

JAERI-Tech
97-023



群分離法の開発：定量液送ポンプの性能試験と
遠隔操作性の改善

1997年6月

山口五十夫・森田泰治・藤原 武・溝口研一
久保田益充

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

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公開している研究報告書です。
入手の問合わせは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-11 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越してください。なお、このほかに財団法人原子力公済会資料センター（〒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。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1997

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 刷 (株)高野高速印刷

群分離法の開発：定量液送ポンプの性能試験と遠隔操作性の改善

日本原子力研究所東海研究所燃料研究部

山口五十夫・森田 泰治・藤原 武・溝口 研一・久保田益充

(1997年5月13日受理)

群分離法の開発研究を行うため燃料サイクル安全工学研究施設（以下NUCEFと記す）内に群分離試験装置を設置した。それぞれの装置に供給する試薬や被分離液（高レベル廃液）の移送は減圧吸引、重力落下及び液送ポンプ、定量液送ポンプを用いた方法で行うが、この内、溶媒抽出工程及び無機イオン交換体カラム吸着工程は供給液の定流量安定性が要求されるために定量液送ポンプを用いている。

本群分離試験装置は重遮へい体内に設置されているため、試薬供給配管等の長大化や遠隔操作性の観点からポンプ等の設置位置に最適な場所を選定できない制限がある。これまでの模擬高レベル廃液を用いた群分離試験で、定量液送ポンプの運転時にこれらの原因と考えられる若干の不具合が発生したので、その原因究明と対策を検討し改善を図った。本報にはその経緯と改良点等を記した。

Development of Partitioning Method :
Performance Tests of a Constant Flow Pump
and an Improvement for the Remote Manipulation

Isoo YAMAGUCHI, Yasuji MORITA, Takeshi FUJIWARA
Kenichi MIZOGUCHI and Masumitsu KUBOTA

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

(Received May 13, 1997)

A partitioning test facility has been completed in Nuclear Fuel Cycle Safety Engineering Research Facility (NUCEF) for the research and development of a partitioning process. Transport of various solutions including high-level liquid waste to each apparatus is achieved by using reduced pressure, gravity or pumps. In the processes of solvent extraction and inorganic ion exchanger column adsorption, a constant flow pump is used for the feed solution because they require the stability of flow rate.

Because of the space limitation and the requirement for the remote manipulation, the pump could not be located at the optimum position, which causes the reduction of transport performance from what the pump essentially has. In the partitioning test using simulated high-level liquid waste, the slight performance reduction was found and thought to be improved. Therefore, the cause and countermeasure of the performance reduction were examined, which were described in the present report.

Keywords : Constant Flow, Pump, High-level Liquid Waste, Partitioning, Hot Cell, Equipment, Extraction, Ion Exchange

目 次

1. 序 論	1
2. ポンプの選定と配置及び運転上の不具合	2
2.1 微量定量液送の必要性	2
2.2 定量液送ポンプの仕様とセル内配置	2
2.3 運転中に発生した問題点と支障事項	3
3. 不具合発生の原因調査と対策	5
3.1 定量液送ポンプの特性試験	5
3.2 対策	8
3.3 微量流量調整バルブを用いた定流量装置の検討	10
4. ま と め	12
参考文献	13

Contents

1. Introduction	1
2. Selection of a Pump and Problems in Its Transport Performance	2
2.1 Necessity of a Small Constant Flow Pump	2
2.2 Specification of Constant Flow Pump and Placement in the Hot Cell	2
2.3 Problem Which Arose in the Operation	3
3. The cause and Countermeasure of the Performance Reduction	5
3.1 Characteristic Test of Constant Flow Pump	5
3.2 Countermeasure	8
3.3 Examination on Stabilization of the Flow Rate by Using the Small Constant Flow Valve	10
4. Conclusion	12
References	13

1. 序論

使用済み核燃料の再処理により発生する高レベル廃液中に含まれる放射性核種を、半減期や放射能毒性に応じて分離し、より合理的な形で処分する、さらには資源として貴重な元素を有効に利用することを目的に群分離法を開発している。1994年にはNUCEF内のセルに群分離試験装置を設置¹⁾し、4群群分離法の開発に備えた。それぞれの装置に供給する試薬や被分離液（高レベル廃液）の移送は減圧吸引、重力落下及び液送ポンプ、定量液送ポンプを用いた方法で行うが、この内、溶媒抽出工程及び無機イオン交換体カラム吸着工程は供給液の定流量安定性が要求されるために定量液送ポンプを用いている。

これまでに水及び硝酸を用いた性能試験²⁾に引き続き、模擬高レベル廃液を用いた全工程の群分離試験³⁾を実施した。これらの試験中に定量液送ポンプの運転において、装置の大型化及び遠隔操作等に伴う、幾つかの不具合が発生したので、その原因究明と対策を検討し改善を図った。本報にはその経緯と改良点等を記した。

2. ポンプの選定と配置及び運転上の不具合

2. 1 微量定量液送の必要性

2. 1. 1 溶媒抽出工程

群分離試験の溶媒抽出工程ではミニミキサーセトラ（Sonal社製、Pollux型 ミキサ部 15ml/段・セトラ部 49ml/段・段数 16）を用いてTRU元素等の群分離試験を行っている。

このような小規模試験ではミキサーセトラに供給する被分離液や分離試薬の流量はそれぞれ 100ml/hから400ml/hと微量⁴⁾である。これらの試験において、データ解析上、最も重要なことはミキサーセトラの各段における目的元素の分配状態、抽出状態を正確に知ることであり、このためには、ミキサーセトラの各段を通過する液体の流量⁴⁾、即ち、供給している被分離液や分離試薬（抽出剤、逆抽出剤及び洗浄液等）の流量が安定しており、また、その流量を正確に把握することが必要である。

2. 1. 2 無機イオン交換体カラム吸着工程

無機イオン交換体カラム吸着工程ではゼオライト・チタン酸混合吸着体カラム（容量：カラム断面積 4.84cm²×長さ 100cm）を用いて Cs-137及びSr-90を分離、また、活性炭吸着体カラム（容量：ゼオライト・チタン酸混合吸着体カラムと同じ）を用いて Tc-99及び白金族元素を分離する群分離試験を行っている。

ゼオライト・チタン酸吸着体に対する Cs-137及びSr-90の吸着平衡時間は約 5時間⁵⁾と長く、従って、供給する被分離液の流量は本カラムに対して 400ml/hと微量である。これらの各種試験において、データ解析上、最も重要なことはカラムから流出する目的元素の貫流点、溶離点等を正確に知ることであり、溶媒抽出工程と同じく供給している被分離液や分離試薬の流量⁶⁾が安定しており、また、その流量を正確に把握することが必要である。

2. 2 定量液送ポンプの仕様とセル内配置

2. 2. 1 定量液送ポンプの仕様

NUCEFの群分離試験施設では前節で示した必要性から微量流量であり、且つ定流量送液が必要とされる溶媒抽出工程及び無機イオン交換体カラム吸着工程の被分離液や分離試薬の供給に [FMI Lab Pump Model RHV-0-CTC] を選択して用いている。

本定量液送ポンプの特徴は完全自吸式で 4.6m（水柱）まで自吸可能であること、従来のピストン型ポンプに見られるチェック弁の様に流体の圧力によって開閉される弁を持たないこと、吐出量がストローク長（本体目盛り）とストローク速度（コントローラ目盛り）を選択することにより連続可変であること、吐出量精度が CV値（標準偏差/平均値×100）1%をクリアーしていること等である。

なお、ストローク長を変化する本体目盛りは定量液送ポンプ本体に備えてあり、4.5回転する（バーニヤ目盛り付き（0～450））ことにより、ストローク長をゼロから最大にセット

できる。但し、本目盛りを遠隔で操作することはかなり困難である。ストローク速度を変化するコントローラ目盛りはゼロから最大(999)を選択でき、また、セルの外に置くことができるのでセル内に設置したポンプのストローク速度を遠隔で簡単に操作できる。

本定量液送ポンプの使用時の注意事項として、キャビテーションの原因である気泡発生を少なくするために吸引ラインの内径を拡大する、揚程を小さくする、給液タンクを加圧する、給液タンクより低い位置にポンプを配置する、定量性を向上させるため使用する最大流量にポンプ性能を選択する、流体スリップ（ピストンとケーシングの隙間を液体が移動する）現象は吸引圧／吐出圧の変動を避け、また、ストローク速度を上昇させることによって緩和される等が記載されている。

2. 2. 2 定量液送ポンプのセル内配置

NUCEF群分離試験施設における定量液送ポンプのセル内配置を Fig. 1に示す。

群分離試験装置は大量の核燃料物質や放射性同位元素を使用するため、重コンクリート(1050mm)の遮へい及び気密ライニングを施した重施設である。従って、群分離試験装置に供給する分離試薬はセル上部の部屋¹⁾(試薬供給室)に設置した定量液送ポンプを用いて送液する。ポンプヘッドよりセル内吐出口(試験装置入り口)までの位置水頭は約 5.5mであり、配管長は水平方向にも引き回しているため約 20mに達する。配管には外径 1/8インチ(内径 1.76mm)のステンレス鋼管を用いているが、セル貫通部は強度を維持するため外径 1/4インチ(内径 3.87mm)のステンレス鋼管を用い、また、セル内吐出口には吐出配管の遠隔交換を考慮し、遠隔着脱コネクター及びフレキシブルチューブが挿入されている。

被分離液の定量液送ポンプは大量の核燃料物質や放射性同位元素を送液するため、遮へいを施したセル内に設置している。送液ラインはセル内貯槽の被分離液を貯槽の上部に設置した定量液送ポンプで汲み上げ試験装置入り口まで送液する。貯槽中の最下位液位とポンプヘッドまでの位置水頭は約 1.25mであり、配管長は水平方向にも引き回しているため、最大約 5mに達する。なお、貯槽からポンプヘッド、ポンプヘッドから吐出口までの配管には配管外径 3/8インチ(内径 7.05mm)、1/4インチ(内径 3.87mm)、1/8インチ(内径 3.87mm)のステンレス鋼管及び遠隔交換を容易にするためのフレキシブルチューブ(内径 1/4インチステンレス鋼管相当)等多種の配管を用いており、また、対象とする貯槽の選択、ポンプ故障時の交換操作を考慮し、数個の遠隔着脱コネクターを送液ラインに挿入している。配管中の空気溜まり等を防ぐために、一般的に配管は一定方向に傾斜を保ち施工するが、本装置はフレキシブルチューブを用いていることから、これらの配慮はできず、送液ラインにはU字型や逆U字型の部分が各所にあり複雑である。

2. 3 運転中に発生した問題点と支障事項

2. 3. 1 分離試薬定量液送ポンプ

分離試薬定量液送ポンプは前章で説明した如く、セル上部の部屋に設置してあり、ポンプヘッドよりセル内吐出口(試験装置入り口)までの位置水頭は約 5.5mである。従って、

ポンプヘッドの吐出側には -0.55kg/cm^2 の圧力がかかっている。また、セル貫通部の配管は1/8インチ管より1/4インチ管に太くしているため、配管中の空気溜まりを無くすことは困難である。これらは本定量液送ポンプ使用時の最適条件を満たしておらず、(1) 試薬供給室でセットした流量 (mL/h) とセル内で計測した吐出口流量が著しく異なる。(2) 流量の再現性が悪い。(3) ストローク速度と流量の直線関係がない。等の支障があった。

2. 3. 2 被分離液定量液送ポンプ

被分離液定量液送ポンプは遠隔交換の利便性からセル内給液貯槽より上部に設置しており、従って、ポンプヘッドの吸い込み側には最大 -0.13kg/cm^2 の圧力がかかっている。また、その配管経路は前章で述べたとおり複雑である。これらは使用時の最適条件を満たしておらず、また、一方、貯槽の液位表示精度の最小単位が 10ml であることから、(1) 被分離液定量液送ポンプの流量安定性の確証が得られない問題、(2) 本ポンプ運転中、吸い込み側配管に大量の気泡が含まれると自吸能力がなくなるという支障があった。

3. 不具合発生の原因調査と対策

前章で示した幾つかの不具合発生の原因とその対策に当たり、本定量液送ポンプの特性をあらかじめ知ることが重要であるので以下に示す特性試験を実施し、対策について検討した。

3. 1 定量液送ポンプの特性試験

3. 1. 1 装置と試験方法

試験装置の配管系統図を Fig. 2 に示す。ポンプ本体はセル内で使用した被分離液定量液送ポンプをセル外に搬出し、そのまま使用した。また、本体目盛りは遠隔での操作が困難なため今後変更することはないと考え、パーニヤ目盛りで 50/450 に固定して試験した。

通常の流量安定性試験では吸い込み側水頭圧を -0.07kg/cm^2 から -0.08kg/cm^2 に、吐出側水頭圧を 0.03kg/cm^2 に設定して実施したが、水頭圧変化の試験では吸い込み口及び吐出口を上下或いは送液ラインに点線で示す圧力逃し弁或いは微小流量調節バルブを挿入し、圧力計で吸い込み側及び吐出側水頭圧を計測しながら流量の変化や安定性を比較検討した。

吸い込み側配管での気泡発生除去試験では点線で示す脱気瓶を取り付け流量の安定性を比較検討した。

全般にわたる流量の安定性試験では吐出する液を一定間隔で作動するフラクションコレクターで分取し、その重量を計測することにより単位時間当たりの流量を求めた。

3. 1. 2 負荷変動によるポンプの安定性

A. 吐出側の負荷圧力変化によりポンプの回転数（ストローク数）に変化が生じるか検討した。

吐出側配管無負荷時 (0.03kg/cm^2) と吐出側配管に圧力逃し弁 (3.05kg/cm^2) を挿入した場合のそれぞれに、コントローラ目盛りを変化して送液したときのストローク速度の変化を Fig. 3 の点線で示す。コントローラ目盛りとストローク速度は無負荷、負荷時共に直線関係にあり、また、吐出側に負荷 (3.05kg/cm^2) を挿入しても無負荷時と比較してストローク速度の変化はなかった。

B. 吐出側の負荷圧力変化により流速の変化が生じるか検討した。

吐出側配管に微小流量調節バルブ（本バルブは 16 回転することにより弁開度をゼロから最大にセットでき、また、1 回転当たりパーニヤ目盛りが 25 等分に付されている、従って、弁開度の表示は、たとえば最大開度で (16- 0/25) と示す) を挿入し、それぞれコントローラ目盛りを変化して送液したときの流量を Fig. 3 の実線で示す。表中コントローラ目盛り 500/999 時（流量：720ml/h）の損失水頭 (kg/cm^2) をカッコ内に示した。損失水頭は流量の 2 乗に比例し、微小流量調節バルブ開度 4- 0/25 においてコントローラ目盛りで流量を 100ml/h 近傍にセットすると損失水頭は 0.1kg/cm^2 となり、吐出側の負荷は比較的小さい。このような領域において流量はコントローラ目盛り（ストローク速度）と直線関係にあり、また、吐出側の負荷を更に減少した各測定点でも同一直線上に

ほぼ載ることがわかった。

3. 1. 3 微小流量時の負荷変動による安定性

ミキサーセトラのフィード液の流量は 100ml/hと極めて微小な流量である。これらの流量域でポンプの吸い込み側及び吐出側の負荷が変動した場合の流量変化をしらべた。

試験の方法を以下に示す。

ポンプの運転条件は本体目盛りを 50/450、コントローラ目盛りを 100/999にして全て実施した。水頭圧は以下に示す4項目の試験方法で変化した。

- (1) ポンプの吸い込み側水頭圧を -0.07kg/cm^2 に固定し、吐出側に微小流量調節バルブを取り付け弁の開度を調節して吐出圧を変化した。吐出圧はポンプ吐出口近傍に取り付けた圧力計で測定し、それぞれの圧力で流量を測定した。
- (2) ポンプの吐出側に 1.45kg/cm^2 で作動する圧力逃し弁を取り付け吐出圧を設定した。吸い込み側水頭圧を -0.07kg/cm^2 (ポンプヘッドより75cm下側) から 0.095kg/cm^2 (ポンプヘッドより95cm上側) に移動して変化させ、それぞれの圧力で流量を測定した。
- (3) ポンプの吐出側を開放とし(0.03kg/cm^2)、吸い込み側水頭圧を -0.075kg/cm^2 (ポンプヘッドより75cm下側) から 0.095kg/cm^2 (ポンプヘッドより95cm上側) に移動して変化させ、それぞれの圧力で流量を測定した。
- (4) ポンプの吸い込み側水頭圧を -0.07kg/cm^2 に固定し、吐出側水頭圧を -0.065kg/cm^2 (ポンプヘッドより65cm下側) から 0.104kg/cm^2 (ポンプヘッドより104cm上側) に移動して変化させ、それぞれの圧力で流量を測定した。

上記の4条件で流量を測定した結果を Fig. 4に示す。横軸は吸い込み側水頭圧と吐出側水頭圧の合計値を示した。即ち、吸い込み側貯槽液位から吐出口の液位までの全圧力(ゲージ圧)である。

図中の●プロットは試験の方法(1)で吐出側の圧力を大きく変化したものである。ポンプヘッドが増加すると流量はほぼ直線的に減少し、その減少率は 1kg/cm^2 当たり約 4.3%であった。

図中の□プロットは試験の方法(2)で吐出側の圧力を 1.45kg/cm^2 と固定し、吸い込み側の圧力を細かく変化したものである。ほぼ(1)の直線に載り、また、吸い込み側水頭圧を 0.17kg/cm^2 変化してもその減少率は 1%(1ml/h)以下であった。

図中の○プロットは試験の方法(3)で吐出側を解放し、吸い込み側の圧力を試験の方法(2)と同じく変化したものである。ほぼ(1)の直線に載り、減少率も 1%(1ml/h)以下であった。

図中の△プロットは試験の方法(4)で吸い込み側水頭圧を固定し、吐出側の圧力を変化したものである。これらもほぼ(1)の直線に載り、減少率も 1%(1ml/h)以下であった。

これらの結果、ポンプの吸い込み側である貯槽の液位(最大で 45cm: Fig. 1参照)が送液と共に変化しても流量に影響しないことがわかった。また、吐出側である吐出口の液位が若干変化しても吸い込み側と同様流量に影響しないことがわかった。なお、吐出側に

1.45kg/cm^2 の吐出圧を付加すると、流量は吐出側を解放した場合の約 93%に減少するが、

吐出側の負荷圧力が全運転時間を通して変化しない限り、吸い込み側や吐出側の液位が本実験の範囲で変化しても流量の変化はミキサーセトラや無機イオン交換体カラムの運転に支障をきたさないほど微少である。

3. 1. 4 長時間運転時の流量安定性

A. 模擬廃液試験の解析

NUCEFのセルでは模擬高レベル廃液を用いた全工程の群分離試験を1995年から1996年にかけて2回実施しており、Fig. 1に示す装置及び本特性試験に用いた同種の定量液送ポンプを用いて、20Lの貯槽からミキサーセトラ及び無機イオン交換体カラムに連続して送液する試験を実施している。この時の流量の安定性を調べるため、第2回模擬廃液試験でミキサーセトラに給液した時の貯槽の液位変化を解析した。その結果をFig. 5に示す。本試験は100ml/hの流量で23時間以上連続して送液した結果である。図中の■プロットは貯槽の液位(L)変化を示しているが、時間と共にほぼ直線的に低下しており、流量は23時間送液の平均で100.4ml/hであった。

図中の●プロットはその時の流量の変化で平均100.4ml/h、標準偏差7.5ml/h、CV値は7.5%であった。無機イオン交換体カラムに連続して送液した結果は図示しないが、流量は平均438.7ml/h、その時の標準偏差は38.2ml/hでCV値は8.7%であった。貯槽の液位が時間と共にほぼ直線的に低下しているにもかかわらず、メーカー提示の吐出量精度CV値1%以下と比較して本試験のCV値が大きくなったのは、貯槽の液位測定法が空気パージ式であり、その表示精度は最小単位が10mlであることに起因している。

B. セル外試験

上記の結果から長時間運転時の本ポンプの流量安定性について、かなり高い精度で送液できていると予想はできるものの、CV値が1%以下であることの確証は得られない。

従って、測定精度を上昇させるため、セル内ポンプ吐出側の配管の損失水頭を測定し、同等の損失水頭をセル外で模擬し、吐出液をフラクションコレクターで細かく分取、その液量を計測することにより定量液送ポンプの流量安定性をしらべた。模擬損失水頭は吐出側に微少流量調節バルブを取り付け、その開度を調節し、流量100ml/h時のセル内配管の損失水頭と同じくして試験した。その結果をFig. 6の試験No. ③に示す。なお、本試験中に流量が送液量と共に徐々に低下する現象があった(試験No. ①)ので、その原因を解明するため以下の試験を加えた。

- (1) 吸い込み側配管に脱気瓶を取り付け、位置水頭等で発生する気泡が直接ポンプに入らないようにした。(試験No. ②)
- (2) 吸い込み側配管に脱気瓶を取り付け、吐出側の損失水頭を変化した。
(試験No. ③、④)
- (3) 吸い込み側の位置水頭を変化した。(試験No. ⑤)
- (4) 吸い込み側に脱気瓶を取り付け、吸い込み側の位置水頭を変化した。(試験No. ⑥)
- (5) 流量400ml/hの試験も試みた。本試験も同様、吸い込み側に脱気瓶を取り付け、吐出側の損失水頭を変化した。(試験No. ⑦)

これらの試験結果を Fig. 6及び 7に示す。Fig. 6の試験No. ①は吸い込み側及び吐出側の水頭圧をそれぞれ -0.08kg/cm^2 及び 0.03kg/cm^2 として送液した結果である。流量は送液量と共に減少しCV値は 4.5%であった。この原因は吸い込み側配管中に位置水頭等で発生する気泡がポンプヘッドの中に入り込み、ポンプの性能を低下させるものと考えられたので、以下の検討を行い改良を加えた。

一般に水は常温、大気圧下において体積で約 2%の空気を吸収しており、吸い込み側の位置水頭は -80cm であるので分離する空気量は 100ml 当たり 0.08ml と極めて少ない。また、発生する気体はポンプを運転中、常時一定量が放出されているため、単に位置水頭等で放出する気体量で流速は変化しない。従って、これらの原因はポンプヘッドの中に気体が少しずつ蓄積され、吸い込みと吐出の過程で蓄積された気体が膨張と収縮を繰り返すことによって、本来のヘッド体積が減少するものと考えられる。

Fig. 6の試験No. ②、③、④は吸い込み側に脱気瓶を取り付け、更に吐出側の損失水頭を変化して送液した結果である。脱気瓶を取り付けることにより流量はほぼ一定となり、CV値は吐出側の圧力が増すにつれ減少し流量の安定性が増した。この結果、不安定流量となる最大の要因はポンプヘッドの中に気体が混入することであり、対策を十分配慮しなければならない。また、ミキサーセトラに要求される給液の精度は試験No. ②の CV値 0.86%で十分であることから、作為的に吐出側に圧損を作り、流量の安定性を増すこともないと考えられる。

Fig. 7の試験No. ⑤は吸い込み側の水頭圧を -0.28kg/cm^2 として送液した結果である。試験No. ①と比較して CV値は倍以上となった。試験No. ⑥はこれらの条件下で吸い込み側に脱気瓶を取り付け、送液した結果である。この試験でも吸い込み側の気泡除去は重要な要因であることがわかった。

流量 400ml/h の試験結果は図示しないが、吸い込み側に脱気瓶を取り付けないと流量は送液量と共に減少する傾向を示し CV値は 5.2%であった。なお、脱気瓶を取り付け、吐出側に 1.5kg/cm^2 の損失水頭を与えた流量の安定性は CV値 0.43%となり極めて良好となった。

3. 2 対策

3. 2. 1 分離試薬定量液送ポンプ

分離試薬定量液送ポンプの運転中に発生した支障は、(1)試薬供給室でセットした流量 (mL/h)とセル内吐出口流量が著しく異なる。(2)流量の再現性が悪い。(3)ストローク速度と流量の直線関係がない等であった。

これらの問題を解決するため以下の検討をした。

(1)ポンプヘッドの吐出側に -0.55kg/cm^2 の圧力がかかっている問題について

第3. 1. 3章の「微小流量時の負荷変動による安定性」試験では、吐出側の負荷が 1kg/cm^2 増すと、無負荷と比較して流量が約 96%に減少した。例えば、試薬供給室で流量を 100mL/h にセットしてセル内にポンプ送液した場合、ポンプより約 5.5m 下の吐出口流

量は 102.5mL/hになる。この変化は極めて少なく、支障の原因とは考えにくい。

一般的にポンプの仕様は液体にエネルギーを与えて、高いところに汲み上げたり、圧力を高めたりする機械で、吐出側が吸い込み側より負圧になっている例は見当たらない。それ故、本ポンプは吐出側が負圧となることの配慮がなされていない可能性がある。一方、本ポンプの使用時の注意事項として、流体スリップ現象が挙げられており、その対策として吸引圧/吐出圧の変動を避けることが挙げられている。

従って、本体策としてポンプの吐出側に 25PSI (1.76kg/cm²) の圧力逃し弁を直列に取り付け -0.55kg/cm² の水頭圧をキャンセルすると共に 1.2kg/cm² の負荷を更にかけることにした。その結果、先に示す諸々の支障は一気に解決した。

(2)セル貫通部に異径配管を用いているため配管中に空気溜まりがある問題について

セル内の吐出口で液体に混じって気泡が流出しない限り、配管中の空気溜まりは一定と考えられるので、ポンプの送液が安定していれば流量は変化しない。なお、上記の対策後の模擬廃液を用いた群分離試験で各貯槽の液位は時間と共に直線的に増加しているので配管中に空気溜まりがあっても問題ないことがわかった。

3. 2. 2 被分離液定量液送ポンプ

被分離液定量液送ポンプの運転中に発生した支障は(1)流量安定性の確証が得られないこと。(2)吸い込み側配管に大量の気泡が含まれると自吸能力がなくなることであった。従って、これらの問題を解決するため以下の検討をした。

(1)流量安定性の確証が得られないことについての考察

a. ポンプヘッドの吸い込み側には最大 -0.13kg/cm² の圧力がかかっている。前章で述べたとおり位置水頭が貯槽の液位変化の程度で変化しても、流量の変化は極めて少ないという結果を得ている。但し、吸い込み側の位置水頭を -0.28kg/cm² と大きくした場合、(Fig.7 試験No.⑤参照) 流量は極めて不安定となる。また、これらの条件下で吸い込み側に脱気瓶を取り付けると (Fig.7 試験No.⑥参照)、その流量は極めて安定することがわかった。

b. セル内のポンプ周り配管はU、逆U字を含む極めて複雑な配管経路である。模擬廃液試験の解析 (Fig.5参照) では貯槽液位が時間と共に直線的に低下していること、及びセル外試験の結果 (Fig.6 試験No.③参照) では、脱気瓶を吸い込み側に取り付けることによって流量の安定性が極めて向上したことから、実際のセル内運転では配管経路が複雑であるが故に脱気瓶に相当する気泡除去器が配管で形成され、かなり高い精度で送液できていたものと思われる。

(2)吸い込み側配管に大量の気泡が含まれると自吸能力がなくなることについての考察

本問題はフィード液をミキサーセトラに送液中の最終段階で発生している。詳しくは、被分離液貯槽のフィード液が無くなり、吸い込み側配管に空気が混入した時点で、流路の切り替えのため、ポンプの送液を止めずに (ポンプを停止することによる流量の再現性に疑念があったため) 遠隔着脱コネクタの差し替えを行ったものである。この間、2分程度であるが吸い込み側は閉回路となり、吸い込み側の水頭圧が極端に上昇してしま

ったものと思われる。

その後、ポンプの自吸能力は無くなり、ストローク速度を上昇する等の対策を施したが、ポンプの自吸能力は回復しなかった。最終的には本ポンプを運転しながら、ポンプの吐出側を負圧とし、吸い込み側配管及びポンプヘッド中の空気を取り除くことによって回復させることができた。一方、セル外試験でも吸い込み側の水頭圧を極端に上昇させると、その後、自吸能力がなくなり、吐出側を負圧にすることによって回復する結果が得られた。

これらの対策として、ポンプの吐出側を負圧とする方法が最良と思われるが、この場合、比較的大量の洗浄液（廃液）等が発生することである。

操作上の注意としては、本試験でポンプを一時的に停止しても短時間で再起動すれば流量の再現性について問題ないことを確認しているので、ポンプの運転中にポンプに係わる弁の開閉等をする如き操作は避け、本事象に至らしめないこと。長期間放置によるポンプヘッドの乾燥等に留意する必要がある。

3. 3 微量流量調節バルブを用いた定流量装置の検討

3. 3. 1 本試験の目的

前章で述べたポンプの使用方法は本ポンプの能力を最大限に利用していない。即ち、本定量液送ポンプの最大流量は 5400ml/h であり、ミキサーセトラのフィード液流量は 100ml/h である。この場合、流量においてポンプ性能の 2% 以下の使用である。また、本体目盛りを 50/450 にセットして使用することから、コントローラ目盛りを最大にセットしても最大流量の 12% 以下の使用である。本来の使用目的である微量定流量性を失うことなく、簡単な操作でポンプ能力を最大に引き出す方法があると、配管内の気泡除去、自吸能力の回復操作等で極めて有利である。そこで新方法である Fig. 8 に示す装置を製作し流量の安定性を検討した。

3. 3. 2 本装置の作動原理と特徴

本装置の作動原理はポンプ能力を最大にセットし、圧力逃し弁によって送液を還流することによって、吐出側に一定の水頭圧力を保持しておき、一定断面の細孔から液を吐出させることによって定流量を得ることである。

具体的には、吐出側配管に微量流量調節バルブと開閉弁を並列に取り付けておき、開閉弁を閉じることによって吐出側の水頭圧力を圧力逃し弁で一定とし、微量流量調節バルブの細孔からトリチェリーの定理により、一定流速の液を吐出させる。そこで微量流量調節バルブの開度（断面積）を調節することによって、一定の流量が得られることになる。一方、開閉弁を開放にすると、ポンプの持つ最大流量で送液できる。なお、本原理によるとポンプの性能は定流量性を必要とせず、単に圧力逃し弁の設定圧力以上に昇圧できれば良いことになる。

3. 3. 3 流量安定性の試験

(1) 試験の方法

ポンプ本体は前章で使用した定量液送ポンプをそのまま使用した。基本的なポンプの運転条件を以下に示す。

本体目盛り	:	400/450
コントローラ目盛り	:	400/999
吸い込み側水頭圧	:	-0.07kg/cm ²

なお、微小流量調節バルブ細孔の目詰まり等防止のため、本バルブの一次側に細孔径 7 μ m の焼結金属フィルターを取り付けた。

これらの条件の下、圧力逃し弁の設定圧力を 1.4kg/cm²と 3.0kg/cm²に設定し、微小流量調節バルブの目盛りをそれぞれ変化し、微小流量調節バルブの目盛り（開度）と流量の関係をしらべた。

上記の試験結果をもとに、圧力逃し弁の設定圧力を 3.0kg/cm²に設定した後、微小流量調節バルブの目盛りを流量 100ml/h の試験では 0-4.5/25、流量 400ml/h の試験では 1-2.5/25 に設定し、流量の安定性試験を実施した。なお、本流量安定性試験では試験送液に沈殿等が含まれることも考慮し、模擬高レベル廃液にリン酸を添加し、ギ酸で脱硝した時に得られる沈殿 4ml を 2L の水に添加、攪拌しながら送液する試験も実施した。この場合、吸い込み側配管に沈降式沈殿除去器を取り付け送液した。

流量の測定は吐出する液を一定間隔で作動するフラクションコレクターで分取し、その重量を計測することにより単位時間当たりの流量を求めた。

(2) 結果と考察

a. 微小流量調節バルブの目盛りと流量の関係及び本バルブの開度（細孔径（計算値）： μ m）を Fig. 9 に示す。微小流量調節バルブ 1 次圧力とバルブの細孔から噴出する流速の関係において、流速は圧力の平方根に比例し、1.4kg/cm² の場合を 1 とすると 3.0kg/cm² ではその 1.46 倍となるが、微小流量調節バルブ目盛り 1-0/25 で約 2 倍、2-0/25 で約 1.8 倍となった。本試験では微小流量調節バルブの開度が極めて小さい範囲でトリチェッリーの定理に従わないことが分かった。微小流量調節バルブ目盛り（開度）と流量の関係から、微小流量調節バルブの断面積や細孔径を計算すると、微小流量調節バルブ目盛りとバルブの細孔径とに直線関係があった。すなわち、流量は開度の 2 乗に比例していると考えられる。

b. 流量を 100ml/h に設定して実施した流量安定性試験の結果を Fig. 10 に示す。横軸には送液量 (ml)、縦軸には流量 (ml/h) をプロットした。図中の ■ は純水を送液したもので、750ml 送液した時点で、流量は約 95.28% に減少した。その傾きは -0.00492/h である。● プロットは沈殿を含む溶液を送液したもので、650ml 送液した時点で、流量は約 76% に減少した。その傾きは -0.0377/h である。

流量を 400ml/h に設定して実施した結果は特に図示しないが、純水及び沈殿を含む溶液を 2400ml 送液した時点で、流量は約 94% に減少し、傾きは -0.008/h であった。

本試験で送液に伴い流量が徐々に減少する原因は不明であるが、微小流量調節バル

ブの細孔にゴミ等が少しずつ詰まり細孔の断面積を小さくしていくものと考えられる。

結論として、本送液法はポンプの最大流量を簡単な弁の開閉操作で得られるという利点はあるが、本質的な流量の安定性について問題があり、使用に耐えないという結果を得た。

4. まとめ

群分離処理法の開発研究を行うため、燃料サイクル安全工学研究施設に群分離研究施設を完成し、本群分離試験装置を用いて、模擬高レベル廃液を用いての全工程群分離試験を現在実施している。

各装置は、基本的に当初の設計に従って製作され、所定の機能を有することを確認したが、細かい点で、より安全、確実に運転するための改善すべき点等も見い出された。

本報告は定量液送ポンプについて若干の不具合が発生したので、その原因究明と対策を検討したものである。

試薬供給室からセル内に定量送液する場合の位置水頭が約 5.5mあること等による送液の不安定性は、ポンプの吐出側に圧力逃し弁を直列に取り付けることによって解決できた。

セル内設置の定量液送ポンプの流量安定性は、セル内貯槽（フィードタンク）の液位が直線的に低下していること、ポンプの特性試験で吸い込み側に脱気装置を取り付けることにより改善されること、セル内の配管経路が複雑であるが故に脱気装置に相当する部分が吸い込み側の配管に形成されていること等の理由で極めて良好であったことが確認できた。自吸能力の喪失は特性試験でも見いだされ、吐出側を減圧吸引することで解決できた。

微小流量調節バルブを用いた定流量装置の検討では流量安定性に問題があり使用できないことがわかった。

ブの細孔にゴミ等が少しずつ詰まり細孔の断面積を小さくしていくものと考えられる。

結論として、本送液法はポンプの最大流量を簡単な弁の開閉操作で得られるという利点はあるが、本質的な流量の安定性について問題があり、使用に耐えないという結果を得た。

4. まとめ

群分離処理法の開発研究を行うため、燃料サイクル安全工学研究施設に群分離研究施設を完成し、本群分離試験装置を用いて、模擬高レベル廃液を用いての全工程群分離試験を現在実施している。

各装置は、基本的に当初の設計に従って製作され、所定の機能を有することを確認したが、細かい点で、より安全、確実に運転するための改善すべき点等も見い出された。

本報告は定量液送ポンプについて若干の不具合が発生したので、その原因究明と対策を検討したものである。

試薬供給室からセル内に定量送液する場合の位置水頭が約 5.5mあること等による送液の不安定性は、ポンプの吐出側に圧力逃し弁を直列に取り付けることによって解決できた。

セル内設置の定量液送ポンプの流量安定性は、セル内貯槽（フィードタンク）の液位が直線的に低下していること、ポンプの特性試験で吸い込み側に脱気装置を取り付けることにより改善されること、セル内の配管経路が複雑であるが故に脱気装置に相当する部分が吸い込み側の配管に形成されていること等の理由で極めて良好であったことが確認できた。自吸能力の喪失は特性試験でも見いだされ、吐出側を減圧吸引することで解決できた。

微少流量調節バルブを用いた定流量装置の検討では流量安定性に問題があり使用できないことがわかった。

参考文献

- 1) 山口、龍ヶ江、森田、近藤、白橋、山岸、藤原、藤本、谷津、藤田、黒羽根、青山、久保田；“群分離法の開発：NUCEF内に建設した群分離試験施設”、JAERI-Tech 94-030(1994)
- 2) 山口、森田、近藤、山岸、藤原、渡邊、溝口、龍ヶ江、青山、久保田；“群分離法の開発：NUCEF内群分離試験装置によるコールド試験（I）”、JAERI-Tech 96-009(1996)
- 3) Y.Morita, I.Yamaguchi, T.Fujiwara, K.Mizoguchi, M.Kubota, “Partitioning Test Facility Constructed in NUCEF”, Proc, 4th Int. Information Exchange Meeting on Actinide and Fission Product Partitioning and Transmutation, Mito, Japan, 10-13 September, 1996 (OECD/NEAより刊行予定)
- 4) 谷、森田、久保田；“群分離法の開発：DIDPAによる超ウラン元素抽出分離プロセスにおける他元素の挙動（連続操作実験における検討）”、JAERI-M 90-168(1990)
- 5) 三村、山岸、秋葉；“高汚染水からのゼオライトによるセシウムとストロンチウムの選択的除去”、核理研研究報告 第21巻 第1号(1988)
- 6) 森、山口、久保田；“群分離法の開発：チタン酸、ゼオライト混合交換体カラムのSr,Csイオンに対する動的吸着特性”、JAERI-M 86-013(1986)

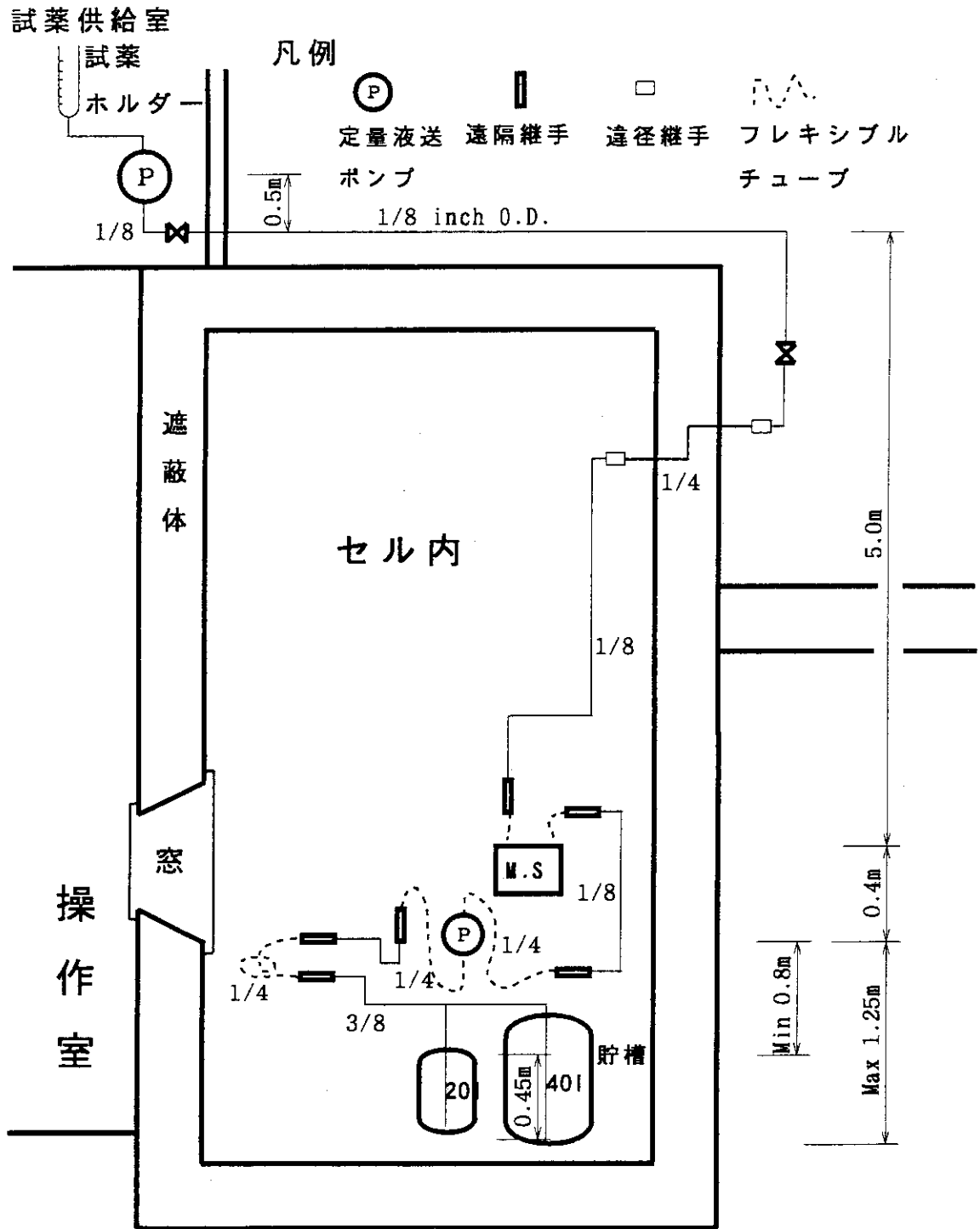


Fig.1 NUCEF群分離試験施設における
定量液送ポンプのセル内配置

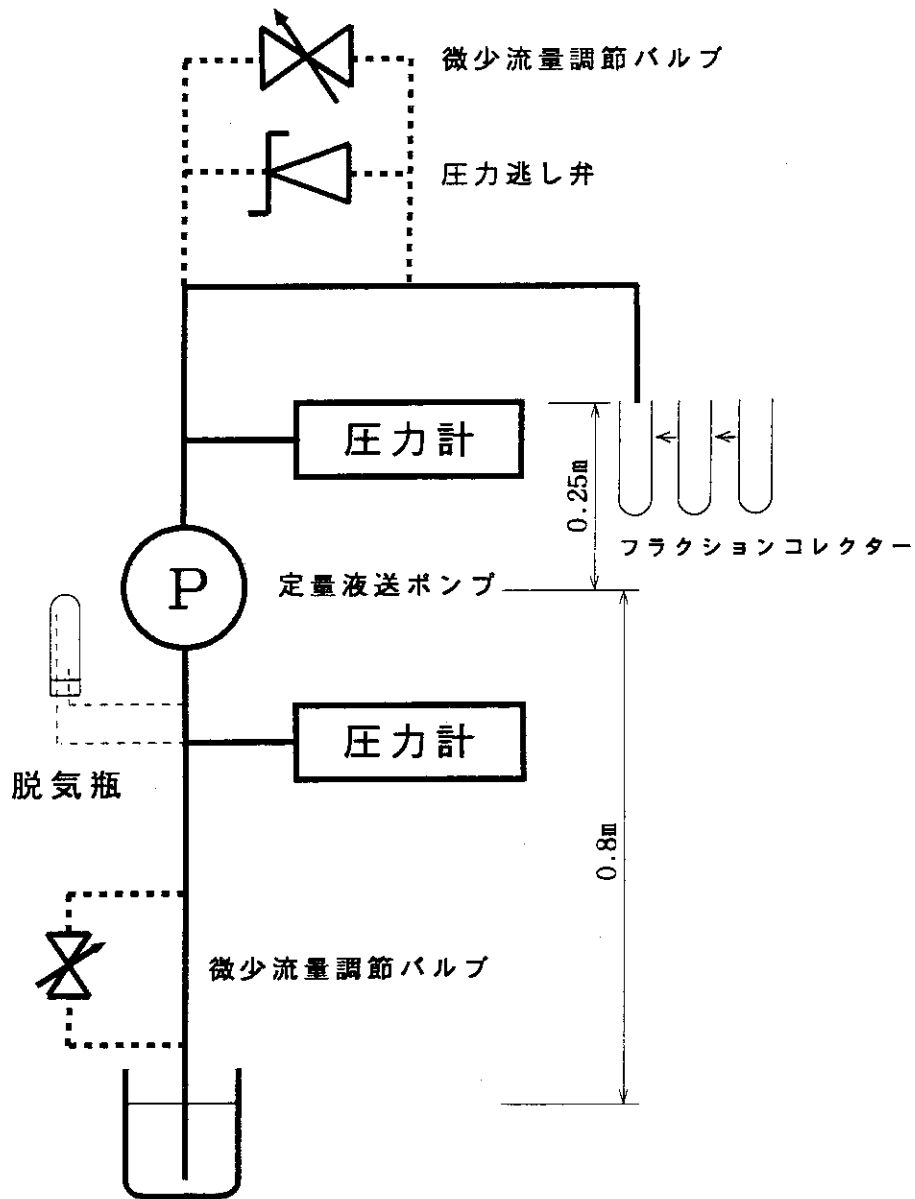


Fig.2 試験装置の配管系統図

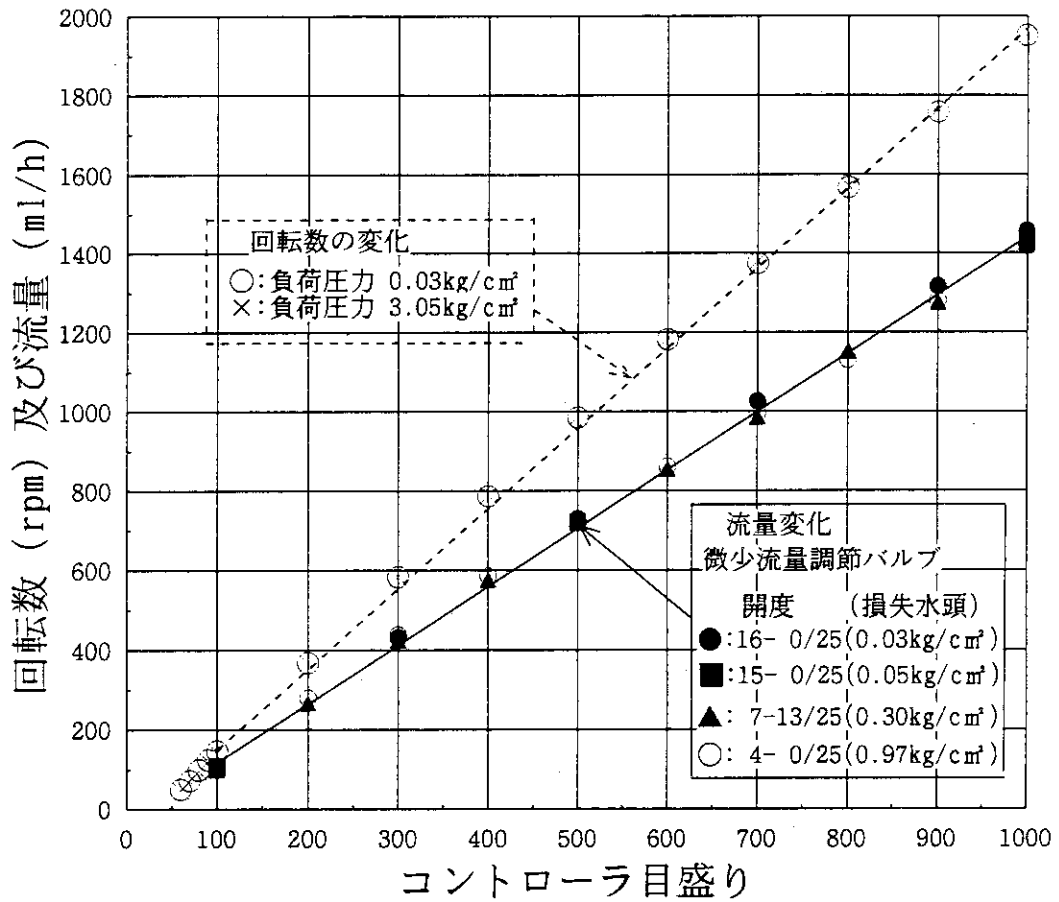


Fig.3 負荷圧力変動による定量液送ポンプの
回転数及び流量の安定性

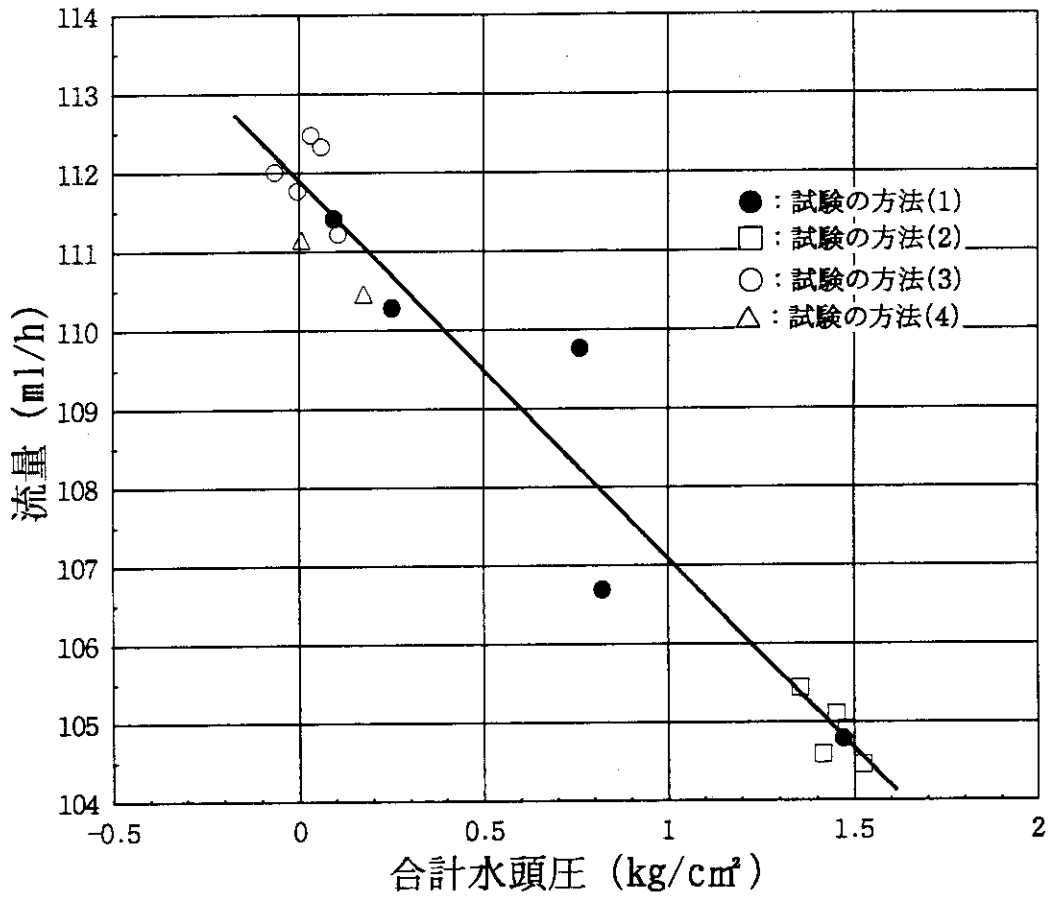


Fig.4 微小流量時の水頭圧と流量の関係

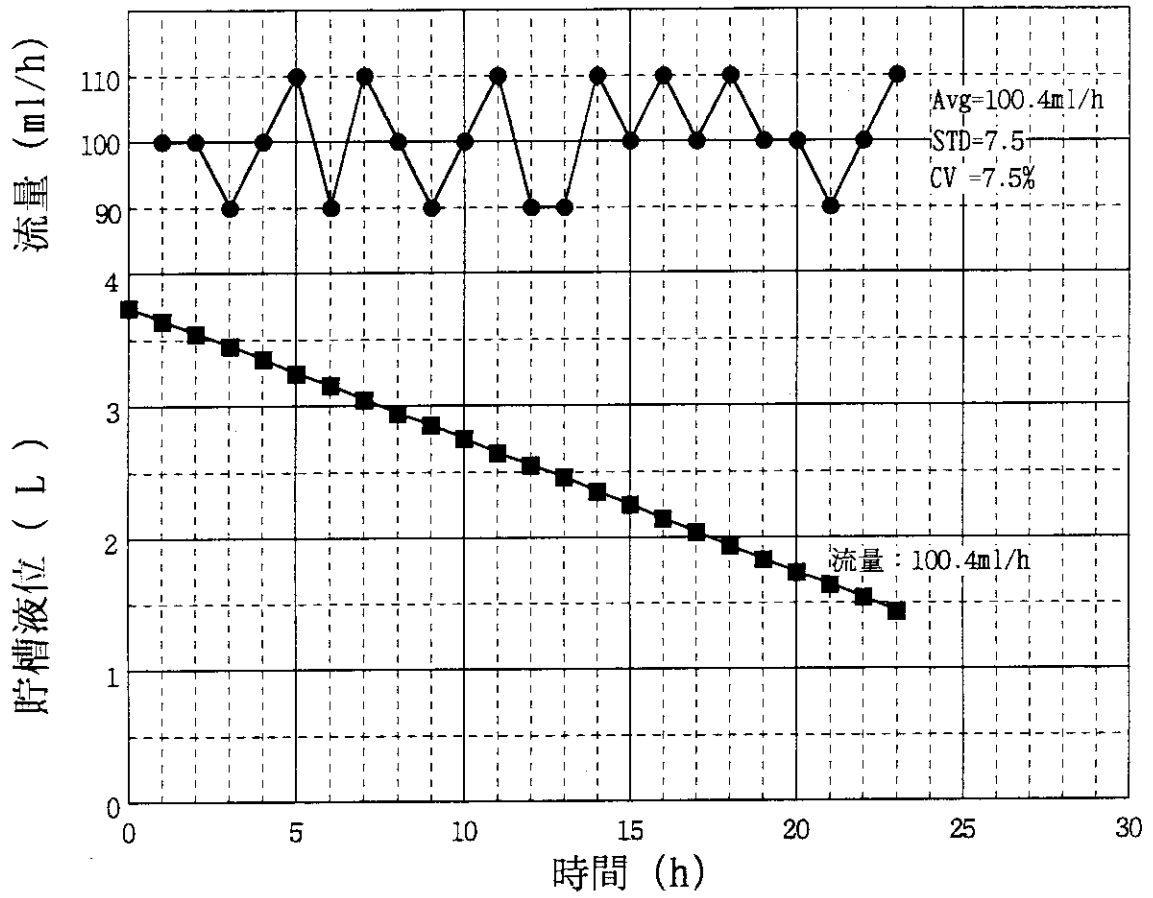


Fig.5 模擬廃液試験時のミキサーセトラ
 フィードポンプの流量安定性

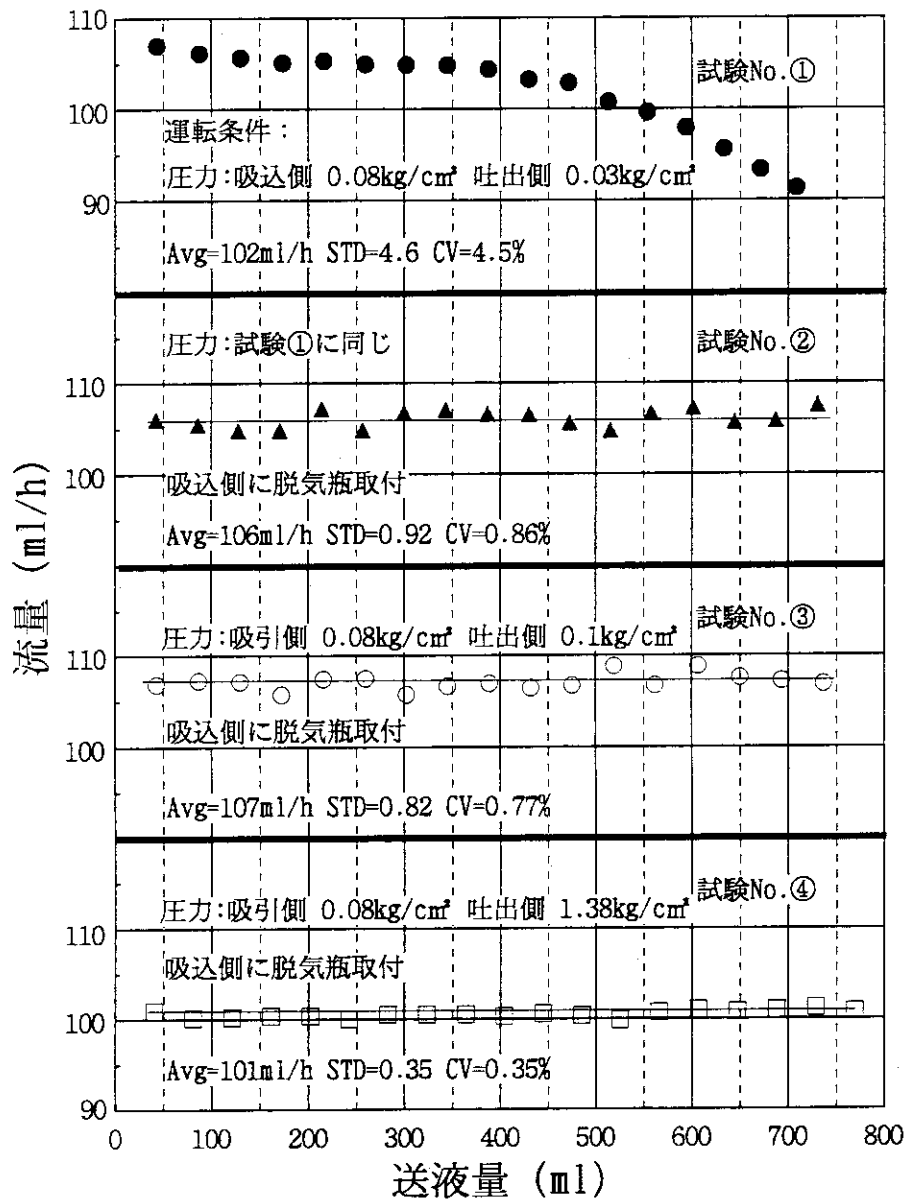


Fig.6 流量の安定性

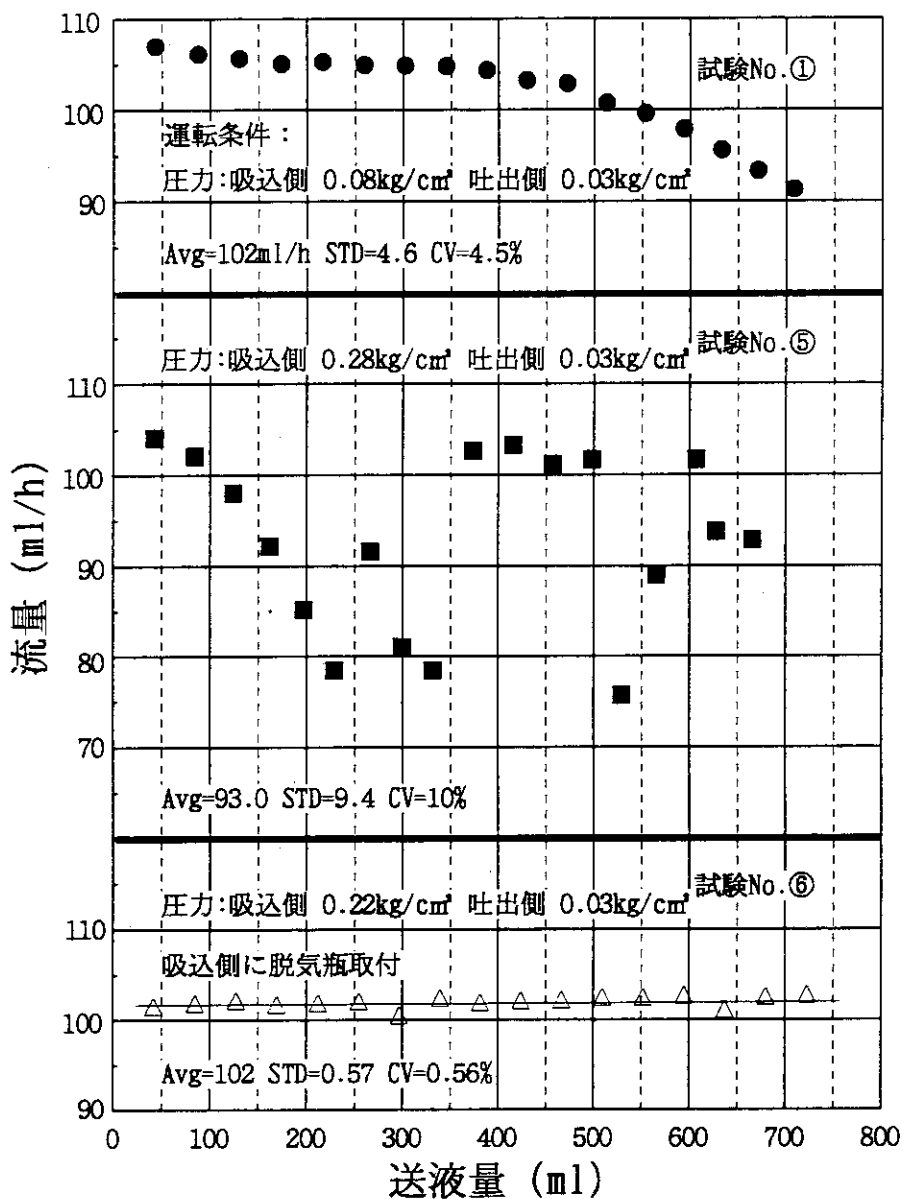


Fig.7 流速の安定性

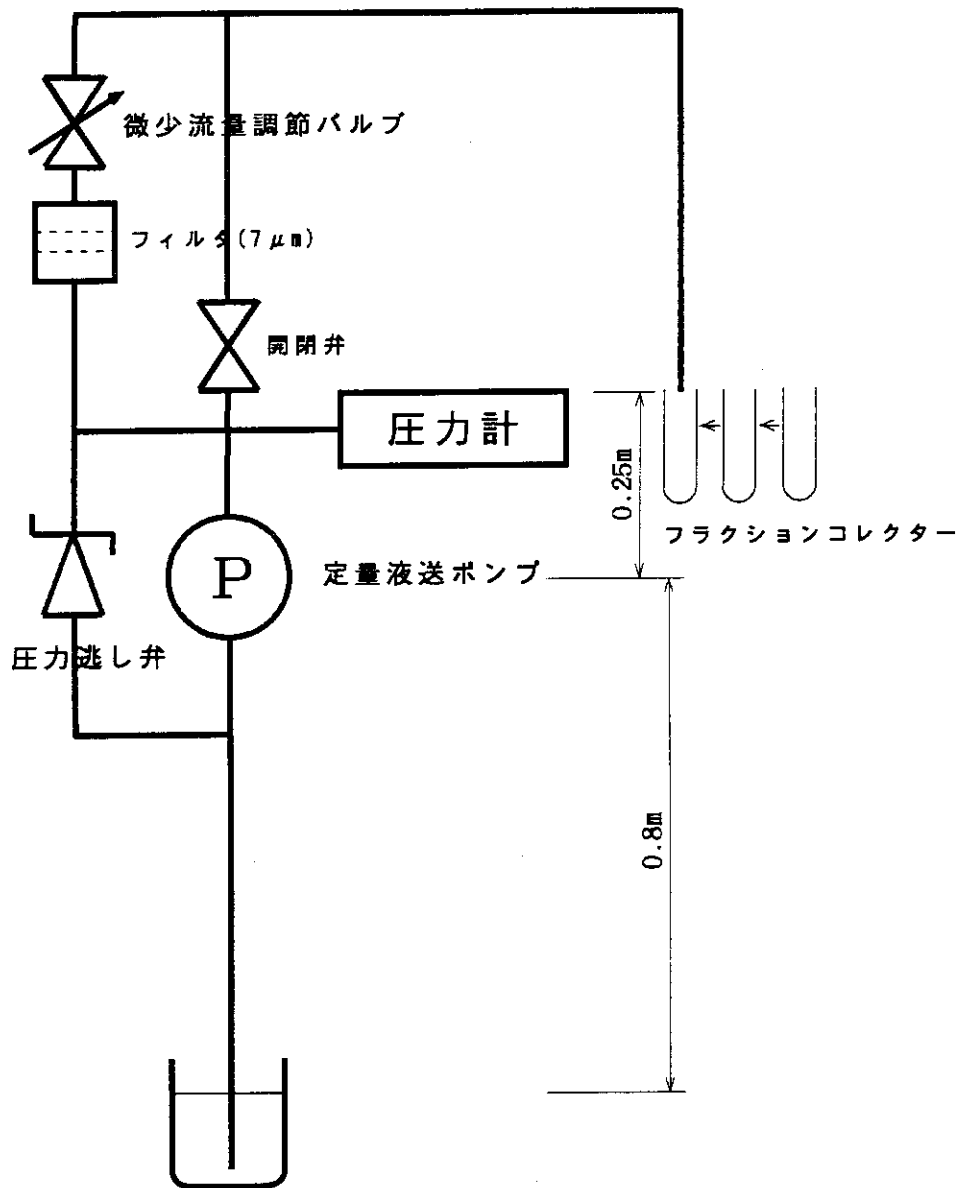


Fig.8 微小流量調節バルブを用いた
定流量装置

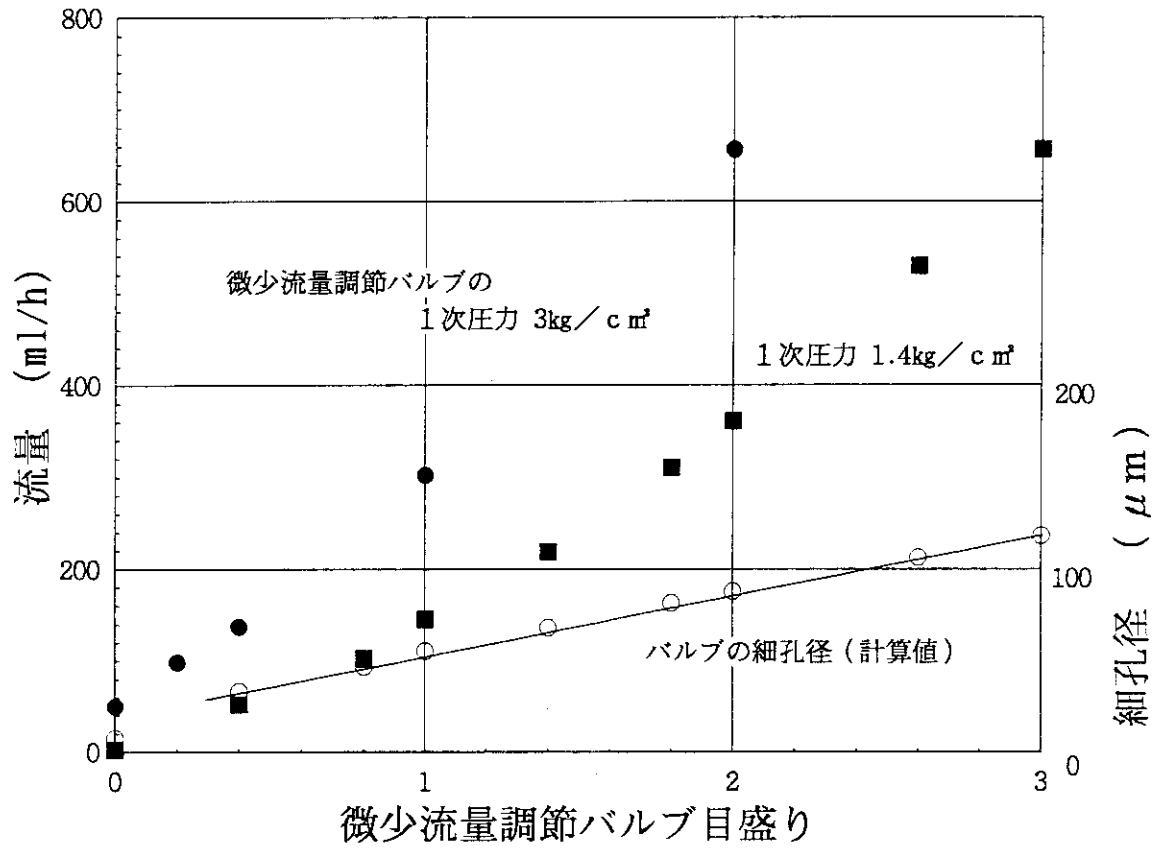


Fig.9 吐出圧力による流量の変化と
微少流量調節バルブの細孔径

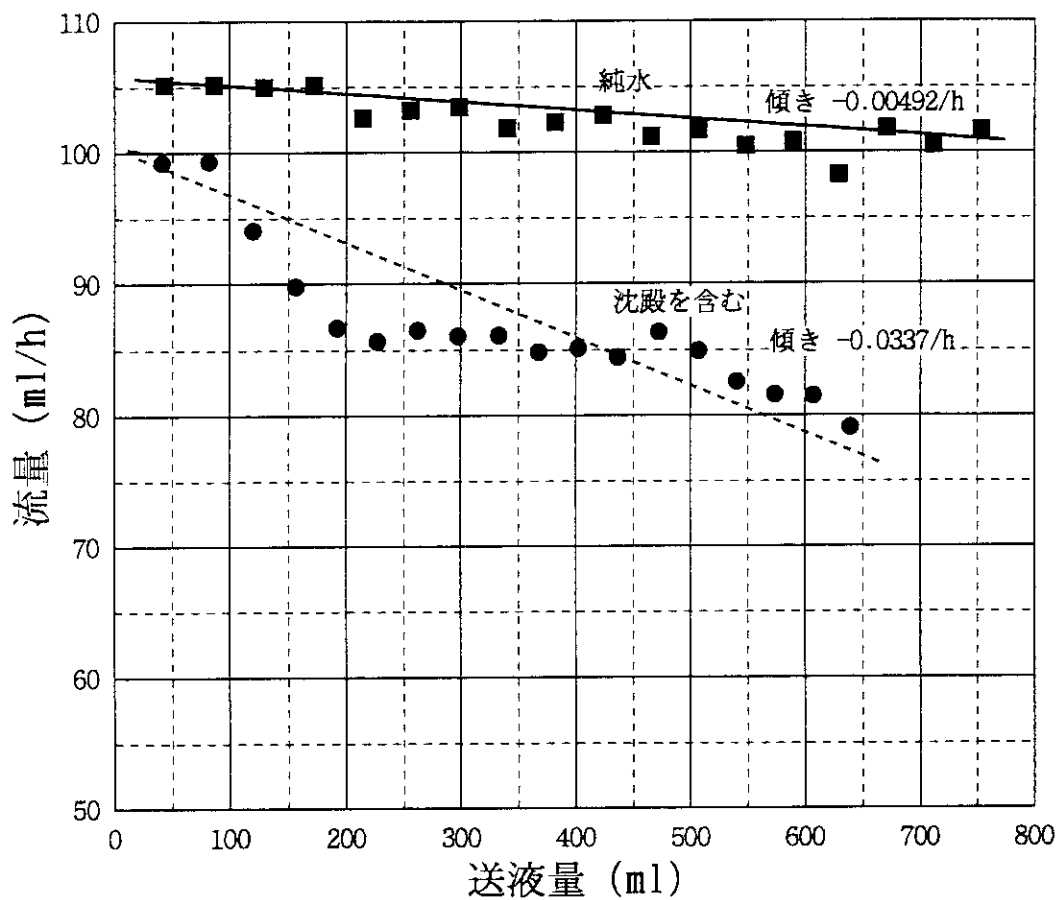


Fig.10 微小流量調節バルブを用いた流量の安定性試験