油圧ポンプの汚染感度試験法に関する研究*

第1報 試験法および試験装置

岩 泉 洋 一** 桜 井 勝 也** 白 井 浩 匡** 浦 田 暎 三***

Study on Contaminant Sensitivity Test for Hydraulic Pumps* (1st Report, Test Method and Test Rig)

Yoichi Iwaizumi** Katsuya Sakurai** Hirotaka Shirai** Eizo Urata***

Component characteristics are degraded when particulate contaminants are entrained in hydraulic oil. The NFPA (National Fluid Power Association) recommended standard for contaminant sensitivity, which assesses the degradation of pump characteristics by the decrease in pump flow rate, is at present the only test method to measure the component contaminant sensitivity.

This study examines whether the degradation of pumps by the particulate contamination can be accurately assessed by the standard.

To conduct the contaminant sensitivity test, the correct test facility and test dust must be prepared. The first report treats experiences and technical problems relating to the manufacture of a test facility compatible with the NFPA standard.

The most important characteristic of the contaminant sensitivity test facility is the dispersion uniformity of the injected dust. The description in the NFPA standard relating to the test facility gives the basic requirements; however, some technical expertise is required to satisfy the requirements.

1. はしがき

油圧システムの中での油の汚染によって生じる問題は、大別して、(1)弁の固着などに代表される離散的現象と、(2)ポンプなどの摩耗によって代表される性能の劣化、に分類される。

本研究は(2)に属する現象を正確に把握して、ポンプ性能の評価に寄与する試験法の確立を目的としたものである。

ここにいう汚染感度とは、E.C.Fitchの導入した概念であって、次式によって定義されるものである。

着目している機器の特性を P 、その機器を通る固体粒子数を N とすると、機器性能の変化率を^{1) 2) 3)}、

$$\frac{dP}{dt} = -S \frac{dN}{dt} \quad \dots\dots\dots (1)$$

と表現し(t :時間)、比例係数の S を粒子汚染感度または単に汚染感度と呼ぶ。油圧ポンプの場合に着目すべき特性は、まずもってその吐出し量であるから、上式での特性値 P は吐出し量 Q となる。

機器の性能変化は流体中の粒子状汚染要因物のみによって生じるのではない。たとえばここで扱う油圧ポンプの場合では、流量の低下は主に摩耗によって生じるが、その摩耗は、硬い粒子状汚染要因物による擦過摩耗(アブレーション摩耗)と、相対運動をする面間の不十分な潤滑により生じる凝着摩耗の両者の加算されたものである。この場合に汚染感度を知るためには、凝着摩耗が全体の摩耗に対して無視できる状態を作

* 昭和55年4月1日 原稿受付

** (財)機械振興協会技術研究所

*** 東京工業大学工学部

**** 油圧と空気圧 Vol.11, No.7

て実験を行う必要がある。

現在NFPA推奨規格となっており、ISOでも規格案として検討している「油圧ポンプが粒子状汚染要因物にさらされた際に生じる吐出し量の低下量を確認する方法」⁴⁾は、上記の擦過摩耗を摘出して、ポンプ特性の一側面を知るための試験法である。本研究はこの試験法の吟味と、実験によって汚染感度の性格を明らかにすることを目的として展開したものである。

2. ポンプの汚染感度試験法

本研究は次のように問題を区分して取り扱った。

(1) 提案されている規格が、技術的に意義のある情報を提供しうるものであるか否かを検討し、工業的な規格としての問題があれば、それを解決すること。

この問題は、試験装置および手順に関する部分と、試験用ダストに関する部分に分けて検討する。

(2) ポンプの汚染感度に関して学術的な検討を行い、ポンプ性能劣化と汚染との因果関係をしらべること。

工業的な試験法においては、いたずらに試験条件を国ごとに変更することは好ましくない。従ってポンプの汚染感度試験の条件は、NFPA推奨規格に従うことを原則とした。ただし我が国の実情からみて当然の変更(たとえば引用規格をJISとするなど)は行っている。

本研究の内容を理解する上で、試験法の技術的内容をあらかじめ知っておく必要がある。試験条件などの主要部を付録としてあるので、読者にとっては必要に応じて参照されたい。

3. 試験装置設計および製作

3.1 試験回路および容量

本試験法の6章は試験装置の具備すべき条件を定めている。また8章では試験装置内の油量は、試験すべきポンプの1分間における吐出し体積の1/4とすることを定めている。試験装置には冷却器のように相当の油量を内部に蓄える機器も含まれている。そこで試験対象とするポンプの容量に対応して、試験装置の寸法も限定される。本研究における試作装置は、中形のポンプを試験対象とすることとし、Table 1に示す値を

Table 1. Specification of Test Pumps
(Design Value)

Item	Test Range
Pump Power	Max. 22 kW
Pressure	Max. 300 bar
Discharge	30-60 L/min
Shaft Speed	Max. 6000 rev/min

Fig. 1 Test Circuit for Pump Contaminant Sensitivity

Fig. 2 Performance of Test Facility

Table 2. System Volume vs. Cooler Capacity

Working Cooler	Cooling Capacity (kcal/h)	System Volume(l)
CL 1	4300	8.0-17.0
CL 2	14620	9.5-18.5
CL 1+CL 2	18920	11.0-20.0
CL 1+CL 2+CL 3*	19500	11.5-20.5

* CL3 is set in case drain line.

設計の基準とした。

試作した回路はFig. 1に示すものである。これをNFPA推奨規格に記されている回路図(Fig. A)と比較すると、かなり複雑になっているが、Fig. Aの場合は単純化した機能図と考えればよい。Fig. 1の場合は諸種の安全装置、ケースドレン流量のあるポンプのためのドレン処理回路、フィルタ容量切換回路、新油注入回路が付加されているが、これらは装置を工業的な試験に用いる試験機とする場合には実際に必要となるものである。配管、リザーバ、冷却器など露出面積が大きくなる部品はすべてステンレス製とし、さびなどの発生

による試験誤差の発生を未然に防ぐようにした。

Fig.1の回路において、CL1、CL2、CL3はそれぞれ別の冷却器である。冷却器内の油量によって回路内の油量の最小値が定まる。また冷却能力によって試験ポンプの動力の上限が定まる。各冷却器を使用した場合に得られる供試ポンプの適用範囲はFig.2に示すものとなった。使用した冷却器の冷却熱量と、これに応じる試験回路内油量の調節可能範囲はTable 2に示す。

Fig.2において吐出し量の下限線はシステム内油量により定まり、上限線はリザーバの大きさで制限される。斜め線は冷却器の冷却熱量に応じる動力の限界に相当している。

3.2 特定要素の設計および選定

3.2.1 リザーバ

試験回路内には、試験用ダストを注入するので、油中に混入したダストが回路内に沈殿したり、内壁に付着したりすることがないように、機器の製作、選定を行う必要がある。NFPA規格ではリザーバ底部を円すい形とし、その投影角度は90°を超えてはならないとしている。今回試作したリザーバは円筒の底部を円すい形とし、投影角度は60°とした。

この試験ではシステム内油量に定めがあるので、液面計によって油量が測定できるようにした。システム内油量は供試ポンプの1分間内吐出し体積の1/4（許容公差は±10%）との規定が満足されなければならない。そこで円筒形タンクの直径は、液面高さ4cmが1ℓに対応するように定めた（内径は17.85cmとなる）。タンクはステンレスの厚肉管の内径を旋削して仕上げてある。タンクは密閉して加圧し、ポンプ入口圧力が0.2bar程度となるようにし、キャピテーションの発生を防止することにした。

3.2.2 ディフューザ

ディフューザはタンクの円筒中央部に設けて、タンクに戻った流体が流出することにより、タンク内流体をかくはんさせるものである。ディフューザはステンレス管の一端を閉じて小穴をあけ、一方、高さ方向には一定のピッチで小穴をあけておき、これに滑らかにスリーブをはめたものである。スリーブの高さは液面に応じて設定できるようにし、ディフューザから流出する油が加圧気体（N₂）をまきこまないようにしてある。小穴の数と大きさ、流量などによりディフューザ内圧力が定まる。この圧力は流出速度がかくはんに十分な程度となればよいので0.7bar程度となるように寸法を定めた。かくはんが十分に行われたか否かは後述の確認試験により検査を行ったが、結果は良好であった。

った。

3.2.3 油冷却器

汚染感度試験に用いる油冷却器は、冷却器内への試験用ダストの沈殿を避けるために、油をチューブ側、水をシェル側に流す。また設置は鉛直もしくはそれに近い形をとるようにする。本研究の場合はさらに、システム内油量を制限するために、両端の水室カバーを板状のフランジに変更してある。外部ドレン構造のあるポンプの場合、ドレン流量が増加したときの冷却は主管路の冷却では能力不足となる場合がある。CL3はドレン流量専用の冷却器であるが、流量が少ないときにダストが沈殿しやすいので、配管、設置法等で工夫をして、沈殿を防いだ。

3.2.4 負荷用圧力制御弁

この試験装置に使用する負荷用の弁は、粒子状汚染要因物が高速で通過するために損傷を受けやすい。リリーフ弁のように構造の複雑なものでは故障によって実験を中断しなければならない事態も生じるので、本研究では構造の簡単な絞り弁を用いた。弁座にセラミック、工具鋼などを接着することを試みたが、良い結果が得られなかったので、市販の絞り弁を用い、適宜更新することにした。

3.2.5 流量計

本試験法では流量は連続的に監視しなければならない。また粒子状汚染要因物の影響を受けないことが要求されるので、監視用流量計にはロタメータを用いた。ロタメータの読取精度は0.5 L/minであり、粘度の影響は少なく、浮き子の安定も良いものであった⁵⁾。流体をフィルタ回路によって清浄化した後の吐出し量の測定は、容積式流量計によった。

3.2.6 試料採取口

試料採取は回路内流体の汚染濃度を測定するために行う。負荷圧力制御弁の出口近傍からボール弁を介して試料流体を採取する。試料流体の流出速度の抑制は弁を絞るのではなく、細管を抵抗として用いて行う。ボール弁および細管寸法については規格⁶⁾を参照して、最小すきま寸法が1mm以上となるように選んである。

3.2.7 配管および切換弁

試験回路の材質を原則としてステンレス鋼としたことは前述のごとくで、配管および切換用ボール弁はステンレス鋼製である。安全装置内の電磁弁はステンレス鋼ではなく、一般用を用いている。回路内の高くなる部分には空気抜きを設け、回路内油量がリザーバ液面で正確に測定できるようにした。配管はエルボを使わず大きく曲げ、また下方への曲がり無くして、ダストがたまることが無いように組み立てた。管内径は

乱流を保つ寸法とした。

3.2.8 フィルタ

試験用ダスト注入前の流体は十分に清浄でなければならない。試験回路を清浄化するためのフィルタはFig.1に示したように直列に3台を設置した。図においてFIL1は呼称ろ過粒度 $5\mu\text{m}$ 、FIL2およびFIL3は呼称ろ過粒度 $3\mu\text{m}$ である。約15分間のポンプ運転により回路は規格の要求する清浄度に達した。

3.2.9 試験用ダスト注入室

ダスト注入室の容量は500ml、高さと直径の比は10とし、底部は円すい形でその投影角度は 60° とした。試験用ダストを油に混ぜてスラリー状としたものをダスト注入室に満たし、リザーバへの送入は500ml/minとなるようにする。送入流量はトロコイドポンプの回転数を電動機制御することによって設定した。

3.2.10 制御装置

ポンプを駆動する電動機は、45kW直流電気動力計であって、回転数は200~6,000rpmの範囲で任意に設定できる。回転計によるフィードバックが行われており、設定値の $\pm 10\text{rpm}$ で試験を行うことができる。試験を行う油圧ポンプの定格回転数は1,200rpm以上なので、試験規格に定める設定値に対して $\pm 2\%$ の精度は常に保つことができた。

圧力は手動の絞り弁で設定することにしたので、特別な制御装置は設けていない。

油温の設定は、ポンプ入口にサーミスタ温度計を設置し、温度計出力によって冷却水電磁弁のオン・オフ制御を行うことにより、 $\pm 2^\circ\text{C}$ の試験条件精度を保った。

以上の制御装置のうちで特別なものは直流電気動力計である。一般に汚染感度試験装置を製作する場合には、誘導電動機を用いることもあり得る。その場合には、試験条件精度を考へて、余裕のある電動機を用いる必要がある。

3.2.11 安全装置

NFPA規格には、回路保護および操作安全性のための装置についての記述はない。本研究の装置では、吐出し側の高圧回路に接点付圧力計を取り付け、異常高圧時には電磁切換弁によりアンロードさせる回路を付加してある。この回路は平常時には入口は電磁弁、出口は逆止め弁で閉じているので、システム内容積には関与しない。

油温が制御できなかった場合などを考へて温度計出力から温度リミットの信号を取り、電動機が停止できるようにしてある。また電動機はポンプ破損等に応じられるようにトルクリミッタをも設けた。

油面が何らかの故障により低下した場合の処置として、リザーバ内に液面計を入れ、油面の下限信号を取り、これにより電動機が停止できるようにした。

4. 試験装置の適格性

試験装置がポンプ汚染感度試験を行うことができるかどうかは、次の3項の観点より検討されなければならない。

(1) 圧力、ポンプ回転数、油温を適正に制御できるか、および流量が所要精度で測定できるかの検査。

(2) 試験装置内の油が、各段階における試験用ダスト投入前において、所要の清浄度に管理されうるか。

(3) 試験用ダスト投入後において、ダストが装置内に沈殿せず、油中に一様に分散するか(分散性)。

以上のすべての点について、試験規格を満足すれば、製作した試験装置を適格とし、ポンプ汚染感度試験に使用することになる。まず(1)については、装置製作後に制御装置および安全装置の動作検査を行って確認を行った。(2)と(3)とは汚染感度試験に特有の検査なので、節を改めて述べる。

4.1 清浄度管理

本試験法(付録)9章には清浄化に関する規定があり、ダスト投入前における油の清浄度を 10mg/l としている。清浄化に要する時間は油の初期汚染濃度、装置内油量、ポンプ吐出し量およびフィルタ能力によって定まる。

清浄度管理の検査は次のようにして行った。吐出し量が 39l/min のポンプを使い、システム内油量を 9.5l 程度、初期汚染濃度を 300mg/l としてポンプを運転する。初期汚染のために投入したダストはACFTD(Air Cleaner Fine Test Dust)である。

油の汚染濃度は自動式粒子計数器を用いてACFTDにおける換算値を使って質量汚染濃度を求めることを原則とし、質量法は適宜併用した。質量法の方が測定値のばらつきが若干あり、数値も10%程度小さい値が出る。十数回の試行の結果、運転10分後における汚染濃度はNAS10級⁷⁾($6\sim 12\text{mg/l}$)、運転15分後における汚染濃度はNAS9級($3\sim 6\text{mg/l}$)となった。清浄度管理のための運転時間の最大値についての定めはないが、15分程度が上限と考えられる。あまり長時間運転すると、ポンプ摩耗面に形状変化を生じる恐れがある。本研究では清浄化のための運転時間は15分間とした。

4.2 試験装置内におけるダストの分散性

試験装置内に投入した試験用ダストが油中に一様に分散し、回路内に沈殿付着をしないことは、汚染感度

Fig. 3 Dispersion of Test Dust (ACF TD, 300 mg/l) in the Test Circuit

Fig. 4 Dispersion of Test Dust (ACF TD, 100 mg/l) in the Test Circuit

試験装置における、最も重要な要件である。分散性の確認手順は付録8章記載のごとくである。試験装置は前章で説明したように、沈着防止のための対策、一様分散のための対策をとっており、その効果を確認するものが、この分散性の検査である。本装置に対しては、流量を最小の30 l/minとして、300 mg/lおよび100 mg/lに依る汚染要因物投入後における分散性の検討を行った。測定結果はFig.3およびFig.4に示す。試験用ダストは投入後15分で規格に定める設定値±10%の範囲に入り、60分経過後においてもこの範囲内にある。規格に定める汚染濃度は300 mg/lであるから、この装置は分散性の観点からは良好な特性であるといえる。

100 mg/lの場合は10%の管理限界に近いが、これは初期汚染濃度管理が5 mg/l程度になっていることが原因の主要なものである。

5. まとめ

本報告では、油圧ポンプの汚染感度試験を行うための前提となる、試験法の説明と試験装置試作の結果に

ついて述べた。試験法の一部となる試験用ダストの調整については次報において取り扱う。

NFPA推奨規格に準拠して試験装置を試作、検討した結果をまとめると次のようになる。

- (1) NFPA推奨規格には安全装置に関する記述がないが、何らかの規定を加えたほうがよい。
- (2) 装置清浄化に要する時間の上限を10分程度とする規定を設けるべきである。

以上のほかにも改良すべき点が見出されているが、それらについては次報以下で順次述べる。

本報告は昭和52年4月から同53年3月までの1年間、(財)機械振興協会技術研究所と(社)日本油圧工業会との共同研究プロジェクトとして実施された研究の一部をまとめたものである。通産省および日本自動車振興会の指導・援助ならびにプロジェクト参加企業のご協力を特記し、関係各位に厚くお礼申し上げる。

参考文献

- 1) R. K. Tessmann : OSU Contamination Control Theorems, BFPR Annual Report No. 6, 72-CC-1, (1972).
- 2) E. C. Fitch : Component Contaminant Sensitivity - A Status Report on Pumps, BFPR Annual Report No. 8, P74-42, (1974)
- 3) 浦田, 岩泉 : 油圧機器の汚染感度試験法, 油圧と空気圧, 10-4 (1979-7), P. 211-216
- 4) NFPA/T3. 9. 18-1976 : Method of Establishing the Flow Degradation of Hydraulic Fluid Power Pumps when Exposed to Particulate Contaminant (または「油圧ポンプが粒子状汚染物質にさらされた際に生じる吐出し量の低下量を確認する方法」, (財) 機械振興協研)
- 5) 浦田 : 浮子面積式流量計の新設計, 日本機械学会論文集, 45-389 (1979-1), P. 81-90
- 6) ISO/TC131/SC6 (N-3) : Extracting Fluid Samples from the Lines of Operating Hydraulic Fluid Power System.
- 7) NAS 1638 : Cleanliness Requirements of Parts Used in Hydraulic Systems.

〔付 録〕

油圧ポンプの汚染感度試験法

1. 適用範囲

1.1 油圧ポンプを次に記す条件下で運転した場合の、主成分をシリカとする試験用ダストに対する汚染感度を試験する方法を内容とする。

- 1.1.1 回転数、圧力及び温度を一定とする。
- 1.1.2 理論吐出量を一定とする。
- 1.1.3 質量汚染濃度は一定値 300 mg/l とし、最大の粒径範囲が $0-80 \mu\text{m}$ に至る分級した AC ファイン試験用ダスト（以下、ACFTD という）を使用する。
- 1.2 吐出量の減少によって測定される摩耗以外の原因による損傷を除外する。
- 1.3 水の存在による損傷並びにポンプの摩耗面への水及び油の化学作用は除外する。

2. 目 的

2.1 汚染摩耗に起因するポンプ吐出量の低下を測定し、かつ記述するための、繰り返し精度のある試験方法を提供する。

2.2 油圧回路内のポンプを保護するために必要となる、ろ過装置の決定に資する。

3. 用語及び定義

流量比：試験用ダストを回路内に注入した後のポンプ吐出量の暫定値を、ポンプの試験開始時の初期吐出量 (Q_p) で除した値。

その他の用語については JOHS 113-1979「油圧システムの汚染管理に関する用語」を参照。

4. 測定単位

JIS Z 8202 及び 8203 による。

5. 文字記号

D ：試験用ダスト注入室内の内径、 g_i ：試験用ダストの質量、 L ：試験用ダスト注入室の全長、 Q_p ：ポンプの定格条件での初期吐出量。

6. 試験装置

6.1 Fig. A に示す試験用油圧回路（基本回路）を用いるものとする。回路中にはリザーバ、試験用ダスト注入室、熱交換器、流量計、圧力計、温度計、管理用フィルタ、供試ポンプ、ポンプ駆動部及び油圧油を含むものとする。

6.2 油圧機器を接続する管路は、内部全体で乱流混合を生じる寸法とする。

6.3 汚染要因物を捕集したり、沈殿が生じたり、遠心作用による分離が生じやすい場所については、あらかじめ対策をしておくこと。

6.4 流体の沈殿を防ぐために、リザーバの底部は円すい形とし、その投影角度は 90° を超えないこと。

6.5 リザーバに入る油圧油は、油面下において拡

Fig. A Pump Contaminant Sensitivity Test Circuit

散させること。

6.6 試験用ダスト注入室は、その内容量は 500 ml 、 L/D の値は 10 、底部の円すい角は 90° を超えないこと。

6.7 熱交換器は汚染要因物を停留させないものを用いること。

注(1) 熱交換器は鉛直に立て、油圧油はチューブ側、水はシェル側を通すとよい。

6.8 汚染要因物の影響を受けない流量計を用いること。

6.9 ろ過後の質量汚染濃度が 10 mg/l 以下になるような管理用フィルタを用いること。

6.10 供試ポンプは製造業者らにより指定された回転数、吐出し圧力、吸込み圧力において運転する。

6.11 試験装置内の油圧油に気泡がないこと。

6.12 油圧油の質量汚染濃度を測定する装置を用意する。

6.13 分級した ACFTD を用意する*。

* 分級については本研究の第 2 報を参照。

6.14 要求清浄度を 1 ml 中の粒子数を 10 個以内とした試料採取用試料びんを用意する。

6.15 スラリ注入用の清浄な試料容器を用意する。

6.16 ポンプ製造業者らの指定する油圧油を用意する。

7. 試験条件の精度

試験条件の精度を Table A に示す。

Table A. Data Accuracy

Test Condition	Unit	Maintain Within of Actual (±)
Flow	l/min	2 %
Pressure	bar	2 %
Temperature	℃	2 ℃
Shaft Speed	rev/min	2 %

8. 試験装置の準備 (その1)

試験装置の分散性確認の手順

8.1 試験回路内の汚染要因物の影響をあまり受けないことがわかっているポンプを試験回路に装着する。

8.2 回路内の油量を、試験に使われる最低流量 (ポンプの1分間当りの吐出し量) の $1/4$ ($\pm 10\%$) に等しくなるように調整する。

8.3 回路内油圧油の質量汚染濃度が 10 mg/l 以下になるまで、管理用フィルタ回路によってろ過する。

8.4 フィルタ回路をバイパスする。

8.5 回路内油圧油の質量汚染濃度が 300 mg/l ($\pm 10 \text{ mg/l}$) となる量の分級しない ACFTD を用意する。

8.6 試験用ダストが団塊状とならないよう、よく混合しスラリー状にしてから、注入する。注入は1分間一様に行うこと。

8.7 実際に試験を行うときの流量の最低値で装置を運転する。

8.8 回路の試料採取口から15分間隔で4回試料油を採取する。

8.9 採取した試料の質量汚染濃度を測定する。

8.10 回路内油圧油の質量汚染濃度が 10 mg/l 以下になるまで、フィルタ回路を通して油圧油を循環させる。

8.11 8.8 節により得た資料の質量汚染濃度を8.9 節に従って測定した結果が、すべて8.5 節で定めた所要の初期質量汚染濃度の $\pm 10\%$ 以内にあるときに、この装置は分散性に関しては試験用として適格とする。

9. 試験装置の準備 (その2)

清浄化に要する時間を確認する手順

9.1 8.1 節から8.10 節までの手順により装置を運転する。

9.2 回路の試料採取口から5分間隔で4回試料油を採取する。

9.3 採取した試料の質量汚染濃度を測定する。

9.4 9.3 節に従って測定した結果から、回路内油

圧油の質量汚染濃度を 10 mg/l 以下にするために必要な最小のろ過時間を確認する。

10. 試験手順

10.1 供試ポンプを回路に装着する。

10.2 新しい試験用油圧油を回路に充填する。油量は想定される試験回路内全油量 (フィルタ回路、安全回路を除く) よりも 2ℓ 程度多めとする。

10.3 回路内油圧油の質量汚染濃度が 10 mg/l 以下になるまで、フィルタ回路を通して油を循環させる。

10.4 フィルタ回路を使って、ポンプを定格試験条件で運転する。ポンプの運転圧力は次のスケジュールに従うこととする。

定格圧力の 25% で15分間、

定格圧力の 50% で15分間、

定格圧力の 75% で15分間。

10.5 吐出し量が少なくとも60分間一定にとどまるまで定格圧力でポンプを運転する。

10.6 10.5 節において到達した最終吐出し量をポンプの定格条件における初期吐出し量 (Q_p) として記録する。

10.7 各段階の注入に必要な試験用ダストの質量 (g_i) を次式により定める。

$$g_i (\text{グラム}) = 0.3 \times (\text{試験回路内油量, l})$$

注(2) 各粒径範囲に対して、質量汚染濃度は 300 mg/l とする。

10.8 下記の粒径範囲に分級した試験用ダストを g_i グラム含むスラリー状原液を準備する: 0-5, 0-10, 0-20, 0-30, 0-40, 0-50, 0-60, 0-70 及び 0-80 μm 。

10.9 ポンプ効率を測定する。その試験条件は次による。

油温: $50 \pm 2^\circ\text{C}$ 。

回転数: ポンプ製造業者の指定する値。

吐出し圧力: 無負荷時圧力, 定格圧力の $25, 50, 75$ 及び 100% 。

10.10 フィルタ回路をバイパスする。

10.11 フィルタ回路及び安全装置内を除く試験回路内の全油量を供試ポンプの1分間当りの初期吐出し量 (Q_p) の $1/4$ ($\pm 10\%$) とする。

注(3) リザーバの液面に相当する位置に、ディフューザのスリーブを設定する。

10.12 ポンプを定格条件で運転する。

10.13 0-5 μm のスラリー状汚染原液を1分間一定速度で注入する。

注(4) 試験用ダスト注入室への汚染原液の注入は、