

J A E R I - M
94-053

NUCEFにおける空気攪拌による円環槽の溶液混合試験

1994年3月

松村 達郎・倉ヶ崎六夫*・杉川 進・野村 正之

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, Tokaimura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1994

編集兼発行 日本原子力研究所
印 刷 いばらき印刷株

NUCEFにおける空気攪拌による円環槽の溶液混合試験

日本原子力研究所東海研究所NUCEF計画推進室

松村 達郎・倉ヶ崎六夫*・杉川 進・野村 正之⁺

(1994年2月17日受理)

NUCEFの臨界実験用核燃料調製設備の運転管理及び計量管理に資するため、空気攪拌による円環槽の溶液均一化のための混合試験を行った。本試験では、まず異なった孔配置を持った5種類のノズルを用いて、平板槽における重液（炭酸カリウム水溶液）と軽液（水）の混合特性を、密度測定及び着色した軽液を用いた可視化試験により観察し、最も効率の良いノズル配置を調べた。その結果、ノズルを貯槽最深部側の一端に配置したタイプが適当であることがわかった。次にこのタイプのノズルを備えたNUCEFで用いる実機（円環内径898mm、円環厚45mm、高さ1280mm、容量120 l）と同寸法の円環槽を用いて、攪拌空気流量に対する発生ミスト濃度、水の蒸発速度及び重液（硝酸アルミニウム溶液及び炭酸カリウム水溶液）と軽液（水）を均一にするために必要な攪拌時間の測定を行った。本設備は様々な円環槽を備えており、今後整備する予定の槽もあるため、単位液面積当たりの攪拌空気流量で比較を行った結果、攪拌空気流量 $2.7\sim22.5\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{hr}$ の範囲において、(1)発生ミスト濃度が $6.5\sim17\text{mg/m}^3$ であること、(2)水の蒸発速度が溶液全量に対して $10^{-2}\text{vol\%}/\text{hr}$ 程度であること、(3)軽液と重液が均一になる時間は約6～15分であることがわかった。これらの空気攪拌特性から、本設備の円環槽において発生ミスト濃度等が低く、かつ溶液の均一化時間が短い攪拌空気流量は、 $12\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{hr}$ が適当であることが判明した。

東海研究所：〒319-11 茨城県那珂郡東海村白方字白根2-4

*企画室

*三菱重工業株式会社

Air Sparge Mixing Tests of an Annular Tank in NUCEF

Tatsuro MATSUMURA, Mutsuo KURAGASAKI^{*}, Susumu SUGIKAWA
and Masayuki NOMURA⁺

Department of NUCEF Project
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received February 17, 1994)

The nuclear fuel chemical treatment system prepares the fuel solutions for STACY(Static Critical Experiment Facility) and TRACY(Transient Critical Experiment Facility) in the NUCEF. The system has twenty-seven annular tanks for storage of plutonium, uranium and waste solution and they are used for nuclear material accountancy for safeguard. Therefore, a high accuracy measurement of the nuclear material quantity in each tank is required. The quantity of the nuclear material is determined by volume measurement of solution and concentration measurement of nuclear material. Consequently, solution homogenization in the tanks is very important. The mixing procedure with air sparge is used in the NUCEF by its simplicity, but the mixing performance is influenced by the arrangement of the air sparge nozzles.

In order to find optimum air sparging condition of the annular tanks in the NUCEF, the tests were carried out by using a mock-up slab tank and a mock-up annular tank. The obtained results are following. (1) The concentrations of mist in the vent air are from 6.5 to 17 mg/m³. (2) The evaporation rate during mixing is approximately 10⁻² vol%/hr to all amount of water in the annular tank. (3) Mixing time to attain the liquid homogeneity are from 6 to 15 minutes. By the experimental data,

+ Office of Planning

* Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

the optimum flow rate of air sparging for liquid mixing in the annular tank is $12 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{hr}$.

Keywords: Plutonium Solution, Inhomogeneity, Accountancy, Safeguard, Criticality, Liquid Mixing, Air Sparge, Annular Tank, Entrainment of Mist, STACY, TRACY, NUCEF, Reprocessing

目 次

1. 序 論	1
2. 平板槽を用いた空気攪拌試験によるノズル配置の選定	2
2.1 試験方法	2
2.2 結 果	2
3. 円環槽による空気攪拌試験	3
3.1 モックアップ円環槽	3
3.2 空気攪拌時のミスト移行量測定	3
3.3 空気攪拌時の溶液蒸発量の測定	5
3.4 空気攪拌による溶液混合試験	5
4. 結 論	6
5. 今後の課題	7
謝 辞	7
参考文献	7
付 錄	29

Contents

1. Preface	1
2. Selection of the Nozzle Arrangement for Air Sparge	2
2.1 Method	2
2.2 Results	2
3. Mixing Test by the Mock-up Annular Tank	3
3.1 Equipment	3
3.2 Entrainment of Mist	3
3.3 Vaporization	5
3.4 Mixing Behavior	5
4. Summary and Discussion	6
5. Future Perspective	7
Acknowledgements	7
References	7
Appendix	29

1. 序 論

燃料サイクル安全工学研究施設（N U C E F）に設置される2つの臨界実験装置、S T A C Y、T R A C Yで使用する溶液燃料を調製し、供給するための核燃料調製設備は、溶液状のウラン740kg、プルトニウム 60kgを使用することから、これを貯留する貯槽は、臨界安全上の要求を満たすためウランについては平板槽、プルトニウムについては円環槽を用いている。これらの槽内の溶液の攪拌は、空気攪拌方式を採用している。この方式は、槽内に挿入したノズルから圧縮空気を噴出し気泡の上昇力により溶液に流動を起こして攪拌するものであり、構造が単純で可動部がなくメンテナンスが容易である反面、ノズルの配置によって攪拌性能に大きく差が出ることが予想され、場合によっては部分的に攪拌できない領域の生じる可能性がある。核燃料調製設備は大量の核燃料物質を取り扱う施設として、計量管理上、非常に高い精度で在庫量を確定することが要求されている。設備内の核物質在庫量の確定は、核物質の水溶液を各貯槽に集めて液量測定とサンプル分析により核物質量を計算し、これを全貯槽について足しあわせて設備内の全核物質量とする。ここで、貯槽内液量の測定は、槽内に挿入したMajor ProbeとMinor Probe及び槽の上部に接続されたReference Probeを用いて行う。Major ProbeとMinor Probeの高低差は200mmであり、これは貯槽の初期校正時に既知の密度を持った液体で校正し、正確に測定しておく必要がある。これら3本のProbeに加湿した空気を1.2 l/hで通気し、高精度の差圧計でそれぞれの差圧を測定することにより液位を知ることができる^{*1)}。濃度を知るためにには、前述のとおり、槽内の溶液のサンプルを採取し分析を行う。どちらにおいても、攪拌が十分でないと槽内の溶液を代表した値が得られず、したがって核物質量の正確な値を知ることができない。一方、空気攪拌では吹き込む圧縮空気の流量を大きくすれば、より激しい流動が生じて早く攪拌が終了するのは明らかである^{*2)}が、あまり大きくしすぎると液面からの溶液ミストの発生により、ベント系へプルトニウムが移行し、施設の安全上問題となる。従来から、数多くの溶液からのミスト移行試験が行われているが円環槽に関するデータはなく、N U C E Fの安全審査においても評価のベースとしたデータは、K f Kで行われた円筒槽に関するものであった。また、混合特性に関しては、特に円環槽のような混合しにくい体系の場合、少しの形状の差が特性に大きく影響する場合があると考えられ、実機を模擬した体系で混合試験を行う必要があった。

本試験では、核燃料調製設備で用いる代表的な円環槽（円環内径 898mm、円環厚 45mm、高さ 1280 mm、容量 120 l）において、効率良く槽内全体が攪拌できる空気ノズルの配置、及びそのノズル配置における最適な運転条件を求めるため、モックアップ装置を製作して以下の試験を行った。

- (1) ノズル配置選定試験
- (2) 模擬円環槽を用いた溶液ミスト移行試験
- (3) 模擬円環槽を用いた空気攪拌時の溶液蒸発量の測定
- (4) 模擬円環槽を用いた溶液混合試験

試験手順としては、(1)により様々なノズル配置における攪拌挙動を観察して最も攪拌効率のよいノズル配置を選定し、この攪拌ノズル配置を持った実機と同じ大きさの円環槽を製作して(2)以下の試験を行うことにより、円環槽の空気攪拌時における最適な運転条件を求めた。

2. 平板槽を用いた空気攪拌試験によるノズル配置の選定

2.1 試験方法

円環槽において効率的に攪拌できるノズル配置を見出すためにTable 1に示す各種空気攪拌ノズルを試験した。用意したノズルは、槽内の最も深い部分に孔を配置したもの、全体に一様に配置したもの3種類及び槽の中心部に配置したものの、計5種類である。円環槽は、2つの平板槽の両端が接続されたものと考えられるので、内部を観察できるアクリル製の平板槽を用いて試験を行った。本試験で用いたモックアップ平板槽及び試験装置の系統図を、Fig.1、Fig.2に示す。コンプレッサーによって注入する圧縮空気の流量は、実機と液面単位面積当たりの流量が同じになるように設定した。また、試験で用いる重液としては、実機で用いる最も密度の大きいウラン溶液(500gU/l)に密度をそろえることができ、かつ廃液処理の容易さを考慮し、炭酸カリウム水溶液を用いた。これらの条件を以下に示す。

攪拌空気流量 : $Q = 16.92 \text{ l/min}$

軽液密度 : 1.00 g/cm^3 (水道水)

重液密度 : 最大 1.6 g/cm^3 (炭酸カリウム水溶液)

貯槽内の溶液を空気攪拌し均一化する初期条件としては、液の層状化状態(密度が大きい液が下層に小さい液が上層になった状態)が最も厳しい。本試験では、軽液を規定のレベルまで供給し、その後重液(炭酸カリウム溶液)を下方より軽液を押し上げるように供給して層状化状態を作った。この状態から、コンプレッサーを起動し攪拌用配管ノズルから空気を吹き込み攪拌を行い、Fig.1に示した12ヶ所のサンプリング管から約1~2mlの液を5~10分毎にサンプリングした。サンプリングした液の密度は、事前に溶液密度と校正を行った屈折計を用いて測定した。使用した屈折計は、「アタゴ血清蛋白屈折計タイプN1、N2」である。試験ケースをTable 2に示した。また、これらの試験ケースのうちケースNo.1とケースNo.2については、軽液に着色して可視化試験を行った。

2.2 結 果

各試験ケースの密度測定の結果をFig.3-1~3-6に、可視化試験の結果をFig.4に示した。これらより、以下のことが観察された。

- ・貯槽最深部側に配置したノズルAのケースNo.1と、一様に7個配置したノズルCのケースNo.5を比較すると、前者は端部の全孔からの吐出が見られ、槽内に大きな旋回流が生じて5分以内に二液の均一化がほぼなされているが、後者は孔数が7個あるにもかかわらず、水圧の小さい3個の孔からしか吐出が見られず、5分後においても均一化がなされていないことがわかる。
- ・ケースNo.6(ノズルB)とケースNo.7(ノズルD)は、孔を一様に3個開け空気の流路を逆にした場合であるが、両者とも水圧の小さい2個の孔からしか吐出が見られず、5分後においても均一化がなされていない。

- ・ケースNo.1、No.3、No.4は、同じノズルを使い重液と軽液の割合を変化させた場合であり、軽液が少ないほど均一化が早いことがわかる。これは、重液と軽液の界面が上にあるほど気泡の上昇力が大きくなり、槽内の対流を起こしやすいためと考えられる。
- ・Fig.4は、最深部にのみ孔を配置したノズルAを用いたケースNo.1と、中心に孔を配置したノズルEを用いたケースNo.2について可視化試験を行った結果である。この図より、ケース1では約1分後に全体が着色しているが、ケース2では5分後においても最底部に全く混合していない領域があることがわかる。

以上の結果より、最も攪拌が困難な領域は槽の最深部で、ここを効果的に攪拌するには槽内の最深部から空気を吐出させることが重要であり、このために適切な空気攪拌ノズル配置は、Table 1に示したうちのノズルAであることがわかった。

3. 円環槽による空気攪拌試験

3.1 モックアップ円環槽

平板槽を用いた空気攪拌試験の結果、槽の最深部に孔を設けたタイプが良いことがわかったので、このノズルを持った円環槽における最適な運転条件を決定するため、空気攪拌時のミスト移行量及び蒸発量の測定と溶液混合試験を行った。使用したモックアップ円環槽とその写真をFig.5、Fig.6に示した。寸法は、円環内径 898mm、円環厚 45mm、高さ 1280mm、容量120 lで、核燃料調製設備で用いるプルトニウム溶液一時貯留用の円環槽と全く同仕様であり、実機と同じように差圧計用ディップチューブ等の内挿管及びベントガス排出ノズルを備えている。また、溶液混合試験用にサンプリングポートを側面に10ヶ所、底面に1ヶ所及び内部観察用窓を側面に4ヶ所設けた。攪拌用圧縮空気は、コンプレッサより流量調整弁を通して供給した。

3.2 空気攪拌時のミスト移行量測定

3.2.1 試験方法

Fig.7に空気攪拌時のミスト移行量測定に用いた装置の概略を示した。実機におけるベントガス管を模擬して、前項で述べたモックアップ円環槽のベントガス排出ノズルに垂直に60cmのテフロンチューブを接続しこれに90° エルボを介してさらにテフロンチューブを用いて洗気瓶に接続した。洗気瓶は、発生したミストを確実に捕集するため直列に2個用いた。試験手順としては、円環槽に硝酸第2鉄水溶液100 lを張り、120分間所定流量の攪拌空気を通気した後、90° エルボから洗気瓶までのテフロンチューブを純水で洗浄し洗気瓶中の溶液とあわせてICP（誘導結合高周波プラズマ発光分析法）により鉄イオン濃度を測定した。これにより、移行したミストに含まれる鉄イオンの量を求め、垂直管以降にまで移行したミストの平均濃度を次式により求めた。

- ・ケースNo.1、No.3、No.4は、同じノズルを使い重液と軽液の割合を変化させた場合であり、軽液が少ないほど均一化が早いことがわかる。これは、重液と軽液の界面が上にあるほど気泡の上昇力が大きくなり、槽内の対流を起こしやすいためと考えられる。
- ・Fig.4は、最深部にのみ孔を配置したノズルAを用いたケースNo.1と、中心に孔を配置したノズルEを用いたケースNo.2について可視化試験を行った結果である。この図より、ケース1では約1分後に全体が着色しているが、ケース2では5分後においても最底部に全く混合していない領域があることがわかる。

以上の結果より、最も攪拌が困難な領域は槽の最深部で、ここを効果的に攪拌するには槽内の最深部から空気を吐出させることが重要であり、このために適切な空気攪拌ノズル配置は、Table 1に示したうちのノズルAであることがわかった。

3. 円環槽による空気攪拌試験

3.1 モックアップ円環槽

平板槽を用いた空気攪拌試験の結果、槽の最深部に孔を設けたタイプが良いことがわかったので、このノズルを持った円環槽における最適な運転条件を決定するため、空気攪拌時のミスト移行量及び蒸発量の測定と溶液混合試験を行った。使用したモックアップ円環槽とその写真をFig.5、Fig.6に示した。寸法は、円環内径 898mm、円環厚 45mm、高さ 1280mm、容量120 lで、核燃料調製設備で用いるプルトニウム溶液一時貯留用の円環槽と全く同仕様であり、実機と同じように差圧計用ディップチューブ等の内挿管及びベントガス排出ノズルを備えている。また、溶液混合試験用にサンプリングポートを側面に10ヶ所、底面に1ヶ所及び内部観察用窓を側面に4ヶ所設けた。攪拌用圧縮空気は、コンプレッサより流量調整弁を通して供給した。

3.2 空気攪拌時のミスト移行量測定

3.2.1 試験方法

Fig.7に空気攪拌時のミスト移行量測定に用いた装置の概略を示した。実機におけるベントガス管を模擬して、前項で述べたモックアップ円環槽のベントガス排出ノズルに垂直に60cmのテフロンチューブを接続しこれに90° エルボを介してさらにテフロンチューブを用いて洗気瓶に接続した。洗気瓶は、発生したミストを確実に捕集するため直列に2個用いた。試験手順としては、円環槽に硝酸第2鉄水溶液100 lを張り、120分間所定流量の攪拌空気を通気した後、90° エルボから洗気瓶までのテフロンチューブを純水で洗浄し洗気瓶中の溶液とあわせてICP（誘導結合高周波プラズマ発光分析法）により鉄イオン濃度を測定した。これにより、移行したミストに含まれる鉄イオンの量を求め、垂直管以降にまで移行したミストの平均濃度を次式により求めた。

$$C = \frac{M \times D}{N \times F \times T \times 10^{-3}}$$

C : ベントガス中のミスト平均濃度 (mg/m^3)

M : 移行 Fe^{3+} 量 (mg)

N : 円環槽中の硝酸第2鉄溶液の鉄濃度 (mg/ml)

D : 円環槽中の硝酸第2鉄溶液の密度 (mg/ml)

F : 搅拌空気流量 ($1/\text{min}$)

T : 搅拌時間 (min)

搅拌空気流量は、実機で計画されていた流量 (27 $1/\text{min}$) を中心に7点とり、搅拌空気流量とベントガス中のミスト平均濃度及び単位時間当たりのミスト移行量との関係を見た。

3.2.2 結 果

試験結果をFig.8に示した。グラフより、ベントガス中のミスト濃度は搅拌空気流量の増加と共に減少し、単位時間当たりのミスト移行量は増大する傾向があることがわかる。搅拌空気流量を増大させた際、液面で生じる大きな飛沫は垂直ラインのパイプA以降まで到達せず、また小さなミストは全体量は増加するものの空気流量が増大するので希釈されることになり、その結果、濃度は減少するものと解釈される。同様な試験は、ORN LとK f Kで行われている^{*3), *4)}。ORN Lの報告によると、単位面積当たりの空気流量が、 $2.75\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 以下の場合でも準安定なエアロゾルの形成が見られ、その濃度は、 $10\text{mg}/\text{m}^3$ のオーダーであり、結果によい一致が見られる。また、垂直なベント配管中において、上方への空気流があった場合、そこで安定に存在しうるミスト濃度を示しており、本試験における条件である空気流速 $0.848\sim 7.070\text{m/sec}$ では、 $560\sim 10^4\text{mg}/\text{m}^3$ 以上である。従って、本試験ではベントエア中のミスト濃度から、不安定なミストは移行していないことが分かる。一方、K f Kにおける試験結果では、搅拌空気流量とミスト濃度について逆の傾向が報告されている。これの原因は、K f Kの試験装置で使用している槽がパルセータを備えた円筒槽であり、空気搅拌用ノズルは底部に水平に設置されたリングに等間隔に配置されているため、今回の平板槽による溶液混合試験の結果で観察されたように、空気流量が少ないケースでは供給源に近いノズルからしか空気が噴出せず、流量を増加させるにしたがって空気を噴出するノズルが増加ためであると考えられる。すなわち、ミストの発生源である液面における気泡の破裂という観点から見ると、気泡の破裂が起こる領域が空気流量の増加とともに大きくなり、この領域中の単位面積当たりの空気流量は大きく変わらないと考えられるため、ミスト粒子の大きさは変わらず発生量が増加し、結果として測定ポイントにおけるミスト濃度の増加をもたらしたのであろう。一方、本試験では最深部にのみ空気搅拌ノズルを配置した円環槽を用いており、空気流量の増加による気泡の破裂する領域の増加はそれほど考えられない。したがって、気泡が破裂する領域における単位面積当たりの流量が増加し、ミスト粒子の径が大きくなるため、ミストが移行せず濃度が減少したと考えられる。このことから、ミストの移行という観点からも、空気搅拌ノズルは集中して配置したほうが良いことがわかる。

3.3 空気攪拌時の溶液蒸発量の測定

空気攪拌時における溶液の蒸発量を知るため、モックアップ円環槽に純水を120 l張り、攪拌空気を連続して流し続け、所定時間毎に高精度液位計で液位を測定し、あらかじめ校正しておいたこの槽の液位-容積校正曲線により蒸発した水の割合を計算した。結果をFig.9に示した。空気流量32 l/minにおいて、通気時間30時間後の全蒸発量は、全液量の1%以下であり、蒸発率（全液量に対する単位時間当たりに蒸発した割合）は、 $10^{-2}\%/\text{hr}$ 程度であった。実機においては、溶液は硝酸プルトニウム溶液あるいは硝酸ウラン溶液であり、また供給される攪拌空気の温度、湿度も違うため、一概に比較できないが、前項での試験結果より、必要な攪拌時間が15分程度としても、蒸発量は全液量の $10^{-4}\%$ 程度であるので、空気攪拌時の溶液からの蒸発は問題にならないことがわかる。

3.4 空気攪拌による溶液混合試験

3.4.1 試験方法

平板槽と同様に重液と軽液を層状化させ、攪拌空気を注入して溶液混合試験を行った。重液をモックアップ円環槽に所定量張った後、軽液を静かに入れて層状化状態を作った。溶液の全量は120 lとした。攪拌空気を通して所定時間毎に6ヶ所のサンプリングノズルからサンプルを採取した。平板槽を用いた試験より、槽の最深部が最も攪拌されにくい領域であることがわかっているが、該当する領域が小さくサンプリングにより溶液が乱されるため、試験終了時（180分後）にのみ円環槽底部のドレンノズルからサンプルを採取した。これらのサンプルの密度を振動式密度計（京都電子工業、DA-300型、精度 $\pm 1 \times 10^{-4} \text{ g/cm}^3$ ）により測定し、攪拌状態を観察した。重液には硝酸アルミニウム水溶液（密度 1.28 g/cm^3 ）及び炭酸カリウム水溶液（密度 1.6 g/cm^3 ）を用いた。試験条件の一覧をTable 3に示した。

3.4.2 結 果

試験結果をFig.10-1～8に示す。また、槽最低部のドレンノズル以外のサンプリングポートからのサンプルの密度が混合完了後の密度に対して $\pm 0.03\%$ の範囲に入るまでの時間と攪拌空気流量との関係をFig.11に示した。これらより以下のことがわかる。

- Fig.10-1～10-4は、重液に硝酸アルミニウム水溶液（密度 1.28 g/cm^3 ）を用い、重液・軽液比を1:1として攪拌空気流量を6 l/minから40 l/minへ変化させた場合である。空気流量を増加させると均一化に要する時間は短くなるが、Fig.10-1の空気流量6 l/minの場合でも15分後には円環槽内部のはとんどの領域で溶液が均一化された。ただし、Fig.10-1、10-2の空気流量15 l/min以下の場合は、180分通気後においても槽最低部の領域で混合がごくわずか不完全（0.7%）であった。
- Fig.10-2と10-5及びFig.10-3と10-6は、重液：軽液比を変化させた場合である。これらより、重液：軽液比を変化させても均一化に要する時間は大きく変化しないことがわかる。しかし、Fig.10-6より重液・軽液比が1:3の場合は、空気流量27 l/minにおいても180分通気後の槽最低部領域の混合

が、わずかに不完全であった。

- Fig.10-2と10-7及びFig.10-3と10-8は、重液の密度を変化させた場合である。これらより、重液の密度が変化しても均一化に要する時間に変化は見られない。
- Fig.11 より空気流量が25 l/min以上の場合には、流量を増加させても溶液を均一化させるのに要する時間はそれほど向上しない。

これらをまとめると以下のとおりである。

重液の割合が25vol%の場合及び重液の割合が50vol%であっても空気流量が小さい場合など、槽内の流動が弱い場合は、180分間通気後においても槽最底部においてごくわずかに混合が不完全であった。この結果は、前章における平板槽での結果と同様であり、円環槽においても槽最底部は混合が困難であることがわかる。これは、槽内の最深部には、液抜き管、液位測定用デバイスチューブ等の内挿管を設置する必要があり、設計上、攪拌ノズルを最も深い部分にまで挿入できないことから、槽全体の大きな流動に関与しない領域が出来てしまったためと考えられる。これによる密度測定の誤差、及び槽内核物質量の測定誤差は、関与する領域が槽の0.3%以下であり他の領域との密度の違いが最も大きいケースで0.7%であること、及びこの領域は、密度測定の結果に影響を及ぼさない場所であることから、核燃料調製設備の計量管理上全く問題にならない量であると考えられる。この円環槽の場合に適当な空気流量としては、Fig.8の攪拌空気流量と発生ミスト量の結果とあわせ、空気攪拌時間が短く、かつミスト発生量が比較的少ない、 $11.3 \sim 13.5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ で攪拌するのが妥当であると考えられる。

4. 結論

以上の試験により得られる結論をまとめると、以下の通りである。

- (1) 平板槽、円環槽のように2次元的な広がりを持ち、液抜きのために底部を傾斜させている貯槽において空気攪拌を行う場合は、貯槽の最底部から空気を吐出し、槽内全体にわたる大きな流動を作ることが重要である。
- (2) 核燃料調製設備で用いる代表的な円環槽においては、攪拌空気流量が増加すると、発生ミスト量は増加するが、ミスト濃度としては減少する傾向がある。また、ベント配管の垂直立ち上げ部以降への不安定な大量のミスト移行は、見られなかった。
- (3) モックアップ円環槽（円環内径 898mm、円環厚 45mm、高さ 1280mm、容量 120 l）を用いた溶液攪拌試験において、攪拌空気流量 $6.75 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 以下のケース及び重液の割合が25%の場合では、180分通気した後でもごく一部の領域でわずかに混合が不完全であったが、それによる核物質量の測定誤差は計量管理上問題となる量ではない。
- (4) 溶液の空気攪拌による蒸発は、無視できる量である。
- (5) これらより、核燃料調製設備で用いる円環内径 898mm、円環厚 45mm、高さ 1280mm、容量 120 lの円環槽における攪拌条件としては、ミストの発生が少なく、かつ重液：軽液の割合がいかなる場合でも攪拌できる条件として、空気流量 $12 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ で15分程度の通気が適当であると考えられる。

が、わずかに不完全であった。

- Fig.10-2と10-7及びFig.10-3と10-8は、重液の密度を変化させた場合である。これらより、重液の密度が変化しても均一化に要する時間に変化は見られない。
- Fig.11 より空気流量が25 l/min以上の場合には、流量を増加させても溶液を均一化させるのに要する時間はそれほど向上しない。

これらをまとめると以下のとおりである。

重液の割合が25vol%の場合及び重液の割合が50vol%であっても空気流量が小さい場合など、槽内の流動が弱い場合は、180分間通気後においても槽最底部においてごくわずかに混合が不完全であった。この結果は、前章における平板槽での結果と同様であり、円環槽においても槽最底部は混合が困難であることがわかる。これは、槽内の最深部には、液抜き管、液位測定用ティップチューブ等の内挿管を設置する必要があり、設計上、攪拌ノズルを最も深い部分にまで挿入できないことから、槽全体の大きな流動に関与しない領域が出来てしまったためと考えられる。これによる密度測定の誤差、及び槽内核物質量の測定誤差は、関与する領域が槽の0.3%以下であり他の領域との密度の違いが最も大きいケースで0.7%であること、及びこの領域は、密度測定の結果に影響を及ぼさない場所であることから、核燃料調製設備の計量管理上全く問題にならない量であると考えられる。この円環槽の場合に適当な空気流量としては、Fig.8の攪拌空気流量と発生ミスト量の結果とあわせ、空気攪拌時間が短く、かつミスト発生量が比較的少ない、 $11.3 \sim 13.5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ で攪拌するのが妥当であると考えられる。

4. 結論

以上の試験により得られる結論をまとめると、以下の通りである。

- (1) 平板槽、円環槽のように2次元的な広がりを持ち、液抜きのために底部を傾斜させている貯槽において空気攪拌を行う場合は、貯槽の最底部から空気を吐出し、槽内全体にわたる大きな流動を作ることが重要である。
- (2) 核燃料調製設備で用いる代表的な円環槽においては、攪拌空気流量が増加すると、発生ミスト量は増加するが、ミスト濃度としては減少する傾向がある。また、ペント配管の垂直立ち上げ部以降への不安定な大量のミスト移行は、見られなかった。
- (3) モックアップ円環槽（円環内径 898mm、円環厚 45mm、高さ 1280mm、容量 120 l）を用いた溶液攪拌試験において、攪拌空気流量 $6.75 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 以下のケース及び重液の割合が25%の場合では、180分通気した後でもごく一部の領域でわずかに混合が不完全であったが、それによる核物質量の測定誤差は計量管理上問題となる量ではない。
- (4) 溶液の空気攪拌による蒸発は、無視できる量である。
- (5) これらより、核燃料調製設備で用いる円環内径 898mm、円環厚 45mm、高さ 1280mm、容量 120 lの円環槽における攪拌条件としては、ミストの発生が少なく、かつ重液：軽液の割合がいかなる場合でも攪拌できる条件として、空気流量 $12 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ で15分程度の通気が適当であると考えられる。

5. 今後の課題

今回の試験においては、NUCEFの核燃料調製設備の円環槽の運転条件を決めることが主眼であったため、円環槽の形状の違い、スケールアップ等の検討を行うためのデータは十分でない。今後、アクリル製の円環槽を製作し、混合特性に対する、形状、スケールの違い、内挿管の影響に関する定量的なデータを取得し、それらのデータをもとにモデル化を行い、核燃料施設の円環槽の設計に広く利用できるものとして整備していきたい。

謝 辞

本試験全般にわたって作業を手伝っていただいた東京ニュークリアサービスの前島邦夫氏、試験装置の整備及び試験内容について適切なアドバイス等をいただいたNUCEF建設室の竹下功氏及び峯尾英章氏、溶液混合試験においてサンプリングを手伝っていただいたプロセス技術グループの石仙順也氏、分析技術グループの寺門久雄氏、サンプルを分析していただいた分析技術グループの園部保氏、査読していただいたプロセス安全工学研究室の藤根幸雄主任研究員、レポートを作成するに当たって適切なコメントをいただいたNUCEF計画推進室の辻野部長、井沢プロセス技術グループリーダーに感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) Hosoma T., Maruishi Y., Aritomi M. and Kawa T.: J.Nucl. Sci. Technol., 30, 425 (1993)
- 2) 化学工学会,"化学工学便覧 改訂5版",丸善,東京,890(1988)
- 3) Arnold E.D., Gresky A.T., and Nichols J.P. "The Evaluation of Radioactive Releases from Chemical Plants, Proceedings of the Seventh AEC Air Cleaning Conference", TID-7627, 222(1962)
- 4) Furrer J., Linek A., Leibrecht H., Herrmann F.J. and Stojanik B.: "Aerosol Source Term and Aerosol Removal in the Vessel Offgases, RECOD 87", Bellamy, Paris, 565(1987)
- 5) Kenneth M. Sprouse, Carson L. Nealy,:"Mixing and Sampling Liquid Storage Tanks for Concentration Determination",134TR000011(1987)

5. 今後の課題

今回の試験においては、NUCEFの核燃料調製設備の円環槽の運転条件を決めることが主眼であったため、円環槽の形状の違い、スケールアップ等の検討を行うためのデータは十分でない。今後、アクリル製の円環槽を製作し、混合特性に対する、形状、スケールの違い、内挿管の影響に関する定量的なデータを取得し、それらのデータをもとにモデル化を行い、核燃料施設の円環槽の設計に広く利用できるものとして整備していきたい。

謝 辞

本試験全般にわたって作業を手伝っていただいた東京ニュークリアサービスの前島邦夫氏、試験装置の整備及び試験内容について適切なアドバイス等をいただいたNUCEF建設室の竹下功氏及び峯尾英章氏、溶液混合試験においてサンプリングを手伝っていただいたプロセス技術グループの石仙順也氏、分析技術グループの寺門久雄氏、サンプルを分析していただいた分析技術グループの園部保氏、査読していただいたプロセス安全工学研究室の藤根幸雄主任研究員、レポートを作成するに当たって適切なコメントをいただいたNUCEF計画推進室の辻野部長、井沢プロセス技術グループリーダーに感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) Hosoma T., Maruishi Y., Aritomi M. and Kawa T.: J.Nucl. Sci. Technol., 30, 425 (1993)
- 2) 化学工学会,"化学工学便覧 改訂5版",丸善,東京,890(1988)
- 3) Arnold E.D., Gresky A.T., and Nichols J.P. "The Evaluation of Radioactive Releases from Chemical Plants, Proceedings of the Seventh AEC Air Cleaning Conference", TID-7627, 222(1962)
- 4) Furrer J., Linek A., Leibrecht H., Herrmann F.J. and Stojanik B.: "Aerosol Source Term and Aerosol Removal in the Vessel Offgases, RECOD 87", Bellamy, Paris, 565(1987)
- 5) Kenneth M. Sprouse, Carson L. Nealy,:"Mixing and Sampling Liquid Storage Tanks for Concentration Determination",134TR000011(1987)

5. 今後の課題

今回の試験においては、NUCEFの核燃料調製設備の円環槽の運転条件を決めることが主眼であったため、円環槽の形状の違い、スケールアップ等の検討を行うためのデータは十分でない。今後、アクリル製の円環槽を製作し、混合特性に対する、形状、スケールの違い、内挿管の影響に関する定量的なデータを取得し、それらのデータをもとにモデル化を行い、核燃料施設の円環槽の設計に広く利用できるものとして整備していきたい。

謝 辞

本試験全般にわたって作業を手伝っていただいた東京ニュークリアサービスの前島邦夫氏、試験装置の整備及び試験内容について適切なアドバイス等をいただいたNUCEF建設室の竹下功氏及び峯尾英章氏、溶液混合試験においてサンプリングを手伝っていただいたプロセス技術グループの石仙順也氏、分析技術グループの寺門久雄氏、サンプルを分析していただいた分析技術グループの園部保氏、査読していただいたプロセス安全工学研究室の藤根幸雄主任研究員、レポートを作成するに当たって適切なコメントをいただいたNUCEF計画推進室の辻野部長、井沢プロセス技術グループリーダに感謝いたします。

参考文献

- 1) Hosoma T., Maruishi Y., Aritomi M. and Kawa T.: J.Nucl. Sci. Technol., 30, 425 (1993)
- 2) 化学工学会,"化学工学便覧 改訂5版",丸善,東京,890(1988)
- 3) Arnold E.D., Gresky A.T., and Nichols J.P. "The Evaluation of Radioactive Releases from Chemical Plants, Proceedings of the Seventh AEC Air Cleaning Conference", TID-7627, 222(1962)
- 4) Furrer J., Linek A., Leibrecht H., Herrmann F.J. and Stojanik B.: "Aerosol Source Term and Aerosol Removal in the Vessel Offgases, RECOD 87", Bellamy, Paris, 565(1987)
- 5) Kenneth M. Sprouse, Carson L. Nealy,: "Mixing and Sampling Liquid Storage Tanks for Concentration Determination", 134TR000011(1987)

Table 1 平板槽の空気攪拌試験に用いた空気攪拌ノズル

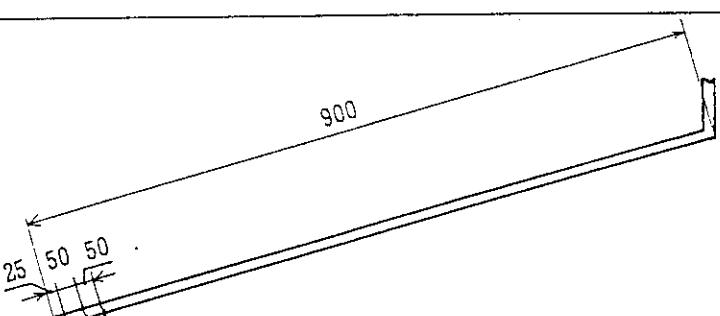
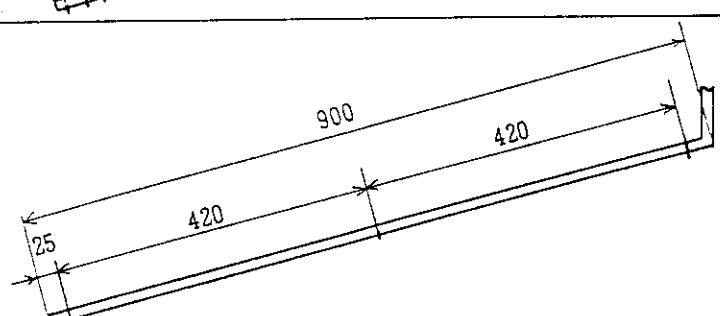
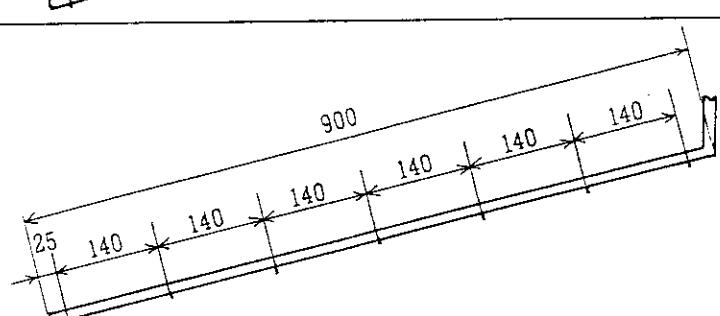
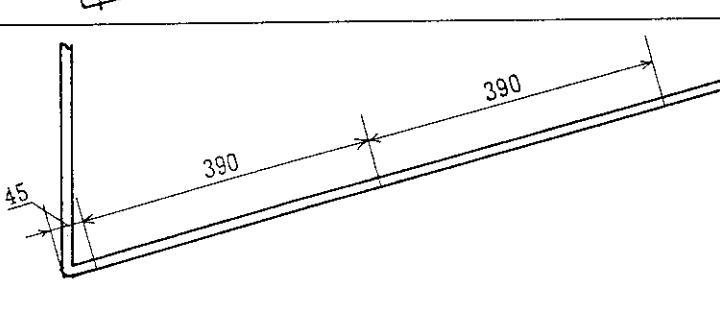
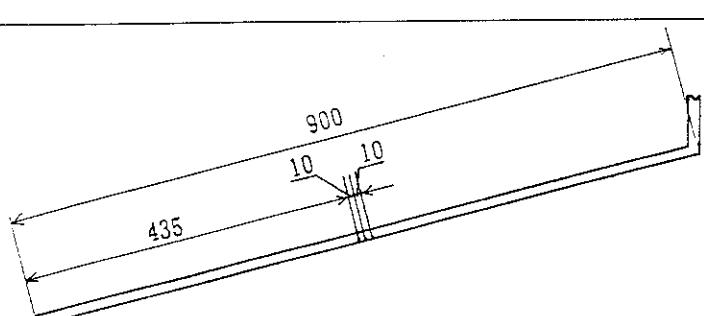
ノズルタイプ	孔径 (mm ϕ)	形 状
A	2	
B	2	
C	2	
D	2	
E	2	

Table 2 平板槽の空気攪拌試験の試験ケース

試験 ケース No.	液 条 件		ノズル 形状	備 考
	重液 密度(g/cm ³) /Vol% [*]	軽液 密度(g/cm ³) /Vol% [*]		
1	1.6 / 50	1.0 / 50	A	密度測定及び可視化試験を実施
2	1.6 / 50	1.0 / 50	E	可視化試験のみ実施
3	1.6 / 25	1.0 / 75	A	
4	1.6 / 75	1.0 / 25	A	
5	1.6 / 50	1.0 / 50	C	
6	1.6 / 50	1.0 / 50	B	
7	1.6 / 50	1.0 / 50	D	

*)全液量に対する割合

Table 3 円環槽の溶液混合試験の試験ケース

試験 ケース No.	液 条 件		攪拌空気流量 (l/min) (m ³ /m ² ·h) ^{*2)}	備 考
	重液 密度(g/cm ³) /Vol% ^{*1)}	軽液 密度(g/cm ³) /Vol% ^{*1)}		
A	1.28 / 50	1.0 / 50	6.0(2.71)	
B	1.28 / 50	1.0 / 50	15.0(6.75)	
C	1.28 / 50	1.0 / 50	27.0(12.2)	
D	1.28 / 50	1.0 / 50	40.0(18.0)	
E	1.28 / 25	1.0 / 75	15.0(6.75)	
F	1.28 / 25	1.0 / 75	27.0(12.2)	
G	1.60 / 50	1.0 / 50	15.0(6.75)	
H	1.60 / 50	1.0 / 50	27.0(12.2)	

*1) 全液量に対する割合

*2) 液面単位面積当たりの攪拌空気流量

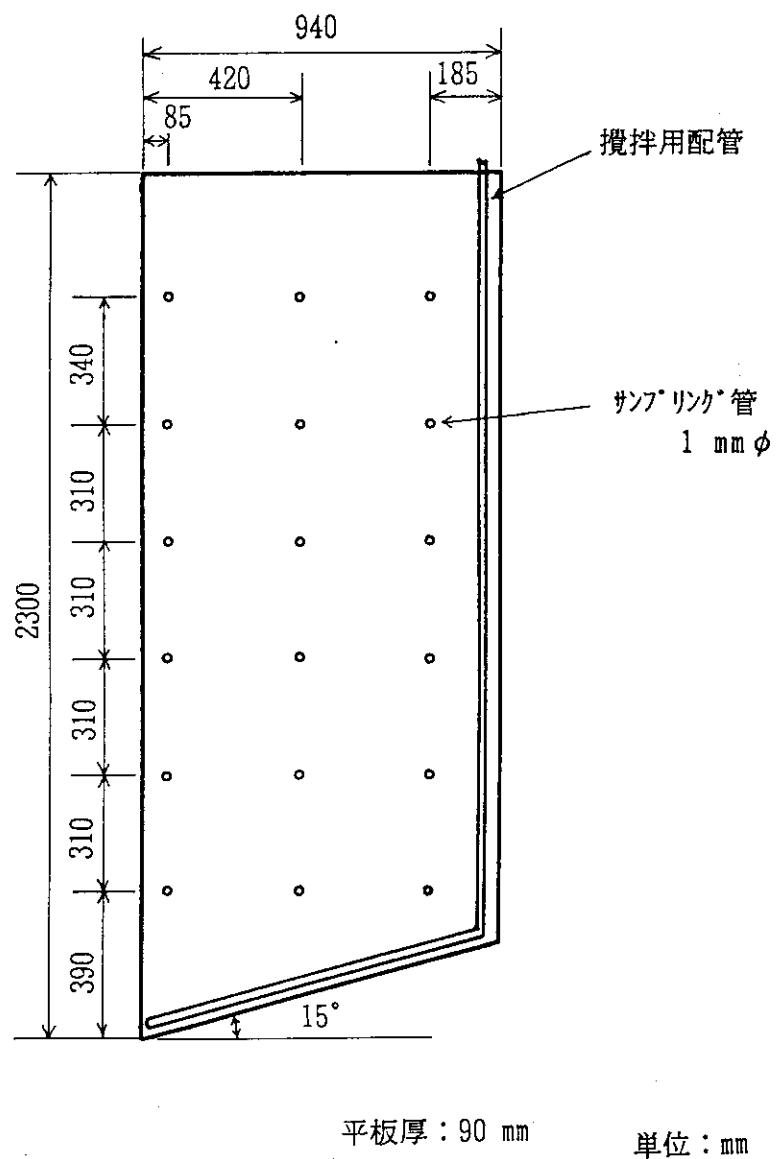


Fig. 1 空気攪拌試験で用いたモックアップ平板槽

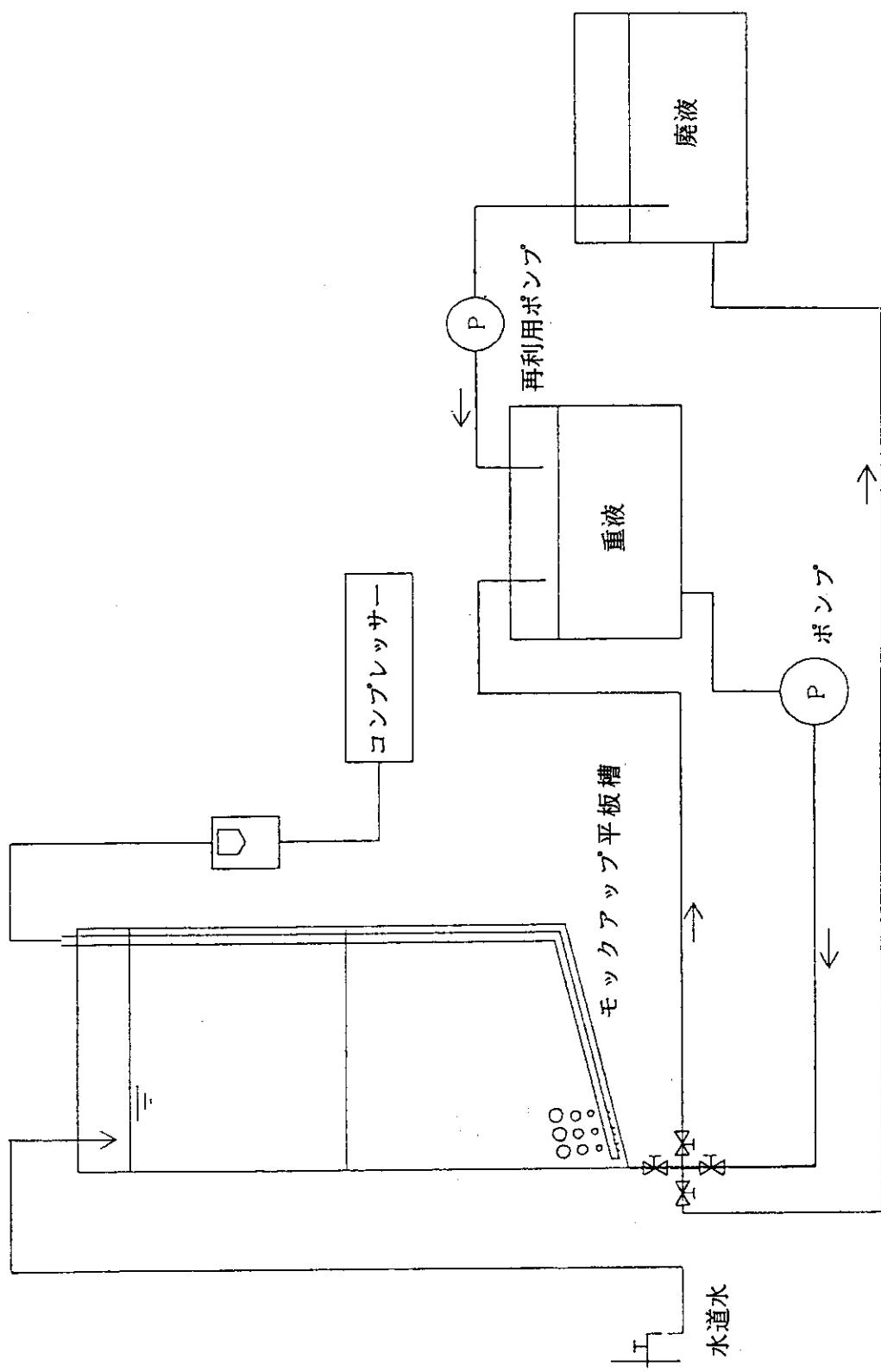


Fig. 2 平板槽を用いた空気攪拌試験の装置系統図

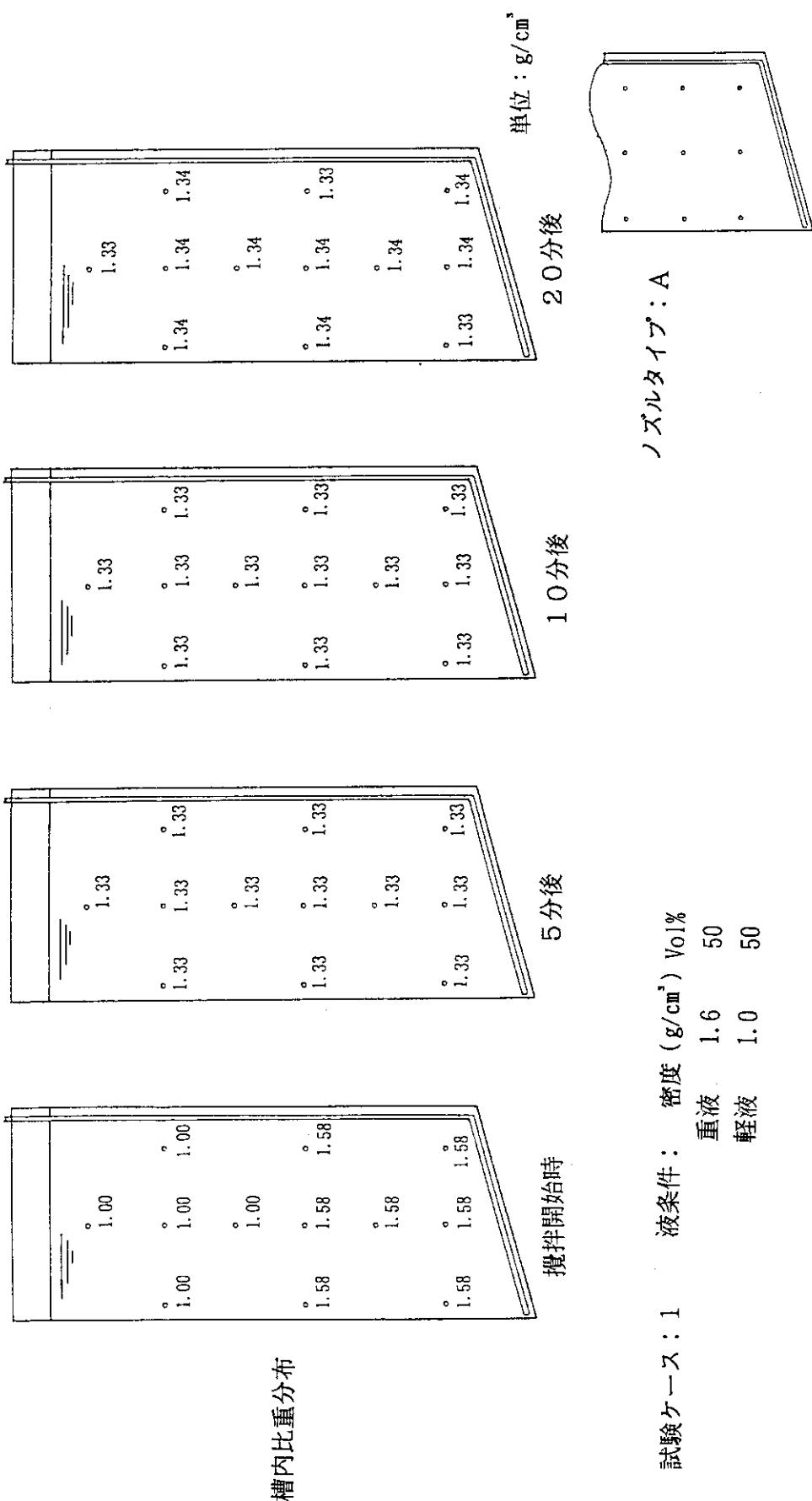


Fig. 3-1 平板槽の空気攪拌試験結果（ケース1）

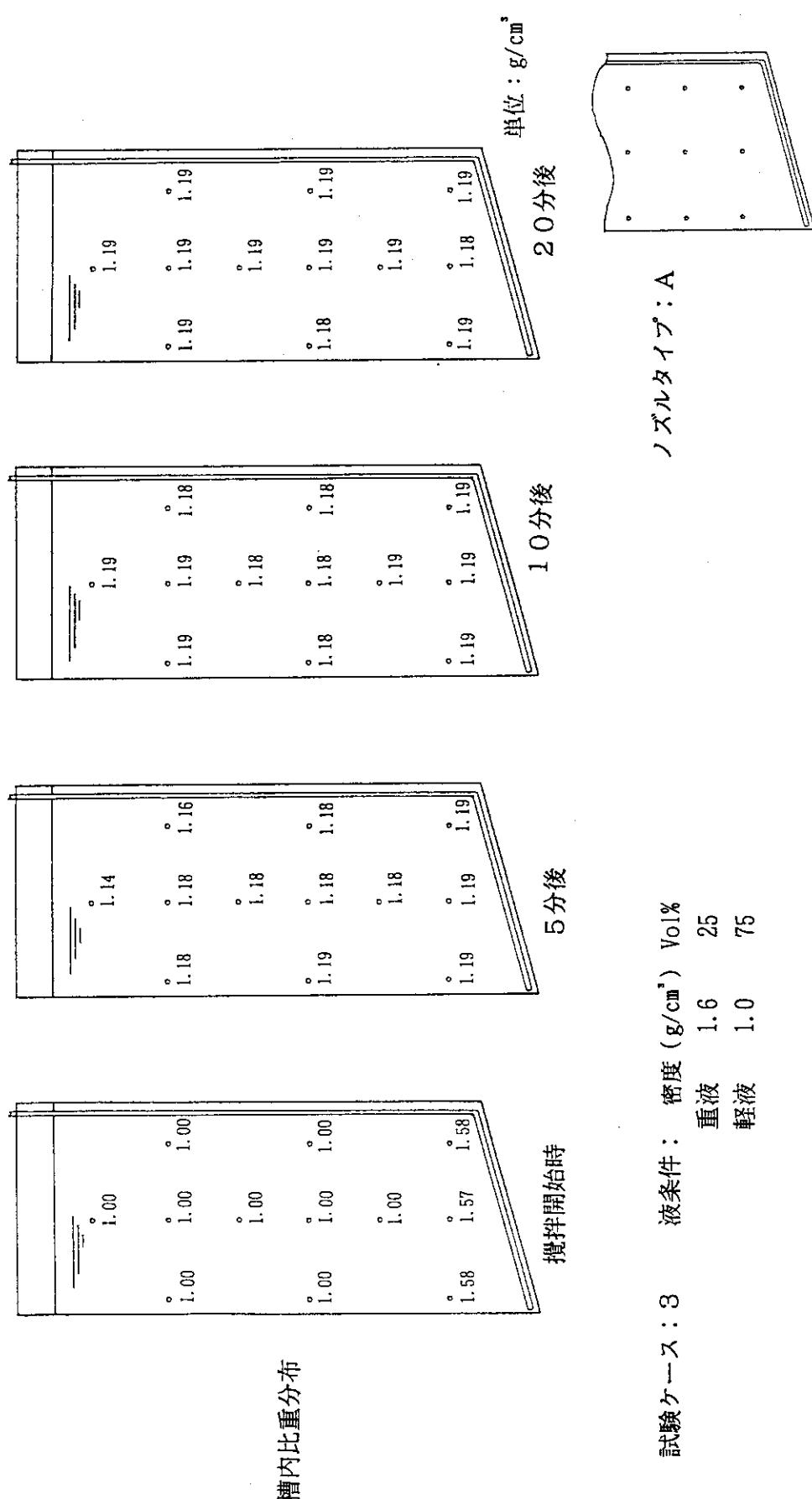


Fig. 3-2 平板槽の空気攪拌試験結果（ケース3）

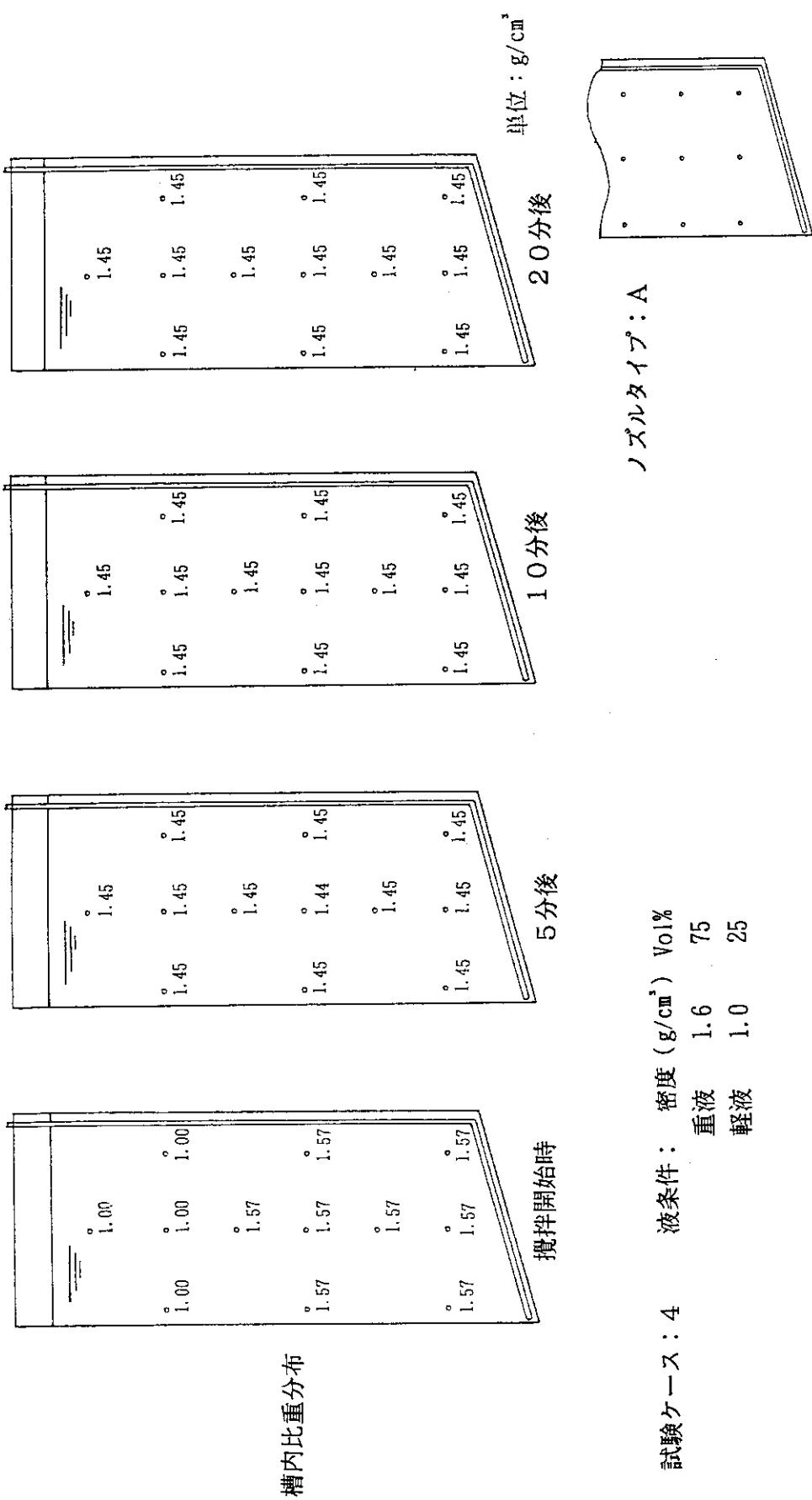


Fig. 3-3 平板槽の空気攪拌試験結果（ケース4）

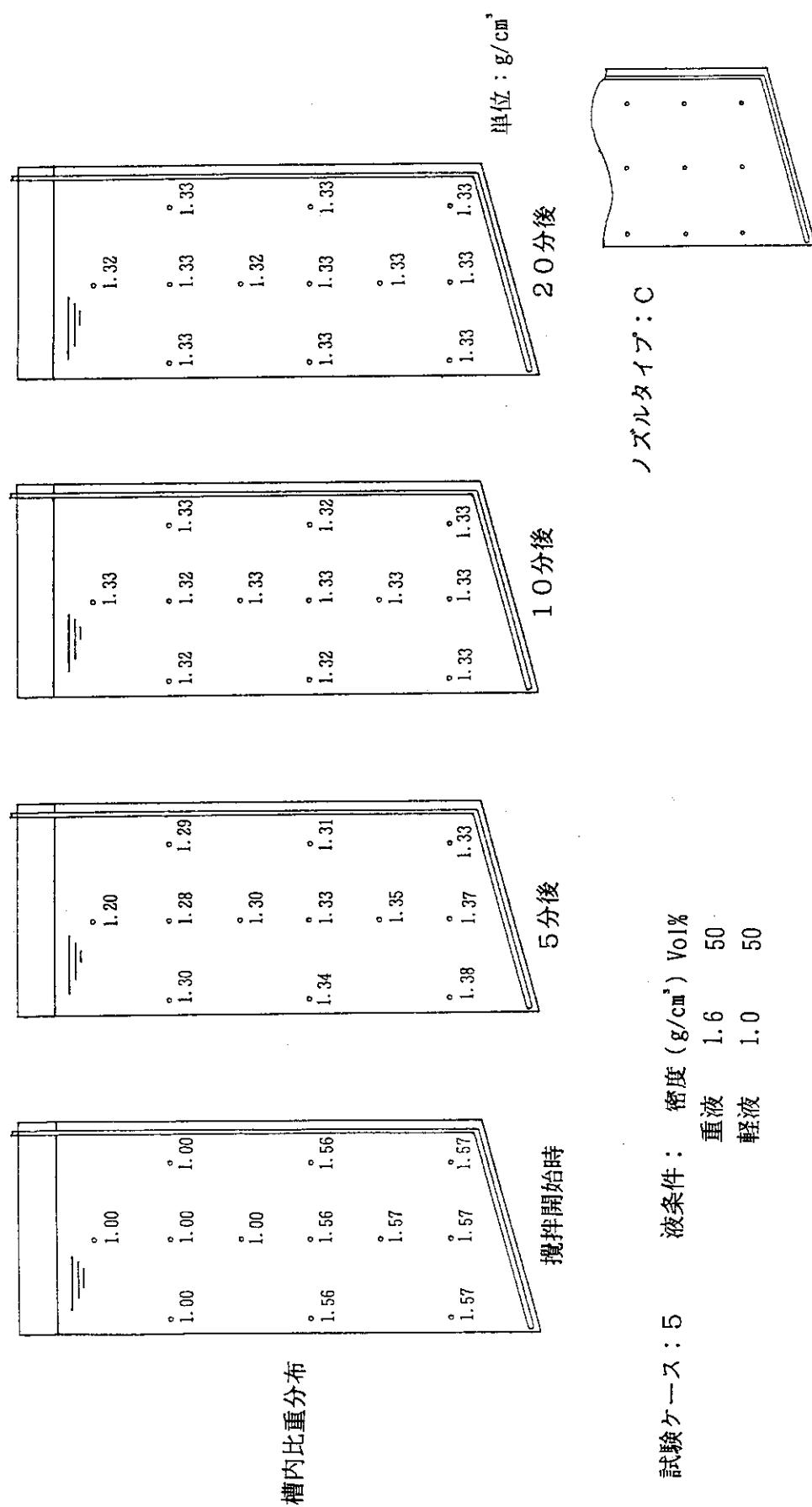


Fig. 3-4 平板槽の空気攪拌試験結果（ケース5）

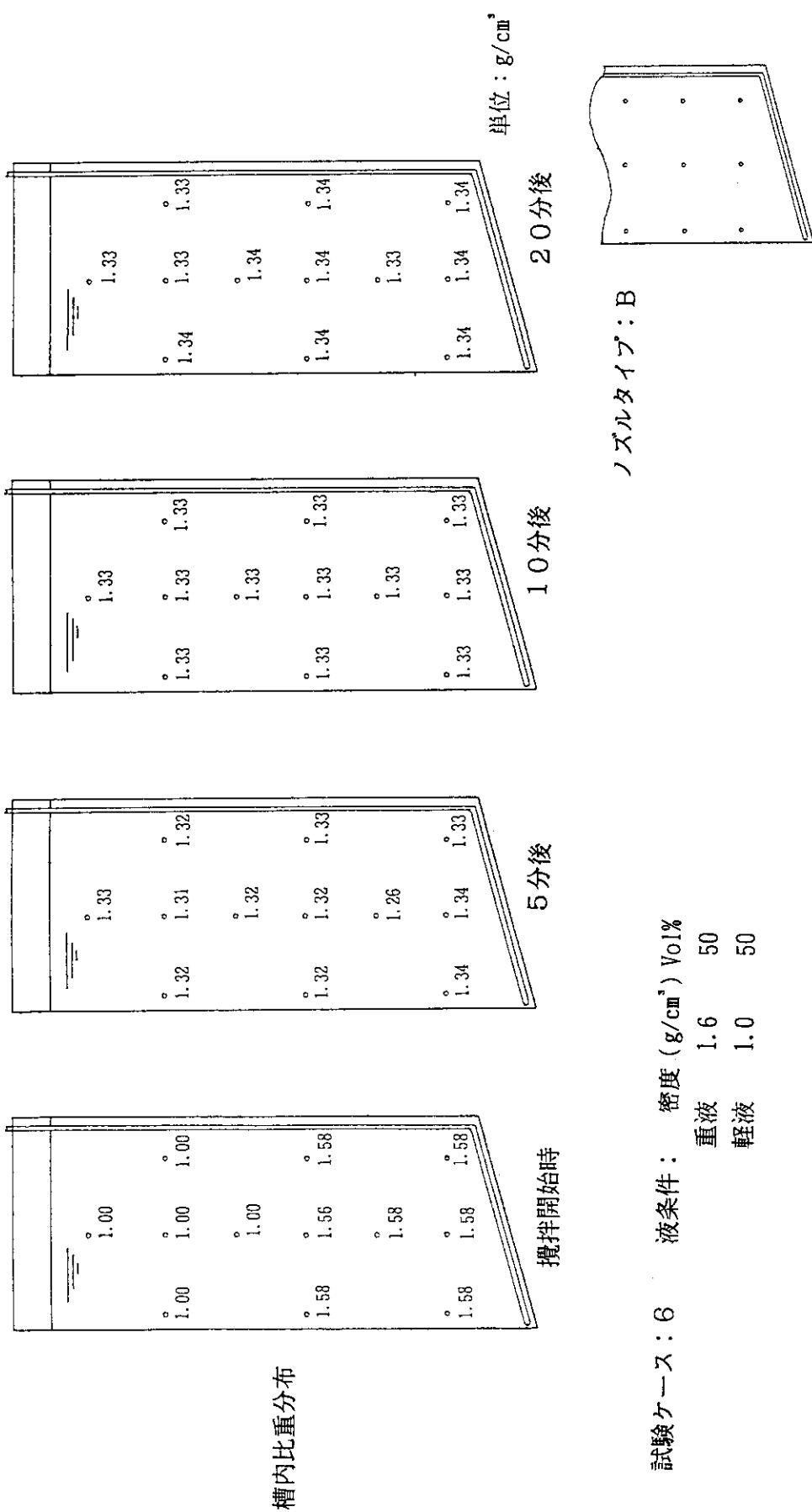


Fig. 3-5 平板槽の空気攪拌試験結果（ケース6）

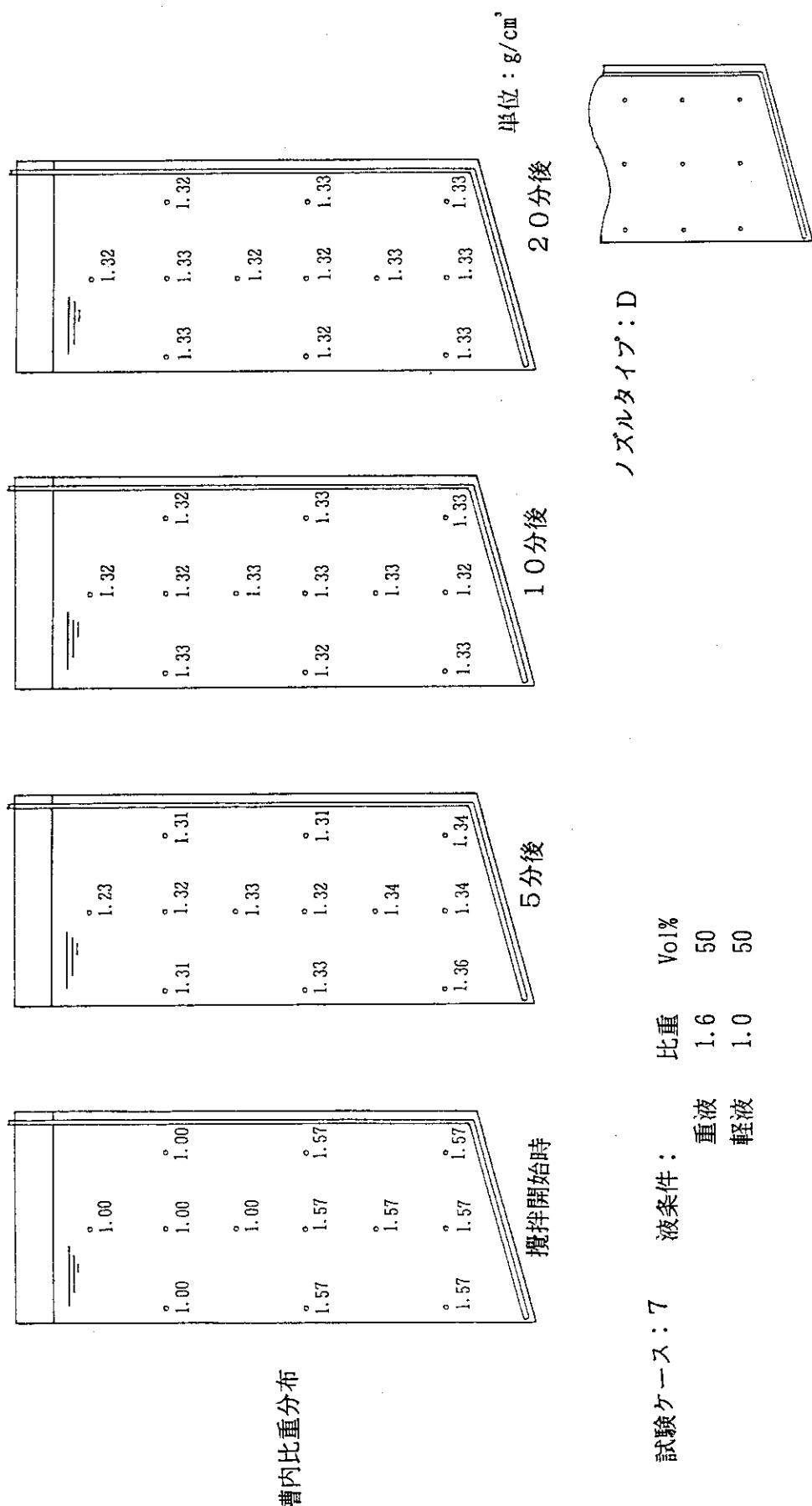
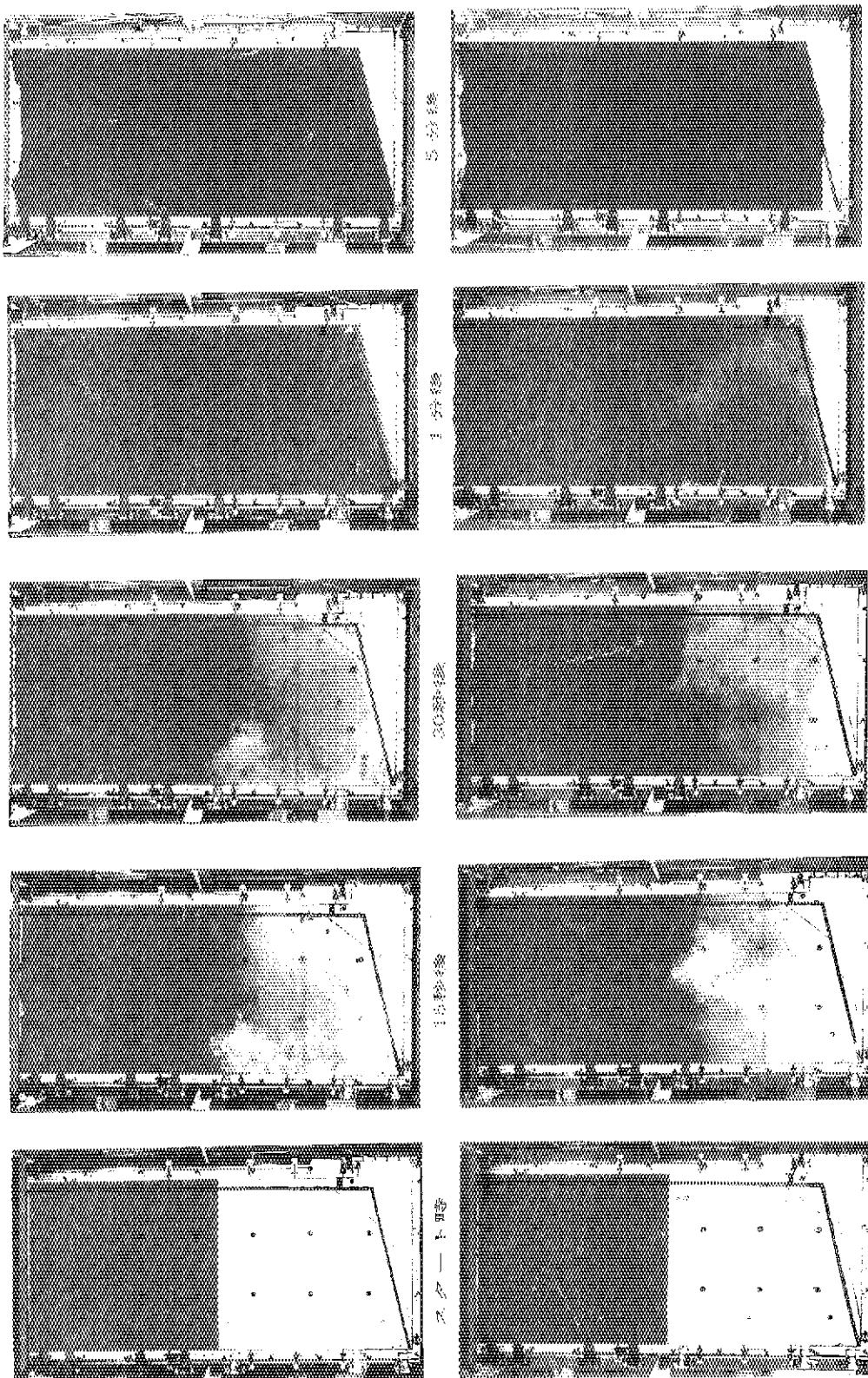


Fig. 3-6 平板槽の空気攪拌試験結果（ケース 7）



ノズルタイプ：A

液条件：
軽液 1.0g/cm³ 50vol%
重液 1.6g/cm³ 50vol%

ノズルタイプ：E

液条件：
軽液 1.0g/cm³ 50vol%
重液 1.6g/cm³ 50vol%

Fig. 4 平板槽の空気攪拌の可視化試験結果

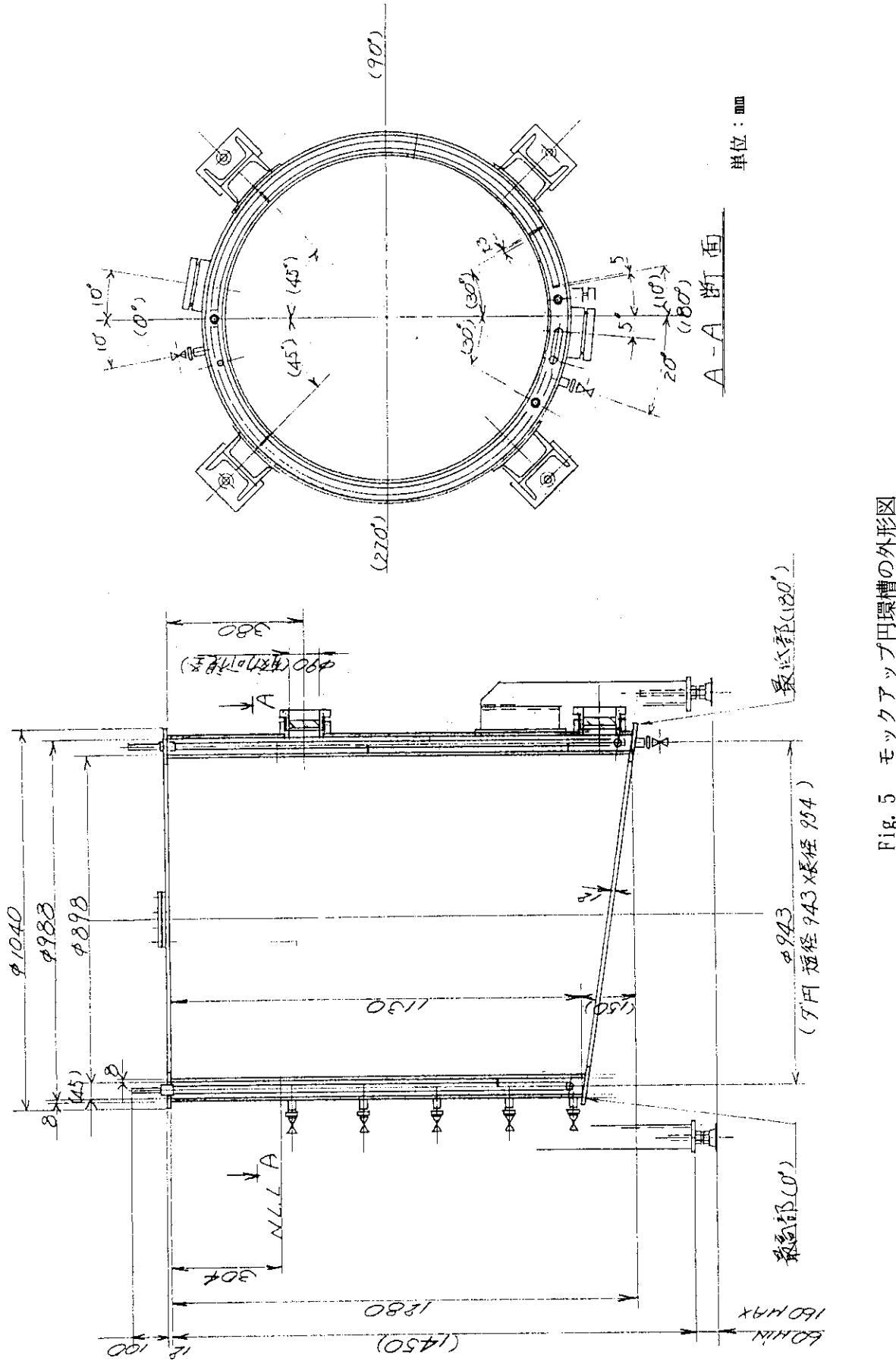


Fig. 5 モックアップの外観図

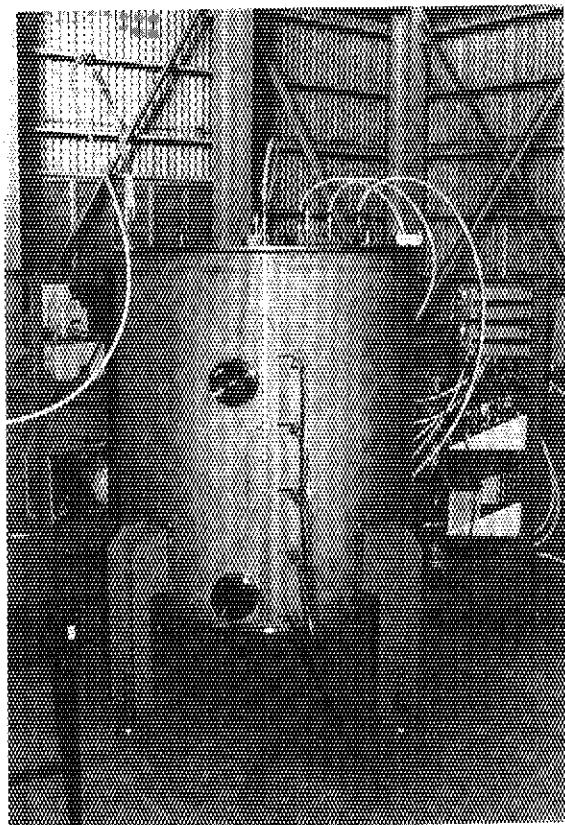


Fig. 6 モックアップ円環槽を用いた試験状況

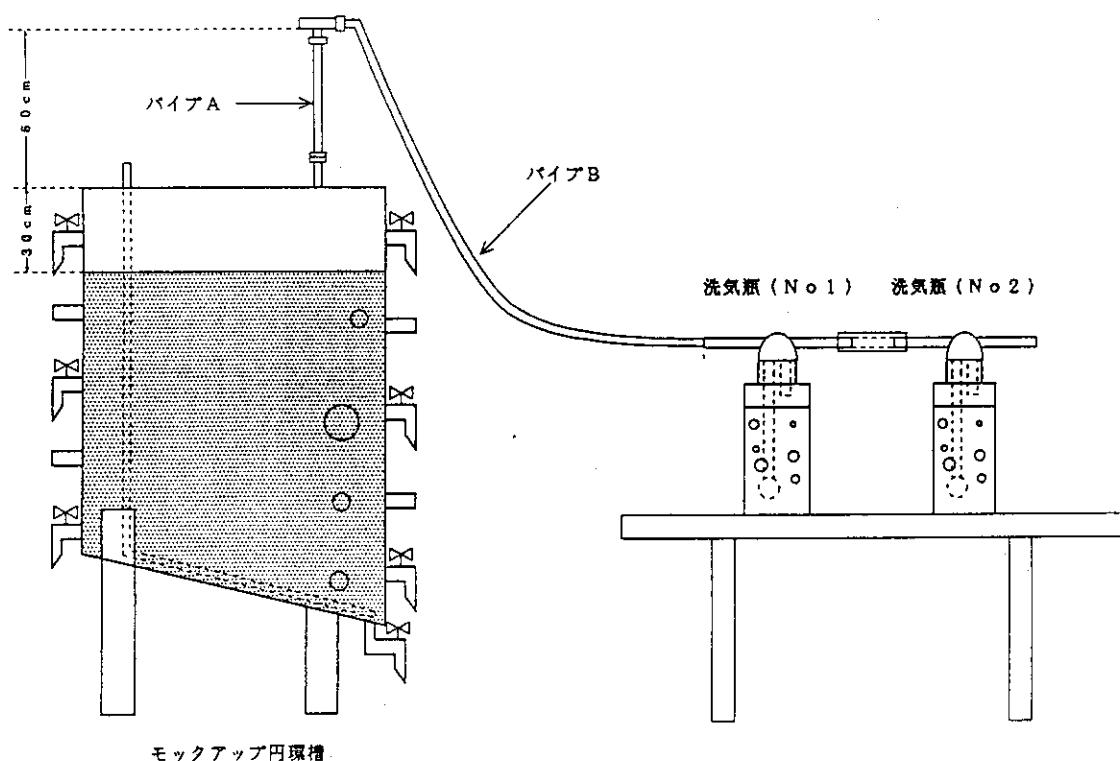


Fig. 7 円環槽の空気攪拌時のミスト移行量測定試験の装置概略

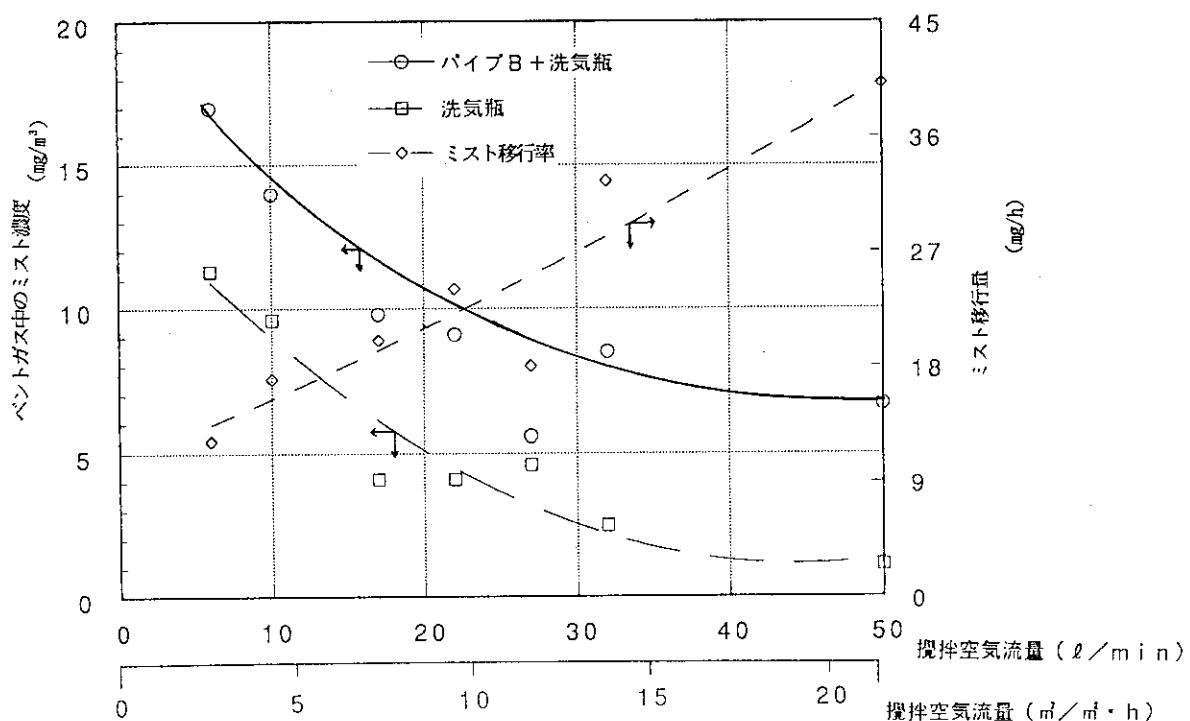


Fig. 8 円環槽の空気攪拌時のミスト移行量測定結果

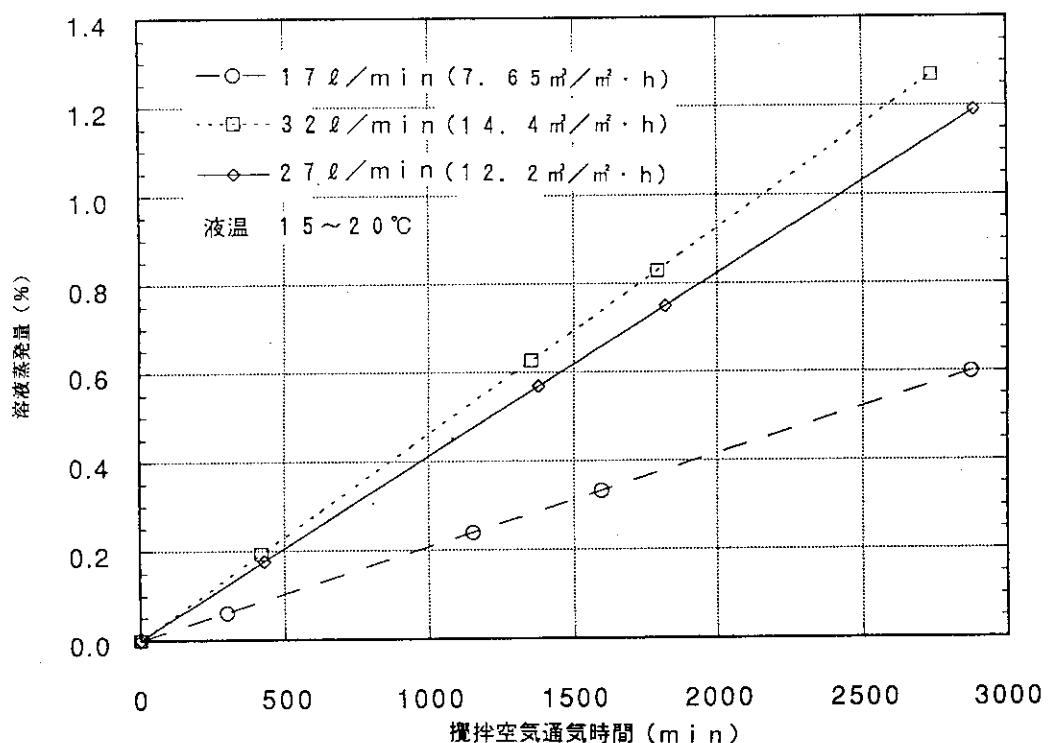


Fig. 9 円環槽の空気攪拌時の溶液蒸発量

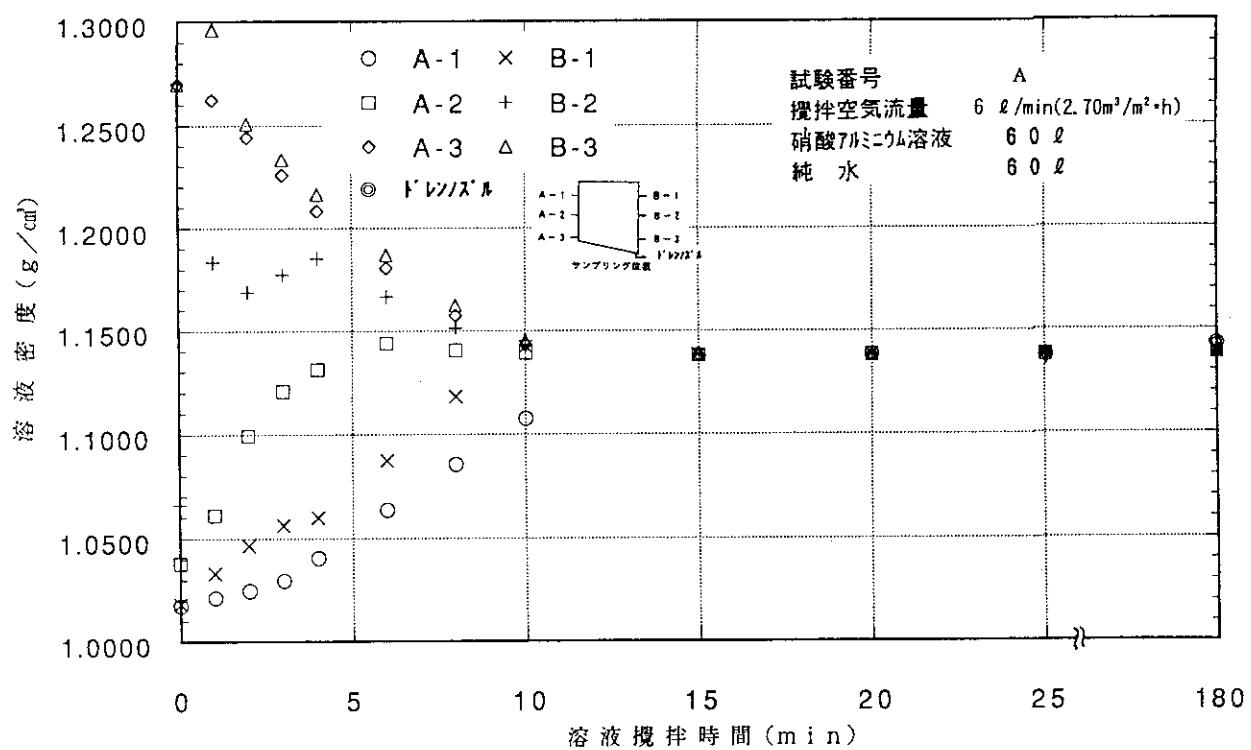


Fig. 10 円環槽内溶液密度分布の時間変化(1)

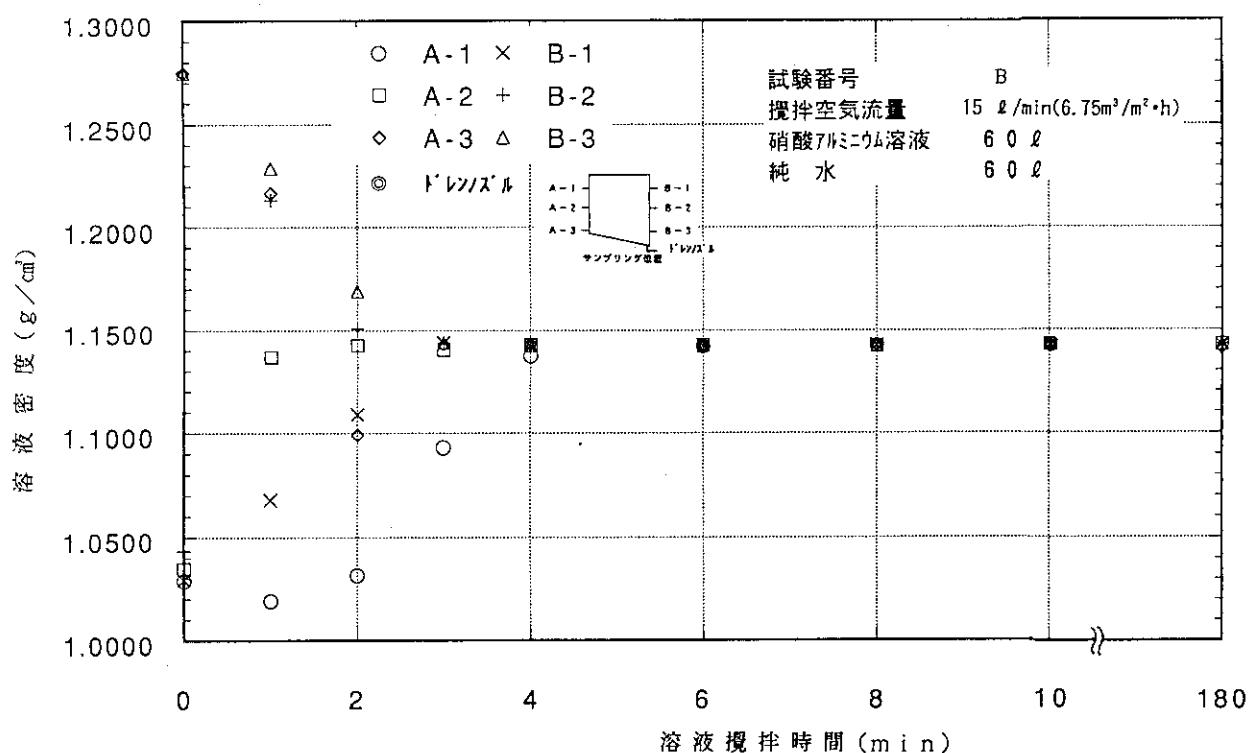


Fig. 10-2 円環槽内溶液密度分布の時間変化(2)

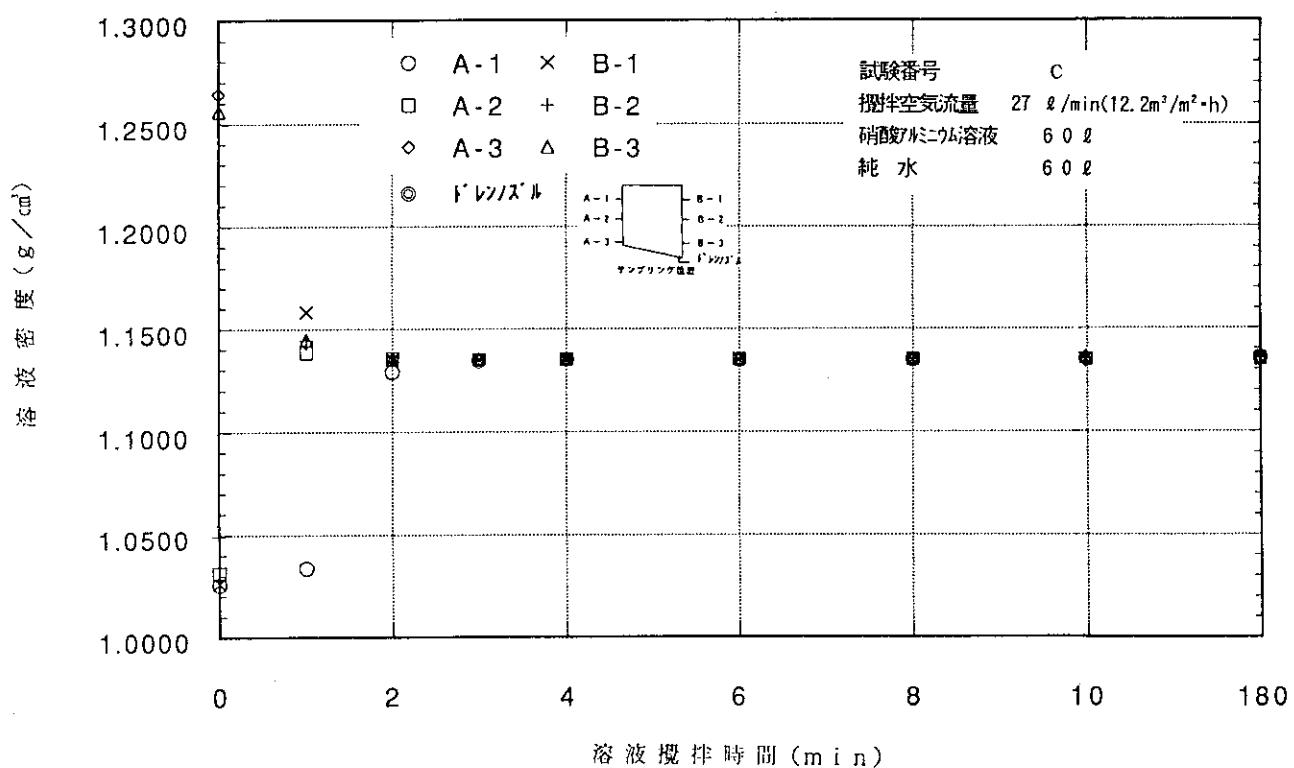


Fig. 10-3 円環槽内溶液密度分布の時間変化(3)

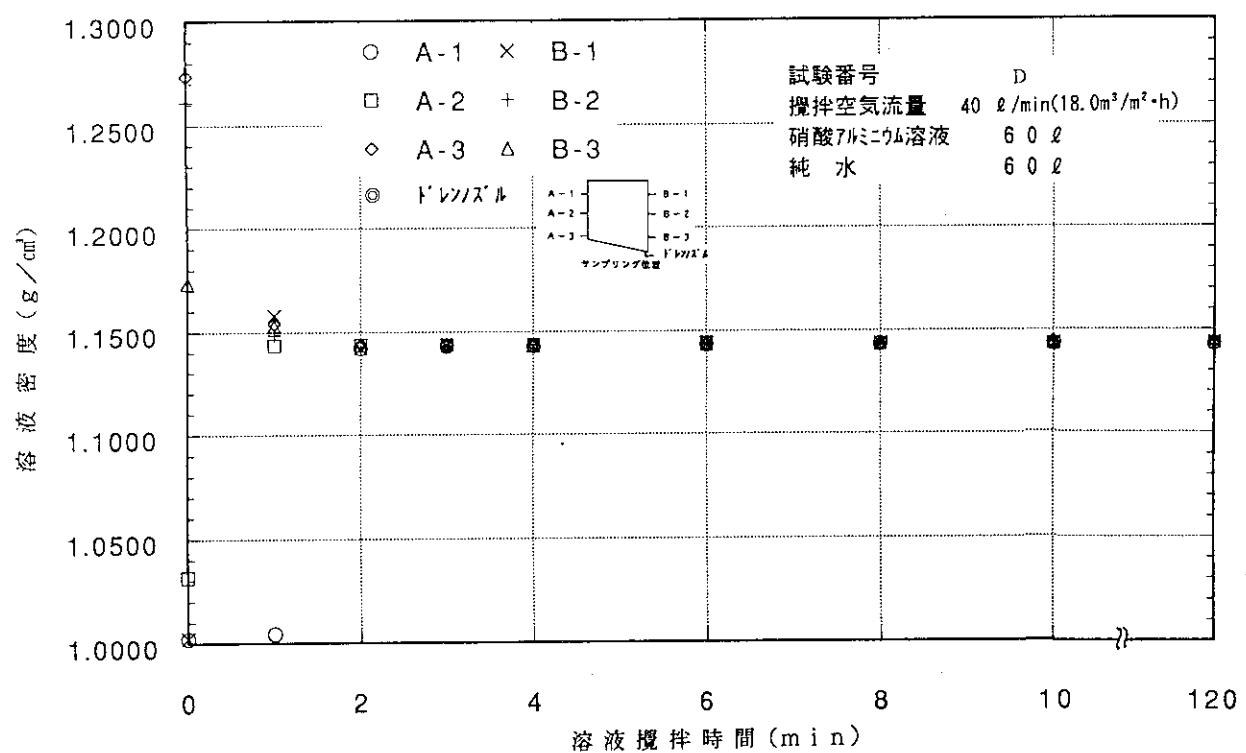


Fig. 10-4 円環槽内溶液密度分布の時間変化(4)

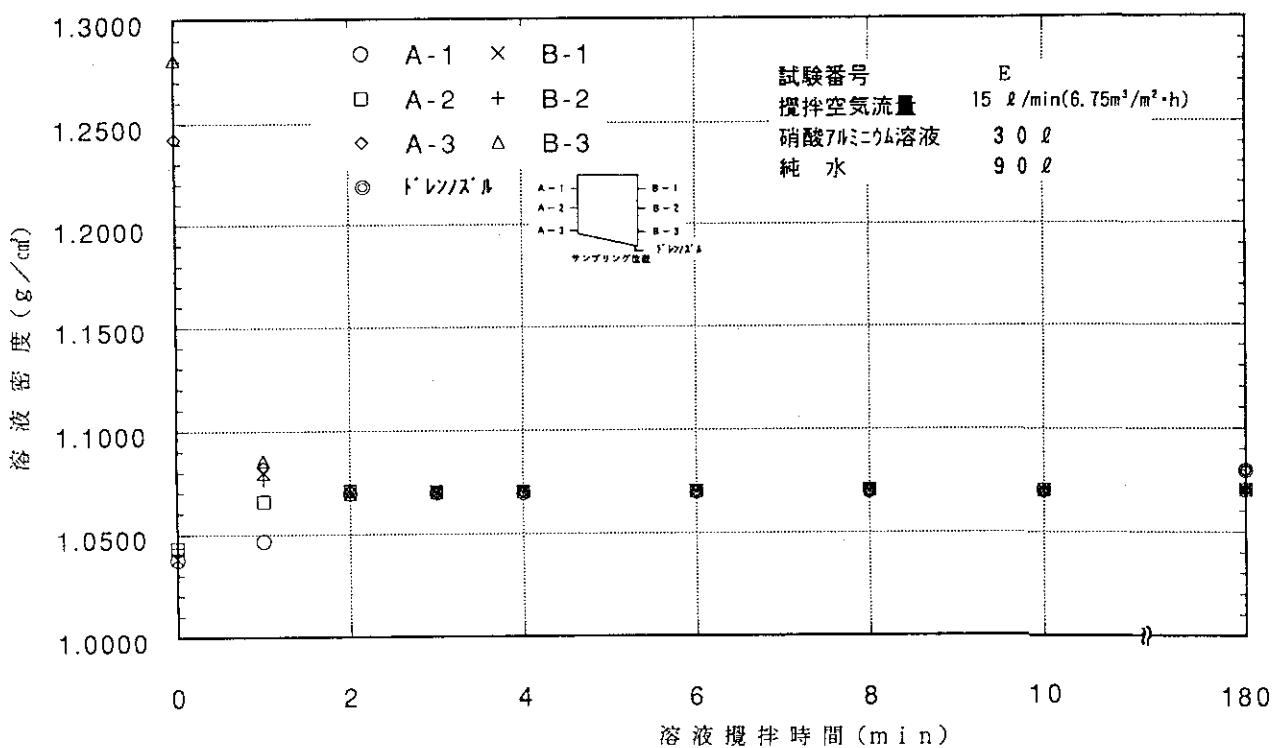


Fig. 10-5 円環槽内溶液密度分布の時間変化(5)

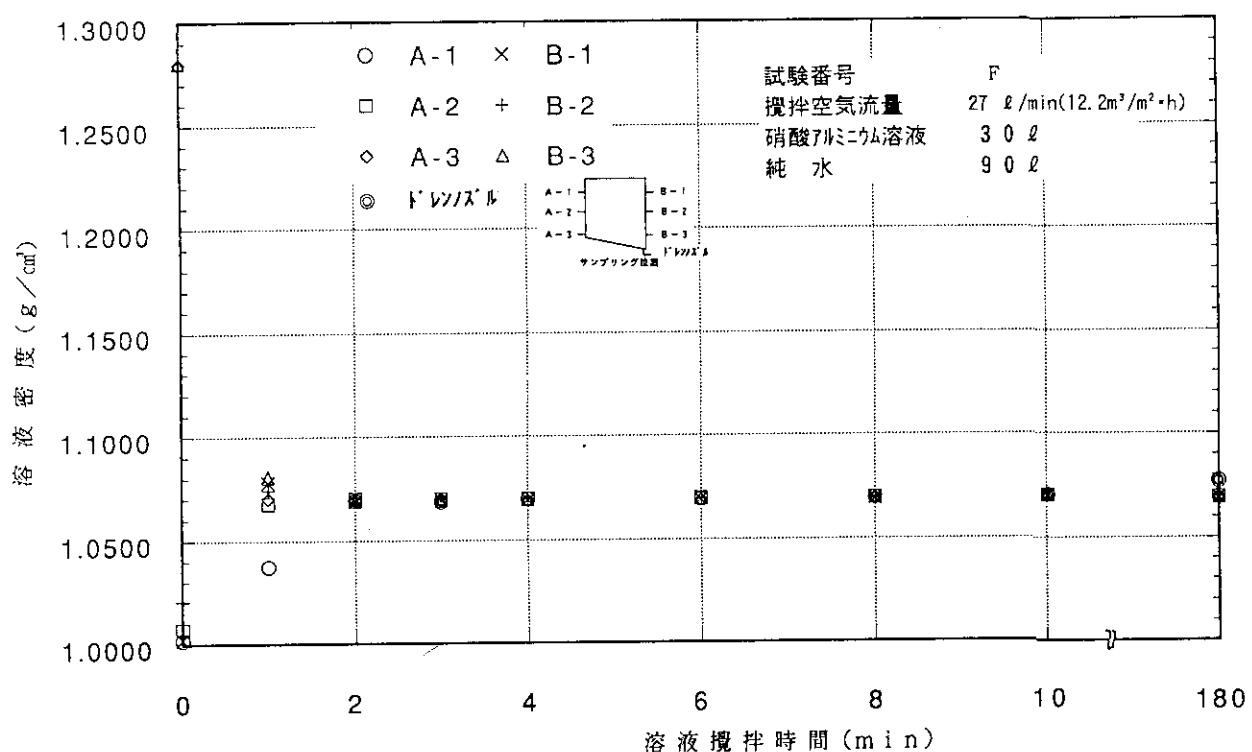


Fig. 10-6 円環槽内溶液密度分布の時間変化(6)

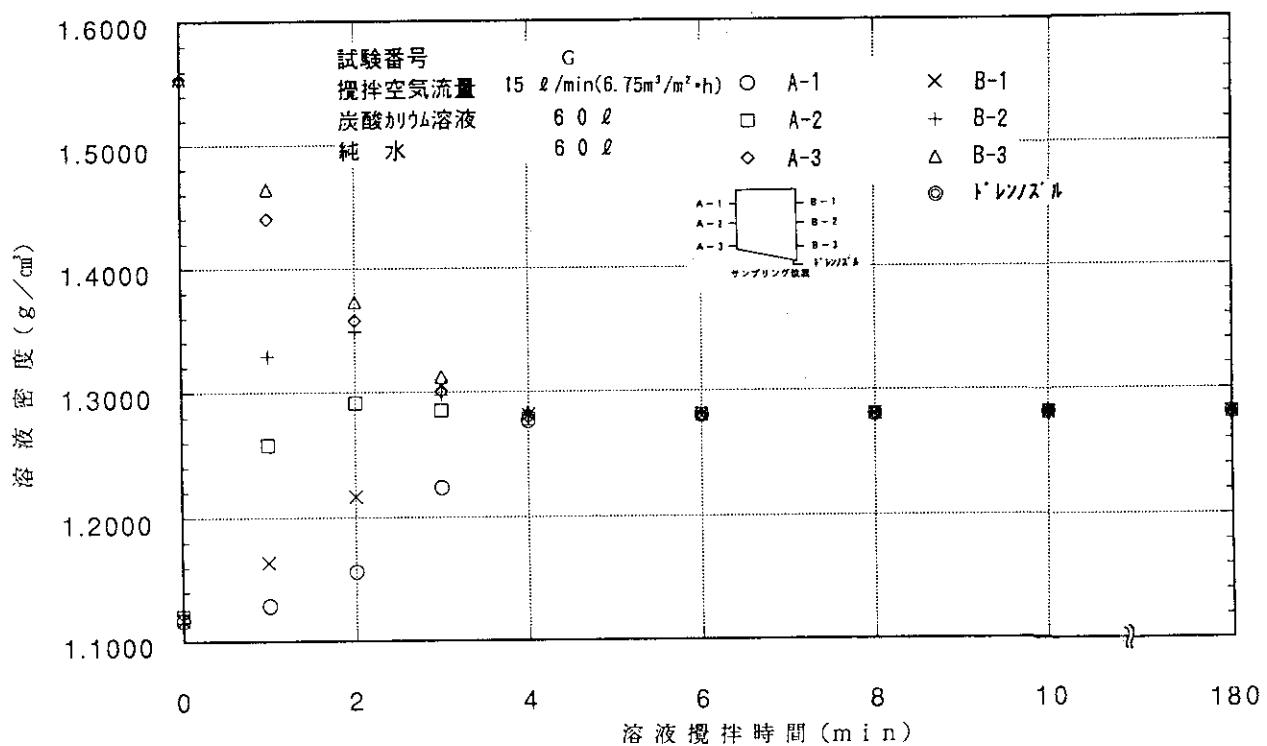


Fig. 10-7 円環槽内溶液密度分布の時間変化(7)

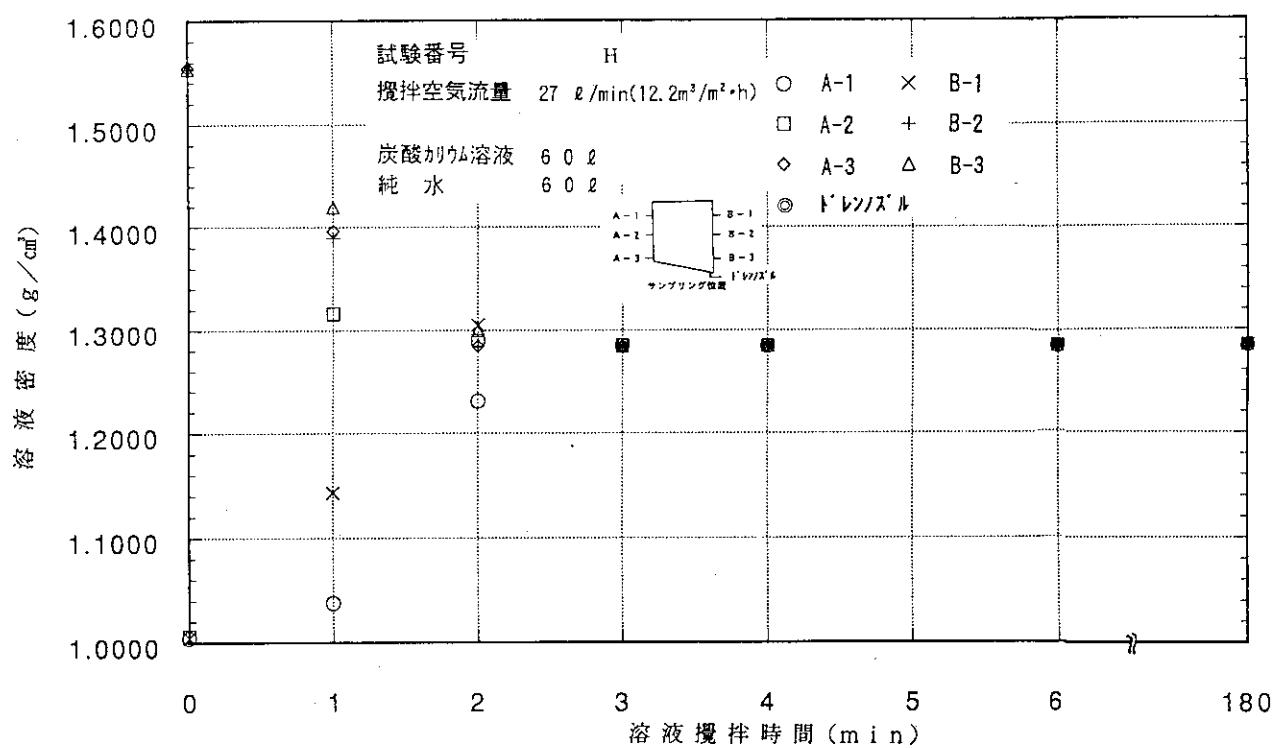


Fig. 10-8 溶液密度分布の時間変化(8)

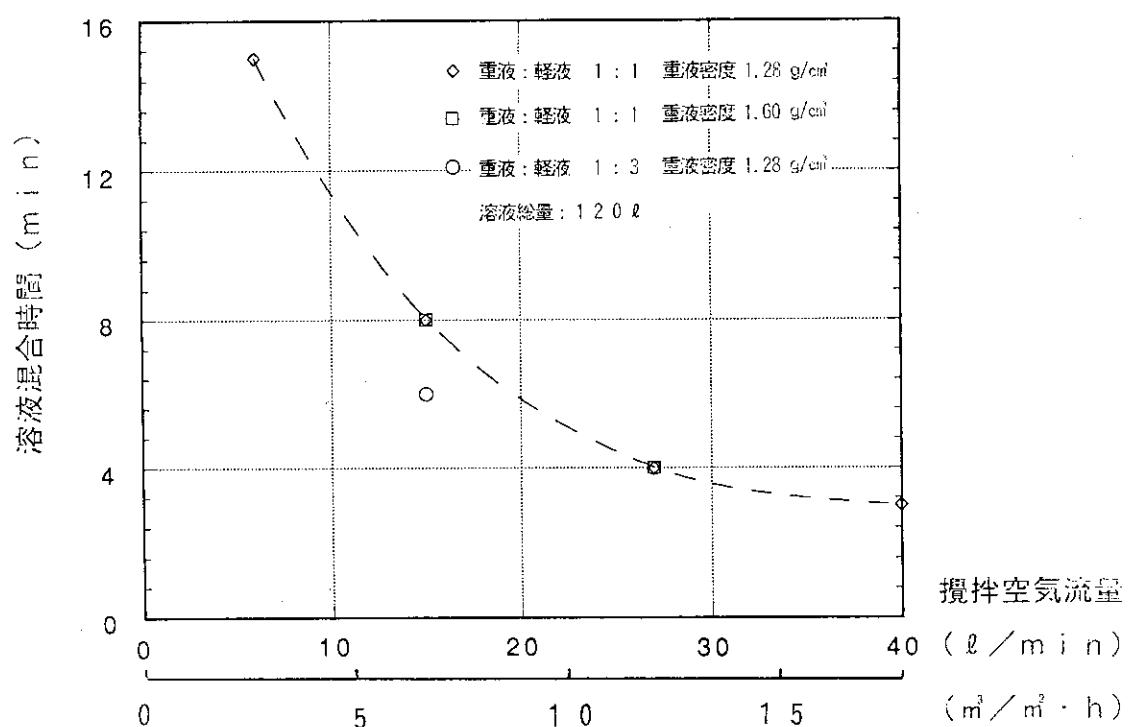


Fig. 11 溶液混合時間の搅拌時間に対する依存性

付 錄

モックアップ円環槽を使用した試験における生データ、及び評価のベースとなった円環槽の液位・容量校正曲線を添付した。添付した図表は、以下の通りである。

表

Table A-1 空気攪拌時のミスト移行量測定結果

Table A-2-1 溶液蒸発量測定結果（攪拌空気流量171/min($7.65\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$)）Table A-2-2 溶液蒸発量測定結果（攪拌空気流量271/min($12.2\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$)）Table A-2-3 溶液蒸発量測定結果（攪拌空気流量321/min($14.4\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$)）

Table A-3 円環槽の空気攪拌試験条件

Table A-4-1 円環槽の空気攪拌試験データ（試験ケース：A）

Table A-4-2 円環槽の空気攪拌試験データ（試験ケース：B）

Table A-4-3 円環槽の空気攪拌試験データ（試験ケース：C）

Table A-4-4 円環槽の空気攪拌試験データ（試験ケース：D）

Table A-4-5 円環槽の空気攪拌試験データ（試験ケース：E）

Table A-4-6 円環槽の空気攪拌試験データ（試験ケース：F）

Table A-4-7 円環槽の空気攪拌試験データ（試験ケース：G）

Table A-4-8 円環槽の空気攪拌試験データ（試験ケース：H）

図

Fig. A-1 モックアップ円環槽の校正曲線

Table A-1 空気攪拌時のミスト移行量測定結果

試験ケース (1)	槽内液量 (l)	攪拌空気流量 (l/min)/(m ³ /m ² ・h)	通気時間 (min)	移行鉄粉量 (mg)	溶液濃度 (mgFe/g・sol)	移行ミスト質量 (mg)	ミスト濃度 (mg/m ³)	単位時間当りの移行量 (mg/h)
A	120	6/2.70	117	0.0869(0.0579)	7.12	12.21(8.13)	17.39(11.58)	6.26(4.17)
B	120	10/4.50	120	0.1263(0.0873)	7.12	17.74(12.26)	14.78(10.22)	8.86(6.13)
C	120	17/7.65	120	0.1443(0.0603)	7.12	20.27(8.47)	9.94(4.15)	10.14(4.24)
D	120	22/9.90	120	0.1740(0.0780)	7.12	24.44(10.96)	9.25(4.15)	12.22(5.48)
E	120	27/12.2	120	0.1326(0.1096)	7.12	18.62(15.39)	5.75(4.75)	9.31(7.70)
F	120	32/14.4	120	0.2337(0.0687)	7.12	32.82(9.65)	8.55(2.51)	16.41(4.83)
G	120	50/22.5	120	0.2850(0.0480)	7.12	40.03(6.74)	6.67(1.12)	20.02(3.37)

*: カッコ内の数値は、洗浄瓶中のみの量を表す

Table A-2-1 溶液蒸発量測定結果（攪拌空気流量171/min (7.65m³/m²・h)）

通気積算時間 (min)	液位計指示値 (mmH ₂ O)	溶液蒸発量 (mmH ₂ O)	溶液蒸発量 (vol%)	気温 (°C)	液温 (°C)	相対湿度 (%)
0	808.15	0.00	0.00	18.5	19.3	75
300	808.15	0.45	0.063	17.9	16.1	79
1153	806.43	1.72	0.240	16.8	16.2	85
1598	805.65	2.50	0.333	20.9	18.7	76
2873	803.20	4.95	0.599	24.6	18.0	48

Table A-2-2 溶液蒸発量測定結果（攪拌空気流量271/min (12.2m³/m²・h)）

通気積算時間 (min)	液位計指示値 (mmH ₂ O)	溶液蒸発量 (mmH ₂ O)	溶液蒸発量 (vol%)	気温 (°C)	液温 (°C)	相対湿度 (%)
0	818.84	0.00	0.00	19.9	16.9	76
430	818.65	0.19	0.177	18.9	17.2	77
1380	815.76	3.08	0.569	17.7	16.1	84
1820	814.40	4.44	0.750	17.3	16.2	81
2886	811.51	7.33	1.19	19.6	15.1	75

Table A-2-3 溶液蒸発量測定結果（攪拌空気流量321/min (14.4m³/m²・h)）

通気積算時間 (min)	液位計指示値 (mmH ₂ O)	溶液蒸発量 (mmH ₂ O)	溶液蒸発量 (vol%)	気温 (°C)	液温 (°C)	相対湿度 (%)
0	819.98	0.00	0.00	18.3	16.5	83
420	818.62	1.36	0.194	19.9	17.0	83
1354	815.31	3.67	0.627	19.0	16.9	84
1794	813.71	5.27	0.830	19.5	17.1	80
2739	810.36	8.62	1.27	19.5	16.8	76

Table A-3 円環槽の空気攪拌試験条件

試験ケース	攪拌空気流量 (l/min) / (m ³ /m ² ・h) ^{*)}	溶液総量 (l)	温度 (°C)	重液 密度/Vol% (g/cm ³)/%	軽液 密度/Vol% (g/cm ³)/%
A	6.0/2.70	120	13.0	1.28/50	1.00/50
B	15.0/6.75	120	9.0	1.28/50	1.00/50
C	27.0/12.2	120	13.2	1.28/50	1.00/50
D	40.0/18.0	120	8.0	1.28/50	1.00/50
E	15.0/6.75	120	7.5	1.28/25	1.00/75
F	27.0/12.2	120	4.0	1.28/25	1.00/75
G	15.0/6.75	120	6.1	1.56/50	1.00/50
H	27.0/12.2	120	5.1	1.56/50	1.00/50

*)液面単位面積当たりの攪拌空気流量

Table A-4-1 円環槽の空気攪拌試験データ（試験ケース：A）

経過時間(min)	サンプリングポイント					
	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3 (g/cm³)
0	1.0179	1.0381	1.2702	1.0186	1.0659	1.2702
1	1.0218	1.0610	1.2625	1.0333	1.1836	1.2690
2	1.0251	1.0994	1.2441	1.0467	1.1689	1.2507
3	1.0300	1.1207	1.2258	1.0562	1.1777	1.2333
4	1.0407	1.1312	1.2083	1.0599	1.1854	1.2163
6	1.0637	1.1439	1.1807	1.0875	1.1668	1.1871
8	1.0856	1.1404	1.1575	1.1181	1.1513	1.1625
10	1.1077	1.1390	1.1431	1.1421	1.1424	1.1452
15	1.1381	1.1380	1.1380	1.1383	1.1381	1.1382
20	1.1382	1.1383	1.1379	1.1383	1.1382	1.1380
25	1.1379	1.1382	1.1380	1.1385	1.1384	1.1381
30	1.1381	1.1383	1.1382	1.1383	1.1386	1.1383
45	1.1383	1.1383	1.1384	1.1386	1.1386	1.1384
60	1.1385	1.1383	1.1383	1.1384	1.1387	1.1386
90	1.1384	1.1387	1.1383	1.1384	1.1386	1.1384
120	1.1383	1.1384	1.1386	1.1384	1.1386	1.1385
150	1.1381	1.1384	1.1385	1.1387	1.1385	1.1383
180	-----	1.1388	1.1387	1.1387	1.1385	1.1385
ドレン口 (180分後)	1.1427					

Table A-4-2 円環槽の空気攪拌試験データ（試験ケース：B）

経過時間(min)	サンプリングポイント					
	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3 (g/cm³)
0	1.0292	1.0348	1.2748	1.0294	1.0436	1.2749
1	1.0294	1.1368	1.2167	1.0680	1.2134	1.2288
2	1.0317	1.1427	1.0991	1.1089	1.1507	1.1690
3	1.0932	1.1403	1.1431	1.1441	1.1440	1.1437
4	1.1376	1.1428	1.1432	1.1423	1.1424	1.1425
6	1.1422	1.1429	1.1429	1.1426	1.1428	1.1422
8	1.1427	1.1422	1.1429	1.1428	1.1430	1.1428
10	1.1427	1.1431	1.1429	1.1428	1.1429	1.1430
15	1.1420	1.1426	1.1425	1.1429	1.1430	1.1423
20	-----	1.1427	1.1425	1.1429	1.1432	1.1429
25	-----	1.1427	1.1428	1.1431	1.1430	1.1426
30	-----	1.1373	1.1429	1.1430	1.1430	1.1428
45	-----	1.1428	1.1426	1.1430	1.1433	1.1425
60	-----	1.1433	1.1428	1.1433	1.1433	1.1429
90	-----	1.1427	1.1432	1.1419	1.1432	1.1428
120	-----	-----	-----	-----	-----	-----
150	-----	-----	-----	-----	-----	-----
180	-----	1.1428	1.1405	1.1426	1.1428	1.1427
ドレン口 (180分後)	-----					

Table A - 4 - 3 円環槽の空気攪拌試験データ (試験ケース : C)

経過時間(min)	サンプリングポイント					
	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3 (g/cm³)
0	1.0259	1.0313	1.2631	1.0263	1.0494	1.2565
1	1.0338	1.1384	1.1432	1.1583	1.1443	1.1449
2	1.1292	1.1356	1.1355	1.1353	1.1340	1.1352
3	1.1346	1.1351	1.1351	1.1350	1.1349	1.1353
4	1.1350	1.1350	1.1353	1.1350	1.1348	1.1353
6	1.1348	1.1350	1.1348	1.1351	1.1349	1.1352
8	1.1348	1.1350	1.1350	1.1348	1.1350	1.1354
10	1.1350	1.1348	1.1350	1.1350	1.1351	1.1353
15	1.1350	1.1350	1.1350	1.1351	1.1352	1.1353
20	1.1349	1.1348	1.1350	1.1352	1.1351	1.1353
25	1.1348	1.1352	1.1349	1.1351	1.1353	1.1352
30	1.1349	1.1352	1.1352	1.1350	1.1353	1.1353
45	1.1353	1.1352	1.1350	1.1349	1.1353	1.1352
60	1.1350	1.1349	1.1350	1.1350	1.1352	1.1352
90	1.1349	1.1347	1.1354	1.1350	1.1351	1.1353
120	1.1350	1.1350	1.1351	1.1352	1.1353	1.1353
150	1.1350	1.1350	1.1354	1.1349	1.1353	-----
180	1.1349	1.1348	1.1350	1.1352	1.1354	1.1354
ドレン口 (180分後)	1.1359					

Table A - 4 - 4 円環槽の空気攪拌試験データ (試験ケース : D)

経過時間(min)	サンプリングポイント					
	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3 (g/cm³)
0	1.0023	1.0315	1.2737	1.0024	1.2612	1.2736
1	1.0046	1.1436	1.1543	1.1581	1.1486	1.1532
2	1.1422	1.1437	1.1439	1.1421	1.1423	1.1435
3	1.1432	1.1436	1.1438	1.1434	1.1432	1.1436
4	1.1431	1.1435	1.1439	1.1429	1.1435	1.1437
6	1.1435	1.1441	1.1435	1.1434	1.1433	1.1433
8	1.1435	1.1432	1.1432	1.1436	1.1435	1.1436
10	1.1435	1.1432	1.1433	1.1433	1.1438	1.1432
15	1.1437	1.1432	1.1436	1.1434	1.1434	1.1435
20	1.1432	1.1439	1.1437	1.1433	1.1435	1.1438
25	1.1435	1.1436	1.1456	1.1434	1.1435	1.1434
30	1.1437	1.1435	1.1435	1.1434	1.1435	1.1438
45	1.1434	1.1437	1.1436	1.1433	1.1434	1.1434
60	1.1435	1.1432	1.1437	1.1436	1.1436	1.1437
90	1.1438	1.1432	1.1438	1.1432	1.1434	1.1433
120	1.1430	1.1434	1.1437	1.1435	1.1449	1.1436
150	-----	-----	-----	-----	-----	-----
180	-----	-----	-----	-----	-----	-----
ドレン口 (180分後)	1.1450					

Table A-4-5 円環槽の空気攪拌試験データ（試験ケース：E）

経過時間(min)	サンプリングポイント					
	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3 (g/cm ³)
0	1.0379	1.0432	1.2425	1.0385	1.0437	1.2810
1	1.0468	1.0659	1.0826	1.0802	1.0766	1.0858
2	1.0698	1.0708	1.0706	1.0701	1.0702	1.0695
3	1.0699	1.0704	1.0704	1.0701	1.0699	1.0704
4	1.0699	1.0703	1.0703	1.0703	1.0703	1.0704
6	1.0700	1.0703	1.0703	1.0704	1.0703	1.0704
8	1.0700	1.0706	1.0703	1.0704	1.0704	1.0704
10	1.0701	1.0703	1.0703	1.0705	1.0703	1.0704
15	1.0701	1.0703	1.0703	1.0703	1.0704	1.0704
20	1.0702	1.0703	1.0703	1.0704	1.0704	1.0705
25	1.0700	1.0703	1.0703	1.0704	1.0704	1.0704
30	1.0702	1.0702	1.0704	1.0704	1.0704	1.0704
45	1.0702	1.0703	1.0701	1.0703	1.0704	1.0703
60	1.0702	1.0702	1.0703	1.0703	1.0704	1.0704
90	1.0703	1.0701	1.0703	1.0704	1.0704	1.0704
120	1.0703	1.0703	1.0701	1.0702	1.0704	1.0703
150	1.0701	1.0702	1.0705	1.0704	1.0704	1.0703
180	1.0703	1.0702	1.0703	1.0704	1.0704	1.0703
ドレン口 (180分後)	-----					

Table A-4-6 円環槽の空気攪拌試験データ（試験ケース：F）

経過時間(min)	サンプリングポイント					
	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3 (g/cm ³)
0	1.0020	1.0072	1.2801	1.0022	1.0208	1.2806
1	1.0375	1.0679	1.0704	1.0781	1.0743	1.0810
2	1.0695	1.0702	1.0695	1.0689	1.0688	1.0692
3	1.0698	1.0701	1.0694	1.0696	1.0698	1.0693
4	1.0698	1.0700	1.0692	1.0694	1.0703	1.0694
6	1.0694	1.0699	1.0690	1.0694	1.0697	1.0694
8	1.0698	1.0699	1.0696	1.0692	1.0695	1.0696
10	1.0696	1.0698	1.0697	1.0695	1.0697	1.0696
15	1.0697	1.0693	1.0696	1.0696	1.0695	1.0693
20	1.0698	1.0694	1.0695	1.0697	1.0695	1.0695
25	1.0698	1.0697	1.0700	1.0694	1.0696	1.0693
30	1.0699	1.0694	1.0698	1.0697	1.0698	1.0694
45	1.0697	1.0694	1.0695	1.0696	1.0692	1.0695
60	1.0698	1.0693	1.0693	1.0693	1.0694	1.0690
90	1.0698	1.0697	1.0690	1.0695	1.0696	1.0695
120	1.0699	1.0697	1.0690	1.0694	1.0694	1.0694
150	1.0698	1.0695	1.0694	1.0695	1.0696	1.0694
180	1.0698	1.0694	1.0695	1.0696	1.0695	1.0699
ドレン口 (180分後)	1.0772					

Table A-4-7 円環槽の空気攪拌試験データ (試験ケース : G)

経過時間(min)	サンプリングポイント					
	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3 (g/cm³)
0	1.1174	1.1211	1.5542	1.1175	1.1232	1.5543
1	1.1293	1.2580	1.4401	1.1642	1.3287	1.4643
2	1.1569	1.2914	1.2577	1.2164	1.3488	1.3732
3	1.2238	1.2854	1.3008	1.3046	1.2974	1.3118
4	1.2772	1.2783	1.2800	1.2817	1.2817	1.2834
6	1.2806	1.2807	1.2806	1.2803	1.2807	1.2806
8	1.2808	1.2808	1.2808	1.2808	1.2808	1.2808
10	1.2809	1.2809	1.2807	1.2809	1.2808	1.2808
15	1.2809	1.2808	1.2808	1.2810	1.2808	1.2808
20	1.2810	1.2808	1.2808	1.2810	1.2810	1.2810
25	1.2810	1.2809	1.2809	1.2809	1.2809	1.2812
30	1.2810	1.2809	1.2808	1.2809	1.2808	1.2812
45	1.2810	1.2808	1.2809	1.2810	1.2809	1.2813
60	1.2808	1.2809	1.2809	1.2810	1.2809	1.2814
90	1.2810	1.2808	1.2809	1.2810	1.2810	1.2813
135	1.2809	1.2808	1.2807	1.2810	1.2810	1.2813
180	1.2810	1.2809	1.2809	1.2811	1.2810	1.2813
ドレン口 (180分後)	1.2966					

Table A-4-8 円環槽の空気攪拌試験データ (試験ケース : H)

経過時間(min)	サンプリングポイント					
	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3 (g/cm³)
0	1.0047	1.0063	1.5551	1.0048	1.5537	1.5544
1	1.0386	1.3162	1.3964	1.1436	1.3894	1.4200
2	1.2310	1.2899	1.2845	1.3053	1.2845	1.3001
3	1.2850	1.2851	1.2845	1.2842	1.2836	1.2846
4	1.2844	1.2844	1.2844	1.2843	1.2843	1.2845
6	1.2843	1.2843	1.2844	1.2845	1.2845	1.2845
8	1.2844	1.2843	1.2844	1.2845	1.2845	1.2845
10	1.2844	1.2845	1.2844	1.2846	1.2845	1.2845
15	1.2844	1.2844	1.2843	1.2844	1.2844	1.2843
20	1.2844	1.2843	1.2843	1.2845	1.2850	1.2846
25	1.2844	1.2845	1.2844	1.2846	1.2844	1.2846
30	1.2844	1.2844	1.2844	1.2845	1.2846	1.2845
45	1.2844	1.2845	1.2844	1.2845	1.2847	1.2847
60	1.2845	1.2845	1.2845	1.2846	1.2843	1.2845
90	1.2844	1.2845	1.2845	1.2845	1.2844	1.2842
135	1.2844	1.2845	1.2845	1.2846	1.2844	1.2845
180	1.2842	1.2845	1.2845	1.2845	1.2845	1.2845
ドレン口 (180分後)	1.2962					

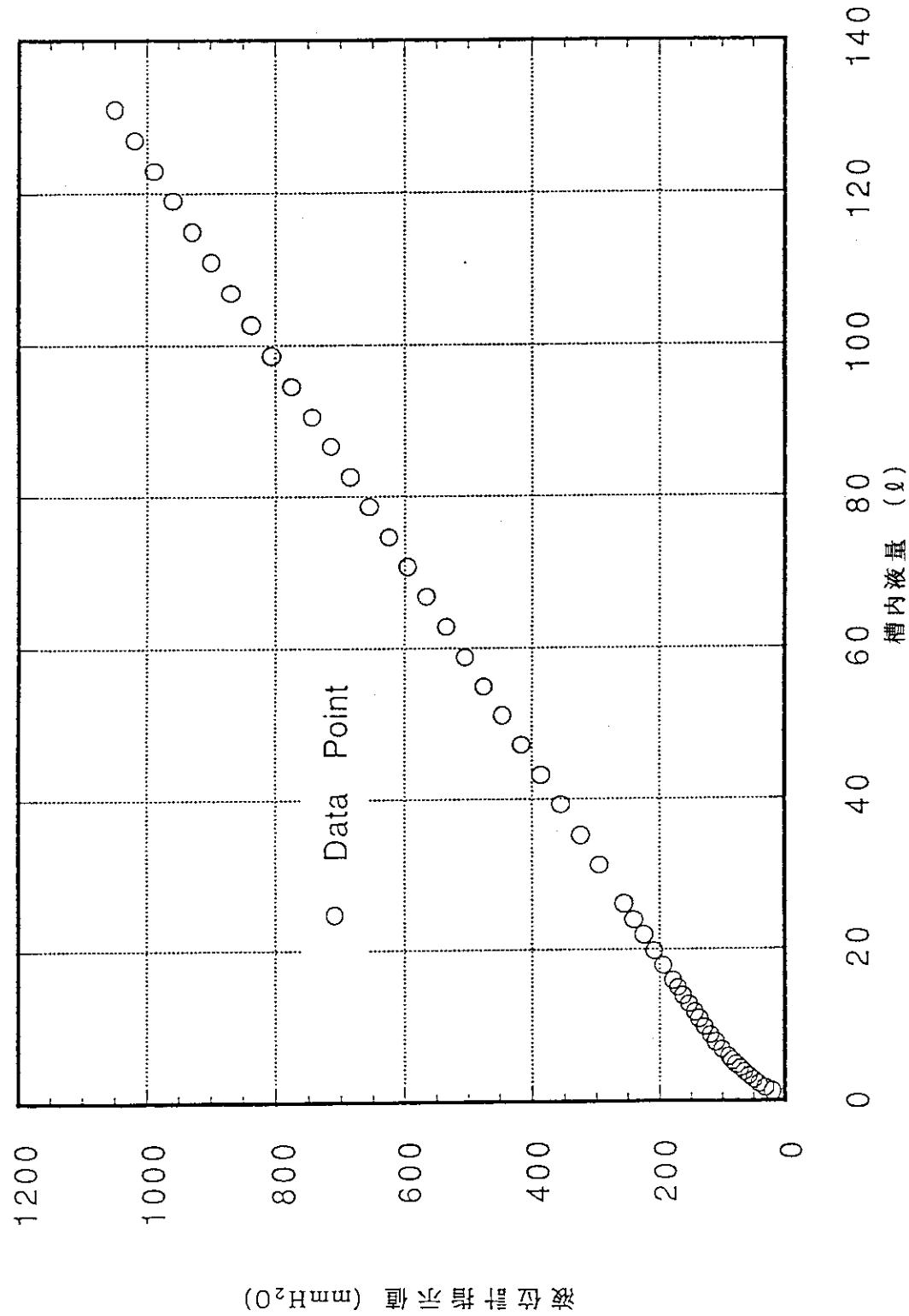


Fig. A-1 モックアップ円環槽の校正曲線