

JAERI-M

88-209

トリチウム水リサイクルプロセスにおける
トリチウム洗浄技術の開発 (I)
—トリチウム洗浄用内部循環型ミキサーセトラの
モックアップ試験—

1988年10月

杉川 進・藍 寛信*・藤根 幸雄・前田 充
辻野 肇・大塔 容弘*・陶山 尚宏**

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）で複写による実費領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, 1988

編集兼発行 日本原子力研究所
印 刷 山田軽印刷所

トリチウム水リサイクルプロセスにおけるトリチウム洗浄技術の開発（Ⅰ）

— トリチウム洗浄用内部循環型ミキサーセトラのモックアップ試験 —

日本原子力研究所東海研究所燃料・材料工学部

杉川 進・藍 寛信^{*}・藤根幸雄・前田 充

辻野 賀⁺・大塔容弘^{*}・陶山尚宏^{**}

(1988年9月27日受理)

再処理工程でのトリチウム (^3H) 管理の改善を目的として、湿式再処理法に対する適合性が高い「トリチウム水リサイクルプロセス」に関する研究開発が進められている。この方法では、極力少ない軽水洗浄液で効率良く溶媒から ^3H を洗浄除去できる洗浄器を開発する必要がある。

筆者らは、工学規模のミキサー型トリチウム洗浄装置を試作・開発するため、プラスチック製の単段および2段のミキサー型を用いたモックアップ試験を行い、高い有機相対水相流量比で運転可能な水相内部循環型ミキサー型の設計条件を検討した。

東海研究所：〒319-11、茨城県那珂郡東海村白方字白根2-4

+ 燃料安全工学部

* 日本原燃サービス(株)

** 動力炉・核燃料開発事業団

Development of Tritium Scrubbing Technology
for Tritiated Water Recycle Process (I)
- Mock-up test of mixer-settler with internal recycle
for tritium scrubber -

Susumu SUGIKAWA, Hironobu AI^{*}, Sachio FUJINE, Mitsuru MAEDA
Takehi TSUJINO⁺, Yoshihiro OHTOU^{*} and Naohiro SUYAMA^{**}

Department of Fuels and Materials Research
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received September 27, 1988)

In order to improve tritium management in fuel reprocessing, the tritiated water recycle process has been studied. The process requires the development of a contactor which allows efficient scrub of tritium in organic solvent with a small volume of non-tritiated scrub-solution. A mock-up experiment was carried out for the development of a mixer-settler type tritium scrubber in an engineering scale, using a single-stage and two-stage plexiglass mixer-settlers.

A mixer-settler type contactor with internal recycle, which allows efficient mixing under the condition of high organic to aqueous flow ratio, was developed and key design conditions were established.

Keywords : Tritium, Mixer-settler, Contactor, Extraction, Reprocessing, Scrubber, Mock-up, Recycle, Uranium, Water

+ Department of Fuel Safety Research

* Japan Nuclear Fuel Service Co., Ltd.

** Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation

目 次

1.はじめに.....	1
2.検討項目と試験パラメーター.....	2
3.モックアップ試験.....	2
3.1 試験装置.....	2
3.2 試験方法.....	3
3.2.1 水相リサイクル流量の測定方法.....	3
3.2.2 エントレインメントの測定.....	3
3.2.3 段効率の算出法.....	3
4.試験結果.....	4
4.1 水相リサイクル流量.....	4
4.2 相分離.....	4
4.2.1 エマルジョンバンド.....	4
4.2.2 エントレインメント.....	5
4.2.3 段効率.....	5
4.3 界面の制御法.....	6
5.水相内部循環型ミキサーセトラの設計仕様の検討.....	6
5.1 基本設計仕様.....	6
5.2 機器仕様.....	6
5.2.1 インペラ.....	6
5.2.2 ミキサーセトラの寸法.....	7
5.2.3 水相リサイクル管路系.....	7
5.2.4 界面制御.....	7
6.今後の検討項目.....	8
7.おわりに.....	8
謝 辞.....	9
参考文献.....	9
付録1 インペラのポンプ流量の計算.....	22
付録2 エントレインメントの段効率に及ぼす影響の評価.....	26

Contents

1.	Introduction	1
2.	Design requirements and test parameters	2
3.	Mock-up tests	2
3.1	Apparatus	2
3.2	Procedures	3
3.2.1	Measurements of recycle aqueous flowrate	3
3.2.2	Measurements of entrainment	3
3.2.3	Calculation of stage efficiency	3
4.	Results	4
4.1	Recycle aqueous flowrate	4
4.2	Phase separation	4
4.2.1	Emulsion band	4
4.2.2	Entrainment	5
4.2.3	Stage efficiency	5
4.3	Interface control	6
5.	Design considerations of mixer-settler with internal recycle...	6
5.1	Basic design requirements	6
5.2	Equipment specification	6
5.2.1	Impeller	6
5.2.2	Dimension of mixer-settlers	7
5.2.3	Recycle system of aqueous flow	7
5.2.4	Interface control	7
6.	Future R & D items	8
7.	Conclusions	8
Acknowledgements	9	
References	9	
Appendix 1	Calculation of pumping capacity of the impeller	22
Appendix 2	Evaluation of the effect of entrainment on scrubbing efficiency	26

記号

- E_e ; セトラ効率, N_e / N
 E_m ; Murphree 効率又はミキサーの効率, $F_t / (1 + F_t)$
 E_{m0} ; エントレインメントが無い場合の総括段効率
 E_o ; 総括段効率, N_t / N
 F ; 抽出係数, $m Q_f / Q_s$
 f ; 有機相エントレインメント率
 S ; 水相エントレインメント率
 K_{av} ; 物質移動量
 N ; 実段数
 N_e ; エントレインメントが無い場合の段数
 N_t ; 理論段数
 Q_f ; 水相流量
 Q_s ; 溶媒流量
 x ; 水相中の溶質濃度
 y ; 有機相中の溶質濃度
 m ; 分配係数

1. はじめに

本試験は、「トリチウム水リサイクルプロセス」と呼ばれる再処理工程でのトリチウム管理技術に関する研究としてなされたものである。

「トリチウム水リサイクルプロセス」によるトリウム(^3H , 以下必要に応じTと略記)管理の考え方をFig. 1に示す。すなわち、燃料溶解液中のTの化学形を水または硝酸であると仮定すると、これらのTBPに対する分配率は十分小さいので、Tの大半は、共除染工程において抽出残液側に残る。従って、抽出残液の十分なりサイクル(トリチウム水リサイクル)を図ることにより、Tを、溶解一清澄一共除染一酸・水回収系など再処理工程の前半部に閉じ込めることができる。液のリサイクルについて種々の方式が考えられるが、理想的なりサイクル化により系内への補給水を必要としないようなシステムが可能であれば、無限にTが濃縮されるであろう。しかし、実際のプロセスでは一定量の補給水は不可欠であり、系内でのT濃度は使用済燃料として溶解工程へ供給されるT量とこの補給水とのバランスにより定まる値に留まることとなる。また、小さな分配率により、共除染工程で当初無視し得た有機層側へのT移行量も系内液中のT比放射能濃度の上昇に見合って、系外への流出が増えることとなる。このため、共除染工程の直下流に、軽水によるトリチウム洗浄工程(トリチウムバリヤを付加させた方法、「Trilex プロセス⁸⁾」とも呼ばれる)を設けることにより下流側へのT移行を防止し、Tの閉じ込めをより確実に行うことができる。この場合、補給水量を抑制して系内での濃縮を図ることがT管理上好都合であるので出来る限り少ない量の洗浄水(軽水)により効率の良い洗浄を行うことが重要となる。

しかし、微少濃度のTに対するこの様な洗浄操作はこれまでのPurex法に存在しないので、洗浄挙動はもとより、溶媒に対する分配など抽出工程におけるT挙動は殆んど知られていない。また、排出される濃縮 ^3H 廃液の量を出来るだけ少なくするため、洗浄水の量を制限しつつ、高い洗浄効率を達成できる洗浄装置を開発しなければならない。

このような洗浄装置としてミキサーセトラを用いる場合には、供給液量比については大きな有機相対水相流量比(以下必要に応じO/Aと略記するが、例えばO/A=25)となるが、洗浄効果の面からミキサー部のO/Aについては1程度に保つ必要がある。このため、各段内部でセトラ部の水相を同じ段のミキサ部へ循環させる方法が考えられている。しかし、このような型式のミキサーセトラ(水相内部循環型ミキサーセトラ)は、現在までのところ西ドイツでの試験結果の概略が報告されているだけで、充分に検討されているとは言えない。前記「トリチウム水リサイクル法」の研究を進めるためには、幅広い実験条件で安定した操作が可能な水相内部循環型で且つ多段のミキサーセトラを試作することが必要である。このためモックアップ試験を行い、この様な条件を満足するミキサーセトラを設計・製作する基礎データを取得することとなった。本報告書は、これらモックアップ試験結果とともに、試験結果に基づいて設定した「トリチウム水リサイクル試験装置⁹⁾」用洗浄装置の設計仕様についてとりまとめたものである。

2. 検討項目と試験パラメーター

トリチウム洗浄試験に用いた水相内部循環型ミキサーセトラには、次の機能を備えることが必要である。

- ミキサー部の(O/A)比を1近くに保ちつつ、各段に対するネットの(O/A)比を20～100で運転できること。
- 試験条件に応じ、上記の(O/A)を変更、制御できること。
- 数段以上の多段洗浄器であること。
- 各段の界面位置の経時変化がなるべく小さくなるよう制御できること。
- 飛沫同伴(エントレインメント)が少いこと。
- 試験装置として、連続相を変え得ること。

これらの設計情報を取得するために、モックアップ試験により次の項目を検討することとした。

(1) 水相リサイクル流量に及ぼす諸因子

- インペラの形状と回転数
- リサイクル流量の調節方法

(2) セトラ部のエマルジョンとエントレインメントに及ぼす諸因子

- インペラの形状と回転数
- セトラ部の滞留時間

(3) 段効率に及ぼす諸因子

- インペラの形状と回転数
- ミキシング時間

(4) 水相セキの制御方法

3. モックアップ試験

3.1 試験装置

Fig.2にモックアップ試験のフローシートを示す。

有機相及び水相は、それぞれのポンプにより貯槽から供給ポットに送られ、ヘッドを一定に保つことにより定量的に重力フローでミキサーセトラに供給される。この供給流量は、ロータメータ型流量計により測定されるが、ミキサーセトラからの排出液量からも検量できる様計量管を介し、貯槽に戻される。

モックアップ用のミキサーセトラは、Royston⁽²⁾らのミキサーセトラを参考にして2種類のものを製作した。主として水相セキの型式の検討に用いたA型機は、ミキサ部：64W×64L×110H,

2. 検討項目と試験パラメーター

トリチウム洗浄試験に用いた水相内部循環型ミキサーセトラには、次の機能を備えることが必要である。

- ミキサー部の(O/A)比を1近くに保ちつつ、各段に対するネットの(O/A)比を20～100で運転できること。
- 試験条件に応じ、上記の(O/A)を変更、制御できること。
- 数段以上の多段洗浄器であること。
- 各段の界面位置の経時変化がなるべく小さくなるよう制御できること。
- 飛沫同伴(エントレインメント)が少いこと。
- 試験装置として、連続相を変え得ること。

これらの設計情報を取得するために、モックアップ試験により次の項目を検討することとした。

(1) 水相リサイクル流量に及ぼす諸因子

- インペラの形状と回転数
- リサイクル流量の調節方法

(2) セトラ部のエマルジョンとエントレインメントに及ぼす諸因子

- インペラの形状と回転数
- セトラ部の滞留時間

(3) 段効率に及ぼす諸因子

- インペラの形状と回転数
- ミキシング時間

(4) 水相セキの制御方法

3. モックアップ試験

3.1 試験装置

Fig.2にモックアップ試験のフローシートを示す。

有機相及び水相は、それぞれのポンプにより貯槽から供給ポットに送られ、ヘッドを一定に保つことにより定量的に重力フローでミキサーセトラに供給される。この供給流量は、ロータメータ型流量計により測定されるが、ミキサーセトラからの排出液量からも検量できる様計量管を介し、貯槽に戻される。

モックアップ用のミキサーセトラは、Royston⁽²⁾らのミキサーセトラを参考にして2種類のものを製作した。主として水相セキの型式の検討に用いたA型機は、ミキサ部：64W×64L×110H,

セトラ部 : 64W×200L×180H, の寸法を有し, ミキサー部, セトラ部の滞留時間をそれぞれ約30秒, 約3分として全流量が50 l/hr で設計されている。Fig. 3の上及びPhoto. 1に示すように, 水相-有機相界面高さは, 水相部に単純な水門式のゲートを設ける方式または減圧管内に水相を吸引した後オーバーフローさせる方式で制御することとした。有機相高さは, 単純なオーバーフロー方式で調節した。

また, 各段に内径10φの水相リサイクル管を備え, プラグ形状のオリフィスによりリサイクル流量を調節できるように工夫した。また, 水相のセキの管, 有機相のオーバーフロー管及び水相リサイクル管は, ミキサー部の下部に設けた高さ15mmのアンテークチエンバー(antechamber)の下部に接続する構造とした。

一方, B型機はミキサー部 : 100W×100L×110H, セトラ部 : 100W×360L×180Hの寸法であり, ミキサー部, セトラ部の滞留時間を約30秒, 約4分とする全流量100 l hr で設計された。Fig. 3及びPhoto. 2に示すように単段で, 内径20φの水相リサイクル管を備え, 減圧とリサイクル管のオリフィスによりリサイクル流量を調節できる構造とした。また, A型機と同様のアンテークチエンバーを設けた。

3.2 試験方法

3.2.1 水相リサイクル流量の測定方法

ミキサー部において水相と有機相が完全混合状態にあると仮定すると, 水相と有機相の容積比 $(O/A)_M$ は両相の流量比に等しくなる。従って本試験では, 有機相供給流量(Q_o)と水相供給流量(Q_A)およびミキサー部の $(O/A)_M$ を測定することにより(1)式によりリサイクルされる水相流量(Q_R)を求めた。

$$Q_R = \frac{Q_o}{(O/A)_M} - Q_A \quad (1)$$

3.2.2 エントレインメントの測定

エントレインメント量の測定は, セトラ部で両相の排出口から適量をサンプリングすることにより行った。

有機相中の(水相)エントレインメント量の算定は, 試料採取直後の水分量と, 3000 rpm で5分間遠心分離を行った後の水分量との差分を有機相中の(水相)エントレインメント量とした。なお有機相中の水分量は, カールフィッシャー法により測定した。

水相中の(有機相)エントレインメント量も同様の方法で求めたが, 水相中の有機物の定量は, 赤外分光光度法によった³⁾。すなわち, 水相中のTBPをドデカンにより抽出し, この抽出液の一定量を二硫化炭素で希釈した後, TBPのC-O-Pの吸収ピークからその濃度を測定した。

3.2.3 段効率の算出法

ミキサーセトラの総括段効率は, ミキサー部における抽出効率とセトラ部での相分離効率に依

存するが、ここではセトラ部の相分離効率を 100 % と仮定して、ミキサー部の抽出効率を(2)式の Murphree の段効率により評価した。

$$E = \frac{y_o - y}{y_o - y^*} \times 100 (\%) \quad (2)$$

ここで y_o は着目成分 (本試験では HNO_3) のミキサ部供給有機相中の濃度、同様に y はセトラ部有機相中の濃度、 y^* はセトラ部水相中濃度と平衡にある着目成分の有機相中濃度である。

4. 試験結果

4.1 水相リサイクル流量

水相のリサイクル流量は、インペラの形状とミキサー部の攪拌条件に依存する。Fig. 4 は、試験に用いた 4 種類のインペラを示している。A, B 系は、下翼にリサイクル水の吸引機能を、上翼にパドル効果による攪拌機能をもたせた構造であり、直線型のベーンを使用した。C, D 系は、曲線型のベーンにより、リサイクル水の吸引能力を高めるとともに、上下翼とも翼中央部からの吸引作用によりミキサー部での攪拌を行う構造である。

これらのインペラ形状とインペラ回転数に対する水相リサイクル流量の測定結果を Table 1, Table 2 および Fig. 5 に示す。水相のリサイクル流量は、Fig. 5 に示すように、インペラ径に強く依存し、インペラ径の約 3.9 乗に比例する。インペラ回転数に対する依存性は、インペラ径によっても異なるが、例えば 50 mm ϕ の C 型インペラの場合、回転数の約 0.7 乗に比例する。これらを計算によって求める方法について検討した結果を付録 1 に示す。

4.2 相分離

ミキサー部では、エマルジョン相および第 2 エマルジョンとも呼ばれるヘーズ (Haze) 相が生成する。これらはセトラ部に移行した後、前者はエマルジョンバンドを形成し、セトラ部を設計する上で重要な因子となり、後者はとくにエントレインメントの原因となり相分離の効率に影響を及ぼす。

4.2.1 エマルジョンバンド

相分離に必要なセトラ部の大きさは、滞留時間で概略を決めることができるが、詳細を決める上ではエマルジョンバンドの厚さを評価することが望ましい。

エマルジョンバンドの厚さ (ΔH) を、Barnea らは次式⁽⁴⁾で表わしている。

$$\Delta H = K \left(\frac{Q}{A} \right)^y \quad (3)$$

存するが、ここではセトラ部の相分離効率を 100 %と仮定して、ミキサー部の抽出効率を(2)式の Murphree の段効率により評価した。

$$E = \frac{y_o - y}{y_o - y^*} \times 100 (\%) \quad (2)$$

ここで y_o は着目成分 (本試験では HNO_3) のミキサ部供給有機相中の濃度、同様に y はセトラ部有機相中の濃度、 y^* はセトラ部水相中濃度と平衡にある着目成分の有機相中濃度である。

4. 試験結果

4.1 水相リサイクル流量

水相のリサイクル流量は、インペラの形状とミキサー部の攪拌条件に依存する。Fig. 4 は、試験に用いた 4 種類のインペラを示している。A, B 系は、下翼にリサイクル水の吸引機能を、上翼にパドル効果による攪拌機能をもたせた構造であり、直線型のベーンを使用した。C, D 系は、曲線型のベーンにより、リサイクル水の吸引能力を高めるとともに、上下翼とも翼中央部からの吸引作用によりミキサー部での攪拌を行う構造である。

これらのインペラ形状とインペラ回転数に対する水相リサイクル流量の測定結果を Table 1, Table 2 および Fig. 5 に示す。水相のリサイクル流量は、Fig. 5 に示すように、インペラ径に強く依存し、インペラ径の約 3.9 乗に比例する。インペラ回転数に対する依存性は、インペラ径によっても異なるが、例えば 50 mm ϕ の C 型インペラの場合、回転数の約 0.7 乗に比例する。これらを計算によって求める方法について検討した結果を付録 1 に示す。

4.2 相分離

ミキサー部では、エマルジョン相および第 2 エマルジョンとも呼ばれるヘーズ (Haze) 相が生成する。これらはセトラ部に移行した後、前者はエマルジョンバンドを形成し、セトラ部を設計する上で重要な因子となり、後者はとくにエントレインメントの原因となり相分離の効率に影響を及ぼす。

4.2.1 エマルジョンバンド

相分離に必要なセトラ部の大きさは、滞留時間で概略を決めることができるが、詳細を決める上ではエマルジョンバンドの厚さを評価することが望ましい。

エマルジョンバンドの厚さ (ΔH) を、Barnea らは次式⁽⁴⁾で表わしている。

$$\Delta H = K \left(\frac{Q}{A} \right)^y \quad (3)$$

ここで、 Q は、セトラ部での水相と有機相の分散流量である。また、 A は、セトラ部の断面積、 y は、分散相の種類（大部分は酸一ケロシン系）およびタイプ（連続相）に依存する指数であり、通常 $2 \sim 3$ の範囲である。 K は、定数又はGondo⁽⁵⁾らによってインペラ回転数と分散相濃度の関数として表わされている。

この実験では、(3)式に基づくパラメトリックな検討を行っていないが、Table 1に示すC型インペラ（セトラ部断面積=360 cm²）について、連続相を水相とし、全流量、インペラ回転数をそれぞれ、 $\sim 110 \text{ l/hr}$, 400 ~ 700 rpmに設定して試験を行った場合、エマルジョンバンドの厚さは15 ~ 23 mmであった。またD型のインペラについて、インペラ回転数を300 ~ 500 rpmとした点を除き上記のC型の場合とほぼ同じ条件で試験を行った場合、エマルジョンバンドの厚さは5 ~ 20 mmであった。これらから、 y を2.5と仮定して K の値を求めるとき約 1.2×10^{-6} となる。この値に関し、同じ溶媒系（30 v/o TBP / nDD）での報告された他のデータがなくその一般性を評価することができないが、類似のセトラ部の設計の上で利用できるものと考えられる。

なお、A, B型インペラとC, D型インペラを比べた場合、前者では、エマルジョンの厚さがインペラ回転数に比例して増加する傾向がより顕著に認められた。これは、A, B型インペラでは、回転と共に、液滴の微細化が進むことによるものと思われる。

Photo. 4は、C型インペラを用いた時のエマルジョン相の一例を示している。

4.2.2 エントレインメント

ヘーズ相が有機相、水相のいずれの例に生成するかについては、ミキサ部の連続相の種類に依存する。すなわち、ミキサー部の連続相を有機相にして運転すると、ヘーズ相は有機相中の水相微粒子として生成し、セトラ部の有機相が白濁気味となるのに反し、水相側は澄んだ状態となる。逆に、連続相を水相にして運転すると、有機相微粒子のヘーズ相は水相側に生じるが、有機相は澄んだ状態を示す。これらのヘーズ相をセトラ部で重力分離することは極めて困難であり、トリチウム洗浄操作においては、有機相中の水相エントレインメント量を低く抑える必要があることを考えると、ミキサー部を水相連続で運転することが望ましいという結論が得られる。なお、水相を連続相とした場合についてミキサー部O/Aに対する安定領域を、今後ウランを含む試験液で調べることが必要である。

Table 1, Table 2に示すようにC型およびD型インペラで連続相を水相にして運転した結果では、水相への有機相のエントレインメント濃度がそれぞれ0.04 ~ 0.06 v/o, 0.07 ~ 0.12 v/o、有機相への水相のエントレインメント濃度がそれぞれ約0.1%であった。この水相へのエントレインメント量の総括段効率への影響を評価した結果を付録2に示す。これによると0.1%程度のエントレインメントが生成する場合、トリチウム分配比が1000程度でも総括段効率は85 ~ 90%までしか低下しないと推定される。

なお、セトラ部にバッフル板を設けて、さらにエントレインメントの低減化を試みたが、とくにその効果は認められなかった。

4.2.3 段効率

C型及びD型のインペラを用いた場合の抽出性能を評価するために、B型機ミキサセトラにお

ける HNO_3 の回分抽出 (30 v/o TBP / nDD - 1.5 N HNO_3 系) により、3.2 項の(3)式を用い Murphree 段効率を求めた。

その結果を Table 3 に示す。C 型および D 型のインペラに対し、それぞれ、回転数が 400 ~ 600 rpm, 400 rpm, ミキシング時間が 15 秒, 30 秒の場合、段効率はいずれも 91.2 ~ 99.7 % と高い値を示し、このミキサー部の構造が妥当であることを確認した。

4.3 界面の制御法

流量比 (O/A) が高い条件で運転するミキサー部は、単段内の全流量に比べ、段間の水相流量が極めて少くなり、各段の界面制御を適切に行うためには、段間の水相セキの高さを調節するセキの形式が重要となる。ここでは、Fig. 6 に示す水門方式および減圧 - セキ方式の 2 種類について検討した。

水門方式による界面制御法は、水相に置かれた水門板を上下することにより界面を調節する方法である。Fig. 3 に示す A 型機のミキサー部を用いて、この方式による界面制御性の試験を行った結果、水相セキの流量が少ないために、摺り合わせ面の隙間からの水相のリークが無視出来なくなり、制御が困難であった。

セキ減圧方式は、2 重管構造のセキであり、減圧度によりセキ上流側の水位を調節する方法である。この方式は、界面の微調節が可能であり、また駆動部が無いことから保守が容易と考えられた。このために、高い (O/A) 比で運転する必要のあるミキサー部のセキとしては、後者の方方が必要であることが判った。

なお、セトラ部の水相がセキからミキサー部に流れ込む driving force は、インペラのサクションヘッドによるが、減圧度によるセキの調節性の点から 10 mm 水柱以上必要であった。

5. 水相内部循環型ミキサー部の設計仕様の検討

5.1 基本設計仕様

4 項のモックアップ試験結果と Table 4 に示す水相内部循環型ミキサー部の設計条件及びミキサー部の一般的な設計仕様を考慮して機器の設計仕様をまとめた。

5.2 機器仕様

5.2.1 インペラ

インペラに対しては、必要な水相リサイクル流量を確保しつつミキサー部での攪拌を効率良く行い且つ生成されるエマルジョンが相分離上支障の無い特性であることが要求され、その形状の選定はミキサー部設計上最も重要な部分である。Table 4 に示すように供給の有機相流量、

ける HNO_3 の回分抽出 (30 v/o TBP / nDD - 1.5 N HNO_3 系) により、3.2 項の(3)式を用い Murphree 段効率を求めた。

その結果を Table 3 に示す。C 型および D 型のインペラに対し、それぞれ、回転数が 400 ~ 600 rpm, 400 rpm, ミキシング時間が 15 秒、30 秒の場合、段効率はいずれも 91.2 ~ 99.7 % と高い値を示し、このミキサー部の構造が妥当であることを確認した。

4.3 界面の制御法

流量比 (O/A) が高い条件で運転するミキサー部は、単段内の全流量に比べ、段間の水相流量が極めて少くなり、各段の界面制御を適切に行うためには、段間の水相セキの高さを調節するセキの形式が重要となる。ここでは、Fig. 6 に示す水門方式および減圧 - セキ方式の 2 種類について検討した。

水門方式による界面制御法は、水相に置かれた水門板を上下することにより界面を調節する方法である。Fig. 3 に示す A 型機のミキサー部を用いて、この方式による界面制御性の試験を行った結果、水相セキの流量が少ないために、摺り合わせ面の隙間からの水相のリークが無視出来なくなり、制御が困難であった。

セキ減圧方式は、2 重管構造のセキであり、減圧度によりセキ上流側の水位を調節する方法である。この方式は、界面の微調節が可能であり、また駆動部が無いことから保守が容易と考えられた。このために、高い (O/A) 比で運転する必要のあるミキサー部のセキとしては、後者の方方が必要であることが判った。

なお、セトラ部の水相がセキからミキサー部に流れ込む driving force は、インペラのサクションヘッドによるが、減圧度によるセキの調節性の点から 10 mm 水柱以上必要であった。

5. 水相内部循環型ミキサー部の設計仕様の検討

5.1 基本設計仕様

4 項のモックアップ試験結果と Table 4 に示す水相内部循環型ミキサー部の設計条件及びミキサー部の一般的な設計仕様を考慮して機器の設計仕様をまとめた。

5.2 機器仕様

5.2.1 インペラ

インペラに対しては、必要な水相リサイクル流量を確保しつつミキサー部での攪拌を効率良く行い且つ生成されるエマルジョンが相分離上支障の無い特性であることが要求され、その形状の選定はミキサー部設計上最も重要な部分である。Table 4 に示すように供給の有機相流量、

ミキサー部のO/Aをそれぞれ 50 l/hr , 約1とした場合, 全流量は 100 l hr となり4.1項で示した各インペラに対する水相リサイクル流量の特性および4.2項で示した相分離性の結果から, C型インペラが適当であると考えられる。

5.2.2 ミキサー部の寸法

ミキサー部の寸法は, 通常ミキサー部, セトラ部の滞留時間および液深によって決められる。ミキサー部, セトラ部の滞留時間をTable 4に示すように, それぞれ30秒, 3分とし, 液深を18cmとすると1段の液浸の寸法は, 約 $93\text{W} \times 520\text{L} \times 180\text{H}$ になる。

ミキサー部の形状として, 円柱形と直方形が考えられるが, 製作性の点から直方形が適当であろう。直方形の場合, 一般には, バッフル板を必要としないが, 二相の均一混合を十分に計る必要のある場合, 1cm程度のバッフル板を4面に設けることも考えられる。また, 水相のリサイクルとポンプミックス効果を与えるためのアンテークチエンバーの大きさは, モックアップ試験で確認されたようにミキサー部の底板から15mm程度の空間を設けることが適当である。

セトラ部の形状は, セトラ部の滞留時間と4.2項(1)のエマルジョンバンドの評価式により決めることができる。セトラ部内のバッフル板については, モックアップ試験では, 効果が認められなかったが, 着脱可能なものを念のため設けておくことも考えられる。

5.2.3 水相リサイクル管路系

水相のリサイクル管路系は, セトラ部の水相をミキサー部のアンテークチエンバーに引き込むものである。水相リサイクル流量の制御は, インペラのポンプ機能とは独立に行えるものとするために, セトラ部の水相を真空リフトでセトラ部液面よりも高い位置にもち上げ, リサイクル流量の調節のためにその部分の管路に弁または可変オフリフィスを設けることが考えられる。また, 管路の内径は, できる限り圧力損失が少ないものにすることが望しい。モックアップ試験の結果では, 水相流量が 50 l hr 程度の場合, 20mmφ程度が適当であった。

5.2.4 界面制御

水相セキは, モックアップ試験の結果から減圧セキ方式が適当である。その構造として, 製作性を考慮し, 内管をアンテークチエンバーに, 外管をセトラ部の水相に接続した2重円環が考えられる。(Fig. 6参照) 内管のセキの高さは, 減圧度で制御できることを考えれば, セトラ部の液面よりも約1.5cm程度高くすれば良い。また, 内管およびアニュラ部の断面積は, 水相の流れが円滑となる大きさを必要とし, モックアップ試験の結果により, 0.5 cm^2 以上とすることが適当であった。

なお, ミキサー部を多段化する場合, 各段の水相セキの減圧度のバラツキを極力少なくするため, 内管の高さを精度良く揃えることが望しい。

一方, 有機相セキは, セトラ部の液面を一定に制御しつつセトラ部の有機相をミキサー部のアンテークチエンバーに流す機能を必要とする。セキの断面積として, モックアップ試験の結果により 2.5 cm^2 以上が適当であると考えられる。

なお, 水相セキおよび有機相セキにおける各相の流れのdriving forceは, アンテークチエン

バーの負のヘッドであり、モックアップ試験の結果により 10 mm 以上を必要とする。

以上の設計仕様を基に描いたミキサーセトラの概念図を Fig. 7 に示す。

6. 今後の検討項目

トリチウム洗浄用の水相内部循環型ミキサーセトラ（6段）として、さらに次の検討が望まれる。

- (1) ミキサーセトラの段数増加に対し、各段の界面制御及び相分離が、高い(O/A)の条件下でも確実かつ安定に達成できること。
- (2) 実液に近いウランを用いるトリチウム洗浄試験においてミキサー部O/Aによる水相連続の安定領域を調べること。
- (3) トリチウム洗浄操作における水相エントレインメントが洗浄効率におよぼす影響を把握し、必要であれば、水相エントレインメントの低減化を計ること。

7. おわりに

本研究は、高い流量比（有機相対水相流量比）で操作可能な水相内部循環型ミキサーセトラについてモックアップ実験を行い、トリチウム水リサイクルプロセスの試験で使用するトリチウム洗浄試験装置の設計条件について検討を行ったものである。このため、2種のプラスチック製ミキサーセトラ及び4種のインペラを試作し、それらの特性を比較検討した。特に、水相循環系を中心に、インペラの形状、水相セキの構造、循環管路系の条件などを詳細に調べた。

本研究の結果に基づいて設計・製作したトリチウム洗浄器及びそれを用いて行ったトリチウム洗浄試験の結果については別に報告されているが^{9, 10)}、所要の性能を発揮することができ貴重な成果を生み出している。

バーの負のヘッドであり、モックアップ試験の結果により 10 mm 以上を必要とする。

以上の設計仕様を基に描いたミキサーセトラの概念図を Fig. 7 に示す。

6. 今後の検討項目

トリチウム洗浄用の水相内部循環型ミキサーセトラ（6段）として、さらに次の検討が望まれる。

- (1) ミキサーセトラの段数増加に対し、各段の界面制御及び相分離が、高い(O/A)の条件下でも確実かつ安定に達成できること。
- (2) 実液に近いウランを用いるトリチウム洗浄試験においてミキサー部O/Aによる水相連続の安定領域を調べること。
- (3) トリチウム洗浄操作における水相エントレインメントが洗浄効率におよぼす影響を把握し、必要であれば、水相エントレインメントの低減化を計ること。

7. おわりに

本研究は、高い流量比（有機相対水相流量比）で操作可能な水相内部循環型ミキサーセトラについてモックアップ実験を行い、トリチウム水リサイクルプロセスの試験で使用するトリチウム洗浄試験装置の設計条件について検討を行ったものである。このため、2種のプラスチック製ミキサーセトラ及び4種のインペラを試作し、それらの特性を比較検討した。特に、水相循環系を中心に、インペラの形状、水相セキの構造、循環管路系の条件などを詳細に調べた。

本研究の結果に基づいて設計・製作したトリチウム洗浄器及びそれを用いて行ったトリチウム洗浄試験の結果については別に報告されているが^{9, 10)}、所要の性能を発揮することができ貴重な成果を生み出している。

バーの負のヘッドであり、モックアップ試験の結果により 10 mm 以上を必要とする。

以上の設計仕様を基に描いたミキサーセトラの概念図を Fig. 7 に示す。

6. 今後の検討項目

トリチウム洗浄用の水相内部循環型ミキサーセトラ（6段）として、さらに次の検討が望まれる。

- (1) ミキサーセトラの段数増加に対し、各段の界面制御及び相分離が、高い(O/A)の条件下でも確実かつ安定に達成できること。
- (2) 実液に近いウランを用いるトリチウム洗浄試験においてミキサー部O/Aによる水相連続の安定領域を調べること。
- (3) トリチウム洗浄操作における水相エントレインメントが洗浄効率におよぼす影響を把握し、必要であれば、水相エントレインメントの低減化を計ること。

7. おわりに

本研究は、高い流量比（有機相対水相流量比）で操作可能な水相内部循環型ミキサーセトラについてモックアップ実験を行い、トリチウム水リサイクルプロセスの試験で使用するトリチウム洗浄試験装置の設計条件について検討を行ったものである。このため、2種のプラスチック製ミキサーセトラ及び4種のインペラを試作し、それらの特性を比較検討した。特に、水相循環系を中心に、インペラの形状、水相セキの構造、循環管路系の条件などを詳細に調べた。

本研究の結果に基づいて設計・製作したトリチウム洗浄器及びそれを用いて行ったトリチウム洗浄試験の結果については別に報告されているが^{9, 10)}、所要の性能を発揮することができ貴重な成果を生み出している。

謝　　辞

トリチウム洗浄用機器として水相内部循環型のミキサー・セトラを適用する考え方は、既に西独などの文献に示されている。しかし、装置の具体的な構造の検討、製作などに当っては、多くの方々から種々の支援を受けた。

日本原燃サービス（株）会社の陶山尚宏氏（現在、動燃事業団）などからは、循環方式に関する助言や試験装置の製作面での支援を、また動燃事業団の山村修氏（現在、日本原燃サービス（株）会社）などからは、溶媒洗浄用ミキサー・セトラのコールド試験の経験に基づく助言をそれぞれ頂戴した。さらに、本研究の具体的な推進においては、岩本多実前部長（現在、東海研究所副所長）を中心とする燃料・材料工学部の関係者及び再処理研究室室員等からは、激励や試験の進め方や結果の検討等において、助言や支援を頂いた。また、燃料安全工学部館盛勝一氏には、原稿の査読をお願いした。本報告書を作成するに当たり、これら諸氏に深い謝意を表します。

参　考　文　献

- (1) H. Bauer, et al., KFK-3290 P 149 (1981)
- (2) D. Ryston and A. Burwell, AAEC/E 274 (1974)
- (3) 日本原子力研究所再処理分析法指針
- (4) E. Barnea and J. Mizrahi, Trans. Instn Chem. Engrs., Vol. 53 P 83 (1975)
- (5) S. Gondo and K. Kusunoki, Hydrocarb. Process, Petrol. Refin., Vol. 48 P 209 (1969)
- (6) J. K. Davitson, KAPL-130 (1949)
- (7) C. A. Sleicher, Jr., A I ChE Journal Vol. 6 No. 3 P 529 (1960)
- (8) J. P. Goumard, P. Miquel, BNWL-tr-322 (1978)
- (9) 前田, 杉川ら, JAERI-M 88-133 (1988)
- (10) M. Maeda, S. Fujine et al., RECOD-87, Vol 2, P 511 (1987)

謝　　辞

トリチウム洗浄用機器として水相内部循環型のミキサーセトラを適用する考え方は、既に西独などの文献に示されている。しかし、装置の具体的な構造の検討、製作などに当っては、多くの方々から種々の支援を受けた。

日本原燃サービス（株）会社の陶山尚宏氏（現在、動燃事業団）などからは、循環方式に関する助言や試験装置の製作面での支援を、また動燃事業団の山村修氏（現在、日本原燃サービス（株）会社）などからは、溶媒洗浄用ミキサーセトラのコールド試験の経験に基づく助言をそれぞれ頂戴した。さらに、本研究の具体的な推進においては、岩本多実前部長（現在、東海研究所副所長）を中心とする燃料・材料工学部の関係者及び再処理研究室室員等からは、激励や試験の進め方や結果の検討等において、助言や支援を頂いた。また、燃料安全工学部館盛勝一氏には、原稿の査読をお願いした。本報告書を作成するに当たり、これら諸氏に深い謝意を表します。

参　考　文　献

- (1) H. Bauer, et al., KFK-3290 P 149 (1981)
- (2) D. Ryston and A. Burwell, AAEC/E 274 (1974)
- (3) 日本原子力研究所再処理分析法指針
- (4) E. Barnea and J. Mizrahi, Trans. Instn Chem. Engrs., Vol. 53 P 83 (1975)
- (5) S. Gondo and K. Kusunoki, Hydrocarb. Process, Petrol. Refin., Vol. 48 P 209 (1969)
- (6) J. K. Davitson, KAPL-130 (1949)
- (7) C. A. Sleicher, Jr., AIChE Journal Vol. 6 No. 3 P 529 (1960)
- (8) J. P. Goumard, P. Miquel, BNWL-tr-322 (1978)
- (9) 前田, 杉川ら, JAERI-M 88-133 (1988)
- (10) M. Maeda, S. Fujine et al., RECOD-87, Vol. 2, P 511 (1987)

Table 1 Experimental data with C type impeller

Impeller Speed (rpm)	Opening of 1) recycle aqueous line	O/A in mixer 2) section	Recycle aqueous flow rate (l / hr)	Emulsion band depth (mm)	Entrainment (v/o)		Suction head in antechamber (mmH ₂ O)
					Organic in aqueous phase	Aqueous in organic phase	
400	F	0.48 0.48	119 119				
	T	0.98 1.2	59.0 48.0	15	0.042	< 0.08	+ 14.0
	F	0.48 0.37	119 157				+ 11.5
	T	0.92 0.95	62.6 60.3	20	0.039	< 0.1	+ 3.4
600	F	0.28 0.24	205 238				- 0.7
	T	1.02 0.98	56.4 58.8	20 ~ 23	0.064	< 0.1	- 12.8
	F	0.95 0.93	60.3 61.8	20 ~ 23	0.057	< 0.1	- 20.9

1) F : full opening T : throttle

2) Organic flow rate : 58 l/hr

Table 2 Experimental data with D type impeller

Impeller speed (rpm)	Opening 1) recycle aqueous line	O / A in mixer 2) section	Recycle aqueous flow rate (ℓ / hr)	Emulsion band depth (mm)	Entrainment (v/o)	
					Organic in aqueous phase	Aqueous in organic phase
300	F	0. 57 0. 50	87. 5 100	5 ~ 10	0. 11	< 0. 1
	T	0. 83 0. 83	69. 4 69. 1	10 ~ 20	0. 124	< 0. 1
400	F	0. 33 0. 26	175 225			
	T	0. 92 0. 92	62. 4 62. 4	20	0. 095	< 0. 1
500	F	0. 33 0. 30	173 190			
	T	0. 95 0. 95	60. 4 60. 3	20	0. 067	< 0. 08

1) F : full opening T : throttle

2) Organic flow rate : 58 ℓ / hr

Table 3 Stage efficiency in 30%TBP • nDD - 1.5 N HNO₃ system

Impeller type	Impeller speed (rpm)	Stage efficiency (%)	
		15 sec. of mixing time	30 sec. of mixing time
C	400	99. ₇	99. ₇
	500	91. ₂	92. ₁
	600	98. ₀	98. ₀
D	400	97. ₉	97. ₉

Table 4 Design bases of mixer-settler for tritium scrubber

Type : pump-mix mixer-settler with internal recycle of aqueous phase
Numbers of stages : 6
Continuous phase : aqueous
Organic flow rate : 50 ℥ / hr (nominal)
Aqueous flow rate : 2 ℥ / hr (nominal)
Organic phase / aqueous phase flow ratio : Feed ; O/A = 25 (nominal)
O/A = 100 (max.)
Mixer ; O/A = ~ 1
Mixer residence time : ~ 30 sec
Settler residence time : ~ 3 sec

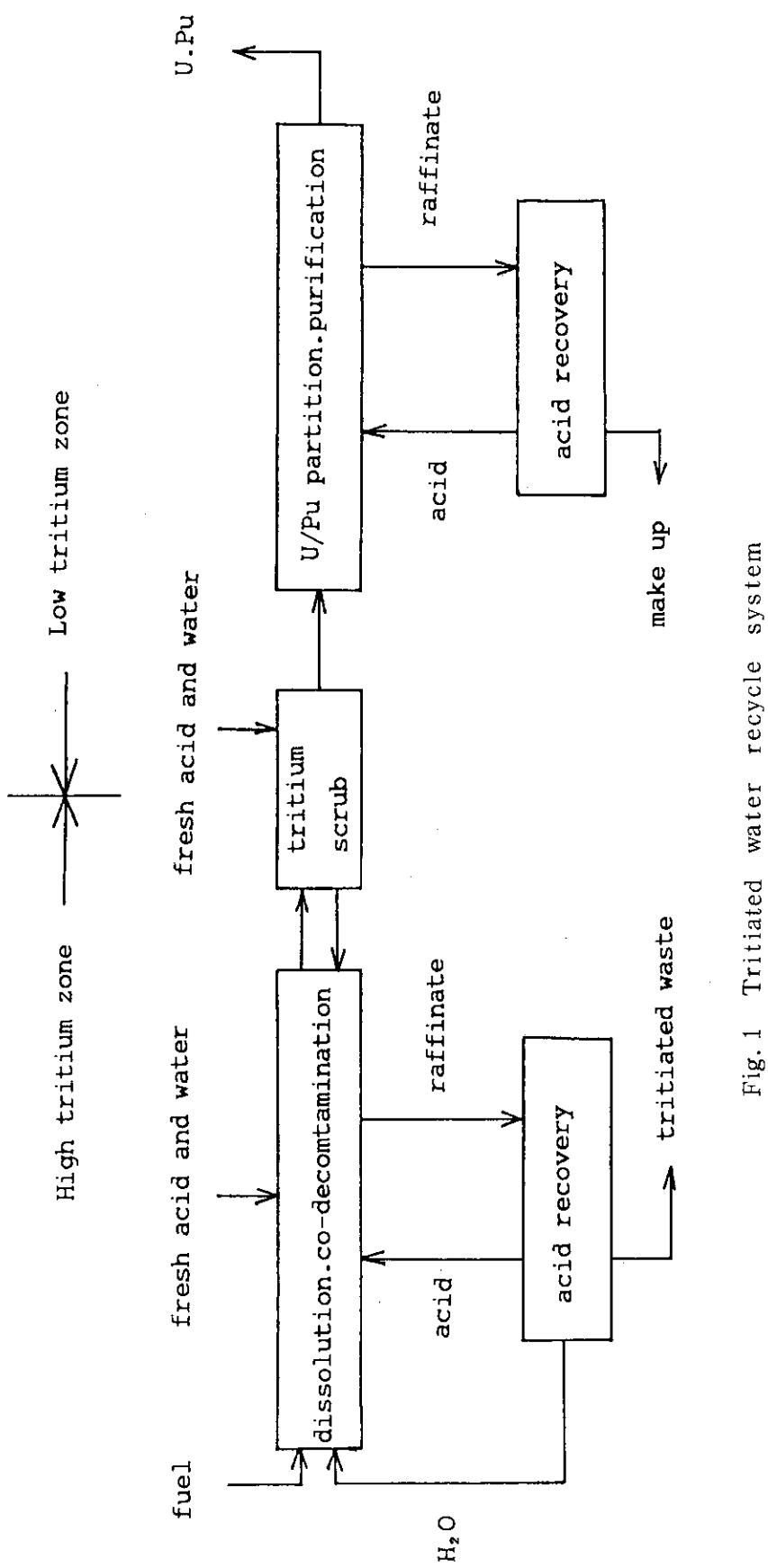


Fig. 1 Tritiated water recycle system

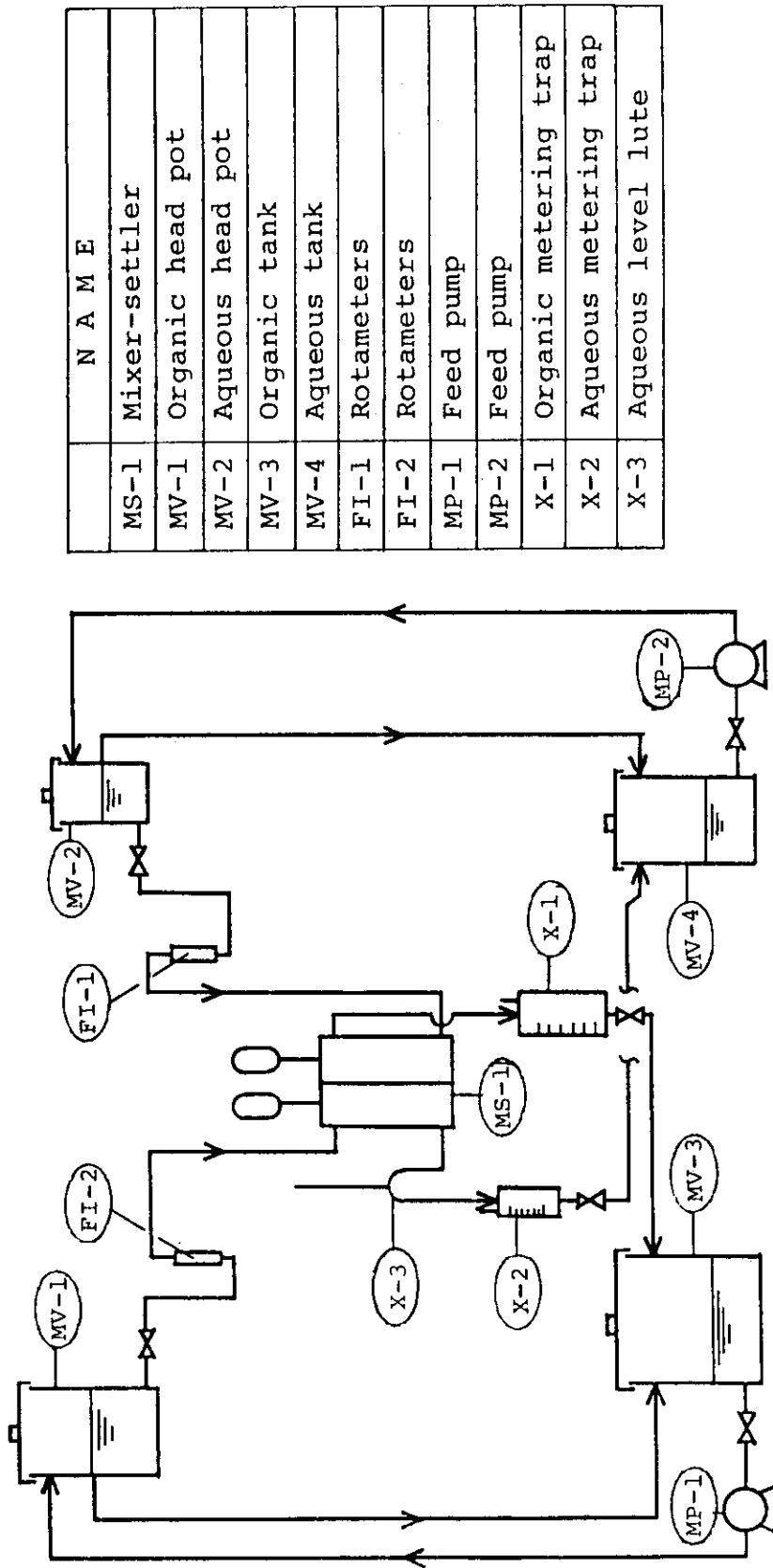
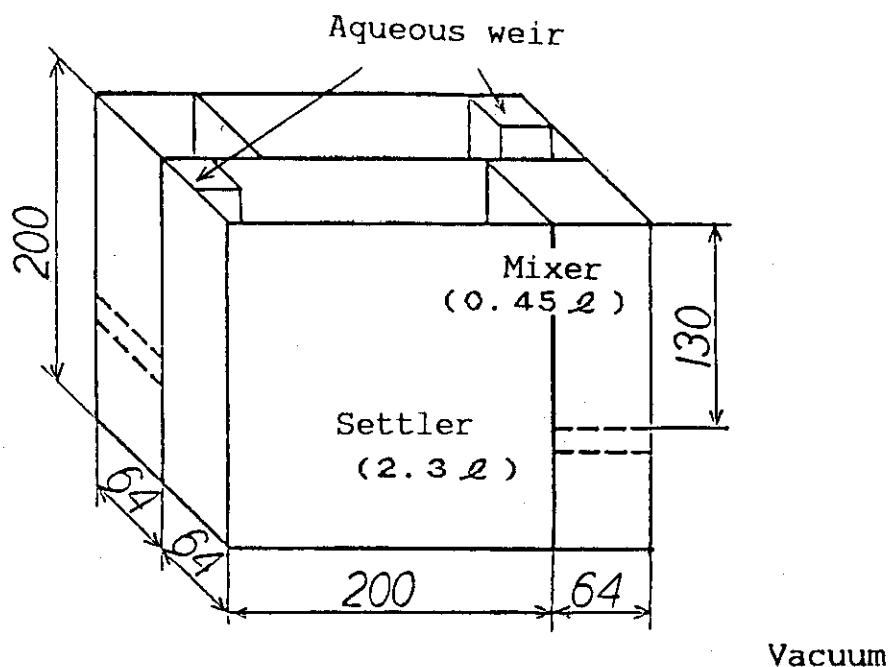


Fig. 2 Flowsheet for mock-up test of internal recycling mixer-settler

A



Vacuum

B

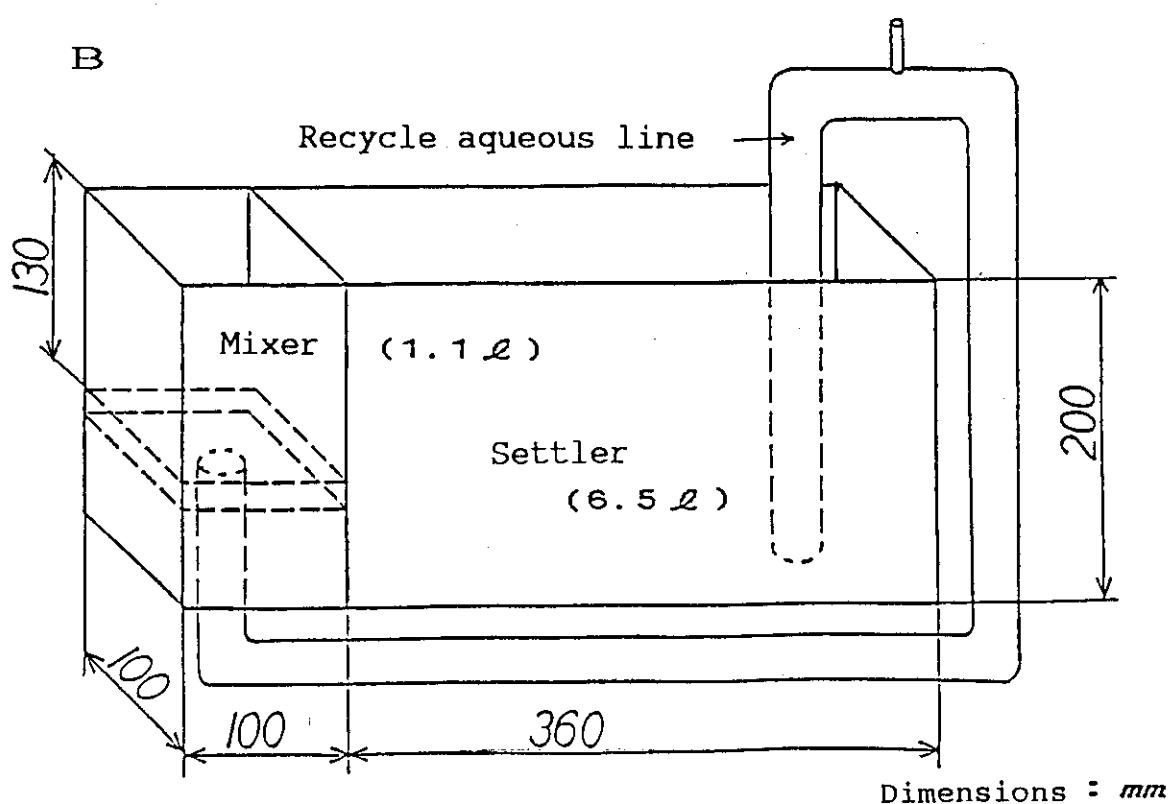


Fig. 3 Dimensions of mixer-settlers for mock-up test

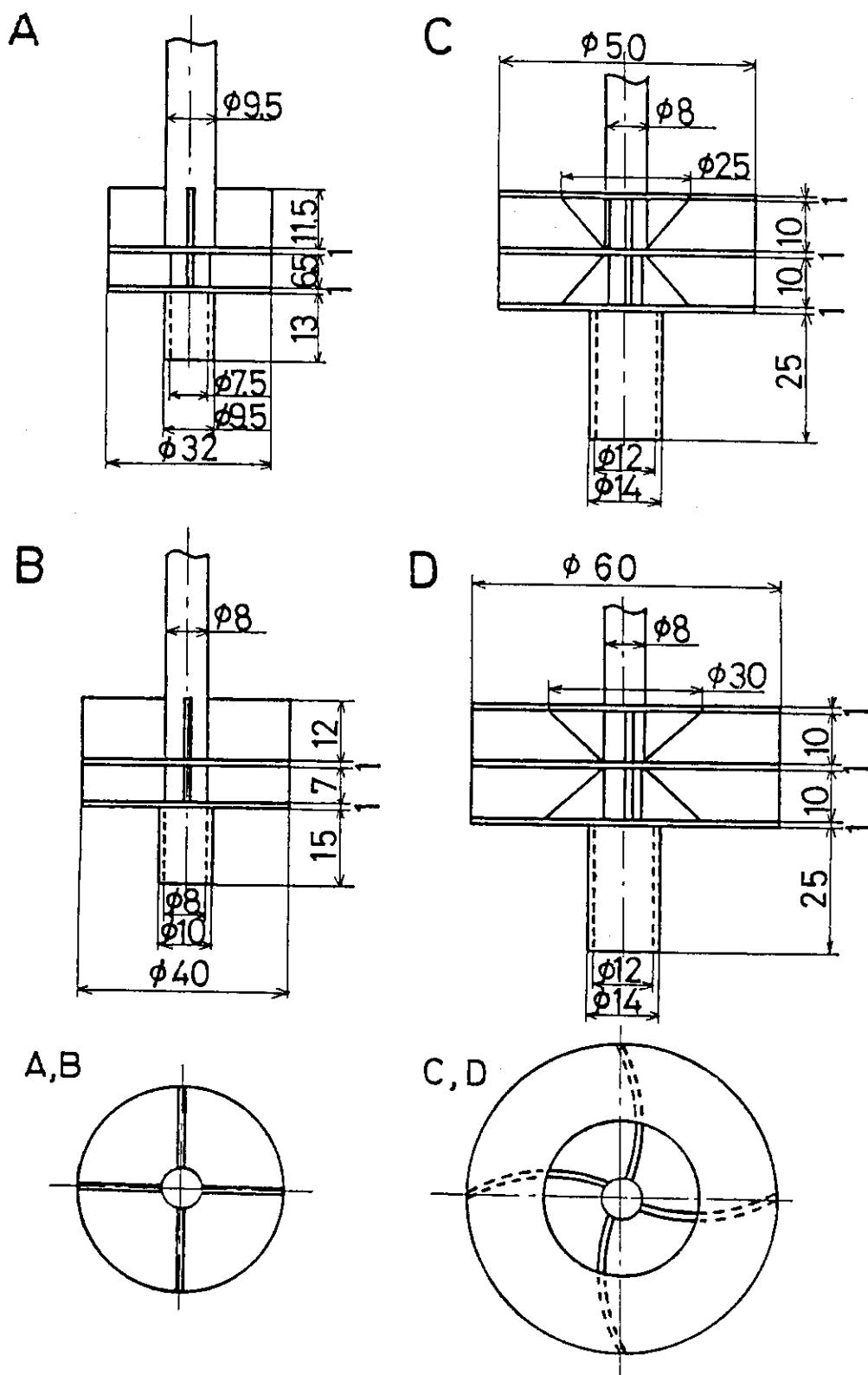
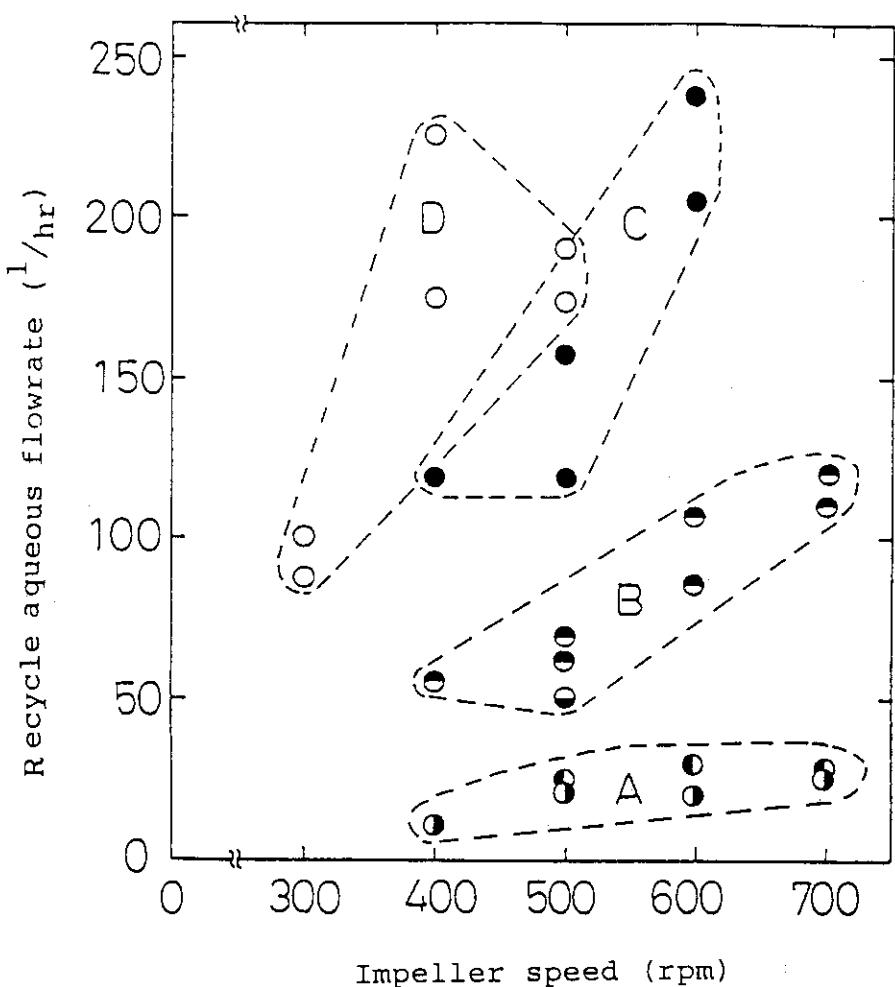


Fig. 4 Construction and dimensions of impellers for mock-up test



Symbol	Impeller		Recycle tube		Org. flowrate (l/hr)
	Type	Dia. (mm)	Dia. (mm)	Length (mm)	
○	A	32	10	50	17
●	A	32	10	50	30
○	B	40	10	50	50
○	B	40	20	100	50
●	C	50	20	100	58
○	D	60	20	100	58

Fig. 5 Recycle aqueous flowrate v. s. speed of impeller for the various construction

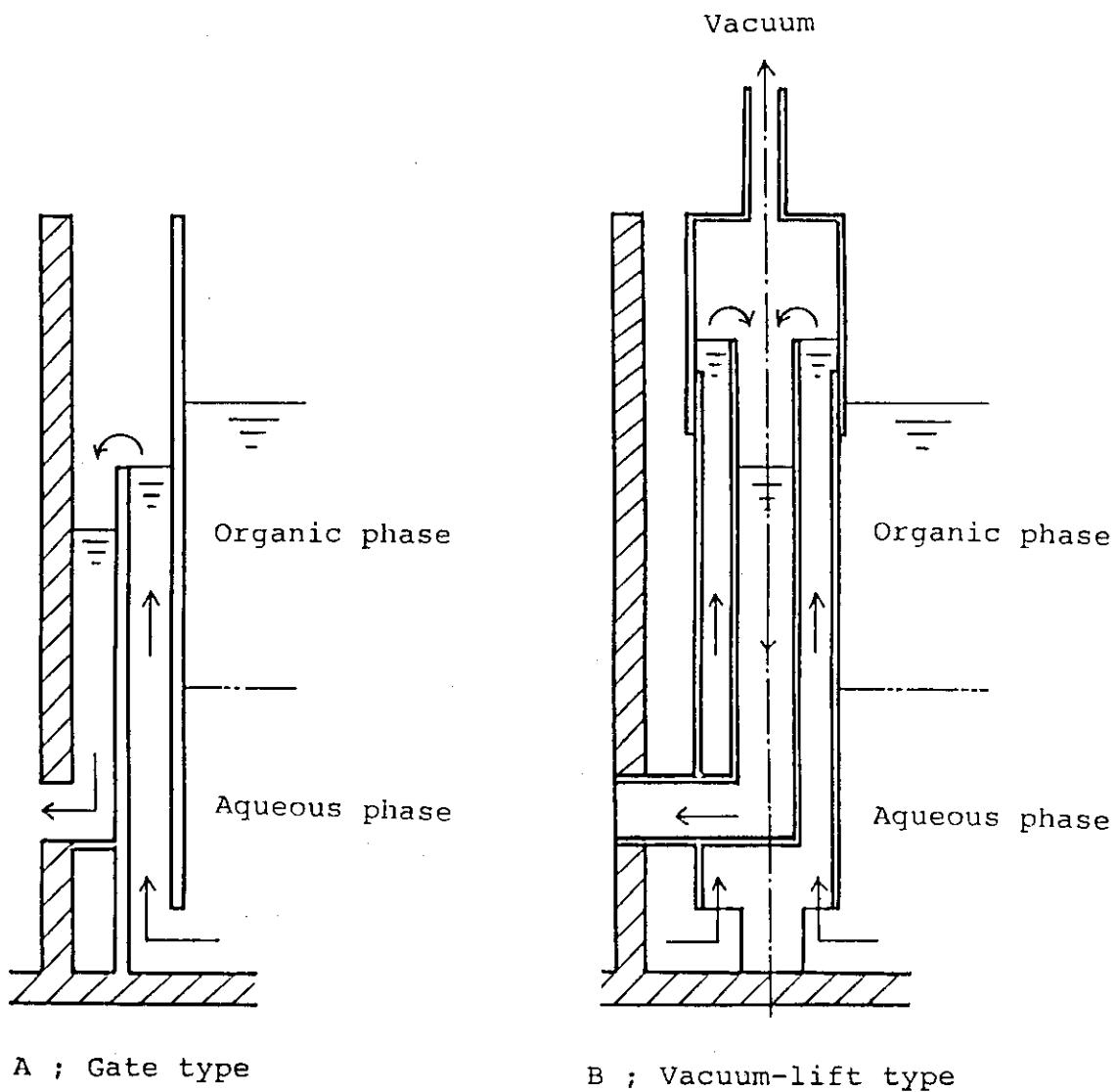


Fig. 6 Two types of weir for level control

A ; Level control under the atmosphere

B ; Level control under the depression

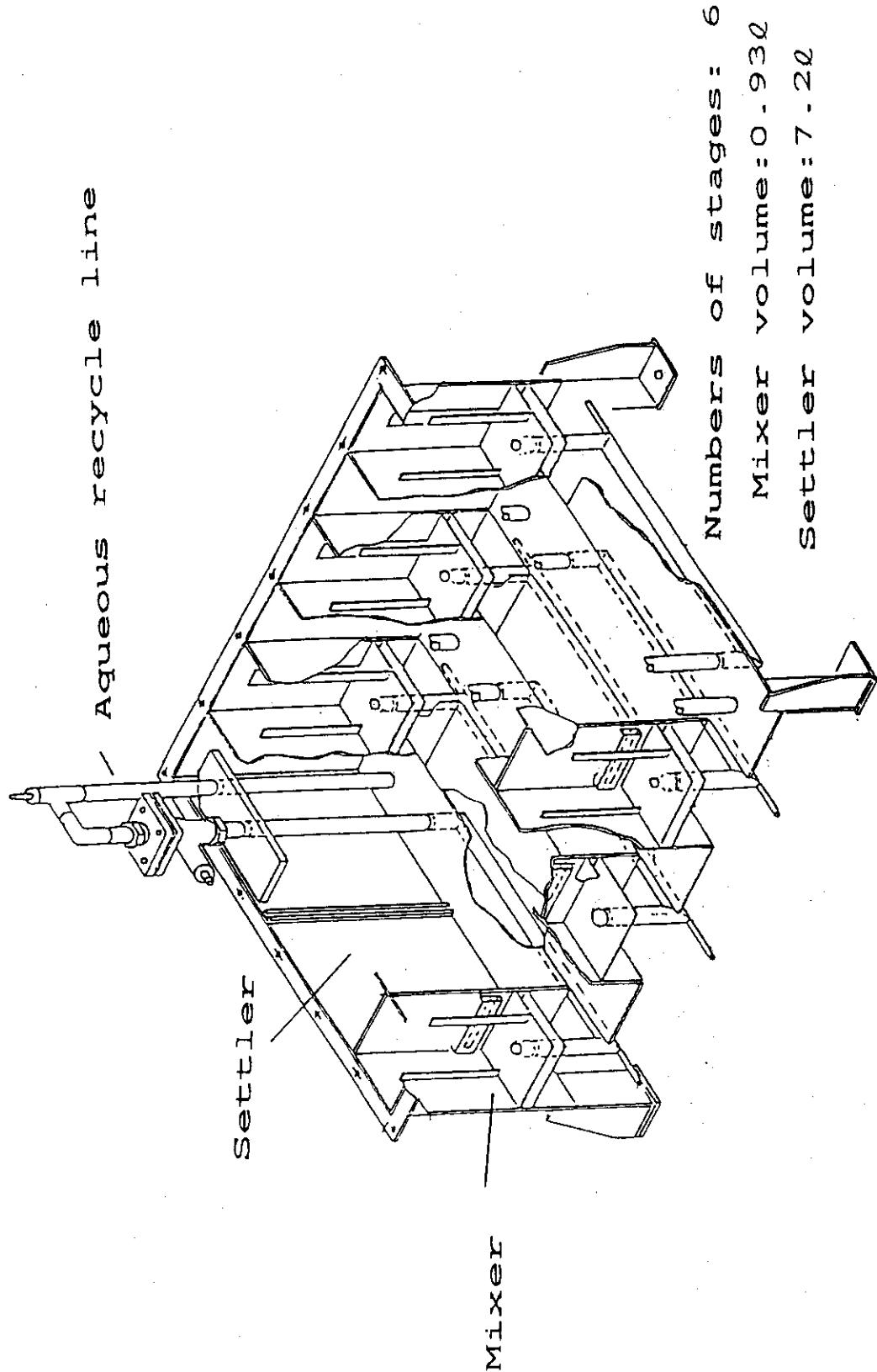


Fig. 7 Mixer-settler type tritium scrubber

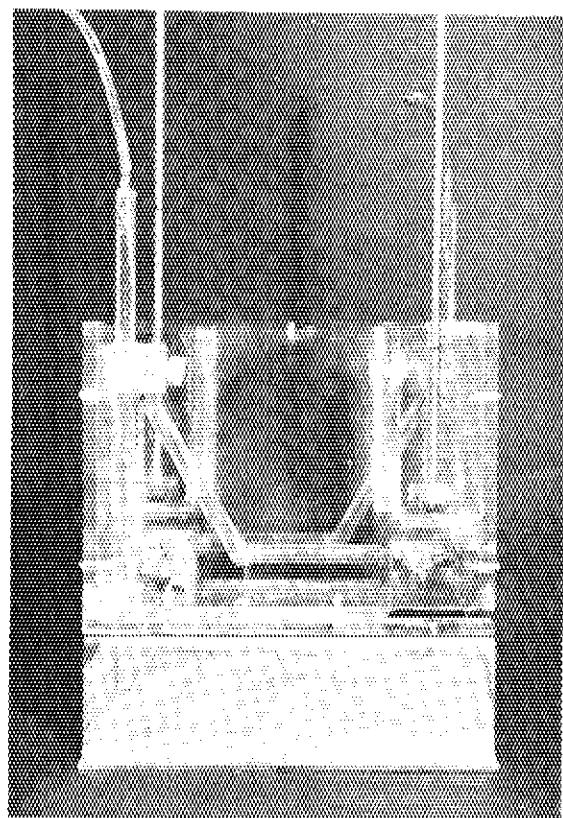


Photo. 1 Two stage mixer-settler

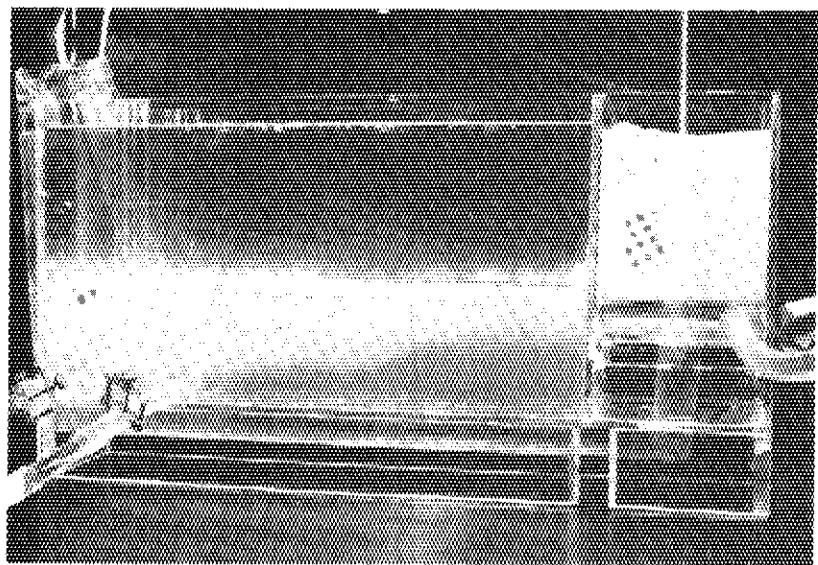


Photo. 2 Single stage mixer-settler

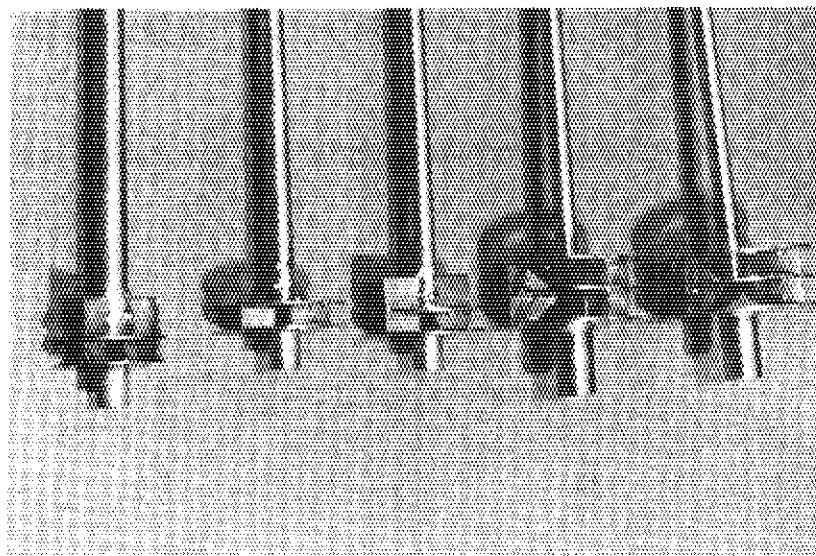


Photo. 3 Various type of impeller

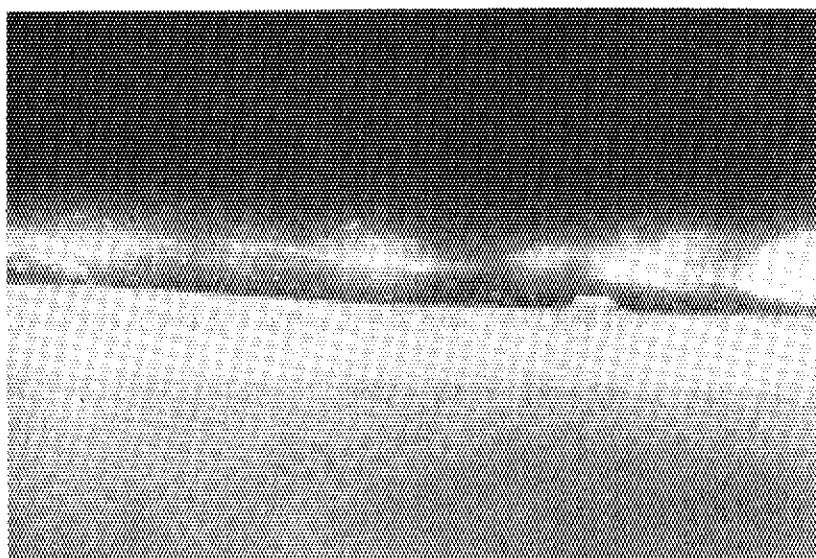
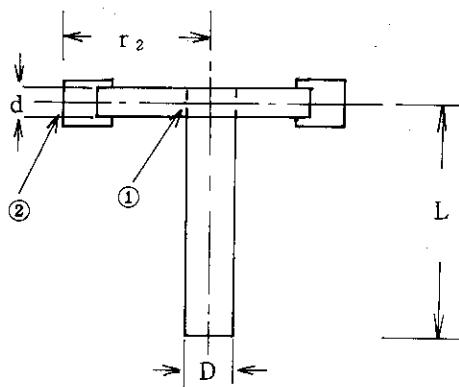


Photo. 4 Emulsion band in settler section

付録1 インペラのポンプ流量の計算

インペラのポンプ機構は、遠心ポンプと同じ原理に基づき、Davidson⁽⁵⁾によって、その数式化が試みられている。



図に示されるインペラの①と②の間のエネルギー収支は、摩擦損失を無視すると、(1)式によつて示される。

$$\frac{V_1^2}{2g} + H_1 + W = \frac{V_2^2}{2g} + H_2 \quad (1)$$

ここで、V；流体の絶対速度、cm/sec

H；流体中の圧力ヘッド、cm

W；インペラによる仕事量、cm

添字1；インペラの入口

添字2；インペラの出口

遠心ポンプ型のインペラの仕事量Wは、(2)式で与えられることが知られている。

$$W = \frac{U_2^2 - U_1^2}{2g} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \quad (2)$$

ここで、U、vは次式で与えられる。

$$U = 2\pi w r \quad (3)$$

w；インペラの回転数、rps

r；インペラの半径、cm

$$v = \frac{Q}{n a} \quad (4)$$

Q ; 流体の流量, cc/sec a ; インペラの半径方向のチャンネル断面積, cm² n ; チャンネルの数

ポンプミックス型のインペラの場合, 流体の速度ヘッドは, 圧力ヘッドに変換されず乱流中で損失するものと考えられ, (5)式で与えられる。

$$H_2 - H_1 = \frac{U_2^2 - U_1^2}{2g} + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} \quad (5)$$

インペラのインレットチューブから液体を吸上げるヘッド ($H_2 - H_1$) は(6)式で示される。

$$H_2 - H_1 = L(\Delta\rho) + h' \quad (6)$$

 L ; インレットチューブの長さ, cm h' ; 流体の全摩擦損失, cm

$$h' = h' \text{ (インペラ入口部)} + h' \text{ (インレットチューブ)} + h' \text{ (曲がり部)} + h' \text{ (チャンネル部)} + h' \text{ (インペラ出口部)}$$

ここで, インレットチューブの流体は乱流と仮定すると

$$h' \text{ (インレットチューブ)} = \frac{0.08}{g} \left(\frac{\mu}{\rho} \right)^{0.16} \cdot \frac{Q^2 \cdot L}{D^{1.16} \cdot A^2}$$

 μ ; 粘度, ポイズ ρ ; 密度, g/cc A ; インレットチューブの断面積, cm²

全摩擦損失は,

$$\begin{aligned} h' &= \frac{1}{2g} \left[\frac{K_i + K_b}{A^2} + \frac{K_o}{n^2 \cdot a_1^2} + \frac{0.16}{A^2} \left(\frac{\mu}{\rho} \right)^{0.16} \cdot \frac{L}{D^{1.16}} \right] Q^2 \\ &\quad + \frac{32}{4g} \cdot \frac{\mu}{\rho} \cdot \frac{L'}{na_1^2} \cdot Q \end{aligned} \quad (7)$$

ここで,

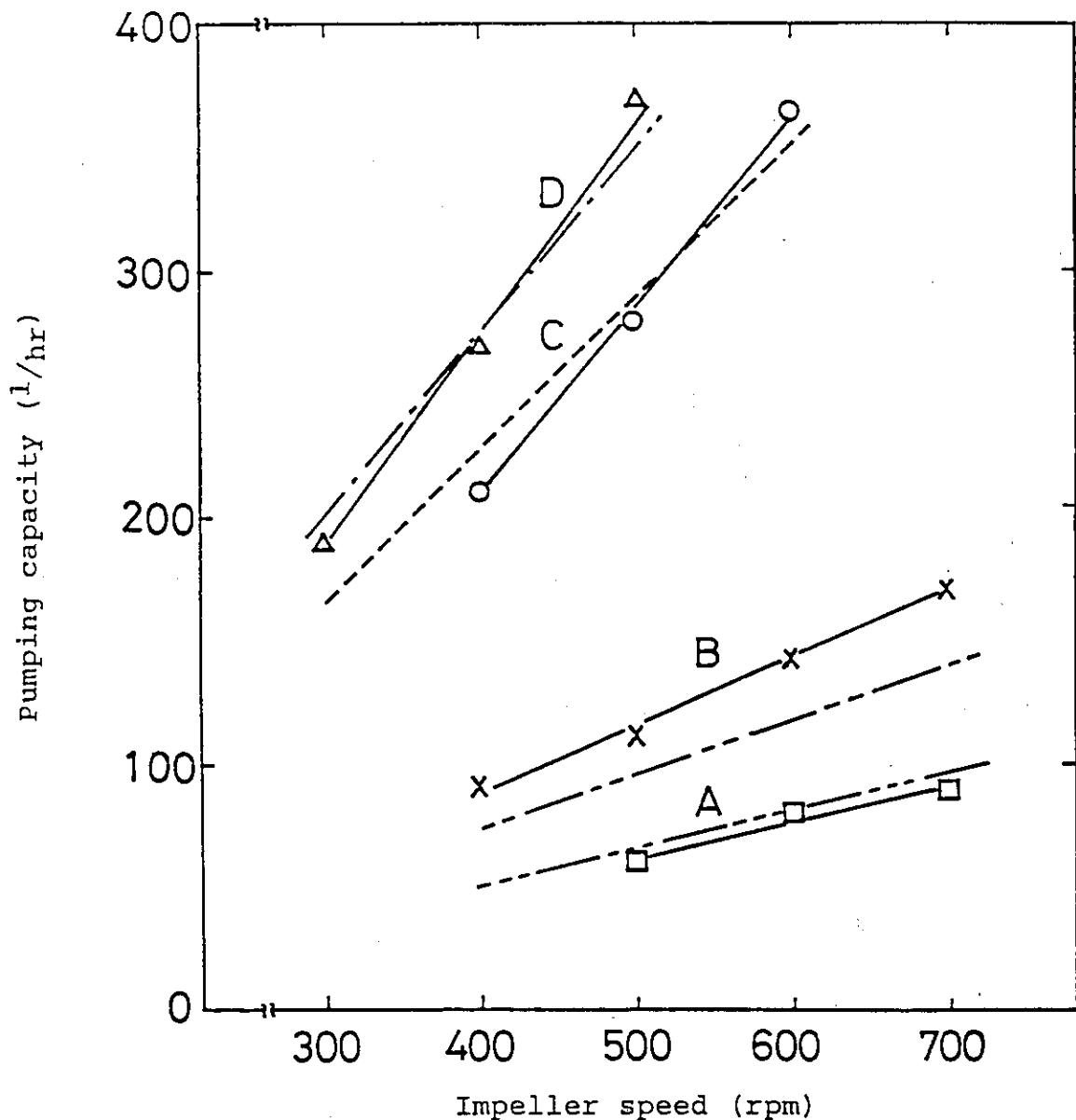
 K_i ; インペラ入口の抵抗係数 K_b ; インペラ曲げ部の抵抗係数 K_o ; インペラ出口の抵抗係数 L' ; インペラのチャンネルの長さ, cm a_1 ; チャンネルの断面積, cm²

である。

以上, (5)式に, (3), (4), (6), (7)式を代入し, 整理すると(8)式になる。

$$\begin{aligned} &\left[\frac{K_i + K_b}{A^2} + \frac{K_o - 1}{n^2 \cdot a_1^2} + \frac{1}{n^2 \cdot a_2^2} + \frac{0.16}{A^2} \left(\frac{\mu}{\rho} \right)^{0.16} \cdot \frac{L}{D^{1.16}} \right] Q^2 + \\ &16\pi \cdot \frac{\mu}{\rho} \cdot \frac{L'}{na_1^2} \cdot Q = 4\pi^2 w^2 (r_2^2 - r_1^2) - L \cdot (\Delta\rho) 2g \end{aligned} \quad (8)$$

各種インペラにおけるインペラ回転数に対する吸上げ流量をピトー管によって実測し、(8)式による計算値と比較した結果を Fig. A. 1 に示す。(8)式の計算に用いたインペラの抵抗係数 (K_i , K_b , K_o) は、始めから正確に決めることが困難であるために、ほぼ妥当な値の範囲内の値を用いて実測値に最も一致するように、試行錯誤的に決めた値である。インペラの抵抗係数を正確に決めることが出来れば、(8)式により各種インペラの吸上げ流量を計算することが可能であると思われる。



Fluid : Water

- Experimental value of the impeller type A
 - Calculation value of the impeller type A
 - Experimental value of the impeller type B
 - Calculation value of the impeller type B
 - Experimental value of the impeller type C
 - Calculation value of the impeller type C
 - Experimental value of the impeller type D
 - Calculation value of the impeller type D

Fig. A. 1 Pumping capacity of the various impellers

付録2 エントレインメントの段効率に及ぼす影響の評価

ミキサーセトラの段効率に及ぼすエントレインメントの影響は、Schleicher⁽⁶⁾によってモデル化されている。このモデルでは次の仮定を設けている。

- 1) エントレインメント率は、各段同じとする。
- 2) 溶媒と溶質の相互の溶解度は、溶質濃度によらない。
- 3) 溶媒と水相の流量は、各段一定とする。
- 4) 分配係数は一定とし、濃度に依存しない。
- 5) ミキサー部における分散相の合体と再分散および連続相の混合は、十分速く進むものと見なし、多相の溶質濃度が均一であること。
- 6) ミキサー部における物質移動速度は、 $K_aV(X_n - my_n)$ で示され、 K_aV は各ミキサーとも同一値とする。
- 7) 物質移動はミキサー部において行われる。

するとセトラ部の効率 E_e は、(1)式で示される。

$$E_e = \frac{\log F + (N - 1) \log \lambda'}{N \log F} \quad (1)$$

$$\left[\lambda' = \frac{F + E_m (F \cdot f + S)}{1 + E_m (F \cdot f + S)} \right]$$

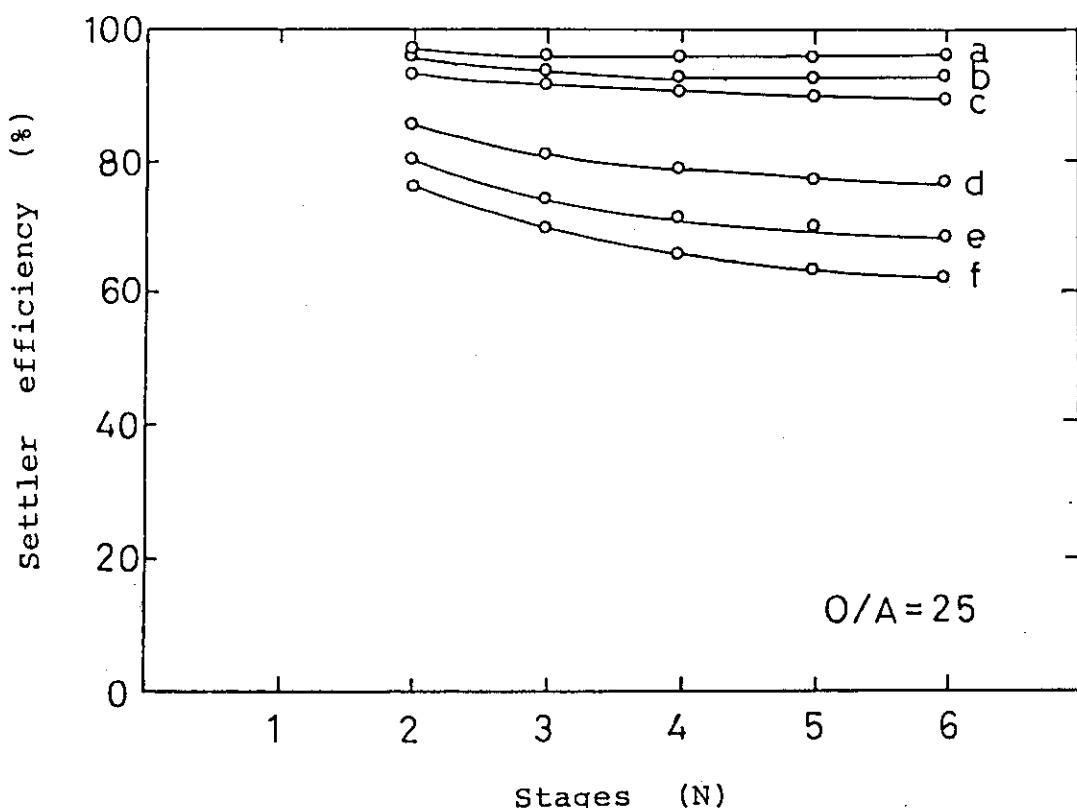
ここで、 E_m は、単一ミキサーの効率 ($E_m = \frac{F_t}{(1 + F_t)}$) であり、Murphree 段効率と等価である。

総括段効率 E_o は、(3)式に示すように、セトラ効率 E_e に総括のミキサー効率 E_m を乗じることで示される。ここで、エントレインメントが無い場合の総括段効率 E_{mo} は、(2)式で示され、ミキサーの効率と等価になる。

$$E_{mo} = \frac{\log \frac{1 + F_t}{1 + t}}{\log F} \quad (2)$$

$$E_o = E_e E_m \quad (3)$$

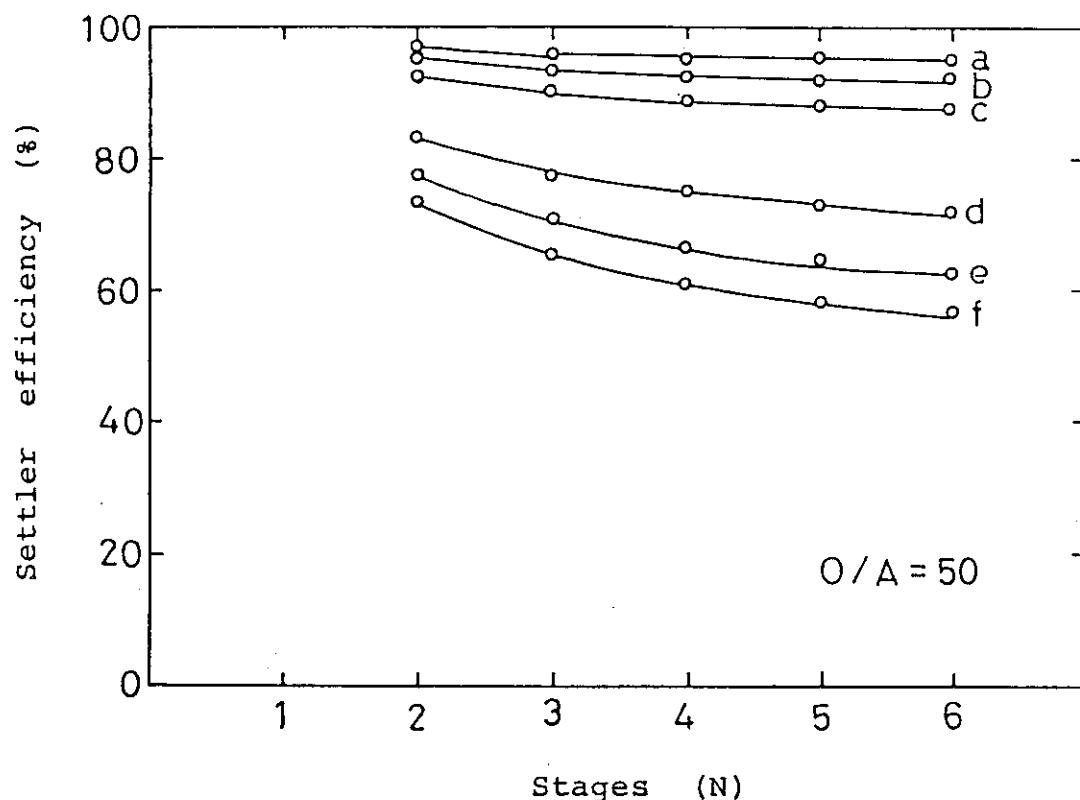
試みに(1)式を用いて、実験で求められた水相および有機相エントレインメント率を各々 0.06, 0.1% としトリチウムの分配比を 200, 500, 1000 とし有機相、水相の流量比を 25, 50 と仮定して 6 段までのセトラ効率を計算した結果を Fig. A. 2 ~ A. 3 に示す。これから、エントレインメント率が 0.06% 程度であれば、トリチウム分配比が 1000 程度でもセトラ効率は 85 ~ 90 % 程度までしか低下しないことがわかった。しかし、セトラ部での相分離が異常に悪くなり、エントレインメント率が、0.5% 程度に増大した場合はセトラ効率が 60% 程度まで低下することがわかる。



- a: $m = 200$ $cs = 0.1$ $cf = 0.06$
- b: $m = 500$ $cs = 0.1$ $cf = 0.06$
- c: $m = 1000$ $cs = 0.1$ $cf = 0.06$
- d: $m = 200$ $cs = 0.5$ $cf = 0.5$
- e: $m = 500$ $cs = 0.5$ $cf = 0.5$
- f: $m = 1000$ $cs = 0.5$ $cf = 0.5$

m : Tritium distribution ratios (X/X')
 cs : Organic entrainment (V/V_o)
 cf : Aqueous entrainment (V/V_o)
 in Aqueous phase
 in Organic phase

Fig. A. 2 Effect of entrainment on stage efficiency
 $(\text{Organic flowrate}/\text{Aqueous flowrate}) = (\text{O}/\text{A}) = 25$



a: $m = 200$ $cs = 0.1$ $cf = 0.06$

b: $m = 500$ $cs = 0.1$ $cf = 0.06$

c: $m = 1000$ $cs = 0.1$ $cf = 0.06$

d: $m = 200$ $cs = 0.5$ $cf = 0.5$

e: $m = 500$ $cs = 0.5$ $cf = 0.5$

f: $m = 1000$ $cs = 0.5$ $cf = 0.5$

m : Tritium distribution ratios (X/X')

cs : Organic entrainment (v/v)
in Aqueous phase

cf : Aqueous entrainment (v/v)
in Organic phase

Fig. A. 3 Effect of entrainment on stage efficiency
(Organic flowrate/Aqueous flowrate)=(O/A)=50