

ボーキサイトスラリー圧送用 hidrohoistの研究

Investigation of "HYDROHOIST" for Pumping Bauxite Slurry

山口 孝* 山田 保徳*
Takashi Yamaguchi Yasunori Yamada
坂本 正克** 内田 健二**
Masakatsu Sakamoto Kenji Uchida

要 旨

高温のボーキサイトスラリーを圧送するための、新しい形のhidrohoistの研究開発に成功した。このスラリーhidrohoistの実現により、従来のサンドポンプではできなかった大容量、高温、高圧のスラリーの圧送を、摩耗などの障害なしに行なえるようになった。

1. 緒 言

近年、ボーキサイトからアルミナを製造するプロセスにおいて、従来より高温、高圧で、かつ大容量のボーキサイトスラリー圧送の必要が生じてきた。そのために、従来のポンプをそのまま使うのでは、容量、特性および摩耗の点から問題であり、新しいタイプのスラリー圧送装置が必要となってきた。

この要求に対し、欧米では従来のプランジャーポンプやダイヤフラムポンプの改良したものを使用し始めているが、まだ完全なものとは言えない。したがって、筆者らは石炭などの塊状物の水力輸送装置としてすでに開発されたhidrohoist⁽¹⁾⁽²⁾の技術をさらに改良することによって、新しいスラリー圧送hidrohoistを開発することにした。

ボーキサイトスラリーは、摩耗性が強く、強アルカリで、しかも高温であり、そのうえ、プロセスの都合上、数ヶ月にわたる完全な連続運転と、流量の自動制御が要求されている。このような条件は、スラリー圧送装置としては、もっとも過酷なものに属する。

このような事情から、昭和電工株式会社と日立製作所は、プロジェクトチームを編成し、スラリーhidrohoistの開発研究に取り組むことになった。

2. 従来の方式

2.1 遠心形ポンプと容積形ポンプ

スラリー圧送の従来の方式には、大きくわけて遠心形ポンプによるものと容積形ポンプによるものがある。一般に、遠心形スラリーポンプは、流量をかなり大きくとることが可能であるが、段数を増して、吐出圧力を 10 kg/cm^2 以上にするには、きわめて困難であり、高圧用としての実用性はない。一方、容積形スラリーポンプは、吐出圧力を大きくすることは可能であるが、 $2\sim 3 \text{ m}^3/\text{min}$ 以上の大容量とすることは、摩耗する部分が大きくなるために、経済的に引き合わなくなり、実用性が少ない。従来のスラリー圧送においては、 $1\sim 2 \text{ m}^3/\text{min}$ 以下の流量でこと足りたため、一応、容積形ポンプが使用されてきた。なお、いずれの場合でも、摩耗がかなり著しく過酷な条件下では、数週間以内に摩耗部品を取り替えなければならず、保守に非常なコストがかかっている。

2.2 最近の容積形ポンプ

最近、上述の摩耗に対する欠点を克服するために、シリンダ部にスラリーを直接入れず、油その他の液体を入れて運転する方式が実用

* 昭和電工株式会社横浜工場

** 日立製作所亀有工場

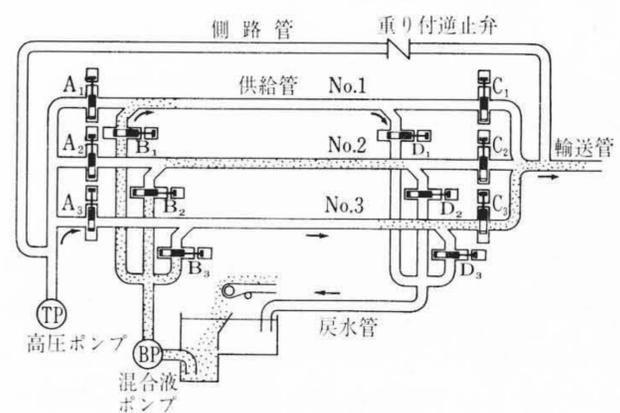


図1 hidrohoist原理図

に移されつつある。しかし、この方式では、油その他の液がどうしてもスラリーに混入するので、ボーキサイトスラリーでは、好ましい方法ではないし、摩耗の点も完全には解決されていない。

2.3 hidrohoist

従来のhidrohoistは、図1に示すように、3本の水平パイプの両端に、それぞれ2個ずつの弁が付いている。各パイプごとに、低圧のスラリーを入れてから弁を閉じ、次に高圧の水でスラリーを押し出す動作を、交互に繰り返している。このhidrohoistを、ボーキサイトスラリーの圧送に適用すると、次のような効果が期待される。

- (1) 摩耗などに対する耐久性の大幅な増大。
- (2) 大容量の輸送が可能なこと。
- (3) 保守要員の減少。

しかしながらこのhidrohoistは本来、数ミリから数十ミリメートルまでの塊状物の水力輸送を主体に設計されているので、このままでは経済的とは言えない。特に問題となるのは、設置面積が工場設備としては、大形に過ぎること、およびスラリーと駆動液との混合が避けられない点である。この2点を解決しさえすれば、ボーキサイトスラリー圧送装置としてじゅうぶんな機能をもつことができる。

3. スラリーhidrohoistの構想

3.1 新方式の発想

まず、hidrohoistの設置面積を少なくするため、従来のhidrohoistにおいて、水平に設置していた3本のパイプ（以下供給室と呼ぶ）の直径を太くし、かつ垂直に立てることとした（図2参照）。しかしこの状態のままでは、ボーキサイトスラリーと、駆動液の混合が著しいために、水と溶け合わない油をこの境界面に入れることを考えた。このような考えからボーキサイトスラリーを下部

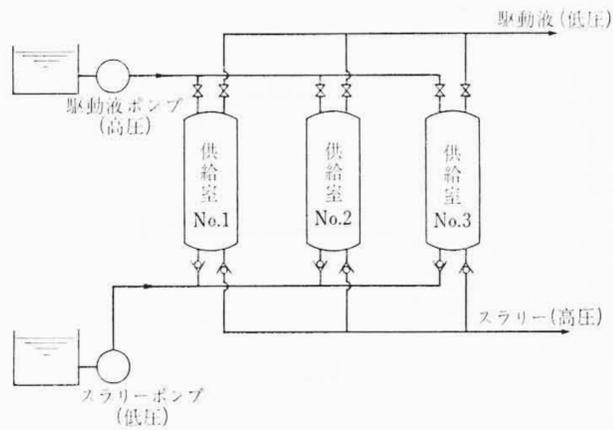


図2 垂直管としたハイドロホイスト

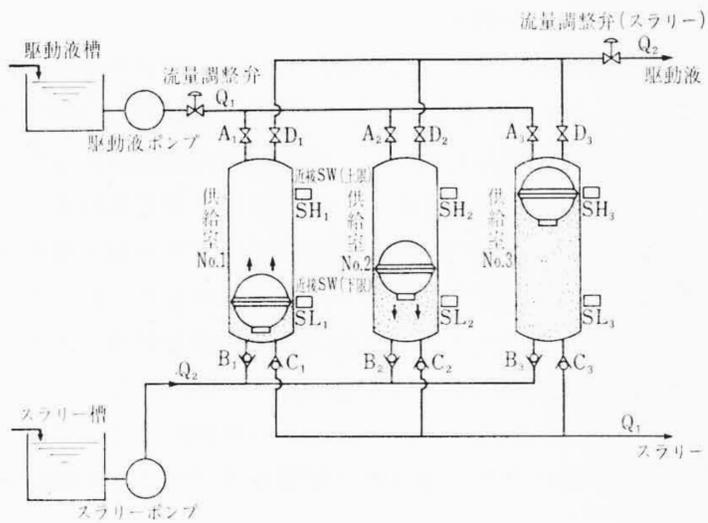


図3 スラリーハイドロホイスト原理図

に、油を上部に入れ、数回境界面を上下させてみて、両液の混合の度合を試験した。表1はその結果を示したもので、この結果をみると、いずれも混合しやすいか、またはスラリーが壁に付着するかどうか、決定的な効果は認められなかった。そこで油を入れるという案の代わりに、図3に示すように、ちょうど境界面付近に供給室内径より、ごくわずかに小さい直径の球状フロートを浮遊させ、かつ、スラリーは、下部から入り、下部から出るようにした。また駆動液にはスラリーの母液であり、スラリーとはごく微量であれば混合しても支障がないアルミン酸ソーダ溶液を使用することにした。

3.2 基本構成と動作

上述の考えに基づいて、新たに設計したスラリーハイドロホイストの構成は次のとおりである(図3参照)。

(1) 供給室

輸送管径より大きな直径をもつ立形の圧力円筒容器で、スラリーをいったん受け入れたのち、高圧の駆動液で送り出す。連続的に円滑に作動するために3本設ける。

(2) フロート

スラリーと駆動液の境界面に浮遊し、両液の混合を防ぐ。

(3) 操作弁

供給室上方に接続する駆動液の供給管および排出管にそれぞれ設ける。

(4) スラリー弁

供給室下方に接続するスラリー供給管および輸送管にそれぞれ設ける。構造はチェック弁方式とする。

(5) 駆動液ポンプ

供給室上方から供給室に駆動液を送り出し、供給室に充滿したスラリーを、輸送管へ圧送するための高圧多段渦巻ポンプである。

(6) スラリーポンプ

供給室下方から供給室にスラリーを送りこむための低圧渦巻形ポンプである。

表1 ボーキサイトスラリーと、各種液体との予備混合試験結果

液 体	混 合 状 況	スラリーの壁への付着
タービン油	液体へスラリー多少混入	少ない
スピンドル油	液体へスラリー多少混入	多少ある
ダイナモ油	完全に混合	少ない
切削油	完全に混合	少ない
シリコン油	完全に混合	少ない
軽油	混合しない	ある

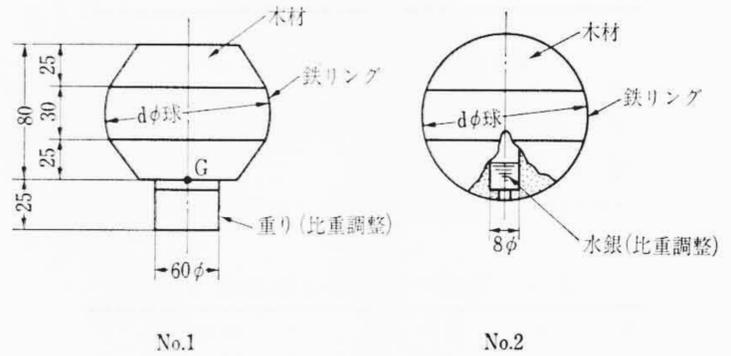


図4 フロート形状

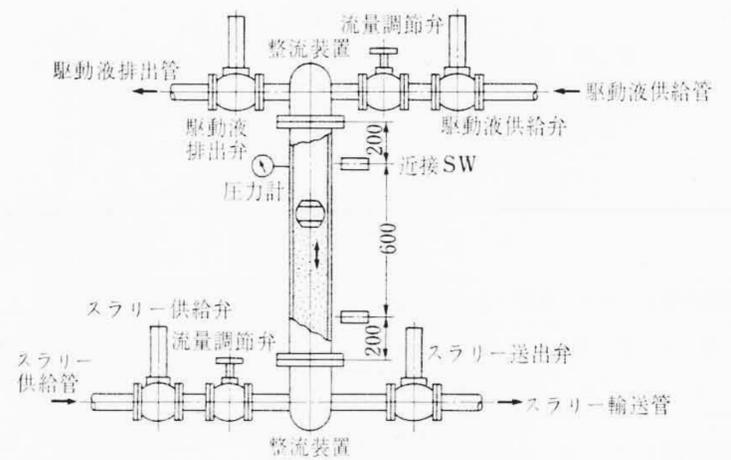


図5 実験装置

(7) フロートの位置検出装置

供給室の上方および下方に設ける。フロートが上限および下限に到達したことを検知し、操作弁を開閉するための電氣的指令を出す。

(8) 流量制御弁

駆動液供給管および排出管にそれぞれ設ける。スラリーハイドロホイストの動作順序は次のとおりである(記号については図3参照)。

- (1) プレート弁Aを閉じDを開く。スラリー弁Cが閉じBが開いて、スラリーポンプより送られたスラリーが供給室に充滿する。
- (2) スラリーが供給室に充滿して、フロートが上限に到達すれば、弁Dおよび弁Bが閉じる。
- (3) 弁Aおよび弁Cが開き、駆動液ポンプより送られた駆動液が供給室に充滿し、スラリーは輸送管中へ送り出される。
- (4) 駆動液が供給室に充滿して、フロートが下限に到達すれば、弁Aおよび弁Cは閉じる。

以上の動作を、No.1, No.2, No.3の各供給室について交互に繰り返すことによって、連続的にかつ円滑に運転を続けることができる。

3.3 設計仕様

(1) スラリーおよび駆動液の性質

設計値として採用したボーキサイトスラリーの性質は表2に、駆動液の性質は表3に示すとおりである。

(2) 実機の仕様(表4参照)

表2 スラリーの性質

粒度	平均 0.3 mm 1 mm 以下が 95%
粒子の比重	2.4
粒子の名称	ボーキサイト
母液の名称	アルミン酸ソーダ溶液
温度	130°C 以下
重量濃度	50%
スラリー比重	1.5

表3 駆動液の性質

主成分	アルミン酸ソーダ
比重	1.2~1.3
アルカリ濃度	10% (NaOH として)
温度	70°C

表4 実機の仕様および主要寸法

輸送量	最大 80 m ³ /h 最少 30 m ³ /h
吐出圧力	35 kg/cm ²
スラリーポンプ圧力	3 kg/cm ²
供給管内径	500 mm
ストローク	3,000 mm (最大)
弁開閉回数	1 分間 2 回
弁口径	80 mm

表5 フロートの作動試験結果

フロートの形状	No. 1 (一部球)	No. 2 (完全球)	No. 1 (一部球)
供給室内径とフロート外径との差 (mm)	0.2	0.3	1.9
上昇・下降速度 (cm/s)	12	12	13
上下動の回数 (計)	300	300	300
排出駆動液における重量濃度 (%)	運転開始前	0.45	0.30
	60分運転時	0.70	2.4
フロート上面濃度 / フロート下面濃度 (運転終了時)	0.163	0.410	0.175

表6 フロートの混合量確認試験結果

フロート形状	No. 1	No. 1
供給室内径とフロート外径との差 (mm)	0.2	1.9
上昇・下降速度 (cm/s)	14	14~15
上下動の回数 (計)	1,662	1,817
駆動液に混入したスラリーの重量 (%) (5時間後)	1.04	0.71
フロート上面に堆積した粗粒重量 (g) (5時間後)	31.4	32.8
	(5時間後)	(10時間後)

4. フロートの形状と動作

4.1 フロートの形状の決定

フロートに要求されるおもな性質は次の諸点である。

- (1) スラリーの比重と駆動液の比重との中間の見掛け比重を有すること。
- (2) スラリーと駆動液とができる限り混合しないこと。
- (3) 供給室の内壁とフロートとの間に、スラリー中の粒子などがはさまって、フロートが停止するようなことがないこと。

このような観点から、中空球体が良いと考え簡単な実験を行なった。その結果球が回転する際に、球に付着したスラリーを上部の駆動液側へ持ち込むことが判明した。したがって、重心をある程度下げ、回転しないようにしたほうが良いと考え、図4に示す2種類のフロートを製作し、図5に示す実験装置で実験を行なった。結果は表5に示すとおりである。

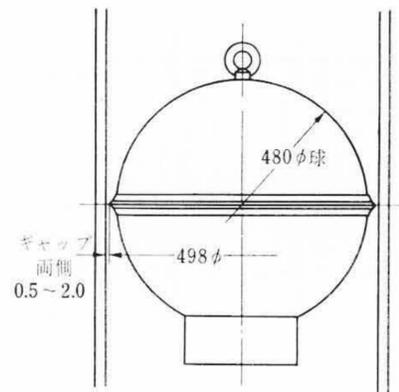


図6 フロート

この結果次のことが判明した。

- (1) 外形を完全に球にした No.2 のほうが、動きが不安定であった。これは、No.1 のほうがおもりに鋼材を供用したのに、No.2 のほうは水銀を使用したために、水銀液面の変動があって、フロートが傾いた際の復元力が小さいのが原因と考えられる。
 - (2) 肉眼による観察では、駆動液へのスラリー混入量の大部分は、供給室壁に付着したスラリーによるものと考えられた。したがって、ギャップの大小により混入量に大きな影響がでると考えられたが、実験結果によれば有意な差は認められなかった。
 - (3) ギャップが直径で 0.2~1.9 mm の範囲内では、フロートの境界面の上下動に対する追従性に影響を及ぼすことがないと思われる。
 - (4) 肉眼による観察によれば、フロートはたとえ傾くことはあっても、停止することはなかった。このことから、フロートの外周は球面であるほうが良いと考えられる。
 - (5) 運転終了時の、フロート上側と下側の濃度差を比較したところ、No.1 タイプのフロートでは、いずれも上側の濃度は下側の濃度の 20% 以下であった。このことは、フロートが、境界面付近に絶えず浮遊し、スラリーの混合を防いでいたものと考えられる。以上の実験結果から、実機に使用するフロートの形状を種々検討した結果、図6のように決定した。供給室内壁に接する部分に図6に示すような、三角形の断面を有する環状部を付けたのは、ギャップの部分に粒状物が引っかかったとき、わずかの傾きで、その引っかかった粒子が逃げやすいようにしたためである。
- この形状のものを製作し、実機に取り付けて 10,000 時間運転したが、全く異常なく運転を続けることができた。ただし三角環の先端部が多少摩耗したが、5,000 時間後、簡単な肉盛をするだけで再び使用できることがわかった。

4.2 混合量の確認試験

図5の実験装置を使用して、5~10時間運転し、駆動液へのスラリー混入の状況を調べた。表6はその結果を示したものである。この試験の結果次のことがわかった。

- (1) スラリー送出量のうち、駆動液へ混入するスラリーは、重量%で約 1% を越えることがなく、これは時間が経過しても同じで、実用上さしつかえない範囲であることがわかった。
- (2) ギャップを通して、スラリー中の粗粒が、フロート上面に混入堆積(たいせき)する現象が認められた。この粗粒堆積物はフロート上面で円すい形状を形成し終わると、それ以上増加しないことがわかった。

4.3 フロート動作の確認試験

実機の下部にアルミン酸ソーダ、上部に清水を入れ、その境界面にフロートを浮遊させて、上下動の動作時間を測定した。その結果は図7に示すとおりで、これにより上下動の間に有意の差は認められないことがわかった。この事実は、上下の液間の混合がほとんど

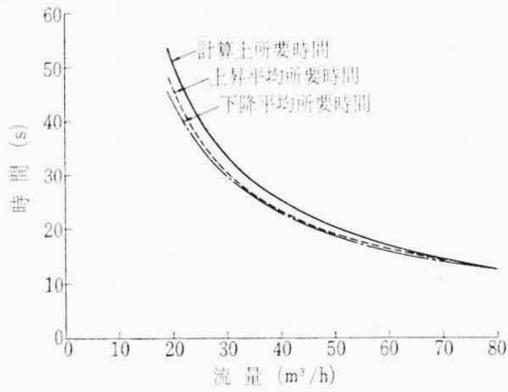


図7 フロート上昇, 下降所要時間

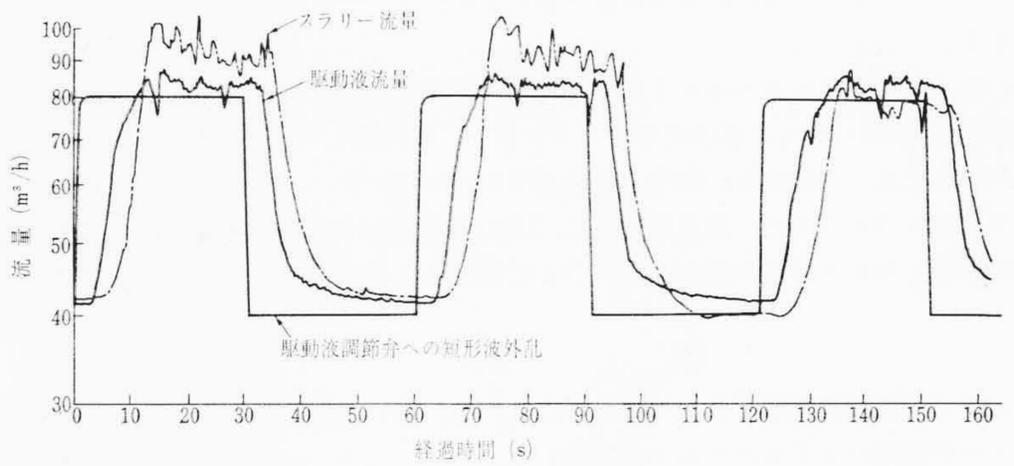


図10 外乱テスト

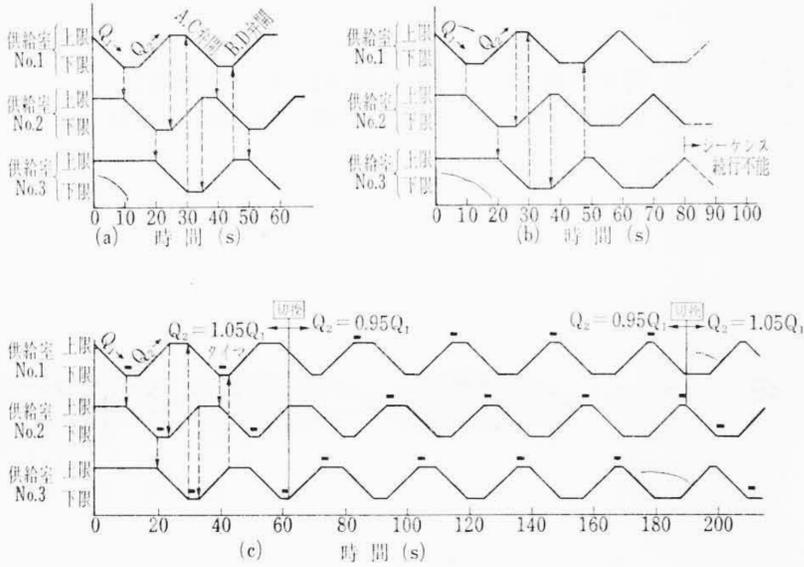


図8 タイムスケジュール

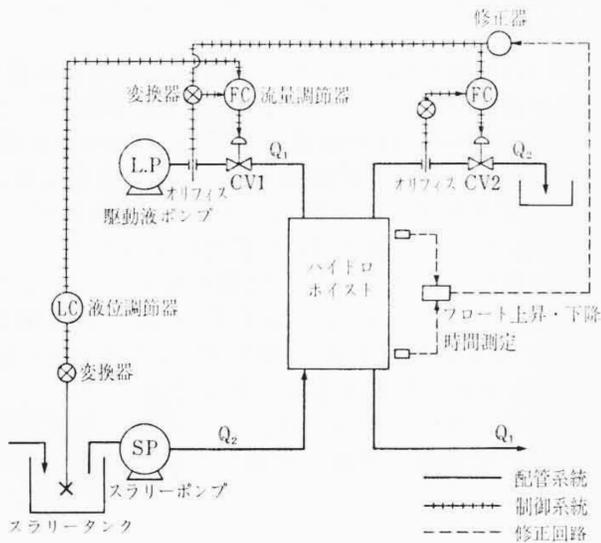


図9 制御系統図

ないことを示している。

なお、実測値が計算値より、10%程度低くなっているが、これはフロートの中心が近接スイッチの中心と一致する前に検出がなされるため、実際のストロークは、計算上使用した近接スイッチの中心間距離よりも小であることによるものと思われる。

5. 制御方式

運転は3本の供給室ごとに、交互に繰り返され、全体として連続的な一様な流れとする必要がある。流れの中断や大幅な変動は、ウォーターハンマの原因になるのでどうしても避けねばならない。そのためには、図8(a)のようなタイムスケジュールとする必要があるがこのシーケンスをあらかじめ一義的に決めることは不可能である。なぜならば、スラリーの流量と、駆動液の流量とは厳密には一致していないので、境界面、すなわちフロートの上限および下限は、しだいにどちらかへ移動し、ついにフロートがどちらかの端に片寄って

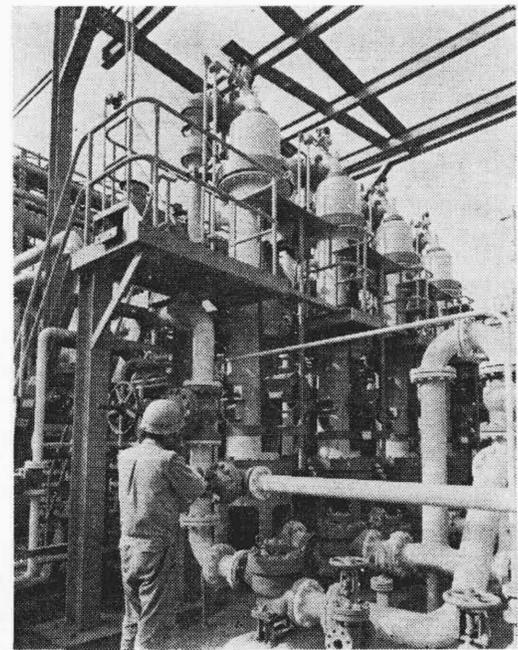


図11 スラリーハイドロホイスト(実機)

しまい、締切運転そのほかの障害が生ずるからである。

このような障害を避けるためには、どうしてもフロートが上限と下限に来た場合、検出する必要がある。その検出装置として近接スイッチを利用し、供給室の壁(オーステナイト系ステンレスの部分)の外部から検出することにした。これにより検出のためのしゅう動部分はいっさい必要としない。

シーケンスが円滑に進行するためには、フロートの上限と下限の位置を検出するだけでは不十分で、駆動液とスラリーの流量を厳密に一致させる必要がある。しかし、いかに理想的な流量制御をしても、ごくわずかの流量の差は避けることができない。図8(b)は、そのような場合、シーケンスが停止し、運転が進行しないことを示している。これは図8(c)に示すタイムスケジュールとすることによって解決した。すなわち、図9に示すような制御系統において、駆動液ポンプとスラリーポンプの吐出量のどちらかを常にわずかに大としておき、シーケンスが停止する直前に、タイマーの信号を利用して、吐出量の大小を逆にすることとし、順次この動作を繰り返すことにすればよい。実機では、プロセスの都合上、流量を液面の高さに比例制御させたので、外乱の影響が懸念された。そこで現実にはとうてい考えられない流量の矩(く)形状の外乱を与えてみたが、シーケンスは問題なく進行することがわかった。図10は、その実測結果である。

6. 機器の寿命および作動状況

実機(図11)の運転は、昭和43年5月に開始し、昭和44年6月現在、連日運転を続けており、運転時間の合計は10,000時間に達している。最初の間、近接スイッチの検出もれが数ヶ月に数度の割合で

起こったが、本年 1 月、改良品に取り替えてからは、一度も検出不良を生じたことはない。

心配された摩耗もきわめて少なく、スラリー弁は、現在まで一度も取り替えていない。これは従来のプランジャーに比較して 10 倍以上の寿命であり、操業上、保守上の利益はきわめて大きい。

フロートのエッジは、前述のように、5,000 時間運転後、簡単な肉盛補修をしたがその他の部分には、いまだ消耗は生じていない。

7. 結 言

- (1) 従来の容積形スラリーポンプに代わる、新しい方式のスラリー圧送用 hidrohoist を開発した。
- (2) 供給室を立形にし、下部にスラリー、上部に駆動液を入れ、両液の境界面にフロートを浮遊させた。その結果、駆動液中へのスラリー混入量を、約 1% 以下に押えることができた。
- (3) 上述のフロートを利用して、液の境界面の上限および下限

を、供給室の外部から近接スイッチを使用して検出し、新たに考案した制御方式によって、安定かつ完全な連続運転をすることに成功した。

(4) 実機の連続運転の結果、スラリー弁の摩耗部品は、10,000 時間以上の寿命があることがわかった。

このスラリー hidrohoist はボーキサイトスラリー圧送用として開発されたものであるが、今回の輸送条件が過酷なものであるので、一般のスラリーの、大量高圧圧送用としての用途が期待される。

終わりに臨み、本研究に対してご援助願った昭和電工株式会社香坂取締役をはじめ、樋口、竹中、古市、合田、甲斐田の各氏、および日立製作所の黒岩、熱田の両氏に深く感謝する。

参 考 文 献

- (1) 渡辺, 寺田, 坂本: 日立評論 45, 4 (昭 38-4)
- (2) 渡辺, 坂本, 内田: 日立評論 48, 11 (昭 41-11)



特 許 の 紹 介



特許第 542697 号 (特公昭 43-23597 号)

渡 部 富 治

サ ー ボ バ ル ブ

この発明は、簡単な構造で、ヒステリシス特性および温度特性のすぐれたサーボバルブを得ようとしたものである。一般に知られているサーボバルブは電流を流量に変換する素子として実用されているが、この発明のサーボバルブは電流を油圧に変換するようにしたものである。

この発明のサーボバルブは下記の構成を特長としている。

1. 電流によるマグネット 4 の力を油圧に変換する増幅部 1 と、その油圧により作動する力平衡形自動調圧弁 2 とを備えている。
2. 増幅部 1 のマグネット 4 とバルブ 6 との間にマグネット 4 と相対的に働くバネ 8 を設ける。
3. 調圧弁 2 のスプールの一端には増幅部 1 からの油圧 P_m を受けるピストン 13 を設け、他端には出力油圧 P_c と前記油圧 P_m に対して相対的に働くバネ 16 とを作用させる。

図で、圧油 P_s は給油管 3 を通って、圧油ポート 18 に流入し、また圧油 P_s は分岐管 19 のオリフィス 20 により、油圧 P_m になり油路 21 を通り、ノズル 9 に流入し、油路 22 により自動調圧弁 2 の油室 12 に流入している。マグネット 4 はその入力電流 i に比例してプランジャ 5 に右向きの力 F_{mg} を発生させるので、バルブ 6 はマグネット 4 の力 F_{mg} とバネ 8 の力 F_{s1} によって右向きに押される。ノズル 9 部の圧油はバルブ 6 を押し開いて大気中に流出するので、油圧 P_m の大きさはバルブ 6 に働く右向きの力に比例する。すなわち、バルブ 6 に働く右向きの力と、油圧 P_m によってバルブ 6 に加えられる反力 R_v とは等しい。反力 R_v はバルブの変位量が増大するにしたがって急激に上昇し、バルブ 6 の突端がノズル 9 部を密閉する位置で最大となる。またこの時油圧 P_m は P_s と同じ大きさになる。

反力 R_v の値はバルブ 6 の同一の変位量に対し、油の粘度が大きくなるほど大きく、また変位量が 0 の時にもわずかながら反力 R_v の値が残っているが、この残留値も油の粘度によって異なる。圧油 P_m の値は反力 R_v と比例しているから圧油 P_m についても同様のことがいえる。したがって、バルブ 6 の変位量によって油圧 P_m を制御しようとするならば、油の粘度の変化とともにかなりの誤差を生ずることになる。

しかし、バルブ 6 に加えた右向きの力によって油圧 P_m を制御しようとするときは、粘度変化による油圧 P_m の変化はあまり大きく

なく、特にオリフィス 20 の開口面積をじゅうぶん小さく選定しておくこと、その特性に対する粘度変化の影響も小さくなり、実用上無視することができる。

スプール 11 には油圧 P_m がピストン 13 部に右向きに働いている。また左向きには油圧 P_c およびバネ 16 の力 F_{s2} が働く。これらの力の平衡によってスプールの位置が決定し、図示の位置から右行すれば、出力側ポート 23 と給油側ポート 18 が連通し油圧 P_c が上昇する。逆に左行すれば、出力側ポート 23 と排油側ポート 24 が連通し油圧 P_c は低下する。油圧 P_c の変化によってスプールの位置が変化し、スプールの位置が変わる。そしてスプールの位置が中立位置で安定する。この時の油圧 P_c の大きさは油圧 P_m とバネ 16 の力 F_{s2} の大きさが定まる。油圧 P_c は力 F_{s2} を一定としておき油圧 P_m を変化させて制御することができる。

なお、この発明のサーボバルブは、コイルカッタの自動けん引装置、リクレーマの定量搬出装置に実施して良い成績をあげている。(富田)

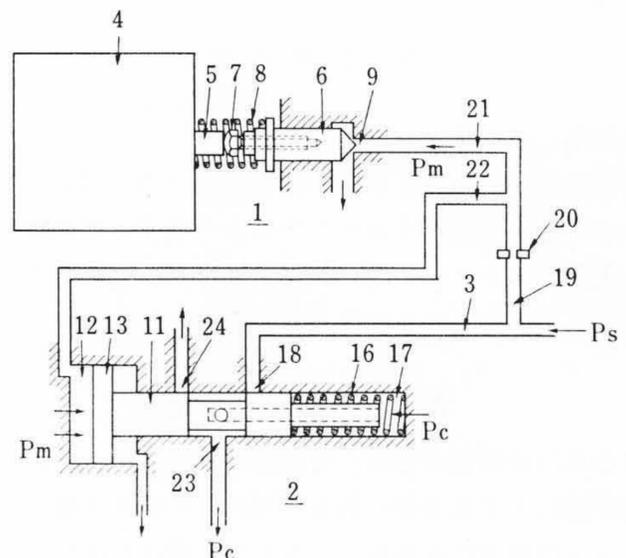


図 1