

一般産業機械用油圧シリンダの特徴と 使用されるシールシステムのトラブル、 MRO市場への対応

1. はじめに

成熟産業といわれる油圧業界において、その技術も成熟しているといわれてきたが、油圧機器の最も需要の多い建設機械においては、建設機械自体の高度化に合わせ、油圧機器の新たな技術開発が進み一層の技術進展が進んできている。

また、昨今、労働人口の減少や労働者の高齢化を補うためのロボットやパワーアシストシステム、更に医療機器の進展など、油圧技術は新たな活用分野への展開が期待できるようになってきた。この分野においては機器の軽量化、コンパクト化、油圧サーボシステムへの対応などが強く要求され、それに伴い、アクチュエータに使用されるシールシステムにも新たな要求が生まれその発展も期待されている。

上記の先端的な油圧機器の分野とは別に製鉄プラントや発電プラントなどの基幹産業分野においては、国内の新規投資は極めて少なく、この分野における油圧機器のニーズはマシン能力アップや性能向上を目的とした改造、更にマシン延命のためのMRO、延命改造などに変化しており、大量需要から、サーボ化対応や短時間でのメンテナンス対応が可能な高機能少量需要へと移行してきている。

このプラントに使用される油圧機器は新規でも既設のMROでも基本的に同じものであるが、新規プラントとMROでは機器側から見た直接の顧客が異なるため機器に要求される内容は大きく異なっている。

新規プラントにおいて、油圧機器の顧客は一般的にプラントメーカーでありプラントの性能や生産能力が満足できる機器選定がなされ、トライランの期間に様々なトラブルの解消も行われる。

一方、MROにおける顧客は実際にプラントを操業している会社などであり、定期メンテナンス、突発的なダウンによるプラントの停止は甚大な損失発生につながるため、突発停止の防止、メンテ停止期間の短縮、早期復旧に対する要求は強い。当然プラント再稼働までに問題対策のトライラン期間もないため、実績のある同一仕様の機器との交換が一般的で新しいものへの変更には非常に神経を配る必要がある。

当社は長年にわたり主に一般産業分野の油圧シリンダを生産しているが、その使用方法は多岐にわたり、そこで発生するトラブルや顧客要求も千差万別で、全てをカバーできる仕様が無いのが実体である。また、油圧シリンダは油圧回路上の機器と駆動するマシンとのインターフェイス的な機器であ

り、マシン側と機器側の両方の影響を受け、油圧システムや機械の問題も最終の現象としてはシリンダに発生することが多い。この中でも、シリンダの油漏れとしての現象が多く、シリンダとパッキンの問題として取り上げられることにつながっている。

IoTを活用してシリンダの状況を的確に把握して最適なメンテナンスに変えて行くことも重要であるが、まずは、問題発生のないシリンダ+シールシステムの確立が優先されるべきである。

個々のパッキンの特徴や技術的な内容については、パッキンメーカーから多くの文献や資料が提供されているため、別の角度からの見方として一般産業用油圧シリンダの実体と極めて重要な要素であるパッキンに関する経験を、本誌面をお借りして紹介させていただくことで今後のシール技術向上の参考になれば幸いである。

なお、以下に記載する内容は、シリンダのオーバーホール時に現物から確認した内容や顧客から得た情報を元にしており、定性的な内容が主で、それに対する推測や私見が混在することをご容赦願いたい。

2. 油圧シリンダの基本構造

2-1) 標準油圧シリンダ

Figure1に一般的な油圧シリンダ(JIS規格品)の構造を、Figure2に外観を示す。

工作機械や木工機械など比較的軽度な環境における一般的な機械に使用され、需要量が最も多く一般的なシールシステムが使用される。

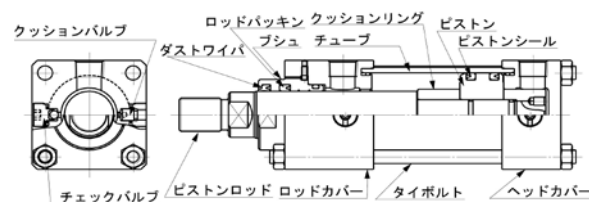


Figure1 JIS形標準油圧シリンダの構造



Figure2 JIS形標準油圧シリンダ外観

2-2) 標準油圧ミルシリンダの構造と外観

Figure3にミルシリンダの構造を、Figure4にその外観を示す。

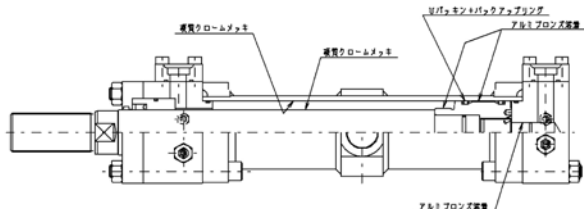


Figure3 ミルシリンダの構造



Figure4 ミルシリンダ外観

製鉄機械を始めとする重機械用油圧シリンダとして日本フルードパワー工業会で規格 (JOHS 110) された油圧シリンダであり、シリンダチューブにネジ込みまたは溶接でフランジが装着され、そのフランジと両サイドのカバーがネジ締結されており、タイボルト締結形のJIS形と比較して剛性の高い構造となっている。当社では、特注シリンダの基本構造として採用することが多い。Figure3の構造図ではロッドパッキンにUパッキンが装着されているが内径の大きなミルシリンダにおいてはVパッキンを使用している。

2-3) その他の油圧シリンダ

上記は一般産業用機械に使用される代表的な例であるが、機械の用途や使用環境によって様々な構造のものが製作されている。Figure5、Figure6にその例を示す。



【4本同期作動させるため、作動のスレは軸受けとパッキンに影響大】

Figure5 自動車ドアプレス用シリンダ



Figure6 製鉄機械 ロールシフト用シリンダ

3. 油圧シリンダの構造の特徴と機械精度

油圧シリンダは工作機械などのXYZ軸と同様に直線運動を行うアクチュエータであるが、一般的な機械と大きく異なる点がいくつかあり、それが油圧シリンダに使用されるパッキンに大きな影響を与えている。

3-1) 摺動部の直線性

油圧シリンダのチューブは内径に対して長さが長く、ホーニング加工によって製作されるのが一般的で、この加工においてはチューブ内径の真直度はホーニングの前加工精度に依存しやすく、内面研削盤による加工に比べて劣ることが多い。

また、ピストンロッドはシリンダに組み込まれた時、ピストンとロッドカバーに装着されたブシュが軸受けとなるが、一般的な機械に比べ軸受け間距離が非常に長くなることが多く、長尺シリンダでは自重の影響を受けてたわんだ状態になっている。

これらのことにより、油圧シリンダにおいては、リニアガイドのような高精度の直線駆動系を製作することは困難である。

3-2) 軸受け(ブシュ、ピストン)

上述のようにチューブやピストンロッドの真直度の問題で、油圧シリンダの軸受けは金属接触による焼き付きを防止する観点から、高精度な機械に比べそのクリアランスは大きくする必要があり、そのことがパッキンとの接触の偏りや接触状態の変化、偏荷重の付加につながることが多い。

また、軸受けは外部からの潤滑を行うことが困難であることより油圧シリンダに供給される作動油を潤滑油として使用するため、潤滑としての作動油の廻りを良くするためにもある程度のクリアランスを必要とする。

3-3) 機械との適合

前述の油圧シリンダの構造的特徴から、油圧シリンダが取り付けられる機械の精度、剛性と油圧シリンダの精度、剛性には差異があり、油圧シリンダの精度や剛性が機械のそれに勝る場合は、油圧シリンダ自体で大きな負荷（偏荷重、横荷重など）を受けることになりパッキンや軸受けに大きな影響を与えることになる。当然、機械への取り付け精度（アライメント）もトラブル回避には重要で、アライメントのズレを吸収する取り付け方法（支持形式）の配慮も必要である。

参考としてFigure7に油圧シリンダの主な支持形式を記載する。

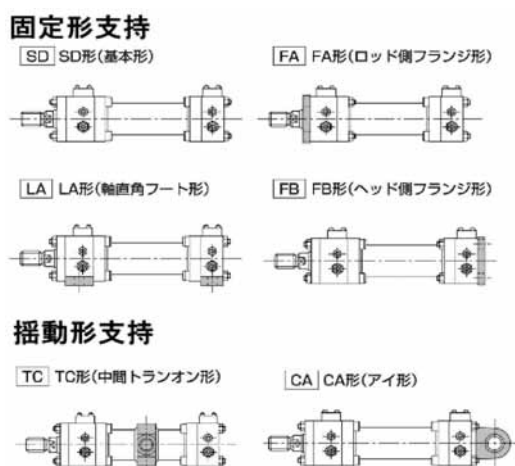


Figure7 油圧シリンダの代表的な支持形式

3-4) 油圧シリンダの精度とMRO

小形のJIS形標準シリンダにおいては、新品でも製品価格が安価な事から修理やオーバーホールを実施されるケースは少ないが、大形のシリンダにおいては、消耗品（パッキンやブシュ）の交換が行われることは非常に多い。また、特注シリンダにおいては、新品の価格が高価になることも多く、延命、実績品重視の観点から消耗部品の交換だけでなく、シリンダ全体のオーバーホールが実施される場合も多い。

オーバーホールは油漏れやピストンロッドの傷発生などに端を発して実施されるが、その際に消耗部品であるパッキン、ブシュの交換だけでなく、軸受けとなるピストンの交換やピストンロッドのメッキ再生まで行うこともあり、油漏れの修理に留まらず油圧シリンダの精度再生になるケースが多い。しかしながら、相手側の機械摺動部や軸受け部の摩耗による機械精度の変化と再生された油圧シリンダの精度がミスマッチを起こすこともあり、オーバーホール後短期間で油漏れなどのトラブルが発生するケースがある。

また、機械から外された油圧シリンダが機械に再度組み込まれる際の取り付け精度の変化もトラブル発生の要因として

十分に考慮すべき問題である。

このように、機械精度、剛性と油圧シリンダの精度、剛性には密接な関係があるが、そこで発生する油漏れやピストンロッド表面の摺動傷などの問題はパッキンと軸受け各々の問題として捉えられることも多く、根本的な原因訴求に至らないことが多い。

パッキンや軸受け単体の問題として捉えずに、シールシステム（パッキンと軸受けの組合せシステム）として考え、多少のアライメントのズレに追従できるようなシステムが見出せれば初期やメンテナンス時の問題発生も防ぐことが出来るものと期待している。

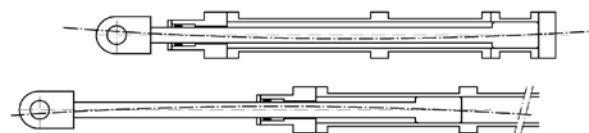
更に、振動など、根本原因の計測データの取得や分析、メンテナンス時期を知るための油圧シリンダの挙動をセンシングする技術の適用も必要であると思われる。

3-5) 油圧シリンダの精度問題に関する事例

シリンダの精度問題の代表的な例として、長尺シリンダの場合の事例を以下に記す。Figure8は長尺シリンダの外観を、Figure9はシリンダを固定支持した場合のピストンロッドの挙動を示す。



Figure8 長尺シリンダの外観



【引き端ではピストンロッドの自重で下方にたわむ】
【出端に向かって軸受け間が変化するため、逆方向にたわむ】

Figure9 長尺シリンダの挙動

長尺シリンダにおいては、ピストンロッドの曲げ剛性がチューブのそれよりも低いことが多く、また、軸受け間の距離が広い場合ピストンロッドが引き端にあるときは自重により大きくたわみ、軸受けやパッキンに平行に接触しない状態となる。またピストンロッドが出て行くにつれ、軸受け間距離と位置が刻々と変化するため、軸受けやパッキンとの接触状態が逐次

変化していく。実際のシリンダの取り付けは揺動形があることから、出側のたわみ変化による影響については軽減されている。

このアプリケーションではロッド用シールとしてVパッキンを使用している。Vパッキンは、摩耗時に増締めすることで油漏れを軽減できるとされることよりメンテナンス環境の厳しいところで使用されるケースが多いが、このアプリケーションのようにパッキンとの接触が変化するアプリケーションにおいても、パッキン積層幅の長いVパッキンは有効なパッキンと考えている。

4. 油圧シリンダ内の圧力とパッキン

一般産業用油圧シリンダにおいては、その速度調整に背圧絞りが用いられることが多い。これは、エネルギー的にはロスがあるが、制御精度を上げやすいことが要因になっている。

また、シリンダの作動速度を多段階で制御する場合、高速から低速への切替え時に背圧を利用して減速することがある。

これらの方法は一般的で適切な方法と考えられるが、これは、エネルギーロスだけでなく、パッキンを非常に過酷な環境で使用することに他ならない。油圧シリンダにおいてはロッド側の受圧面積がヘッド側の受圧面積より小さいため、速度制御や減速のため背圧絞りをかけた場合、ヘッド側よりも圧力が高くなるが多くロッドパッキンに加わる背圧には注意が必要である。

しかし油圧シリンダが機械に装着された状態で、シリンダ作動中の背圧を測定出来るケースは極めて少なく、トラブルを起こしたパッキンの状況から推測することがほとんどで、パッキンの早期摩耗、ヒール部の欠落による油漏れなどの明確な原因が掴めず、この現象に対する顧客の理解を得ることが難しいのが現実である。

4-1) 背圧絞り制御とロッドパッキン

出側の全ストロークを背圧絞りで制御することは、ロッドパッキンに高い圧力を加え続けることであり、パッキンの潤滑を著しく阻害、パッキンの摺動抵抗増加に伴うヒール部のはみ出しの助長や摩耗の促進をすることになる。また、ロッドパッキンのはみ出し防止のためにバックアップリングが装着されていた場合は、ロッドパッキンのはみ出しによる損傷は防止されるが、ロッドパッキンによってバックアップリングがブシュとピストンロッドの隙間に押し出されて変形し、シリンダの引き工程における作動油の引き込みを阻害、結果的に油漏れを発生することも

ある。

4-2) プレス機械の減速(ブレーキ)工程

プレス機械においては、生産性向上に向けた高速化が進展しているが、早送り工程からプレス工程に切り替わる時、背圧によりブレーキをかけるケースがあり、ブレーキがかかるストロークは非常に短いものの、負荷の慣性エネルギーも加わるため、発生する背圧は非常に高く、これもロッドパッキンにとって過酷な環境を作り出すことになっている。

また、プレス機械用のシリンダはプレスに戻り工程を早くするため一般的なシリンダに比べて、ロッド径を大きくすることが多く、ロッド側の受圧面積が非常に小さい。このため背圧絞りによるロッド側の圧力が高くなることが多い。

5. コンタミネーションの発生

油圧システム内への異物の侵入は機器の摺動部やパッキンに悪影響を与えるため作動油の汚染管理は非常に重要で、システム内部に残存する異物や外部からの異物侵入に配慮し、回路中にフィルターなどを設置して機器への侵入を防ぐのが一般的である。

このようにフィルターなどで異物の侵入を防いでいるにも拘わらず長期間使用された油圧シリンダのピストンロッドの表面には無数の摺動傷が発生していることが多く、特に大形シリンダにおいてはその傾向が強い。外部からの異物侵入がガードされている状態でこのような傷が発生する原因としてシリンダの摺動により内部で発生する金属摩耗粉などを考える必要がある。

5-1) ピストンロッド表面に残存する研磨バリ

ピストンロッドの方面はアライメントのズレによる軸受けとの強い接触、背圧絞りにより異常に加圧されたロッドパッキンによるしごくような強い摺動などの影響を受ける。しかし、一般的に油圧シリンダのピストンロッド表面には硬質クロムメッキが施されており、一方の軸受け部材やパッキンが銅合金や樹脂で出来ていることを考えると、硬度が高く摩耗に強い硬質クロムメッキに傷が発生することは考えにくい但实际上に硬度の低い銅合金や樹脂が硬度の高いピストンロッド表面のメッキに傷をつけたような現象が起きていることにより、硬度の高い介在物の存在が考えられる。

ピストンロッド表面の硬質クロムメッキは研削やバフ研磨で仕上げられるのが一般的である。バフ加工は面粗度の細かい研磨面が得られるが、その表面の状態をミクロ的に見ると研磨によるバリや、非常に鋭利な面粗度の【山】【谷】が残存している。このバリや鋭利な【山】は洗浄などでは除去するこ

とが出来ず、強い当たりの摺動やパッキンによる表面のしごき作用によって脱落したり欠けたりすると考えられ、これが異物となって軸受けとピストンロッドの隙間やパッキン内部に侵入し、同じ硬度のピストンロッド表面に傷を発生させるものと推測される。また、シリンダの摺動によって、プッシュ内部には作動油の流れが発生するが、異物がこの作動油の流れに乗って移動、流れの滞留する部分に蓄積することで、異物の塊となり、より大きな傷を発生させると推測できる。



#600 倍率250 Ra0.57 #1000 倍率250 Ra0.13
Figure10 ステンレス板のバフ研磨後の表面状態

メッキ表面の摺動模様に関する考察

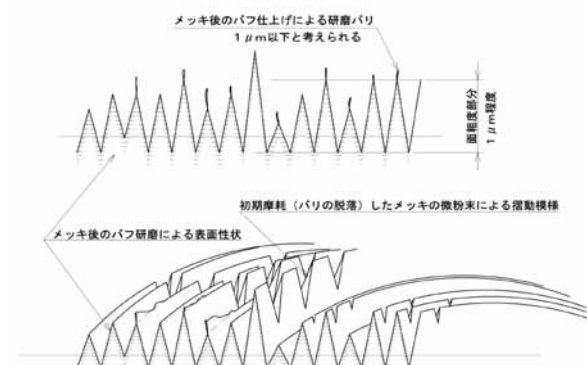


Figure11 メッキ表面の研磨バリモデル図

Figure10はステンレス板の表面にバフ研磨を行った時の表面状態の写真で、白く光っている部分が微細なバリである。ステンレスの場合、硬質クロムメッキに比べるとバリが残存しやすいと思われるが、メッキ表面でも概ね同じような状況であると推測される。

また、Figure11にバフ研磨後のピストンロッドの表面状態のモデル図を、Figure12に洗浄後のピストンロッド表面より回収した研磨バリの写真を掲載する。

5-2)ピストンロッド表面の摩耗

Figure13に表面が鏡面状態にまで摩耗したピストンロッドの事例を紹介する。この写真はプレス機械に装着されたシリンダのピストンロッドで、写真撮影するカメラや撮影者の姿が鮮明に写るほどの鏡面状態にまで摩耗している。幸いにも、大きな傷の発生はなかったが、ロッドパッキンの摩耗は著しく油漏れが激しい状態であった。シリンダの背圧によりロッド

パッキンが連続的に異常加圧されたことが原因と考えられるが、この摩耗状態になるまでに発生したメッキ摩耗粉は相当量であったと考えられる。

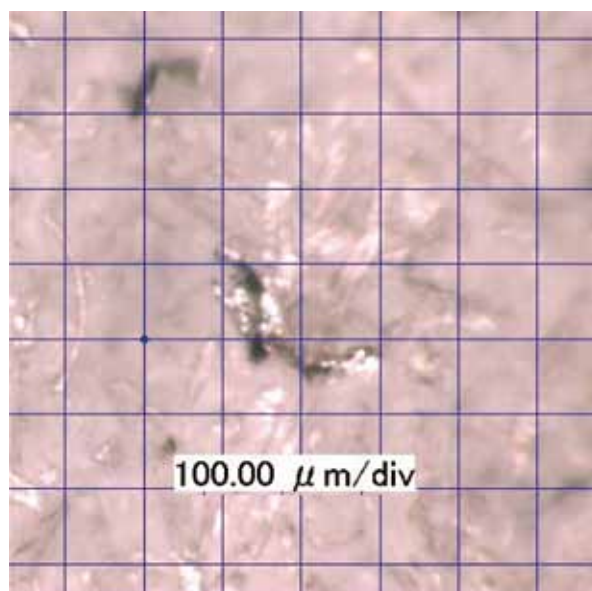


Figure12 ピストンロッド表面から捕集されたメッキバリ

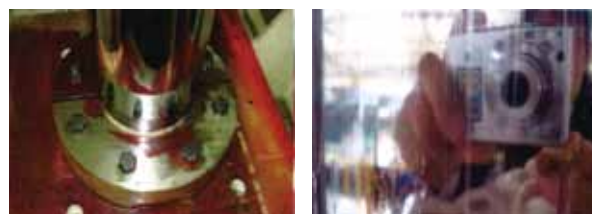


Figure13 鏡面状態にまで摩耗したピストンロッド表面

5-3)内部発生異物の影響回避

内部異物の影響を回避するには、その発生源を押さえることが重要である。それには研磨バリの発生防止やロッド表面の面粗度向上が重要なファクターであるが、前述のように油圧シリンダにおいては、アライメントや背圧の問題などにより発生源を押さえるだけでは十分な対策にならないケースも多々存在する。このような状況において、異物を捕獲し他への影響を最小限に抑えるようなシールシステムの開発も非常に有効であると思われる。

6. 油圧シリンダのメンテナンスとパッキン

油圧シリンダは様々な機械やプラントで使用されているが、メンテナンス期間の設備停止は顧客にとって大きな損失になるため、過去は多くの予備品を保有しメンテナンス期間の短縮がなされてきた。しかし、予備品のコストや管理を削減していく中で、メンテナンス期間の短縮要求が強まっている。

油圧シリンダのメンテナンスで主に行われることは消耗部品であるパッキンとブシュの交換であるが、油圧シリンダが機械に取り付いた状態で交換できることがベストであることは明確である。ロッドパッキンにVパッキンが使用されている場合は、機械から外すことなく、機上で増締めすることにより、外部漏れが改善されるといわれているが、実際には単純な増締めでは、複数枚装着されている全てのパッキンに締付力が伝達されないため全てのパッキンが均一に拡張せずその効果が短期間しか出せない場合も多い。スペーシングを使用すると改善されると思えるがシール全長が長くなるなどの欠点もある。

またピストンパッキンの交換はシリンダを分解する必要があるため、機上での交換はかなり無理がある。

シリンダを機械から取り外してメンテナンスを行う場合でも、ピストンロッドに取り付けられた先端金具がネジの腐食で外れない、あるいはネジの焼き付きで外れないことなど、分解時のトラブルも多い。先端金具が外れない状況ではロッドパッキンの交換も困難で、シリンダの構造によってはピストンパッキンも交換できなくなるケースもある。このような場合は、先端金具やピストンロッドの切断などの手段を用いる必要があり、部品の緊急製作とメンテナンス期間の延長につながり、非常に大きな問題となる。

Vパッキンの様にワンカットして装着できるパッキンはこのような場合、非常に有効であるが全てのシリンダをVパッキン仕様にすることは不可能である。

また、パッキン交換ができて、軸受け(ブシュ)を交換することが出来なければ、パッキン交換の効果は期待できなくなる。軸受けが2分割され、かつパッキンがワンカットされていれば先端金具を外すことなく交換でき、メンテナンス上、非常に都合が良いが構造的には難しいことは容易に想像できる。更にこのような2分割シールシステムが出来たとしても、既設のシリンダから使用済みのシールや軸受けが簡単に外せる構造も必要で、このような観点からシリンダを新たに作る時点で簡易メンテナンス構造のシリンダとして製作しておく必要がある。このようなシリンダの開発や顧客への浸透はシールメーカーとシリンダメーカーの協力の上で成立するものであり、今までのような専門的分業体制では実現できないと思われる。

また、本報で記述してきたシリンダの問題に対応できるシールシステム、例えば、①パッキンを含むフローティング軸受け構造 ②過大な背圧が付加されても緊迫力が大きく変化しないシールシステム ③メッキの摩耗粉を捕獲吸収する軸受けなどがあれば、シリンダのオーバーホールにその使用状態を判断して、より良いシールシステムを搭載したシリンダに改

造することも可能になり、顧客に取ってはメンテナンス周期が延長されそのメリットは大きい。

7. まとめ

油圧シリンダからみたパッキンや軸受けについて記述したが、判りづらい点も多いと思われるため参考としてFigure14にその内容をまとめたものを記載する。

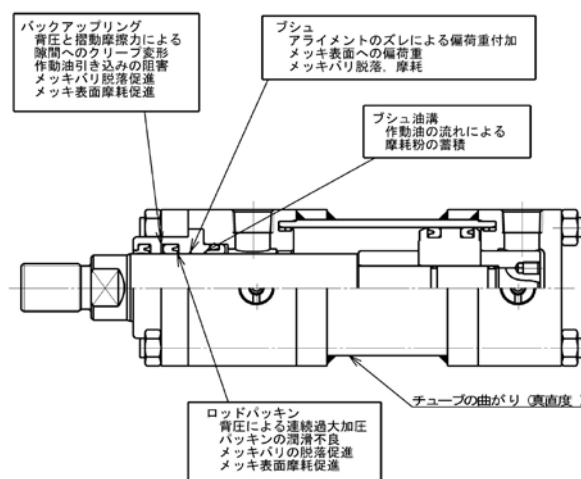


Figure14 まとめ

8. おわりに

油圧シリンダにおいてパッキンと軸受けは非常に重要な要素で、トラブルの多くがこの二つの要素に関係している。

パッキンに関してはパッキンメーカーで日々研究がなされ、より良いものが商品化されてくると思われる。しかし、軸受けに関してはシリンダメーカーの範疇がパッキンメーカーの範疇か判然としないところがあり開発のエアポケットになっているケースも多い。また、油圧回路との関係も定かで無いケースも多い。

新しい市場はもとより、メンテナンス市場が拡大していく中、油圧シリンダに要求される機能も変化してきている。

今後はメンテナンス性の良いシールシステムを搭載したシリンダや短期間メンテナンスに耐えられる信頼度の高いシールシステムの開発を積極的に進めて行く必要がある。そのためにも、油圧ユニットも含め、各専門メーカーが各々の情報を相互に提供して、エアポケットの無い開発を進めて行くことが重要であると改めて感じている。

最後に、まだまだ不十分ではありますが、改めてシールやシリンダに関する経験を整理し、意見を述べる機会をいただいたことに感謝致します。

9. 参考文献

- 1) TAIYO 油圧シリンダカタログ

(Abstract)

Requirements or specifications of hydraulic cylinder during MRO and at the time of plant establishment are different. Infinite variety of trouble occurred in the general industries due to this phenomenon. Accuracy of hydraulic cylinder of the general equipment for MRO and specifically designed equipment for newly established plant are different and this causes misalignment which in turn causes trouble. Troubles of hydraulic cylinder for general industries also occurred due to velocity adjustment by back pressure adjustment. This causes lack of lubrication of packing which in turn causes speedy abrasion or abrasion of rod surface and also generate contamination. These are the frequently occurred troubles of the hydraulic cylinder.

Keywords:

hydraulic cylinder, MRO, misalignment, back pressure adjustment, packing, speedy abrasion, generate contamination

(摘要)

成套设备的MRO所使用的液压机器的要求与制作新设备时不同，普通工业使用的油压缸本身用途很多，产生的问题也千差万别。液压缸的构造受制造工艺的影响与一般的机器精度不同，因此与机器对准会出现偏差导致问题的发生。另外，普通工业设备中的液压系统多数通过背压调节来限制速度，因此会由于密封圈的润滑不良导致早期磨损、活塞杆表面镀层的磨损加速以及引起污染物产生，这些也经常会成为液压缸故障的原因。

关键词:

MRO、油压缸、对准、背压调节、密封圈、早期磨损、污染物产生

**上田 利典**

(株)TAIYO 油圧機器本部 技術統括部