

Valqua Technology News

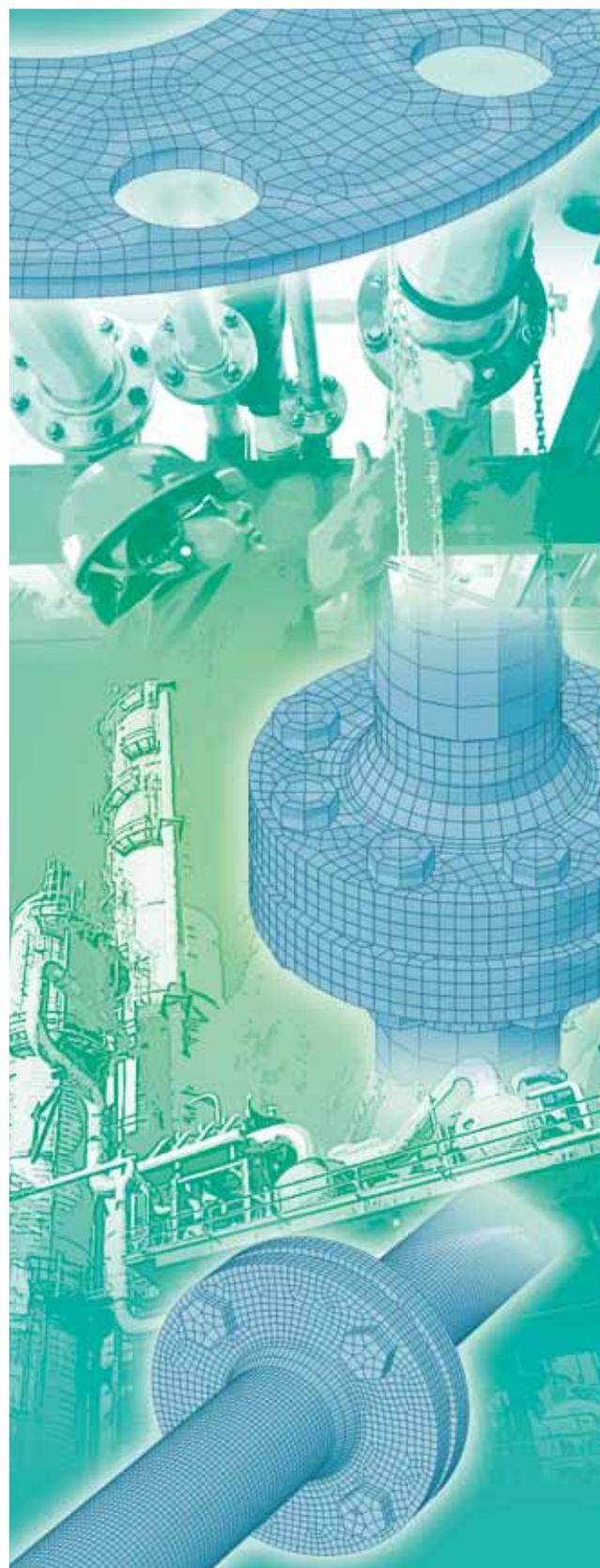
バルカー 技術誌

2016年 夏号

No.31 Summer 2016

【カスタマー・ソリューション特集】

- **ご挨拶** 1
常務執行役員 研究開発本部長
青木 陸郎
- **解説**
カスタマー・ソリューションと評価技術 2
研究開発本部 開発部 部長
池田 隆治
- **技術論文**
ガスケットの締付けトラブルとその対策 8
研究開発本部 開発部
藤原 隆寛
- **技術論文**
大口径グランドパッキンの装着トラブル事例と装着指針 12
研究開発本部 開発部
濱出 真人
- **技術論文**
高圧ガス、高揮発性液体によるプリスタートトラブルの原因と解決方法 17
研究開発本部 開発部
圖師 浩文
- **技術論文**
O-リングの転動トラブル要因と解決法 21
研究開発本部 開発部
西 亮輔
- **技術論文**
ライニング配管トラブル事例 26
研究開発本部 開発部 機能樹脂製品開発グループ 樹脂第1チーム
沓澤 義文
- **技術論文**
PTFE線膨張係数解説 29
研究開発本部 開発部 機能樹脂製品開発グループ 樹脂第3チーム
太田 伸幸
- **寄稿**
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 32
機TAIYO 油圧機器本部 技術統括部
上田 利典



日本バルカー工業株式会社

<http://www.valqua.co.jp>

ご挨拶



読者の皆さまには日頃から本誌をご愛読いただき、深く御礼申し上げます。

当社では、昨年度からスタートしました中期経営計画“NV・S7”の下に、「選択と集中」による更なる成長力の強化を図りながら、H&S 企業への飛躍を目指し、常にH&Sの視点^{*}に立脚しながら、お客さまにとって独創的な製品を迅速に提供させていただけるよう、技術開発の充実強化を図っております。

創業以来、当社は世界中のお客さまへシール製品の提供を行う中で、広範なシールエンジニアリングの知識とノウハウを蓄えてまいりました。現在は、高品質で多様な機能を備えたシール製品と共に、そのような当社が持つシールエンジニアリングの技術蓄積を、市場での様々な問題を解決するためのソリューションパッケージとして提供させていただくことで、お客さまにおける安心・安全の向上を追求する活動も展開しております。

今回のTechnology Newsは、市場でよく発生するお客さまからの技術課題、トラブル解決に対してのソリューション事例を、テーマとして取り上げた構成になっております。具体的には、「カスタマー・ソリューションと評価技術」「グランドパッキンにおける装着」「高圧環境下におけるブリスター」「Oリングの転動」「ライニング配管」をトピックスとして抽出すると共に、お客さまの視点から(株)TAIYO 上田利典様に「油圧シリンダに使用されるシールシステムの対応」というテーマで寄稿いただきました。読者の皆さまにおかれましては、本誌を通じて、皆さまが解決を必要としている問題に対して、当社が有効な技術ソリューションをご提供できる可能性を持つ企業であることに確信をいただきたいと存じます。

当社は、今後とも『THE VALQUA WAY』のもとに、「顧客感動の提供」の実現を目指し、HとSの両面においてお客さまにとってより付加価値の高いソリューションを提供するために、強固な技術開発活動を展開してまいります。

読者の皆さまにおかれましては、このような当社の技術開発活動にご期待いただきながら、当社製品とサービスを将来にわたりご愛顧いただけるようお願い申し上げます。

常務執行役員 研究開発本部長 青木 睦郎

^{*}『H&Sの視点』とは、H(ハード=製品)とS(シールエンジニアリング・サービス)を通じて顧客価値の最大化を図ることを指します。

解説:『カスタマー・ソリューションと評価技術』

1. はじめに

当社の基幹をなすシール製品、機能樹脂製品開発の歴史は、顧客ニーズに対するソリューション提案の歴史でもある。顧客におけるトラブル事例を観察し、その原因を評価、分析を重ねて、設計に反映する。そしてそのデータの積み上げの中から学習し、体系的にまとめる不断の取り組みがソリューションの源泉となっている。当社が顧客ニーズを理解するための手段の一つに技術相談がある。技術相談にはクレームも含まれているが、時代のニーズの鏡だと考え、貴重な財産となっている。一例として、日本高圧協会による漏洩に関する原因調査統計¹⁾と当社の技術相談の内容の分類をFigure1に示した。業界のニーズとよく一致していることが見て取れる。この内容をより詳細に分析すると、様々な課題を見出すことができるが、その考察は別の機会としたい。

ここではシール製品において、ソリューションの基となる当社の評価技術について紹介する。シール製品は主に静的



Figure1 漏洩原因調査統計例

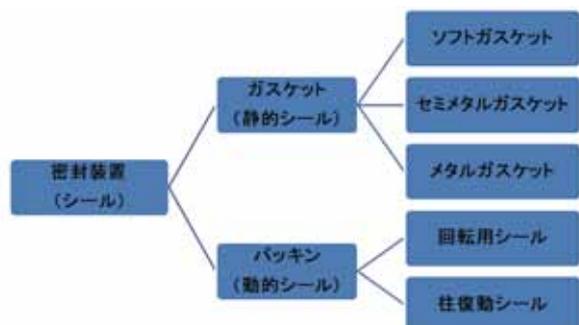


Figure2 シールの分類

シールとしてのガスケットと動的シールとしてのパッキンに分類され(Figure2)、それぞれについて主要な評価技術を解説する。現象の観察から始まる評価技術には、様々な要素技術を複合的に理解することが求められ、かつ用途も多岐にわたるので、製品に対する評価の考え方を中心に述べる。

2. ガスケット評価技術

ガスケットは配管などの接合面のシールであり、一般にフランジとボルトとガスケットの設計により構成される。ガスケットの種類により温度-圧力レート(Figure3)と、漏れ量(Figure4)

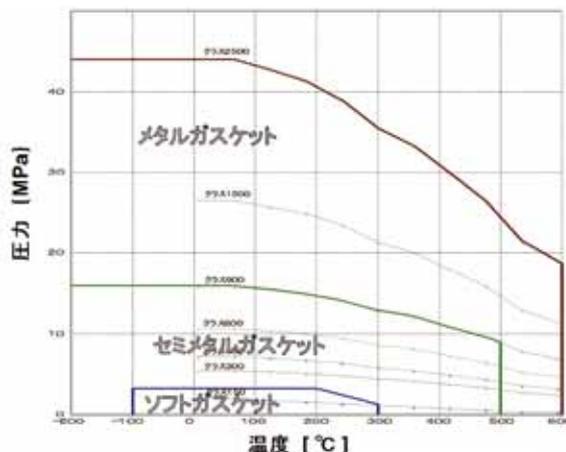


Figure3 ガスケットの種類と温度-圧力レート

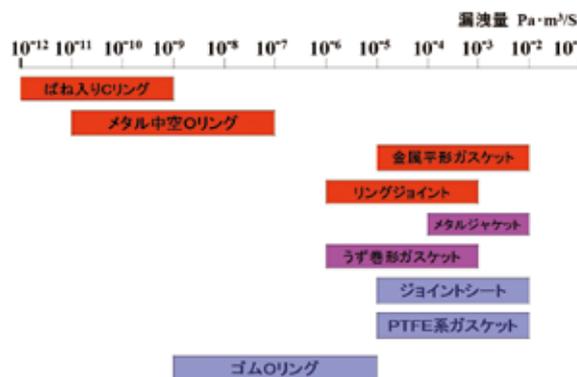


Figure4 ガスケットの種類と漏洩量

が目安として示されている。シール理論と設計についてはここでは割愛するので、成書²⁾及びシール講座³⁾を参照されたい。

いずれも十分に設計された定常状態を取り扱っているが、ここでは、非定常状態を評価する方法について記載する。もちろん、定常状態を理解して初めて非定常状態が認識されるので、定常状態を便宜的に『設計の範囲内で使用された場合』と定義する。一般に、ガスケットからの漏れは、フランジ面とガスケットの接面からの漏れとガスケット内部からの透過漏れの総和であり、許容漏れ量を設定した場合、ガスケットをフランジで締付けていく過程での「シール開始面圧」と、締付圧が緩和されていく過程での「密封限界ガスケット面圧」が特性として把握される(Figure5)。これは一般的に用いられる製品特性の評価である。使用温度、流体環境により、設定した使用期間の間にこの状態が維持出来れば、各要素を計算し安全率を載せて設計が完了する。問題は、材料が環境により経時変化することにより、設計時に想定した挙動から外れた場合に、過大な漏れとして現れることにある。

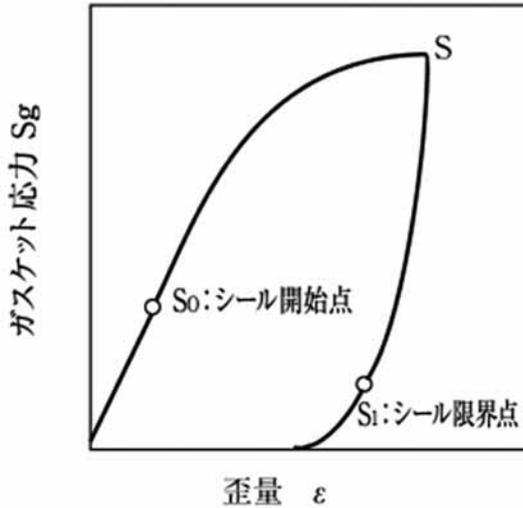


Figure5 ガスケット特性曲線

2-1) シートガスケットのシール性寿命評価

当社のガスケット寿命評価技術は、非石綿化に伴い実績の無い新製品の信頼性を調べるために発達してきた。シートガスケットのシール寿命とは、漏れ量が規定値を超えるに至る時間を推定することである。イレギュラー要因も寿命の一つと捉える事が出来る。その推定には、寿命に至る劣化要因の特定が求められる。

熱、酸化などにより生じる化学反応を伴う劣化速度は、Arrhenius則を適用することが可能であることが知られている(Figure6)。材料の熱分解以下の範囲で成立するこの式

Arrhenius 式

温度変動による反応速度の変化を表した近似式

$$\frac{d \ln k}{dt} = E / RT^2$$

$$\Rightarrow \ln k = -E / RT + \ln A$$

$$\Rightarrow k = A \exp(-E / RT)$$

- k 反応速度定数
- T 温度
- E 活性化エネルギー
- R 気体定数
- A 頻度因子

使用温度と寿命の関係

反応速度 $r_d = -dC_A / dt$
 反応速度式 $r = kC_A^n C_B^m \dots$

劣化反応が一次反応とすると
 $r = dC_A / dt = -kC_A$
 $\Rightarrow \ln C_A - \ln C_{A0} = -kt$
 濃度 C_A に対応した特性値を P とすると
 $\ln P - \ln P_0 = -kt$
 寿命にいたる時間を t_e 、
 限界特性値を P_e とすると
 $\ln P_e - \ln P_0 = -kt_e$

Arrhenius式を導入し展開すると

$$\ln t_e = A + E / RT$$

Figure6 Arrhenius則

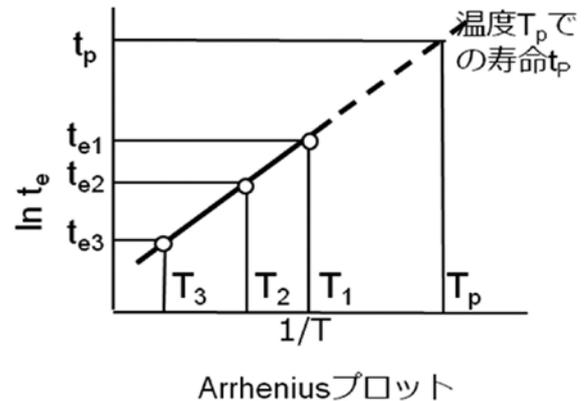


Figure7 Arrheniusプロットによる寿命推定

は、劣化促進試験結果から、常用温度における寿命を外挿で求める方法である(Figure7)。使用環境から想定される劣化要因での環境下で条件を変えて測定するのだが、その評価に用いる特性値は、シールの材料構成やシールに求められる特性を考慮する必要がある。実際のガスケットは複合材料や複合構成体となっている場合が多いので、実機評価の結果と整合する劣化の支配因子を特定していく評価となる。複雑な構成体の評価の一例として、うず巻形ガスケットの酸化劣化評価を、酸素の透過と充填材の酸化劣化が逐次反応で起こり、シール限界がどの時点で起こるのかを明らかにしたことなどが挙げられる。⁴⁾

劣化が無い場合でも、温度などの影響による製品の寸法変化や弾性率の変化も、シール面圧の変化として漏れ量に影響する。ボルトによる締結下では、ガスケットの厚さが薄くなると、また弾性が低下するとシール面圧が低下する。ガスケットの物性の評価については、エラストマーガスケットの項で解説する。

ガスケット表面とフランジ表面との「なじみ」の評価も重要な因子の一つである。「なじんでいる」とは、フランジの表面粗さ

やうねりの隙間をガスケット材料で埋めて吸収できた状態を指す。「なじみ」が最も問題となるメタルシールの評価例としては、衝撃落下時のシール性評価を報告している。

これまで述べてきたように、シール寿命に及ぼす因子は多岐にわたるが、それらと実機試験での結果を比較分析し、寿命に及ぼす影響を解析するなどの多くの蓄積が求められる。これらを総合的に可視化した評価がFEA (FINITE ELEMENT ANALYSIS)である。FEAは構造物に外力が加わって変形する場合にどのような応力や変形が生じるのかを解析する手法の一つである。弾性材料には一般的に用いられる手法だが、粘弾性体に適用した事例は稀であった。そこで数年にわたり解析手法の開発を行い、ガスケットへの適用技術を構築した。FEAの導入により、解析精度が向上し、複雑な因子が可視化できるので顧客の理解も飛躍的に得られるようになった。ガスケット締結体のFEA解析例をFigure8に示す。

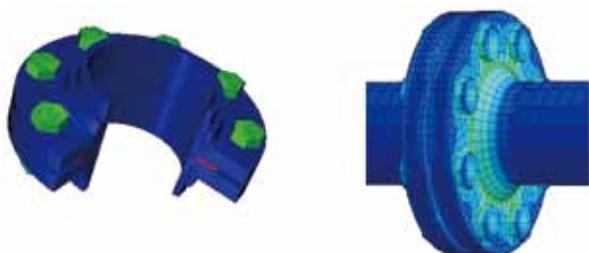


Figure8 締結体のFEA解析例

こうした評価の蓄積により、何がイレギュラーとなる可能性があるのかを分析することになる。実使用においては、流体の脈動、圧力変化、配管内挙動によりフランジ面間を広げる力が働いたり、配管の温度変化による膨張、収縮なども起こり得る。表面的に現れる寿命が、どのような要因によるものなのかを、データに基づき推定し、解決策を顧客と共に導き出すことが重要となる。

2-2) エラストマーガスケットのシール寿命評価

エラストマーガスケットは、簡便に広範囲に用いられるシールであり、その最も標準的な形状はOリングである。

Oリングの一般的な寿命評価は、圧縮永久ひずみである。圧縮永久ひずみとは、一定のすき間で圧縮されたOリングを、様々な雰囲気下で放置した後に、すき間以上に回復する弾性を保っているかどうかの指標となる。全く回復しない場合は100%ひずみとし、完全回復すれば0%の永久ひずみとなる。Oリングを25%圧縮して使用する設計が一般的に用いられており、使用環境にもよるが、永久ひずみ80%となる時点が寿命の目安となる。

エラストマーは高分子を架橋することによりゴム弾性を発現させているので、圧縮永久ひずみとは、その材料の弾性変形と塑性変形の総和と理解される。エラストマー材料の弾性領域の評価には、動的粘弾性測定を用いている。測定例をFigure9に示す。この測定により微小変形領域における貯蔵弾性率と損失弾性率の温度依存性を理解することが出来る。変位量と周波数を変動させると、温度—時間重ね合わせの定理を適用することでマスターカーブを得ることも可能である。シールとして用いられる温度域は、その材料の弾性領域であり、そこから外れた場合にはシール性能は極端に悪化する。特に、低温域での適用には注意が必要⁵⁾であり、TR試験(：Temperature Retraction Test：ASTM D1329)などの評価を併用することにより、その温度域でシールに必要な弾性が保たれているかどうかを確認している。

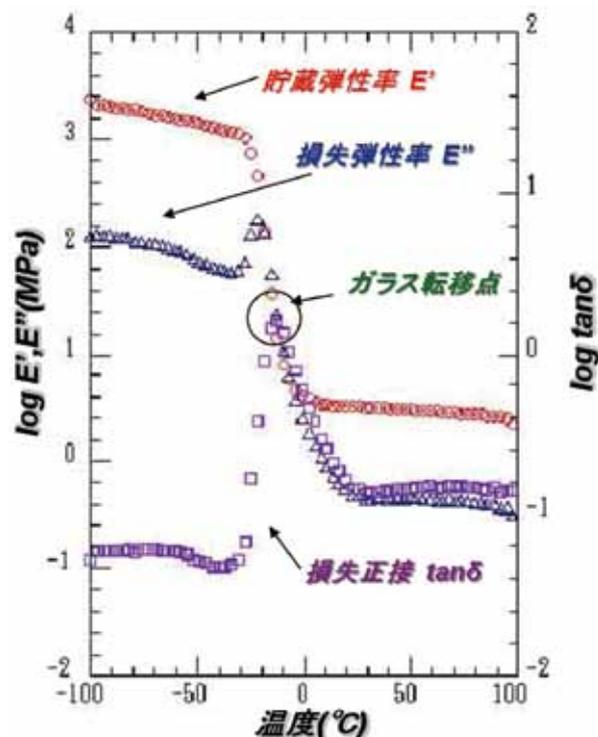


Figure9 動的粘弾性測定例

エラストマー材料のガスケットとしての寿命に至る劣化要因が何であるか、を特定することが評価の主眼となる。シートガスケットの項で述べた内容と同様に、化学反応を伴う劣化の場合にはArrhenius則を適用することが可能である。シールとしての性能は、エラストマーを構成するポリマーの劣化と架橋部位の劣化に支配されるので、その把握が重要となる。エラストマーの場合には、温度と流体の複合劣化となる場合が多いので、流体への浸漬試験と熱劣化試験を行うことにより、どの因子が寿命を支配しているのかを特定することが一般

的評価となる。

半導体DRYプロセス向けエラストマーガスケットの場合には、ラジカルによる攻撃を受けることにより、永久ひずみの寿命以前にシール寿命に至る場合が多いので、ラジカルの照射評価を行っている(Figure10)。照射による材料の重量減少、パーティクル発生量、シール性への影響を評価している。⁶⁾照射方法にノウハウがあり、顧客からの信頼もいただいている。

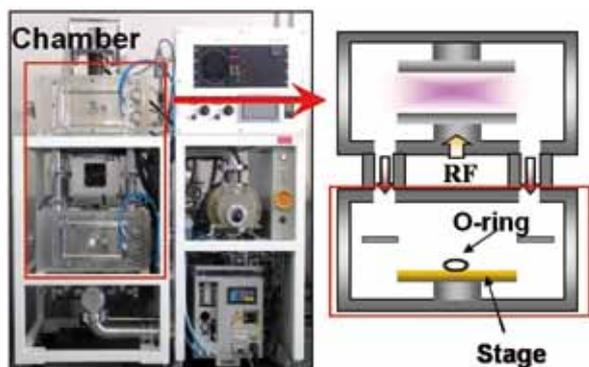


Figure10 ラジカル照射装置例

エラストマーシール特有の現象としては、溝へのシール装着時のねじれ、繰り返し使用時の固着や転動、膨潤・収縮による寸法変化などもあり、使用環境に合わせた評価を行っている。シートガスケットの項でも述べたが、材料特性と劣化挙動など様々な材料挙動を考慮したとしてはFEAが有効である。そのデータにより、材料の最適化だけでなく、シール形状の開発や溝設計の最適化を含めたトータルソリューション提案へとつなげている。FEAを用いた形状設計の例として、はみ出し防止設計の解析例をFigure11に示した。

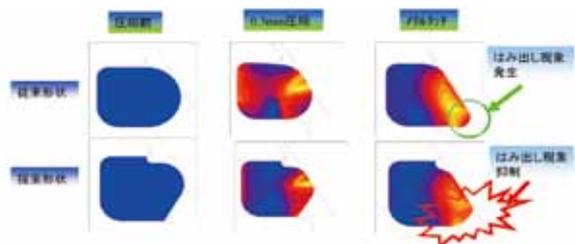


Figure11 FEA解析を用いた形状設計例

3. パッキン（動的シール）の評価技術

パッキンには、一般にエラストマー系複合材料や、グランドパッキンなどの繊維編組体に固体潤滑剤複合材料が用いられるが、ここではエラストマー系材料に絞って説明する。

パッキンは、ガスケットと比較してシール性能に影響する因子が多く、解析はより複雑となる。摺動が加わることにより、

摩擦摩耗、潤滑作用、振動や衝撃の吸収、及び二次的に発生する摺動発熱などを考慮することとなる。各因子の基礎評価がソリューションへの基となる。⁷⁾

材料の摩擦摩耗特性評価には、すべり摩耗とアブレーション摩耗の評価があり、それぞれの試験機を揃えている。使用後のパッキンの状態例をFigure12に示す。使用後の表面状態によりどの形態の摩耗となっているのかを評価する。エラストマー及び樹脂材料の摩擦摩耗については、以前に特集しているので参照されたい。⁸⁾



Figure12 使用後パッキン鏡面のしゅう動痕観察例

パッキンにおいては、材料特性の他に形状設計が重要な要素となる。一般に潤滑状態は、Stribeck曲線(Figure13)を示し、摺動速度と流体の粘性から、境界潤滑、混合潤滑、流体潤滑の形態を推移する。形状設計により如何に潤滑状態を制御するかがポイントとなる場合が多い。⁹⁾流体潤滑においては逆問題¹⁰⁾が提出され、設計が大幅に進化してきた。シール寿命は、起動時などに起こる境界潤滑から混合潤滑での性能に左右され、実機を模した装置で評価し、結果を解析することになる。

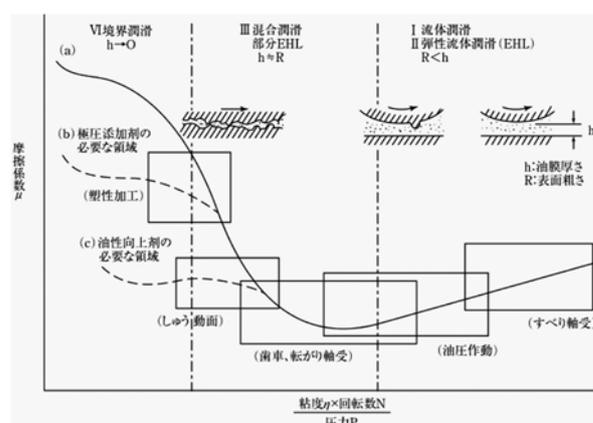


Figure13 Stribeck曲線⁹⁾

評価後のパッキンに起こる現象としては、はみ出し、破損・クラック、摩耗、劣化、変形、かじり付きなどとして現れ、作動中には漏れ、鳴きなどとして現れる、それぞれに対して原因と対策をたてることになる¹¹⁾。ここでもFEAによる解析が有効に用いられている。パッキンのFEA解析例をFigure14、15に示した。

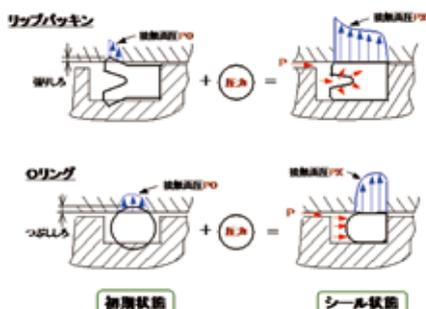


Figure14 パッキンの接触面圧分布解析例

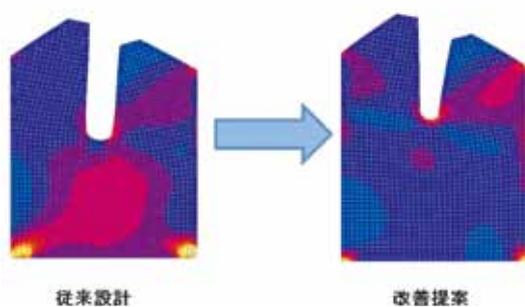


Figure15 FEAを用いたパッキン設計例

4. おわりに

今回は材料の分析・評価技術については割愛したが、別の機会に紹介したい。

現象を観察し、原因を体系化する過程で、様々な開発のヒントが発見される。体系化を支える開発、体系の前提を変

える開発など、技術者の感性が問われているといえよう。こうした取り組みに挑戦している技術者こそが当社の財産であると考えている。その目的は、時代に適合した顧客ニーズに向き合うことであり、現在は製品開発のみならず、ソフトを組み合わせたソリューションの提案に取り組んでいる。当社の技術が読者諸兄の一助になれば幸いである。

5. 参考文献

- 1) 高压ガス保安協会統計資料
- 2) 西田 隆仁：現代ガスケット概論
- 3) 「シール講座」, バルカーレビュー, Vol.30 - 31(1986-1987)
- 4) 西田 隆仁, 朝比奈 稔, 山中 幸：バルカーレビュー, Vol.40, No.12, 1(1996)
- 5) 川村 敏雄, 金山 信之, 原島 登：バルカーレビュー, Vol.23, No.12, 1(1979)
- 6) 大住 直樹：バルカー技術誌, No.30, 30(2016)
- 7) 赤井 英夫：バルカーレビュー, Vol.31, No.11, 1(1987)
- 8) 内山 吉隆：バルカーレビュー, Vol.32, No.6, 1 & No.12, 1(1988)
- 9) 似内 昭夫：バルカーレビュー, Vol.44, No.7, 1(2000)
- 10) 平野 富士夫, 兼田 禎宏：潤滑, Vol.16, No.1, 69(1971)
- 11) 山下 純一：バルカー技術誌, No.30, 3(2016)

(Abstract)

Seal products that form our backbone, feature the history of the resin product development is also the history of the solutions proposed to customer needs. Failure samples of customers are observed, evaluations are carried out to find the reason, these efforts are reflected in our product design, learn from the accumulated data, tireless efforts to bring together in a systematic manner has become a source of solutions.

Evaluation technology of our company of seal product is introduced. Major evaluation techniques for gasket as a static seal and for packing as a dynamic seal are introduced. Service life evaluation of our product is also discussed.

Keywords:

evaluation technology, gasket, packing, service life

(摘要)

密封件和机能树脂作为本公司的主打产品，其开发的历史即针对顾客需求提出解决方案的历史。对顾客方产生的故障案例进行观察，并对其原因进行分析与评价，再反映到设计中。而在数据的积累中不断学习，系统的归纳总结及不断的努力是解决方案的源泉。

在此将对本公司的评价技术进行介绍，它是密封件产品解决方案的根据。主要以静态密封件垫片及动态密封密封圈的主要评价技术以及产品的寿命评价为中心进行解说。

关键词：

评价技术、垫片、密封圈、寿命



池田 隆治 博士(工学)

研究開発本部
開発部 部長

ガスケットの締付けトラブルとその対策

1. はじめに

現在、プラントの配管などの締結作業者の世代交代により締付け技能者の不足が懸念されている。

プラントにおけるガスケットのトラブルは多々あるが、施工不良によるものが全体の約2/3を占めるとの調査がある。施工不良によるトラブルは大きく以下の3点に大別することができる。

- ・締付け不足
- ・過剰締付け
- ・片締め

本報ではそれぞれのトラブルと対策について紹介する。

2. 施工不良によるトラブルの紹介

2-1) 締付け不足

締付け不足によるトラブルとしては、締付け直後に起こる初期漏れが挙げられる。それ以外に初期締付け時には漏れが発生していなくてもクリーブ緩和による締付面圧低下により運転中に漏れる場合も事例として挙げられる。また、漏れという状態ではなく締付面圧の低下によってフランジとガスケット間の摩擦力が低下し、内圧によってガスケットが押し出され、Figure1のように全周もしくは製品の一部分が変形・破断し漏れに至る事例もある。

2-2) 過剰締付け

過剰締付けによるトラブルとしては、主にガスケットの圧縮破壊(圧壊)が挙げられる。

圧壊によりFigure2¹⁾のような多数の周状の亀裂が生じ、締付面圧が低下することにより漏れに至る。

2-3) 片締め

片締めによるトラブルは、ガスケットに部分的な「締付け不足」、「過剰締付け」もしくは両方ある状態であり、上記の現象

(変形・破損、圧壊など)がFigure3のように製品の一部分的に生じる事例で、最もよくみられる現象である。



Figure1 締付け不足による変形



Figure2 過剰締付けによる圧壊¹⁾



Figure3 片締めによる変形

2-4) クリーブ緩和による漏れの発生メカニズム

2-1)でトラブルが起きる原因の一つとしてガスケットのクリーブ緩和の話挙げた。

ガスケットはクリーブ緩和によって締付面圧がFigure4のよ

うに徐々に低下する。

通常、ガスケットは締付力を負荷すると時間経過とともにクリープによって締付面圧が低下していき、Figure4のように気密限界面圧を下回ると漏れが発生する。締付け不足があると想定よりも早期に漏れが発生するため、初期の締付力を十分に確保することにより、漏れが発生する気密限界面圧に至るまでの時間を遅らせることができる。

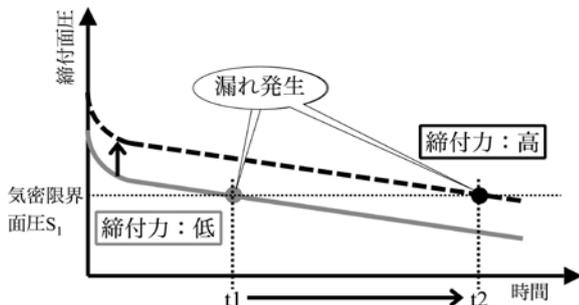


Figure4 クリープ緩和による締付面圧の低下

一方、ガスケットからのアプローチとして気密限界面圧の低い(=漏れにくい)ガスケットを使用することも効果的である。例えば、ジョイントシートガスケットとふっ素樹脂シートガスケットを比べた場合、ジョイントシートガスケットの方が気密限界面圧は高いため、少しでも面圧低下が起これば漏れが発生する。一方、ふっ素樹脂シートガスケットは気密限界面圧が低いため、多少面圧低下が起きたとしても漏れは発生しにくい。ただし、ふっ素樹脂シートガスケットはジョイントシートガスケットよりもクリープ緩和が大きいので、ガスケットの特性(シール性能の優劣、クリープ緩和の大小など)を考慮した上で、総合的に選定することが重要となる。

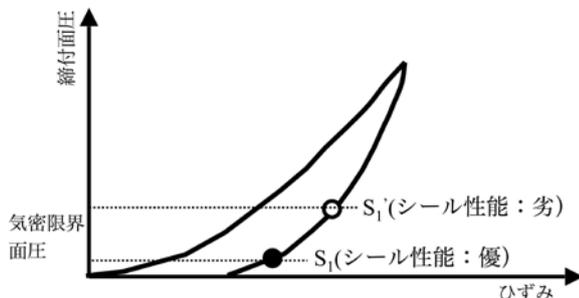


Figure5 気密限界点(S₁)とシール性の関係

3. トラブルの発生原因とその対策

3-1) 締付け不足

締付け不足が生じる原因と対策方法をTable1に示す。
例えば厳密な締付け管理がなされていない場合になぜ問

題になるかという、熟練技能者による締付けと新人による締付けではその結果に差が見られるからで、その差を埋めるためにトルクレンチなどの道具を使用することが考えられる。

また、フランジ面間が離れている場合、ボルト軸力がフランジを引き寄せる力に使われてしまい、ボルト軸力がガスケット締付力として伝達されにくくなるため、十分な締付力が得られずに漏れることがある。そのため、フランジ面間の是正が必要となる。

Table1 締付け不足の原因と対策方法

締付け不足の原因	対策方法
厳密な締付力管理(トルク管理、軸力管理等)がなされていない	・トルクレンチなどを用いてトルクを管理
適切な工具の不使用	・トルクレンチの使用 ・締付力に応じた長さのレンチの使用
ボルトの摩擦(錆や潤滑剤の不使用)	・錆の除去 ・潤滑剤の塗布
ボルトの強度不足(塑性変形の発生)	・高強度ボルトの使用
フランジ面間が離れている	・フランジ面間の是正(ASME PCC-1 ²⁾ ではガスケット厚さの2倍までとしている)

3-2) 過剰締付け

過剰締付けが生じる原因と対策方法をTable2に示す。

摩擦係数の小さい素材を使用する場合、フランジとの摩擦係数が小さく滑りやすくなるため、より圧壊しやすくなるため注意を要する。ジョイントシートガスケットのような一般的なガスケットよりも膨張黒鉛シートやふっ素樹脂ジャケットガスケットなどの摩擦係数が低い素材を用いたガスケットで発生しやすい。

Table2 過剰締付けの原因と対策方法

過剰締付けの原因	対策方法
締付け管理がなされていない	・トルクレンチなどを用いてトルクを管理
摩擦係数の小さい素材(膨張黒鉛、ふっ素樹脂ジャケットなど)の使用	・トルク管理の実施
ペーストの過剰塗布	・塗布量の管理(ペーストの厚みは数十μmで十分)
フランジの表面粗さが合っていない	・使用するガスケットの最適な粗さに仕上げる(Table3, 4)

また、ペーストの過剰塗布やフランジの表面粗さが細かすぎる場合、フランジとガスケットとの摩擦力が小さくなり圧縮破壊を起こす可能性もあり、ペースト塗布量の管理やフランジメンテナンス時の過剰な磨きに注意が必要である。ガスケットの当たり面を現場で修正する場合は、Table3を目安とし、手仕上げによる。手仕上げによる修正が不可のものについては、Table4を参考にして機械加工により修正する³⁾。

Table3 手仕上げの目安³⁾

ガスケットの種類	仕上げの目安
ジョイントシート うず巻形ガスケット またはPTFEガスケット	中目のヤスリ仕上げ
平形金属被覆ガスケット	中目のサンドペーパー仕上げ
リングジョイント	細かいサンドペーパー及び コンパウンド磨き仕上げ

Table4 フランジのガスケット接触部の表面粗さ³⁾

名称	表面粗さの呼び値 (Ra)	
	水系流体 油系流体	ガス系流体
ゴムシートガスケット 布入りゴムシートガスケット	12.5	
ジョイントシートガスケット	6.3	3.2
PTFEソリッドガスケット		
PTFE被覆ガスケット		
膨張黒鉛シートガスケット		
うず巻形ガスケット	1.6	
リングジョイントガスケット	1.6	

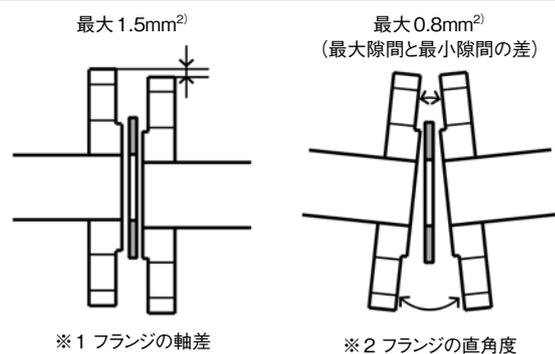
3-3) 片締め

片締めが生じる原因と対策方法を Table5 に示す。

このトラブルも熟練技能者と新人で差が出るが、締付け方法や手順で解消できる。締付けの際には、フランジの状態は ASME PCC-1 に、締付けは JIS B2251 に準拠することで、効率かつ適正に締付けができる。ぜひ参考にしてください。

Table5 片締めの原因と対策方法

片締めの原因	対策方法
最初から大きな締付力で締付ける	・ JIS B2251 ⁴⁾ に準拠 (対角かつ段階的な締付け)
ボルトの締め忘れ 弾性相互作用による緩み	・ JIS B2251 ⁴⁾ に準拠 (周回で複数回の締付け)
狭所や無理な体勢での締付け	・ 無理なく力をかけられる作業環境 を確保
ボルトの不統一 (無潤滑ボルトや低強度ボルトの 混在)	・ 事前にボルトをチェック
フランジの軸差 ^{*1} 、直角度 ^{*2}	・ フランジの是正 (ASME PCC-1 ²⁾ では 軸差：最大 1.5mm 直角度：最大 0.8mm としている)



4. まとめ

本報にて施工不良によるトラブルの紹介とその対策を紹介した。

配管施工時には以下の項目に注意して締付けることによりトラブルを起こさず、長年に健全にガスケットを使用することができる。

- 配管アライメント(直角度、軸差、面間)に注意する。
(ASME PCC-1を参考)
- ボルトは適正な強度のものを使用、錆を落とし、潤滑剤を塗布する。
- 締付けるのに適切な工具を選定する。
- 適切な締付け方法 (JIS B2251) で締付ける。
- ペースト塗布量や滑りやすい環境にならないように注意する。

また、締付けの際には締付け不足、過剰締付けにならないよう当社ガスケットの推奨締付面圧で締付けて頂くよう推奨する。参考として、当社ガスケットの推奨締付面圧の一覧を Table6 に示す。

Table6 推奨締付面圧 単位: MPa

ガスケット	液体系	ガス系
ジョイントシートガスケット	25.5	40.0
高性能シートガスケット	25.5	35.0
ふっ素樹脂シートガスケット	10.0	15.0
充填材入りふっ素樹脂シートガスケット	20.0	24.5
ふっ素樹脂ジャケットガスケット		
N7030シリーズ	15.0	20.0
N7031シリーズ	20.0	24.5
N7035シリーズ	15.0	20.0
膨張黒鉛シート		
膨張黒鉛	26.0	40.0
膨張黒鉛+SUS鋼板	30.0	40.0
うず巻形ガスケット		
6590シリーズ	35.0	50.0
7590シリーズ	35.0	35.0
8590シリーズ	35.0	70.0
M596シリーズ	35.0	70.0

5. 参考文献

- 1) 西田 隆仁：現代ガスケット概論. 84 (2015)
- 2) ASME PCC-1, Guidelines for Pressure Boundary Bolted Flange Joint Assembly (2010)
- 3) JPI-8R-15, フランジ・ボルト締付管理 (2013)
- 4) JIS B2251, フランジ継手締付け方法 (2008)

(Abstract)

Recently, leak accidents which are occurring due to lack of skilled flange tightening operators are becoming major concern for plant owners. This report explains the leak mechanism which is caused by insufficient tightening, over tightening and uneven tightening. ASME PCC-1 and JIS B2251 are introduced as a solution of the leak trouble.

Keywords:

insufficient tightening, over tightening, uneven tightening, ASME PCC-1, JIS B2251

(摘要)

由于法兰紧固人员的换代，紧固技术下降可能引发泄漏。

本文中说明了施工故障中因紧固不足、紧固过度、紧固不均而引发泄漏的机理，并且作为对策介绍了ASME PCC-1和JIS B2251。

关键词:

紧固不足、紧固过度、紧固不均、ASME PCC-1、JIS B2251



藤原 隆寛
研究開発本部 開発部

大口径グランドパッキンの装着トラブル事例と装着指針

1. はじめに

グランドパッキン(Gland Packing)とは、スタフティングボックス(Stuffing Box)の中に装着し、パッキン押さえ(Gland)で押さえつけることで軸(Stem)に対する緊迫力を高め、内部流体をシールさせるパッキンの総称を言う。Figure1に模式図を示す。

また、このパッキンは別名単純圧縮パッキン(Simple Compression Packing)とも呼ばれるが、その構造が単純で価格も安いことから、昔からいろいろな機器の軸封材として幅広く用いられている。

グランドパッキンに要求される目標性能は、実に多種多様なものがあるが、それに伴いこの種のパッキンは、数多くの材料がいろいろな形態で作られている。

その中でも編組パッキン(Braided Packing)は最もポピュラーな形態のグランドパッキンであって、各種の繊維糸を編組して作られるため、成形パッキンなどと比較すると空隙が多いという特徴がある。¹⁾

さて、軸封部からの漏れを防止するためには、グランドパッキンをスタフティングボックスに隙間のないように装着しなければならない。密度の低い編組パッキンを隙間なく装着するためには、スタフティングボックスの内径周長と軸周長を平均した長

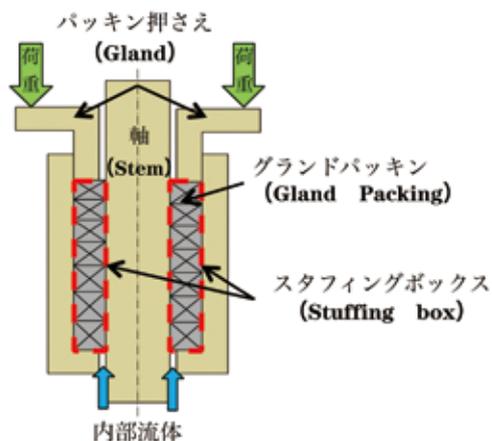


Figure1 グランドパッキン装着周辺部模式図

さよりも長いグランドパッキンを装着し、密度を高める必要があるため、装着が難しいという問題がある。大口径グランドパッキンのトラブルはグランドパッキンの装着ミスに起因するものが多い。本報ではまずトラブル事例について紹介した後、その対策となるグランドパッキンの装着指針について説明する。

2. トラブル事例

2-1)トラブル事例 「グランドパッキンの長さ不足」

●事象

運転開始から徐々にスラリーが溢れる状況で、限界まで増締めしても漏洩が止まらなかった。

●使用条件

使用機器 : 低速回転機器
グランドパッキン : No.8132 25mm角

●原因分析

装着されていたグランドパッキンを取り外し、長さを測定したところ、グランドパッキンの長さが当社推奨長さに足りなかった(Table1)。

Table1 装着されていたグランドパッキンの長さ測定結果

サンプルNo.	長さ(cm)	不足長さ(cm)
当社推奨長さ	250	—
1	235	-15
2	235	-15
3	221	-29
4	235	-15
5	234	-16
6	233	-17
7	235	-15
8	231	-19
9	237	-13
10	230	-20

通常はスタフティングボックスの内径周長と軸周長を平均した長さの3~5%長いグランドパッキンを入れることを推奨しているが、端から順に入れていった場合、Figure8のようにグランドパッキンが余ってしまい入れることが困難である。入れら

れず余った部分を切って装着したため、パッキンの長さが足りずリークパスが出来たことで、漏洩が起こったと考えられる。

パッキンの長さは推奨する長さよりも全て短く切断されており、長さもバラバラで最大29cmも短かった(Figure2)。



Figure2 装着されていたグランドパッキン(1)

このような事象を予防するために「3. グランドパッキン装着指針」に従って作業することを推奨する。

2-2)トラブル事例

「グランドパッキンの装着ミス及び締付け不足」

●事象

漏洩が起こったため増締めを行ったが止まらなかった。グランドパッキンを取り外して確認したところ、Figure3のように折れ重なったり、ボロボロになっていた。

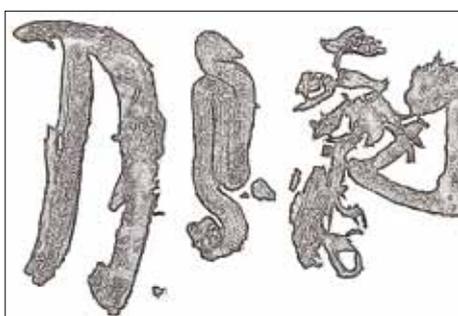


Figure3 装着されていたグランドパッキン(2)

●原因分析

取り外したグランドパッキンの状態から、次のような原因で漏洩が発生した可能性が考えられる。

- ①装着の際、グランドパッキンが奥まで押し込まれず、締付けも不十分だとグランドパッキン同士の上にFigure4のように隙間ができる。

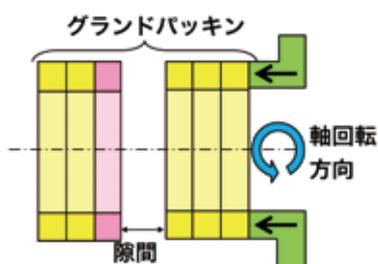


Figure4 押し込み不足による隙間

- ②軸の回転によりグランドパッキンの一部が隙間へはみ出し、Figure5のような状態になる。

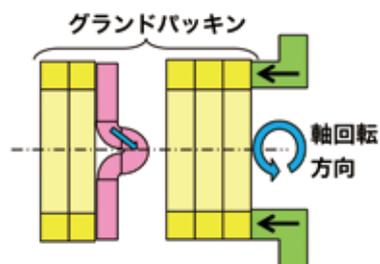


Figure5 軸の回転による隙間へのはみ出し(1)

- ③軸の回転によりはみ出しがさらに引きずり出されFigure6のような状態になる。

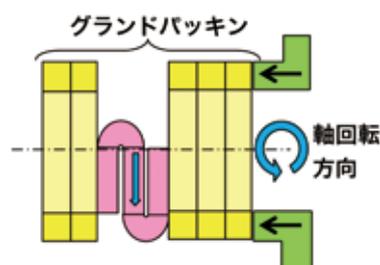


Figure6 軸の回転による隙間へのはみ出し(2)

- ④同じ現象が連鎖して起こり、グランドパッキンの突き合わせ部分が開きFigure7のような状態となり、リークパスが出来ること漏洩が発生する。

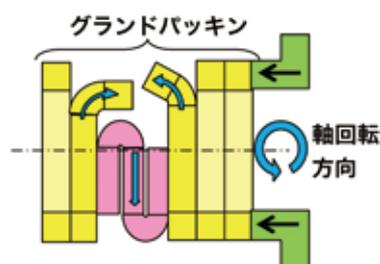


Figure7 軸の回転による隙間へのはみ出し(3)

このような事象を予防するために「3. グランドパッキン装着指針」の「3-4)グランドパッキンの挿入」に従って作業することを推奨する。

3. グランドパッキン装着指針

ここでは編組パッキンの当社装着指針について紹介する。

3-1)グランドパッキン長さの設定

スタフイングボックスの内径周長と軸周長を平均した長さよ

りも3~5%長いグランドパッキンを入れる。推奨するパッキンの長さの計算式を下記に示す。

L : パッキン1リング当たりの長さ (mm)

d : 軸径 (mm)

D : スタッフィングボックス内径 (mm)

$$L = \frac{(d + D)}{2} \times \pi \times (1.03 \sim 1.05)$$

推奨パッキン長さ計算式

3-2) 装着時の注意点

ここでは、わかりやすいようスタッフィングボックスの代わりにフランジの溝を用いて装着方法を紹介します。

●注意点1

膨張黒鉛以外の編組パッキンの場合、切断部の一方から順にスタッフィングボックスにパッキンを挿入すると、Figure8のようにパッキンがスタッフィングボックスへ収まらない場合がある。このため、Figure10のように切断部を突き合わせ最初に挿入する必要がある。

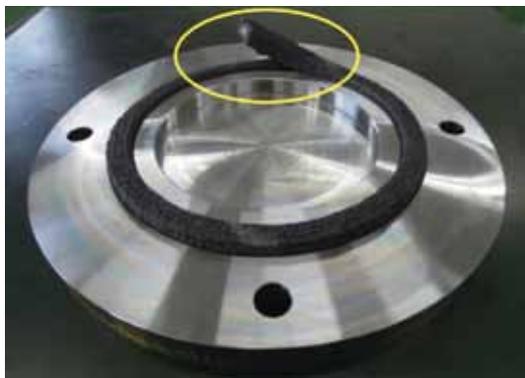


Figure8 装着失敗例

●注意点2

パッキンが太くスタッフィングボックスに挿入出来ない場合、スタッフィングボックスの幅よりも少し小さくなるように丸棒などで



Figure9 ロール掛け

ロール掛けすると挿入しやすくなる。

3-3) 装着手順

①切断部を突き合わせて、切断面からスタッフィングボックスに挿入する。

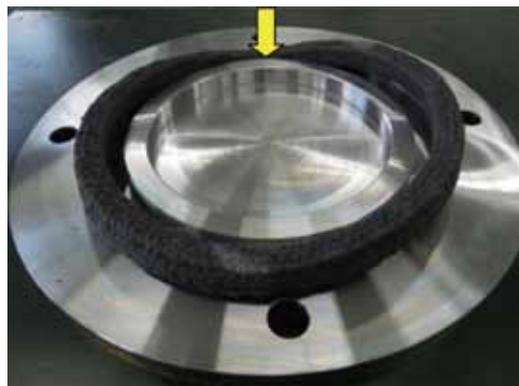


Figure10 装着手順①

②切断面と対象位置をスタッフィングボックスに挿入する。



Figure11 装着手順②

③装着した部分から90°の位置(2箇所)を均一にスタッフィングボックスへ挿入する。

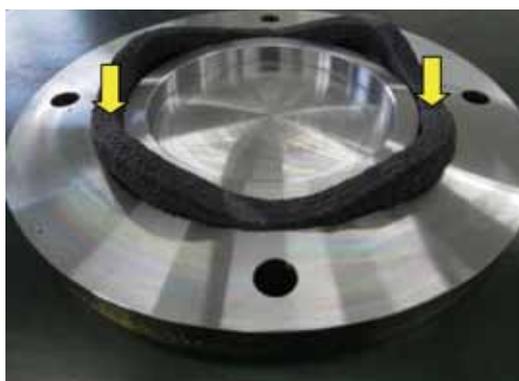


Figure12 装着手順③

- ④挿入されていない部分も均一にスタフイングボックスへ挿入する。

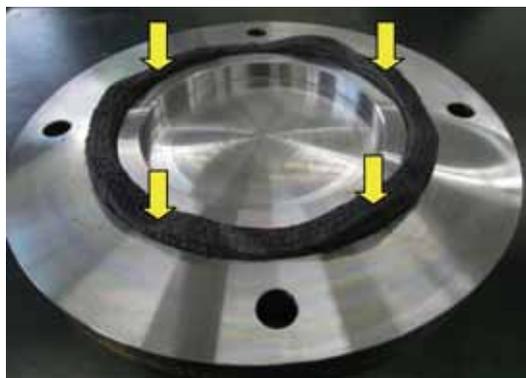


Figure13 装着手順④

- ⑤グラッドパッキンに凸凹がないか確認し、装着完了。

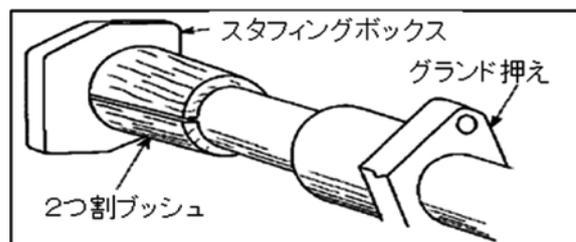


Figure14 装着手順⑤

3-4) グラッドパッキンの挿入

通常スタフイングボックスは複数のグラッドパッキンを装着できるように深く設計されているため、パッキンを奥まで挿入し辛

い。グラッド押え、2つ割りブッシュ、ダンパーなどを用いて1リングずつ確実にスタフイングボックスの奥まで挿入する。

Figure15 グラッドパッキン挿入治具²⁾

4. おわりに

グラッドパッキンはバルブ、回転ポンプ、回転機器などに古くから使われている重要な部材であるが、装着ミスによる漏洩のトラブル事例については枚挙に暇がない。適正な装着方法が周知されないまま使用されていたり、知っていても現場での時間的制約のため実行できないなどの実状がある。しかしプラントの安定、安全操業を図るために、我々グラッドパッキンメーカーはグラッドパッキンの適正な使用方法を伝えていかなければならない。本報でグラッドパッキンの装着指針を知って頂くことで、グラッドパッキンの装着ミスを減らし、顧客各位の技術向上に貢献できれば幸甚の至りである。

5. 参考文献

- 1) バルカーレビュー. 9, 第30巻第10号
- 2) バルカーシールハンドブック. 217,
昭和61年10月1日改訂版

(Abstract)

Trouble of a large diameter gland packing is often occurred due to improper mounting. This report will introduce failure examples with reasons and solutions caused by improper mounting. Mounting guidelines of gland packing is also explained.

Keywords:

gland packing, mounting

(摘要)

大口径盤根の故障多起因于盤根の安装失误。本文首先对故障案例进行介绍，之后就其对策，即盤根的安装指南进行说明。

关键词:

盤根, 安装



濱出 真人
研究開発本部 開発部

高圧ガス、高揮発性液体による ブリストートラブルの原因と解決方法

1. はじめに

OリングやUパッキンといったエラストマー製シール材が使用される機器が、高温、高圧、極低温などの過酷な環境で使用できるように高機能・高性能が進むにつれて、エラストマー製シール材自体が使用される環境も、これまでとは異なり、より厳しく、複雑化してきている。

このような厳しい環境で使用されるエラストマー製シール材の特性が徐々に変化し、使用前と比較して、化学的特性や機械的強度などの性能が低下していく現象を劣化という。

エラストマー製シール材の劣化は、環境要因としては、酸素、オゾン、光、水、油、ガス、薬品、そして静的・動的条件での引張り、伸び、圧縮、せん断など、化学的あるいは物理的な種々の因子の影響を受けている。¹⁾

今回は、高圧ガスや揮発性液体がエラストマー製シール材内で発泡や亀裂を生じる現象であるブリストアについて、発生メカニズムとその対策について述べる。

2. ブリストア

エラストマー製シール材で発生するブリストアについて、発生メカニズムと、ブリストアを抑制する方法を下記に示す。

2-1) ブリストアについて

ブリストアとは、装置や機器に装着されたOリングやUパッキンといったエラストマー製シール材が、ガスや揮発性液体などの流体と高温・高圧接触する環境下で、急激な圧力変動の影響により、その流体がシール材の内部に滞留したまま膨張して、シール材の内部や表面層に気泡が発生する現象である。エラストマー製シール材を気泡が発生した状態で高温・高圧環境へ戻すと一旦気泡の膨れは元に戻るが、更に急激な圧力変動を繰り返すことで新たに気泡が生成すると共に、もともとあった気泡が起点となり亀裂へと成長し最終的には破裂させてしまう。

水素のような高圧ガスを使用している場合、エラストマー製シール材にブリストアが発生すると、ブリストア部分から高圧水素が漏洩し、爆発するという重大事故につながる恐れがあるので、ブリストアを発生しにくいエラストマー製シール材を選定することが重要になる。

2-2) ブリストア発生メカニズム

ブリストアの発生メカニズムについて、高圧ガスの場合をA、揮発性液体または水の場合をBとして下記に示す。また、高温環境下の高圧ガスによるブリストアの発生メカニズムをFigure1に示す。

A: 高圧ガスの場合

- A-① 高温環境下で、高圧ガスとして存在する流体は、エラストマー製シール材と接触し表面層から内部へ浸透及び拡散していく。
- A-② 内部へ浸透及び拡散していった流体の多くはエラストマー製シール材を透過していくが、一部は内部に滞留する。
- A-③ エラストマー製シール材中に滞留している流体が、使用環境の急激な圧力変化(減圧)により気化し、体積の膨張が生じる。
- A-④ エラストマー製シール材は、その気体の急激な体積膨張に耐えきれず、表面層や内部で発泡という形で表れ、更にその発泡に耐えきれなくなれば、亀裂を引き起こす。
- A-⑤ 再度高圧環境下になればエラストマー製シール材の発泡は減少するが、次の急激な減圧により、発



Figure1 ブリストア発生メカニズム

泡や亀裂が更に進行し最終的にはゴム破壊となりシールが出来なくなる。

B: 揮発性流体または水の場合

- B-① 高温下で揮発し気体として存在する流体は、エラストマー製シール材と接触し表面層から内部へ浸透及び拡散していく。
- B-② 内部へ浸透及び拡散していった流体の多くは、エラストマー製シール材を透過していくが、一部は内部に滞留する。
- B-③ エラストマー製シール材中に滞留している流体は、高圧下で、液体へと変化し、シール材中に滞留する。
- B-④ エラストマー製シール材に滞留した液体は、急激な圧力変動(急減圧)により気化し、体積の膨張が生じる。
- B-⑤ エラストマー製シール材は、その気体の急激な体積膨張に耐えきれず、表面層や内部で発泡という形で表れ、更にその発泡に耐えきれなくなれば、亀裂を引き起こす。
- B-⑥ 再度高圧環境下になればエラストマー製シール材の発泡は抑性されるが、次の急激な減圧により、発泡やき裂が更に進行し、最終的にはゴム破壊となりシールができなくなる。

2-3) ブリスターを抑性する方法

流体が高圧ガスまたは揮発性液体の場合について、ブリスターを抑性する方法は種々存在するが、その中の一部を下記に示す。

① エラストマー製シール材を高硬度にする

高硬度にすることで応力が高くなり、エラストマー製シール材に浸透した流体が減圧された時の発泡及び膨張を抑性する。

② 流体がエラストマー製シール材に浸透及び拡散しにくくする

使用する流体に対して、相溶性の低いエラストマー材料を選定し、流体の浸透及び拡散による発泡や膨張を抑性する。

③ 減圧速度を大幅に遅くする

急激な圧力変化を回避することで、エラストマー製シール材に滞留する流体の急激な圧力変動による発泡及び膨張を抑性する。

④ 使用温度を下げる

使用部位の温度を下げることで、流体のガス化を抑性し、エラストマー製シール材の発泡及び体積膨張を抑性する。

る。

⑤ その他

シール断面をできるだけ小さくする、または断面形状の最適化によりブリスター発生源となる流体を滞留しにくくするなど。

3. 事例紹介

当社にて確認された、様々な使用環境下で発生したブリスター現象のトラブル事例について、その原因と対策案について紹介する。

3-1) 高圧ガスでの対策

【事例】往復動圧縮機に使用されたふっ素ゴムOリング70度品(当社材料記号D0270)でブリスターによる亀裂を確認した(Figure2)。

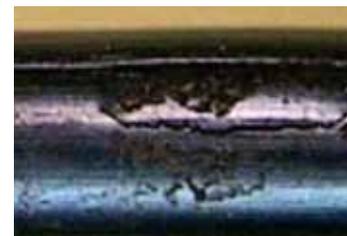


Figure2 往復動圧縮機に使用されたOリングのブリスター痕

【原因】流体が高圧から低圧へ減圧する際、ケーシング内部圧力の減圧に十分な時間をかけなかったため、Oリング内で発泡によりブリスターが発生した。

【対策】ゴム硬度が高いブリスター対策用ふっ素ゴム(当社材料記号D1490)へ変更する。または、減圧時に急激な圧力変動を抑性することで、Oリングに滞留するガスの発泡を抑性する。

3-2) 揮発性液体での対策²⁾

【事例】代替フロンR134aを用いた混合冷媒用シール材として他社製HNBRを使用してきたが、ブリスターを確認した。

【原因】R12(クロロフルオロカーボン)やR22(ハイドロクロロフルオロカーボン)が、代替フロンR134aに変更になったことで、HNBRの混合冷媒への耐性が低下した。

【対策】社内評価にて、代替フロンR134aへの耐性評価を実施した結果、EPDM(当社材料記号H0880)がHNBR(当社材料記号B5680)より優れた耐性を持つことが確認された(Figure3)。故に、代替フロンR134aを使

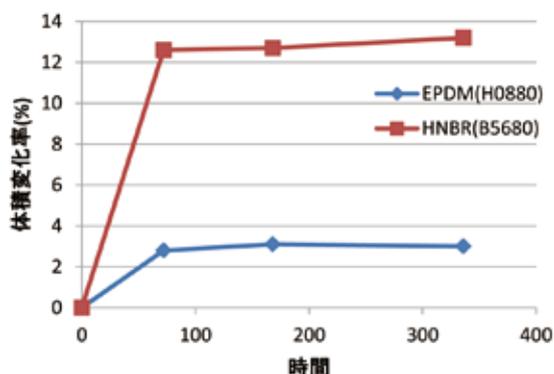


Figure3 R134a浸漬後の体積変化率

用した冷媒にはEPDM (当社材料記号 H0880)を推奨する。また、エラストマー材質をHNBRからEPDMへ変更することにより、材料コストの低減にも貢献できる。

3-3)その他

【事例】作動油中、摺動部にて使用されたふっ素ゴム製リング70度品 (当社材料記号 D0270)においてプリスターによる亀裂を確認した (Figure4)。



Figure4 摺動部で使用されたOリングのプリスター痕

【原因】作動油中に含まれる水分や添加剤などの揮発性成分が、Oリング中に浸透し、使用環境の急激な圧力変動や摺動熱によりOリング内部で気化し、発泡を繰り返してプリスターが発生した。

【対策】高硬度ふっ素ゴム (当社材料記号 D1490)または作動油に耐性があり、かつ、高硬度、高応力のHNBR (当社材料記号 B5680)へ変更する。

4. おわりに

本報では、高压ガス及び揮発性液体によるプリスター現象の発生メカニズムと、プリスターを抑制する方法について述べた。更なる研究開発を進めることで、近い将来訪れる水素や天然ガスなどを利用した環境エネルギー社会の発展に貢献していきたい。

5. 参考文献

- 1) 秋葉 光雄ら共著:ゴム・エラストマーの劣化と寿命予測. 12 (2000)
- 2) 圖師 浩文:バルカー技術誌. No.13, No.14, 11-14 (2013)

(Abstract)

This report will explain formation of blister mechanism and solution of it, which is occurred on the elastomeric product e.g. O-ring, U-packing etc. due to repeated application of pressure cycle and media is highly volatile liquid or high pressure gas. Failure examples of blister mechanism under different environment and solutions for these troubles are also introduced, which are evaluated by our company.

Keywords:

elastomeric product, O-ring, pressure cycle, volatile liquid, high pressure gas, blister

(摘要)

O型圈以及U型圈等橡胶产品用于高压气体、高挥发性液体，或者对这些流体进行反复加减压使用时会发生起泡（气泡、龟裂等损伤）故障。本文对该故障的产生机理及解决方法进行说明。另外，本公司对各种使用环境下发生的起泡现象的故障案例进行了确认并汇总，同时也对这些故障案例的原因和解决方法进行了介绍。

关键词:

O型圈、橡胶、高压气体、挥发性液体、加减压、起泡



圖師 浩文
研究開発本部 開発部

O-リングの転動トラブル要因と解決法

1. はじめに

エラストマーシールの形状で最も広く使用されているものとしてO-リングがある。O-リングは1940年代初頭、第二次世界大戦中にNBR（ニトリルゴム）製のO-リングが航空機の油圧機器用として使用されたのがきっかけとなり、一般産業に広く普及したとされている。その理由としては、当時から様々な産業機器の動力となっていた作動油への耐性に優れるNBRがゴム材質として開発され、その工業化が成功したことが挙げられる。また、O-リングは断面形状が単純で製造コストが安いことや、両側からの圧力に対し1本でシール出来ること、ゴムの硬度を調節すれば静的シールにも動的シールにも使用出来ることなど、非常に汎用性に富んでいたことも理由として挙げられる。このようにO-リングの例を一つ取ってみても、エラストマーシールにとって使用条件に応じた材質選定と形状設計は、そのシールの価値を左右する非常に重要な要素であるといえる。

これまでの産業発展とそれに伴う産業機器の進化の中で、今日のエラストマーシールの置かれる状況は多種多様なものとなっている。それに応じて求められる機能も様々であり、材質や断面形状にも多くの検討が為されてきた。その過程には、設備設計現場、あるいはその設備を使用する生産現場などで発生する多くのシールトラブルと、それらの解決に向けた度重なる試行錯誤があったことは想像に難くない。

本報では、数あるシールトラブルの中から「転動」という現象に着目し、その発生要因と、解決に向けてのエラストマーシールの発展を取りまとめ報告する。

2. O-リングの転動トラブル要因

2-1) 転動とは

「転動」とは、一般には「回り動くこと」もしくは「転がし動かすこと」と定義されている言葉であるが、シールトラブルにおける「転動」は、シールが溝内で回転し、ねじれることにより機

能不全を起こすことをいう。機能不全の一例としては、シールが溝内で繰り返し転がることによる摺動摩擦やねじ切れによる漏洩が挙げられる。また、半導体製造工程のような環境のクリーン度が高く求められるシチュエーションにおいては、転動による摩耗粉がパーティクルとして問題となるケースも少なくない。



Figure1 転動したゲートシール部O-リング

2-2) 転動トラブルの具体例

2-2-1) ゲートシール

半導体・FPD製造装置における製造プロセスには、チャンバ内の超真空化やガス注入を行う工程があり、各チャンバ毎にゲート弁が設けられている。当社でも当該箇所を使用されるゲートシールを製品化し、市場へ提供している。

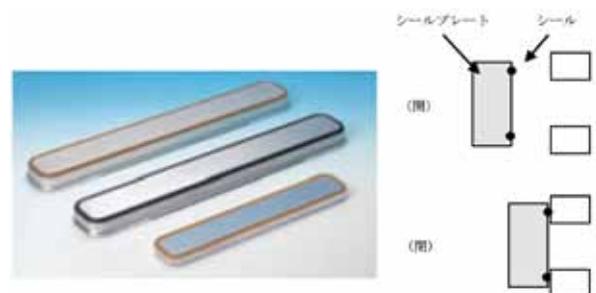


Figure2 ゲートシール製品とゲート動作
(左) VALQUA BONDED GATE SEAL 製品写真 (右) ゲート動作図

このようなゲート部のシールは、各チャンバ内にウエハーを出し入れする際のゲートの開閉によって、シールと相手面が着脱を繰り返すため、転動現象が発生する。ゲートシールにおける転動発生メカニズムをFigure3に示した。

- (a) O-リングを溝へ装着した状態の図である。ゲート弁のシール溝には、主にあり溝と呼ばれる、断面が台形状の溝が使用される。あり溝は溝開口部でシールを挟み込むためシールをしっかりと固定でき、負圧によるシールの脱落が懸念される真空用途で多く使用される溝形状である。
- (b) ゲート閉鎖時には、O-リングは相手プレートに圧縮される。このとき、相手プレートが斜めにO-リングを圧縮するなど、O-リングにスラスト方向の力が加わると、O-リングが溝内で回転し、ねじれが発生する。
- (c) ゲート開放時に相手プレートからO-リングが離脱する。O-リングは、あり溝によって溝開口部で固定されているため、ゲート閉鎖時に発生したねじれが維持される。よって、ゲートの開閉が繰り返されることによってO-リングのねじれが徐々に大きくなり、転動が発生する。

図中では、相手プレートが斜めにO-リングを圧縮し、スラスト方向へ力を加えている場合を図示している。実際には、スラスト方向への荷重はゲート装置自体の動作仕様として発生する場合もあれば、チャンバのひずみなどの影響で偶発的に起こる場合もある。

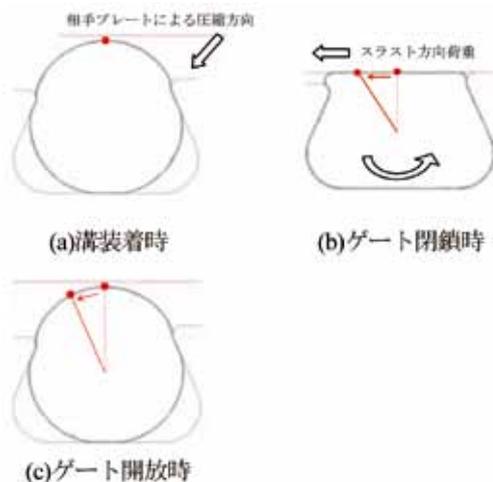


Figure3 ゲート開閉時の転動発生メカニズム

2-2-2) 圧力設備

高压容器や配管のような圧力設備に使用されるO-リングにも転動の起こるリスクがある。特に大きな圧力変動を伴う脈動が発生する場合には注意が必要である。

このようなシチュエーションでは、O-リングは圧力負荷時に溝側面に押さえつけられ、無負荷時には元の位置に戻ろうと

する。よって、この動きが圧力変動によって繰り返されると溝内でO-リングが転がり、転動が起こる場合がある。転動が発生すると、O-リングは溝底部と摺動し、その摩擦によって漏洩が生じる。

また、負荷する圧力が高压であり、バックアップリングの使用がない場合は、O-リングが溝エッジにかみ込み、その状態で圧力変動が繰り返し発生することによって、転動によるむしろを招き漏洩が発生する場合もある。

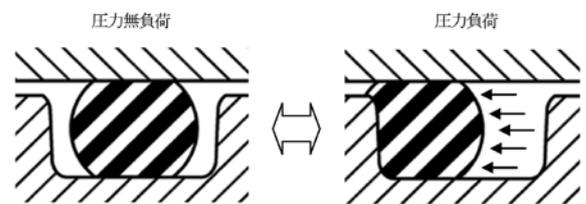


Figure4 圧力変動に伴うO-リングの挙動



Figure5 高压容器用O-リングの転動によるむしろ

2-3) O-リングにおける転動の発生要因

前述の具体例より、転動現象の発生要因の一つは、O-リングに対して強いスラスト方向の力が加わり、かつ断続的に負荷されることにある。また、あり溝などでO-リングのねじれが固定される場合はより顕著となる。しかし、これらは全て設備仕様側の要因であり、シールにはこれらの仕様を満足させることが求められる。

転動現象におけるシール側の発生要因としては、O-リングの「円」という断面形状によるところが大きい。

平面上に置いた円筒の剛体を転がそうとする際の力のつりあいを考えると、断面が円形状では、回転軸となる地面との接点が常に重心の真下にくるため、転がそうとする力Fが回転方向のモーメントとして働くのに対して、重力mgが反回転方向へのモーメントとして働かず、転がりを阻害しないため容易に転がる。一方、直方体を転がそうとした場合は、平面との摩擦係数が十分に高くすべりが起きないことを前提にすると、回転軸が底面の角部となり、重力mgが反回転方向のモーメントとして働くため、力Fによる回転方向のモーメントが、反回転方向のモーメントを上回るまでは回転しない。

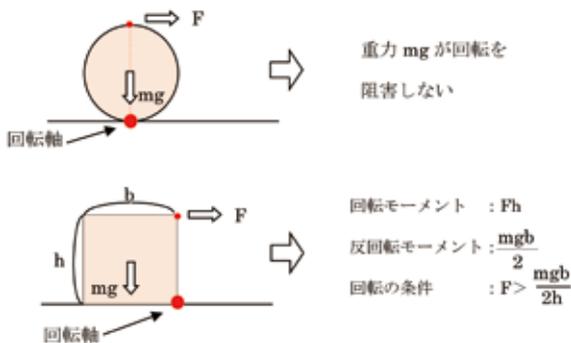


Figure6 回転における力のつり合い

このように簡単な力のつり合いを見るだけでも、円形状の断面をもつシールがいかにか転動しやすいかがわかる。

よって、ゲートによる圧縮や流体圧などでO-リングにスラスト荷重が負荷される場合には、その形状の理由から転動発生リスクがある。

また、O-リングの転動は全体が回転することではなく、ねじれが生じている。よって、ねじれ易さも転動に影響する重要な要因といえる。一般にねじれは、ねじれのせん断ひずみ、せん断応力の関係から、線径が細いほど、また周長が長いほど生じやすく、これらを選べればねじれを抑えることは可能であろう。しかし、実際には、シールのサイズは設備側の設計に依存しており、転動防止のためだけに設備設計を変更することは現実的でないケースがほとんどである。

3. 転動への対策

前述で述べたように、O-リングの転動要因は「円」という断面形状が、剛体として考えた場合、回転運動時に反回転方向のモーメントを生じない形状であることと述べた。そこで、転動の防止を達成する形状としてFigure7のような形状設計を検討した。

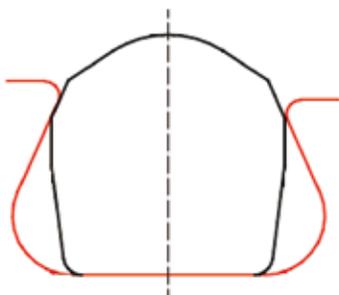


Figure7 転動防止シール

本シールは、シール面にO-リングのようなラウンドを持たせつつ溝底部に面を作り、前述の直方体のような回転しにくい形状設計が為されている。また、溝底部の面は広ければ広

いほど、大きな反回転方向のモーメントを発生させ、回転を抑制出来ると考えられるが、本シールは溝内で圧縮された際の占有率や装着のしやすさを考慮して最適な面幅が設定されている。

上記設計の有効性をFEA (Finite Element analysis、有限要素解析)によって検証した結果を、Figure8に示した。解析は平面ひずみモデルを用い、上部フランジの摩擦係数を0.3、溝の摩擦係数を0.1としている。

上部フランジでメタルタッチするまでシールを圧縮させた後に、水平方向へ7.5 mm 移動させると、O-リングはシール頂点が88度回転したのに対し、転動防止シールは10度の回転に留まり、転動防止に対する有効性が確認出来る。

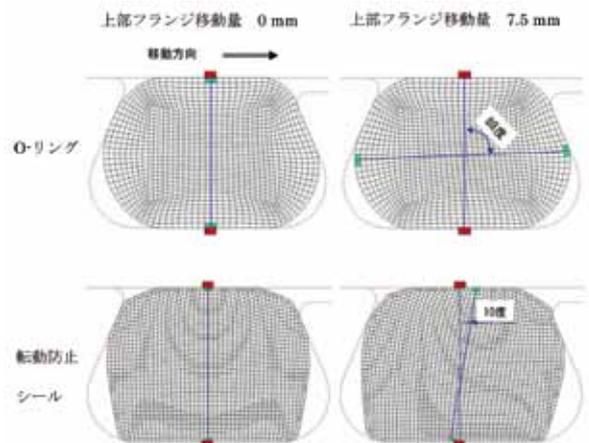


Figure8 転動防止シールFEM解析結果

また、材質面での対策として、シールのねじれやすさを軽減するために硬度やモジュラスの高い材料選定をすることが挙げられる。しかし、過度な転動が懸念される場合においては、前述のような断面形状の変更が有効である。

4. 更なる発展

第3項で転動に対する基本的な対策を述べたが、エラストマーシールが使用される環境は日々変化し、求められる機能も多様化している。当社では、そうした市場変化に応じたソリューションを提案すべく開発を行っており、その一例を紹介したい。

半導体・FPD 製造工程の真空装置などに設けられるゲート部やLID部のシールには、長期にわたるシール性は勿論のこと、歩留まり低減につながる低発塵性が強く求められる。当該箇所のシールには、通常O-リングをあり溝で使用する場合が多いが、装置の大型化や歩留まり要求レベルの高まりに伴い、次のような課題が生じていた。

- ① O-リングの溝エッジへの干渉による摩耗
- ② シールプレートの溝へのメタルタッチによるパーティクル発生
- ③ 転動による発塵や断裂

あり溝は溝エッジが突出しており、圧縮されて外側へ膨れたシールが溝エッジに引っ掛かると、その部分に局所的に過大な応力が発生し、シールの摩耗や欠落を生じやすい。また、その摩耗粉がパーティクルとなり問題視される。

加えて、大口径化したゲートバルブでは、高い位置精度でシールプレートを駆動させることが難しくなり、装着箇所によって、シールへの面圧が変動し、また装着箇所へのプレートの接触タイミングにわずかなずれが発生しやすくなる。このような状態で使用すると、プレートの溝へのメタルタッチやシールの転動を引き起こし、パーティクルの発生やシールの早期漏れが発生する。

しかし、第3項の転動防止シールでは、シールの溝への占有率が高く溝エッジへの干渉は防げない。また、負圧による強い横加重を受けた場合は溝底部でシールがスライドし、発塵する懸念があった。

そこで、上記課題3点を解消するため、当該箇所における最適シールを新たに設計・開発した。断面形状をFigure 9に示した。

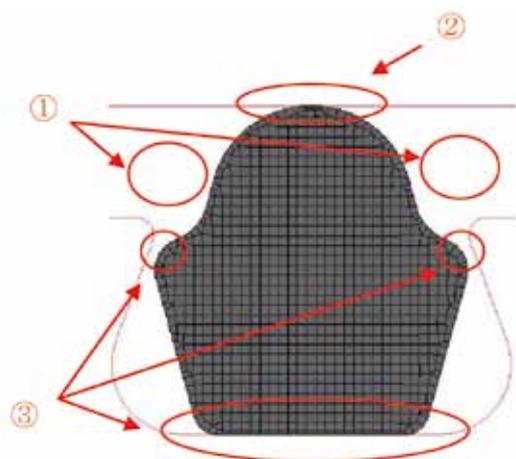


Figure9 転動防止用新型シール

新型シールのポイントは下記である。

- ① 溝エッジ部に空間をもたせ、干渉を防止
- ② シール突起部に高さを設け、耐荷重性をもたせることでメタルタッチを防止
- ③ 張り出した肩部を溝上部に配置し、底面もフラットにすることで横加重への安定性をもたせ、転動を防止

Figure10にFEAによる新型シール圧縮時の断面図を

示した。

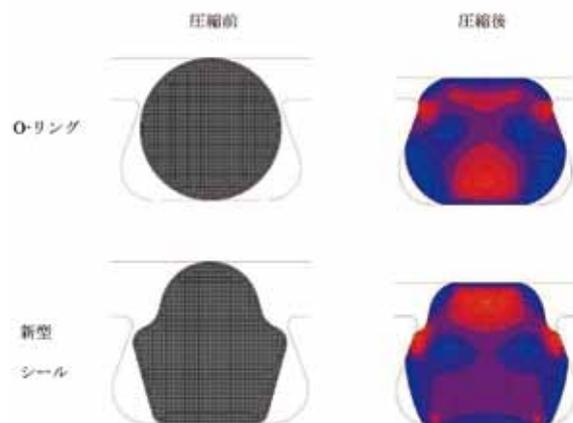


Figure10 転動防止用新型シールの圧縮図

新型シールは、圧縮時にも溝エッジ部に空間を持ち干渉を抑制していることがわかる。また、突起部に高さがあることで、シールプレートと溝部とのメタルタッチを防いでいる。加えて、溝内での姿勢を溝底部と溝側面の3点で支持することによって、転動が生じない形状としている。

上記のように開発された新型シールは、通常のO-リングでは実現できなかったシール部材の長寿命化や、プロセスのクリーン度改善による製品歩留まり、信頼性の向上が期待出来るとして顧客からの好評を得た。

5. おわりに

本報では、各シチュエーションにおけるO-リングの転動発生メカニズムを述べた。また、転動の発生要因がO-リングの円という断面の形状的理由によるところが大きいことを述べ、そこから導き出された対策とその発展について紹介した。

シールトラブルは、産業発展と、それによる設備の進化に伴って必ず付きまとう問題であり、シールメーカーはその問題に対し常に解を出し、顧客設備の安心・安全な稼働を支え続けていく責務がある。

今後も変化の激しい市場環境とニーズに対し、独創的な技術をもって応え続けたい。

6. 参考文献

- 1)阿武 芳郎：油漏れ防止技術データブック. 485 (1981)
- 2)辻 和明：バルカー技術誌. No. 11, 2-6 (2006)
- 3)半導体産業用製品カタログ. 10 (2008)
- 4)バルカーハンドブック 技術編. 235 (2011)
- 5)上田ほか共著：蟻溝用シール材. 特開2003-014126(2003)

(Abstract)

“Distortion” is defined as twisting of O-ring due to rotation inside the seal groove. This causes different kind of troubles e.g. sliding abrasion, fracture etc. which may cause leak trouble. This report will introduce failure examples with reasons and solutions caused by distortion.

Keywords:

distortion, abrasion, leak

(摘要)

「滚动」主要是指O型圈在密封沟槽内发生旋转并扭曲，从而造成功能不良。例如，密封圈在沟槽里反复转动引起滑动磨损或扭断，从而造成泄漏。

本文对滚动引起的故障的内容、主要原因及对策进行介绍。

关键词:

滚动、磨损、泄漏



西 亮輔

研究開発本部 開発部

ライニング配管トラブル事例

1. はじめに

ふっ素樹脂は樹脂の中でも非常に優れた耐熱性、耐薬品性を持ち、酸・アルカリ・溶剤などほとんど全ての薬液に使用することが出来る。また、非粘着性、非汚染性にも優れており、医薬・食品・半導体向けの用途にも多くのふっ素樹脂ライニング管が使用されている。

近年、使用される環境も過酷な条件が多くなり、ライニング材の選定ミス、操作ミスなどによるトラブルもみられる。

ライニング配管でのトラブル事例として発生原因と対策について説明する。

2. トラブル事例

2-1) 過剰締付け

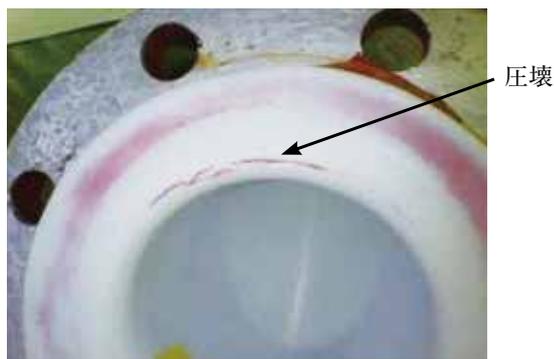


Figure1 フランジ部のライニング材の圧壊現象

- 主要原因：
- ・ボルト締過ぎによる圧縮破壊
 - ・ボルト片締めによる部分的な圧縮破壊
 - ・高温での増締めによる圧縮破壊
- 対策その他：
- ・作業者への教育
 - ・締付けトルク管理(トルクレンチの使用)
 - ・増締めは、常に常温で行う

2-2) 陥没



Figure2 ライニング材の陥没現象が発生

- 主要原因：
- ・縦配管で液抜き時、エア一口未設置のため、管内で真空圧発生(密封状態で液抜きされたため)
 - ・密閉冷却による凝集により管内で真空圧発生
 - ・ベントホールの閉塞
- 浸透(透過)した薬液・ガスが鋼管とライナーの間に溜まったことによる背圧で陥没。内圧が背圧より小さくなった場合にライナーが陥没することがある。

- 対策その他：
- ・エア一口の設置
(縦配管では密閉状態での液抜きしない。)
 - ・ベントホール部の点検
 - ・使用ライナーの肉厚を上げる

2-3) 薬液透過

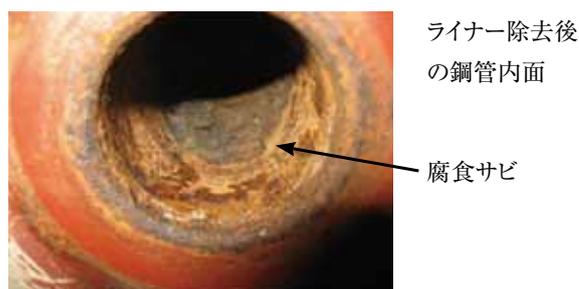


Figure3 透過による鋼管内面腐食

- 主要原因： ・透過性の激しい使用薬液
 ・高温での使用
- 対策その他： ・耐透過対策用ライナーの使用(高密度ライナー)
 ・使用ライナーの肉厚を上げる

2-4) 静電破壊



Figure4 ライニング材にピンホールが発生

- 主要原因： ・絶縁性の高い流体または粉体が、配管内を高速で流れた摩擦により静電気がライニング材の耐電圧を上回ったことで静電破壊を起しピンホールを形成
- 対策その他： ・運転条件の見直し摩擦による静電気発生を小さくする(流速を下げる、口径を大きくする)
 ・ライニング肉厚を上げてライニング材の耐電圧を高くする

- 主要原因： ・透過薬液(ガス)が樹脂内で液化することにより樹脂にプリスターが発生
 ・ヒートサイクルが激しい
- 対策その他： ・高密度ライナーの使用
 ・使用ライナーの肉厚を上げる

※耐透過性が高いライナー程、樹脂内浸透が遅いためプリスターができやすく、耐透過性が低いライナーは樹脂内浸透が早いためプリスターができにくいですが、薬液透過により鋼管を早く腐食させる。

ライニングの目的は鋼管を守ることであり、耐透過性が優先されるべきである。

2-6) ガasket



Figure6 ガasket選定によるライニング材破損および薬液漏洩

- 主要原因： ・使用ガasketの選定ミス
 中芯材ゴム+外皮PTFEを使用したことで締付け時にゴムが拡張すると同時にフレアーも追随し延ばされ変形した
- 対策その他： ・ライニング配管にはゴム系・ソフト系の締付け時の変形が大きなガasketは使用しない
 ライニング配管にはライニング鋼管専用のガasketを使用する
 当社推奨 No.N7030 - T5N、
 No.N7035 - T5N、No.N7035 - T5NP
 接続部の液溜まりを考慮した専用の内径寸法になっている

2-5) プリスター

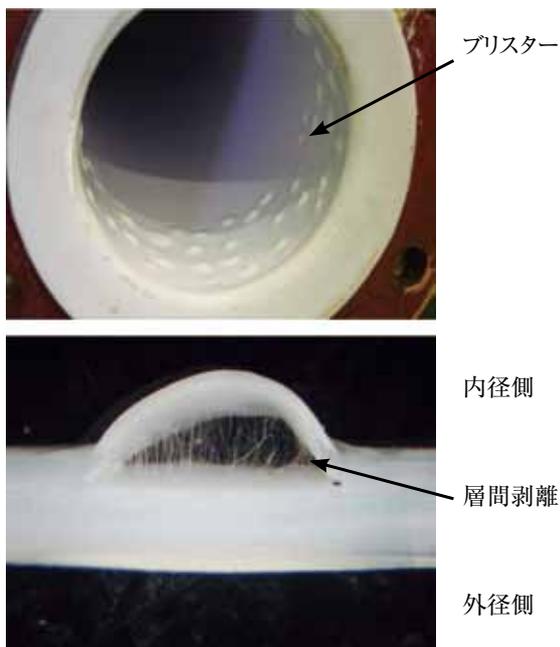


Figure5 ライニング材に層間剥離が発生

3. おわりに

ふっ素樹脂は耐熱性、耐薬液性、電気的特性、非粘着性、非汚染性など、非常に優れた特性を数多く持っているが、使用方法、取り扱い方によってはトラブルになる可能性がある。

使用する目的と樹脂の特徴を理解していただき、今後も多くの分野で使用されることを期待したい。

- 2) 三井・デュボンフロロケミカル株式会社
ふっ素樹脂 デュボン™テフロン® 実用ハンドブック
- 3) 蒲原 尊広：バルカーレビュー, VOL.44 (2000-10, 11)

4. 参考文献

- 1) 樹脂ライニング工業会
樹脂ライニング被膜の劣化診断指針

(Abstract)

Although fluorine resin is excellent among the different resin, different kind of trouble may occur due to improper handling or inappropriate selection of lining product of fluorine resin. For example, cannot be sufficiently exhibit the characteristics, corrosion caused by the chemical liquid transmission, over tightening, cave-in, etc.

This report will introduce failure examples with reasons and solutions caused by selection and handling problem.

Keywords:

lining, chemical liquid transmission, over tightening, cave-in

(摘要)

氟樹脂在樹脂中是非常优异的材料，但由于内衬的选型，操作方法会影响其特性发挥，产生药液渗透导致钢管腐蚀、紧固过度、凹陷等问题。

本文就实际发生的故障案例及对策进行说明。

关键词:

内衬、药液渗透、紧固过度、凹陷



沓澤 義文

研究開発本部 開発部
機能樹脂製品開発グループ 樹脂第1チーム

PTFE線膨張係数解説

1. はじめに

線膨張とは、温度の変化によって、物質の大きさが変化することであり、変化の大きさは各材質によって異なる。線膨張係数とは、温度が変化したときに物質がどれくらい膨らんだり縮んだりしたのかを、長さ、大きさの変化で示すためのパラメーターである。

プラスチックの線膨張係数は、金属に比べると一桁大きく、セラミックスに比べると二桁数値が異なる。

PTFE(フッ素樹脂)もプラスチックの分類に入り、温度によって長さや体積が変化する材料である。

今回、PTFEの線膨張係数のデータを示し、温度による寸法の変化をご理解いただくとともに、寸法の補正計算を解説する。

ば表記“~20℃”温度範囲は25~20℃での線膨張係数が右側に表示され 79.0×10^{-5} となる。ただし()内は除く。

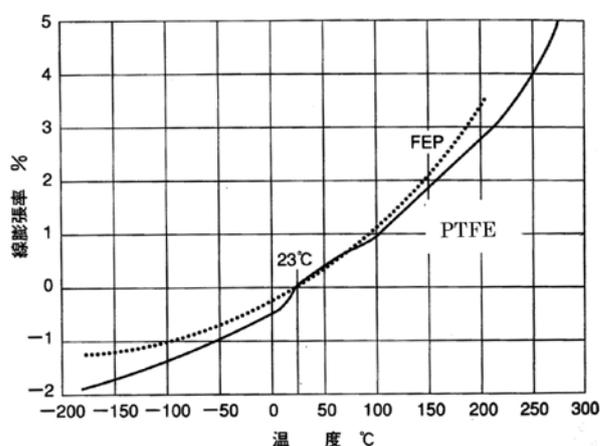


Figure1 線膨張率

2. PTFEの線膨張係数と線膨張率

Table1にPTFEの線膨張係数を示す。

また、Figure1にPTFEとFEPの温度と線膨張率の関係を示す。

Table1の温度範囲は25℃を基準とした範囲である。例え

PTFEは23℃付近で転移点があり(Figure1参照)、体積が約1~2%変化する。そのためPTFE成型品の寸法は、この転移点の上下で明らかな寸法変化が生じる。従って、機械加工を行うとき、あるいは寸法検査を行うときはこの点を常に考慮する必要がある。

また、機械加工や寸法測定を行う温度環境は重要であり一定温度(一般に $25 \pm 2^\circ\text{C}$)で行う必要がある。

Table1 PTFEの線膨張係数

温度範囲(°C)	$\times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$
25~300	21.8
~250	17.5
~200	15.1
~150	13.5
~100	12.4
~50	12.4
~30	16.0
~20	79.0
~0	20.0
~-50	13.5
~-100	11.2
~-150	9.6
~-190	8.6
(10~20)	(16.0)

3. 寸法補正計算例

PTFEの機械加工製品を購入したが、寸法が許容範囲に入っていなかったり、冬場にPTFEの材料を購入したところ、屋外で寸法を測定すると製品が小さいなどの確認依頼があった場合に、まずは寸法を測定する場所の温度や製品自体の温度の高低差によって寸法変化が起きる。Table1の線膨張係数を使用して寸法の補正計算について解説する。

例1

寸法：φ100×φ80×10H (mm)
 リング状のPTFE加工品 (25℃にて加工)
 温度：100℃にて使用した場合
 外径φ100はどのくらい、寸法変化するか?
 計算式
 寸法変化=製品寸法 (25℃)×温度差×線膨張係数
 数値を代入すると、
 寸法変化=100×(100-25)×12.4×10⁻⁵
 =0.93
 よって、100℃での外径は100.93mm (膨張)となる。

例2

寸法：φ30×1000L (mm)
 PTFE丸棒素材
 温度：0℃
 長さ1000Lはどの位、寸法変化するか?
 計算式
 寸法変化=製品寸法 (25℃)×温度差×線膨張係数
 数値を代入すると、
 寸法変化=1000×(100-0)×20×10⁻⁵
 =20
 よって、0℃での長さは980mm (収縮)となる。
 このように、製品寸法が大きくなるほど、線膨張影響を受けて寸法変化の値が大きくなるので注意する必要がある。
 なお、製品を25℃の環境下に戻せば、元通りの25℃での寸法に戻る。

4. 充填材入りPTFEの線膨張係数

PTFEが持つ優れた性質、すなわち低摩擦性、耐熱性、耐油性などを基本的に変えることなく、耐摩耗性・耐クリープ性・圧縮強度・剛性・熱伝導率・線膨張係数などの機械的・熱的物質を改良した材料が充填材入りPTFEである。

充填材入りPTFEの線膨張係数は、PTFE (無充填)よりも小さな値となり、熱的寸法安定性が改良されている。

Table2に代表的な充填材入りPTFEの線膨張係数の測定値を紹介する。表に示すMDとCDは素材の成型方向を示し、材料成型時に充填材が配向するため、線膨張係数の値が異なる。

この異方性は、製品設計にあたって注意すべきである。

なお、PTFE (無充填)について異方性に顕著な差は見られない。

Table2 充填材入りPTFEの線膨張係数

項目	方向	単位	充填材識別記号					
			2N0	1K0	3M0	6T0	8H0	
線膨張係数								
充填材含量	—	重量%	ガラス ファイバー 20%	グラファイト 15%	ブロンズ 60%	カーボン グラファイト 25%	炭素 せんい 10%	
25~ 90℃	MD	10 ⁻⁵ /℃	10.2	12.6	9.7	8.5	13.4	
	CD		9.5	7.9	7.8	7.2	9.9	
25~ 150℃	MD		10.3	13.5	10.3	9.4	14.5	
	CD		9.9	8.5	7.9	7.7	10.0	
25~ 200℃	MD		11.4	14.6	11.4	10.6	15.7	
	CD		11.1	9.2	9.0	8.5	11.1	
25~ 260℃	MD		13.4	17.6	14.0	13.5	18.2	
	CD		13.2	10.8	10.4	9.7	13.1	

上記数値は測定結果の一例であり規格値ではない。

MD = molding direction 成型方向

CD = cross sectional direction 直角方向

5. 線膨張係数を考慮した応用

充填材入りPTFEを使用した製品は、各種シール製品、軸受け、各種摺動材製品として幅広い分野で使用されている。

特に軸受けは、低摩擦・耐薬品性・耐熱性・無潤滑での用途で使用されている。そこで高温下での環境で使用される場合は、線膨張を考慮して設計を行う必要がある。

高温下では軸受けが拘束されていないフリーの状態では、外径内径及び高さが大きくなるが、例えば、外径が拘束されていると外径が膨張しきれずに、高さ方向への伸長や、内径側に膨張し、軸に抱きついてしまうことが考えられるため、あらかじめ内径寸法を大きくするなどの使用温度環境下での寸法設定が必要である。

その他に線膨張を利用して、金属などの異材質にPTFEのリングやパイプをはめ込んだり、密着させたい場合にはPTFEを加熱させ、はめ込み常温に戻して使用方法や、加熱とは逆にPTFEを冷却して寸法が収縮した状態で異材質にはめ込む方法が、一般的には熱バメ及び冷却バメと言われる手法である。このようにして複合化した製品をつくることがある。こちらも使用される温度環境により、はめ込んだ材料が抜け落ちたり、緩んだりすることがあるので寸法設定や緩み防止の検討が必要である。

6. おわりに

PTFEは耐熱性、耐薬品性、電気的特性、摩擦係数、非粘着性において、あらゆるプラスチックの中でも優れた性

質を持った材料であり、半導体製品の分野をはじめ多くの分野で機能部品として使用されている。

その中でもPTFEが温度によって寸法変化する線膨張係数の特性を再認識してご使用していただくとともに、新たな分野や新たな製品で使用されることを期待したい。

7. 参考文献

- 1) バルカーハンドブック 技術編 平成22年9月
- 2) 三井・デュボンフロケミカル株式会社
ふっ素樹脂 デュポン™ テフロン® 実用ハンドブック
- 3) 原 治左エ門：バルカーレビュー. VOL.24 (1980-12)

(Abstract)

Due to the nature of the resin, dimensional change of the product will occur due to temperature change. Similarly dimension changes of PTFE occur due to temperature changes according to each temperature conditions. It is also recognized that PTFE, super engineering plastics is also an excellent heat resistance under various temperature environments. For future product design and manufacturing, clear understanding of PTFE's linear expansion co-efficient is important.

Keywords:

dimensional change, PTFE, super engineering plastics, heat resistance, product design, linear expansion co-efficient

(摘要)

由于树脂本身的性质，温度变化会导致产品发生尺寸变化。PTFE也同样会由于温度变化产生尺寸变化，因此在确认各温度条件下尺寸变化程度的同时，我们认为超级工程塑料的PTFE耐热性优良，可以用于多种温度环境。希望能够在理解PTFE的线膨胀系数的基础上，结合产品设计及制造得到进一步应用。

关键词:

尺寸变化、PTFE、超级工程塑料、耐热性、线膨胀系数、产品设计



太田 伸幸

研究開発本部 開発部
機能樹脂製品開発グループ 樹脂第3チーム

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としているため、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。

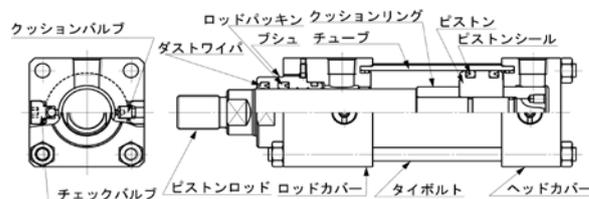


Figure1 JIS形標準油圧シリンダの構造



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。

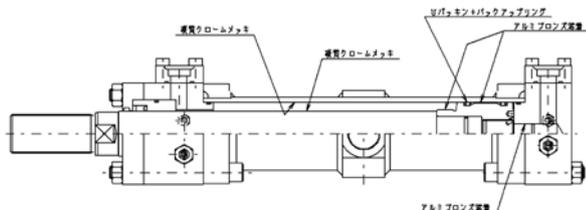


Figure3 ミルシリンダの構造



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。

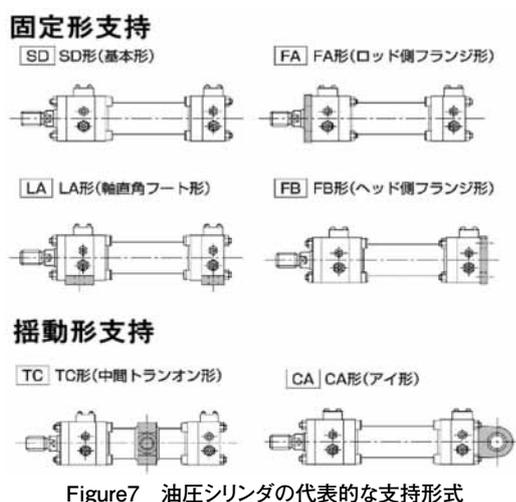


Figure7 油圧シリンダの代表的な支持形式

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。

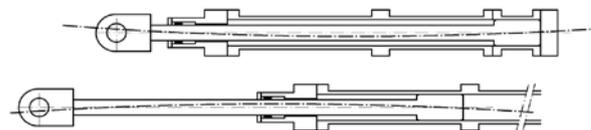
更に、振動など、根本原因の計測データの取得や分析、メンテナンス時期を知るための油圧シリンダの挙動をセンシングする技術の適用も必要であると思われる。

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こと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

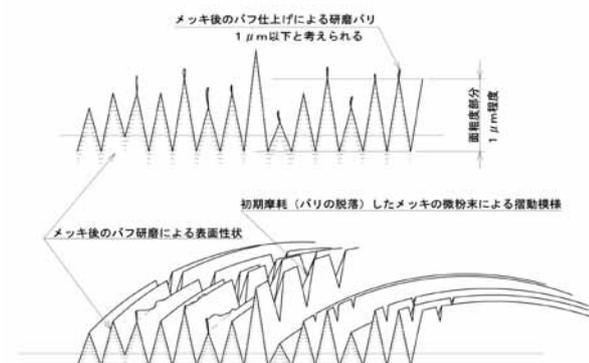


Figure11 メッキ表面の研磨バリモデル図

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。

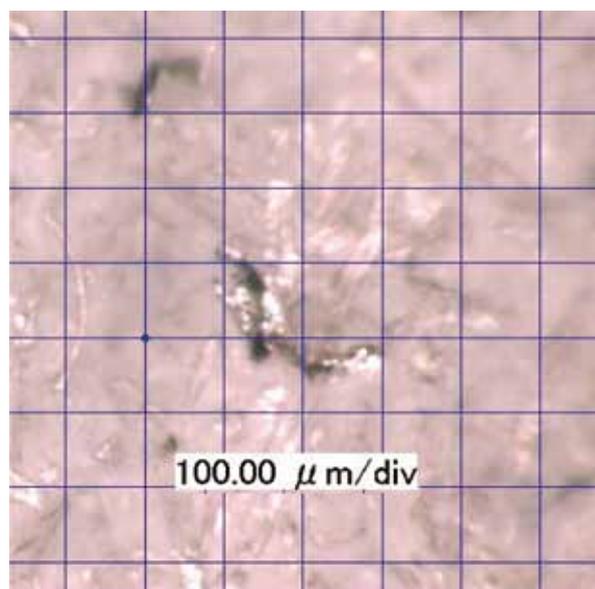


Figure12 ピストンロッド表面から捕集されたメッキバリ

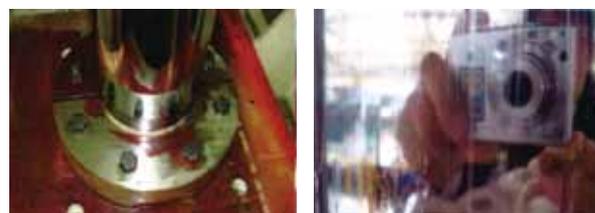


Figure13 鏡面状態にまで摩耗したピストンロッド表面

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。

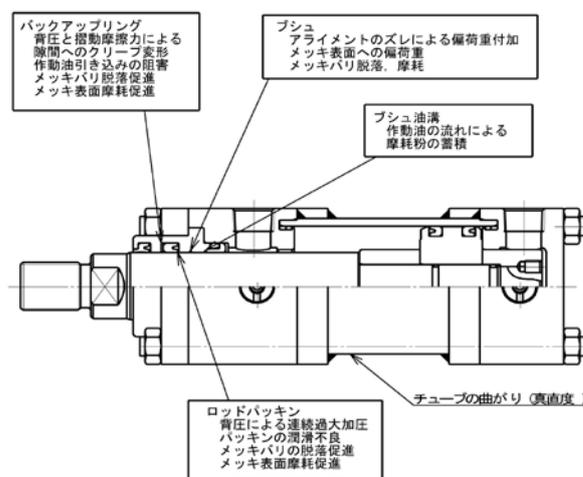


Figure14 まとめ

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:

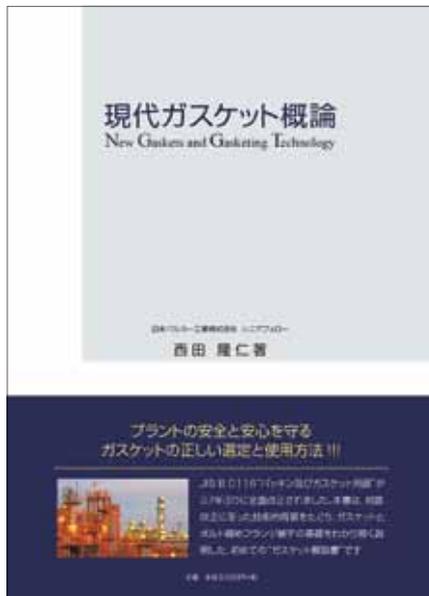
MRO、油压缸、对准、背压调节、密封圈、早期磨损、污染物产生

**上田 利典**

(株)TAIYO 油圧機器本部 技術統括部

地球に、そして人にやさしいモノづくり……

バルカー® 現代ガスケット概論



定価3,000円+税

近年の様々な環境規制に伴い、ガスケットの種類及びその材料は大きく変容し、ボルト締めフランジ継手の設計基準にも大きな動きが見られます。

そうした技術的情況を受け、JIS B 0116 “パッキン及びガスケット用語”も37年ぶりに全面改正されました。

このほど刊行いたしました“現代ガスケット概論”は、JIS用語規格改正に至った技術的背景をたどるとともに、ガスケットとボルト締めフランジ継手の技術的基礎を分かり易く説明した初めての“ガスケット解説書”と言えるもので、ガスケットにかかわる多くの方々の参考になると信じております。

著者：日本バルカー工業株式会社
シニアフェロー 西田隆仁
(にしだ・たかひと)



〒141-6024 東京都品川区大崎2-1-1 ThinkPark Tower 24F
お問い合わせ先：総務部 Email: sr@valqua.co.jp
TEL.03(5434)7370 FAX.03(5436)0560

VALQUA 日本バルカー工業株式会社

■本社(代)	☎(03)5434-7370	Fax.(03)5436-0560
■大阪事業所	☎(06)6443-5221	Fax.(06)6448-1019
■M・R・T センター	☎(042)798-6770	Fax.(042)798-1040
■奈良事業所	☎(0747)26-3330	Fax.(0747)26-3340

●札幌営業所	☎(011)736-5620	Fax.(011)736-5621
●仙台営業所	☎(022)264-5514	Fax.(022)265-0266
●日立営業所	☎(0294)22-2317	Fax.(0294)24-6519
●京浜営業所	☎(045)444-1715	Fax.(045)441-0228
●豊田営業所	☎(0566)77-7011	Fax.(0566)77-7002
●名古屋営業所	☎(052)811-6451	Fax.(052)811-6474
●北陸営業所	☎(076)442-0522	Fax.(076)442-0523
●岡山営業所	☎(086)435-9511	Fax.(086)435-9512
●中国営業所	☎(0827)54-2462	Fax.(0827)54-2466
●周南営業所	☎(0834)27-5012	Fax.(0834)22-5166
●松山営業所	☎(089)974-3331	Fax.(089)972-3567
●北九州営業所	☎(093)521-4181	Fax.(093)531-4755
●長崎営業所	☎(095)861-2545	Fax.(095)862-0126
●高崎駐在所	☎(027)341-8469	Fax.(027)341-6717
●厚木駐在所	☎(046)401-1554	Fax.(046)401-1553
●富士駐在所	☎(0545)87-2757	Fax.(0545)87-2213
●四日市駐在所	☎(059)353-6952	Fax.(059)353-6950
●彦根駐在所	☎(0749)26-3191	Fax.(0749)26-7503
●姫路駐在所	☎(079)241-9827	Fax.(079)241-8571
●広島駐在所	☎(082)250-7551	Fax.(082)256-8623
●宇部駐在所	☎(0836)31-2727	Fax.(0836)32-0771
●熊本駐在所	☎(096)364-3511	Fax.(096)364-3570
●延岡駐在所	☎(0982)92-0193	Fax.(0982)92-0192
●大分駐在	☎(090)2502-6125	Fax.(097)555-9340

VALQUA TECHNOLOGY NEWS

夏号 No.31 Summer 2016

発行日・・・2016年7月10日
編集発行・・・日本バルカー工業株式会社
〒141-6024 東京都品川区大崎2-1-1
ThinkPark Tower 24F
TEL.03-5434-7370 FAX.03-5436-0560

制作・・・株式会社 千 修

グループ会社 国内販売拠点

■株式会社バルカーエスイーエス
●本社(千葉) ☎(0436)20-8511 Fax.(0436)20-8515
●鹿島営業所 ☎(0479)46-1011 Fax.(0479)46-2259

■株式会社バルカーテクノ
●本社・東京営業所 ☎(03)5434-7520 Fax.(03)5435-0264
●大阪営業所 ☎(06)4803-8280 Fax.(06)4803-8284
●福山営業所 ☎(084)941-1444 Fax.(084)943-5643

■バルカー・ガーロック・ジャパン株式会社
●本 社 ☎(03)5510-2177 Fax.(03)3591-5377

<http://www.valqua.co.jp>

※VALQUAの登録商標はVALUEとQUALITYを意味します。 ※本誌の内容は当社のホームページにも掲載しております。
※許可なく転載・複製することを禁じます。