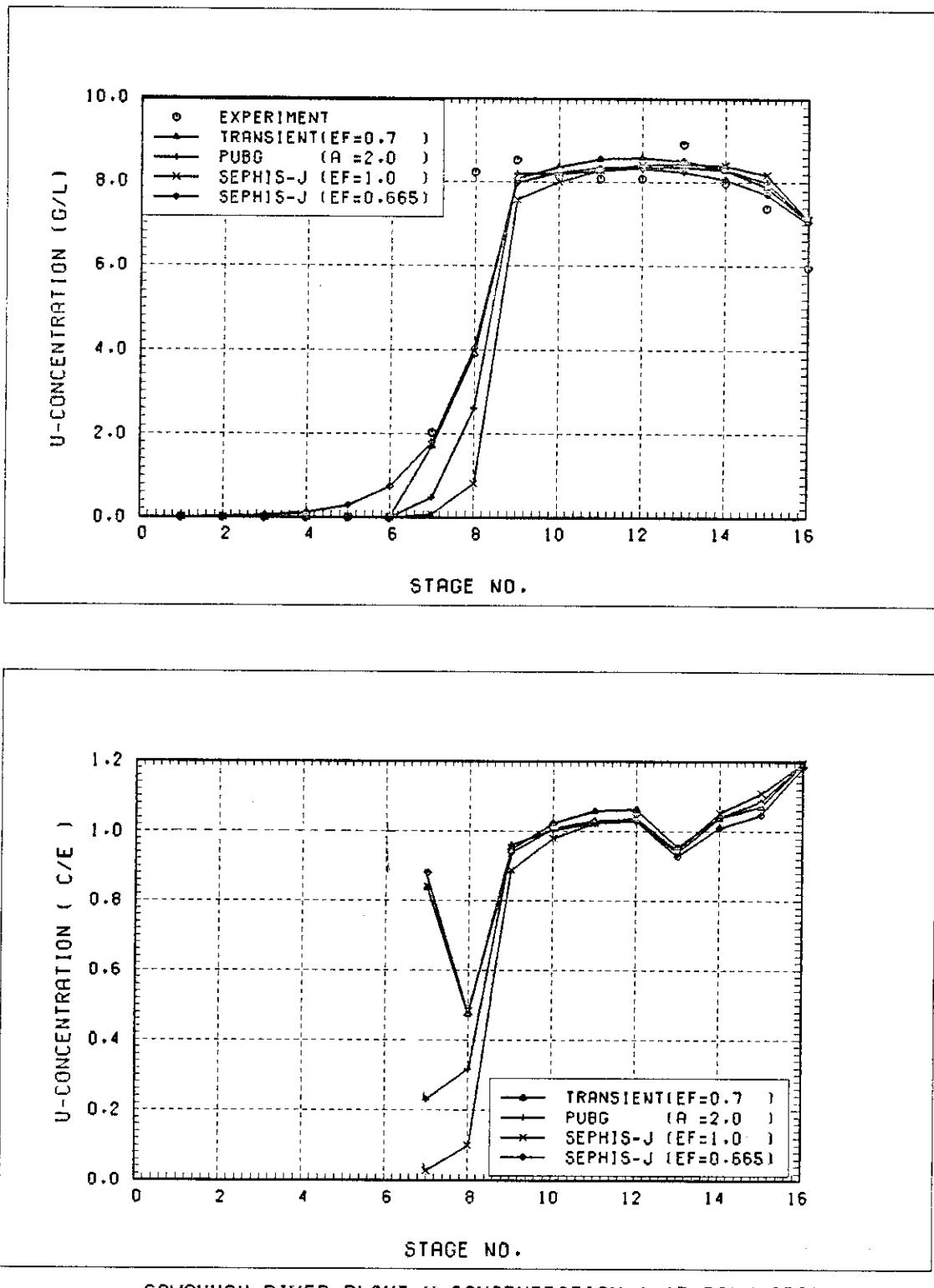


Fig. 4.4 Calculated Uranium Concentration Profiles of Aqueous Phase in the 1D Contactor compared with Experimental Measurements



SAVANNAH RIVER PLANT U-CONCENTRATION ( 1D BANK ORGANIC )

Fig. 4.5 Calculated Uranium Concentration Profiles of Organic Phase in the 1D Contactor compared with Experimental Measurements

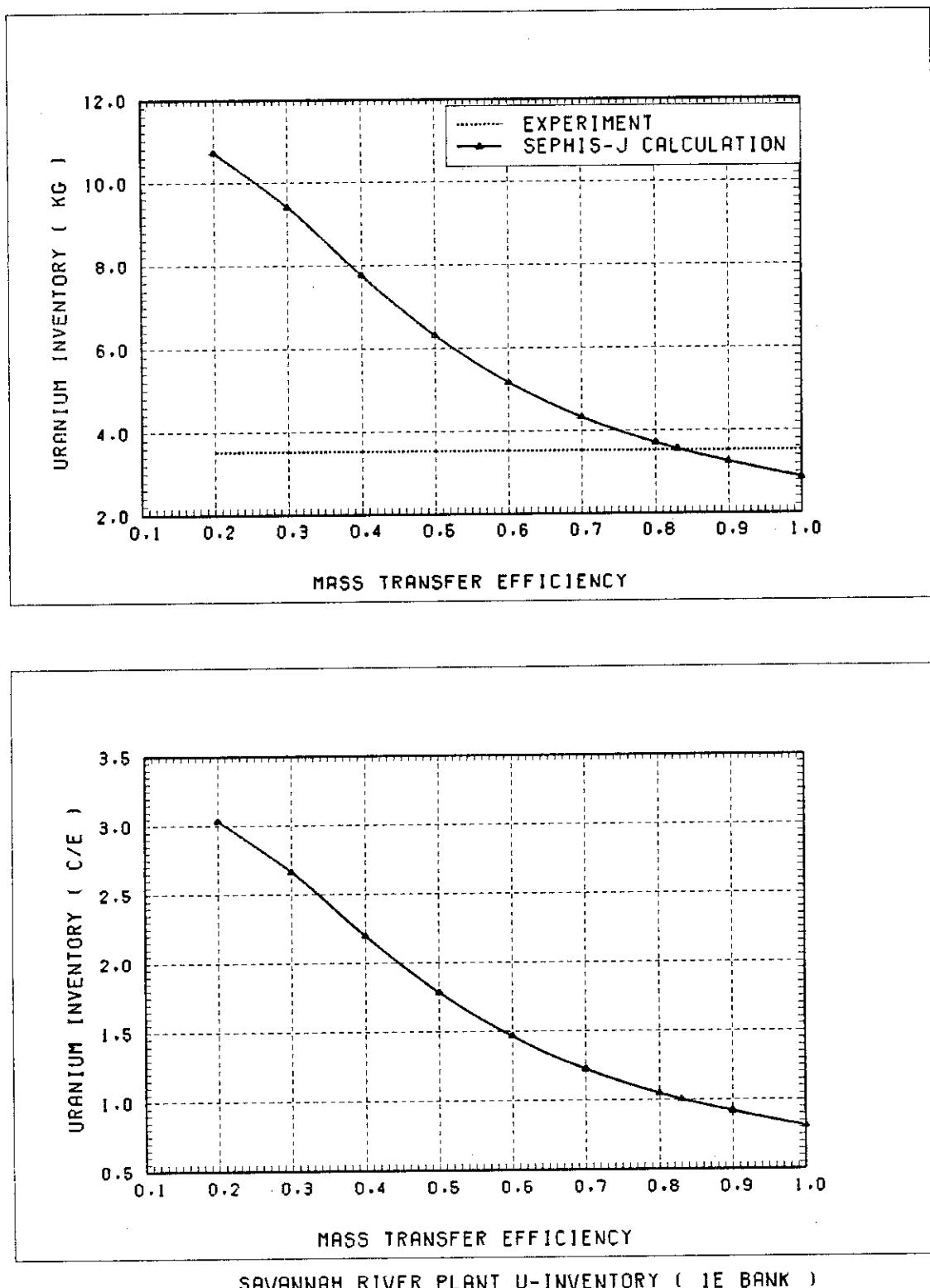


Fig. 4.6 Calculated Uranium Inventory in the 1E Stripping Contactor as a Parameter of Mass Transfer Efficiency Compared with Experimental Measurements

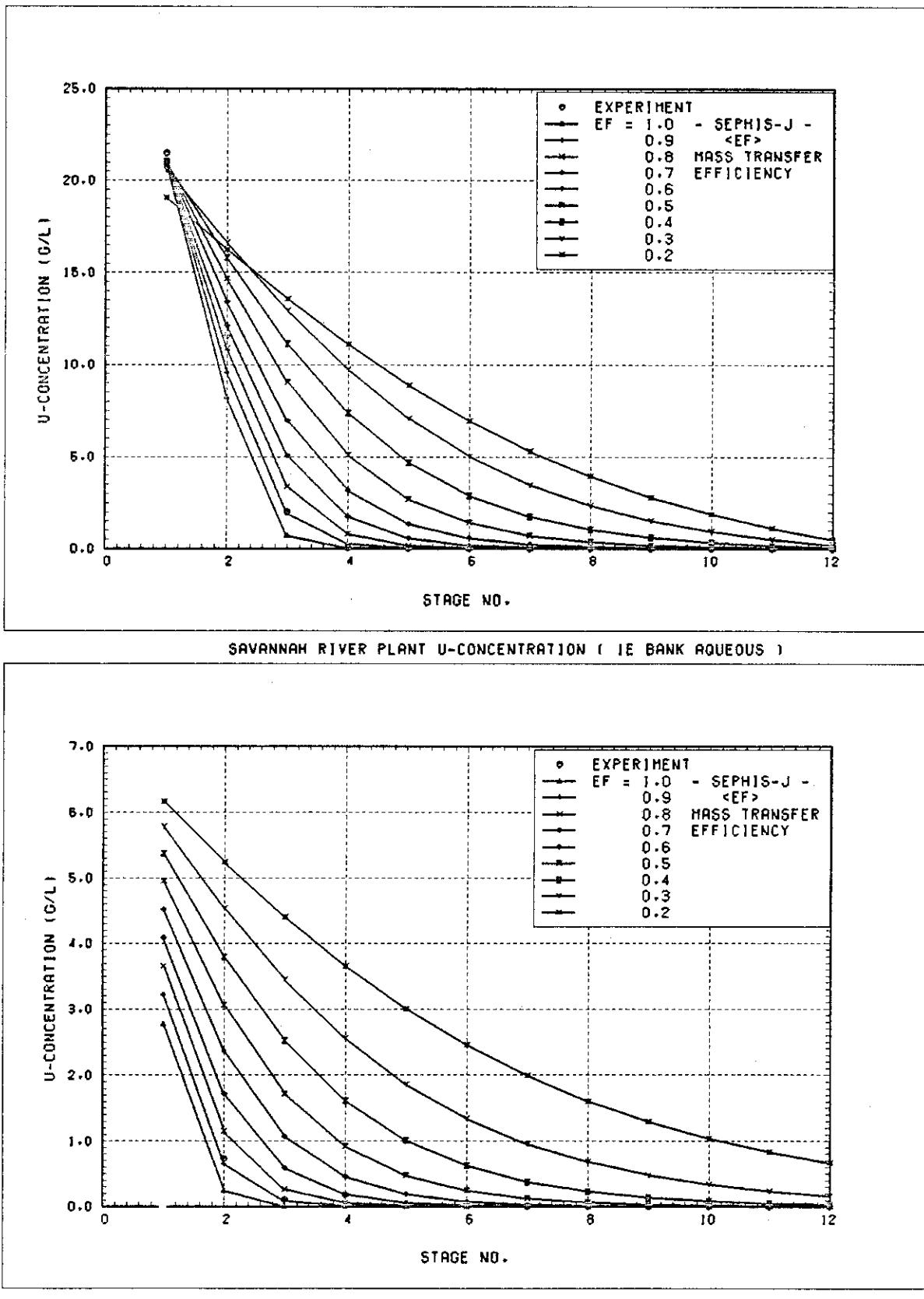
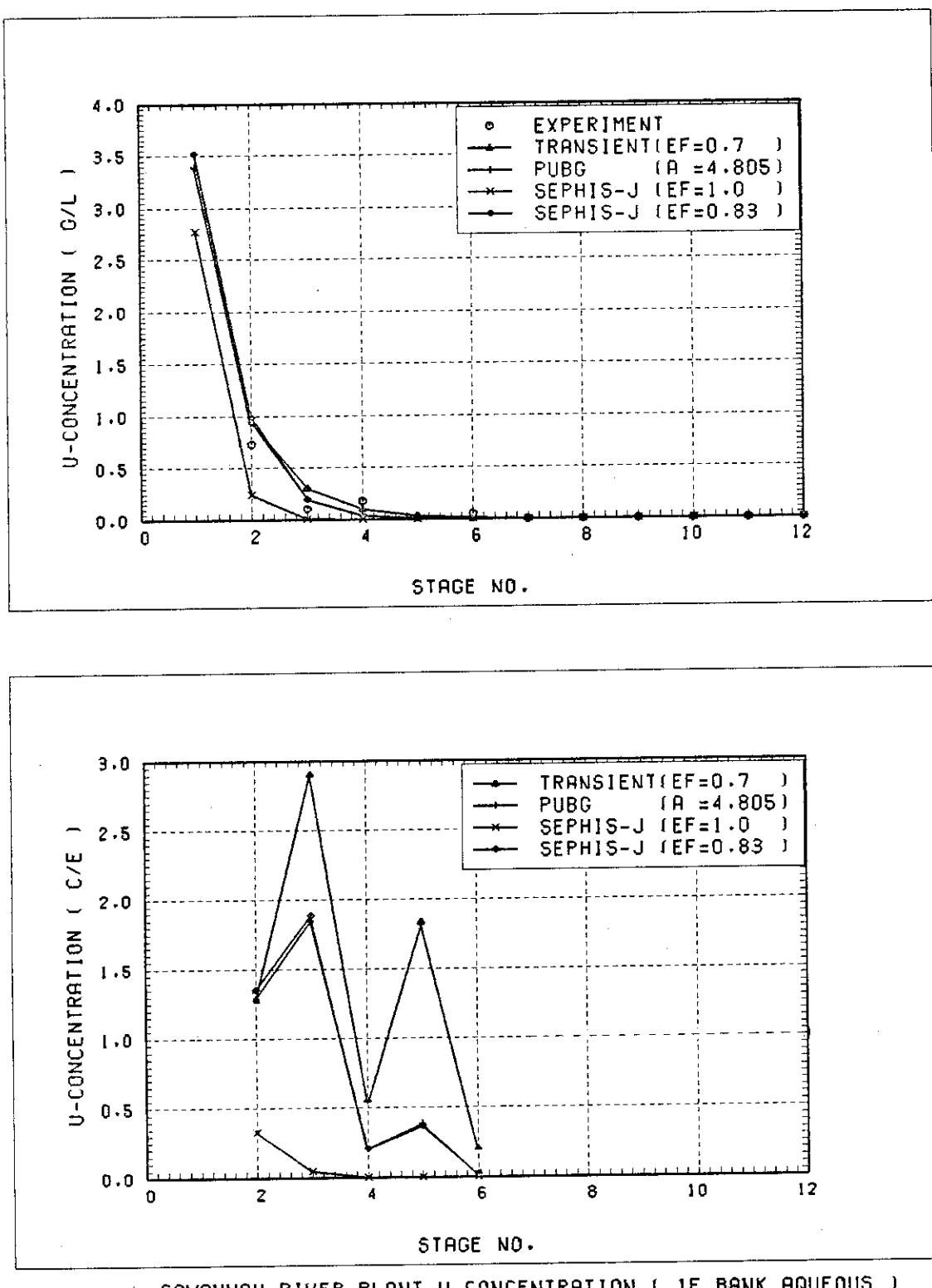
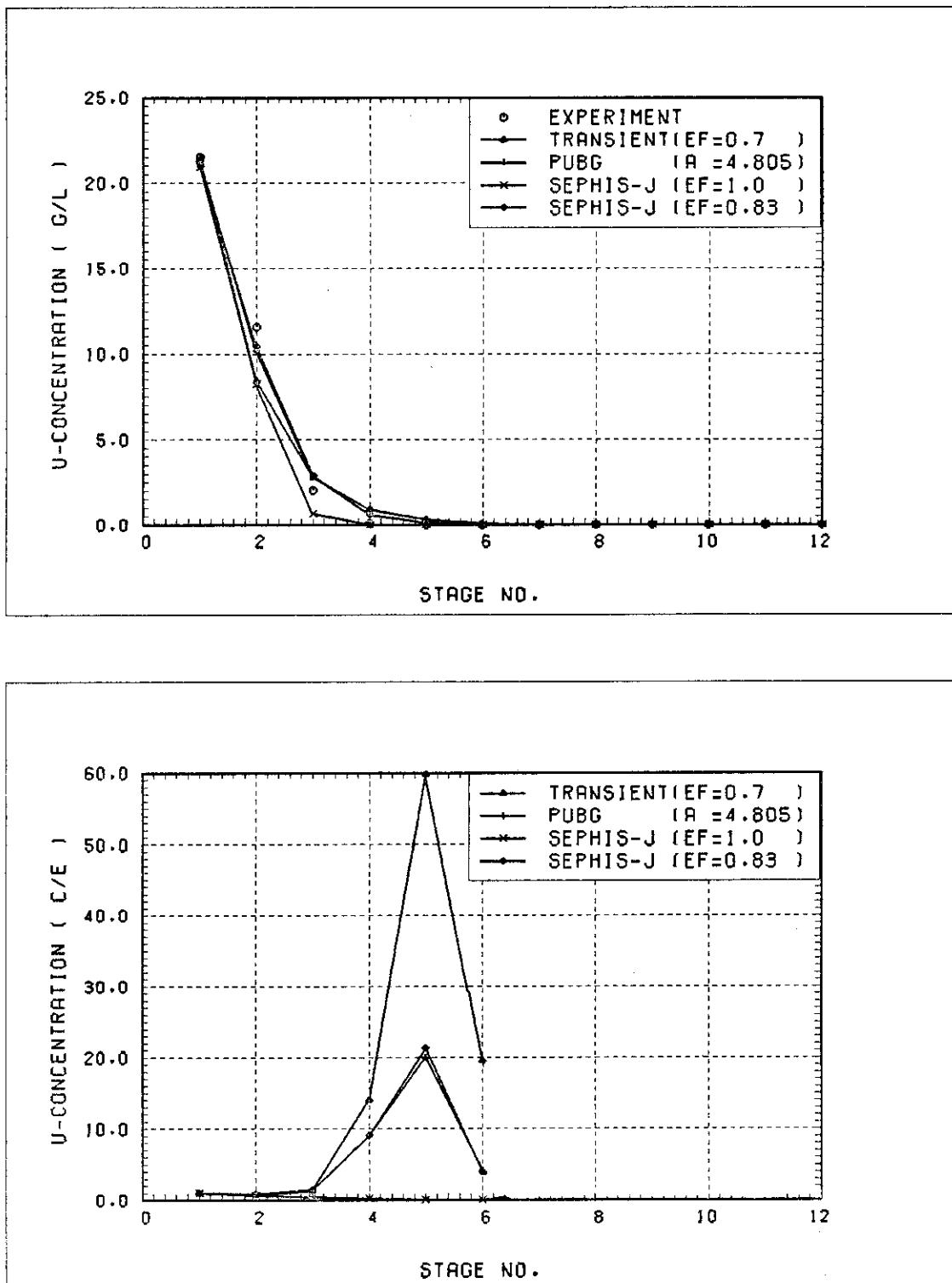


Fig. 4.7 Calculated Steady State Uranium Concentration Profiles of Aqueous Phase (upper) and Organic Phase (lower) in the 1E Stripping Contactor



SAVANNAH RIVER PLANT U-CONCENTRATION ( 1E BANK AQUEOUS )

Fig. 4.8 Calculated Uranium Concentration Profiles of Aqueous Phase in the 1E Stripping Contactor Compared with Experimental Measurements



SAVANNAH RIVER PLANT U-CONCENTRATION ( 1E BANK AQUEOUS )

Fig. 4.9 Calculated Uranium Concentration Profiles of Organic Phase in the 1E Stripping Contactor Compared with Experimental Measurements

## 4.2 動燃東海再処理工場の共除染工程 (EXTRACTION-I) の定常, 非定常解析

動燃東海再処理工場の共除染工程 (EXTRACTION-I) をモデルに, 開発したSEPHIS-JとPUBGおよびSEPHIS Mod 3の各計算コードについて, 定常および非定常計算を実施し, 計算モデルの違いによる抽出器内在庫量の推定値の違いについて検討を行った。この工程のデザイン・フロー・シート<sup>(8)</sup>をFig. 4.10に示す。

(PNCT 841-77-60より)

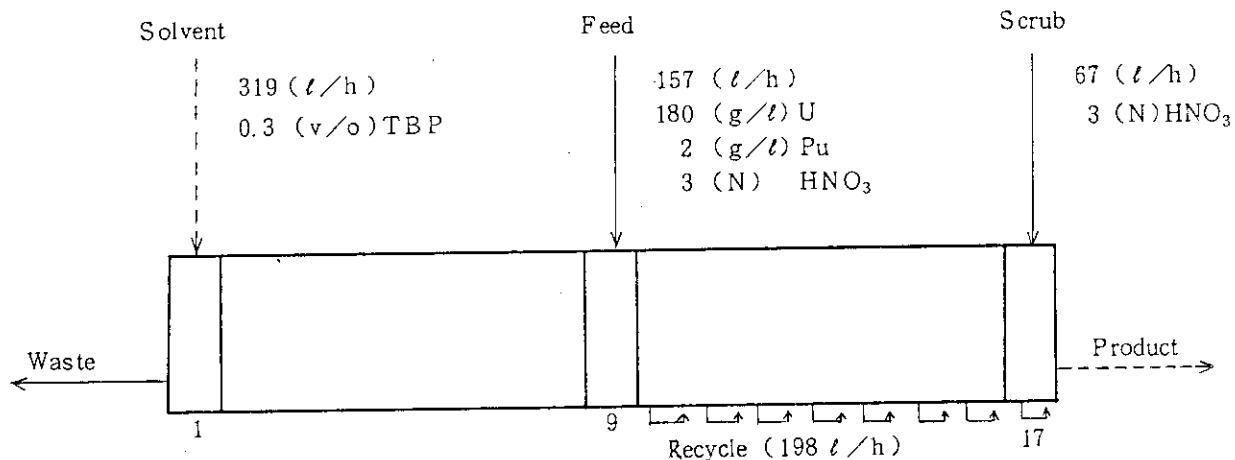


Fig. 4.10 Design Flow Sheet of EXTRACTION-I

## (1) 定常解析

定常とは, 単位時間内に供給されるU, PuとWasteおよびProductから出力されるU, Pu量がバランスしている場合と定義した。すなわち

$$\frac{F \cdot C_f - (P \cdot C_p + W \cdot C_w)}{F \cdot C_f} \leq EPS$$

とし, ここで, F, P, WおよびC<sub>f</sub>, C<sub>p</sub>, C<sub>w</sub>, EPSは

F, P, W : Feed, Product, Waste の流量

C<sub>f</sub>, C<sub>p</sub>, C<sub>w</sub> : Feed, Product, Waste のUまたはPuの濃度

EPS : 判定条件 (0.005)

である。なお, 計算に用いたPUBGおよびSEPHIS-Jコードのタイム・ステップ ( $\Delta t$ ) は1分としSEPHIS Mod 3コードのタイム・ステップは, 約10分であった。Table 4.3に定常での在庫量および濃度を示す。また, Fig. 4.11に, 溶媒抽出器内のプルトニウム濃度分布をFig. 4.12にウラン濃度分布を示す。プルトニウム, ウラン在庫量は, PUBG, SEPHIS-J, SEPHIS Mod 3の順に多くなっているが, PUBGを基準にして, プルトニウムで, 4 g (0.1%増), 8 g (0.8%増)と1%以下である。また, ウランでは, 同様に, 50 g (0.08%増), 156 g (0.2%増)と, プルトニウムの場合より, 差は小さい。これらの事から, 定常における在庫量推定の計算コードによる相違は, 小さく, N.R.T.MAでの在庫量推定に, 影響

を与える程の差はないことがわかった。更に、抽出器内の濃度分布を見てみると、濃度分布にも、在庫量と同様な傾向が表われている。在庫量の相違は、Scrub領域(stage 9～17)の水相の濃度分布の違いによると考えられる。stage 11での差が最も大きく、PUBGを基準とした場合、プルトニウム濃度で、SEPHIS-Jが、1.2%程高く、SEPHIS Mod 3で3.6%程高い。また、ウラン濃度では、同様に、それぞれ、1%，2.2%高くなっている。在庫量に比べて濃度の差は大きいが、それでも4%以下であり、いずれのコードを用いても、N.R.T. MAにおける検定に影響する程の相違はないと考えられる。

## (2) 非定常解析

二つの非定常状態を想定した。一つは、実際のプラントの運転でよく起こりうるような条件(条件A)であり、もう一つは、故障などの何らかの理由により、短時間、供給が停止した場合(条件B)である。以下に、その想定した運転条件を示す。

- 1) (条件A) start-up から shut-down まで
  - (a) 抽出器内に硝酸溶液を満たす。
  - (b) feed stream からウラナス ( $180 \text{ g}/\ell$ ) を流し、定常になるまで運転する。
  - (c) feed stream からデザイン・フロー・シートに基づいた溶液 (U :  $180 \text{ g}/\ell$ , Pu :  $2 \text{ g}/\ell$ ) を流し、定常になるまで運転を行う。
  - (d) feed stream 溶液の Pu濃度を  $1.8 \text{ g}/\ell$  に減少させ、定常になるまで運転を行う。
  - (e) 更に、feed stream の Pu濃度を  $1.5 \text{ g}/\ell$  に減少し、定常になるまで運転を行う。
  - (f) ウラナス ( $180 \text{ g}/\ell$ ) を流し、Puの排出を行う。
  - (g) 硝酸溶液を流し、ウランの排出を行う。

### 2) (条件B) solvent stream の一時供給停止

- (a)～(c)は、(1)と同じ。
- (d) 10分間 solvent stream を停止する。
- (e) 再び、(c)の条件で定常になるまで運転を行う。

### 1)の場合 (start-up から shut-down まで) の解析

Fig. 4.13 に、抽出器内のプルトニウム在庫量の時間変化と PUBGからの偏差を示す。また、Product およびWaste streamにおけるプルトニウム濃度の時間変化を Fig. 4.14 に示す。この比較から、以下の事が結論として言える。

- (i) プルトニウム在庫量の推定値に関しては、PUBGとSEPHIS-Jコードの間に差がない。また、PUBGとSEPHIS Mod 3コードの差の最も大きい所でも、約40gであり、在庫量の5%以内である。
- (ii) Product streamにおけるプルトニウム濃度についても、PUBGとSEPHIS-Jコードとの差は小さく、 $0.022 \text{ g}/\ell$  程である。しかし、SEPHIS Mod 3コードでは、Resident time (約1.5時間)の時間遅れが影響し、時間の進む方向へこの時間だけスライドした形となっている。
- (iii) Waste のプルトニウム濃度は、立上りの際、少し濃度が上昇し、その後、減少し一定の濃度に達する。この傾向は、三つのコードに共通している。しかも、その濃度は、SEPHIS Mod 3, SEPHIS-Jそして、PUBGの順に低い値を示し、その傾向は、時間に関係

ない。SEPHIS-J コードは、PUBG より約10%程高い濃度を示し、SEPHIS Mod 3 コードは、15%程高い値を示している。しかし、ここでの濃度は、 $10^{-12}$  のオーダであり、現実的な値ではなく、単に、これらのコードから数学的に得られた結果にすぎない。

以上、これらを総合的に判断すると、通常の再処理工場で起きる非定常状態の場合、PUBG と SEPHIS-J コードでは、在庫量および濃度に差が生じない。また、SEPHIS Mod 3 コードでも、5%以内の誤差しか生じなく、N.R.T.MA の在庫量推定には、十分使用可能であると考えられる。

## 2) の場合の解析

Solvent stream を10分間停止した場合は、SEPHIS Mod 3 コードでは計算出来ない。その理由は、このコードのタイム・ステップは(stage 溶量／全流量)により自動的に決まるものであるが、Solvent stream を停止すると全流量が変化するため、停止の前後でタイム・ステップが変わってしまうことになる。例題の場合、停止前のタイム・ステップは前述の如くほぼ10分であったが、Solvent stream を停止すると、その後のタイム・ステップは30分を越す大きさとなってしまい、この間に発生する過渡現象を追跡することができなくなる。したがって、この解析は PUBG と SEPHIS-J コードで行った。

Fig. 4.15 にプルトニウム在庫量の時間変化を示す。二つのコードは、同じふるまいをする。すなわち、Solvent stream を停止した直後、在庫量は、約20%減少し、そこから、10分間、在庫量は、急激に増加し、Solvent を流し始めると、ゆるやかに振動しながら定常に達する。この停止直後に急に、20%も減少する現象は、これらのコードのモデル上の問題であり、現実の工程内現象とは、異なると思われる。その理由は以下のとおりである。これらのコードではステージ内の溶液の流れをプラグ・フローと仮定している。このため、Solvent stream を止めると、ステージ内の溶媒の流れが止まり、溶媒の液が瞬時に減少することになる。したがって、水相の濃度と水相の液量の積で表される在庫量は、水相の濃度が有機相の濃度より低いため、この抽出器では、1 タイム・ステップで急に在庫量が減少する事になる。これが前述の20%減少の理由であり、計算モデルに起因する非物理的現象と考えられるゆえんである。

Fig. 4.16 に Product および Waste におけるプルトニウム濃度の時間変化を示す。また、Fig. 4.17 に、PUBG で計算した結果について、非定常が始まる直前と10, 20, 30分後の水相、有機相のプルトニウム濃度分布を示す。また、Fig. 4.18 に、40分、1, 2 時間後の濃度分布を示す。同様に SEPHIS-J コードの結果を、Fig. 4.19 および Fig. 4.20 に示す。

これらの結果を要約すると、以下のようになる。

- 1) 在庫量は、Solvent feed を再スタートした後、3.5 時間後に最大となり、ゆるやかな振動をしながら定常に戻る。この振幅の最大は、SEPHIS-J コードで、定常値から10%増で PUBG では 6% 増であり、コードにより差が生じている。
- 2) Product 濃度への影響は小さい。2.5 時間後に、最小となり、定常値へ、ゆるやかに増加してゆく、この最小値は、SEPHIS-J コードで、定常値から10%減であり、PUBG では、5% 減である。
- 3) Waste 濃度への影響は大きく、特に PUBG では、再スタート後には、 $4.1 \times 10^{-12} \text{ g}/\ell$

から  $3.7 \times 10^{-8} \text{ g}/\ell$  と 4 枝も上昇している。同様に、SEPHIS-J コードでも、 $4.1 \times 10^{-12} \text{ g}/\ell$  から  $3.4 \times 10^{-10}$  と 2 枝上昇しているが、PUBG 程、変化は大きくない。

4) 溶媒抽出器内のプルトニウム濃度は、Feed stage とその近くの stage において大きな影響を受けている。この部分で、水相の濃度は、増加し、有機相の濃度は、減少する。そして、時間とともに、stage 番号の増す方向へ、移動して行く。PUBG も SEPHIS-J コードも同じふるまいをするが、濃度の変動は SEPHIS-J の方が大きい。この事が、在庫量の時間的変化となって顕われている。一番変化の大きい、Feed stage において、SEPHIS-J コードの示す濃度は、水相で 20%，有機相で 4% 程 PUBG に比べて高くなっている。しかし、一見して大きく見えるこれらの差も、溶液の体積を考えるとプルトニウム在庫量の差としては小さなものとなり、絶対値では 15 g Pu (1.5%) 程度に過ぎない。この事から、SEPHIS-J コードと PUBG の過渡時における在庫量推定能力の差は小さいといえる。

5) PUBG と SEPHIS-J コードでは、各 stage の濃度分布を細かく調べると若干の差は出てくるが、全体的に見ると同じ傾向を示す。在庫量の差は、最大で、40 g Pu で、全在庫量の 4% にすぎない。

以上の事から条件(2)のような過渡条件下でも SEPHIS-J コードと PUBG コードの在庫量推定の差は最大で 4% であり、この差は小さいと思われる。ただし、waste 濃度差については、2 枝も違う (PUBG :  $10^{-8} \text{ g}/\ell$ , SEPHIS-J :  $10^{-10} \text{ g}/\ell$ ) 結果が示されているが、その理由は微分方程式の取り扱い方の違いによると想像されるものの、あまりにも差が大きいため更に詳細な検討が必要であると考えている。

定常および非定常解析の結果から、PUBG と SEPHIS-J コードでは、在庫量推定で、N. R. T. MA の結果に影響する程の差を生じる事はなく、その差は、5% 以内であることがわかった。また、SEPHIS Mod 3 コードでも、事故などによる供給溶液の停止というような異常状態を除けば、通常運転でしばしば発生する程度の非定常状態に対しては十分使用できると考えられる。その理由は、その程度の非定常な状態が起きてても、溶媒抽出器内の在庫量は、急激に変化するものではなく、比較的ゆるやかに変化するのに対して、計算のタイム・ステップは充分小さく、従って、大きな計算誤差は生じないと考えられるからである。SEPHIS Mod 3 コードと PUBG コードとの差は、大きくて 10% 程であると思われる。

今後のために、今回の解析における各コードの計算時間 (FACOM M 380) と記憶容量を以下に示す。

	記憶容量	計算時間 (sec)		
		定常	非定常(A)	非定常(B)
PUBG	252 kbyte	32	83	72
SEPHIS-J	188 kbyte	6	24	19
SEPHIS MOD3	184 kbyte	1.2	3.6	2

次に溶媒抽出器内の在庫量が、入力データの変化でどのような変動をするかを検討するためのサーベイ計算を行った。サーベイ計算は、スタンダード・フローシートを基本にして、核物質在庫量に影響を与える入力の变数を、それぞれ独立に変えた場合についてであり、その組合せについての計算は、今回は行わなかった。

対象に選んだのは、動燃再処理工場の共除染工程の EXTRACTION-I である。これは非定常解析で用いた工程と同じである。変化の範囲は、全ての入力データについて、±30%まで、10%の間隔で変化させ定常に達するまでの計算を行った。定常に達しない場合は、Waste stream の濃度が測定限界 ( $Pu > 5.0 \times 10^{-5}$ ,  $U > 0.01 \text{ g}/\ell$ ) に達した時の計算値を在庫量とした。Table 4.4 に入力パラメータと、その変動範囲を示す。Table 4.5 に、計算結果として、Pu 在庫量 Product stream および、Waste stream の Pu 濃度を示す。Fig. 4.21 に、スタンダード・フロー・シートに基づく在庫量計算結果で、それぞれの在庫量を割った値を表示する。Mass transfer 平衡からのずれによる在庫量の偏差と Waste 濃度には、log スケールで線形の関係があると言われているが、これを調べるため、waste の Pu 濃度と在庫量をプロットしたものが、Fig. 4.22 である。線により表わされているのは、Mass transfer 平衡からのずれを、Mass Transfer Efficiency で表わした場合の Waste 濃度と在庫量の関係である。この関係について、簡単な式で表わす事は、可能であると思われる。しかし、これは、多くても 50% 増の寄与であり、他の運転パラメータの変動による場合には、標準の在庫量の 3.5 倍にもなる事がわかる。

また、 $10^{-11}$  ( $\text{g}/\ell$ ) の近辺にある。3つの“△”印は、Scrub の硝酸濃度を、小さい順に -10%, -20%, -30% と下げた場合の在庫量であるが、30% 減少させると、約 1.33 倍増加する事になる。しかし、ここで Waste の Pu 濃度には大きな変化はなく、測定限界をはるかに下まわっている。これは、水相中の Pu の抽出において Scrub の硝酸濃度が下がった事により、その量が減少し、Scrub 部分の水相中の Pu 濃度を高め、その結果、在庫量が増す事になったものである。しかし、1-stage から Feed stage までの Extraction 部分で抽出が充分行われ、Waste stream の Pu 濃度への影響は、小さかったと言える。

この運転パラメータを独立に変化させた時、在庫量に大きな影響を与えるパラメータは、

- (1) Feed stream の Flow rate, U 濃度
- (2) solvent stream の Flow rate, TBP 濃度
- (3) Scrub stream の硝酸濃度, Mass Transfer Efficiency

である。

ここで、注意しなければならない事は、供給される核物質の量と TBP 量のバランスが 10% くずれても、Waste の濃度は、測定限界を越え、プルトニウムの在庫量は、2 ~ 3 倍にもなると言うことでもある。また、scrub stream の硝酸濃度の減少は、Waste の Pu の濃度の変化なしに、プルトニウム在庫量を増加させる。Mass transfer 平衡からのずれにおいては、Mass Transfer Efficiency が 0.8 以下になると溶媒抽出器の入出力がバランスするまでに、Waste stream に、測定限界を越える濃度のプルトニウムが含まれ、そのような状態を把握する事が可能であると考えられる。

Table 4.3 Comparision of the three codes to predict the inventory in EXTRACTION-I at steady state conditions

		PUBG	SEPHIS-J	SEPHIS MOD3
Time for reaching at the steady state (hour)		8.17	8.17	8.44
Total Inventory (kg)	Pu	0.944	0.943	0.952
	U	63.172	63.222	63.328
Product Stream Concentration (g/l)	Pu	0.942	0.943	0.942
	U	84.99	85.10	85.10
Waste Stream Concentration (g/l)	Pu	$4.180 \times 10^{-12}$	$4.593 \times 10^{-12}$	$4.744 \times 10^{-12}$
	U	$1.093 \times 10^{-12}$	$1.146 \times 10^{-12}$	$1.166 \times 10^{-12}$

Table 4.4 Range of input parameters used for the parametric study of SEPHIS-J to evaluate its capability of predicting dynamic behaviour

Variable		Standard	Range
Feed stream	Flow (l/h)	157.0	109.9 ~ 204.1
	U (g/l)	180.0	126.0 ~ 234.0
	Pu (g/l)	2.0	1.4 ~ 2.6
	HNO <sub>3</sub> (M)	3.0	2.1 ~ 3.9
	Temperature (°C)	30.0	21.0 ~ 39.0
Solvent Stream	Flow (l/h)	319.0	223.0 ~ 414.7
	TBP (%)	30.0	21.0 ~ 39.0
	Temperature (°C)	30.0	21.0 ~ 39.0
Scrub Stream	Flow (l/h)	66.0	46.2 ~ 85.8
	HNO <sub>3</sub> (M)	3.0	2.1 ~ 3.9
	Temperature (°C)	30.0	21.0 ~ 39.0
Others	Recycle flow(A/0)	198.0 (0.83)	0.58 ~ 1.08
	Ef	1.0	1.0 ~ 0.4

Table 4.5 In-Process Inventory and output stream concentration obtained by the parametric study of SEPHIS-J

		Operating Parameter	Pu Inventory		Pu Concentration (g/l)	
			Weight(kg)	Ratio	Product	Waste
Feed stream	Flow Rate (l/h)	204.1	2.496*	2.627	0.635	$5.04 \times 10^{-5}$
		188.4	2.900*	3.053	0.688	$5.59 \times 10^{-5}$
		172.7	2.812**	2.960	0.884	$5.84 \times 10^{-7}$
		157.0	0.950	1.00	0.945	$4.70 \times 10^{-12}$
		141.3	0.713	0.751	0.851	$1.57 \times 10^{-12}$
		125.6	0.572	0.602	0.758	$1.01 \times 10^{-12}$
		109.9	0.468	0.493	0.667	$1.00 \times 10^{-12}$
	U (g/l)	234.0	2.180*	2.295	0.503	$5.50 \times 10^{-5}$
		216.0	2.614*	2.752	0.581	$5.06 \times 10^{-5}$
		198.0	2.421**	2.548	0.824	$1.15 \times 10^{-7}$
		180.0	0.950	1.00	0.945	$4.70 \times 10^{-12}$
		162.0	0.795	0.837	0.949	$3.50 \times 10^{-12}$
		144.0	0.718	0.756	0.951	$3.69 \times 10^{-12}$
		126.0	0.672	0.707	0.950	$4.85 \times 10^{-12}$
	Pu (g/l)	2.6	1.244	1.309	1.229	$6.18 \times 10^{-12}$
		2.4	1.145	1.205	1.134	$5.70 \times 10^{-12}$
		2.2	1.096	1.153	1.087	$5.44 \times 10^{-12}$
		2.0	0.950	1.0	0.945	$4.70 \times 10^{-12}$
		1.8	0.853	0.898	0.851	$4.20 \times 10^{-12}$
		1.6	0.756	0.796	0.756	$3.73 \times 10^{-12}$
		1.4	0.660	0.695	0.662	$3.24 \times 10^{-12}$

\*) This value show Plutonium Inventory when Plutonium Concentration in the Waste exceed  $5 \times 10^{-5}$  g per liter.

\*\*) This value show Plutonium Inventory when the contacter could not reach the stady state condition (after about 50 hour from start-up).

Table 4.5 Continued

Variable	Operating Parameter	Pu Inventory		Pu Concentration (g/l)	
		Weight (kg)	Ratio	Product	Waste
Feed stream	$\text{HNO}_3$ (M)	3.9	0.943	0.993	$6.96 \times 10^{-13}$
		3.6	0.946	0.996	$1.18 \times 10^{-12}$
		3.3	0.948	0.998	$2.22 \times 10^{-12}$
		3.0	0.950	1.000	$4.70 \times 10^{-12}$
		2.7	0.957	1.007	$1.15 \times 10^{-11}$
		2.4	0.963	1.014	$3.34 \times 10^{-11}$
		2.1	0.972	1.023	$1.20 \times 10^{-10}$
	Temp. (°C)	39.0	0.923	0.972	$2.85 \times 10^{-12}$
		36.0	0.933	0.982	$2.41 \times 10^{-12}$
		33.0	0.944	0.994	$4.09 \times 10^{-12}$
		30.0	0.950	1.0	$4.70 \times 10^{-12}$
		27.0	0.965	1.016	$5.39 \times 10^{-12}$
		24.0	0.977	1.028	$6.19 \times 10^{-12}$
		21.0	0.940	0.989	$5.17 \times 10^{-12}$
Solvent stream	Flow Rate (l/h)	414.7	0.536	0.564	$4.90 \times 10^{-13}$
		382.8	0.611	0.643	$5.63 \times 10^{-13}$
		350.9	0.726	0.764	$1.17 \times 10^{-12}$
		319.0	0.950	1.0	$4.70 \times 10^{-12}$
		287.1	3.403*	3.582	$5.14 \times 10^{-5}$
		255.2	2.467*	2.597	$5.37 \times 10^{-5}$
		223.3	2.006*	2.111	$5.54 \times 10^{-5}$
Solvent stream	TBP (%)	39.0	0.640	0.674	$1.38 \times 10^{-13}$
		36.0	0.682	0.718	$2.63 \times 10^{-13}$
		33.0	0.760	0.800	$7.84 \times 10^{-13}$
		30.0	0.950	1.0	$4.70 \times 10^{-12}$
		27.0	3.307*	3.481	$5.36 \times 10^{-5}$
		24.0	2.227*	2.344	$5.36 \times 10^{-5}$
		21.0	1.638*	1.724	$5.49 \times 10^{-5}$

Table 4.5 Continued

Variable	Operating Parameter	Pu Inventory		Pu Concentration (g/l)	
		Weight(kg)	Ratio	Product	Waste
Temp. (°C)	39.0	0.949	0.999	0.945	$4.40 \times 10^{-12}$
	36.0	0.949	0.999	0.945	$4.51 \times 10^{-12}$
	33.0	0.950	1.0	0.946	$4.63 \times 10^{-12}$
	30.0	0.950	1.0	0.945	$4.70 \times 10^{-12}$
	27.0	0.950	1.0	0.946	$4.84 \times 10^{-12}$
	24.0	0.951	1.001	0.947	$4.97 \times 10^{-12}$
	21.0	0.951	1.001	0.947	$5.11 \times 10^{-12}$
Scrub stream	Flow Rate (l/h)	85.8	1.046	0.945	$1.31 \times 10^{-11}$
		79.2	1.008	0.945	$9.73 \times 10^{-11}$
		72.6	0.979	0.945	$6.95 \times 10^{-12}$
		66.0	0.950	0.945	$4.70 \times 10^{-12}$
		59.4	0.932	0.946	$3.12 \times 10^{-12}$
		52.8	0.912	0.947	$2.02 \times 10^{-12}$
		46.2	0.893	0.947	$1.30 \times 10^{-12}$
	$\text{HNO}_3$ (M)	3.9	0.844	0.946	$2.27 \times 10^{-12}$
		3.6	0.869	0.944	$2.93 \times 10^{-12}$
		3.3	0.905	0.944	$3.72 \times 10^{-12}$
		3.0	0.950	0.945	$4.70 \times 10^{-12}$
		2.7	1.023	0.946	$6.13 \times 10^{-12}$
		2.4	1.120	0.947	$8.03 \times 10^{-12}$
		2.1	1.262	0.947	$1.10 \times 10^{-11}$
	Temp.	39.0	0.922	0.953	$3.32 \times 10^{-12}$
		36.0	0.955	0.944	$4.59 \times 10^{-12}$
		33.0	0.952	0.946	$4.62 \times 10^{-12}$
		30.0	0.950	0.945	$4.70 \times 10^{-12}$
		27.0	0.948	0.946	$4.76 \times 10^{-12}$
		24.0	0.946	0.953	$4.67 \times 10^{-12}$
		21.0	0.924	0.953	$3.48 \times 10^{-12}$

Table 4.5 Continued

		Operating Parameter	Pu Inventory		Pu Concentration (g/l)	
			Weight(kg)	Ratio	Product	Waste
Others	E <sub>f</sub>	1.0	0.950	1.0	0.945	$4.70 \times 10^{-12}$
		0.9	1.052	1.107	0.945	$4.68 \times 10^{-7}$
		0.8	0.965*	1.016	0.734	$5.16 \times 10^{-5}$
		0.7	0.477*	0.502	0.119	$1.73 \times 10^{-4}$
		0.6	0.477*	0.502	0.118	$1.34 \times 10^{-3}$
		0.5	0.477*	0.502	0.113	$7.02 \times 10^{-3}$
		0.4	0.477*	0.502	0.104	$2.77 \times 10^{-2}$
	(Recycle Flow)	A/0	1.079	0.929	0.978	$4.42 \times 10^{-12}$
		0.996	0.937	0.986	0.946	$4.51 \times 10^{-12}$
		0.913	0.945	0.995	0.945	$4.63 \times 10^{-12}$
		0.830	0.950	1.0	0.947	$4.72 \times 10^{-12}$
		0.747	0.964	1.015	0.945	$4.90 \times 10^{-12}$
		0.664	0.975	1.026	0.945	$5.07 \times 10^{-12}$
		0.581	0.986	1.038	0.946	$5.27 \times 10^{-12}$

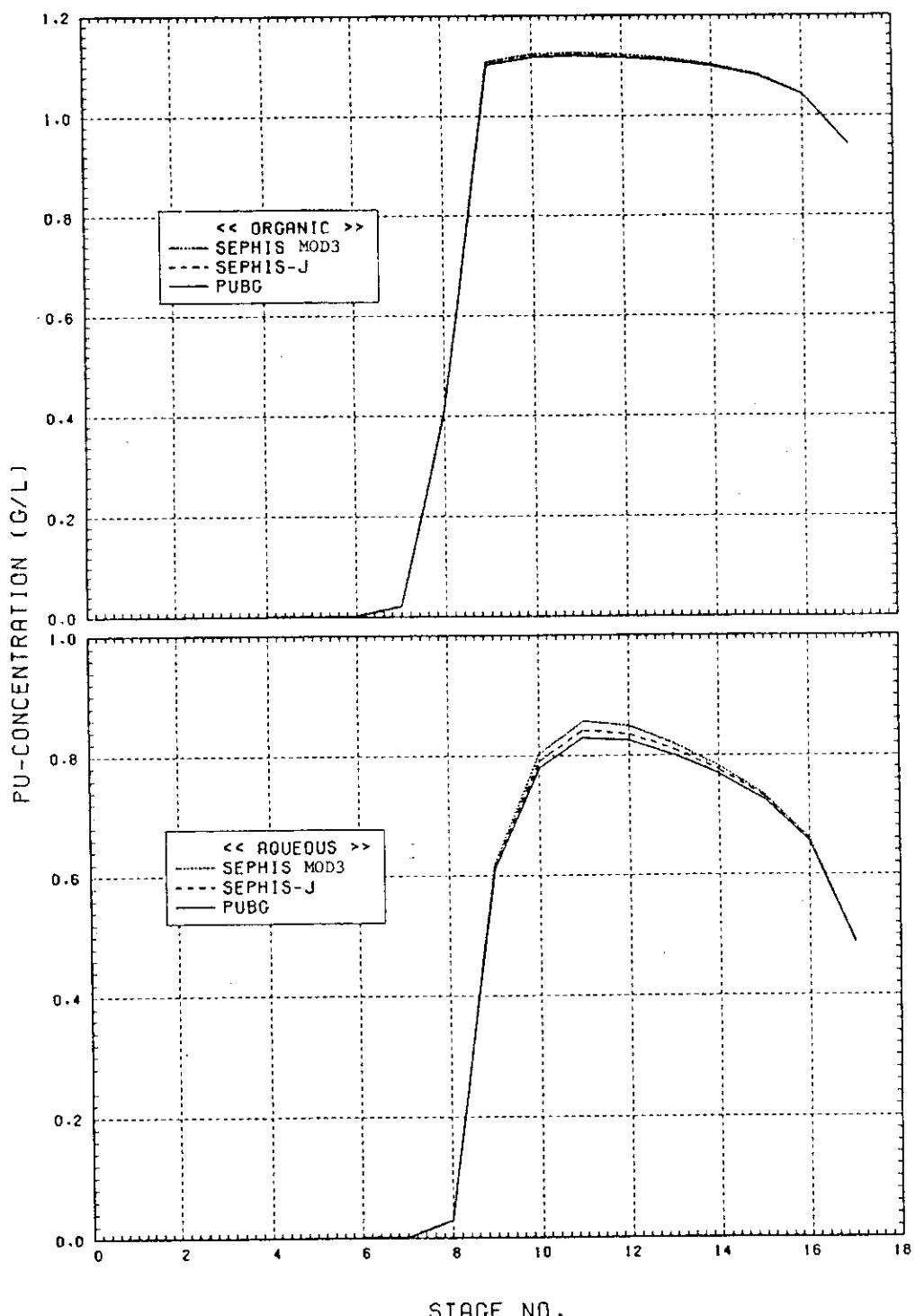


Fig. 4.11 Plutonium concentration profiles in a solvent extraction system at the steady state condition, which were calculated by PUBG, SEPHIS-J and SEPHIS MOD3

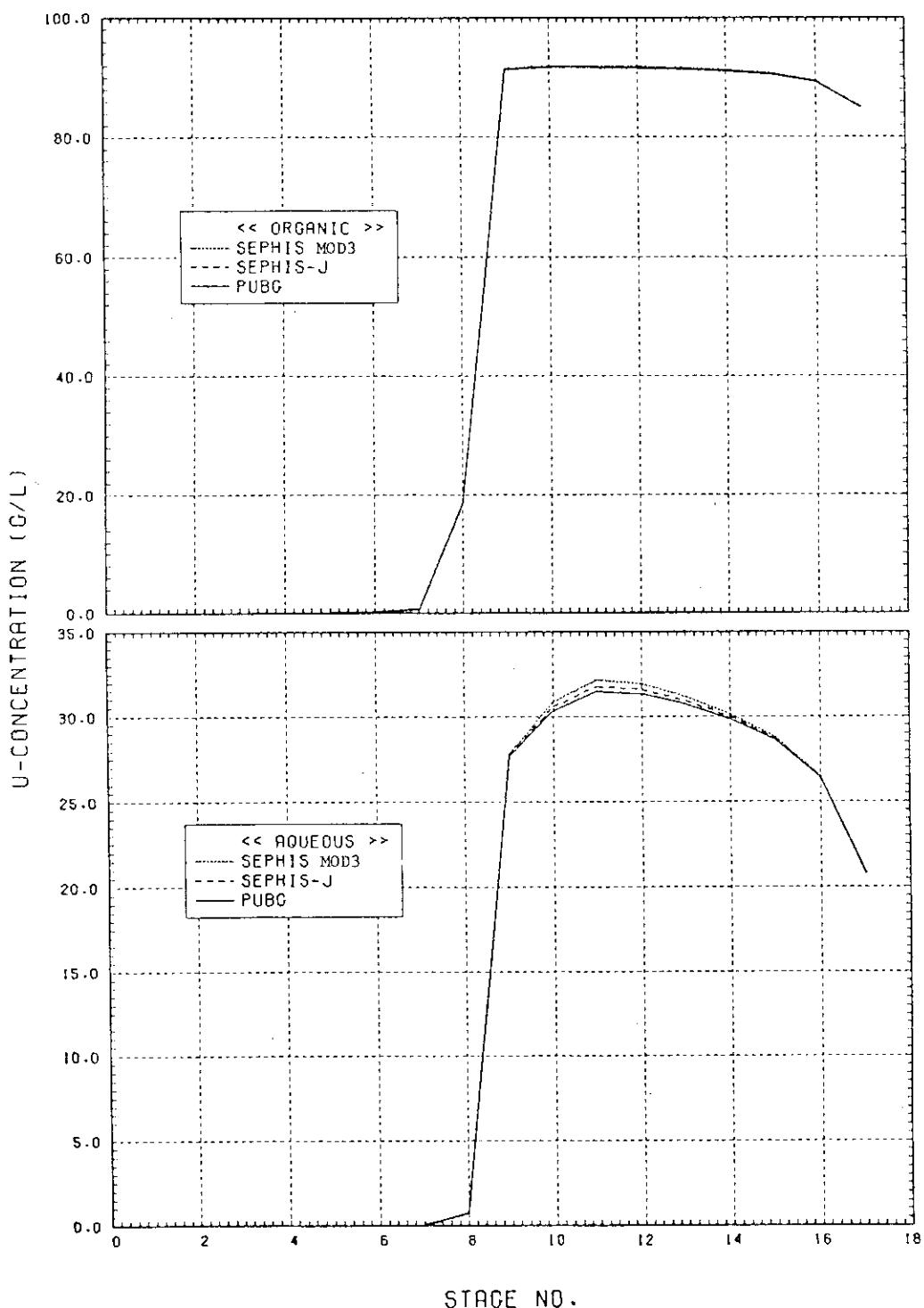
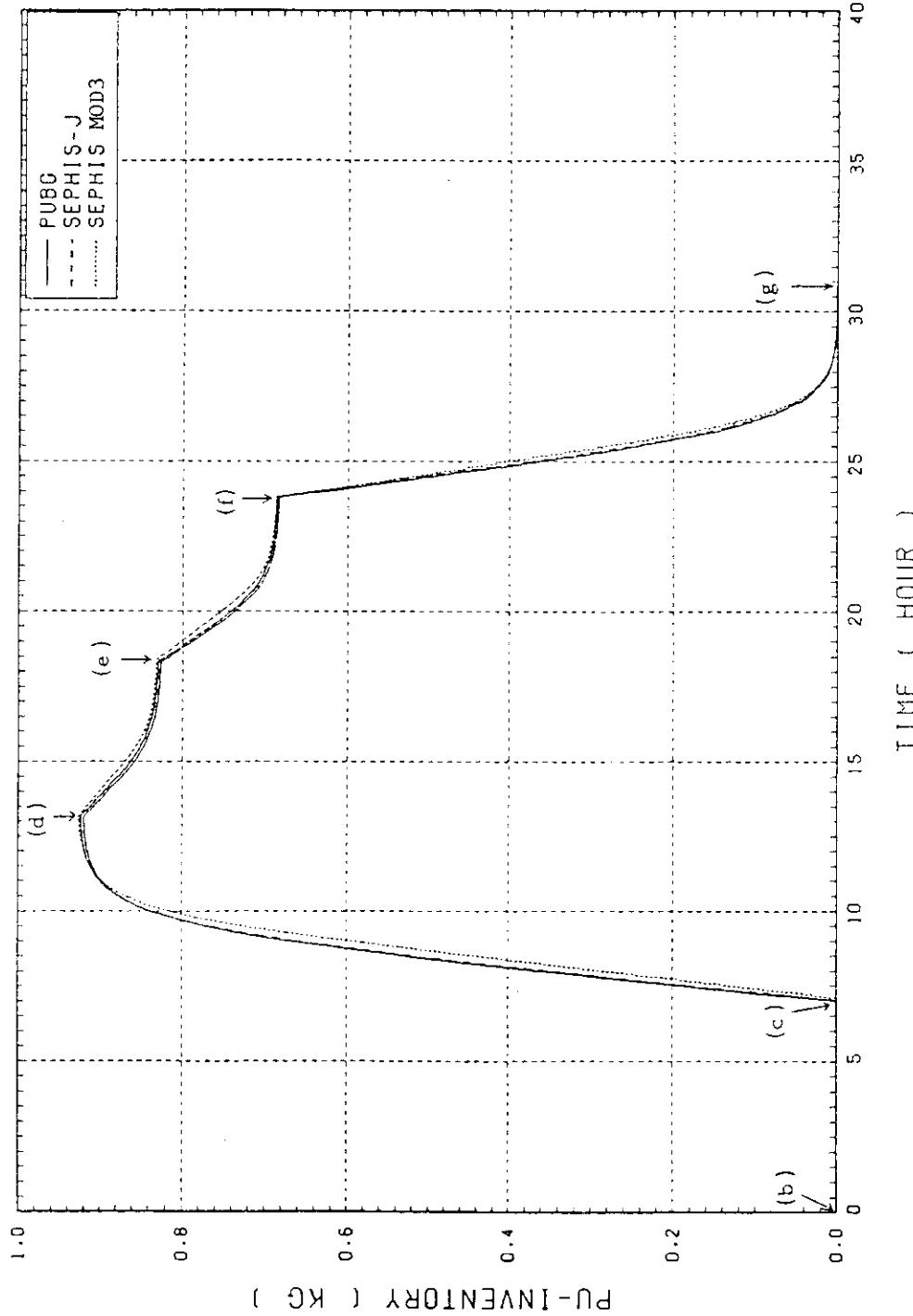


Fig. 4.12 Uranium concentration profiles in a solvent extraction system at the steady state condition, which were calculated by PUBG, SEPHIS-J and SEPHIS MOD3



- (b) : supply uranous (U: 180 g/l) in the aqueous feed stream (e) : again decrease the Pu concentration of the aqueous feed stream to 1.5 g/l  
 (c) : supply aqueous flow based on the design flow sheet (f) : supply uranous (U: 180 g/l, Pu: 2 g/l)  
 (d) : decrease the Pu concentration of the aqueous feed (g) : supply nitric acid in the aqueous feed stream  
 stream to 1.8 g/l

Fig. 4.13 Plutonium inventory in the transient condition (A).  
 (from start-up to shut-down)

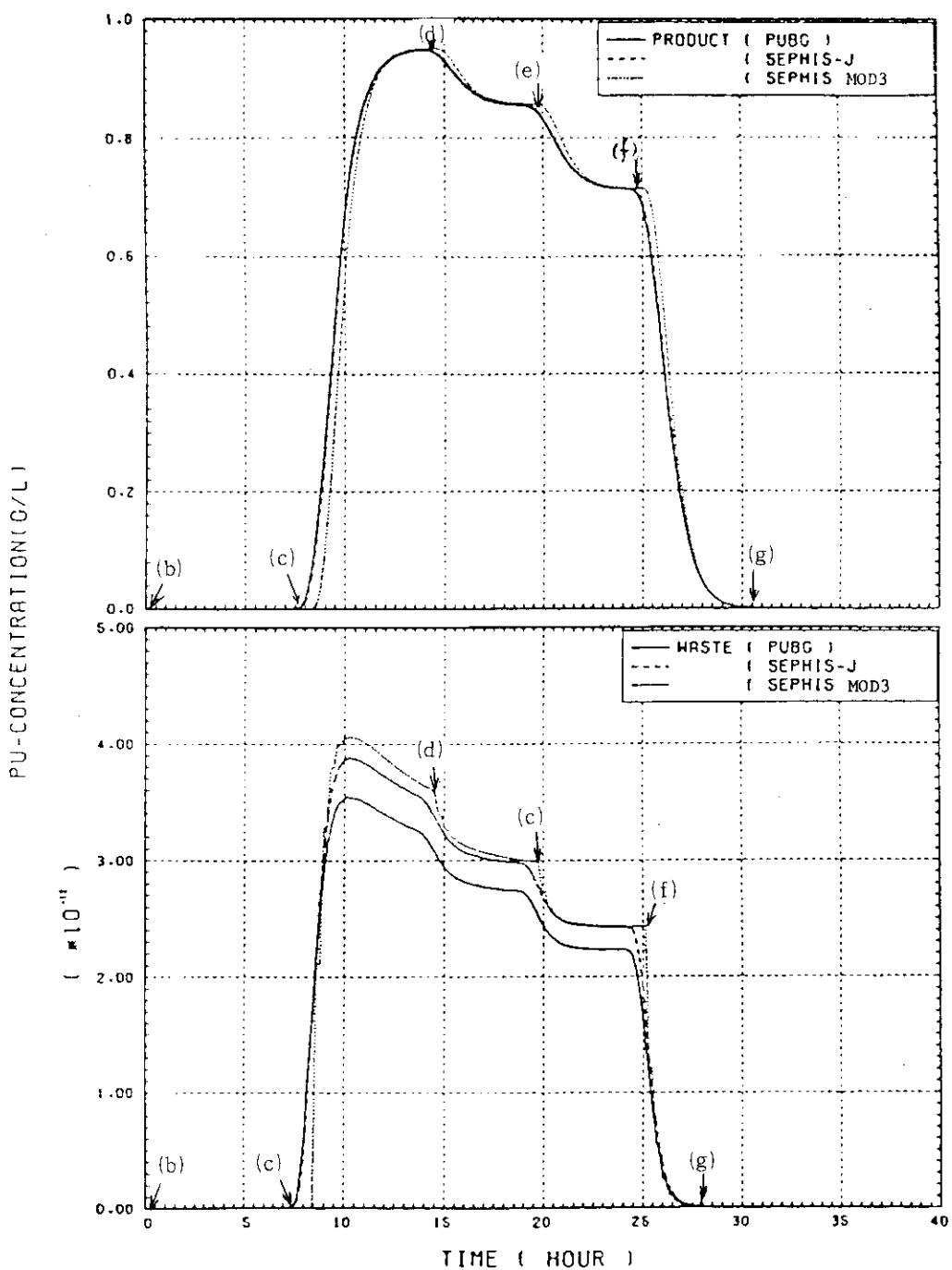


Fig. 4.14 Plutonium concentration of product and waste streams in the transient condition (A).  
 (from start-up to shut-down)

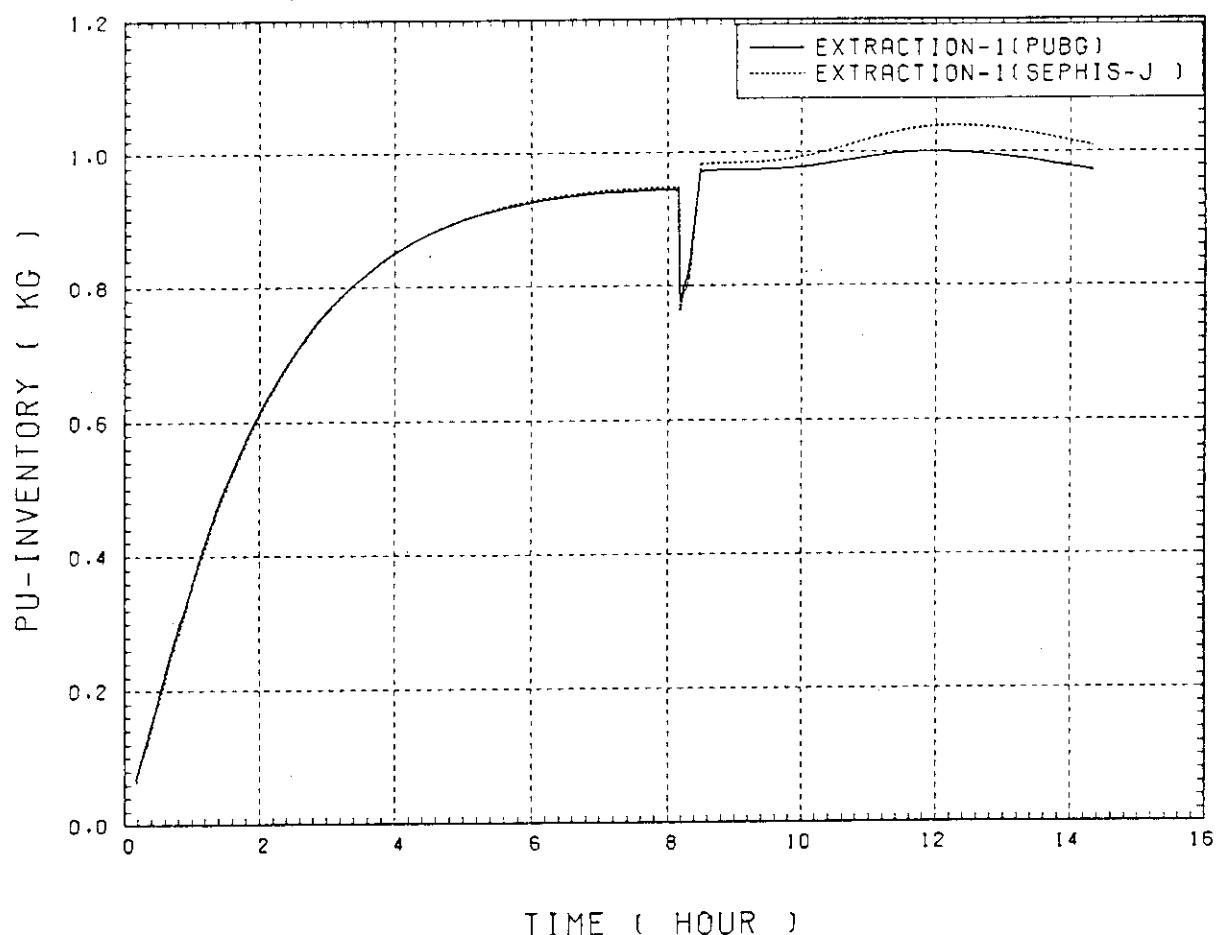


Fig. 4.15 Plutonium inventory in the transient condition (B).  
(Solvent feed off for 10 minutes)

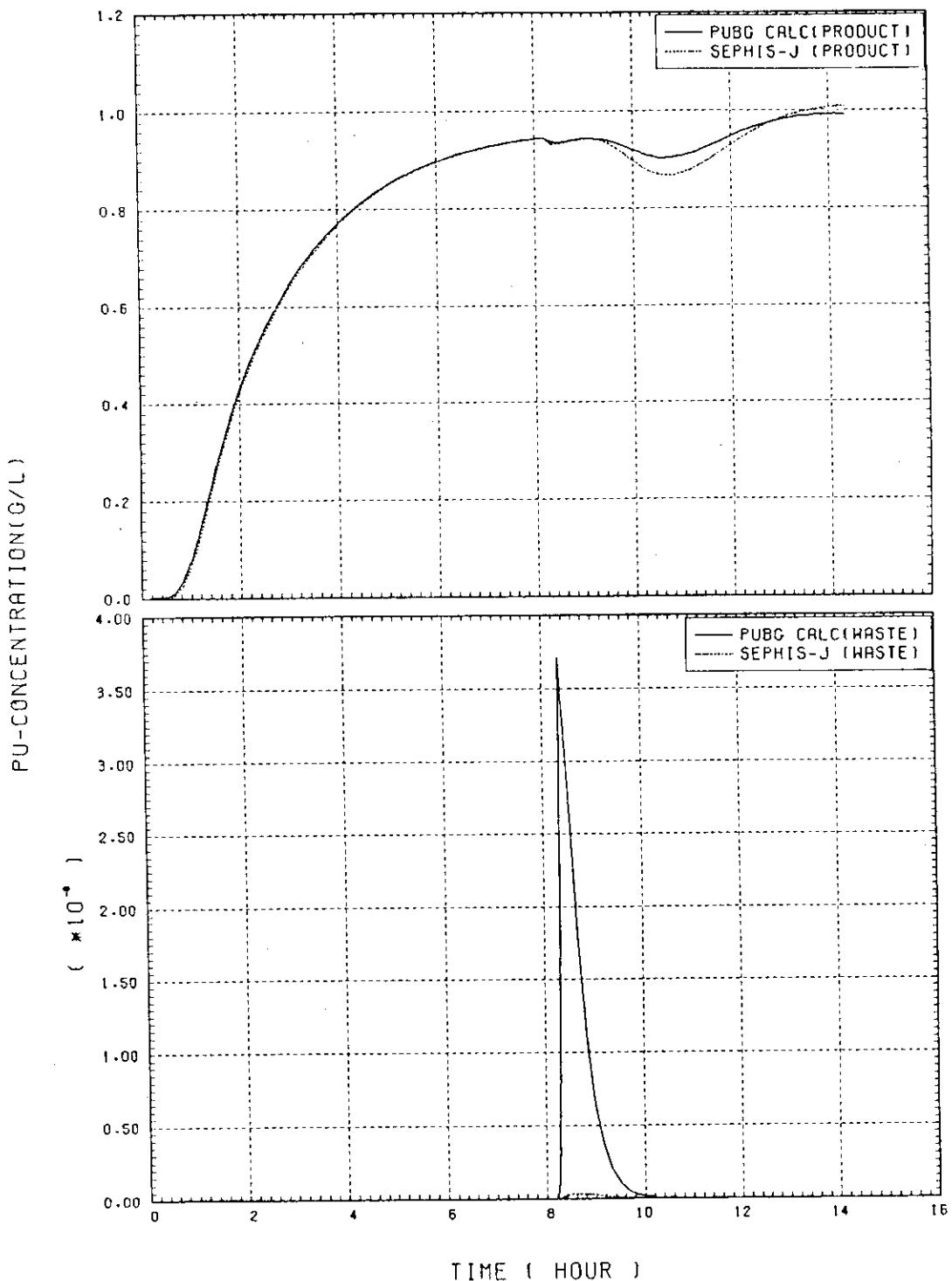


Fig. 4.16 Plutonium concentration in the transient condition (B).  
(solvent feed off for 10 minutes)

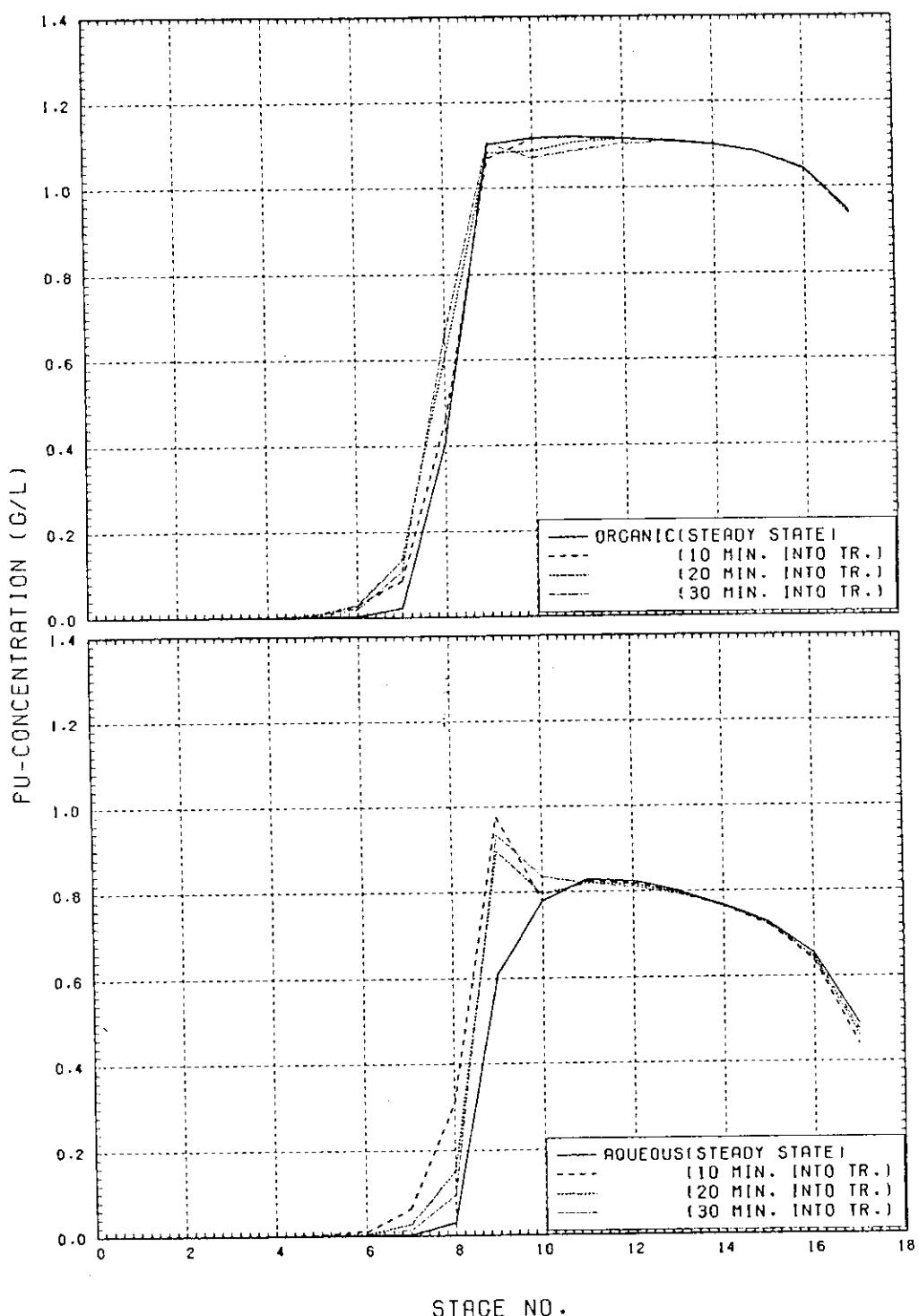


Fig. 4.17 Plutonium concentration profiles (1) following transient calculated by PUBG (Solvent feed off for 10 minutes)

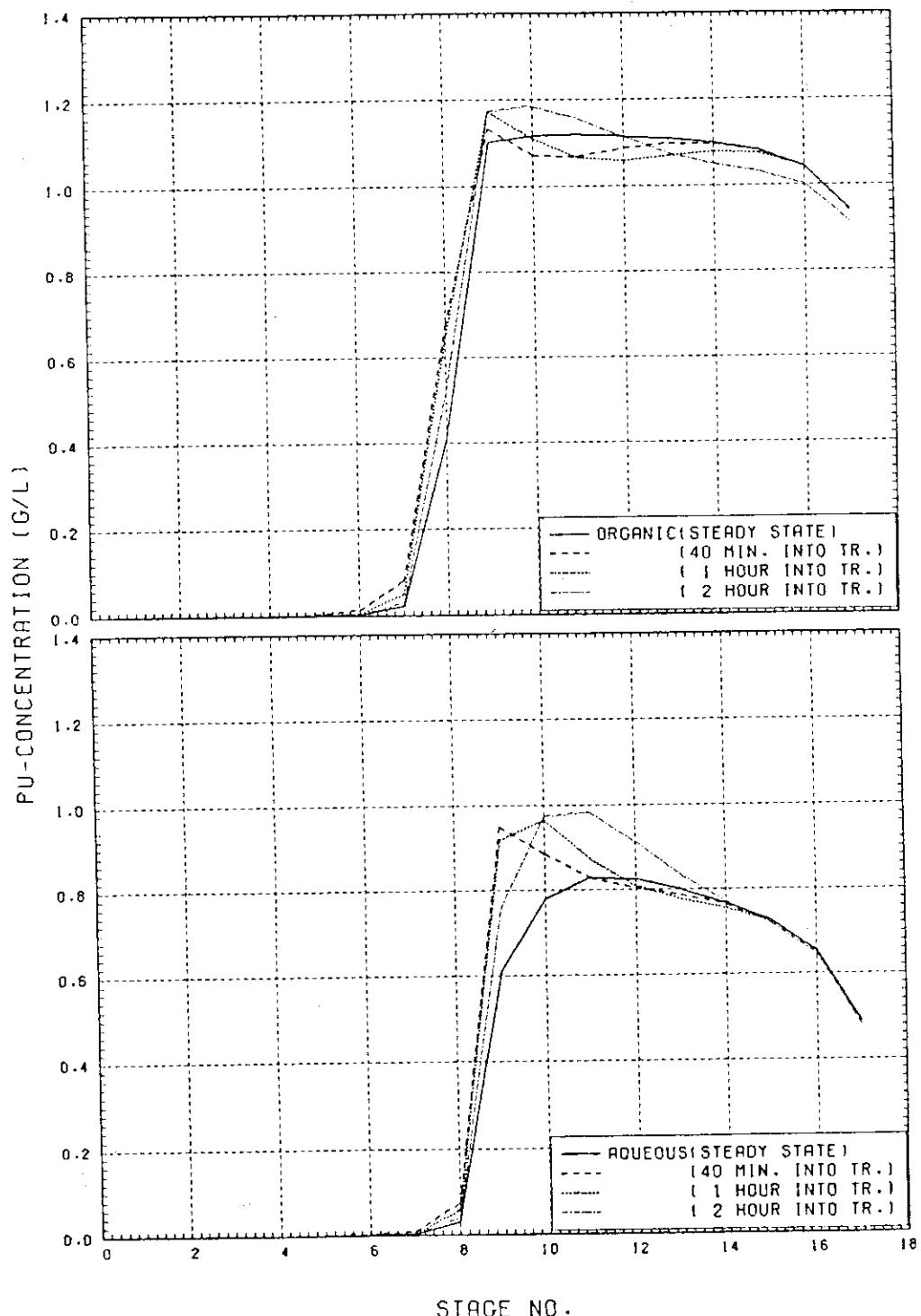


Fig. 4.18 Plutonium concentration profiles (2) following transient calculated by PUBG (Solvent feed off for 10 minutes)

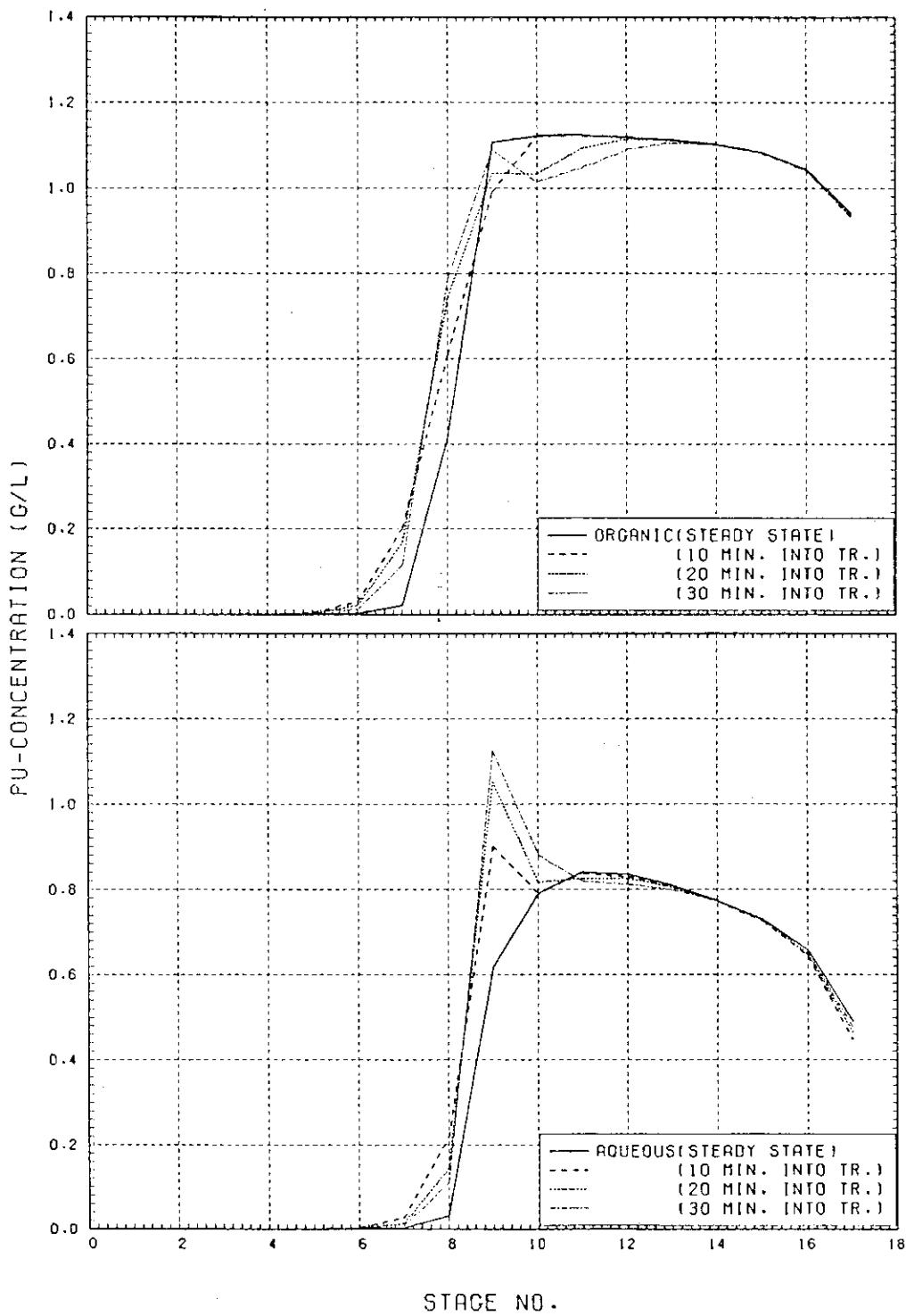


Fig. 4.19 Plutonium concentration profiles (1) following transient calculated by SEPHIS-J  
(Solvent feed off for 10 minutes)

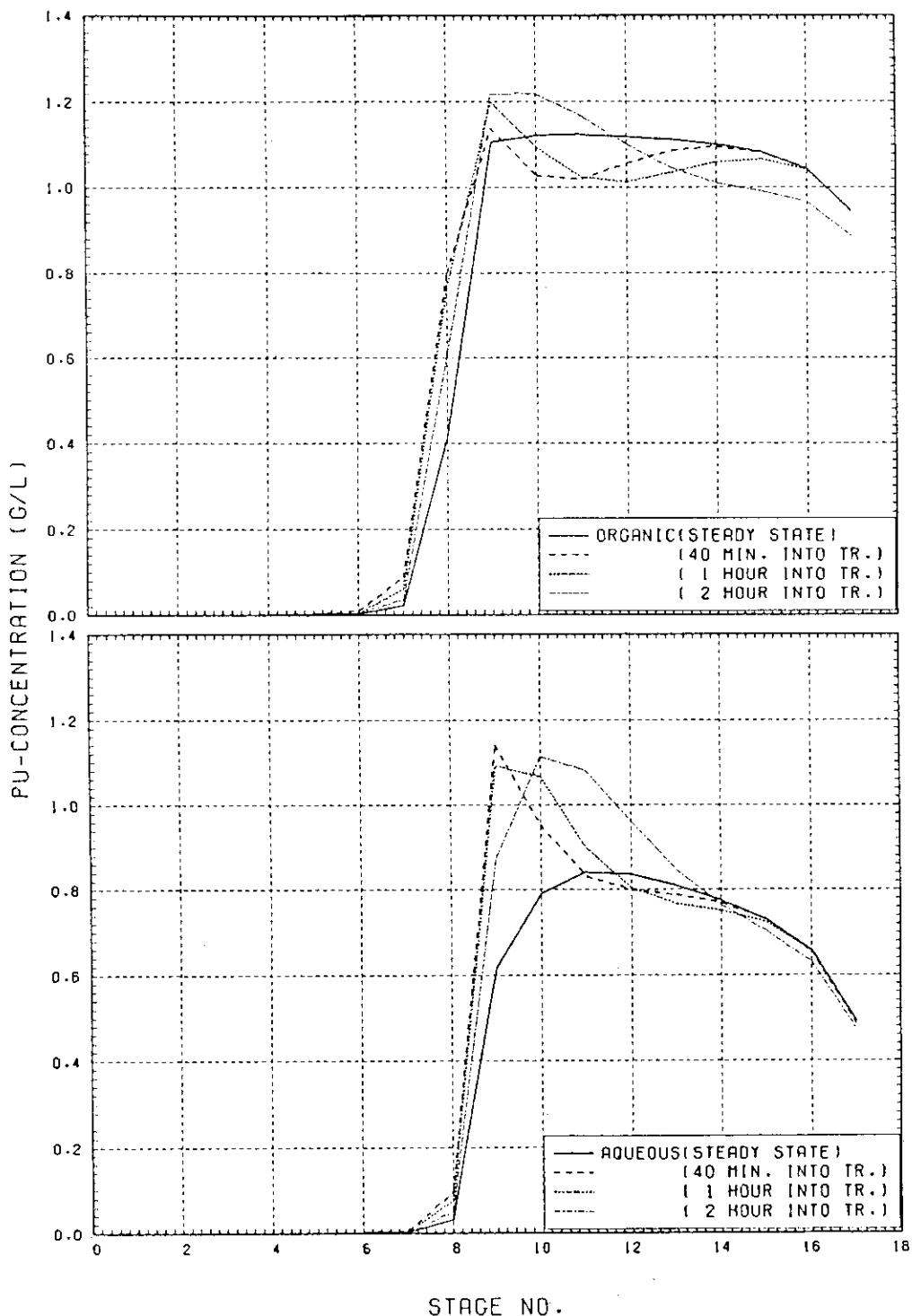


Fig. 4.20 Plutonium concentration profiles (2) following transient calculated by SEPHIS-J  
(Solvent feed off for 10 minutes)

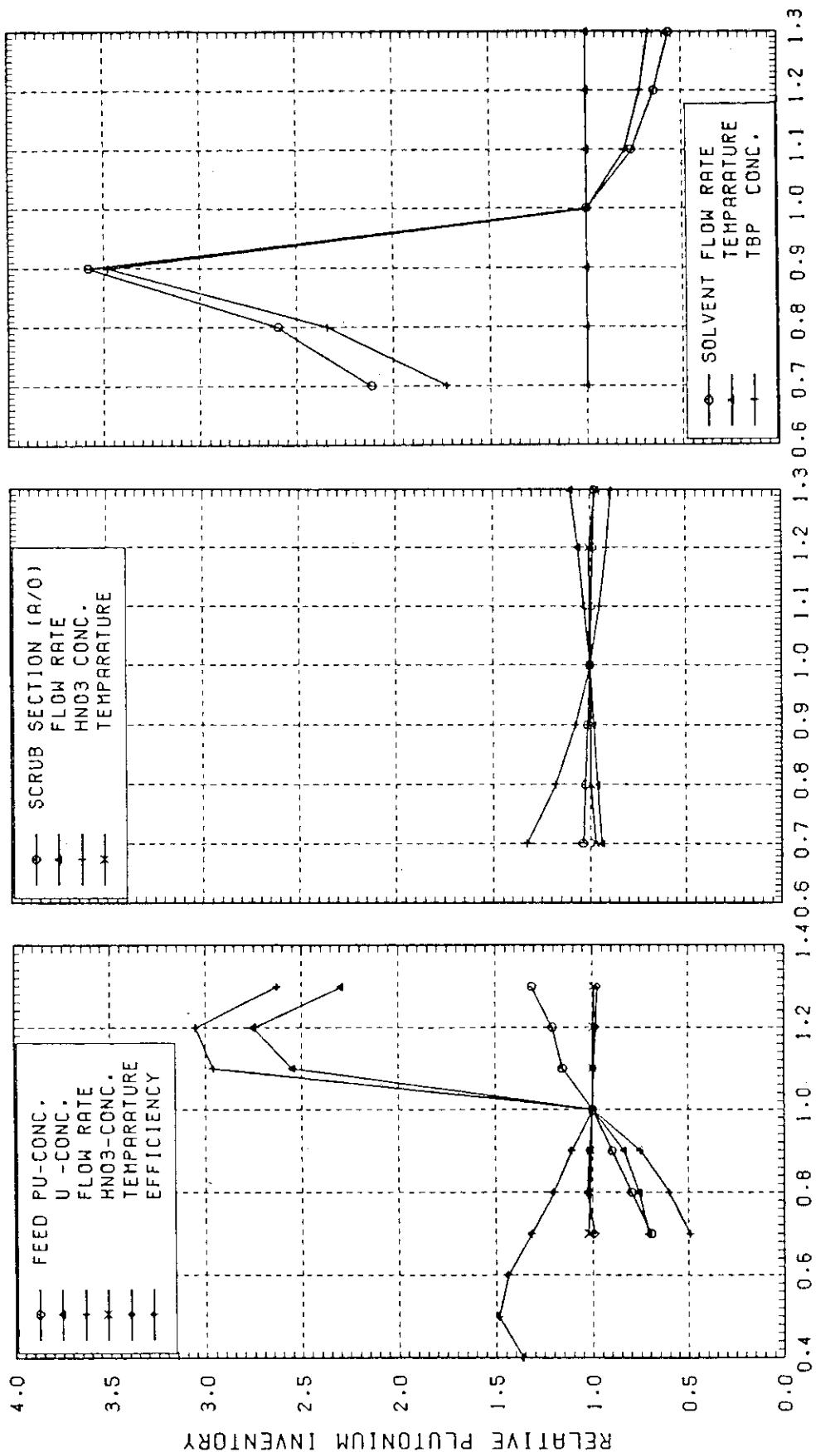


Fig. 4.21 Effect of variables upon Pu inventory of EXTRACTION-I

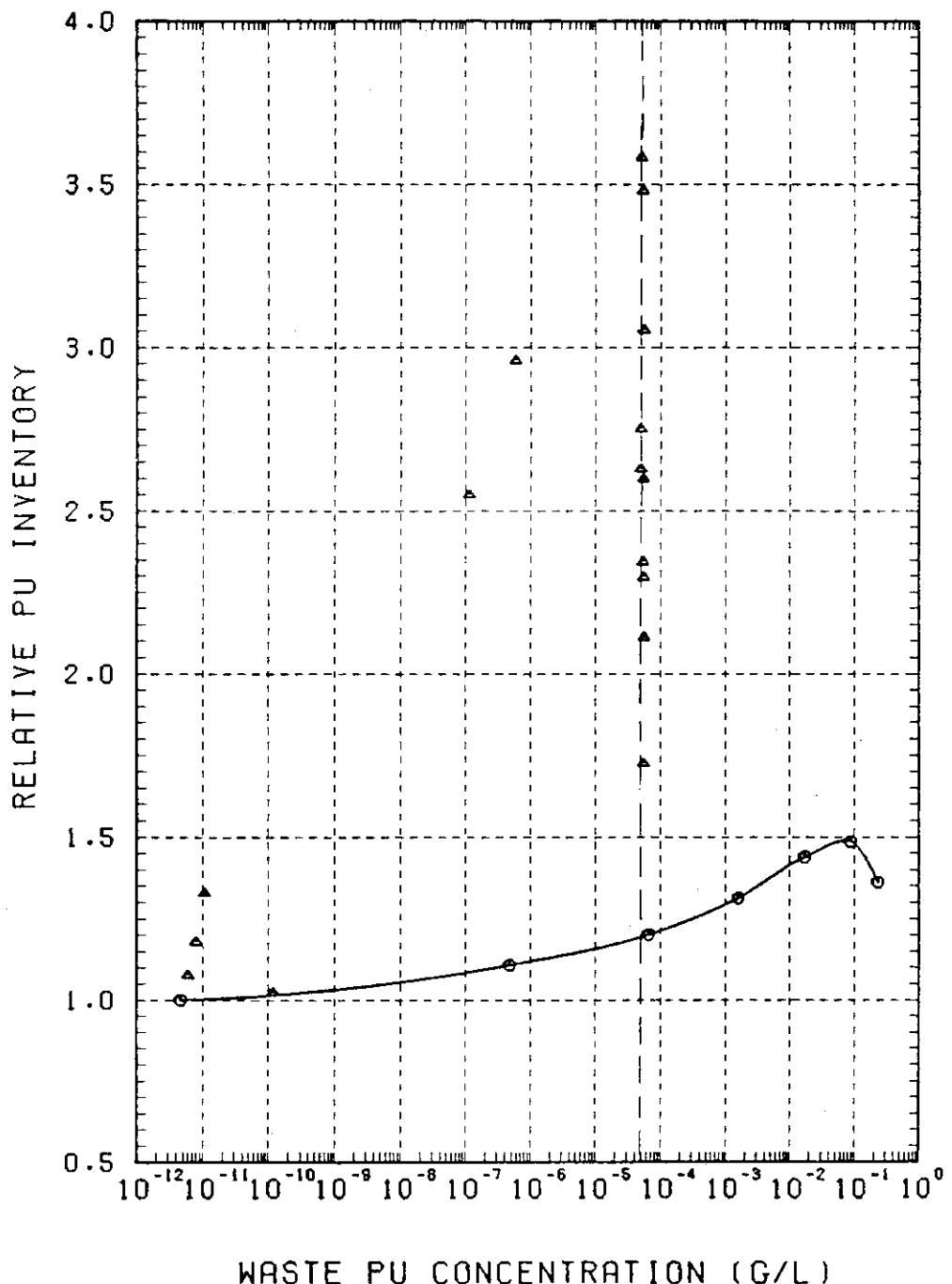


Fig. 4.22 Pu inventory and waste Pu concentration calculated by SEPHIS-J

## 5. SEPHIS-J プログラム

### 5.1 サブルーチン

SEPHIS-J プログラムのブロック・ダイヤグラムを Fig. 5.1 に示す。また、本コードを構成するサブルーチンとその機能を以下に記述する。

ルーチン名	内 容	参照ルーチン名
MAIN	SEPHIS-J プログラムのメイン・ルーチン 所要データ・エリアの計算と各変数の番地付を行う。	ERRSET, IDAT AREA, CEXT UDAT
IDAT	入力データをディスクおよびプリンターへ出力する。	
AREA	所要データ・エリアの初期設定と容量をプリント・アウトする。	SETN
SETN	データ・エリアの初期設定を行う。	
CEXT	コードの制御を行う。	IEXT, TMDP CONV, FLOW TEMP, STAG MBAL, CONB PRTI, DOUT RANW, RNORM
IEXT	各 Stage の情報を入力データとして読み込む	SETN
TMDP	連続した溶媒抽出器の計算において、前の抽出器の出力データを後の抽出器の入力データとなる様にデータ変換を行う。	
CONV	計算の基準となる単位変換を行う。 重量からモル濃度へ、又、モル濃度から Solute free 基準への単位変換を行う。	CVSV, CSVV

ルーチン名	内 容	参照ルーチン名
CVSV, CSVV	モル濃度から Solute free 濃度への変換を行う。 (尚、CSVV は Solte free からモル濃度へ変換する)	
FLOW	Stage 内の各相の流量を計算する。	
TEMP	Stage 内温度を計算する。	
STAG	Stage 内の各相の濃度分布を計算する。	RED1, RED2 RED3, RED4 UCOR
RED1	硝酸第一鉄を還元済として用いた場合の計算を行う。	
RED2	ウラナスを還元剤に用いた場合に簡単化(一次反応とみなし)したモデルにより計算を行う。	
RED3	HAN (Hydroxylamin nitrate) を還元剤に用いた場合の計算を行う。	
RED4	ウラナスを還元剤に用いた場合の反応を詳細に扱った計算を行う。(開発中)	
UCOR	分配係数を計算する。	
MBAL	抽出器の平衡状態をチェックする。	
CONB	Solute free 濃度からモル濃度への変換およびモル濃度から重量濃度への変換と各Stage, 抽出器内の在庫量の計算を行う。	SETN, CCSV CSVV
PRT1.	各 Stage 内の各成分の濃度および在庫量を出力する。	
DOUT	抽出器内の濃度分布、在庫量、流量などをディスクへ出力する。	

ルーチン名	内 容	参照ルーチン名
UDAT	連続計算を行う場合、前ケースのデータと変更データから、この計算ケースのデータを作成する。	
RANW	ランダム・ウォークを行う。	UNFRM
RNORM	正規分布乱数を発生する。	DRAND
UNFRM	一様乱数を発生する。	DRAND
DRAND	乱数を発生する。	

なお、ERRSETルーチンは、FACOM M380のエラー制御ユーティリティである。また、本コードでディスクに保存されたデータは汎用図形表示プログラム(GPLP)を用いる事により、濃度、在庫量の時間変化プロットおよび抽出器内プロフィールを図形表示する事ができる。

## 5.2 データ・ファイルの内容と形式

SEPHIS-Jで用いられているデータ・ファイルのEORMATと内容を下記に示す。

変数名	番号	内 容
	5	入力ディバイス
IO	6	出力ディバイス
IN	10	入力データ・ファイル
IU	11	入力データ更新ファイル
IX	Input	計算結果の保存データ・ファイル

### (1) 入力データ・ファイル、入力データ更新ファイル(IN, IU)

レコード	FORMAT	変 数
1	( 20 A 4 )	( IA(I), I = 1, 20 )
!		
NC *		

\* NC は入力データ枚数

INの時 : END の前カードまでの枚数(全ケース分)

IUの時 : 1ケース分の枚数( FINE の前のカードまで)

(2) 計算結果の保存データ・ファイル(IX)

レコード	変 数
1	N1, N2, N3, N4, NF
2 *	TT, ((AOU(I,J), I=1, N1), J=1, N2) , ((OOU(I,J), I=1, N1), J=1, N2) , ((HO(I,J), I=1,6), (SI0(I,J), I=1,6)), J=1,3 , ((DUM, I=1, 12), J=1, N2) , ((FA(I, J), I=1, N1), J=1, N2) , ((FO(I, J), I=1, N1), J=1, N2)
End of file Record	ETT, « Same as Record No. 2 »
1	N1, N2, N3, N4, NF
2	TT, ((AOU(I,J), I=1, N1), J=1, N2) , ((OOU(I,J), I=1, N1), J=1, N2)     
End of file Record	ETT, « Same as Record No. 2 »

\* Record No. 2 を繰り返す。また、Record No. 1— End of file Record

までを 1つのブロックとして、計算ケース数(=ファイル数)だけ繰り返す。

但し、

N1 : 12 (保存ファイルの第1番目の配列要素の数)

N2 : 抽出器のステージの数(第2番目の配列要素の数)

N3 : 5 (保存ファイルの第3番目の配列要素の数)

N4 : 1 (保存ファイルの第4番目の配列要素の数)

NF : ファイル番号

TT : 時間 (単位は任意)

AOU (N1, N2) : ステージの水相情報

N=1	ウラン濃度	(g/l)
2	プルトニウム濃度	(n)
3	Pu <sup>4+</sup> 濃度	(n)
4	Pu <sup>3+</sup> 濃度	(n)
5	NHO <sub>3</sub> 濃度	(M)
6	ステージの全流量	(l/h)
7	温度	(°C)
8	ウラン在庫量	(g)
9	プルトニウム在庫量	(n)
10	Pu <sup>4+</sup> 在庫量	(n)
11	Pu <sup>3+</sup> 在庫量	(n)
12	NHO <sub>3</sub> 在庫量	(M)

OOU (N1, N2) : ステージの有機相情報 (内容はAOUと同じ)

HO (I, J) : 抽出器の在庫量

J=1, I=1	ウラン在庫量	(水相)
2	Pu <sup>4+</sup> 在庫量	(n)
3	NHO <sub>3</sub> 在庫量	(n)
4	Pu <sup>3+</sup> 在庫量	(n)
5	還元剤の量	(n)
6	硝酸塩の量	(n)

J=2, 1≤I≤6, J=1と同じ内容 (有機相)

J=3, 1≤I≤6, J=1と同じ内容 (水相+有機相)

SIO (I, J) : 抽出器の入出力およびバランス状態

J=1, 1≤I≤6 入力量, 内容はHO (I, 1)と同じ

J=2, 1≤I≤6 出力量, 内容はHO (I, 2)と同じ

J=3, 1≤I≤6 バランス状態 ((IN-OUT)/IN),

内容はHO (I, 3)と同じ

DUM : ダミー (0.0)

FA (N1, N2) : 抽出器への供給情報 (水相)

N=1 供給流量 (l/h)

2	出力流量	( リ )
3	温度	( ℃ )
4	ウラン濃度	( g/1 )
5	Pu <sup>4+</sup> 濃度	( リ )
6	NHO <sub>3</sub> 濃度	( M )
7	Pu <sup>3+</sup> 濃度	( g/1 )
8	還元剤の濃度	( g/1 )
9	硝酸塩の濃度	( M )
10	その他	
11	"	
12	"	

F O ( N 1 , N 2 ) : 抽出器への供給情報(有機相)  
(内容は F A と同じ)

### 5.3 コントロール・カード

FACOM M380 または、M200 システムを利用する場合のジョブ制御文を以下に示す。

```
//JCLG JOB
// EXEC JCLG
//SYSIN DO DATA , DLM= ++
// JUSER *****, **. ****, ****. **, *****
      C.0 T.0 W.0 I.1 P.0 OPN
      OOPTP NOTIFY=J****, MSGCLASS=*, PASSWORD=*****
// EXEC LMGO, LM= 'J3268.EXTR1'
// EXPAND DISK, DDN=FT10F001          (1) 入力データ・ファイル
// EXPAND DISK, DDN=FT11F001          (2) 入力データ更新ファイル
// EXPAND DISKTO, DDN=FT**F001, DSN='J****.USERFIL1' (3) 読み込み用保存ファイル
// EXPAND DISKTN, DDN=FT**F001, DSN='J****.USERFIL2' (4) 保存ファイル
//SYSIN DD *
      INPUT DATA
++
//
```

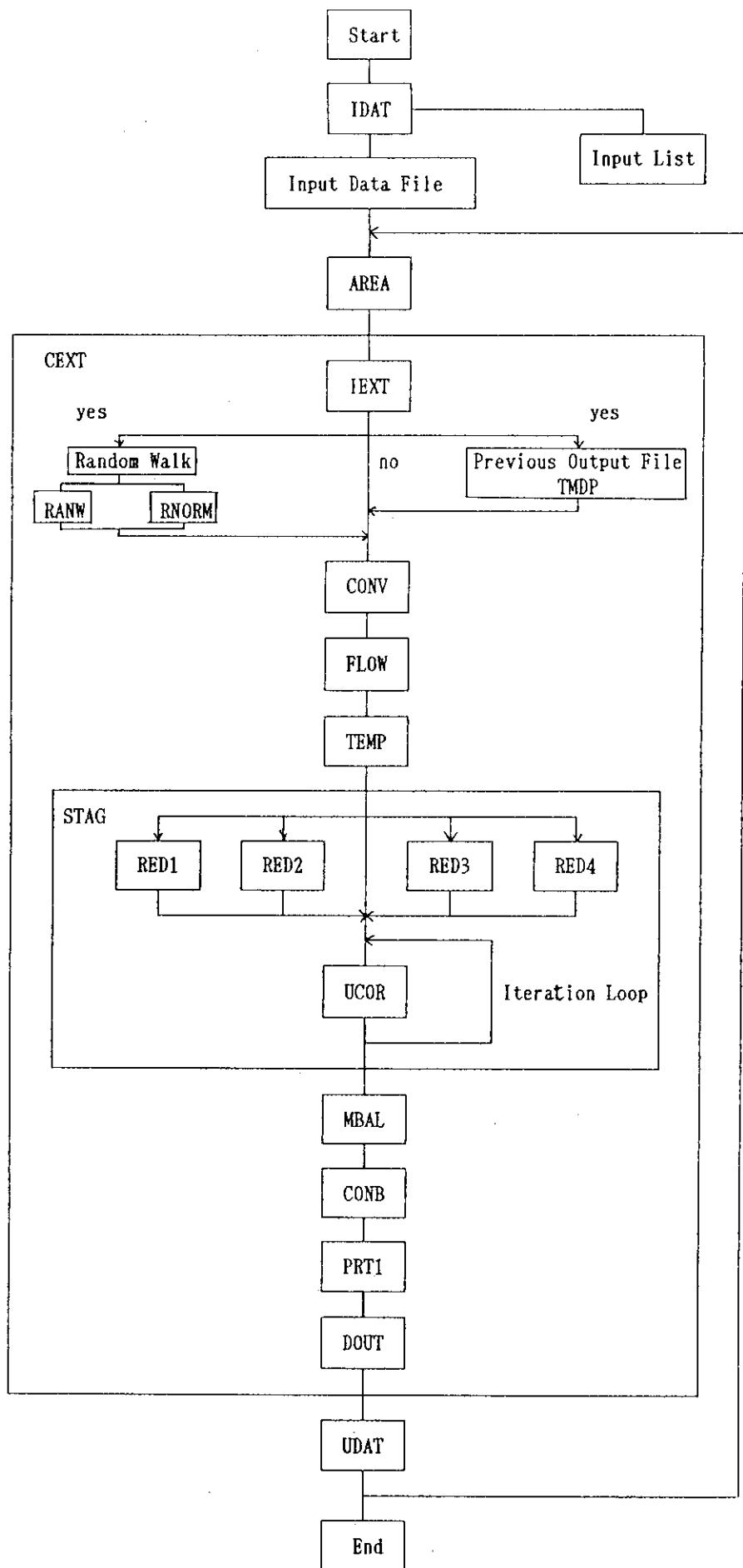


Fig. 5. 1 Flow Diagram of SEPHIS - J

## 6. 入力データ形式

SEPHIS-J プログラムの入力データについて、入力カード毎に、変数名、FORMAT、変数の内容を以下に示す。

Card No. 1 ( 18M4 )

1. IA ( I ) 1 - 72 タイトル  
I = 1 , 18

Card No. 2 ( 16I4, I8 )

- |        |         |  |
|--------|---------|--|
| 1. MST | 1 - 4   | 抽出器のステージの数   |
| 2. MSO | 5 - 8   | 取り扱う成分の数 ( $\geq 6$ )  |
| 3. IEF | 9 - 12  | Mass Transfer Efficiency の入力指定<br>IEF $\geq 0$ の時は、水相について入力、IEF < 0 の時は有機相について入力する。<br>= 0 EFO (Card No. 3 の項目 2 で入力) を全てのステージの成分に適用<br>= 1 全てのステージの各成分について入力 (Card No. 13)<br>= 2 各ステージの各成分について入力 (Card No. 14) |
| 4. IRA | 13 - 16 | 水相と有機相の割合 (水相／有機相) 入力指定<br>= 0 相比率は流量比率に等しい (入力なし)<br>= 1 相比率を入力 (Card No. 7, 8)   |
| 5. IVM | 17 - 20 | ミキサ容量入力指定<br>= 0 入力なし<br>= 1 ミキサ容量を入力 (Card No. 9, 10)   |
| 6.IVO  | 21 - 24 | セトラ容量入力指定<br>= 0 入力なし<br>= 1 セトラ容量を入力 (Card No. 11, 12)  |
| 7. NF  | 25 - 28 | 抽出器の入力ストリームの数  |
| 8. IS  | 29 - 32 | 抽出器の初期濃度入力指定<br>= 0 初期濃度は 0<br>= 1 初期濃度は前の計算結果を用いる<br>= 2 初期濃度を読み込む (Card No. 15)  |

9. I RED 33 - 36 還元剤入力指定  
     = 0 入力なし  
     = 1 硝酸第一鉄  
     = 2 ウラナス ( $U^{4+}$  による還元反応を一次反応とする)  
     = 3 HAN (Hydroxylamine nitrate)  
     = 4 ウラナス (詳細な取扱: 開発中)
10. I PR 37 - 40 プリント・アウト指定  
     = 0 出力なし  
     = 1 初期および平衡状態の濃度分布を出力  
     = 2 初期および平衡の度合が 0.5, 0.8, 0.9, 0.95, 0.99 の状態での濃度分布を出力  
     = 3 各時間ステップ毎に濃度分布を出力  
     =-N 各ステージの濃度分布および在庫量も出力
11. I X 41 - 44 計算結果のディスクへの出力指定  
     = 0 出力しない  
     = N Unit N のディスクへ各時間ステップ毎に結果を出力する
12. I STP 45 - 48 連結された抽出器での供給ストリームの指定  
     = 0 前ケースの出力を供給データとしない  
     = | N | 前ケースのN-ステージの出力を供給ストリームとする  
                   (N>0 : 水相, N<0 : 有機相)
13. M STP 49 - 52 連結された抽出器のステージの数
14. N FR 53 - 56 入力ストリームの変動幅の入力指定  
     = 0 変動しない  
     = N N-ストリームの変動をランダム・ウォークで模擬  
     =-N N-ストリームの変動を正規分布乱数で模擬
15. N SEED 65 - 72 亂数の初期値

Card No. 3 ( 9F8.0 )

1. TBP 1 - 8 TBP (Tributyl Phosphate) の容量濃度  
 2. EFO 9 - 16 Mass Transfer Efficiency (IEF=0の時使用)  
                   (EFO=0.0 -> EFO=1.0)

3.	RAT	17 - 24	平衡の度合または計算ステップ数の入力指定 < 1.0 平衡の度合 (U, Pu, HNO <sub>3</sub> 共通) RAT = 1.0 - $\frac{\text{入力-出力}}{\text{入力}}$ > 1.0 計算ステップの数 = 0.0 RAT = 0.99 に設定
4.	DDT	25 - 32	計算時間間隔 (min)
5.	DTO	33 - 40	計算結果の出力時間間隔 (min)
6.	PPU	41 - 48	出力ストリームのPu濃度設定値 (g/l)
7.	PUI	49 - 56	出力ストリームのU濃度設定値 (g/l)
8.	WPU	57 - 64	廃棄物ストリームのPu濃度設定値 (g/l)
9.	WU1	65 - 72	廃棄物ストリームのU濃度設定値 (g/l)

Card No.4 ( 9F8.0 ) ( IRED = 2 の時必要 )

1. RA1 1 - 8 水相における還元反応の反応定数 (1/min)  
2. RO1 9 - 18 有機相における還元反応の反応定数 (1/min)

Card No.5 ( 2I4, 8F8.0 )

1. II 1 - 4 入出力ストリームのあるステージ番号  
> 0 水溶液が入出力する  
< 0 有機溶液が入出力する
2. IFO 5 - 8 入力ストリームか出力ストリームの指定  
= 0 入力ストリーム  
= 1 出力ストリーム  
≥ 20 入力ストリームを Unit No. IFO より読み込む
3. FLO 9 - 16 入力ストリームの流量 (1/h)  
4. TEMP 17 - 24 ノ の温度 ( °C )  
5. CON1 25 - 32 ノ のU濃度 (g/l)  
6. CON2 33 - 40 ノ のPu<sup>4+</sup> 濃度 (g/l)  
7. CON3 41 - 48 ノ のHNO<sub>3</sub> 濃度 (Mol/l)  
8. CON4 49 - 56 ノ のPu<sup>3+</sup> 濃度 (g/l)  
9. CON5 57 - 64 ノ の還元剤濃度 (g/l)  
10. CON6 65 - 72 ダミー (成分の追加のため)

\*\* Card No.5 をNF回繰り返し入力する \*\*

Card No. 6 ( 2I4 , 8F8.0 ) ( NFR ≠ 0 の時必要 )

1. II 1 - 4 変動する入出力ストリームのあるステージ番号  
 > 0 水溶液が入出力する  
 < 0 有機溶液が入出力する
2. IFO 5 - 8 入力ストリームか出力ストリームの指定  
 = 0 入力ストリーム  
 = 1 出力ストリーム  
 ≥ 20 入力ストリームを Unit No. IFO より読み込む
3. FLO 9 - 16 入力ストリーム流量の変動幅 (%)
4. TEMP 17 - 24〃 温度の変動幅 (%)
5. CON1 25 - 32〃 U濃度の変動幅 (%)
6. CON2 33 - 40〃 Pu<sup>4+</sup> 濃度の変動幅 (%)
7. CON3 41 - 48〃 HNO<sub>3</sub> 濃度の変動幅 (%)
8. CON4 49 - 56〃 Pu<sup>3+</sup> 濃度の変動幅 (%)
9. CON5 57 - 64〃 還元剤濃度の変動幅 (%)
10. CON6 65 - 72 ダミー(成分の追加のため)

\*\* Card No. 6 をNFR回繰り返し入力する \*\*

Card No. 7 ( 9I8 ) ( IRA = 1 の時必要 )

1. NN ( I ) 同一の相比率を持つステージの数  
 I = 1, 9 (ステージ番号の小さいものから順に入力する。必ず加え  
 るとMST個になる様にする)

Card No. 8 ( 9F8.0 ) ( IRA = 1 の時必要 )

1. PR ( I ) 相比率(データの個数は Card No. 7 と同じ)  
 I = 1, 9

<ex>

10ステージから成る抽出器で、1-3ステージの相比率  
 が 0.4, 4-7ステージ(0.6), 8-10ステージ(0.8)の場合

NN ( I ) =	3	4	3
PR ( I ) =	0.4	0.6	0.8

と入力する。

\*\* Card No. 7, 8 は組みにして、相比率が異なる場合、その数だけ繰り返す \*\*

Card No. 9 ( 9I8 ) ( IVM = 1 の時必要 )

1. II ( I ) 同じ容量を持つミキサの数  
I = 1, 9 ( Card No. 7 のNNと同じ)

Card No. 10 ( 9F8.0 ) ( IVM = 1 の時必要 )

1. VM ( I ) ミキサ部容量 (1)  
I = 1, 9 ( 入力方法は Card No. 8 と同じ )

\*\* Card No. 9, 10 は組みにして、容量が異なる場合、その数だけ繰り返す \*\*

Card No. 11 ( 9I8 ) ( IV0 = 1 の時必要 )

1. II ( I ) 同じ容量を持つセトラの数  
I = 1, 9 ( Card No. 7 のNNと同じ)

Card No. 12 ( 9F8.0 ) ( IV0 = 1 の時必要 )

1. VS ( I ) セトラ部容量 (1)  
I = 1, 9 ( 入力方法は Card No. 8 と同じ )

\*\* Card No. 11, 12 は組みにして、容量が異なる場合、その数だけ繰り返す \*\*

Card No. 13 ( 9F8.0 ) ( IEF = 1 or -1 の時必要 )

1. EF ( I ) 各成分に対して、Mass Transfer Efficiency を入力する  
I = 1, 9 ( 各ステージ共通 )
  - I = 1 U
  - 2 Pu<sup>4+</sup>
  - 3 HNO<sub>3</sub>
  - 4 Pu<sup>3+</sup>
  - 5 還元剤
  - 6 硝酸塩
  - 7 入力したその他の成分

Card No.14 ( 9F8.0 ) ( IEF = 2 or -2 の時必要 )

1. EF ( I, J )      ステージ毎に、Mass Transfer Efficiency を入力する  
 I = 1, 9            (成分は、Card No. 13 と同じ)

\*\* ステージの数 (MST) だけ、Card No.14 を繰り返す \*\*

Card No.15 ( 9F8.0 ) ( IS = 2 の時必要 )

1. AON ( I, J )      抽出器のミキサ部の水相に含まれる各成分の初期濃度  
 I = 1, M S O        (Solute-free bases 濃度)
- |       |                    |
|-------|--------------------|
| I = 1 | U                  |
| 2     | P u <sup>4+</sup>  |
| 3     | H N O <sub>3</sub> |
| 4     | P u <sup>3+</sup>  |
| 5     | 還元剤                |
| 6     | 硝酸塩                |
| 7     | その他の成分、必要に応じて入力    |

\*\* ステージの数 (MST) だけ、Card No.15 を繰り返す \*\*

Card No.16 ( 9F8.0 ) ( IS = 2 の時必要 )

1. ON ( I, J )      抽出器のミキサ部の有機相に含まれる各成分の初期濃度  
 I = 1, M S O        (Solute-free bases 濃度)  
 (成分は、Card No. 15 と同じ)

\*\* ステージの数 (MST) だけ、Card No.16 を繰り返す \*\*

Card No.17 ( 9F8.0 ) ( IS = 2 の時必要 )

1. AON ( I, J )      抽出器のセトラ部の水相に含まれる各成分の初期濃度  
 I = 1, M S O        (Solute-free bases 濃度)
- |       |                    |
|-------|--------------------|
| I = 1 | U                  |
| 2     | P u <sup>4+</sup>  |
| 3     | H N O <sub>3</sub> |
| 4     | P u <sup>3+</sup>  |
| 5     | 還元剤                |

## 6 硝酸鹽

## 7 その他の成分、必要に応じて入力

\*\* ステージの数 (MST) だけ、Card No. 17 を繰り返す \*\*

Card No. 18 ( 9F8.0 ) ( IS = 2 の時必要 )

1. ON ( I, J ) 抽出器のセトラ部の有機相に含まれる各成分の初期濃度  
 I = 1, M S O ( Solute-free bases 濃度)  
 (成分は、Card No. 17 と同じ)

\*\* ステージの数 (MST) だけ、Card No.18 を繰り返す \*\*

Card No. 19 (A4)

1. LEND 1 = 4 計算ケースの終わり（1カラムからENDと入力する）

\*\* 連続ケースの計算を行う場合は、前ケースのデータ・ブロックの中で変更する  
\*\* カードを入力すれば良い。変更カードがデータ・ブロックの何枚目に対応する  
\*\* かを 79~80 カラム目にパンチし、最後にこのケースの終了を示す FINE カード  
\*\* (1カラムから FINE とパンチしたカード) を付ける。

## 7. サンプルデータと計算結果

本コードの計算例として、4.2章の動燃再処理工場における共除染工程（EXTRACTION-I）の立上がりからシャトダウンまでの運転モードの入力データおよび計算結果を載せる。

以下に想定した運転条件を示す。

- (1) 抽出器内に硝酸溶液を満たす。
- (2) feed stream からウラナス ( $180 \text{ g}/\ell$ ) を流し、定常になるまで運転する。 ( Sample Case No. 1 )
- (3) feed stream からデザイン・フロー・シートに基づいた溶液 (U :  $180 \text{ g}/\ell$ , Pu :  $2 \text{ g}/\ell$ ) を流し、定常になるまで運転する。 ( Sample Case No. 2 )
- (4) feed stream 溶液の Pu 濃度を  $1.8 \text{ g}/\ell$  に減少させ、定常になるまで運転を行う。 ( Sample Case No. 3 )
- (5) 更に、feed stream の Pu 濃度を  $1.5 \text{ g}/\ell$  に減少し、定常になるまで運転を行う。 ( Sample Case No. 4 )
- (6) ウラナス ( $180 \text{ g}/\ell$ ) を流し、Pu の排出を行う。 ( Sample Case No. 5 )
- (7) 硝酸溶液を通し、U の排出を行う。 ( Sample Case No. 6 )

この入力データを Table 7.1 に示す。また、上記計算結果を、

Table 7.2 : Sample Case No. 1 の出力例

"	7.3	:	"	No. 2	"
"	7.4	:	"	No. 3	"
"	7.5	:	"	No. 4	"
"	7.6	:	"	No. 5	"
"	7.7	:	"	No. 6	"

に載せる。

Input data for the sample calculation of SEPHIS-J Programme

```

-----*-----1-----*-----2-----*-----3-----*-----4-----*-----5-----*-----6-----*-----7-----*-----8
//SYSIN DD *
*** EXTRACTION-I *** (URANIUM EQUILIBRIUM)
 17   6   0   1   1   3   0   0   -1   20   0   0   0   0
 0.30   0.0   0.995   1.0   10.0   0.0   0.0   0.0   0.0
 -1   0   319.0   30.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
 9   0   157.0   30.0   180.0   0.0   0.0   3.0
 17   0   66.0   30.0   0.0   0.0   0.0   3.0
 0.00   0.83
 9   8
 12.0
 9   8
 74.1   93.8
END
*** EXTRACTION-I *** (PU FEED 2.0 G/L)
 17   6   0   1   1   3   1   0   -1   20   0   0   0   0
 0.30   0.0   0.995   1.0   10.0   0.0   0.0   0.0   0.0
 9   0   157.0   30.0   180.0   2.0   2.0   3.0
FINE
*** EXTRACTION-I *** (PU FEED 1.8 G/L)
 9   0   157.0   30.0   180.0   1.8   3.0
FINE
*** EXTRACTION-I *** (PU FEED 1.5 G/L)
 9   0   157.0   30.0   180.0   1.5   3.0
FINE
*** EXTRACTION-I *** (PU FEED 0.0 G/L)
 9   0   157.0   30.0   180.0   0.0   3.0
FINE
*** EXTRACTION-I *** (U FEED 0.0 G/L)
 9   0   157.0   30.0   0.0   0.0   3.0
FINE
/*
```

Table 7.2 Output list of Sample case No.1 calculated by SEPHIS-J Programme

CARD NO. ....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8

```

1 *** EXTRACTION-I *** (URANIUM EQUILIBRIUM)
2   17   6   0   1   1   1   3   0   0   -1   20   0   0   0   0
3     0.30     0.0    0.995    1.0    10.0    0.0    0.0    0.0    0.0
4     -1   0   319.0    30.0    0.0    0.0
5     9   0   157.0    30.0   180.0    0.0    3.0
6    17   0   66.0    30.0    0.0    0.0    3.0
7     9   8
8     0.00    0.83
9     17
10    12.0
11     9   8
12    74.1   93.8
13 END

```

.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8

## \*\*\* EXTRACTION-I \*\*\* (URANIUM EQUILIBRIUM)

MST	MAX. NUMBER OF STAGES	17
MSO	MAX. NUMBER OF SOLUTES	6
IEF	MASS TRANSFER EFFICIENCY OPTION(0/1/2/-N=EFO/SIMPLE/DETAIL/ORGANIC)	0
IRA	PHASE RATIO READ OPTION(0/1=NO/YES)	1
IVM	MIXER VOLUME READ OPTION(0/1=NO/YES)	1
IVU	SETTLER VOLUME READ OPTION(0/1=NO/YES)	1
NF	NUMBER OF FEEDING STREAM(INCLUDING OUTGOING FLOW)	3
IS	INITIAL SET OPTION OF EACH STAGE(0/1/2=SET/PREVIOUS DATA/READ)	0
IRED	REDUCTANT OPTION(0/1/2/3/4=NO/FE++/URANOUS(1)/HAN/URANOUS(DETAIL))	0
IPR	PRINT OUT OPTION(0/1/2/3=NO/SIMPLE/DETAIL/ALL)	-1
IX	DATA OUT UNIT(0/N=NO/UNIT NO.)	20
ISTP	STAGE NUMBER OF PREVIOUS EXT.(FEEDING STREAM IN THIS EXT.)	0
MSTP	MAX. NUMBER OF STAGES OF PREVIOUS EXT.(USING IF ISTP.NE.0)	0
NFR	NUMBER OF INPUT STREAM FLUCTUATION CARDS	0
NSEED	SEED OF RANDOM NUMBER	0
TBP	VOLUME FRACTION OF DRY TBP	0.3000
EFO	MASS TRANSFER EFFICIENCY	0.0
RAT	STEADY STATE(RATIO OR NUMBER OF TIME INTERVAL)	0.9950
DTT	CALCULATION TIME STEP(MIN)	1.0000
DTO	DISK OUT TIME STEP(MIN)	10.0000
PPU	PRODUCT PU CONCENTRATION(NU SURVEY CALC.)	0.0
PU1	PRODUCT U CONCENTRATION(SURVEY CALC.)	0.0
WPU	WASTE PU CONCENTRATION(SURVEY CALC.)	0.0
PU1	WASTE U CONCENTRATION(SURVEY CALC.)	0.0

## \*\*\*\*\* STORAGE CHANGED \*\*\*\*\*

MCM	4000	RESERVED STORAGE
LAS	3000	USED STORAGE

\*\*\*\*\*

## \*\*\*\*\* FEED STREAM DATA ( AQUEOUS , ORGANIC ) \*\*\*\*\*

STAGE NO.	FLOW RATE (L/H)	TEMP. DEG C	URANIUM (G/L)	PLUTONIUM-4 (G/L)	HNO3 (M)	PLUTONIUM-3 (G/L)	REDUCTANT (G/L)
9	1.5700E+02	3.0000E+01	1.8000E+02	0.0	3.0000E+00	0.0	0.0
17	6.6000E+01	3.0000E+01	0.0	0.0	3.0000E+00	0.0	0.0
-----							
1	3.1900E+02	3.0000E+01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\* TIME INTERVAL 8.714 ( MINUTES ) \*\*\*\*\*

Table 7.2 Continued

## STAGE FLOWS (SOLVENT-FREE VOLUMES):

STAGE NO.	VOL. L	FLOW RATE L/H	TOTAL FLOW L/H	OVERALL AQUEOUS PHASE			ORGANIC PHASE			TOTAL FLOW L/H
				FLOW OUT (P-RATIO)	RECYCLE 1 (P-RATIO)	TOTAL FLOW (P-RATIO)	RECYCLE 1 (P-RATIO)	TOTAL FLOW (P-RATIO)	RECYCLE 1 (P-RATIO)	
1	7.410E+01	6.130E-01	8.504E+00	3.232E+00	0.0	0.0	3.232E+00	5.222E+00	0.0	5.222E+00
2	7.410E+01	6.130E-01	8.504E+00	3.232E+00	0.0	0.0	3.232E+00	5.222E+00	0.0	5.222E+00
3	7.410E+01	6.130E-01	8.504E+00	3.232E+00	0.0	0.0	3.232E+00	5.222E+00	0.0	5.222E+00
4	7.410E+01	6.130E-01	8.504E+00	3.232E+00	0.0	0.0	3.232E+00	5.222E+00	0.0	5.222E+00
5	7.410E+01	6.130E-01	8.504E+00	3.232E+00	0.0	0.0	3.232E+00	5.222E+00	0.0	5.222E+00
6	7.410E+01	6.130E-01	8.504E+00	3.232E+00	0.0	0.0	3.232E+00	5.222E+00	0.0	5.222E+00
7	7.410E+01	6.130E-01	8.504E+00	3.232E+00	0.0	0.0	3.232E+00	5.222E+00	0.0	5.222E+00
8	7.410E+01	6.130E-01	8.504E+00	3.232E+00	0.0	0.0	3.232E+00	5.222E+00	0.0	5.222E+00
9	7.410E+01	6.130E-01	8.504E+00	3.232E+00	0.0	0.0	3.232E+00	5.222E+00	0.0	5.222E+00
10	9.380E+01	1.895E-01	1.076E+01	9.988E-01	3.377E+00	5.064E-01	4.882E+00	5.222E+00	0.0	6.101E-01
11	9.380E+01	1.895E-01	1.076E+01	9.988E-01	3.377E+00	5.064E-01	4.882E+00	5.222E+00	0.0	6.101E-01
12	9.380E+01	1.895E-01	1.076E+01	9.988E-01	3.377E+00	5.064E-01	4.882E+00	5.222E+00	0.0	6.101E-01
13	9.320E+01	1.895E-01	1.076E+01	9.988E-01	3.377E+00	5.064E-01	4.882E+00	5.222E+00	0.0	6.101E-01
14	9.380E+01	1.895E-01	1.076E+01	9.988E-01	3.377E+00	5.064E-01	4.882E+00	5.222E+00	0.0	6.101E-01
15	9.380E+01	1.895E-01	1.076E+01	9.988E-01	3.377E+00	5.064E-01	4.882E+00	5.222E+00	0.0	6.101E-01
16	9.380E+01	1.895E-01	1.076E+01	9.988E-01	3.377E+00	5.064E-01	4.882E+00	5.222E+00	0.0	6.101E-01
17	9.320E+01	1.895E-01	1.076E+01	9.988E-01	3.377E+00	5.064E-01	4.882E+00	5.222E+00	0.0	6.101E-01
<b>***** INITIAL PROFILE ( SETTLE ) *****</b>										
STAGE NO.	PHASE RATIO	TEMP. DEG C	URANIUM (G/L)	AQUEOUS PHASE			ORGANIC PHASE			PH(CU) (G/L)
				Pu(IV) (G/L)	HNO3 (M)	Pu(V) (G/L)	BARIUM (G/L)	HNO3 (M)		
1	6.130E-01	3.000E+01	0.0	0.0	3.278E+00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	6.130E-01	3.000E+01	0.0	0.0	3.278E+00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	6.130E-01	3.000E+01	0.0	0.0	3.278E+00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	6.130E-01	3.000E+01	0.0	0.0	3.278E+00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	6.130E-01	3.000E+01	0.0	0.0	3.278E+00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	6.130E-01	3.000E+01	0.0	0.0	3.278E+00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	6.130E-01	3.000E+01	0.0	0.0	3.278E+00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	6.130E-01	3.000E+01	0.0	0.0	3.278E+00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	6.130E-01	3.000E+01	0.0	0.0	3.278E+00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	8.300E-01	3.000E+01	0.0	0.0	3.278E+00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	8.300E-01	3.000E+01	0.0	0.0	3.278E+00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	8.300E-01	3.000E+01	0.0	0.0	3.278E+00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	8.300E-01	3.000E+01	0.0	0.0	3.278E+00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14	8.300E-01	3.000E+01	0.0	0.0	3.278E+00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	8.300E-01	3.000E+01	0.0	0.0	3.278E+00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16	8.300E-01	3.000E+01	0.0	0.0	3.278E+00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	8.300E-01	3.000E+01	0.0	0.0	3.278E+00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Table 7.2 Continued

EXTRACTION PROFILE OF THE SETTLER (CONCENTRATION)												
STAGE NO.	TEMP. DEG C	AQUEOUS PHASE					ORGANIC PHASE					HNO3 OF STAGE
		URANIUM (G/L)	PLUTONIUM (G/L)	PU(IV) (G/L)	PU(III) (G/L)	HNO3 (M)	URANIUM (G/L)	PLUTONIUM (G/L)	HNO3 (M)	FLOW OUT	OF STAGE	
1	3.000E+01	1.071E-12	0.0	0.0	0.0	2.708E+00	2.114E+02	2.604E-11	0.0	6.159E-01	3.267E+02	
2	3.000E+01	4.004E-11	0.0	0.0	0.0	3.558E+00	2.176E+02	1.290E-09	0.0	7.774E-01	3.287E+02	
3	3.000E+01	1.930E-09	0.0	0.0	0.0	3.782E+00	2.193E+02	6.494E-08	0.0	8.128E-01	3.292E+02	
4	3.000E+01	9.713E-08	0.0	0.0	0.0	3.833E+00	2.197E+02	3.296E-06	0.0	8.204E-01	3.293E+02	
5	3.000E+01	4.930E-06	0.0	0.0	0.0	3.846E+00	2.198E+02	1.676E-04	0.0	8.224E-01	3.293E+02	
6	3.000E+01	2.508E-04	0.0	0.0	0.0	3.852E+00	2.199E+02	8.533E-03	0.0	8.231E-01	3.293E+02	
7	3.000E+01	1.277E-02	0.0	0.0	0.0	3.856E+00	2.199E+02	4.322E-01	0.0	8.211E-01	3.293E+02	
8	3.000E+01	6.467E-01	0.0	0.0	0.0	3.855E+00	2.199E+02	1.717E+01	0.0	7.159E-01	3.298E+02	
9	3.000E+01	2.566E+01	0.0	0.0	0.0	3.692E+00	2.206E+02	9.099E+01	0.0	2.314E-01	3.316E+02	
10	3.000E+01	2.879E+01	0.0	0.0	0.0	2.791E+00	6.617E+01	9.147E+01	0.0	1.832E-01	3.310E+02	
11	3.000E+01	3.023E+01	0.0	0.0	0.0	2.607E+00	6.579E+01	9.156E+01	0.0	1.712E-01	3.309E+02	
12	3.000E+01	3.011E+01	0.0	0.0	0.0	2.600E+00	6.578E+01	9.146E+01	0.0	1.713E-01	3.309E+02	
13	3.000E+01	2.935E+01	0.0	0.0	0.0	2.651E+00	6.587E+01	9.123E+01	0.0	1.756E-01	3.309E+02	
14	3.000E+01	2.835E+01	0.0	0.0	0.0	2.714E+00	6.599E+01	9.089E+01	0.0	1.812E-01	3.310E+02	
15	3.000E+01	2.711E+01	0.0	0.0	0.0	2.772E+00	6.609E+01	9.033E+01	0.0	1.876E-01	3.310E+02	
16	3.000E+01	2.509E+01	0.0	0.0	0.0	2.820E+00	6.616E+01	8.912E+01	0.0	1.967E-01	3.310E+02	
17	3.000E+01	1.996E+01	0.0	0.0	0.0	2.873E+00	6.616E+01	8.500E+01	0.0	2.209E-01	3.308E+02	
EXTRACTION PROFILE (INVENTORY)												
STAGE NO.	TEMP. DEG C	AQUEOUS PHASE					ORGANIC PHASE					HNO3 OF STAGE
		URANIUM (G)	PLUTONIUM (G)	HNO3 (M)	FLOW OUT	URANIUM (G)	PLUTONIUM (G)	HNO3 (M)	FLOW OUT	OF STAGE		
1	3.000E+01	3.289E-11	0.0	2.708E+00	2.114E+02	1.235E-09	0.0	6.159E-01	3.267E+02			
2	3.000E+01	1.266E-09	0.0	3.558E+00	2.176E+02	6.157E-08	0.0	7.774E-01	3.287E+02			
3	3.000E+01	6.148E-08	0.0	3.782E+00	2.193E+02	3.105E-06	0.0	8.128E-01	3.292E+02			
4	3.000E+01	3.099E-06	0.0	3.833E+00	2.197E+02	1.576E-04	0.0	8.204E-01	3.293E+02			
5	3.000E+01	1.574E-04	0.0	3.846E+00	2.198E+02	8.018E-03	0.0	8.224E-01	3.293E+02			
6	3.000E+01	8.007E-03	0.0	3.852E+00	2.199E+02	4.081E-01	0.0	8.231E-01	3.293E+02			
7	3.000E+01	4.077E-01	0.0	3.856E+00	2.199E+02	2.067E+01	0.0	8.211E-01	3.293E+02			
8	3.000E+01	2.066E+01	0.0	3.855E+00	2.199E+02	8.226E+02	0.0	7.159E-01	3.298E+02			
9	3.000E+01	8.221E+02	0.0	3.692E+00	2.206E+02	4.382E+03	0.0	2.314E-01	3.316E+02			
10	3.000E+01	1.352E+03	0.0	2.791E+00	6.617E+01	4.907E+03	0.0	1.832E-01	3.310E+02			
11	3.000E+01	1.412E+03	0.0	2.607E+00	6.579E+01	4.910E+03	0.0	1.712E-01	3.309E+02			
12	3.000E+01	1.406E+03	0.0	2.600E+00	6.578E+01	4.904E+03	0.0	1.713E-01	3.309E+02			
13	3.000E+01	1.372E+03	0.0	2.651E+00	6.587E+01	4.892E+03	0.0	1.756E-01	3.309E+02			
14	3.000E+01	1.328E+03	0.0	2.714E+00	6.599E+01	4.874E+03	0.0	1.812E-01	3.310E+02			
15	3.000E+01	1.272E+03	0.0	2.772E+00	6.609E+01	4.845E+03	0.0	1.876E-01	3.310E+02			
16	3.000E+01	1.178E+03	0.0	2.820E+00	6.616E+01	4.779E+03	0.0	1.967E-01	3.310E+02			
17	3.000E+01	9.373E+02	0.0	2.873E+00	6.616E+01	4.556E+03	0.0	2.209E-01	3.308E+02			
HOLD UP												
AQUEOUS				ORGANIC		TOTAL	IN	OUT	RELATIVE ERROR			
(G)				(G)		(G)			ERROR			
URANIUM				4.96881E+04		6.22392E+04	4.71000E+02	4.68659E+02	4.97031E-03			
PLUTONIUM				0.0		0.0	0.0	0.0	0.0			
HNO3							1.10615E+01	1.06759E+01	3.48567E-02			
SETTLER (U)				1.11017E+04		4.38932E+04	5.49949E+04					
(PU)				0.0		0.0	0.0					
MIXER (U)				1.44946E+03		5.79485E+03	7.24431E+03					
(PU)				0.0		0.0	0.0					

\*\*\*\*\* ( 99.50 ) PERCENT OF STEADY STATE AFTER TIME ( 7.08 ) HOUR \*\*\*\*\*

Table 7.3 Output list of Sample case No 2 calculated by SEPHIS-J Programme

CARD NO	1	2	3	4	5	6	7	8
1	<b>*** EXTRACTION-I *** (PU FEED 2.0 G/L )</b>							1
2	17	6	0	1	1	1	3	1
3	0.30	0.0	0.995	1.0	10.0	0.0	0.0	0
4	-1	0	319.0	30.0	0.0	0.0		2
5	9	0	157.0	30.0	180.0	2.0	3.0	3
6	17	0	66.0	30.0	0.0	0.0	3.0	5
7	9	8						
8	0.00	0.83						
9	17							
10	12.0							
11	9	8						
12	74.1	93.8						0
12	FINE							
	.....1	.....2	.....3	.....4	.....5	.....6	.....7	.....8

**\*\*\* EXTRACTION-I \*\*\* (PU FEED 2.0 G/L )**

MST	MAX. NUMBER OF STAGES	17
MSQ	MAX. NUMBER OF SOLUTES	6
IEF	MASS TRANSFER EFFICIENCY OPTION(0/1/2/-N-EFO/SIMPLE/DETAIL/ORGANIC)	0
IRA	PHASE RATIO READ OPTION(0/1=NO/YES)	1
IVM	MIXER VOLUME READ OPTION(0/1=NO/YES)	1
IVO	SETTLER VOLUME READ OPTION(0/1=NO/YES)	1
NF	NUMBER OF FEEDING STREAM(INCLUDING OUTGOING FLOW)	3
IS	INITIAL SET OPTION OF EACH STAGE(0/1/2=SET/PREVIOUS DATA/READ)	1
IRED	REDUCTANT OPTION(0/1/2/3=NO/FE++/URANOUS(1)/HAN/URANOUS(DETAIL))	0
IPR	PRINT OUT OPTION(0/1/2/3=NO/SIMPLE/DETAIL/ALL)	-1
IX	DATA OUT UNIT(0/N=NO/UNIT NO.)	20
ISTP	STAGE NUMBER OF PREVIOUS EXT.(FEEDING STREAM IN THIS EXT.)	0
MSTP	MAX. NUMBER OF STAGES OF PREVIOUS EXT.(USING IF ISTP,NE.0)	0
NFR	NUMBER OF INPUT STREAM FLUCTUATION CARDS	0
NSEED	SEED OF RANDOM NUMBER	0
TBP	VOLUME FRACTION OF DRY TBP	0.3000
EFO	MASS TRANSFER EFFICIENCY	0.0
RAT	STEADY STATE(RATIO OR NUMBER OF TIME INTERVAL)	0.9950
DTT	CALCULATION TIME STEP(MIN)	1.0000
DTO	DISK OUT TIME STEP(MIN)	10.0000
PPU	PRODUCT PU CONCENTRATION(SURVEY CALC.)	0.0
PU1	PRODUCT U CONCENTRATION(SURVEY CALC.)	0.0
WPU	WASTE PU CONCENTRATION(SURVEY CALC.)	0.0
PU1	WASTE U CONCENTRATION(SURVEY CALC.)	0.0

**\*\*\*\*\* FEED STREAM DATA ( AQUEOUS , ORGANIC ) \*\*\*\*\***

STAGE NO.	FLOW RATE (L/H)	TEMP. DEG C	URANIUM (G/L)	PLUTONIUM-4 (G/L)	HNO3 (M)	PLUTONIUM-3 (G/L)	REDUCTANT (G/L)
9	1.5700E+02	3.0000E+01	1.8000E+02	2.0000E+00	3.0000E+00	0.0	0.0
17	6.6000E+01	3.0000E+01	0.0	0.0	3.0000E+00	0.0	0.0
-----							
1	3.1900E+02	3.0000E+01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

**\*\*\*\*\* TIME INTERVAL 8.717 ( MINUTES ) \*\*\*\*\***

Table 7.3 Continued

## STAGE FLOWS (SOLUTE-FREE VOLUMES):

STAGE NO.	VOL.	FLOW RATIO	OVERALL			AQUEOUS PHASE			ORGANIC PHASE		
			TOTAL FLOW	FLOW OUT	RECYLE 1 (P-RATIO)	TOTAL FLOW	FLOW OUT	RECYLE 1 (P-RATIO)	TOTAL FLOW	FLOW OUT	RECYLE 1 (P-RATIO)
1	7.410E+01	6.124E+01	8.501E+00	3.229E+00	0.0	0.0	3.229E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.272E+00
2	7.410E+01	6.124E+01	8.501E+00	3.229E+00	0.0	0.0	3.229E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.272E+00
3	7.410E+01	6.124E+01	8.501E+00	3.229E+00	0.0	0.0	3.229E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.272E+00
4	7.410E+01	6.124E+01	8.501E+00	3.229E+00	0.0	0.0	3.229E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.272E+00
5	7.410E+01	6.124E+01	8.501E+00	3.229E+00	0.0	0.0	3.229E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.272E+00
6	7.410E+01	6.124E+01	8.501E+00	3.229E+00	0.0	0.0	3.229E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.272E+00
7	7.410E+01	6.124E+01	8.501E+00	3.229E+00	0.0	0.0	3.229E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.272E+00
8	7.410E+01	6.124E+01	8.501E+00	3.229E+00	0.0	0.0	3.229E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.272E+00
9	7.410E+01	6.124E+01	8.501E+00	3.229E+00	0.0	0.0	3.229E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.272E+00
10	9.389E+01	1.895E+01	1.076E+01	9.988E-01	3.377E+00	5.048E-01	4.881E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.380E+00
11	9.380E+01	1.895E+01	1.076E+01	9.988E-01	3.377E+00	5.048E-01	4.881E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.380E+00
12	9.380E+01	1.895E+01	1.076E+01	9.988E-01	3.377E+00	5.048E-01	4.881E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.380E+00
13	9.380E+01	1.895E+01	1.076E+01	9.988E-01	3.377E+00	5.048E-01	4.881E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.380E+00
14	9.380E+01	1.895E+01	1.076E+01	9.988E-01	3.377E+00	5.048E-01	4.881E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.380E+00
15	9.380E+01	1.895E+01	1.076E+01	9.988E-01	3.377E+00	5.048E-01	4.881E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.380E+00
16	9.380E+01	1.895E+01	1.076E+01	9.988E-01	3.377E+00	5.048E-01	4.881E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.380E+00
17	9.380E+01	1.895E+01	1.076E+01	9.988E-01	3.377E+00	5.048E-01	4.881E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.380E+00
***** INITIAL PROFILE ( STIRRER ) *****											
STAGE NO.	PHASE RATIO	UFMP. DFG. C	AQUEOUS PHASE			URANIUM PHASE			ORGANIC PHASE		
			URANIUM (G/L)	PUC(IV) (G/L)	HNO3 (M)	PUC(I) (G/L)	URANIUM (G/L)	PUC(IV) (G/L)	HNO3 (M)	PUC(I) (G/L)	
1	6.124E-01	3.000E+01	4.907E-15	0.0	2.930E+00	0.0	1.130E-13	0.0	6.310E-01	0.0	6.310E-01
2	6.124E-01	3.000E+01	1.888E-13	0.0	3.962E+00	0.0	5.631E-12	0.0	8.015E-01	0.0	8.015E-01
3	6.124E-01	3.000E+01	9.173E-12	0.0	4.244E+00	0.0	2.840E-10	0.0	8.391E-01	0.0	8.391E-01
4	6.124E-01	3.000E+01	4.625E-10	0.0	4.309E+00	0.0	1.442E-08	0.0	8.473E-01	0.0	8.473E-01
5	6.124E-01	3.000E+01	2.348E-08	0.0	4.326E+00	0.0	7.333E-07	0.0	8.494E-01	0.0	8.494E-01
6	6.124E-01	3.000E+01	1.195E-06	0.0	4.333E+00	0.0	3.733E-05	0.0	8.502E-01	0.0	8.502E-01
7	6.124E-01	3.000E+01	6.083E-05	0.0	4.338E+00	0.0	1.891E-03	0.0	8.481E-01	0.0	8.481E-01
8	6.124E-01	3.000E+01	3.082E-03	0.0	4.338E+00	0.0	7.523E-02	0.0	7.405E-01	0.0	7.405E-01
9	6.124E-01	3.000E+01	1.227E-01	0.0	4.167E+00	0.0	4.008E-01	0.0	2.406E-01	0.0	2.406E-01
10	8.300E-01	3.000E+01	1.336E-01	0.0	3.057E+00	0.0	4.472E-01	0.0	1.902E-01	0.0	1.902E-01
11	8.300E-01	3.000E+01	1.395E-01	0.0	2.839E+00	0.0	4.024E-01	0.0	1.777E-01	0.0	1.777E-01
12	8.300E-01	3.000E+01	1.389E-01	0.0	2.831E+00	0.0	4.020E-01	0.0	1.778E-01	0.0	1.778E-01
13	8.300E-01	3.000E+01	1.355E-01	0.0	2.890E+00	0.0	4.010E-01	0.0	1.822E-01	0.0	1.822E-01
14	8.300E-01	3.000E+01	1.311E-01	0.0	2.964E+00	0.0	3.996E-01	0.0	1.881E-01	0.0	1.881E-01
15	8.300E-01	3.000E+01	1.256E-01	0.0	3.032E+00	0.0	3.971E-01	0.0	1.948E-01	0.0	1.948E-01
16	8.300E-01	3.000E+01	1.164E-01	0.0	3.089E+00	0.0	3.918E-01	0.0	2.042E-01	0.0	2.042E-01
17	8.300E-01	3.000E+01	9.257E-02	0.0	3.146E+00	0.0	3.735E-01	0.0	2.292E-01	0.0	2.292E-01

\*\*\*\*\* INITIAL PROFILE ( STIRRER ) \*\*\*\*\*

Table 7.3 Continued

375 TIME INTERVAL EXTRACTION PROFILE OF THE SETTLER( CONCENTRATION )													
STAGE NO.	TEMP. DEG C	AQUEOUS PHASE						ORGANIC PHASE					
		URANIUM (G/L)	PLUTONIUM (G/L)	PU(IV) (G/L)	PU(III) (G/L)	HNO3 (M)	FLOW OUT OF STAGE	URANIUM (G/L)	PLUTONIUM (G/L)	HNO3 (M)	FLOW OUT OF STAGE		
1	3.000E+01	1.017E-12	3.601E-12	3.601E-12	0.0	2.794E+00	2.119E+02	2.568E-11	4.119E-11	6.340E-01	3.269E+02		
2	3.000E+01	3.940E-11	6.499E-11	6.499E-11	0.0	3.664E+00	2.182E+02	1.297E-09	1.109E-09	7.946E-01	3.290E+02		
3	3.000E+01	1.940E-09	1.657E-09	1.657E-09	0.0	3.884E+00	2.199E+02	6.635E-08	3.052E-08	8.279E-01	3.294E+02		
4	3.000E+01	9.914E-08	4.554E-08	4.554E-08	0.0	3.931E+00	2.203E+02	3.414E-06	8.513E-07	8.346E-01	3.295E+02		
5	3.000E+01	5.101E-06	1.271E-06	1.271E-06	0.0	3.942E+00	2.203E+02	1.759E-04	2.383E-05	8.361E-01	3.295E+02		
6	3.000E+01	2.629E-04	3.558E-05	3.558E-05	0.0	3.945E+00	2.204E+02	9.067E-03	6.680E-04	8.365E-01	3.295E+02		
7	3.000E+01	1.355E-02	9.977E-04	9.977E-04	0.0	3.947E+00	2.204E+02	4.646E-01	1.862E-02	8.337E-01	3.295E+02		
8	3.000E+01	6.943E-01	2.782E-02	2.782E-02	0.0	3.943E+00	2.204E+02	1.822E+01	3.976E-01	7.174E-01	3.300E+02		
9	3.000E+01	2.719E+01	5.931E-01	5.931E-01	0.0	3.761E+00	2.211E+02	9.100E+01	1.092E+00	2.268E-01	3.318E+02		
10	3.000E+01	2.891E+01	7.209E-01	7.209E-01	0.0	2.989E+00	6.665E+01	9.128E+01	1.101E+00	1.900E-01	3.313E+02		
11	3.000E+01	2.980E+01	7.612E-01	7.612E-01	0.0	2.832E+00	6.632E+01	9.135E+01	1.104E+00	1.809E-01	3.312E+02		
12	3.000E+01	2.993E+01	7.677E-01	7.677E-01	0.0	2.802E+00	6.625E+01	9.133E+01	1.103E+00	1.792E-01	3.312E+02		
13	3.000E+01	2.977E+01	7.623E-01	7.623E-01	0.0	2.803E+00	6.625E+01	9.124E+01	1.100E+00	1.797E-01	3.312E+02		
14	3.000E+01	2.940E+01	7.495E-01	7.495E-01	0.0	2.811E+00	6.626E+01	9.106E+01	1.094E+00	1.812E-01	3.312E+02		
15	3.000E+01	2.862E+01	7.234E-01	7.234E-01	0.0	2.821E+00	6.626E+01	9.064E+01	1.020E+00	1.839E-01	3.312E+02		
16	3.000E+01	2.668E+01	6.609E-01	6.609E-01	0.0	2.836E+00	6.625E+01	8.947E+01	1.045E+00	1.908E-01	3.311E+02		
17	3.000E+01	2.102E+01	4.948E-01	4.948E-01	0.0	2.873E+00	6.620E+01	8.528E+01	9.442E-01	2.146E-01	3.309E+02		
EXTRACTION PROFILE ( INVENTORY )													
STAGE NO.	TEMP. DEG C	AQUEOUS PHASE				ORGANIC PHASE				HNO3 (M)	FLOW OUT OF STAGE		
		URANIUM (G)	PLUTONIUM (G)	HNO3 (M)	FLOW OUT OF STAGE	URANIUM (G)	PLUTONIUM (G)	HNO3 (M)	FLOW OUT OF STAGE				
1	3.000E+01	3.130E-11	1.108E-10	2.794E+00	2.119E+02	1.220E-09	1.956E-09	6.340E-01	3.269E+02				
2	3.000E+01	1.249E-09	2.061E-09	3.664E+00	2.182E+02	6.201E-08	5.299E-08	7.946E-01	3.290E+02				
3	3.000E+01	6.198E-08	5.295E-08	3.884E+00	2.199E+02	3.175E-06	1.460E-06	8.279E-01	3.294E+02				
4	3.000E+01	3.173E-06	1.457E-06	3.931E+00	2.203E+02	1.634E-04	4.075E-05	8.346E-01	3.295E+02				
5	3.000E+01	1.633E-04	4.067E-05	3.942E+00	2.203E+02	8.420E-03	1.141E-03	8.361E-01	3.295E+02				
6	3.000E+01	8.416E-03	1.139E-03	3.945E+00	2.204E+02	4.341E-01	3.198E-02	8.365E-01	3.295E+02				
7	3.000E+01	4.339E-01	3.194E-02	3.947E+00	2.204E+02	2.224E+01	8.915E-01	8.337E-01	3.295E+02				
8	3.000E+01	2.223E+01	8.908E-01	3.943E+00	2.204E+02	8.734E+02	1.906E+01	7.174E-01	3.300E+02				
9	3.000E+01	8.733E+02	1.905E+01	3.761E+00	2.211E+02	4.386E+03	5.262E+01	2.268E-01	3.318E+02				
10	3.000E+01	1.368E+03	3.411E+01	2.989E+00	6.665E+01	4.901E+03	5.913E+01	1.900E-01	3.313E+02				
11	3.000E+01	1.403E+03	3.583E+01	2.832E+00	6.632E+01	4.902E+03	5.923E+01	1.809E-01	3.312E+02				
12	3.000E+01	1.408E+03	3.611E+01	2.802E+00	6.625E+01	4.901E+03	5.919E+01	1.792E-01	3.312E+02				
13	3.000E+01	1.400E+03	3.585E+01	2.803E+00	6.625E+01	4.896E+03	5.904E+01	1.797E-01	3.312E+02				
14	3.000E+01	1.383E+03	3.526E+01	2.811E+00	6.626E+01	4.887E+03	5.870E+01	1.812E-01	3.312E+02				
15	3.000E+01	1.346E+03	3.403E+01	2.821E+00	6.626E+01	4.864E+03	5.795E+01	1.839E-01	3.312E+02				
16	3.000E+01	1.255E+03	3.108E+01	2.836E+00	6.625E+01	4.801E+03	5.605E+01	1.908E-01	3.311E+02				
17	3.000E+01	9.877E+02	2.325E+01	2.873E+00	6.620E+01	4.573E+03	5.063E+01	2.146E-01	3.309E+02				
HOLD UP MATERIAL BALANCE													
AQUEOUS				ORGANIC				TOTAL					
(G)	(G)	(G)	(G)	(G)	(G)	(G)	(G)	IN	OUT	RELATIVE ERROR			
URANIUM	1.29405E+04	4.98167E+04	6.27572E+04	4.71000E+02	4.70397E+02	1.27944E-03							
PLUTONIUM	3.22705E+02	6.03133E+02	9.25838E+02	5.23333E+00	5.20779E+00	4.87932E-03							
HN03				1.10615E+01	1.09637E+01	8.84245E-03							
SETTLER ( U )	1.14456E+04	4.40068E+04	5.54524E+04										
( PU )	2.85494E+02	5.32521E+02	8.18014E+02										
MIXER ( U )	1.49497E+03	5.80986E+03	7.30484E+03										
( PU )	3.72115E+01	7.06127E+01	1.07824E+02										

\*\*\*\*\* ( 99.51 ) PERCENT OF STEADY STATE AFTER TIME ( 6.25 ) HOUR \*\*\*\*\*

Table 7.4 Output list of Sample case No.3 calculated by  
SEPHIS - J Programme

CARD NO	.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8
1	*** EXTRACTION-I *** (PU FEED 1.8 G/L )
2	17 6 0 1 1 1 3 1 0 -1 20 0 0 0 0
3	0.30 0.0 0.995 1.0 10.0 0.0 0.0
4	-1 0 319.0 30.0 0.0 0.0
5	9 0 157.0 30.0 180.0 1.8 3.0
6	17 0 66.0 30.0 0.0 0.0 3.0
7	9 8
8	0.00 0.83
9	17
10	12.0
11	9 8
12	74.1 93.8
12	FINE 0
	.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8

\*\*\* EXTRACTION-I \*\*\* (PU FEED 1.8 G/L )

MST	MAX. NUMBER OF STAGES	17
MSO	MAX. NUMBER OF SOLUTES	6
IEF	MASS TRANSFER EFFICIENCY OPTION(0/1/2/-N=EFO/SIMPLE/DETAIL/ORGANIC)	0
IRAI	PHASE RATIO READ OPTION(0/1=N0/YES)	1
IVM	MIXER VOLUME READ OPTION(0/1=N0/YES)	1
IVO	SETTLER VOLUME READ OPTION(0/1=N0/YES)	1
NF	NUMBER OF FEEDING STREAM(INCLUDING OUTGOING FLOW)	3
IS	INITIAL SET OPTION OF EACH STAGE(0/1/2=SET/PREVIOUS DATA/READ)	1
IRED	REDUCTANT OPTION(0/1/2/3/4=N0/FE++/URANOUS(1)/HAN/URANOUS(DETAIL))	0
IPR	PRINT OUT OPTION(0/1/2/3=N0/SIMPLE/DETAIL/ALL)	-1
IX	DATA OUT UNIT(0/N=N0/UNIT NO.)	20
ISTP	STAGE NUMBER OF PREVIOUS EXT.(FEEDING STREAM IN THIS EXT.)	0
MSTP	MAX. NUMBER OF STAGES OF PREVIOUS EXT.(USING IF ISTP.NE.0)	0
NFR	NUMBER OF INPUT STREAM FLUCTUATION CARDS	0
NSEED	SEED OF RANDOM NUMBER	0
TBP	VOLUME FRACTION OF DRY TBP	0.3000
EFO	MASS TRANSFER EFFICIENCY	0.0
RAT	STEADY STATE(RATIO OR NUMBER OF TIME INTERVAL)	0.9950
DDT	CALCULATION TIME STEP(MIN)	1.0000
DTO	DISK OUT TIME STEP(MIN)	10.0000
PPU	PRODUCT PU CONCENTRATION( SURVEY CALC. )	0.0
Pu1	PRODUCT U CONCENTRATION( SURVEY CALC. )	0.0
WPU	WASTE PU CONCENTRATION( SURVEY CALC. )	0.0
Pu1	WASTE U CONCENTRATION( SURVEY CALC. )	0.0

\*\*\*\*\* FEED STREAM DATA ( AQUEOUS , ORGANIC ) \*\*\*\*\*

STAGE NO.	FLOW RATE (L/H)	TEMP. DEG C	URANIUM (G/L)	PLUTONIUM-4 (G/L)	HNO3 (M)	PLUTONIUM-3 (G/L)	REDUCTANT (G/L)
9	1.5700E+02	3.0000E+01	1.8000E+02	1.8000E+00	3.0000E+00	0.0	0.0
17	6.6000E+01	3.0000E+01	0.0	0.0	3.0000E+00	0.0	0.0
1	3.1900E+02	3.0000E+01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

\*\*\*\*\* TIME INTERVAL 8.717 ( MINUTES ) \*\*\*\*\*

Table 7.4 Continued

## STAGE FLOWS (SOLUTE-FREE VOLUMES):

STAGE FLOWS (SOLUTE-FREE VOLUMES):		OVERALL AQUEOUS PHASE						ORGANIC PHASE					
STAGE NO.	VOL.	FLOW RATIO	FLOW	FLOW OUT	RECYLE 1 (P-RATIO)	RECYLE 2 (F/L)	TOTAL FLOW	FLOW OUT	RECYLE 1 (P-RATIO)	RECYLE 2 (F/L)	TOTAL FLOW		
1	7.410E+01	6.125E-01	8.501E+00	3.229E+00	0.0	0.0	3.229E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.272E+00		
2	7.410E+01	6.125E-01	8.501E+00	3.229E+00	0.0	0.0	3.229E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.272E+00		
3	7.410E+01	6.125E-01	8.501E+00	3.229E+00	0.0	0.0	3.229E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.272E+00		
4	7.410E+01	6.125E-01	8.501E+00	3.229E+00	0.0	0.0	3.229E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.272E+00		
5	7.410E+01	6.125E-01	8.501E+00	3.229E+00	0.0	0.0	3.229E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.272E+00		
6	7.410E+01	6.125E-01	8.501E+00	3.229E+00	0.0	0.0	3.229E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.272E+00		
7	7.410E+01	6.125E-01	8.501E+00	3.229E+00	0.0	0.0	3.229E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.272E+00		
8	7.410E+01	6.125E-01	8.501E+00	3.229E+00	0.0	0.0	3.229E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.272E+00		
9	7.410E+01	6.125E-01	8.501E+00	3.229E+00	0.0	0.0	3.229E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.272E+00		
10	9.380E+01	1.895E-01	1.076E+01	9.988E+01	3.377E+00	5.049E-01	4.881E+00	5.272E+00	0.0	6.084E-01	5.880E+00		
11	9.380E+01	1.895E-01	1.076E+01	9.988E+01	3.377E+00	5.049E-01	4.881E+00	5.272E+00	0.0	6.084E-01	5.880E+00		
12	9.380E+01	1.895E-01	1.076E+01	9.988E+01	3.377E+00	5.049E-01	4.881E+00	5.272E+00	0.0	6.084E-01	5.880E+00		
13	9.380E+01	1.895E-01	1.076E+01	9.988E+01	3.377E+00	5.049E-01	4.881E+00	5.272E+00	0.0	6.084E-01	5.880E+00		
14	9.380E+01	1.895E-01	1.076E+01	9.988E+01	3.377E+00	5.049E-01	4.881E+00	5.272E+00	0.0	6.084E-01	5.880E+00		
15	9.380E+01	1.895E-01	1.076E+01	9.988E+01	3.377E+00	5.049E-01	4.881E+00	5.272E+00	0.0	6.084E-01	5.880E+00		
16	9.380E+01	1.895E-01	1.076E+01	9.988E+01	3.377E+00	5.049E-01	4.881E+00	5.272E+00	0.0	6.084E-01	5.880E+00		
17	9.380E+01	1.895E-01	1.076E+01	9.988E+01	3.377E+00	5.049E-01	4.881E+00	5.272E+00	0.0	6.084E-01	5.880E+00		
***** INITIAL PROFILE ( SETTLER ) *****		AQUEOUS PHASE						ORGANIC PHASE					
STAGE NO.	PHASE RATIO	TEMP. DEG C	URANIUM (G/L)	PB(IV) (G/L)	HNO3 (M)	Pb(IV) (G/L)	URANIUM (G/L)	Pb(IV) (G/L)	HNO3 (M)	Pb(IV) (G/L)	URANIUM (G/L)	Pb(IV) (G/L)	HNO3 (M)
1	6.125E-01	3.000E+01	4.673E-15	1.648E-14	3.032E+00	0.0	1.115E-13	1.781E-13	6.500E-01	0.0	0.0	0.0	0.0
2	6.125E-01	3.000E+01	1.865E-13	3.064E-13	4.095E+00	0.0	5.669E-12	4.824E-12	8.197E-01	0.0	0.0	0.0	0.0
3	6.125E-01	3.000E+01	9.253E-12	7.872E-12	4.374E+00	0.0	2.903E-10	1.330E-10	8.553E-01	0.0	0.0	0.0	0.0
4	6.125E-01	3.000E+01	4.736E-10	2.166E-10	4.434E+00	0.0	1.494E-08	3.710E-09	8.624E-01	0.0	0.0	0.0	0.0
5	6.125E-01	3.000E+01	1.256E-08	6.047E-09	4.448E+00	0.0	7.699E-07	1.039E-07	8.640E-01	0.0	0.0	0.0	0.0
6	6.125E-01	3.000E+01	1.256E-06	1.694E-07	4.452E+00	0.0	3.969E-05	2.912E-06	8.644E-01	0.0	0.0	0.0	0.0
7	6.125E-01	3.000E+01	6.478E-05	4.749E-05	4.454E+00	0.0	2.033E-03	8.117E-05	8.646E-01	0.0	0.0	0.0	0.0
8	6.125E-01	3.000E+01	3.319E-03	1.324E-04	4.451E+00	0.0	7.986E-02	1.136E-03	7.426E-01	0.0	0.0	0.0	0.0
9	6.125E-01	3.000E+01	1.304E-01	2.833E-03	4.258E+00	0.0	4.010E-01	4.791E-03	2.360E-01	0.0	0.0	0.0	0.0
10	8.300E-01	3.000E+01	1.351E-01	3.355E-03	3.298E+00	0.0	4.017E-01	4.827E-03	1.975E-01	0.0	0.0	0.0	0.0
11	8.300E-01	3.000E+01	1.385E-01	3.524E-03	3.109E+00	0.0	4.019E-01	4.835E-03	1.879E-01	0.0	0.0	0.0	0.0
12	8.300E-01	3.000E+01	1.390E-01	3.751E-03	3.074E+00	0.0	4.017E-01	4.835E-03	1.871E-01	0.0	0.0	0.0	0.0
13	8.300E-01	3.000E+01	1.383E-01	3.526E-03	3.074E+00	0.0	4.014E-01	4.819E-03	1.867E-01	0.0	0.0	0.0	0.0
14	8.300E-01	3.000E+01	1.366E-01	3.467E-03	3.084E+00	0.0	4.006E-01	4.792E-03	1.882E-01	0.0	0.0	0.0	0.0
15	8.300E-01	3.000E+01	1.330E-01	3.346E-03	3.095E+00	0.0	3.987E-01	4.730E-03	1.910E-01	0.0	0.0	0.0	0.0
16	8.300E-01	3.000E+01	1.239E-01	3.157E-03	3.111E+00	0.0	3.935E-01	4.575E-03	1.981E-01	0.0	0.0	0.0	0.0
17	8.300E-01	3.000E+01	9.755E-02	2.287E-03	3.148E+00	0.0	3.749E-01	4.133E-03	2.228E-01	0.0	0.0	0.0	0.0

Table 7.4 Continued

***** 312 TIME INTERVAL *****												
***** EXTRATION PROFILE OF THE SETTLER (CONCENTRATION) *****												
STAGE NO.	TEMP. DEG C	AQUEOUS PHASE					ORGANIC PHASE					HNO3 FLOW OUT (M)
		URANIUM (G/L)	PLUTONIUM (G/L)	PU(IV) (G/L)	PU(III) (G/L)	HNO3 (M)	FLOW OUT OF STAGE	URANIUM (G/L)	PLUTONIUM (G/L)	HNO3 (M)	FLOW OUT OF STAGE	
1	3.000E+01	9.754E-13	2.998E-12	2.998E-12	0.0	2.814E+00	2.120E+02	2.484E-11	3.468E-11	6.382E-01	3.270E+02	
2	3.000E+01	3.812E-11	5.477E-11	5.477E-11	0.0	3.688E+00	2.184E+02	1.261E-09	9.424E-10	7.983E-01	3.290E+02	
3	3.000E+01	1.885E-09	1.411E-09	1.411E-09	0.0	3.905E+00	2.201E+02	6.467E-08	2.615E-08	8.309E-01	3.294E+02	
4	3.000E+01	9.662E-08	3.906E-08	3.906E-08	0.0	3.950E+00	2.204E+02	3.336E-06	7.347E-07	8.373E-01	3.295E+02	
5	3.000E+01	4.984E-06	1.097E-06	1.097E-06	0.0	3.959E+00	2.205E+02	1.723E-04	2.070E-05	8.385E-01	3.295E+02	
6	3.000E+01	2.574E-04	3.092E-05	3.092E-05	0.0	3.961E+00	2.205E+02	8.896E-03	5.834E-04	8.387E-01	3.295E+02	
7	3.000E+01	1.329E-02	8.715E-04	8.715E-04	0.0	3.962E+00	2.205E+02	4.566E-01	1.635E-02	8.358E-01	3.295E+02	
8	3.000E+01	6.822E-01	2.442E-02	2.442E-02	0.0	3.957E+00	2.205E+02	1.800E+01	3.519E-01	7.208E-01	3.300E+02	
9	3.000E+01	2.686E+01	5.249E-01	5.249E-01	0.0	3.776E+00	2.212E+02	9.089E+01	9.789E-01	2.287E-01	3.318E+02	
10	3.000E+01	2.837E+01	6.312E-01	6.312E-01	0.0	3.031E+00	6.673E+01	9.116E+01	9.869E-01	1.936E-01	3.313E+02	
11	3.000E+01	2.924E+01	6.669E-01	6.669E-01	0.0	2.873E+00	6.639E+01	9.124E+01	9.894E-01	1.843E-01	3.312E+02	
12	3.000E+01	2.949E+01	6.768E-01	6.768E-01	0.0	2.832E+00	6.631E+01	9.126E+01	9.900E-01	1.819E-01	3.312E+02	
13	3.000E+01	2.950E+01	6.777E-01	6.777E-01	0.0	2.823E+00	6.629E+01	9.124E+01	9.894E-01	1.815E-01	3.312E+02	
14	3.000E+01	2.930E+01	6.722E-01	6.722E-01	0.0	2.822E+00	6.628E+01	9.112E+01	9.862E-01	1.820E-01	3.312E+02	
15	3.000E+01	2.868E+01	6.539E-01	6.539E-01	0.0	2.826E+00	6.627E+01	9.076E+01	9.764E-01	1.840E-01	3.312E+02	
16	3.000E+01	2.682E+01	6.012E-01	6.012E-01	0.0	2.838E+00	6.626E+01	8.965E+01	9.473E-01	1.904E-01	3.311E+02	
17	3.000E+01	2.115E+01	4.516E-01	4.516E-01	0.0	2.873E+00	6.620E+01	8.547E+01	8.582E-01	2.141E-01	3.309E+02	
***** EXTRATION PROFILE (INVENTORY) *****												
STAGE NO.	TEMP. DEG C	AQUEOUS PHASE					ORGANIC PHASE					HNO3 FLOW OUT (M)
		URANIUM (G)	PLUTONIUM (G)	HNO3 (M)	FLOW OUT OF STAGE	URANIUM (G)	PLUTONIUM (G)	HNO3 (M)	FLOW OUT OF STAGE	URANIUM (G)	PLUTONIUM (G)	
1	3.000E+01	3.005E-11	9.234E-11	2.814E+00	2.120E+02	1.180E-09	1.647E-09	6.382E-01	3.270E+02			
2	3.000E+01	1.210E-09	1.738E-09	3.688E+00	2.184E+02	6.026E-08	4.504E-08	7.983E-01	3.290E+02			
3	3.000E+01	6.027E-08	4.510E-08	3.905E+00	2.201E+02	3.095E-06	1.252E-06	8.309E-01	3.294E+02			
4	3.000E+01	3.094E-06	1.251E-06	3.950E+00	2.204E+02	1.597E-04	3.517E-05	8.373E-01	3.295E+02			
5	3.000E+01	1.596E-04	3.515E-05	3.959E+00	2.205E+02	8.246E-03	9.909E-04	8.385E-01	3.295E+02			
6	3.000E+01	8.244E-03	9.905E-04	3.961E+00	2.205E+02	4.259E-01	2.793E-02	8.387E-01	3.295E+02			
7	3.000E+01	4.258E-01	2.792E-02	3.962E+00	2.205E+02	2.186E+01	7.826E-01	8.358E-01	3.295E+02			
8	3.000E+01	2.186E+01	7.824E-01	3.957E+00	2.205E+02	8.632E+02	1.687E+01	7.208E-01	3.300E+02			
9	3.000E+01	8.631E+02	1.687E+01	3.776E+00	2.212E+02	4.381E+03	4.718E+01	2.287E-01	3.318E+02			
10	3.000E+01	1.344E+03	2.990E+01	3.031E+00	6.673E+01	4.894E+03	5.299E+01	1.936E-01	3.313E+02			
11	3.000E+01	1.378E+03	3.143E+01	2.873E+00	6.639E+01	4.897E+03	5.310E+01	1.843E-01	3.312E+02			
12	3.000E+01	1.388E+03	3.186E+01	2.832E+00	6.631E+01	4.898E+03	5.313E+01	1.819E-01	3.312E+02			
13	3.000E+01	1.388E+03	3.189E+01	2.823E+00	6.629E+01	4.896E+03	5.309E+01	1.815E-01	3.312E+02			
14	3.000E+01	1.379E+03	3.163E+01	2.822E+00	6.628E+01	4.890E+03	5.292E+01	1.820E-01	3.312E+02			
15	3.000E+01	1.349E+03	3.076E+01	2.826E+00	6.627E+01	4.870E+03	5.239E+01	1.840E-01	3.312E+02			
16	3.000E+01	1.262E+03	2.828E+01	2.838E+00	6.626E+01	4.810E+03	5.082E+01	1.904E-01	3.311E+02			
17	3.000E+01	9.942E+02	2.122E+01	2.873E+00	6.620E+01	4.583E+03	4.602E+01	2.141E-01	3.309E+02			
***** HOLD UP *****												
AQUEOUS				ORGANIC			TOTAL			MATERIAL BALANCE		
(G)				(G)			(G)			IN		
URANIUM				1.28506E+04			4.98131E+04			4.71000E+02		
PLUTONIUM				2.87805E+02			5.42852E+02			4.70999E+00		
HNO3							8.30657E+02			4.73347E+00		
SETTLER ( U )				1.13666E+04			4.40046E+04			4.71419E+02		
( PU )				2.54640E+02			4.79335E+02			7.33975E+02		
MIXER ( U )				1.48399E+03			5.80856E+03			7.29255E+03		
( PU )				3.31656E+01			6.35172E+01			9.66828E+01		
***** ( 99.50 ) PERCENT OF STEADY STATE AFTER TIME ( 5.20 ) HOUR *****												

Table 7.5 Output list of Sample case No. 4 calculated by  
SEPHIS-J Programme

CARD NO.	1.....	2.....	3.....	4.....	5.....	6.....	7.....	8								
1	*** EXTRACTION-I *** (PU FEED 1.5 G/L)							1								
2	17	6	0	1	1	1	3	1	0	-1	20	0	0	0	2	
3	0.30		0.0	0.995		1.0		10.0		0.0	0.0		0.0		3	
4	-1	0	319.0	30.0	0.0	0.0										5
5	9	0	157.0	30.0	180.0	1.5		3.0								
6	17	0	66.0	30.0	0.0	0.0		3.0								
7	9		8													
8	0.00		0.83													
9	17															
10	12.0															
11	9		8													
12	74.1		93.8													0
12	FINE															
	.....	1.....	2.....	3.....	4.....	5.....	6.....	7.....	8							

\*\*\* EXTRACTION-I \*\*\* (PU FEED 1.5 G/L)

MST	MAX. NUMBER OF STAGES	17
MSO	MAX. NUMBER OF SOLUTES	6
IEF	MASS TRANSFER EFFICIENCY OPTION(0/1/2/-N=EFO/SIMPLE/DETAIL/ORGANIC)	0
IRA	PHASE RATIO READ OPTION(0/1=NO/YES)	1
IVH	MIXER VOLUME READ OPTION(0/1=NO/YES)	1
IVO	SETTLER VOLUME READ OPTION(0/1=NO/YES)	1
NF	NUMBER OF FEEDING STREAM (INCLUDING OUTGOING FLOW)	3
IS	INITIAL SET OPTION OF EACH STAGE(0/1/2=SET/PREVIOUS DATA/READ)	1
IRED	REDUCTANT OPTION(0/1/2/3=NO/FE++/URANOUS(1)/HAN/URANOUS(DETAIL))	0
IPR	PRINT OUT OPTION(0/1/2/3=NO/SIMPLE/DETAIL/ALL)	-1
IX	DATA OUT UNIT(0/N=NO/UNIT NO.)	20
ISTP	STAGE NUMBER OF PREVIOUS EXT.(FEEDING STREAM IN THIS EXT.)	0
MSTP	MAX. NUMBER OF STAGES OF PREVIOUS EXT.(USING IF ISTP.NE.0)	0
NFR	NUMBER OF INPUT STREAM FLUCTUATION CARDS	0
NSEED	SEED OF RANDOM NUMBER	0
TBP	VOLUME FRACTION OF DRY TBP	0.3000
EFO	MASS TRANSFER EFFICIENCY	0.0
RAT	STEADY STATE(RATIO OR NUMBER OF TIME INTERVAL)	0.9950
DDT	CALCULATION TIME STEP(MIN)	1.0000
DTO	DISK OUT TIME STEP(MIN)	10.0000
PPU	PRODUCT PU CONCENTRATION(SURVEY CALC.)	0.0
PUI	PRODUCT U CONCENTRATION(SURVEY CALC.)	0.0
WPU	WASTE PU CONCENTRATION(SURVEY CALC.)	0.0
PUI	WASTE U CONCENTRATION(SURVEY CALC.)	0.0

\*\*\*\*\* FEED STREAM DATA ( AQUEOUS , ORGANIC ) \*\*\*\*\*

STAGE NO.	FLOW RATE (L/H)	TEMP. DEG C	URANIUM (G/L)	PLUTONIUM-4 (G/L)	HNO3 (M)	PLUTONIUM-3 (G/L)	REDUCTANT (G/L)
9	1.5700E+02	3.0000E+01	1.8000E+02	1.5000E+00	3.0000E+00	0.0	0.0
17	6.6000E+01	3.0000E+01	0.0	0.0	3.0000E+00	0.0	0.0
-----							
1	3.1900E+02	3.0000E+01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

\*\*\*\*\* TIME INTERVAL 8.716 ( MINUTES ) \*\*\*\*\*

Table 7.5 Continued

## STAGE FLOWS (SOLUTE-FREE VOLUMES):

STAGE NO.	PHASE RATIO	TEMP. DEG C	AQUEOUS PHASE			ORGANIC PHASE		
			URANIUM (G/L)	PU(IV) (G/L)	HNO3 (M)	URANIUM (G/L)	PU(IV) (G/L)	HNO3 (M)
<b>INITIAL PROFILE (SETTLER ) ****</b>								
1	6.126E-01	3.000E+01	4.485E-15	1.373E-14	3.056E+00	0.0	1.079E-13	1.500E-13
2	6.126E-01	3.000E+01	1.806E-13	2.584E-13	4.125E+00	0.0	5.510E-12	4.101E-12
3	6.126E-01	3.000E+01	8.998E-12	6.705E-12	4.401E+00	0.0	2.830E-10	1.140E-10
4	6.126E-01	3.000E+01	4.619E-10	4.159E+00	0.0	1.460E-08	3.202E-09	8.652E-01
5	6.126E-01	3.000E+01	2.383E-08	5.226E-09	4.470E+00	0.0	7.540E-07	9.022E-08
6	6.126E-01	3.000E+01	1.231E-06	1.473E-07	4.473E+00	0.0	3.894E-05	2.543E-06
7	6.126E-01	3.000E+01	6.357E-05	4.151E-06	4.473L+00	0.0	1.999E-03	7.125E-05
8	6.126E-01	3.000E+01	3.263E-03	1.163E-04	4.469E+00	0.0	7.892E-02	1.536E-03
9	6.126E-01	3.000E+01	1.288E-01	2.508E-03	4.277E+00	0.0	4.005E-01	4.296E-03
10	8.300E-01	3.000E+01	1.327E-01	2.940E-03	3.349E+00	0.0	4.012E-01	4.325E-03
11	8.300E-01	3.000E+01	1.361E-01	3.091E-03	3.157E+00	0.0	4.014E-01	4.335E-03
12	8.300E-01	3.000E+01	1.371E-01	3.133E-03	3.109E+00	0.0	4.015E-01	4.337E-03
13	8.300E-01	3.000E+01	1.374E-01	3.136E-03	3.097E+00	0.0	4.013E-01	4.334E-03
14	8.300E-01	3.000E+01	1.362E-01	3.110E-03	3.097E+00	0.0	4.008E-01	4.320E-03
15	8.300E-01	3.000E+01	1.332E-01	3.025E-03	3.101E+00	0.0	3.992E-01	4.277E-03
16	8.300E-01	3.000E+01	1.246E-01	2.781E-03	3.113E+00	0.0	3.943E-01	4.149E-03
17	8.300E-01	3.000E+01	9.819E-02	2.087E-03	3.148E+00	0.0	3.757E-01	2.222E-01

Table 7.5 Continued

EXTRACTION PROFILE OF THE SETTLER (CONCENTRATION)												
STAGE NO.	TEMP. DEG C	AQUEOUS PHASE					ORGANIC PHASE					
		URANIUM (G/L)	PLUTONIUM (G/L)	PU(IV) (G/L)	PU(III) (G/L)	HNO3 (M)	FLOW OUT OF STAGE	URANIUM (G/L)	PLUTONIUM (G/L)	HNO3 (M)	FLOW OUT OF STAGE	
1	3.000E+01	9.552E-13	2.434E-12	2.434E-12	0.0	2.817E+00	2.121E+02	2.435E-11	2.820E-11	6.387E-01	3.270E+02	
2	3.000E+01	3.737E-11	4.455E-11	4.455E-11	0.0	3.690E+00	2.185E+02	1.237E-09	7.672E-10	7.987E-01	3.290E+02	
3	3.000E+01	1.849E-09	1.149E-09	1.149E-09	0.0	3.908E+00	2.201E+02	6.346E-08	2.132E-08	8.313E-01	3.294E+02	
4	3.000E+01	9.480E-08	3.184E-08	3.184E-08	0.0	3.952E+00	2.205E+02	3.274E-06	5.993E-07	8.375E-01	3.295E+02	
5	3.000E+01	4.891E-06	8.952E-07	8.952E-07	0.0	3.961E+00	2.205E+02	1.691E-04	1.689E-05	8.387E-01	3.295E+02	
6	3.000E+01	2.526E-04	2.524E-05	2.524E-05	0.0	3.962E+00	2.206E+02	8.733E-03	4.764E-04	8.389E-01	3.295E+02	
7	3.000E+01	1.305E-02	7.117E-04	7.117E-04	0.0	3.962E+00	2.206E+02	4.484E-01	1.335E-02	8.360E-01	3.295E+02	
8	3.000E+01	6.698E-01	1.995E-02	1.995E-02	0.0	3.958E+00	2.206E+02	1.776E+01	2.889E-01	7.228E-01	3.300E+02	
9	3.000E+01	2.650E+01	4.310E-01	4.310E-01	0.0	3.779E+00	2.212E+02	9.081E+01	8.140E-01	2.305E-01	3.317E+02	
10	3.000E+01	2.796E+01	5.172E-01	5.172E-01	0.0	3.042E+00	6.674E+01	9.108E+01	8.205E-01	1.955E-01	3.313E+02	
11	3.000E+01	2.882E+01	5.464E-01	5.464E-01	0.0	2.883E+00	6.640E+01	9.116E+01	8.225E-01	1.862E-01	3.312E+02	
12	3.000E+01	2.908E+01	5.550E-01	5.550E-01	0.0	2.840E+00	6.631E+01	9.118E+01	8.230E-01	1.836E-01	3.312E+02	
13	3.000E+01	2.911E+01	5.563E-01	5.563E-01	0.0	2.829E+00	6.628E+01	9.116E+01	8.226E-01	1.830E-01	3.312E+02	
14	3.000E+01	2.894E+01	5.526E-01	5.526E-01	0.0	2.827E+00	6.628E+01	9.105E+01	8.202E-01	1.834E-01	3.312E+02	
15	3.000E+01	2.836E+01	5.385E-01	5.385E-01	0.0	2.830E+00	6.627E+01	9.071E+01	8.124E-01	1.853E-01	3.311E+02	
16	3.000E+01	2.659E+01	4.964E-01	4.964E-01	0.0	2.840E+00	6.625E+01	8.962E+01	7.888E-01	1.915E-01	3.311E+02	
17	3.000E+01	2.103E+01	3.742E-01	3.742E-01	0.0	2.874E+00	6.620E+01	8.547E+01	7.152E-01	2.149E-01	3.309E+02	
EXTRACTION PROFILE (INVENTORY)												
STAGE NO.	TEMP. DEG C	AQUEOUS PHASE					ORGANIC PHASE					
		URANIUM (G)	PLUTONIUM (G)	HNO3 (M)	FLOW OUT OF STAGE	URANIUM (G)	PLUTONIUM (G)	HNO3 (M)	FLOW OUT OF STAGE			
1	3.000E+01	2.943E-11	7.499E-11	2.817E+00	2.121E+02	1.157E-09	1.339E-09	6.387E-01	3.270E+02			
2	3.000E+01	1.186E-09	1.414E-09	3.690E+00	2.185E+02	5.911E-08	3.667E-08	7.987E-01	3.290E+02			
3	3.000E+01	5.913E-08	3.674E-08	3.908E+00	2.201E+02	3.037E-06	1.020E-06	8.313E-01	3.294E+02			
4	3.000E+01	3.036E-06	1.020E-06	3.952E+00	2.205E+02	1.567E-04	2.869E-05	8.375E-01	3.295E+02			
5	3.000E+01	1.567E-04	2.868E-05	3.961E+00	2.205E+02	8.094E-03	8.087E-04	8.387E-01	3.295E+02			
6	3.000E+01	8.093E-03	8.086E-04	3.962E+00	2.206E+02	4.181E-01	2.281E-02	8.389E-01	3.295E+02			
7	3.000E+01	4.180E-01	2.280E-02	3.962E+00	2.206E+02	2.146E+01	6.393E-01	8.360E-01	3.295E+02			
8	3.000E+01	2.146E+01	6.392E-01	3.958E+00	2.206E+02	8.516E+02	1.385E+01	7.228E-01	3.300E+02			
9	3.000E+01	8.515E+02	1.385E+01	3.779E+00	2.212E+02	4.376E+03	3.923E+01	2.305E-01	3.317E+02			
10	3.000E+01	1.325E+03	2.450E+01	3.042E+00	6.674E+01	4.890E+03	4.405E+01	1.955E-01	3.313E+02			
11	3.000E+01	1.358E+03	2.576E+01	2.883E+00	6.640E+01	4.892E+03	4.414E+01	1.862E-01	3.312E+02			
12	3.000E+01	1.369E+03	2.613E+01	2.840E+00	6.631E+01	4.893E+03	4.416E+01	1.836E-01	3.312E+02			
13	3.000E+01	1.370E+03	2.618E+01	2.829E+00	6.628E+01	4.891E+03	4.414E+01	1.830E-01	3.312E+02			
14	3.000E+01	1.362E+03	2.600E+01	2.827E+00	6.628E+01	4.886E+03	4.401E+01	1.834E-01	3.312E+02			
15	3.000E+01	1.334E+03	2.533E+01	2.830E+00	6.627E+01	4.867E+03	4.359E+01	1.853E-01	3.311E+02			
16	3.000E+01	1.250E+03	2.335E+01	2.840E+00	6.625E+01	4.808E+03	4.232E+01	1.915E-01	3.311E+02			
17	3.000E+01	9.883E+02	1.758E+01	2.874E+00	6.620E+01	4.583E+03	3.835E+01	2.149E-01	3.309E+02			
HOLD UP												
AQUEOUS					TOTAL			IN		OUT		RELATIVE ERROR
URANIUM			(G)		(G)		(G)					
	1.26956E+04		4.97629E+04		6.24585E+04		4.71000E+02		4.71404E+02		8.57781E-04	
PLUTONIUM			(G)		(G)		(G)					
	2.36604E+02		4.51310E+02		6.87914E+02		3.92500E+00		3.94444E+00		4.95236E-03	
HNO3			(G)		(G)		(G)					
							1.10615E+01		1.10538E+01		6.93433E-04	
SETTLER ( U )			1.12296E+04		4.39606E+04		5.51901E+04					
( PU )			2.09339E+02		3.98510E+02		6.07848E+02					
MIXER ( U )			1.46607E+03		5.80237E+03		7.26843E+03					
( PU )			2.72653E+01		5.28000E+01		8.00654E+01					

\*\*\*\*\* ( 99.50 ) PERCENT OF STEADY STATE AFTER TIME ( 5.43 ) HOUR \*\*\*\*\*

Table 7.6 Output list of Sample case No 5 calculated by SEPHIS-J Programme

CARD NO . . . . . 1 . . . . . 2 . . . . . 3 . . . . . 4 . . . . . 5 . . . . . 6 . . . . . 7 . . . . . 8

1	*** EXTRACTION-I *** (PU FEED 0.0 G/L )	1
2	17 6 0 1 1 1 3 1 0 -1 20 0 0 0 0	2
3	0.30 0.0 0.995 1.0 10.0 0.0 0.0 0.0	3
4	-1 0 319.0 30.0 0.0 0.0	
5	9 0 157.0 30.0 180.0 0.0 3.0	5
6	17 0 66.0 30.0 0.0 0.0 3.0	
7	9 8	
8	0.00 0.83	
9	17	
10	12.0	
11	9 8	
12	74.1 93.8	
12	FINE	0

. . . . . 1 . . . . . 2 . . . . . 3 . . . . . 4 . . . . . 5 . . . . . 6 . . . . . 7 . . . . . 8

## \*\*\* EXTRACTION-I \*\*\* (PU FEED 0.0 G/L )

MST	MAX. NUMBER OF STAGES	17
MSO	MAX. NUMBER OF SOLUTES	6
IEF	MASS TRANSFER EFFICIENCY OPTION(0/1/2/-N=EFO/SIMPLE/DETAIL/ORGANIC)	0
IRA	PHASE RATIO READ OPTION(0/1=NO/YES)	1
IVM	MIXER VOLUME READ OPTION(0/1=NO/YES)	1
IVO	SETTLER VOLUME READ OPTION(0/1=NO/YES)	1
NF	NUMBER OF FEEDING STREAM(INCLUDING OUTGOING FLOW)	3
IS	INITIAL SET OPTION OF EACH STAGE(0/1/2=SET/PREVIOUS DATA/READ)	1
IRED	REDUCTANT OPTION(0/1/2/3/4=NO/FE+++/URAHOUS(1)/HAN/URANOUS(DETAIL))	0
IPR	PRINT OUT OPTION(0/1/2/3=NO/SIMPLE/DETAIL/ALL)	-1
IX	DATA OUT UNIT(0/N=NO/UNIT NO.)	20
ISTP	STAGE NUMBER OF PREVIOUS EXT.(FEEDING STREAM IN THIS EXT.)	0
MSTP	MAX. NUMBER OF STAGES OF PREVIOUS EXT.(USING IF ISTP.NE.0)	0
NFR	NUMBER OF INPUT STREAM FLUCTUATION CARDS	0
NSEED	SEED OF RANDOM NUMBER	0
TBP	VOLUME FRACTION OF DRY TBP	0.3000
EFO	MASS TRANSFER EFFICIENCY	0.0
RAT	STEADY STATE(RATIO OR NUMBER OF TIME INTERVAL)	0.9950
DDT	CALCULATION TIME STEP(MIN)	1.0000
DTO	DISK OUT TIME STEP(MIN)	10.0000
PPU	PRODUCT PU CONCENTRATION(SURVEY CALC.)	0.0
PUI	PRODUCT U CONCENTRATION(SURVEY CALC.)	0.0
WPU	WASTE PU CONCENTRATION(SURVEY CALC.)	0.0
PUI	WASTE U CONCENTRATION(SURVEY CALC.)	0.0

## \*\*\*\*\* FEED STREAM DATA ( AQUEOUS , ORGANIC ) \*\*\*\*\*

STAGE NO.	FLOW RATE (L/H)	TEMP. DEG C	URANIUM (G/L)	PLUTONIUM-4 (G/L)	HNO3 (M)	PLUTONIUM-3 (G/L)	REDUCTANT (G/L)
9	1.5700E+02	3.0000E+01	1.8000E+02	0.0	3.0000E+00	0.0	0.0
17	6.6000E+01	3.0000E+01	0.0	0.0	3.0000E+00	0.0	0.0
-----							
1	3.1900E+02	3.0000E+01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

## \*\*\*\*\* TIME INTERVAL 8.714 ( MINUTES ) \*\*\*\*\*

Table 7.6 Continued

STAGE FLOWS (SOLUTE-FREE VOLUMES):

STAGE NO.	OVERALL FLOW		AQUEOUS PHASE		ORGANIC PHASE		TOTAL FLOW
	VOL.	RATIO	FLOW OUT	RECYCLE 1 (P-RATIO)	RECYCLE 2 (P-RATIO)	RECYLE 1 (P-RATIO)	
1	7.410E+01	6.130E-01	8.504E+00	3.232E+00	0.0	3.232E+00	5.272E+00
2	7.410E+01	6.130E-01	8.504E+00	3.232E+00	0.0	3.232E+00	5.272E+00
3	7.410E+01	6.130E-01	8.504E+00	3.232E+00	0.0	3.232E+00	5.272E+00
4	7.410E+01	6.130E-01	8.504E+00	3.232E+00	0.0	3.232E+00	5.272E+00
5	7.410E+01	6.130E-01	8.504E+00	3.232E+00	0.0	3.232E+00	5.272E+00
6	7.410E+01	6.130E-01	8.504E+00	3.232E+00	0.0	3.232E+00	5.272E+00
7	7.410E+01	6.130E-01	8.504E+00	3.232E+00	0.0	3.232E+00	5.272E+00
8	7.410E+01	6.130E-01	8.504E+00	3.232E+00	0.0	3.232E+00	5.272E+00
9	7.410E+01	6.130E-01	8.504E+00	3.232E+00	0.0	3.232E+00	5.272E+00
10	9.380E+01	1.895E-01	1.076E+01	9.988E-01	3.377E+00	5.064E-01	4.882E+00
11	9.380E+01	1.895E-01	1.076E+01	9.988E-01	3.377E+00	5.064E-01	4.882E+00
12	9.380E+01	1.895E-01	1.076E+01	9.988E-01	3.377E+00	5.064E-01	4.882E+00
13	9.380E+01	1.895E-01	1.076E+01	9.988E-01	3.377E+00	5.064E-01	4.882E+00
14	9.380E+01	1.895E-01	1.076E+01	9.988E-01	3.377E+00	5.064E-01	4.882E+00
15	9.380E+01	1.895E-01	1.076E+01	9.988E-01	3.377E+00	5.064E-01	4.882E+00
16	9.380E+01	1.895E-01	1.076E+01	9.988E-01	3.377E+00	5.064E-01	4.882E+00
17	9.380E+01	1.895E-01	1.076E+01	9.988E-01	3.377E+00	5.064E-01	4.882E+00
***** INITIAL PROFILE ( SETTLER ) *****							
STAGE NO.	PHASE RATIO	TEMP. DEG C	URANIUM PU(IV) (G/L)				
1	6.130E-01	3.000E+01	4.393E-15	1.115E-14	3.059E+00	0.0	1.058E-13
2	6.130E-01	3.000E+01	1.170E-13	2.102E-13	4.128E+00	0.0	5.405E-12
3	6.130E-01	3.000E+01	8.826E-12	5.461E-12	4.404E+00	0.0	2.777E-10
4	6.130E-01	3.000E+01	4.532E-10	1.516E-10	4.461E+00	0.0	1.433E-08
5	6.130E-01	3.000E+01	2.335E-08	4.263E-09	4.472E+00	0.0	7.404E-07
6	6.130E-01	3.000E+01	1.208E-06	1.202E-07	4.474E+00	0.0	3.823E-05
7	6.130E-01	3.000E+01	6.240E-05	3.389E-06	4.475E+00	0.0	1.963E-03
8	6.130E-01	3.000E+01	3.204E-03	9.502E-05	4.470E+00	0.0	7.787E-02
9	6.130E-01	3.000E+01	1.224E-04	2.059E-03	4.284E+00	0.0	4.002E-01
10	8.390E-01	3.000E+01	1.308E-01	2.410E-03	3.361E+00	0.0	4.098E-01
11	8.390E-01	3.000E+01	1.341E-01	2.533E-03	3.168E+00	0.0	4.010E-01
12	8.300E-01	3.000E+01	1.352E-01	2.569E-03	3.117E+00	0.0	4.011E-01
13	8.300E-01	3.000E+01	1.335E-01	2.575E-03	3.104E+00	0.0	4.010E-01
14	8.300E-01	3.000E+01	1.342E-01	2.557E-03	3.101E+00	0.0	4.005E-01
15	8.300E-01	3.000E+01	1.313E-01	2.492E-03	3.104E+00	0.0	3.990E-01
16	8.300E-01	3.000E+01	1.235E-01	2.296E-03	3.115E+00	0.0	3.942E-01
17	8.300E-01	3.000E+01	9.761E-02	1.729E-03	3.149E+00	0.0	3.757E-01

Table 7.6 Continued

EXTRACTION PROFILE OF THE SETTLER (CONCENTRATION)											
STAGE NO.	TEMP. DEG C	AQUEOUS PHASE				HNO3 (M)	FLOW OUT OF STAGE	ORGANIC PHASE			
		URANIUM (G/L)	PLUTONIUM (G/L)	PU(IV) (G/L)	PU(III) (G/L)			URANIUM (G/L)	PLUTONIUM (G/L)	HNO3 (M)	FLOW OUT OF STAGE
1	3.000E+01	8.931E-13	3.337E-17	3.337E-17	0.0	2.810E+00	2.122E+02	2.271E-11	3.851E-16	6.373E-01	3.269E+02
2	3.000E+01	3.483E-11	4.374E-16	4.374E-16	0.0	3.681E+00	2.186E+02	1.151E-09	7.509E-15	7.973E-01	3.290E+02
3	3.000E+01	1.720E-09	7.819E-15	7.819E-15	0.0	3.899E+00	2.202E+02	5.894E-08	1.447E-13	8.300E-01	3.294E+02
4	3.000E+01	8.802E-08	1.503E-13	1.503E-13	0.0	3.943E+00	2.206E+02	3.036E-06	2.821E-12	8.363E-01	3.295E+02
5	3.000E+01	4.553E-06	2.937E-12	2.937E-12	0.0	3.952E+00	2.206E+02	1.565E-04	5.526E-11	8.375E-01	3.295E+02
6	3.000E+01	2.338E-04	5.765E-11	5.765E-11	0.0	3.953E+00	2.206E+02	8.073E-03	1.085E-09	8.377E-01	3.295E+02
7	3.000E+01	1.206E-02	1.134E-09	1.134E-09	0.0	3.954E+00	2.206E+02	4.141E-01	2.123E-08	8.351E-01	3.295E+02
8	3.000E+01	6.183E-01	2.221E-08	2.221E-08	0.0	3.950E+00	2.207E+02	1.673E+01	3.277E-07	7.303E-01	3.300E+02
9	3.000E+01	2.495E+01	3.396E-07	3.396E-07	0.0	3.785E+00	2.212E+02	9.052E+01	6.773E-07	2.380E-01	3.317E+02
10	3.000E+01	2.638E+01	1.647E-06	1.647E-06	0.0	3.061E+00	6.673E+01	9.078E+01	2.761E-06	2.026E-01	3.312E+02
11	3.000E+01	2.723E+01	5.858E-06	5.858E-06	0.0	2.900E+00	6.638E+01	9.087E+01	9.298E-06	1.928E-01	3.311E+02
12	3.000E+01	2.752E+01	1.749E-05	1.749E-05	0.0	2.855E+00	6.629E+01	9.091E+01	2.730E-05	1.899E-01	3.311E+02
13	3.000E+01	2.760E+01	4.607E-05	4.607E-05	0.0	2.842E+00	6.626E+01	9.092E+01	7.157E-05	1.891E-01	3.311E+02
14	3.000E+01	2.754E+01	1.082E-04	1.082E-04	0.0	2.839E+00	6.625E+01	9.086E+01	1.684E-04	1.892E-01	3.311E+02
15	3.000E+01	2.713E+01	2.231E-04	2.231E-04	0.0	2.841E+00	6.625E+01	9.060E+01	3.512E-04	1.905E-01	3.310E+02
16	3.000E+01	2.565E+01	3.814E-04	3.814E-04	0.0	2.849E+00	6.623E+01	8.962E+01	6.276E-04	1.960E-01	3.310E+02
17	3.000E+01	2.054E+01	4.510E-04	4.510E-04	0.0	2.879E+00	6.619E+01	8.558E+01	8.832E-04	2.183E-01	3.309E+02
EXTRACTION PROFILE (INVENTORY)											
STAGE NO.	TEMP. DEG C	AQUEOUS PHASE				HNO3 (M)	FLOW OUT OF STAGE	ORGANIC PHASE			
		URANIUM (G)	PLUTONIUM (G)	HNO3 (M)	FLOW OUT OF STAGE			URANIUM (G)	PLUTONIUM (G)	HNO3 (M)	FLOW OUT OF STAGE
1	3.000E+01	2.752E-11	1.028E-15	2.810E+00	2.122E+02	1.078E-09	1.829E-14	6.373E-01	3.269E+02		
2	3.000E+01	1.105E-09	1.388E-14	3.681E+00	2.186E+02	5.498E-08	3.588E-13	7.973E-01	3.290E+02		
3	3.000E+01	5.500E-08	2.501E-13	3.899E+00	2.202E+02	2.820E-06	6.921E-12	8.300E-01	3.294E+02		
4	3.000E+01	2.819E-06	4.814E-12	3.943E+00	2.206E+02	1.453E-04	1.350E-10	8.363E-01	3.295E+02		
5	3.000E+01	1.453E-04	9.410E-11	3.952E+00	2.206E+02	7.491E-03	2.645E-09	8.375E-01	3.295E+02		
6	3.000E+01	7.490E-03	1.847E-09	3.953E+00	2.206E+02	3.863E-01	5.194E-08	8.377E-01	3.295E+02		
7	3.000E+01	3.863E-01	3.634E-08	3.954E+00	2.206E+02	1.982E+01	1.016E-06	8.351E-01	3.295E+02		
8	3.000E+01	1.981E+01	7.118E-07	3.950E+00	2.207E+02	8.017E+02	1.570E-05	7.303E-01	3.300E+02		
9	3.000E+01	8.016E+02	1.091E-05	3.785E+00	2.212E+02	4.360E+03	3.263E-05	2.380E-01	3.317E+02		
10	3.000E+01	1.250E+03	7.803E-05	3.061E+00	6.673E+01	4.872E+03	1.482E-04	2.026E-01	3.312E+02		
11	3.000E+01	1.283E+03	2.760E-04	2.900E+00	6.638E+01	4.876E+03	4.989E-04	1.928E-01	3.311E+02		
12	3.000E+01	1.295E+03	8.229E-04	2.855E+00	6.629E+01	4.877E+03	1.465E-03	1.899E-01	3.311E+02		
13	3.000E+01	1.298E+03	2.167E-03	2.842E+00	6.626E+01	4.877E+03	3.840E-03	1.891E-01	3.311E+02		
14	3.000E+01	1.295E+03	5.090E-03	2.839E+00	6.625E+01	4.874E+03	9.032E-03	1.892E-01	3.311E+02		
15	3.000E+01	1.276E+03	1.049E-02	2.841E+00	6.625E+01	4.860E+03	1.884E-02	1.905E-01	3.310E+02		
16	3.000E+01	1.206E+03	1.793E-02	2.849E+00	6.623E+01	4.807E+03	3.366E-02	1.960E-01	3.310E+02		
17	3.000E+01	9.652E+02	2.119E-02	2.879E+00	6.619E+01	4.588E+03	4.735E-02	2.183E-01	3.309E+02		
HOLD UP											
AQUEOUS				ORGANIC		TOTAL	IN	OUT	RELATIVE ERROR		
URANIUM		1.20853E+04		4.95951E+04		6.16804E+04	4.71000E+02	4.71928E+02	1.97145E-03		
PLUTONIUM		6.38406E-02		1.26336E-01		1.90177E-01	0.0	4.87007E-03	4.87007E-03		
HNO3							1.10615E+01	1.10526E+01	8.07151E-04		
SETTLER ( U )		1.06903E+04		4.38140E+04		5.45043E+04					
( PU )		5.80589E-02		1.14883E-01		1.72942E-01					
MIXER ( U )		1.39504E+03		5.78107E+03		7.17612E+03					
( PU )		5.78181E-03		1.14531E-02		1.72349E-02					
MATERIAL BALANCE											
( 99.51 ) PERCENT OF STEADY STATE AFTER TIME ( 6.73 ) HOUR											

Table 7.7 Output list of Sample case No.6 calculated by  
SEPHIS-J Programme

CARD NO	.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8
1	*** EXTRACTION-I *** (U FEED 0.0 G/L)
2	17 6 0 1 1 1 3 1 0 -1 20 0 0 0
3	0.30 0.0 0.995 1.0 10.0 0.0 0.0
4	-1 0 319.0 30.0 0.0 0.0 0.0
5	9 0 157.0 30.0 0.0 0.0 3.0
6	17 0 66.0 30.0 0.0 0.0 3.0
7	9 8
8	0.00 0.83
9	17
10	12.0
11	9 8
12	74.1 93.8
12	FINE 0
	.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8

\*\*\* EXTRACTION-I \*\*\* (U FEED 0.0 G/L)

MST	MAX. NUMBER OF STAGES	17
MSO	MAX. NUMBER OF SOLUTES	6
IEF	MASS TRANSFER EFFICIENCY OPTION(0/1/2/-N=EFO/SIMPLE/DETAIL/ORGANIC)	0
IRA	PHASE RATIO READ OPTION(0/1=NO/YES)	0
IVM	MIXER VOLUME READ OPTION(0/1=NO/YES)	1
IVO	SETTLER VOLUME READ OPTION(0/1=NO/YES)	1
NF	NUMBER OF FEEDING STREAM(INCLUDING OUTGOING FLDW)	1
IS	INITIAL SET OPTION OF EACH STAGE(0/1/2=SET/PREVIOUS DATA/READ)	3
IRED	REDUCTANT OPTION(0/1/2/3/4=NO/FE++/URANOUS(1)/HAN/URANOUS(DETAIL))	1
IPR	PRINT OUT OPTION(0/1/2/3=NO/SIMPLE/DETAIL/ALL)	0
IX	DATA OUT UNIT(0/N=NO/UNIT NO.)	-1
ISTP	STAGE NUMBER OF PREVIOUS EXT.(FEEDING STREAM IN THIS EXT.)	20
MSTP	MAX. NUMBER OF STAGES OF PREVIOUS EXT.(USING IF ISTP.NE.0)	0
NFR	NUMBER OF INPUT STREAM FLUCTUATION CARDS	0
NSEED	SEED OF RANDOM NUMBER	0
TBP	VOLUME FRACTION OF DRY TBP	0.3000
EFO	MASS TRANSFER EFFICIENCY	0.0
RAT	STEADY STATE(RATIO OR NUMBER OF TIME INTERVAL)	0.9950
DTI	CALCULATION TIME STEP(MIN)	1.0000
DTO	DISK OUT TIME STEP(MIN)	10.0000
PPU	PRODUCT PU CONCENTRATION(SURVEY CALC.)	0.0
PU1	PRODUCT U CONCENTRATION(SURVEY CALC.)	0.0
WPU	WASTE PU CONCENTRATION(SURVEY CALC.)	0.0
PU1	WASTE U CONCENTRATION(SURVEY CALC.)	0.0

\*\*\*\*\* FEED STREAM DATA ( AQUEOUS , ORGANIC ) \*\*\*\*\*

STAGE NO.	FLOW RATE (L/H)	TEMP. DEG C	URANIUM (G/L)	PLUTONIUM-4 (G/L)	HNO3 (M)	PLUTONIUM-3 (G/L)	REDUCTANT (G/L)
9	1.5700E+02	3.0000E+01	0.0	0.0	3.0000E+00	0.0	0.0
17	6.6000E+01	3.0000E+01	0.0	0.0	3.0000E+00	0.0	0.0
-----							
1	3.1900E+02	3.0000E+01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

\*\*\*\*\* TIME INTERVAL 8.570 ( MINUTES ) \*\*\*\*\*

Table 7.7 Continued

## STAGE FLOWS (SOLUTE FREE VOLUMES):

STAGE NO.	VOL. 6.401E-01	FLOW RATIO	OVERALL TOTAL			AQUEOUS PHASE			ORGANIC PHASE		
			FLOW	FLOW OUT (P-RATIO)	RECYCLE 1 (FILL)	RECYCLE 2	TOTAL	FLOW OUT (P-RATIO)	RECYCLE 1 (FILL)	RECYCLE 2	TOTAL
1	7.410E+01	6.401E-01	3.647E+00	3.375E+00	0.0	0.0	3.375E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.272E+00
2	7.410E+01	6.401E-01	3.647E+00	3.375E+00	0.0	0.0	3.375E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.272E+00
3	7.410E+01	6.401E-01	8.647E+00	3.375E+00	0.0	0.0	3.375E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.272E+00
4	7.410E+01	6.401E-01	8.647E+00	3.375E+00	0.0	0.0	3.375E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.272E+00
5	7.410E+01	6.401E-01	8.647E+00	3.375E+00	0.0	0.0	3.375E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.272E+00
6	7.410E+01	6.401E-01	8.647E+00	3.375E+00	0.0	0.0	3.375E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.272E+00
7	7.410E+01	6.401E-01	8.647E+00	3.375E+00	0.0	0.0	3.375E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.272E+00
8	7.410E+01	6.401E-01	8.647E+00	3.375E+00	0.0	0.0	3.375E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.272E+00
9	7.410E+01	6.401E-01	8.647E+00	3.375E+00	0.0	0.0	3.375E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.272E+00
10	9.380E+01	1.095E+01	1.095E+01	9.988E-01	3.377E+00	5.887E-01	4.964E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.981E+00
11	9.380E+01	1.095E+01	1.095E+01	9.986E-01	3.377E+00	5.887E-01	4.964E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.981E+00
12	9.380E+01	1.095E+01	1.095E+01	9.983E-01	3.377E+00	5.887E-01	4.964E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.981E+00
13	9.380E+01	1.095E+01	1.095E+01	9.982E-01	3.377E+00	5.887E-01	4.964E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.981E+00
14	9.380E+01	1.095E+01	1.095E+01	9.988E-01	3.377E+00	5.887E-01	4.964E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.981E+00
15	9.380E+01	1.095E+01	1.095E+01	9.983E-01	3.377E+00	5.887E-01	4.964E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.981E+00
16	9.380E+01	1.095E+01	1.095E+01	9.988E-01	3.377E+00	5.887E-01	4.964E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.981E+00
17	9.380E+01	1.095E+01	1.095E+01	9.988E-01	3.377E+00	5.887E-01	4.964E+00	5.272E+00	0.0	0.0	5.981E+00

\*\*\*\*\* INITIAL PROFILE ( SETTLER ) \*\*\*\*\*

STAGE NO.	PHASE RATIO	TEMP. DEG C	AQUEOUS PHASE			ORGANIC PHASE		
			URANIUM (G/L)	PU(IV) (G/L)	HNO3 (M)	URANIUM (G/L)	PU(IV) (G/L)	HNO3 (M)
1	6.401E-01	3.000E+01	4.106E-15	1.528E-19	3.051E+00	0.0	9.861E-14	1.665E-18
2	6.401E-01	3.000E+01	1.649E-13	2.063E-18	4.117E+00	0.0	5.028E-12	3.268E-17
3	6.401E-01	3.000E+01	8.206E-12	3.716E-17	4.393E+00	0.0	2.579E-10	6.303E-16
4	6.401E-01	3.000E+01	4.207E-10	7.153E-16	4.450E+00	0.0	1.329E-08	1.229E-14
5	6.401E-01	3.000E+01	2.167E-09	1.398E-14	4.461E+00	0.0	6.353E-07	2.409E-13
6	6.401E-01	3.000E+01	1.118E-06	2.745E-13	4.463E+00	0.0	3.533E-05	4.730E-12
7	6.401E-01	3.000E+01	5.764E-05	5.399E-12	4.463E+00	0.0	1.812E-03	9.531E-11
8	6.401E-01	3.000E+01	2.957E-03	1.058E-10	4.459E+00	0.0	7.332E-02	1.430E-09
9	6.401E-01	3.000E+01	1.196E-01	1.621E-09	4.284E+00	0.0	3.988E-01	2.971E-09
10	8.300E-01	3.000E+01	1.234E-01	7.674E-09	3.382E+00	0.0	3.994E-01	2.120E-08
11	8.300E-01	3.000E+01	1.226E-01	2.715E-08	3.186E+00	0.0	3.997E-01	4.072E-08
12	8.300E-01	3.000E+01	1.227E-01	8.093E-08	3.133E+00	0.0	3.998E-01	1.372E-01
13	8.300E-01	3.000E+01	1.283E-01	2.131E-07	3.117E+00	0.0	3.998E-01	1.963E-01
14	8.300E-01	3.000E+01	1.229E-01	5.066E-07	3.114E+00	0.0	3.996E-01	2.476E-01
15	8.300E-01	3.000E+01	1.260E-01	1.032E-06	3.115E+00	0.0	3.984E-01	2.105E-01
16	8.300E-01	3.000E+01	1.191E-01	1.763E-06	3.124E+00	0.0	3.941E-01	2.034E-01
17	8.300E-01	3.000E+01	9.533E-02	2.084E-06	3.155E+00	0.0	3.761E-01	2.265E-01

Table 7.7 Continued

***** 290 TIME INTERVAL *****												
***** EXTRACTION PROFILE OF THE SETTLER (CONCENTRATION) *****												
STAGE NO.	TEMP. DEG C	AQUEOUS PHASE					ORGANIC PHASE					
		URANIUM (G/L)	PLUTONIUM (G/L)	PU(IV) (G/L)	PU(III) (G/L)	HNO3 (M)	FLOW OUT OF STAGE	URANIUM (G/L)	PLUTONIUM (G/L)	HNO3 (M)	FLOW OUT OF STAGE	
1	3.000E+01	3.225E-18	2.382E-22	2.382E-22	0.0	2.087E+00	2.163E+02	5.538E-17	1.700E-21	4.772E-01	3.249E+02	
2	3.000E+01	3.007E-17	1.282E-21	1.282E-21	0.0	2.741E+00	2.211E+02	7.439E-16	1.425E-20	6.229E-01	3.268E+02	
3	3.000E+01	3.047E-16	7.738E-21	7.738E-21	0.0	2.937E+00	2.225E+02	8.167E-15	9.579E-20	6.632E-01	3.273E+02	
4	3.000E+01	2.949E-15	4.561E-20	4.561E-20	0.0	2.990E+00	2.229E+02	8.059E-14	5.802E-19	6.738E-01	3.274E+02	
5	3.000E+01	2.610E-14	2.506E-19	2.506E-19	0.0	3.003E+00	2.230E+02	7.163E-13	3.208E-18	6.763E-01	3.274E+02	
6	3.000E+01	2.066E-13	1.254E-18	1.254E-18	0.0	3.005E+00	2.230E+02	5.673E-12	1.607E-17	6.768E-01	3.274E+02	
7	3.000E+01	1.433E-12	5.603E-18	5.603E-18	0.0	3.005E+00	2.230E+02	3.934E-11	7.177E-17	6.768E-01	3.274E+02	
8	3.000E+01	8.433E-12	2.155E-17	2.155E-17	0.0	3.005E+00	2.230E+02	2.315E-10	2.759E-16	6.767E-01	3.274E+02	
9	3.000E+01	3.900E-11	6.534E-17	6.534E-17	0.0	3.004E+00	2.230E+02	1.070E-09	8.364E-16	6.766E-01	3.274E+02	
10	3.000E+01	3.483E-10	3.522E-16	3.522E-16	0.0	3.013E+00	6.603E+01	9.590E-09	4.529E-15	6.783E-01	3.275E+02	
11	3.000E+01	2.709E-09	2.054E-15	2.054E-15	0.0	3.017E+00	6.604E+01	7.469E-08	2.647E-14	6.791E-01	3.275E+02	
12	3.000E+01	1.816E-08	1.222E-14	1.222E-14	0.0	3.016E+00	6.604E+01	5.004E-07	1.574E-13	6.790E-01	3.275E+02	
13	3.000E+01	1.055E-07	7.063E-14	7.063E-14	0.0	3.013E+00	6.603E+01	2.902E-06	9.080E-13	6.782E-01	3.275E+02	
14	3.000E+01	5.362E-07	3.841E-13	3.841E-13	0.0	3.008E+00	6.602E+01	1.473E-05	4.925E-12	6.773E-01	3.275E+02	
15	3.000E+01	2.412E-06	1.924E-12	1.924E-12	0.0	3.004E+00	6.601E+01	6.615E-05	2.462E-11	6.765E-01	3.274E+02	
16	3.000E+01	9.659E-06	8.593E-12	8.593E-12	0.0	3.002E+00	6.600E+01	2.646E-04	1.098E-10	6.760E-01	3.274E+02	
17	3.000E+01	3.268E-05	2.996E-11	2.996E-11	0.0	3.000E+00	6.600E+01	8.951E-04	3.825E-10	6.758E-01	3.274E+02	
***** EXTRACTION PROFILE (INVENTORY) *****												
STAGE NO.	TEMP. DEG C	AQUEOUS PHASE					ORGANIC PHASE					
		URANIUM (G)	PLUTONIUM (G)	HNO3 (M)	FLOW OUT OF STAGE	URANIUM (G)	PLUTONIUM (G)	HNO3 (M)	FLOW OUT OF STAGE			
1	3.000E+01	9.965E-17	7.360E-21	2.087E+00	2.163E+02	2.570E-15	7.888E-20	4.772E-01	3.249E+02			
2	3.000E+01	9.496E-16	4.048E-20	2.741E+00	2.211E+02	3.472E-14	6.652E-19	6.229E-01	3.268E+02			
3	3.000E+01	9.684E-15	2.459E-19	2.937E+00	2.225E+02	3.817E-13	4.478E-18	6.632E-01	3.273E+02			
4	3.000E+01	9.390E-14	1.452E-18	2.990E+00	2.229E+02	3.769E-12	2.713E-17	6.738E-01	3.274E+02			
5	3.000E+01	8.314E-13	7.983E-18	3.003E+00	2.230E+02	3.350E-11	1.500E-16	6.763E-01	3.274E+02			
6	3.000E+01	6.581E-12	3.996E-17	3.005E+00	2.230E+02	2.653E-10	7.516E-16	6.768E-01	3.274E+02			
7	3.000E+01	4.564E-11	1.785E-16	3.005E+00	2.230E+02	1.840E-09	3.356E-15	6.768E-01	3.274E+02			
8	3.000E+01	2.686E-10	6.865E-16	3.005E+00	2.230E+02	1.082E-08	1.291E-14	6.767E-01	3.274E+02			
9	3.000E+01	1.242E-09	2.081E-15	3.004E+00	2.230E+02	5.003E-08	3.912E-14	6.766E-01	3.274E+02			
10	3.000E+01	1.633E-08	1.651E-14	3.013E+00	6.603E+01	5.089E-07	2.403E-13	6.783E-01	3.275E+02			
11	3.000E+01	1.270E-07	9.627E-14	3.017E+00	6.604E+01	3.963E-06	1.405E-12	6.791E-01	3.275E+02			
12	3.000E+01	8.512E-07	5.729E-13	3.016E+00	6.604E+01	2.656E-05	8.355E-12	6.790E-01	3.275E+02			
13	3.000E+01	4.943E-06	3.311E-12	3.013E+00	6.603E+01	1.540E-04	4.818E-11	6.782E-01	3.275E+02			
14	3.000E+01	2.513E-05	1.800E-11	3.008E+00	6.602E+01	7.815E-04	2.613E-10	6.773E-01	3.275E+02			
15	3.000E+01	1.130E-04	9.016E-11	3.004E+00	6.601E+01	3.510E-03	1.306E-09	6.765E-01	3.274E+02			
16	3.000E+01	4.526E-04	4.026E-10	3.002E+00	6.600E+01	1.404E-02	5.826E-09	6.760E-01	3.274E+02			
17	3.000E+01	1.531E-03	1.403E-09	3.000E+00	6.600E+01	4.749E-02	2.029E-08	6.758E-01	3.274E+02			
***** HOLD UP *****												
AQUEOUS					ORGANIC		TOTAL	IN	OUT	MATERIAL BALANCE		
(G)					(G)		(G)			RELATIVE ERROR		
URANIUM	2.24201E-03	6.95445E-02	7.17865E-02	0.0				4.88449E-03	4.88449E-03			
PLUTONIUM	2.02381E-09	2.92733E-08	3.12971E-08	0.0				2.08744E-09	2.08744E-09			
HN03							1.10615E+01	1.11249E+01	5.72765E-03			
SETTLER ( U )	2.12798E-03	6.60065E-02	6.81345E-02									
	( PU )	1.91828E-09	2.77462E-08	2.96645E-08								
MIXER ( U )	1.14033E-04	3.53796E-03	3.65200E-03									
	( PU )	1.05537E-10	1.52703E-09	1.63256E-09								

\*\*\*\*\* ( 99.51 ) PERCENT OF STEADY STATE AFTER TIME ( 4.83 ) HOUR \*\*\*\*\*

## 8. 結 言

再処理工場の改良保障措置手段としてのN.R.T.計量管理システムの実用化において、問題となる溶媒抽出器の運転中の在庫量推定について、ここで、開発したSEPHIS-Jは、他のコードと比較しても、十分な精度を持ち、計算時間もPUBGコードの1/3であり、施設の小型計算機でも十分使用できるものとなった。また、現実の運転モードについても正確に追跡する事ができることから、運転監視プログラムとしても使えるので、今後、この方面への適用化を進める予定である。

S R P プラントの実測データ解析から、抽出器内の全ウラン在庫量では、Mass Transfer Efficiencyを調整する事で、実測値を再現する事はできるが、各ステージの濃度分布は、実測値を再現するものでない。これは、各コードに共通して言える事である。抽出器内の濃度分布を実測値に一致させ、全在庫量が合うようにするには、系統だった実験とデータの収集、コードによる解析が必要で、今後の、動燃およびNUCEFでのデータの蓄積を期待するものである。

今回の動燃再処理工場、共除染工程の定常および非定常解析から、保障措置あるいは運転上で注意する必要がある事として、

- (1) 供給される核物質の量とTBP量のバランスが10%くずれても(TBP量が減少)、Wasteには測定限界( $Pu > 5.0 \times 10^{-5} \text{ g}/\ell$ )を越える核物質が出力される。この時には、プルトニウム在庫量は、定常の2~3倍になる。
- (2) Scrub streamの硝酸濃度の減少は、WasteのPu濃度を大きく変化させないで、プルトニウム在庫量を増加させる。(硝酸濃度を70%に減少、Pu在庫量は30%増加)
- (3) Mass Transfer平衡からのずれにおいて、Mass Transfer Efficiencyが0.8以下になると、入力量がバランスするまでに、Waste streamに測定限界を越えるプルトニウムが含まれ、このような状態を把握することができる。

がある。

現在、当研究室では、これらの解析結果、動燃の実測データなどをベースにしてN.R.T.計量管理用のOnsite Inspectorが用いる簡易モデルの開発を進めている。抽出器の設計、安全性、運転のために種々の計算コードが開発されているが、コードの妥当性について、測定値の誤差を考慮した解析は、全くないのが現状であり、抽出器の設計情報、測定データの公開を含めた幅広い情報の交換が望まれる。

NUCEF、大型再処理工場と溶媒抽出器の解析は、今後の大きな課題となる事が予測されるので、PUBG、SEPHIS Mod 4などのコードの比較を続けると共に、上記、諸施設のプランシミュレーションコード開発にも組み込み、保障措置設計の道具として有効に活用して行きたいと考えている。

## 謝　　辞

本研究の遂行において、技術コンサルタントとして、貴重な情報、協力を頂いた IAEA の J. E. Lovett 博士に心からの感謝をささげます。また、抽出器内の化学反応、核物質の相移動などについて、助言を頂きました、燃料安全工学部・臨界安全研究室・副主任研究員館盛勝一氏に感謝の辞を表します。

最後に、本コードの使用上の有用なコメントとマニュアル作成を手伝って頂いた㈱B・ソフトの久松義徳氏に深く感謝します。

## 参 考 文 献

- (1) W. S. Groenier, Calculation of the Transient Behavior of a Dilute-Purex Solvent Extraction Process Having Application to the Reprocessing of LMFBR Fuels, Oak Ridge National Laboratory, ORNL-4746 (April 1972).
- (2) G. L. Richardson and J. L. Swanson, Plutonium Partitioning in the Purex Process with Hydrazine-Stabilized Hydroxylamine Nitrate, Hanford Engineering Development Laboratory, HEDL-TME 75-31 (June 1975).
- (3) S. B. Watson and R. H. Rainey ; "Modifications of the SHPHIS Computer Code for Calculating the Purex Solvent Extraction System", Oak Ridge National Laboratory Report ORNL-TM-5123 (December 1975).
- (4) J. F. Geldard, A. L. Beyerlein ; "A User's Manual for PUBG. A New Chemical Model of the Purex Solvent Extraction Process", Clemson University (September 1981).
- (5) K. Ikawa, H. Ihara, H. Nishimura, M. Hirata, H. Sakuragi, M. Ido, T. Sawahata, M. Tsutsumi, M. Iwanaga, N. Suyama, J. E. Lovett ; Study of the Application of Near-Real-Time Materials Accountancy to Safeguards for Reprocessing Facilities, JAERI-M 83-158 (September 1983).
- (6) M. C. Thompson, R. L. Shankle, "Calculation of Uranium Inventories in Mixer-Settlers during Solvent Extraction with 7.5% TBP", DP-1357, (August 1974).
- (7) J. T. Lowe, "Calculation of the Transient Behavior of Solvent Extraction Process.", I & EC Proc. Des. and Dev. 7, 362-366 (1968).
- (8) 権田 浩三, 福田 章二, "Purex プロセス計算コード MIXSET", PNCT 841-77-60 (September 1977).

## 謝 辞

本研究の遂行において、技術コンサルタントとして、貴重な情報、協力を頂いた IAEA の J. E. Lovett 博士に心からの感謝をささげます。また、抽出器内の化学反応、核物質の相移動などについて、助言を頂きました、燃料安全工学部・臨界安全研究室・副主任研究員館盛勝一氏に感謝の辞を表します。

最後に、本コードの使用上の有用なコメントとマニュアル作成を手伝って頂いた㈱B・ソフトの久松義徳氏に深く感謝します。

## 参 考 文 献

- (1) W. S. Groenier, Calculation of the Transient Behavior of a Dilute-Purex Solvent Extraction Process Having Application to the Reprocessing of LMFBR Fuels, Oak Ridge National Laboratory, ORNL-4746 (April 1972).
- (2) G. L. Richardson and J. L. Swanson, Plutonium Partitioning in the Purex Process with Hydrazine-Stabilized Hydroxylamine Nitrate, Hanford Engineering Development Laboratory, HEDL-TME 75-31 (June 1975).
- (3) S. B. Watson and R. H. Rainey ; "Modifications of the SHPHIS Computer Code for Calculating the Purex Solvent Extraction System", Oak Ridge National Laboratory Report ORNL-TM-5123 (December 1975).
- (4) J. F. Geldard, A. L. Beyerlein ; "A User's Manual for PUBG. A New Chemical Model of the Purex Solvent Extraction Process", Clemson University (September 1981).
- (5) K. Ikawa, H. Ihara, H. Nishimura, M. Hirata, H. Sakuragi, M. Ido, T. Sawahata, M. Tsutsumi, M. Iwanaga, N. Suyama, J. E. Lovett ; Study of the Application of Near-Real-Time Materials Accountancy to Safeguards for Reprocessing Facilities, JAERI-M 83-158 (September 1983).
- (6) M. C. Thompson, R. L. Shankle, "Calculation of Uranium Inventories in Mixer-Settlers during Solvent Extraction with 7.5 % TBP", DP-1357, (August 1974).
- (7) J. T. Lowe, "Calculation of the Transient Behavior of Solvent Extraction Process.", I & EC Proc. Des. and Dev. 7, 362-366 (1968).
- (8) 権田 浩三, 福田 章二, "Purex プロセス計算コード MIXSET", PNCT 841-77-60 (September 1977).