

日本プラントメンテナンス協会
PM優秀論文賞 第2席入選

ダイカストマシン水溶性油圧作動油の保全

Maintenance of Water Soluble Hydraulic Fluid for Die Casting Machines

井上 清志*
Kiyoshi Inoue

要旨

水溶性油圧作動油の日常管理で、作動油の浄水処理は非常に重要である。しかし、現状のろ過装置では長時間ろ過しても、作動油の劣化状態を示す透過率が思う様に改善されない。その原因を追求していったところ、鉛油分の混入の影響が大であることが判明した。特に水溶性油圧作動油（水・グリコール）への鉛油分の混入は、油圧機器への悪影響（摩耗）が理論的にも知られている。

今回、この鉛油分の混入防止策として、油圧タンクのエアブリーザーからの鉛油分の吸入を阻止するため、外気との隔離方法を研究し、最終的にジャバラによる呼吸装置を開発した。また、一度混入した鉛油分を除去する方法として、油滴の凝集粗大化理論とフィルターの逆流効果を組み合わせ、画期的な水溶性油圧作動油のろ過装置“水グリ・クリーナー”を開発・実用化に成功した。

1 はじめに

ミスト、粉じんなどの過酷な環境の中で使用されるダイカストマシンは、その動作のほとんどが油圧によるものである。作動は、高圧油を使い、高速で衝撃も大きい。特に射出時の動作の精度は、製品品質に大きな影響を及ぼす。従って、油圧機器の中で血液の役割を担っている作動油の維持管理が、特に重要である。

ヤマハ発動機㈱では、TPM活動の中でハードを中心と整備を進めてきたが、近年この血液にあたる油剤のメンテナンスに取り組んできた。ここでは、水溶性油圧作動油（水・グリコール）への鉛油分の混入防止機構と鉛油分の分離装置を開発し、効果を上げたので報告する。

2 水溶性油圧作動油の管理と問題点

作動油の汚染度を管理するため、以前は外部メーカーへ分析を依頼していた。しかし、結果が出るのが遅れ、コストも高くついていた。このため、簡単に測定できる光透過率測定法に基づく、簡易診断装置（商品名：水グリ博士）を入手し、自主管理を始めた。

この測定方法の原理は、透明油ケースをはさんで光を当て、光量の変化で汚染度を測定するものである。現在使用している作動油について分析したところ、図1に示すように、ほとんどのダイカ

ストマシンの作動油が正常範囲からはずれていた。

この中で透過率が2%まで下がっていた作動油をろ過し、メーカーで分析してみた結果、表1のようにろ過前後の汚染度は、3.52から0.64となり改善された。しかし、簡易診断装置による透過率は表2に示すように21%までしか改善されなかった。

そこで、汚染度が改善されても透過率が上がらない原因を究明するため分析を進めたところ、鉛油分が含まれていることがわかった。

一般に、水溶性の作動油に鉛油分が含まれると、潤滑性能が低下すると言われている。¹⁾ 作動油維持管理のため、鉛油分混入の影響について調査した。

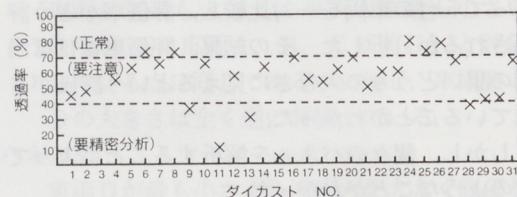


図1 作動油の透過率測定結果

*铸造事業部 磐田第2工場

表1 分析結果

性状	ろ過前	ろ過後
密度	1.057	1.056
外観	赤色	←
動粘度	49.52	49.27
水分	39%	39%
アルカリ価	163	161
pH	9.6	9.6
汚染度	3.52	0.64

表2 簡易診断結果

	ろ過前	ろ過後
電圧	3.21V	3.21V
透過率	2%	21%

3 鉛油分の混入とその影響

3.1 潤滑性能低下の理論と摩耗の関係

油圧ポンプの潤滑領域は境界潤滑領域であり、潤滑油膜が著しく薄い。従って、摩耗防止剤に脂肪酸系の物質を用いて、金属表面に図2に示すように吸着皮膜をつくる。しかし、脂肪酸($C_nH_{2n+1}COOH$)と鉛物油(C_nH_{2n+1})の分子構造が似ているため、鉛物油が混入すると接着部の極性が乱され、潤滑被膜に穴があくため、金属接触を起こすとされている。²⁾また、実際に水グリコール作動油の新油に、鉛油分を1%強制混合した場合のポンプの摩耗テストでは、図3の報告がされている。鉛油分の混入なしの場合、初期摩耗後の摩耗量が非常に少ない。これに対し、鉛油分が1%混入した場合、継続して摩耗していくのがわかる。従って、水グリコール作動油の保全では、潤滑油など各所に使われている鉛油分の混入防止と、混入後の除去が課題となる。³⁾

4 鉛油分浸入経路の究明

4.1 ダイカストマシンへの浸入経路

鉛油分がダイカストマシンのどこから浸入するのか、図4に示すPM分析で調査した。分析の結果、

- ①油圧タンクについては、タンク上部清掃口のガスケット不良の影響が大きい。
- ②油圧機器については、油圧機器交換時の防錆用の混入の影響が大きい。
- ③操業中の劣化については、空気中の鉛油分の影響が大きく、エアブリーザ破損による不具合が生じる。

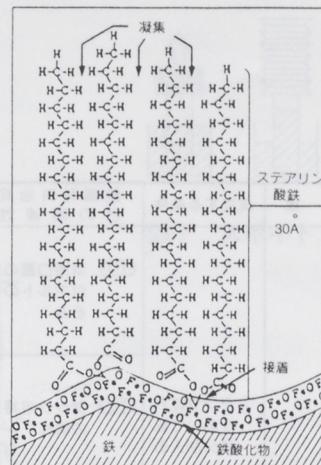


図2 潤滑油膜の構成図

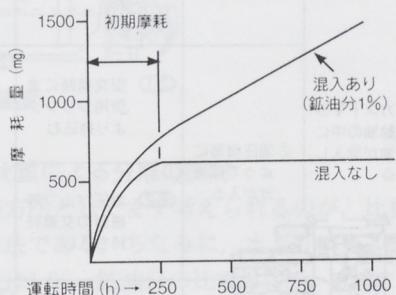


図3 鉛油分の混入による影響

以上の3項目が原因で浸入経路が形成されることがわかった。

本論では、操業中の劣化の主な原因となる空気中の鉛油分の混入対策について述べる。

4.2 大気とのしゃ断

ダイカストマシンの1サイクルにおける作動油タンク内の容積の変化は、図5のようになっている。この容積変化に対応できる機構があれば作動油を外気としゃ断することができる。最初、図6のビニール袋でテストしたところ、計算どおりの容積をもたせれば、機械の動きに十分対応できることがわかった。さらに目で見る管理の観点から、図7のようにスポットをヒントにして、油圧タンクの異常が一目でわかるようにした。また、耐久性を考慮して、図8のようなジャバラ式呼吸装置を考案し、設置テストを行った。

ダイカストマシン水溶性油圧作動油の保全

現象	成立する条件	設備材料治具との関連性	調査方法	結果
ダイカストマシン作動油の中に鉛油分が混入している	①タンクに穴があいて鉛油分が入る ②油圧機器によって鉛油分が入る	<ul style="list-style-type: none"> (1-1) 清掃口蓋の締付ボルトのゆるみ (1-2) タンク溶接部の割れ (1-3) 清掃口蓋のガスケットの敗れ 	<p>(1-1) 清掃口フタ取付ボルト増結 不良締付 加圧1kg/cm²</p> <p>(1-2) タンク溶接部 シジ部不良3ヶ所 ↓ ・スタッドボルト3本交換 ・1/4周増締め</p> <p>(1-3) 清掃口蓋のガスケットの敗れ 溶接部の漏れOK 蓋面からの漏れ → NG</p>	<p>タンク上蓋 ガスケット部より漏れ</p> <p>作動油タンクの上には型縫から落ちた油タンク上に乗っている ↓ ガスケットの破れから油タンク浸入 ↓ なぜガスケット破れて潤滑油が浸入するか</p>
	③空気中の鉛油分を吸い込む	<ul style="list-style-type: none"> (2-1) 型交換時に金型用シリンドラより持込む (2-2) 油圧バルブ等機器の交換時持ち込む 	<p>(2-1) 作動油は1種類のため、問題なし 外注工場とのやり取りの場合 ↓ (作動油を抜き取り) (ブラッシング)</p> <p>(2-2) 油圧機器交換 ・バルブ類➡防錆用に鉛油使用 ↓ バルブ1台当りの量 ・ゲージ類➡ブレンド管内に鉛油が漏っている ↓ ケージ1台当りの量 ↓ 量的に少ないが作動油の中に混入する。</p>	<p>エアブリーザー分解目視点検NG エアブリーザー断面</p> <p>エアブリーザー フィルター</p> <p>(なぜ) 今まで管理していなかった (なぜ) 作動油分析結果正常であれば問題ないと思っていた ↓ 取り外して清掃しようとしたが清掃できる構造になっていない</p> <p>↓ エアブリーザーのフィルターにて除去される</p> <p>↓ フィルターの密度は300ミクロン空気中に浮遊している。ミスト油分は数ミクロンの為、このフィルターでは取れない</p>
		<ul style="list-style-type: none"> (3-1) CYL等のシール部より吸い込む (3-2) エアブリーザーより吸い込む 	<p>(3-1) CYL内部目視点検油もれなし タンク内作動油目視点検</p> <p>(3-2) エアブリーザー分解目視点検NG エアブリーザー断面</p>	<p>↓ エアブリーザーの改善が必要</p> <p>↓ エアブリーザー フィルター</p> <p>↓ フィルターを使用したときの問題</p> <p>↓ ①目詰り状態が判るようにしなければいけない ②定期交換が必要、コストUPになる ③数ミクロンのフィルターを使用すると交換頻度が高くコストUPになる</p>

図4 鉛油分浸入のPM分析

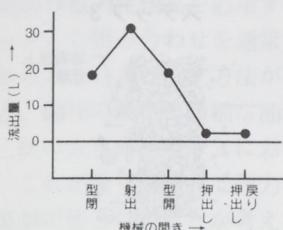


図5 容積変化

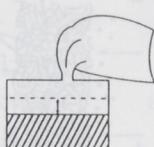


図6 袋テスト

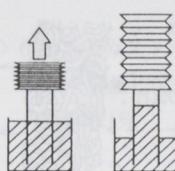


図7 スポイト

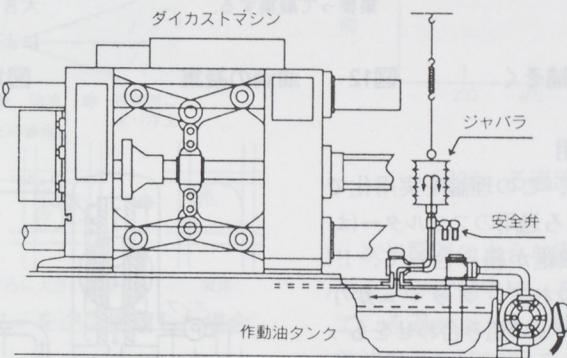


図8 ジャバラ式呼吸装置

ジャバラ装置を取り付けた効果を、毎月ごとに精密分析を行い確認した。その結果、図9に示すように鉛油の混入による透過率低下がなくなった付随効果として、作動油の水分の蒸発とそれに伴う性状変化が6ヵ月間ほとんどなくなった。この対策で、外気の影響による劣化は防ぐ手段が確立できた。

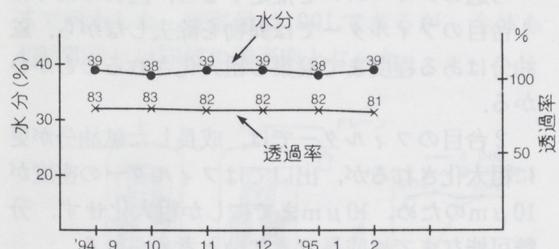


図9 ジャバラ取り付けによる性状効果

5 鉛油分の除去装置の開発

前記ジャバラ装置の導入で、大気中からの鉛油分の混入は大幅に改善された。しかし、ほかにも微量ながら浸入することもある。このため、作動油へいったん混入した鉛油分の除去も大きな課題となり、検討を行った。

5.1 比重による分離の検討

分離方法としてまず考えられるのが、比重差による方法である。ちなみに、水グリコール作動油の比重は1.06、鉛油分の比重は0.85～0.9である。汚濁した作動油をガラス容器に採って、1週間放置して見た。不透明な状態は変わらず、図10に示す比重差を利用した静置方式では分離できないことがわかった。

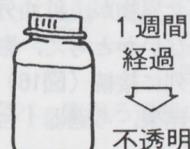


図10 放置テスト

原因は、鉛油分がミクロンオーダーの粒子で混入しており、安定性が増して分離しにくくなっているためと考えられる。このため、油滴の凝集粗大化理論の応用をすることにした。

以下に、この理論を簡単に説明する。

鉛油分が細い纖維層を通ると、その纖維に絡みつき、油滴同志が互いに凝集し、より大きな油滴に成長するという性質をもつことが、凝集粗大化理論として知られている。図11～13に凝集粗大化理論のステップを示す。

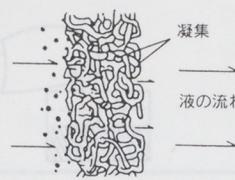
ステップ1



繊維が絡みあっている
表面で油滴を捕らえる。

図11 微小分散油滴の捕そく

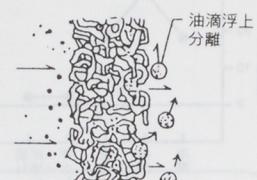
ステップ2



捕らえた油滴が
集まって凝集する。

図12 油滴の凝集

ステップ3



凝集した油滴が成長し、
大きくなると液の流れ
により放出されて浮上する。

図13 油滴の粗大化

5.2 凝集粗大化理論の応用

一般のろ過器を使用して、この理論を実用化できないか検討した。作動油ろ過用のフィルターは、ほとんど図14のように、繊維が絡み合って、IN側からOUT側へ向かうにつれて、メッシュが小さくなっている。このメッシュの組み合わせをもつたろ過器(図15)で分離テストを行った。

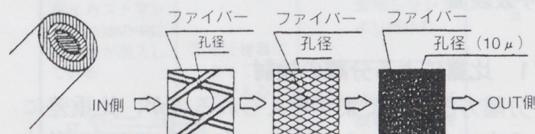


図14 フィルター構造

その結果、20時間ろ過しても透過率は約20%しか改善されなかった。分離が不可能で、ドレンから鉛油分は検出できなかった。次に、ろ過器のフィルターで除去された異物が、鉛油分の粗大化に影響しているのではないかと考え、影響がないようろ過器2台を直列に接続(図16)して分離テストを行った。その結果、ろ過器1台の時と同じ結果であった。

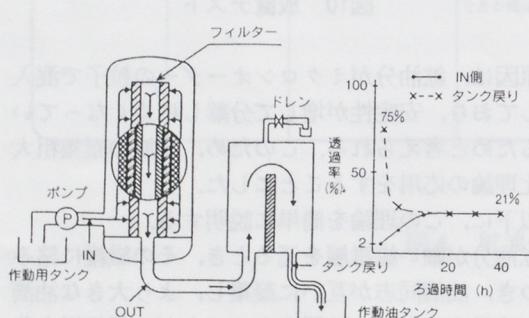


図15 ろ過器1台でのテスト

5.3 分離方法の再検討

テストしたフィルターを分解調査した結果、1台目のフィルターには異物および鉛油分が付着し、2台目のフィルターには鉛油分だけが観察された。

ろ過のメカニズムを推定すると、図17のようになら、1台目のフィルターでは異物を除去しながら、鉛油分はある程度まで凝集し粗大化されることがわかる。

2台目のフィルターでは、成長した鉛油分が更に粗大化されるが、出口ではフィルターの密度が $10\text{ }\mu\text{m}$ のため、 $10\text{ }\mu\text{m}$ までにしか粗大化せず、分離可能なまでに成長できないと考えられる。

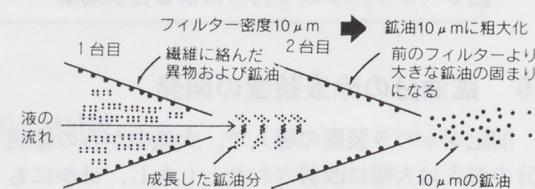


図17 2台のフィルターを直列に使用した場合

前述の粗大化理論を応用すれば、フィルターのメッシュの組み合わせを通常と逆にして、小方から大きい方へ流す方法が考えられる。こうすると、図18のように微細な油滴が凝集して粗大化し、次の大きいメッシュにおいてさらに粗大化する。これが繰り返されて浮力をもつままで成長し、捕集が可能となることが考えられる。

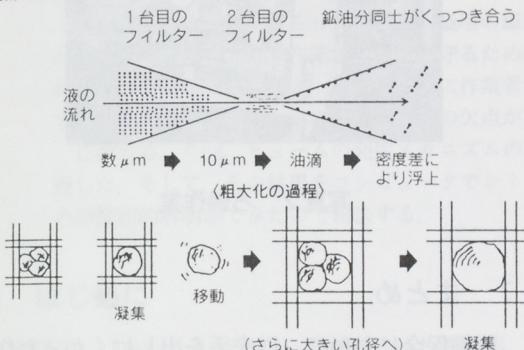


図18 2台目のフィルターを逆に使用した場合

5.4 ろ過器の逆流テスト

前述の考え方に基づき、通常のろ過器の逆流テストを行った。2台のろ過器を図19のようにA側のろ過器は通常に接続し、そこを通過してきた液をB側のろ過器に逆の方向に接続した。1台目のろ過器では、鉱油分以外の混入異物を捕そくすると同時に、鉱油分をある程度の大きさ(10 μm)まで凝集粗大化させ、さらに2台目のろ過器で浮力がつくまで凝集粗大化させるわけである。その結果、ろ過した液の透過率は、運転後すぐに83%まで向上した。総容量は100Lであるが、全体も40時間後には同様の透過率となった。

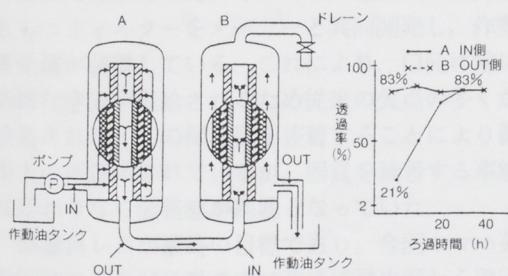


図19 逆流テスト

5.5 ろ過条件の検討

凝集粗大化の現象は、液の通過スピードに影響され、スピードが速すぎると油滴が浮上する前に押し流されてしまうことが予想される。そこで、ろ過流量と透過率の関係を調査した結果、ろ過流

量は400L/h以下に設定しなければならないことがわかった。(図20)

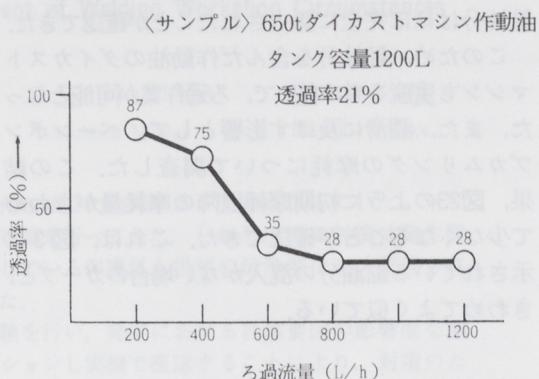


図20 ろ過流量と透過率の関係

次に図21のような実用ろ過器で650tダイカストマシンの稼働中に、ろ過流量を300L/hに設定して、ろ過テストを実施した。分離されたたまたま鉱油の量を10時間ごとに測定した結果、図22のように40時間後には2500cm³、透過率は78%の結果を得た。

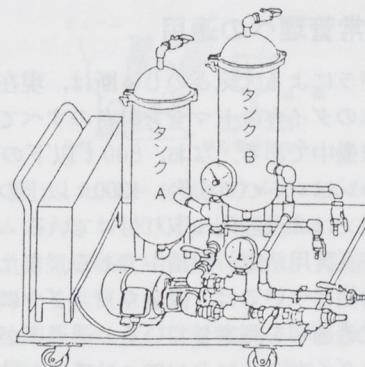


図21 実用ろ過器の略図

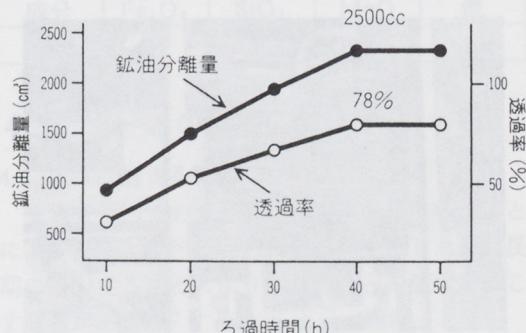


図22 ろ過時間と分離量の関係

5.6 ろ過の効果

前記の透過率78%の作動油を分析したところ、鉛油分はほぼ完全に除去されたことが確認できた。

このため、鉛油分を含んだ作動油のダイカストマシンも生産をやめないで、ろ過作業が可能となった。また、潤滑に及ぼす影響として、ベーンポンプカムリングの摩耗について調査した。この結果、図23のように初期摩耗以降の摩耗量がきわめて少なくなることが確認できた。これは、図3に示されている鉛油分の混入がない場合のカーブと、きわめてよく似ている。

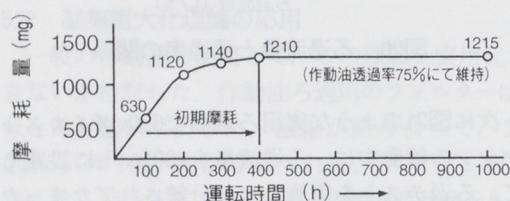


図23 ベーンポンプカムリング摩耗テスト

6 日常管理への適用

ジャバラによる大気とのしゃ断は、現在工場内で稼働中のダイカストマシン31台のすべてに取り付け、稼働中である。なお、800 t以下のダイカストマシンはジャバラ1台、1200 t以上のダイカストマシンは2台並列に取り付けている。これは、現在特許（実用新案）申請中である。また、操業中の作動油については、保全カレンダーに基づいて、順次透過率を測定している。透過率が70%を下回ったダイカストマシンについては、計画的にろ過器“水グリ・クリーナー”をセットし、ろ過作業を実施している。

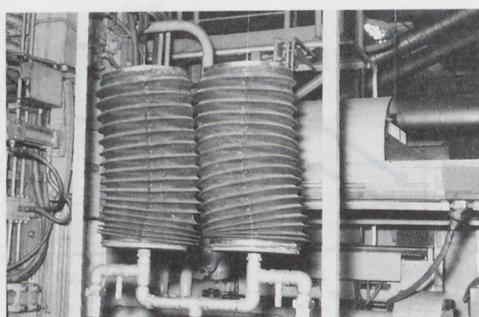


写真1 ジャバラ取り付け

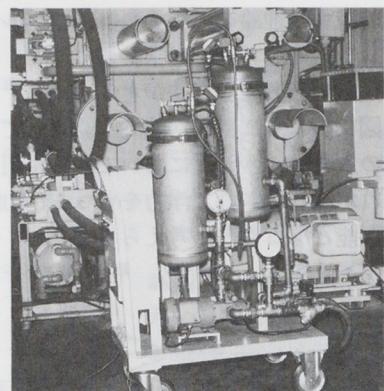


写真2 ろ過作業

7 まとめ

設備保全において、従来手を出しにくかった作動油の保全について検討した。結果として、大気とのしゃ断と混入した鉛油の除去について、簡単な方法を開発し、ダイカストマシン油圧機器の摩耗などによる性能低下がなくなった。また、作動油の寿命延長もでき、地球環境保全にも役立つことができたと確信している。作動油の性状分析をはじめ、各種の助言をいただいた、(株)モレスコテクノの大西隆雄氏に心から感謝の意を表す。

■参考文献

- 1)3) (株)モレスコテクノにおける油圧ポンプ摩耗試験結果
- 2) 新版 潤滑の物理科学 東京大学 桜井俊男