Leybold

真空安全マニュアル
安全マニュアル

取扱説明書 **300314311_012_C1**

取扱説明書原本の翻訳版

著作権表示

© 著作権 2026。All rights reserved.

公開済み 9/9/2026

目次

1 はじめに **6**

1.1 本書の適用範囲 6

1.2 ハザード分析 7

1.3 危険が発生した場合 7

1.3.1 設計 7

1.3.2 構造 8

1.3.3 操作 / 試運転 8

1.3.4 保守 / 廃棄 8

2 化学的危険因子 **10**

2.1 危険なプロセスガス 10

2.2 化学反応 10

2.2.1 均一系反応 10

2.2.2 不均一反応 10

2.2.3 二次汚染 11

2.3 可燃性/爆発性物質 12

2.3.1 爆発の危険性 13

2.3.2 爆発の危険性のあるガスまたは蒸気混合物 14

2.3.3 可燃性領域の回避 14

2.3.4 気密性（大気の漏れ） 17

2.4 酸化剤 18

2.5 自燃性物質 19

2.6 毒性材料 20

2.7 腐食性材料 21

2.8 まとめ - 化学的危険因子 22

3 物理的危険因子 **24**

3.1 過圧ポンプの排気 24

3.1.1 排気過圧の保護 25

3.1.2 排気口閉塞 25

3.2 インレット加圧 25

3.2.1 圧縮ガス供給および逆圧 25

3.2.2 パージシステムからの過圧 26

3.2.3 誤ったポンプ動作 26

3.3 温度 27

3.4 まとめ - 物理的危険因子 28

目次

4 システム設計. **29**
4.1 システムの圧力定格. 29
4.2 滞留ガスを除去する. 29
4.3 排ガス吸引システム. 30
4.4 フレームアレスタ保護システムの使用 (HazLoc システム). 30
4.5 真空システムへの水漏れ. 30
4.6 排気ガスのサックバック. 30
4.7 発火源. 31
4.8 まとめーシステム設計. 32
5 一般的な慣行. **33**
5.1 配管における堆積物の形成. 33
5.2 周波数インバータの使用 - パスワードの使用. 33
5.3 インレットバルブの位置. 33
5.4 ホットトラップ. 33
5.5 コールドトラップ. 34
5.6 コンデンサ. 34
5.7 システムの完全性レベル. 34
6 正しい装置の選択. **35**
6.1 油回転ベーンおよびピストンポンプ. 35
6.2 ドライポンプ. 36
6.3 パイプラインの設計. 36
6.3.1 ベローズ. 36
6.3.2 フレキシブルパイプライン. 36
6.3.3 固定金具. 37
6.3.4 シール. 37
6.4 物理的過圧保護. 37
6.4.1 圧力逃し. 37
6.4.2 過圧アラーム/トリップ. 37
6.4.3 圧力レギュレータ. 37
6.4.4 火炎防止器. 38
6.5 パージシステム. 38
6.6 まとめー装置の正しい選択. 38
7 操作手順および訓練. **39**

目次

8 真空システムの改造 **40**

9 概要 **41**

1 はじめに

1.1 本書の適用範囲



警告：

本取扱説明書の安全に関する手順、および関連ポンプの取扱説明書に従わない場合は、深刻な怪我や死に至る恐れがあります。

この文書は、真空ポンプおよび排気システムのユーザー向けに、真空ポンプおよび真空システムの仕様、設計、動作、保守に関する当社の経験から得られた知識を記録したものです。本書では潜在的ないくつかの危険について説明し、危険性を最小限に抑えると共に、危険が発生した場合適切に対処することを目的としたガイドラインを示しています。これは、昨今危険なプロセス化学物質の使用が増加し、危険な状態が発生する可能性が高まってきているため、特に重要です。

この文書に含まれる情報は、すべてを網羅するものではなく、予測可能な危険を伝えることを目的としています。真空装置のユーザーは、規制要件へのコンプライアンスを実証するために、独自のハザード / リスク分析を実施することが不可欠です。

この文書の構造は、以下の領域での安全性を考慮しています。

- プロセス材料
- 圧力
- システム設計
- 機器の選択
- システム動作とトレーニング

リスクを最小限に抑えるためには、これらの領域すべてを慎重に検討する必要があります。

本書は、真空ポンプおよび真空システムの仕様決定、設計、設置、操作または保守の担当者向け説明書です。以下の説明書との併読を推奨します。

- ご使用の装置の取扱説明書
- プロセスガスおよび化学物質販売業者が発行する情報
- 所属組織の安全関連部門が発行する情報.
- ポンプ取扱説明書
- システム取扱説明書
- HAZOP 分析
- 材料安全データシート
- 一般規格、機械設備に関する指令など

当社は、いかなる法的責任も負いません。また本取扱説明書で説明されている情報、手順、またはそれらの用途の結果に関する正確性、実施、安全性に関していかなる保証も行いません。当社は、本文書に含まれている情報の信頼した結果生じた損失または損傷に対して、またあらゆる面において間違ったまたは不完全な情報を提供した場合も責任を負いません。本文書に含まれる情報は、あくまで勧告であり、当社が潜在的な危険に配慮したガイドラインを提供しますが、特定の操作および環境におけるリスク評価/危険分析を実施し、政府の規定に準拠することはエンドユーザーの責任です。

目的のプロセス用途に当社の製品が適しているか、あるいはご使用の真空ポンプまたは真空システムの安全面についての詳しい情報をご希望の場合には、販売代理店または当社にご相談ください。

1.2 ハザード分析

ハザード分析により、通常の使用状態における危険および故障状態や故障状態下で発生する危険の確認と分析についての体系的アプローチが可能となります。これは危険管理の手段として利用されており、多くの場合法律によりその実施が義務づけられています。効果的にハザード分析を実施するには、システムの保守および廃棄と同様に、初期設計段階から開始しシステムの設置および動作時においても継続する必要があります。

ハザード分析に関する詳しい内容については本書の範囲外となりますが、その中には様々な手法があります。例えば化学装置業界で使用されている代表的な手法としてハゾップ(Hazard and Operability Study ハザード運転性解析: HAZOP)を挙げることができます。これは潜在的危険性と動作問題の特定に関するハザード分析手順です。

一般にハザード分析では危険性の種類、危険性の深刻度､および危険が発生する可能性についての情報が生成されます。この情報により危険性の影響を許容レベルにまで低減させる対策を決定することができます。危険の原因に基づき、危険性の除去、深刻度の軽減および/または危険発生可能性の削減が可能になります。ただし危険性を完全に除去することは困難です。

危険管理の最善策を決定する場合、可能性のあるすべての危険の影響を検討する必要があります。例えば、わずかな面積の高温表面にもオペレータの火傷の原因となる小さな危険が存在することがあります。火傷が起こる可能性を減少させるには、システム設計者が高温表面に視覚的警告を貼付する、または高温表面の周囲にガードを設置する等の対策を講じます。ただしこの場合システムのハザード分析では、同一の高温表面が可燃性蒸気の発火源となる場合があり、これにより爆発または有毒蒸気の放出を引き起こす可能性があることを指摘することができます。発火の可能性を減少させるには、システム設計者が高温表面温度を下げる、または可燃性蒸気が高温表面に接触しないようにする等の対策を講じる必要があります。.

1.3 危険が発生した場合

危険はシステム使用の全段階を通じて発生します。以下に段階を示します。

- 設計
- 構造
- 操作 / 試運転
- 保守 / 廃棄

各段階で生じる問題が以下にまとめられています。いずれの場合においても、システムの装置やプロセス/活用を完全に理解しなければ、ご使用のシステムの危険性を最小限に抑えることはできないということを認識する必要があります。ご不明の点については、必ず販売代理店にお問い合わせください。

1.3.1 設計

システムを設計する場合には、用途に合った正しい種の装置を選択する必要があります。確認事項：

- 装置の技術仕様
- 装置の構成に使用されている材料

- (潤滑油や運転用液などの)装置で使用している運転消耗財
- プロセス条件および材料

装置が用途に合っているか全般的に検討し、必ず指定された動作条件の範囲内で使用してください。

設計手順を確立し、設計上のミスが最小限に抑えられているか確認してください。各手順には、設計パラメータに関する検討および設計計算の個別チェックを含める必要があります。

設計見直しの際にはハザード分析を必ず行ってください。システムの使用に関する検討を慎重に行うことで多くの潜在的危険性を排除することができます。

1.3.2 構造

構成作業に習熟した担当者および品質確認手順の採用により、構成中の危険発生の可能性を減少させます。構成作業に習熟した担当者は、組み立てに必要な正しい構成部品の識別や粗悪な、または欠陥のある製造部品および装置の識別を行うことができます。品質保証手順により不具合のある製品の識別および修理が可能となり、その結果設計仕様に厳密に従っていることを確認することができます。

作業担当者は毒性、腐食性、可燃性、窒息性、自然発火性のあるシステム内、またはその他の危険な物質が排出、生成、またはまだ存在するシステム内に新たな装置を設置する場合は、特に注意を払いすべての注意事項を遵守してください。

電気設備は、ご使用の地域や国の該当するすべての電気工事関連の規則に従い、必ず資格を有する担当者が設置するようにしてください。

1.3.3 操作 / 試運転

寿命および不適切な使用または保守により装置および構成部品が故障し、その結果運転中に危険が発生する場合があります。装置の使用(および保守)についての適切な訓練により、危険発生の可能性を減少させます。必要に応じて、当社およびその他の販売代理店が取扱説明書、訓練およびアフターサービスの形でご提供する情報を参照してください。

1.3.4 保守 / 廃棄



警告：

すべての保守手順を含む完全な危険分析を実施する必要があります。保守作業は、必ず潜在的なリスクと必要な保護具を考慮して実践してください。

毒性、腐食性、可燃性、自燃性、窒息性、またはその他の物質が排出もしくは生成が行われているシステムの保守作業中に、担当者が危険物質に接触しないよう特別な注意を払うとともにすべての安全注意事項を遵守してください。

すべての真空システムはある時点で保守が必要であり、この保守の品質はシステムの安全性に大きな影響を及ぼす可能性があります。危険分析では、保守手順の詳細を考慮し、これらが危険な状態につながらないようにする必要があります。以下に考慮すべき点の例を挙げます。

- 真空システムの内部は、健康に害を及ぼす可能性のあるプロセス材料で汚染されている可能性があります。
- PFPE オイルなどの特定の材料は、プロセスガスと共に使用するために選択されている可能性があります。これらの材料が保守中に変更されると、新しい危険な状況が生じる可能性があります。

- ポンプが予期せず停止した場合、危険なプロセスガスが含まれている可能性があります。この場合、ポンプを取り外す際に、作業員を保護するための特別な手順が必要になる場合があります。
- 真空システム内の過圧状況は、コンポーネントが取り外され、圧力下で押し出されるまで観察されない可能性があります。
- 真空システムの保守手順を開始する前に、電気機器を遮断する必要があります。
- 洗浄溶剤が真空システムに及ぼす影響、特に腐食性または可燃性である場合は、その影響を考慮してください。

計画した保守プログラムおよび危険物質で汚染された構成部品の安全な廃棄についても考慮してください。操作の安全及び信頼を確約するには、すべての設備において、本取扱説明書で説明されている保守に関する注意事項を遵守しなければなりません。典型的な HazLoc システムには、追加要件があります。

2 化学的危険因子

2.1 危険なプロセスガス

危険なガスおよび蒸気は、以下のいずれかまたは複数の物質として定義できます。

- 可燃性
- 腐食性
- 自燃性
- 放射性
- 有毒
- 爆発性
- 酸化剤

それらのガスには危険な性質があるため、その特性と真空システムの安全性にどのように影響するかを考慮することが不可欠です。真空システムを指定する際には、これらの種類のプロセスガスについて真空機器のサプライヤーと話し合うことが一般的です。ただし、以下のポイントは一部の危険について概要を示します。

注記：
真空システム内のそれ自体は危険ではないプロセスガスが反応することにより、危険と見なされる副生成物が生成される場合があります。

2.2 化学反応

通常の使用、誤用および故障状態において、真空システム内のあらゆる箇所で発生する恐れのあるすべての化学反応を慎重に考慮する必要があります。爆発を発生させる恐れのあるガスや蒸気を含む反応については、特に注意深く考慮する必要があります。経験上、システム設計者が予定していない材料を使用したり、機器の故障モードを考慮していない等の場合に、爆発が発生しています。

2.2.1 均一系反応

2 種類以上の気体分子間の気相で均一系反応が発生します。ガス燃焼反応は通常この形で発生します。例えば、シラン (SiH_4) および酸素 (O_2) の反応は経験上常に均一です。よって製造行程において、そのような反応があった場合は、プロセス圧および反応物質濃度を慎重にコントロールし、過剰な反応速度の発生を抑制する必要があります。

2.2.2 不均一反応

気体分子の一部は表面吸収が行われた場合にのみ反応し、低圧状態での気相では反応しないなどの不均一反応の発生には固体表面が必要です。このような反応は、プロセスチャンバ内で発生する反応の影響を最小限に抑え、微粒子の生成を減少させることで汚染の可能性を低減させるため、特定のプロセスに適しています。

大半の不均一反応はより高い圧力状態で均一になりますが、通常は大気圧をはるかに下回ります。これは、ガスのプロセスチャンバ内における反応と真空ポンプでの圧縮時の反応が必ずしも関連しているわけではないことを意味しています。

2.2.3 二次汚染

真空システムは、異なるプロセスガスを使用する用途向けに切り替えられることがよくあります。これは、別の用途で機器を再利用したり、特定の用途で異なるプロセスステップを使用したりするためです。

そのようなケースでは、必ずある 1 つのプロセスのプロセスガス / 蒸気 / 材料と、別のプロセスのプロセスガス / 蒸気 / 材料との間のクロスコンタミネーションの可能性を考慮する必要があります。場合によっては、通常単独で排気しても危険はない 2 種の材料間で危険な反応が発生することがあります。

危険な反応が発生する可能性がある場合は、プロセスステップ間で～15 分間不活性ガスでパージすることが通常の慣行であり、多くの場合、2 つ目の材料をポンプで送る前に最初の材料を除去します。ただし、一部の真空システムでは、プロセスガスが閉じ込められたポケットが存在する可能性があり、パージ工程では効果的に除去されないことに注意してください。危険な反応が発生する可能性がある場合は、真空システムの設計と閉じ込められた容量の特定を慎重に検討する必要があります。

プロセス前 **/** 後のパージ

望ましくない化学反応を避けるため、プロセスガスを入れる前後に 15 分間不活性パージガスで真空ポンプをパージすることは一般的な慣行です。プロセス前のパージは大気中の酸素と水の痕跡をすべて除去し、プロセス後のパージは残留プロセスガスを除去します。

異常反応の問題

異常反応は、システム設計者が使用する予定でないガスや材料と化学物質が接触した場合に発生する可能性があります。例えば、リークにより大気ガスがシステムに流入したり、腐食性、可燃性、爆発性、またはその他の危険ガスが大気中に漏れる場合に起こります。

これらの反応の発生を防ぐには、システム内で 1 x 10^{-3} mbar l/s (1 x 10^{-1} Pa l/s) またはこれ以下の気密性を維持する必要があります。一般的に高真空用途では、1 x 10^{-5} mbar l/s (1 x 10^{-3} Pa l/s) またはこれ以下の気密性を維持します。また、システムのすべてのバルブについて、シートへの漏れがないことを確認する必要があります。

通常の使用状態ではプロセスサイクル中で接触することのないガスが、排気システムおよび排気パイプライン中では混合する場合があります。

真空ポンプのインレットが真空状態でオフになると、排気配管 / システムから排気ガスが逆流します。このガスに空気 / 酸素が含まれている場合、プロセスガスまたは内部堆積物と望ましくない化学反応が起こる可能性があります。この可能性がある個所では、真空ポンプの排気口に逆流防止チェックバルブを取り付け、排気ガスの逆流を遅くすることをお勧めします。さらに、真空ポンプに窒素パージを使用すると、真空システムから空気が確実に除去されます。

定期保守作業後のプロセスチャンバ内に、水蒸気または洗浄溶液が残っている可能性があります。また、これはプロセスチャンバが洗浄されクリーンな状態になった後に発生する場合もあります。また、排気ダクトや排気スクラバから水蒸気がシステムに入ることもあります。

溶剤を使用して真空システムのプロセス沈殿物を洗浄する場合は、ご使用の溶剤が真空システム内のすべてのプロセス材料に適合しているかを確認することが重要です。

化学的危険因子

相変化

真空システムは、排気されたガスや蒸気の圧力を真空から大気圧まで上昇させるように設計されており、それを実施する際に材料の相が液体または固体に変わる可能性があります。相変化した材料は、配管の詰まり、腐食、可燃性物質などの危険を引き起こす可能性があります。通常、相変化は圧力がドライポンプ内部の大気に近づくにつれて発生します。ただし、非常に低温の周囲条件下では、材料が真空ポンプへのフォアラインで相変化する可能性があります。

これにより危険な状態が生じる可能性がある場合は、トレース加熱を使用するか、ドライ不活性パージガスを使用することをお勧めします。

フォアラインに固形粒子が形成されると、壁に層が形成される可能性があり、時間の経過後にこれらが落下してポンプ内に移動する可能性があります。配管における堆積物の形成 ページ 33 の章を参照してください。

凝縮した物質を回収したい場合は、これらの物質を安全に回収できる真空システムにコンデンサとレシーバを取り付けることをお勧めします。

2.3 可燃性/爆発性物質

発火源になるものが提供された場合に、フッ化水素(H_2)、アセチレン(C_2H_2)、プロパン(C_3H_8)、および微分化されたシリコンの塵などの様々なガスや埃が、酸化剤のある濃度で、燃焼および/または爆発します。例えば、局所的に熱が蓄積されることで発火源になることがあります。これについては発火源 ページ 31 に記載されています。

可燃性ガス / 蒸気とは、一定量の空気または酸化剤と混合すると爆発性混合物を形成する可能性があるガス / 蒸気ですが、すべての濃度が危険なわけではありません。

潜在的に可燃性の混合物を可燃領域外に維持することで、爆発の危険を回避できます。詳細は可燃性領域の回避 ページ 14 に記載されています。

爆発の可能性を減少させる他の方法は発火源を排除することです。詳細は発火源 ページ 31 に記載されています。

危険な濃度は可燃性範囲内にあり、発火して爆発を引き起こす可能性があるため、一般的に「潜在的な爆発性雰囲気」と呼ばれます。可燃性範囲とは、可燃性上限と可燃性下限の間の燃料 / 空気濃度の範囲です。この範囲の混合物は、発火源に接触すると燃焼または爆発します。

周囲環境の可燃性化防止が不可能な場合、本装置による外部大気中への火炎の破裂および伝播がなく、それにより生じる爆発を抑制するための設計が施されていることを確認してください。火炎防止器の使用についてはフレームアレスタ保護システムの使用 *(HazLoc システム)* ページ 30 に記載されています。ご使用の真空システムの外部の大気が危険な場合は、すべての設備が安定して評価されていることを確約する必要があります。

HazLoc には、爆発の危険性のある場所で使用する装置の設計に関する明確な指示が示されています。

あらゆる状態で爆発性雰囲気の排気を避けることが可能な場合には、いずれの当社製真空ポンプも可燃性蒸気またはガスの排気用として使用することができます。

爆発の危険があるのは通常以下の材料のいずれかです。

- 酸化剤
- 可燃性 / 爆発性物質
- 自燃性物質
- アジ化ナトリウム

注記：

欧州共同体構成国 (およびその他の国) では、プロセス材料の販売業者は販売する化合物の物理データおよび化学データ(通常材料安全データシートの形式)を公開することが法律で義務付けられています。爆発限界上限および下限、材料の物理特性および熱力学特性、ならびに材料使用におけるすべての健康への危険に関する情報を材料データの該当箇所に記入する必要があります。この情報を参考として使用してください。

2.3.1 爆発の危険性

注記：

当社製のポンプは、爆発の危険性のある場所で使用する装置に関する欧州の *ATEX* 指令の要件を満たしています。

予期しない爆発は、いつも安全ガイドに従わなことが原因で発生します。激しい爆発事故の場合、重大な人身事故または死亡事故を招く可能性もあります。

真空システム部品の激しい破裂のほとんどの原因は、可燃物質の発火、ポンプ排気の制限または閉塞です 危険を防止するには、以下の点に注意すると、真空ポンプおよびシステム動作の安全を確保することに役立ちます。

- お使いのシステムのポンプの材質が、真空ポンプで発火の恐れがあるぐらい高濃度で設計されていない限り、可燃性の混合物および酸化剤が可燃性範囲外で維持されなければなりません。不活性パージの使用は、これを達成する 1 つの方法です。可燃性領域の回避 ページ 14 を参照してください。
- お使いのシステムがそれに対応するように設計されていない限り、(バルブおよびブランク等の)機械部品、プロセス材料またはパイプライン、フィルタやその他の排気構成部品の副生成物堆積により動作の排気パイプに詰まりが発生していないことを確認してください。
- 高濃度酸素および他の酸化剤に曝露しているポンプ機構の代わりには、PFPE (パーフルオロポリエーテル)オイルのみを使用するようにしてください。ただし、「非可燃性」オイルは容量の 30 % 以上の酸化剤と併用可能な場合があります。
- 密閉、隔離された真空システムでは、思いがけない過圧が決して起こらないようにしてください。たとえば、圧力レギュレータやパージコントロールシステムの故障の結果として起こるものです。
- 排出物が水と激しく反応する可能性がある場合は、冷却回路に水以外の冷却材(例えば熱伝導液等)を使用することを推奨します。これについては、当社にご相談ください。

爆発性物質は空気や酸化剤の存在なしで反応する可能性があり、特に排気すると危険です。

爆発性のポリシリコン固体が、真空システム内で生成される場合があり、生成されると水平面に集まります。通常、NF_3 や SF_6 などの強力な酸化剤を使用して定期的にエッチング工程を実行することにより、材料の形成量を最小限に抑えられます。これにより、真空チャンバに存在する材料が少なくなり、危険な事象が発生する可能性が低減されます。ポリシリコン堆積物が形成される可能性があるが、エッチングガスによって効果的にフラッシュされない量を避けるため、真空システムの設計に特別な注意を払う必要があります。そのような設計の一般的な例として、水平ベローズでは堆積物がコンボリューション内に形成される可能性がありますが、エッチングガスがエッチング可能な範囲は小さな露出面のみに留まります。

ここでの解決策は、ベローズの使用を避けるか、垂直に取り付けることです。

2.3.2 爆発の危険性のあるガスまたは蒸気混合物

正しい酸素濃度または他の適合酸化剤で可燃ガスまたは蒸気を混合する場合、発火源により着火可能な爆発性混合物を生成します。

排出された材料に明らかな爆発の恐れがある場合、当社の経験によると、プロセス設計中に考慮されていない条件により爆発性混合物が生成される場合があります。ご使用の装置で生成される可能性のあるすべてのプロセス条件および爆発性混合物源を確認する必要があります。以下では当社の経験に基づく例を列挙しています。ただし、このリストはすべてのケースを網羅するものではありません。

- 二次汚染 - 真空ポンプを多くのデューティで使用する場合、単独での材料使用が安全であっても、他の材料を使用する前にポンプをパージしないと、予期しない反応により二次汚染が発生する可能性があります。
- 洗浄液 - 用途に問題がないように見える場合でも、可燃性の洗浄液の使用およびその後の真空ポンプの排出を用いた乾燥により、爆発性混合物が生成されることがあります。
- 未知の材料 - 真空ポンプを使用した分散型真空システムを提供する「ハウス真空」デューティでは、システム設計で考慮されていない可燃物質を排気する場合があります。これらの材料の自動点火温度は真空ポンプの内部温度または定格温度より低いことがあります。
- 溶解蒸気 - これらはプロセスの操作中に放出する可能性があり、プロセスにとって適正な内部温度を選ぶ際に注意が必要です。化学プロセス市場では、通常これは HazLoc 要件に含まれています。
- エアリーク - 空気または酸化剤を誤ってシステム内に侵入させた場合、可燃ガスまたは蒸気濃度の変化により爆発性混合物が生成されることがあります。
- 可燃性シール液 - 可燃性の液体を液体リング真空ポンプでシール液として使用する場合、空気の流入により爆発の危険のある内部混合物が生成されます。
- 凝縮プロセス材料 - ご使用のシステム内で可燃性物質が凝縮している可能性がある場合、他のプロセスの手順または排気などの空気からの酸化物とそれらが反応する可能性があることを忘れてはいけません。これは適した温度または分圧コントロールで予防できます。

2.3.3 可燃性領域の回避

可燃性物質は空気または酸素またはその他の酸化物と結合した場合にのみ、潜在的な爆発性雰囲気を作ります。この場合の濃度は可燃下限－LFL (または爆発下限－LEL) と可燃上限－UFL (または爆発上限－UEL)の間になります。文献にあるほとんどのデータは、酸素は酸化剤となるところなど、空気の可燃性制限に基づいていることに注意してください。以下の詳細情報はすべて仮定に基づいています。

爆発の危険性を生ずるには、酸素濃度が最小酸素濃度- MOC (酸素濃度制限 - LOC)を超えるという条件も必要になります。多くの可燃ガスの MOC (LOC) は 5 % の容量またはそれ以上です。

注記：
これは、特別な予防措置を必要とする自燃性物質には適用されません。

可燃性環境でのガス混合を避けるにはいくつかの方法がありますが、これはプロセスおよび排気システムに関るリスク評価(ハザード分析)の結果により決定されます。

欧州連合の爆発性雰囲気指令（「ATEX 114」 または 2014/34/EC）に従い、可燃性ガスの安全性を確保するために推奨される方法は、空気中の濃度が

可燃性範囲内に入らないようにして、発火源が発生した場合に燃焼しないようにすることです。したがって、以下のいずれかのアクションを実行する必要があります。

- 可燃ガス濃度を **LFL (LEL)**以下に維持する

  可燃ガスが偶発的に可燃性環境に流入する危険性を最小限に抑えるには、必ず LFL (LEL)以下運転用のセーフティマージンを使用します。

  セーフティマージンは、ユーザーがリスク評価に従うことで決定されます。いくつかの当局では、濃度を 25 % LFL (LEL)以下に維持するように提案されています。

  LFL (LEL)以下の適した濃度を維持する一般的に使用されている方法は、(窒素などの)不活性ガスパージで希釈した後、ポンプインレットまたはパージ接続部に供給することです。要求される希釈システムおよびアラームまたはインタロックの完全性は、希釈システムの機能に不具合が発生した場合の危険領域により決定されます。

  可燃性下限値は通常、ガスまたは蒸気の供給業者が提供する MSDS（材料安全データシート）に記載されています。これは、可燃性ガス混合物が発火して炎や爆発を引き起こす可能性のある最小空気 / 酸化剤濃度です。

  潜在的な爆発性雰囲気を避け、安全性を確保するには、燃料 / 空気 [または酸化剤] 濃度が可燃性下限濃度の 25% になるまで不活性ガスで希釈する必要があります。

  これは、真空システムへのエアリークの影響によって可燃ガス / 蒸気がさらに希釈されるため、推奨される動作モードです。ただし、不活性ガスシステムは安全性の実現に不可欠なものと見なす必要があります。

  注記：

  必ず予防処置を行い窒息のリスクを回避してください。

- 可燃ガス濃度を **UFL (UEL)**以上で維持する

  可燃性上限は通常、ガスまたは蒸気の供給業者が提供する MSDS に記載されています。これは、可燃性ガス混合物が発火し、炎や爆発を引き起こす可能性のある最大空気 / 酸化剤濃度です。

  潜在的な爆発性雰囲気を避け、安全マージンを提供するためには、空気 / 酸化剤濃度を、可燃性上限空気 / 燃料で必要な空気 / 酸化剤濃度の 60% に制限する必要があります。

  この動作モードでは、プロセス容器、配管、真空システムからのエアリークを慎重に制御する必要があります。さらに、バルブの開放や不活性ガスボンベの交換などの操作または保守作業による偶発的な空気の侵入を考慮する必要があります。

  このアプローチの利点は、不活性ガスパージを使用する必要がないため、プロセスガスの除害が容易 / 可能になり、コストを削減できることです。

- 酸素濃度を **MOC (LOC)**以下に維持する

  この操作モードでは、安全に運転させるために排気ガスの酸素濃度の監視が必要です。可燃ガスが偶発的に可燃性環境に流入する危険性を最小限に抑えるには、MOC (LOC)以下運転用のセーフティマージンを使用する必要があります。利用可能な工業標準には、酸素濃度の連続監視について示されており、それはガス混合用酸素濃度を最小 MOC (LOC)以下の 2% vol.未満に維持することです。MOC (LOC) が 5 % 未満でない限り、酸素濃度は MOC (LOC) の 60 % 以上で維持する必要があります。定期的に酸素レベルチェック形式でのみ監視を行う場合、MOC (LOC) が 5 % 未満で、酸素濃度は MOC (LOC) の 40 % 以下で維

持する必要がある場合以外は、酸素レベルは最小 MOC (LOC)の 60 % を超えないようにする必要があります。

酸素レベルを最小 MOC (LOC)以下に維持する好ましい方法としては、(窒素などの)不活性パージガスにより排気ガスを薄めた後、必要に応じてポンプインレットまたはパージ接続部に供給し、空気および酸素をプロセス、排気システムから完全に排除する方法があります。要求される空気/酸素の排気法およびアラームまたはインタロックの完全性は、排気および希釈システムの機能に不具合が発生した場合の危険領域により決定されます。

プロセスおよび排気システムから空気を完全に排出するために必要な一般的予防措置は、この章の最後に記載されています。

最小酸素濃度は、潜在的な爆発性雰囲気が存在する可能性のある酸素濃度です。このレベルを下回る酸素濃度では、可燃性の混合物が燃焼または爆発を起こすことはできません。

潜在的な爆発性雰囲気を回避し、安全マージンを設けるためには、酸素濃度を最小酸素濃度の 60% に制限する必要があります。

この動作モードでは、プロセス容器、配管、真空システムからのエアリークを慎重に制御する必要があります。さらに、バルブの開放や不活性ガスボンベの交換などの操作または保守作業による偶発的な空気の侵入を考慮する必要があります。

- 可燃ガス濃度を **UFL (UEL)**以上で維持する

  可燃ガス濃度が高い場合、UFL (UEL)以上の運転がより適しています。可燃ガスが偶発的に可燃性環境に流入する危険性を最小限に抑えるには、UFL (UEL)以上運転用のセーフティマージンを使用する必要があります。ガス中の残留酸素レベルを、可燃ガス UFL (UEL)濃度において通常存在する絶対酸素レベルの 60 %以下に維持することを推奨します。

  酸素レベルをセーフティマージン以下に維持する好ましい方法としては、空気および酸素をプロセス、排気システムから完全に排除する方法が挙げられます。また、(窒素等の)不活性パージガスや追加の可燃ガス(「パディング」ガス)を使用して排気ガスを薄め、ポンプインレットまたはパージ接続部に供給することが必要な場合もあります。要求される空気/酸素の排気法およびアラームまたはインターロックの完全性は、排気および希釈システムの機能に不具合が発生した場合の危険領域により決定されます。

- 可燃ガス濃度を最小爆発圧力以下に維持

  すべての可燃性材料を、爆発を引き起こせない最小圧力以下にします。インレットから真空ポンプまでの圧力を必ずこの圧力以下に維持できる場合は、真空ポンプ内での発火はインレットまで拡散しません。ただし、真空ポンプの排気には予防措置を行ってください。

  プロセスおよび排気システムから空気を完全に排出するために必要な一般的予防措置は以下の通りです。

- エアリークの排除

  リークディテクタを使用するか、または「圧力上昇」テストを行います。プロセスチャンバに可燃物質を入れる前に、真空システムへのエア(酸素)リークが許容範囲内であるかテストを行い確認することが可能です。

  「圧力上昇」テストは、空のプロセスチャンバを通常の操作圧を若干下回る圧力まで排気した後、真空ポンプから遮断して行います。プロセスチャンバ内の圧力が一定時間記録されます。プロセスチャンバ容量は最大許容可能空気漏れとともに算出されるので、一定時間に発生し得る最大許容圧の上昇を計算することが可能です。この最大圧の上限を超えた場合、プロセスチャンバへのエア(酸素)リーク源を閉塞するための措置を実行します。テストはプロセスチャンバへ可燃物質を入れ

る前に複数回行い、いずれも失敗のないことを確認する必要があります。

十分な底面圧を実現する真空システムの機能により、システムのリーク量を表示することも可能です。

- プロセス開始前にシステムからすべての空気を排出します

  可燃ガスをプロセスに注入する前に、(窒素ガス等の)不活性ガスでシステムを完全に排気するか、またはパージによりシステムからすべての空気を排出する必要があります。システムが空気中に排気される前に、可燃ガスを削除するためにプロセスの最後でこの手順を繰り返します。

- ドライ真空ポンプに使用する場合

  シャフトまたはパージシールガス供給を一切行っていない、または大気を汚染していないことを確認してください。また、併せてガスバラストポートがすべて密封されているか、または不活性ガスの供給にのみ使用されていることを確認してください。

- 湿式真空ポンプ(例、油回転ピストンまたはロータリ ベーンポンプ)に使用する場合

  製造元の取扱説明書に従い完全なシャフトシールの保守を実施し、オイル圧損失に対しては、アラーム表示付き排気、加圧済みオイルシステムを使用します。このシステムは、フィルタされた加圧済み潤滑オイル用の圧力スイッチ付き外部アクセサリから構成されています。ガスバラストポートがすべて密封されているか、または不活性ガスの供給にのみ使用されていることを確認してください。プロセス開始前、オイルボックスに対し十分な不活性ガスパージを行い空気を排出します。

- ルーツ真空ブースタポンプの場合

  製造元の取扱説明書に従いプライマリ駆動シャフトシールを管理し、パージまたは「ブリーザー」ポート接続を不活性ガスを入れるためだけに使用することを確約します。

- 逆流

  システム操作手順および各機能を使用することで、ポンプの不具合が原因で発生する恐れのある逆流からシステムを保護できることを確認します。排気された可燃ガスが、ポンプ排出口から最終排出により安全に排出されることを確認します。廃棄中の乱流逆混合を回避するため可燃ガスプロセスの開始前後にパイプラインの適切な不活性パージを実行するとともに、操作中にも十分不活性ガスパージを行うことで、排気パイプラインに可燃ガス混合物が生じないことを確認します。

2.3.4 気密性（大気の漏れ）

危険なプロセスガスを取り扱う真空システムは、内部へのエアリークの結果を判断するために慎重に評価する必要があります。リスクのレベルを特定するために、リスク分析を実施することを推奨します。通常の動作、故障モード、保守手順を考慮する必要があります。一般的なは次のとおりです。よくある問題を挙げます。

- 自燃性ガスとの反応
- 可燃性領域への可燃性ガスおよび蒸気の移動
- 大気中の湿気の侵入による腐食
- プロセスガスとの望ましくない反応。

100% リークタイトな真空システムはありません。超高真空システムでも、常にある程度のエアリークがあります。気密性の欠如が安全性の問題を引き起こす可能性がある場合は、安全な状態を確立するために必要な気密性のレベルを特定するための計算をする必要があります。

真空システムは、一般的にリークタイト設計になっています。ただし、隣接システムのリークタイトネスを保証することはできません。(ヘリウム質量分析リーク検知等の)適切なリーク検知法により、真空および排気システムの完全性を確認してください。ISO-KF や ISO-K などの真空標準配管は、真空基準に準拠したリークタイト設計になっているため、使用することをお勧めします。爆発上限を超えて排気する場合は、施設全体の気密性を考慮してください。リーク率を定期的にチェックしてください。

リークタイトシステムの実現が安全性の実現に不可欠なものである場合、リスクレベルを確立するために真空システムの性能レベルを計算する必要があります。

危険な状態を回避するために気密性が不可欠な場合は、定期的にチェックを行い、システムがリークタイトであることを確認する必要があります。偶発的なエアリークや潜在的な危険につながる可能性のある保守作業には、特に注意を払う必要があります。

注記：
システムの気密性が安全性の実現に不可欠であるが、必要なレベルの完全性を提供できない場合は、プロセスガスを安全限度以下にするために不活性ガス希釈を使用することをお勧めします。

2.4 酸化剤

真空システムでは、酸素などの酸化剤(O_2)、オゾン(O_3)、フッ素(F_2)、三フッ化窒素(NF_3) 六フッ化タングステン(WF_6) が頻繁に排気されます。酸化剤は、O リング、ポリマー、オイルなどのエラストマーを含む真空システム内の幅広い物質と容易に反応し、多くの場合、熱とガス圧力の増加を生成します。これに伴う潜在的な危険には、ポンプまたは排気システム内での火災や超過圧力が含まれます。

ガスを安全に排気するには、以下の推奨情報およびガス販売業者が発行する安全情報に従って下さい。

- 酸素濃度が体積の 25 % を超える場合は、O リング、ポンプベーンなどの部品に PFPE 潤滑剤と耐薬品性ポリマーを使用することが不可欠です。純酸素を排気する場合は、O2 認定ポンプの使用が不可欠です。
- 常態下では酸素濃度は容量の 25 % 以下だが、故障状態では 25 % を超える可能性があるポンプ内では、PFPE 潤滑油を使用してください。酸素以外の酸化剤を排出する場合は、潤滑油の販売元に推奨されている酸化物の圧力についてお問い合わせください。
- PFPE 潤滑油の使用が推奨されますが、適切な不活性ガスパージによりオイルが危険量の酸化剤に曝される恐れがない場合には、炭化水素タイプの潤滑油も使用可能です。

これらの酸化剤の実際の効果は、ガスの圧力と温度によって異なります。どちらも反応速度に影響します。反応速度が速くなるにつれて、過圧や火災の可能性も高まります。通常の条件下では、PFPE 潤滑油は油回転ベーン、ピストンポンプオイルボックス、またはギヤボックスで酸化あるいは分解しないため、爆発の危険性が少なくなります。

空気および鉄類が存在する場合に温度が 290 °C またはそれ以上に上昇すると、PFPE 潤滑油の熱分解が生ずることがあります。ただし、チタニウム、マグネシウム、アルミニウムまたはその合金の場合は、260 °C まで熱分解温度は下がります。

PFPE 潤滑油を油回転ベーンやピストン真空ポンプ内で使用しない場合は、乾燥窒素などの不活性ガスを使用し酸化剤を安全な濃度まで薄めることができます。

酸化ガスの流量が低い場合のみこの方法を使用することができます。ご使用のシステムに安全機能を組み込み、酸化剤濃度を安全レベルまで下げるために必要な不活性希釈ガスの最小フローが常に確保されていること、および酸化剤のフローが最大許容流量を超えないことを確認してください。上記条件を満たさない場合には、直ちに酸化剤のフローが停止するようシステムを設計する必要があります。

酸化剤の排気には、当社製ドライポンプの使用を推奨します（ドライポンプ ページ 36 参照）。ドライポンプの真空作動室にはシーリング液が含まれていないので、酸化剤の処理にドライポンプを使用すると爆発の危険性を大幅に減少させることができます。当社では、炭化水素の潤滑油使用時に、軸受けおよびギヤボックスの不活性ガスパージを推奨しています。

2.5 自燃性物質

多くの場合、シラン(SiH_4)およびホスフィン(PH_3) または自燃性の埃などは、大気圧の空気中で自然に反応して、自燃性ガスは空気中で接触、またはその他の酸化物圧力が十分に高く、燃焼を引き起こすその他の酸化物に触れたときに、燃焼が発生する恐れがあります。自燃性ガスは空気と接触すると自然発火します。つまり、可燃性の上限が 100% の可燃性ガスです。これは、システムへの空気の流入またはシステム排気が大気へ接触することにより発生します。酸化剤および自然性ガスの反応から発生する熱は、爆発性物質の発火源になります。

自燃性の気体だけでなく、粉塵や粉末も自燃性になる可能性があります。これは特に、真空チャンバ内で昇華によって形成された金属粉塵や粉末に当てはまります。これらの粉塵は保護酸化物層を形成していないため、空気にさらされると自己発火しやすくなります。

粉塵は可燃性および自燃性プロセスガスの吸収剤としても機能します。粉塵への吸着率は、高圧、低温、大きな表面積によって増加します。

異なる行程でプロセス排出された排気ガスが共通の抽気システムから排気される場合、燃焼および/または爆発の恐れがあります。そのため自燃性物質の排気時には、独立した排気システムを使用することが推奨されています。リンを使用するプロセスにより、真空システムおよび排気パイプ内で固形リンが濃縮する原因になる可能性があります。空気が存在する状態や僅かな撹拌(例えば、バルブの作動や圧力差によるポンプ回転等)でも、リンが自然燃焼し有毒ガスを放出する可能性があります。不活性ガスパージを使用してポンプを運転し十分な熱を発生させ、リンの濃度を最小限にすることを推奨します。

PFPE 潤滑油はプロセスガスを吸収するので、潤滑油の空気曝露により 局地的発火を引き起こすことがります。修理作業中や自燃性ガスまたは埃の後に酸化剤がシステムから排気される場合に、この危険が高まる可能性があります。真空作動室に潤滑油を含まない当社製ドライポンプを使用すると、この危険の発生を減少させることができます。すべての可燃性物質を放出または取り扱う前に、不動態化されていることを確約必要があります。

自燃性ガス、粉塵、堆積物を取り扱う際は、危険な反応を引き起こす可能性のあるエアリークを排除することが不可欠です。小さなエアリークが自燃性ガスと反応しても、危険な状況を生じさせる可能性は低いですが、各用途で許容可能なリークレベルを計算し、適切な安全マージンを割り出す必要があります。

可燃性の粉塵や粉末はフィルターに溜まったり、配管内に層を形成したりすることがあります。大気にさらされると、非常に活発な発熱的反応を示す可能性があります。通常の動作中、保守中、故障状態の間、これらのシステムから空気が除去されるように措置を講じる必要があります。システムをベントして大気中に放出する必要がある場合は、この目的のために

窒素を使用することをお勧めします。また、真空システムを分解する必要がある場合は、予期しない反応が発生した場合に備えて保護具を使用してください。

注記：
すべての有害性物質を特定し、適切な取り扱い戦略を決定するよう注意する必要があります。

排気システムを大気に開放する前に、吸着したガスを粉塵層から除去するためにパージガスでしばらく運転することをお勧めします。低濃度の酸素を排気することによる制御された酸化は、粉塵内の自燃性ガスを除去し、粉塵を酸化するためにも使用できます。ただし、このアプローチは、粉塵層の大部分が吸収されたガスを保持しながら、表面の材料のみが処理される潜在的なリスクがあるため、慎重に定義する必要があります。

分解後に真空システム部品を浸漬できる水またはオイルバスを使用すると、非常に効果的です。ただし、そのような手順の安全性は、各用途で考慮する必要があります。

シリコンやポリシリコンなどの他の材料は、真空システム内に不安定な堆積物を形成する可能性があります。これらの材料は自燃性と爆発性の境界線にあります。爆発物の章を参照してください。

2.6 毒性材料

真空システムの多くの用途には毒性材料の処理や取り扱いが含まれ、専用の処理が必要になります。

毒性材料は健康に有害な性質を有しています。ただし、毒性は材料およびその相対濃度に特有のものです。材料の販売業者が指定する正しい取り扱い手順および適用する法律に従う必要があります。

真空システムは、真空側の漏れが発生しても大気から空気を吸い込むだけで、有毒なプロセスガスを逃がすことがないため、有毒物質を取り扱う優れた方法です。真空システムの排気ラインについて考慮し始めると、状況は異なってきます。ここでは圧力が大気に近いか、大気よりもすこし高くなっていて、漏れがあると排気される有毒ガスが漏れます。

以下の点も考慮してください。

- ガス希釈 - 毒性のあるプロセスガスは真空ポンプを通って排気パイプに流入するので、装置によりそれ等のガスを薄めることができます。この希釈によりガス濃度は毒性限界以下となります。希釈ガス供給をモニターして、供給に失敗する場合は警告することを推奨します。特に油封式ポンプについては、ポンプの取扱説明書の必要になる可能性のあるオイルリターンキットを参照してください。
- シャフトシーリング (ドライポンプ) - 多くのドライ真空ポンプは、プロセスガスがギヤボックスや軸受けに流入しその結果、真空システムのまわりの大気中に流入することのないようガスパージシステムを使用しています。毒性材料を取扱う場合は、ガス供給が完全に行われていることを確認する必要があります。非ベントレギュレータ は圧力レギュレータ ページ 37 で説明されている逆止チェックバルブと組み合わせて使用する必要があります。
- シャフトシーリング(その他のポンプ) - シャフトシールをオイルで満たす設計 (例えば、EH メカニカルブースタポンプや EM ロータリ ベーンポンプ) により、プロセスガス (または空気) の漏れを最小限に抑え、危険の発生前に(オイル漏れまたはオイル量の減少等を) 視覚的に警告します。その他のシール設計では故障の際に十分な警告を行わない恐れがあります。
- 磁気ドライブ - 完全な気密封止が必要な場合は、カスタマーケアチームにお問い合わせください。漏れのあらゆる潜在的な原因を考慮して

ください。ポンプによっては、磁気ドライブやダブルメカニカルシールなど、特別なシールを提供できます。

圧力逃しバルブまたはバースティングディスクを使用して過圧を逃す場合は、安全に適切な排気システムで放出されることを確かめます。これは毒性の危険を予防します。

有毒物質を大気中に直接ベントできない可能性があるため、真空システムの排気を慎重に検討する必要があります。この場合、廃ガスの流れを安全に廃棄する方法を見つけるために、ガス除害会社に相談することをお勧めします。

有毒ガスが排気された場合、内部表面または閉じ込められた内容物に有毒物質が含まれる可能性が高いです。有毒ガスに接触したポンプや部品を取り外す前に、それらをパージして危険なガスをすべて除去することをお勧めします。

注記：
すべての有害性物質を特定し、適切な取り扱い戦略を決定するよう注意する必要があります。

ポンプを取り外す際は、すべての真空フランジを密閉する必要があります。密閉できない部品は、密閉容器に保管してください。保守目的でポンプを解体する必要がある場合は、専門の汚染除去施設があるサービス施設に返却することが不可欠です。

汚染された真空装置を当社のサービスまたはメンテナンスに返却するときは、次の専用の手順(フォーム HS1) に従い、装置に付属の取扱説明書にある宣言(フォーム HS2)を記載する必要があります。

2.7 腐食性材料

真空システムの多くの用途には腐食性材料の処理や取り扱いが含まれ、専用の処理が必要になります。腐食性ガスは真空システムを損傷させ、危険な状況を引き起こす可能性があります。

フッ素、塩素、その他のハロゲン、またはカルボニルなどのいくつかの腐食性材料、およびオゾンなどの酸化剤または硫化水素などの還元剤もまた、接触していて、存在するために液体が必要ではない材料を攻撃できます。これらの場合、安定した希釈ガスを使用することで腐食性材料の分圧は最低限に抑えられます。真空システムやポンプ モデルの構造に使用する素材は、希望の濃度で特定のガスと互換性のあるものを選ぶ必要があります。高温は腐食を加速させるので、ほかのプロセスが考慮されているところでは最小限に抑えられます。保守の間隔はシステムでの腐食性材料の影響を考慮して確認されます。

すべての腐食性材料を特定し、真空システム内の材料との適合性を確認する必要がありますが、以下の点に注意することが重要です。

- 腐食は物理的、化学的、電気化学的反応に基づいています。
- 最も一般的な金属腐食は電気化学反応に基づいているため、電解質が必要です。これは通常、水の存在を意味します。腐食性物質が無水（水を含まない）の場合、反応は起こりません。
- ハロゲンや有機酸などの特定の化学薬品は、水の存在なしにポンプ材料と反応し、ポンプされた材料と腐食性ガスからのイオンで構成される反応生成物を生成します。材料の種類に応じて、これらの反応生成物は層を形成し、その後の反応を防止 / 最小限に抑えます。反応生成物の一部、例えば $AlCl_3$、 SiF_4 には比較的高い蒸気圧があり、ガスの流れとともに除去されます。そのような条件下では、ポンプ材料が時間の経過とともに除去されていき、ポンプが破壊されます。

- NF_3 やフッ素などの強い酸化物質は、ポンプ内部で使用される有機物質と反応し、これらの部品を破壊する可能性があります。そのような材料とは、シール、ガスケット、グリースオイルなどです。
- 腐食性物質を蒸気相に保つことができる場合は、通常、腐食は起こりません。
- ポリマーやセラミック材料では、化学反応や物理反応が起こることがあります。

真空ポンプで腐食性材料を排出するときは、次の点に留意してください。

- 湿気の進入 - 腐食の影響が加速する湿気を含んだ空気の進入を予防するために、特に注意する必要があります。停止前にシステムの腐食を洗浄するため、停止手順の一環として不活性パージを行ってください。
- 希釈 - 適合する希釈ガスを使用して腐食性蒸気の凝縮を防止し、これにより発生する腐食を防ぎます。
- 温度 - ポンプおよび排気ライン温度を上げ、腐食を制限できる水蒸気の凝縮を防ぎます。より高い温度で、腐食率が増加する場合は、次の章を参照してください。
- 安全装置の腐食 - (火炎防止器の素子や、温度センサ等の)安全性の実現に不可欠な装置は、プロセスガス流量に含まれる腐食生成物により損傷する可能性があります。この危険を除去するために装置の構成物質を選択する必要があります。
- 相変化 - 予期しない相変化により凝縮が発生する可能性があります。温度および圧力の変化を考慮してこの危険を防ぐ必要があります。
- 予期しない反応 - 予期しない化学反応により腐食生成物が生成される可能性があります。複数の用途に装置を使用する場合は、二次汚染の可能性について慎重に検討する必要があります。

腐食を防ぐために、以下の手順を実行できます。

ガスバラストポートまたはポンプの排気にパージガスを加えると、腐食性ガスを蒸気相に保つことができます。

ポンプのスイッチをオフにした場合は、腐食性物質をポンプからパージし、排気ラインからの湿った空気の侵入を防ぐために、少量のパージガスの流れ（シャフトシールパージなど）を継続して維持することをお勧めします。さらに、ポンプの隣の排気ラインにチェックバルブを取り付けることで、ポンプのスイッチをオフにしたときに水分が逆流することを防ぎます。これは、ガス除害用に湿式スクラバが設置されている場合に強く推奨されます。

冷たい表面や高圧の表面は、腐食につながる結露が発生する可能性が最も高い場所です。したがって、特にパイプラインが低温の場所（屋外など）に設置されている場合は、排気パイプラインが最も危険です。危険な腐食を避けるため、排気ラインの仕様を慎重に検討することをお勧めします。シーリング材は、腐食性材料との適合性を確保するために慎重に選択する必要があります。

ハロゲンを取り扱うポンプには、アルミニウムまたはアルミニウム合金の使用は推奨されません。ポンプ材料とハロゲンまたは酸との反応を避けるため、ポンプ室のコーティング施工が一般的です。反応性プロセスガスと接触する銅または真鍮の使用は推奨されません。

油封式ポンプまたは真空チャンバ内のグリース潤滑軸受けを使用するポンプで腐食性ガスまたは強酸化剤を排気する場合は、オイルの劣化を防ぐために PFPE を推奨します。

2.8 まとめ **-** 化学的危険因子

- システム内で発生する可能性のあるすべての化学反応を考慮します。

化学的危険因子

- 故障状態下で発生する化学反応を含め、異常な化学反応を考慮に入れます。
- プロセス材料の潜在的危険性について判断する場合は、材料安全データシートを参照してください。
- 希釈を行うことで酸化剤および可燃物質に対する反応を最小限に抑えます。
- 可燃性領域が指定されている EU では、適した承認済みの HazLoc 真空ポンプを使用しなければなりません。その他すべての地域では、当社は HazLoc 指令で承認されているどこでも使用が可能なポンプを使用することを推奨しています。
- 酸化剤の排気の際にはポンプ内で正しい種類の潤滑油を使用するとともに、ドライポンプの使用を検討します。
- プロセスがアジ化ナトリウムを使用または生成する場合には、プロセスシステムのガス経路内で重金属を使用しないでください。
- 毒性、腐食性または不安定材料を取り扱う際には特に注意してください。

3 物理的危険因子

過圧ハザードの種類

真空システムの構成部品の過圧は、以下のいずれかが原因で発生する場合があります。

- システムへの高圧ガス供給
- システムによるガス圧縮
- システム内での揮発性ガス温度の急上昇
- 固形生成物の堆積につながる相変化
- 真空システム内の反応により排気が遮断されました。その他の原因も考えられます。

3.1 過圧ポンプの排気

過圧排気の一般的な原因としては排気システムの制限または閉塞が挙げられます。これによりポンプやシステム構成部品の故障につながる場合があります。

真空ポンプは、インレットからアウトレットへの高圧縮率で動作可能なように特殊設計が施されたコンプレッサで、ポンプ動作が原因で発生する可能性のある過圧に加え、(パージまたは希釈ガス等の)圧縮ガス供給により、排気システム制限されているかまたは閉塞している場合システムを過圧状態にする可能性もあります。

真空システムは通常、大気圧を少し上回る圧力範囲からフル真空までの圧力で設計および動作します。高圧用に設計されていないため、危険な過圧状態につながる可能性のある状態を避けるように注意する必要があります。考慮すべき地域は次のとおりです（「排気口閉塞」、「パージシステムからの過圧」、「設計圧力」）。

ポンプの排気側に火炎防止器が装備されている場合、必ず排気背圧が真空システム取扱説明書記載の最高限度を超えないようにしてください。プロセス堆積物によるシステムおよび火炎防止器の閉塞を防ぐため、適切な保守プログラムを実施してください。

保守プログラムが実施できない場合は、ポンプおよび火炎防止器間に設置した圧力センサにより制限を検知してください。フィルタやコンデンサーなどのその他の排気装置でも同様のことを考慮する必要があります。

昇華または相変化はプロセスパイプラインの閉塞および過圧ハザードにつながります。排気ラインにプロセス堆積物が形成されると、ポンプが高いガス流量で動作しているときに過圧状態が発生する可能性があります。これにより、通常、過剰なモータ電流により真空ポンプが停止しますが、特定の条件下では、真空ポンプが著しく危険な過圧を発生させる可能性があります。真空システムの排気にプロセス堆積物が蓄積する可能性を評価し、これを回避できない場合は、何らかの形式の圧力検出の手段を使用して過圧状態を検出する必要があります。圧力センサ自体がプロセス堆積物で汚染されないように注意する必要があります。

ご使用の真空ポンプを含むお持ちのすべての排気コンポーネントの最高および推奨連続背圧については、真空ポンプ システムに付属の取扱説明書を参照してください。排気システムの設計は、これらの制限を満たしている必要があります。

継続した操作中の制限については、ポンプの取扱説明書を参照してください。

3.1.1 排気過圧の保護

ポンプの運転は、一般にフリーベント式の排気システムに排気を放出しながら行うことを推奨します。ただし、ご使用の排気システムにシステムの制限または閉塞を引き起こす恐れのある構成部品が組み込まれている場合があり、 その場合には適切な過加圧防止措置を講ずる必要があります。以下のような方法があります。

部品	防止措置
排気パイプラインのバルブ	ポンプ運転中バルブが必ず開くようインタロックします
	圧力逃し用バイパス回路を組み込みます
排気スクラバ	圧力逃し用バイパス回路を組み込みます
	圧力モニタを組み込み、排気圧力が高過ぎる場合にポンプのスイッチがオフになるようインタロックします
火炎防止器	排気圧力測定
	圧力差測定

以上をまとめると、排気システムの圧力が最大許容圧に近づいた場合

- 装置により、制限されているかまたは閉塞している箇所に平行のガス経路圧力を下げます。
- 圧力源を減少させます。ポンプを停止するか、またはすべての圧縮ガス供給を停止します。

3.1.2 排気口閉塞

真空システムの排気が詰まり、過圧につながる可能性があるケースは数多くあります。最も明らかなケースは、排気ラインにバルブを取り付けた場合です。バルブが真空ポンプを開けなかった場合、危険な過圧状態につながる圧力が生じることは明らかです。バルブが不可欠な場合は、その動作を真空ポンプの動作と慎重に連動させる必要があります。

一部の用途では、ポンプおよび / または排気パイプの温度管理を使用して詰まりを防ぐことができます。このような技術は、蒸気圧が高い製品によるプロセスで使用されます。

3.2 インレット加圧

3.2.1 圧縮ガス供給および逆圧

パイプライン圧は大気圧以上にならないという考えから、一般にパイプを真空システムに接続するパイプラインの必要圧力定格値は小さく設定されています。これは実際には通常の設計動作条件下でのみ当てはまります。通常でない状態または故障状態からより高い圧力が発生することを考慮して、必要圧力定格を算出する必要があります。

ポンプインレットパイプラインでの過圧の一般的な原因は、ポンプ不動作時の(パージガス等の)圧縮ガス供給です。インレットパイプラインの構成部品が発生する圧力に適合していない場合、パイプラインが破裂しプロセスガスがシステムからリークします。システムから発生するガスが圧力耐性のないプロセスチャンバに逆流し、破裂やリークが発生します。

ご使用のシステムに、低圧フローを処理するよう設計されている圧力レギュレータを通して圧縮ガス供給を接続する場合は、圧力がシステムの定格範囲内であることを確認してください。

プロセスガスの流量がない状態でシステムを運転した場合、一般的な非ベント式圧力レギュレータでは、システム内の圧力によりレギュレータへの

ガス供給圧力が上昇しますので、過圧防止のため、以下のいずれかの方法を実施する必要があります。

- 圧力を下げガスをポンプにバイパスし、フリーベント式排気に流入させる
- システム圧力の監視を行い、ポジティブ密閉バルブを使用し設定圧力レベルで圧縮ガス供給を停止する。

3.2.2 パージシステムからの過圧

プロセスガスの信頼性の高い排気と危険な化学反応の防止を支援するために、真空システムにパージシステムを取り付けることが一般的です。これらのパージは非常に有用な機能を果たしますが、実施を慎重に検討しないと、独自の過圧の危険性を生じてしまう可能性もあります。

パージガスはパージガスタンクまたはボトルから供給され、2 bar(g) から 10 bar(g) の供給圧力で真空システムに到達します。ほとんどの場合、圧力レギュレータを使用してこの圧力を下げる必要があります。圧力レギュレータは、流入供給圧力から望ましい動作圧力までガス圧力を下げます。0.1 bar(g) から 1 bar(g) の範囲の動作圧力を示すことが一般的です。

パージガスがオープンシステムに供給される場合、これらの調整済みパージシステムはうまく機能しますが、システムがクローズドシステムである場合、またはバルブを閉じるなどの動作によってクローズドシステムが作成される場合、過圧状況のリスクがあります。

圧力レギュレータには以下の 2 種類があります : 1 つは「リリーフ」レギュレータと呼ばれ、もう 1 つは「ノンリリーフ」レギュレータと呼ばれます。これらの動作は異なり、独自の危険をもたらす可能性があります。

リリーフレギュレータは、過剰な圧力を大気にベントすることによって閉鎖系統の圧力を制御します。これは良い機能ですが、この過剰な圧力により危険なプロセスガスの形態になる可能性があることを覚えておく必要があります。

ノンリリーフレギュレータの場合、これはオープンシステムで使用するように設計されており、過圧状況では圧力を下げません。開放機能のないレギュレータをクローズドシステムと組み合わせて使用すると、時間の経過とともにレギュレータの供給側からシステムにわずかなガスが漏れます。最終的には、システムが供給圧力まで加圧されることになります。ほとんどのオープン真空システムは、故障状態が発生した場合にクローズドシステムになる可能性があるため、このタイプの装置を使用するとリスクが生じます。この点について検討する必要があります。

解決策は、レギュレータと真空システムの間にノンリターン「チェック」バルブを備えたリリーフレギュレータを使用することです。レギュレータは、システム側の圧力が希望する圧力で制御されるようにします。一方、ノンリターン「チェック」バルブは、システムからレギュレータへのガスの逆流を防ぎます。チェックバルブは、25 mbar までの圧力差を備えており、これにより圧力降下を最小限に抑えます。真空システム内に他の圧力源がある場合は、これらを個別に考慮する必要があります。リリーフレギュレータはこの過剰圧力をベントしません。

過圧ベントバルブを使用する場合は、ベントされるガスの種類とガスがベントされる場所を考慮する必要があります。これを考慮しないと、危険なプロセスガスを地域の大気中にベントしてしまう可能性があります。

3.2.3 誤ったポンプ動作

ポンプが正しく動作していることを確認するまで特別の予防措置を講じるようにしてください。

ポンプの正しい方向に回転せず、かつインレットが制限されているかまたは閉塞している状態でポンプを運転した場合、ポンプはインレットパイプラインに高い圧力を発生させます。この結果、ポンプ、パイプラインおよび/またはパイプライン部品の破裂が発生する可能性があります。

ポンプの回転方向が正しいことを確認するまでは、必ずポンプインレットに緩くネジ止めしたブランキングプレートを使用します。

高回転速度での運転によりポンプの破損が発生する恐れがあります。最大設計回転速度を上回る回転速度でポンプを運転しないでください。これは周波インバータが速度制御に使用されている場合特に重要です。

3.3 温度

熱サイクル

機器で熱サイクルが発生する場合（例えば通常の真空ポンプダウンサイクルなどによる）、シーラントや機械装置で正しく固定されていない場合、時間の経過とともにこれらの熱サイクルにより締結具や取り付け具が緩む可能性があることを認識することが重要です。熱サイクルのリスクがあり、ファスナーが緩む結果として危険な状況が生じる可能性がある場合は、これらのファスナーの締め付けを定期的に確認する必要があります。

高温表面

真空システムや真空ポンプは、プロセスの性質上、表面が高温になることがよくあります。たとえば、一部のプロセスでは、危険なガスの凝縮を防ぐために排気ラインを加熱する必要があります。70°C を超える高温の表面が発生する場合、高温の表面警告ラベルを高温の表面に貼付することをお勧めします。温度が 100°C を超える場合は、接触を防ぐために何らかの形で表面を保護する必要があります。

周囲運転温度

真空システムは通常、40°C の最高周囲運転温度で動作するように設計されています。このレベルを超える温度では、真空ポンプのエラストマーシールが過熱し、漏れや危険な分解生成物の生成につながる可能性があります。高い周囲運転温度に関連する危険を理解するように注意してください。

周囲温度が低いと、O リングなどのエラストマーの脆化や、プロセス中の製品による凝縮により危険な液体が形成される危険性もあります。危険分析では、真空装置の最低設計温度と、製品によるプロセスの凝縮の可能性を考慮する必要があります。

排気ライン加熱

排気ライン加熱は、プロセスガスが排気ライン内で凝縮または凝固し、詰まり、腐食、または爆発を引き起こす可能性がある場合に使用する必要があります。排気ライン加熱を使用する場合、特に温度が制御不能に上昇し、配管内のエラストマーシールが過熱する可能性のある故障条件では、そのようなシステムの安全性を考慮することが不可欠です。

設計温度温度

容器または配管が圧力を保持するように設計されている場合、容器または配管が圧力定格に達する最大設計温度を定義する必要があります。最大設計温度を超えてシステムを動作させないでください。

物理的危険因子

3.4 まとめ **-** 物理的危険因子

- 安全計算を行う場合は、必ずシステム内の全構成部品の安全動作圧を考慮するようにしてください。
- ポンプ排気が閉塞していないまたは詰まっていないことを確認してください。
- 定格圧力を超えた高圧力が真空システムのどこかで発生する恐れがある場合は、ご使用のシステムの最適な場所に圧力測定装置を取り付けることを推奨します。過圧状態が検出された場合は、システムを安全な状態にするために、これをコントロール装置に接続しなければなりません。
- 真空システムおよびポンプの部品に必要な圧力定格を算出する場合は、通常でない状態または故障状態を考慮するようにしてください。
- 圧力逃し装置の種類が正しく、かつ定格が用途に適合していることを確認してください。
- 圧縮ガス供給の調節および監視が正しく行われていることを確認してください。ポンプのスイッチを切る場合はこれらの供給をオフにします。
- 調節済みパージへの供給圧力がシステムの最大許容静圧より低いことをできるだけ確認するようにしてください。確認できない場合は、部品に不具合がある場合に圧力逃しが可能なことを確認します。

4 システム設計

4.1 システムの圧力定格

物理的危険因子 ページ 24 で説明したように、真空システムパイプラインおよび部品は、大気圧以下の内部圧で動作するよう設計されています。大気圧以上の内部圧でも動作するようご使用のシステムを設計する必要があります。必要がある場合、過圧防止のため圧力逃し装置を取り付けなくてはなりません。

インレットパイプラインおよび他のインレット部品は、真空または故障状態下で運転を行った場合でもシステムの最大ウィークポイントにならないようにすることが重要です。

排気システムは、必ずポンプ運転中の背圧が常に最小になるように設計する必要があります。ただし、適切な圧力定格で排気システムを設計することも重要です。ポンプが起こす可能性のある圧力に適していなくてはならず、さらにたとえばシステムに圧縮ガスが導入された場合にも、過圧保護対策が取られれば適切に使用できなくてはなりません。

ハザード分析では必ず以下の項目を考慮します。

- 不活性ガス接続のような外部インレット
- すべての供給源からの遮断および閉塞。特に排気ラインの遮断、閉塞。
- 複数のプロセスガスの反応

爆発性の液体がベゼル中に閉じ込められた場合、(火災等から生ずる)外部の熱により内部圧がベゼルの設計圧力を超過する場合があることに注意してください。この場合、適切に圧力を逃す必要があります。

4.2 滞留ガスを除去する

堆積物とは、真空パイプまたはコンポーネント中のガスの流れない部分に溜まる沈殿物です。メカニカルブースタポンプのギヤボックスや装置のゲージヘッドが例です。バルブ付きパイプラインおよび窒素ガスインレットパイプが遮断された状態でも滞留ガスが発生することがあります。

通常プロセスチャンバ中で同時に使用しないプロセスガス同士を混合および反応させる場合、滞留の発生を考慮する必要があります。先行するガスの通過後、引き続き単一ガスまたは混合ガスがパイプ、ポンプおよびプロセスチャンバ中を直線的に流れます。通常このようなリニアフローで動かされたガスは、制限または閉塞により排ガス速度が減少しない限り混合されません。滞留ガスがパージされずに、システムの圧力上昇や下降によりプロセスガスが充満する場合があります。これにより、プロセスの第1ステージでシステムを通過したガスが保持されます。これ等のガスは、その後のプロセスで発生するガスと反応する場合があります。不適合ガス供給中のパージおよび入念なチャンバ排気により、爆発の危険性を防ぎます。

相対的にガス爆発の危険がある状態で、滞留ガスに二次汚染を発生させる場合、細心の注意を払う必要があります。特に、フィルタ、セパレータ内、およびその他のコンポーネントの圧力増加の危険性を考慮する必要があります。必要に応じて質の高い連続フローの不活性ガスパージを行い、二次汚染の可能性を減らします。これにより、問題となる可能性のある混合物の濃度に達しないようにすることができます。

可燃性ガスを排出する場合、滞留ガスにより通常のパージでは除去できない爆発の危険性のあるガスや蒸気が充満する可能性があります。同時に発火源が存在する場合には、特別な滞留ガスパージの実行を検討する必要があります。.

4.3 排ガス吸引システム

プロセスでは正しいタイプの排ガス吸引システムを使用することが重要です。前に述べたように、排気システムは運転圧力に耐えられるよう設計し、危険材料の生成および処理を行う場合には十分にリークタイトし、大気中へのプロセス材料とその副生成物の放出を防ぐ必要があります。

4.4 フレームアレスタ保護システムの使用 (HazLoc システム)

継続して排出ガスと蒸気の混合物が可燃性(可燃性領域の回避 ページ 14 を参照)である、長期間(例、ゾーン 0 条件)で通常の操作中または予測可能な故障中に発火源のリスク(発火源 ページ 31 を参照)が実際に起こる場合、ご使用のプライマリポンプに必要な火炎防止器を取り付ける必要があります(火炎防止器 ページ 38 も参照)。プロセス配管や周囲の大気への火炎の伝播を防ぐために、火炎防止器を真空ポンプでテストする必要があります。

長期間にわたって可燃性混合物が存在するところには、承認済みで試験済みの温度トランスミッタをインレット火炎防止器に取り付けて、継続燃焼を検出する必要があります。継続燃焼が検出された場合は、ポンプの電源を切り、燃焼源から遮断する必要があります。承認済みの火炎防止器および温度トランスミッタに関するアドバイスについては、お近くの当社カスタマーセンターお問い合わせください。ポンプの稀な故障(ゾーン 0)の際に火炎防止器およびポンプを熱から守るには、排気温度トランスミッタをポンプの排気に取り付ける必要があります。電源を切るポイントは排気システムにより異なります。ポンプに関連した HazLoc マニュアルを確認してください。

インレットまたは排気にある温度トランスミッタのどちらかが、最大制限に達する場合は、故障状態となり適切な処置を行う必要があります。火炎制御はポンプの使用状況により異なりますが、以下のような方法があります。

- 燃料供給を停止する - 真空ポンプのインレットにあるバルブを閉めると、真空ポンプへの燃料供給が遮断されます。
- 発火源を遮断する - 電源をオフにして真空ポンプを停止します。
- 燃焼箇所の不活性化 - 燃焼箇所への不活性ガスの急速注入(通常はこの方法を実行しますが、燃焼箇所はポンプの排気マニホルド内以外の場合もあります)により、火炎が鎮火します。発火源を除去しない場合、炎が再発火する可能性があることに注意してください。

4.5 真空システムへの水漏れ

水と接触すると危険を引き起こす可能性のあるプロセスガスおよび蒸気を排気する場合は、冷却水システムの気密性を考慮する必要があります。代替の冷却液も検討できますが、その前にお近くのカスタマーセンターにお問い合わせください。

4.6 排気ガスのサックバック

真空ポンプのインレットが真空状態でオフになると、排気配管 / システムから排気ガスが逆流します。このガスに空気 / 酸素が含まれている場合、プロセスガスまたは内部堆積物との望ましくない反応が発生する可能性があります。この可能性がある個所では、真空ポンプの排気口に逆流防止チェックバルブを取り付け、排気ガスの逆流を遅くすることをお勧めします。さらに、真空ポンプが停止したときに窒素パージを使用すると、真空システムから空気が確実に除去されます。

4.7 発火源

真空ポンプが可燃性混合物の排出に使用されるところでは、すべての可能性のある発火源を考慮しなければなりません。以下は全体的なチェックに利用できる検討項目です。プロセスによって、いくつかまたはすべての発火源を回避できる可能性があります。プロセス条件またはシステム要件のために発火源を回避できない場合は、それに従ってシステムを設計しなければなりません。

注記：
一部のポンプは、(正しい用途で使用された場合) 内部爆発を抑えることが第三者機関により認証されています。

- 機械接触 - 回転による機械接触および真空ポンプおよびシステム内の固定部品は、発火源になる恐れがあります。すべての真空ポンプは、どんな作動状況でもポンプ内で適切な空気の流れを維持するように設計されています。この発火源を回避するには、内部表面に材料が堆積することを予防するまたはポンプを洗浄することが重要です。軸受けはよい状態に保つ必要があり、また十分な潤滑油および適したパージガスがあり、プロセスガスとの接触を排除します。推奨の軸受けの保守体制は、安全で信頼できる操作を確約するために従わなければなりません。
- 粒子吸入 - すべてのポンプ機構は、プロセスまたはシステム製造プロセスの結果生成された粒子を吸い込む可能性があります。稼動中の表面および静止表面間にこれらの粒子が吸い込まれた場合、熱が発生する可能性があります。適切なインレットスクリーン(メッシュ)またはフィルタは、真空ポンプへの粒子の進入を予防し、粒子のサイズや量を減らしてより安全にします。インレットスクリーンまたはフィルタの適切な保守体制を確立するために、注意しなければなりません。
- ダストの堆積 - ポンプ機構がダスト生成プロセスに取り付けられている場合、内部クリアランスに凝集した微粒ダストが堆積することがあります。インレットダストフィルタを使用した場合でも、粉末粒子がポンプに進入することがあります。温度変化による僅かなサイズの変化により、稼動中の表面に圧縮ダストが接触し発熱する可能性があります。さらに、この熱によりダストが発火する可能性があります。詳細については、自燃性物質 ページ 19 を参照してください。
- 圧縮熱 **(**自動点火**)** - 排気ガスおよび蒸気の自動点火温度に関し、コンプレッサ内での内部圧縮熱を考慮する必要があります。ポンプには温度分類があり、排出するガスと同じまたは高くなっていることを確約する必要があります。
- 高温状態の装置表面 - 可燃ガスや蒸気が高温状態の装置表面に接触する可能性がある場合、自動点火温度を超えると発火することがあります。注記：上昇した表面温度により内部 (および外部) で自動点火を引き起こす可能性がある場合は、ポンプおよび火炎防止器を断熱しないでください。
- 外部加熱 - 真空装置の近くで火災があった場合などに、外部加熱が発生することがあります。この場合、システムの最大静圧を超える内部圧および自動点火温度を超える温度が生ずる可能性があります。この点はシステムハザード分析の一部として考慮する必要があります。
- 高温プロセスガス流量 - 高温のインレットガス温度により、内部(または外部)表面が排気中の材料の自動点火温度を超えることがあります。また高温のインレットガスは、ロータ/ ステータの動作の停止を引き起こします。最大許容内部ガス温度については、ご使用の真空ポンプの取扱説明書をよくお読みください。詳細については、最寄りのカスタマーセンターにお問い合わせください。

- 触媒反応 - 特定の素材がある場合、触媒発火を引き起こす可能性があります。真空システム内のあらゆる構成材料が、排気ガスや蒸気に反応する可能性があることを考慮する必要があります。
- 自燃性物質 - 自燃性物質の燃焼熱は、空気または酸化剤が侵入してあらゆる可燃物質の発火源となることで、発生します。自燃性物質 ページ 19 を参照してください。
- 静電気 - 静電気がスパークとしてアースに放電される前に、絶縁部品に蓄積される場合があります。システム設計上、静電蓄積を考慮する必要があります。
- 落雷 -屋外に設置する場合､落雷により発火することがあります。システム設計上、この可能性を考慮する必要があります。

4.8 まとめ－システム設計

安全な真空ポンプシステムを設計するには、次の点に留意する必要があります。用途により、さらに留意点が増える場合があります。

- 危険材料を排気する場合､フェイルセーフ設計を行う必要があります。
- 酸化剤を排気する場合、ポンプ内の PFPE (パーフルオロポリエーテル) 潤滑油を使用します。
- 不活性ガスを使用して、爆発または燃焼性制限以下、あるいは酸化剤の濃度を最小またはより低くし、可燃ガスの濃度を減らす場合は、不活性ガス供給の安全性を確保する必要があります
- 濃度は、爆発または燃焼性制限の上限以上に維持することもできますが、濃度が燃焼可能範囲に落ちてしまわないことを確約するために、実施には最適な安全予防処置が必要です
- リークテストシステムおよび設備で、使用前に必要な気密性を確約します。
- ガスが大気中に放出されるか、または酸化ガスと混合される前に、不活性ガスで自燃性ガスを安全レベルまで薄めます。
- システムのガス経路内では、絶対にアジ化ナトリウムを重金属と接触させないでください。
- システムのすべての箇所で、システムの最高圧力が個々の安全レベルを超えないようにしてください。
- 排気用の物質に関する安全情報については常に確認を行ってください。
- 真空作動室のオイルに関し危険がある油回転ベーンやピストンポンプ代わりに、ドライポンプの使用を検討するようにしてください。
- 真空ポンプを使用して潜在的に可燃性混合物を排出する場合は、すべての発火源および爆発の可能性のある結果を考慮する必要があります。

5 一般的な慣行

5.1 配管における堆積物の形成

一部の用途では、真空システムのフォアラインに堆積物が形成される可能性があり、そのような例としては、半導体堆積工程後のシリコン層の形成が挙げられます。これらの固形堆積物は蒸気相で形成され、多数の危険をもたらす層を形成します。

- 層が重なっていくにつれて、層の一部が欠けて真空ポンプに向かって移動する可能性があります。場合によっては、真空ポンプがそのような層によって損傷を受け、まれに層が重大な機械的損傷を引き起こし、ポンプケーシングが破裂する可能性があります。
- 層は真空下で堆積されるため、酸素との接触で燃焼することを防ぐ保護酸化物層がないことがよくあります。これらの材料が最終的に大気にさらされるときは注意が必要です。
- 重大な層が形成されると、フォアラインが詰まり、真空性能の低下につながる可能性があります。プロセス堆積物がフォアラインの壁から破損する可能性がある場合は、フォアラインにデッドレッグを設置して、最大粒子を捕捉することを推奨します。さらに、金属メッシュスクリーンをデッドレッグまたはサイクロンセパレータの横に垂直に設置して、粒子がポンプに搬送されることを防ぐ必要があります。

プロセス堆積物が危険な性質を持つ可能性がある場合は、真空システムのユーザーがリスク分析を実施して、これらの材料を安全に取り扱う方法を決定することが不可欠です。

5.2 周波数インバータの使用 - パスワードの使用

周波数インバータは、真空システムの性能を向上させるために使用されることがよくありますが、最大回転速度を正しく設定するよう注意する必要があります。

多くの周波数インバータは最大 200 Hz の出力速度を生成でき、適切な種類のモーターと連結すると 12000 rpm の回転速度に達します。ほとんどの真空ポンプは 3000 rpm から 6000 rpm の回転速度で動作するため、インバータが誤ってより高い回転速度でプログラムされると、大きなリスクが生じる可能性があります。

周波数インバーターを使用する場合、パラメータリストの最大回転速度をパスワードで保護することをお勧めします。これにより、最高速度パラメータの誤った調整を防ぐことができます。

5.3 インレットバルブの位置

真空システムとプロセスチャンバの間に位置するインレットバルブは、保守作業中に真空システムを遮断するためによく使用されます。保守作業中は、このバルブが正しい位置にあることが不可欠です。

このバルブの適正な位置が安全性の実現に不可欠な場合は、安全な操作方法を決定するために、危険分析の一環としてレビューすることをお勧めします。

5.4 ホットトラップ

プロセスガスが真空ポンプに到達する前にホットトラップを使用してプロセスガスをトラップ / 反応させると、それ自体に危険が生じます。主な危険は熱です。通常、これらのトラップは数百度の内部温度で動作します。この温度は通常、外部表面に完全には伝わりませんが、エラストマ製

O リングなどの隣接するコンポーネントが熱的に損傷する可能性があります。ホットトラップを指定する際は、特に注意してください。

5.5 コールドトラップ

通常は気体や蒸気である物質を大気圧で凝縮するために窒素コールドトラップを使用する場合は、予期しない加熱の結果を考慮することが不可欠です。液体ガスおよび蒸気は加熱時に大量のガス / 蒸気を発生させ、閉鎖システムに放出すると危険な過圧につながる可能性があります。危険な過圧の可能性を避けるため、システムのベント方法を慎重に検討する必要があります。

5.6 コンデンサ

コンデンサは、プロセス流から蒸気を除去する非常に効果的な方法ですが、コンデンサの詰まりの可能性を考慮することが不可欠です。通常、コンデンサは、液体が排出できる適切なレシーバー容器と共に使用されます。これには、レシーバーを空にするタイミングを判断するために使用されるレベルインジケータが取り付けられます。レシーバーから排液しないと、液体が真空ポンプに流れ込み、排気ラインが詰まり始める可能性があります。

5.7 システムの完全性レベル

不活性ガスの希釈による防止法については、以前の章に記載されています。この方法は、ご使用のプロセスガスを不活性ガス(通常は窒素)と混合させ、爆発または反応を引き起こさない程度にまで薄めるというものです。爆発防止のためガス希釈を 1 次安全システムとして使用する場合、ガス希釈システムが動作しない時のシステム動作を防ぐ、高品質アラームおよびインターロック システムを使用する必要がある場合があります。ガス希釈システムの完全性は、リスク評価(ハザード分析)中に考慮する必要があり、希釈システムが動作しなくなる内部領域(つまりリスクレベル) に左右されます。システムの完全性に求められるレベルを決定する際には、必ず現行のベストプラクティスをリスク評価に適用する必要があります。

例えば、希釈システムを可燃領域外における可燃ガス濃度の維持に使用した場合、排出ガスが希釈の失敗により可燃領域内に連続的または長期間(通常 ATEX ゾーン 0 の要件は 50 %以上を考慮)存在する状態になると、希釈システムは以下のいずれかの条件を満たす必要があります。

- 稀な故障の場合でもフェイルセーフであること。
- 2 箇所の故障がある場合に安全な状態であること。
- 独立した 2 系統の希釈供給システムから構成されていること
- また、希釈システムの故障により排出ガスが可燃領域内に流入した場合 (例えば ATEX ゾーン 1 条件)、希釈システムは以下のいずれかの条件を満たす必要があります。
    - 予想された故障の場合でも、フェイルセーフであること
    - 1 箇所の故障がある場合に安全な状態であること

希釈システムの故障により、排出ガスが可燃領域に流入する恐れは低い、または短期間 (例えば ATEX ゾーン 2 条件)のみの流入可能性はある場合、正常運転下において希釈システムは安全な状態である必要があります。

6 正しい装置の選択

装置が用途に合った正しいものであるかを確認するには、運転に必要なシステムの制限を考慮することが必要です。当社製装置の技術データは、製品カタログ、広告用の出版物、および装置の取扱説明書に記載されています。ご希望により更に詳細な情報をご入手頂くことが可能です(一部除く)。さらに助言が必要な場合は、当社までお問い合わせください。

真空システム設計の際には、以下のメカニカルポンプパラメータを考慮してください。

- 最大静圧 (インレットおよび排気)
- 最大動作インレット圧力
- 最大動作排気圧力
- インレットおよび排気コンポーネントのコンダクタンス
- ポンプに取り付けられた他のコンポーネントの圧力仕様
- 排気ラインが詰まった場合の圧力監視
- 油回転ベーンやピストンポンプについては、以下の点も考慮する必要があります。
    - ガスバラスト流量
    - オイルボックスパージ流量
    - オイルボックスにトラップされたガスおよび蒸気
    - オイルボックス内のオイルに吸収されたガスおよび蒸気。

最大静圧とは、ポンプの非運転時にポンプのインレットまたはアウトレット接続にかかる可能性のある最大圧力を言います。この圧力はポンプの機械設計により異なります。

油回転ベーンおよびピストンポンプは、インレット圧または大気圧以下で操作するよう設計されています。最大静圧定格が大気圧以上の場合でも、ポンプの最大インレット圧力が操作時に大気圧以上にならないようにする必要があります。この点、ポンプの連続インレット圧を大気圧以下の圧力まで制限している装置の製造元もあります。動作中のポンプの最大インレット圧力は、最大動作圧力と呼ばれます。

最大動作圧力の制限とポンプの機械的な完全性との間には必ずしも関連性はありません。通常、最大圧は高インレット圧力時におけるポンプの電力定格に比例し、ポンプまたは電気モータ内部にある機械部品の過熱の危険性と関連があります。

同様の理由で、真空ポンプのアウトレット圧力を可能な限り低圧に維持することを推奨します (一般に継続運転では 0.15 bar ゲージ圧、1.15×10^5 Pa またはそれ以下)。ポンプは無制限排気運転ができるよう設計されており、0.15 bar ゲージ圧 (1.15×10^5 Pa) のアウトレット圧力は、排ガス吸引システムおよび処理装置を通過した排気ガスの排出用圧力として十分高いと言えます。

6.1 油回転ベーンおよびピストンポンプ

当社製油封式ロータリ ポンプには、E1M、E2M、ES と RV シリーズのロータリ ベーン ポンプ、および油封式ピストンポンプの Stokes Microvac 製品シリーズがあります。一般にすべての真空ポンプは、大気圧以下のインレット圧力および雰囲気中に大量に排出されるポンプ排気により動作するよう設計されています。

油回転ベーンやピストンポンプは容積式コンプレッサなので、アウトレットの流れが妨げられるか、または制限された場合、排気圧が極めて高くなる可能性があります。このような場合、排気圧はポンプオイルボックスの

正しい装置の選択

安全な静圧および(ポリプロピレン製洗浄装置や真空 O リングジョイント等の)システムのダウンストリーム部品の安全な静圧を超過する可能性があります。そのため当社は、質の高い排気圧力センサをポンプ排気ラインに取り付けることを強く推奨します。

希釈の安全レベルを確保するには、(パージ機能が利用できる場合)ポンプのオイルボックスに接続されたオイルボックスパージによりガスバラストを増加させる必要があります。ガスバラストおよびオイルボックスパージ流量の増加により、排気システムに残存するオイル量が増加します。

すべての当社製油封式ポンプには、可燃および爆発性ガス混合物の保持用として十分なオイルボックス容量があります。オイルボックス内のオイルは、蒸気およびガス副生成物を効果的に吸収または凝縮することが可能です。オイルにトラップされた蒸気およびガスは自燃性であるか、または毒性を有する場合がありますので、特別の処理手順に従い保守作業中の安全を確保する必要があります。

6.2 ドライポンプ

最大動作圧力は、オイルシール型ポンプへの影響要因(ポンプまたは電気モータの機構部品を過熱させる潜在的危険性)と同一の要因により制限されます。

当社製ドライポンプは容積式コンプレッサで、高い排気圧が発生する可能性があります。固形副生成物を生成する可能性のあるプロセスを処理するシステムにポンプを組み込む場合、当社は、高品質排気圧力モニタを取り付けることを強く推奨します。各スイッチの設定に必要な操作圧力については、ポンプの取扱説明書を参照してください。

当社製ドライポンプにはハイスループットガスバラスト機能があります。窒素等の希釈ガスは、反応制御の最適化のためポンプ機構に添加されます。ご使用のポンプの取扱説明書のガスパージ流量の箇所を参照してください。

6.3 パイプラインの設計

6.3.1 ベローズ

ベローズはディープな畳み込みを用いた短い薄肉部品です。. これ等の部品はポンプから真空システムへの振動伝達の低減に使用されます。

ベローズは、常に両端を固定した状態でまっすぐに取り付けます。ベローズを正しく取り付けると、低度の内部陽圧に耐えられるようになります(詳細についてはベローズ添付の取扱説明書を参照)。ドライポンプ排気ではベローズを使用せず、編組フレキシブルパイプラインを使用してください(フレキシブルパイプライン ページ 36 を参照)。

循環用として頻繁に使用する場合は、ベローズが疲労破損する可能性があることを考慮してください。

6.3.2 フレキシブルパイプライン

フレキシブルパイプラインの畳み込みはベローズに比べ浅く、管壁は肉厚です。フレキシブルパイプラインは真空システム部品接続のための簡便な方式を採用しており、硬い真空配管内でのズレや僅かな動きを補償します。フレキシブルパイプラインは比較的急な曲げにも対応し、その位置を保ちます。

フレキシブルパイプラインはスタティックシステムへの取り付け用です。疲労破損を引き起こす可能性のある頻繁な屈曲を伴う用途には適していません。

フレキシブルパイプラインを使用する場合は、可能な限り最短の長さで使用し不必要な曲げを加えないでください。高排気圧を発生させる用途には、編組フレキシブルパイプラインを使用してください。

編組フレキシブルパイプラインは、織り込みステンレス鋼の編組外部保護層付きベローズです。編組フレキシブルパイプラインを取り付ける場合は、編組フレキシブルパイプラインに添付の取扱説明書に記載されている最小曲げ半径を順守してください。

6.3.3 固定金具

パイプラインおよびパイプラインコンポーネントは正しく固定する必要があります。例えばベローズの固定方法が誤っている場合、ポンプから発生する振動は減少せずパイプラインの疲労につながります。

6.3.4 シール

(故障状態の場合でも)真空システム内で陽圧が発生する可能性がある箇所にはすべて、予想される真空および陽圧に耐える最適なシールタイプおよび材料を使用する必要あります。

6.4 物理的過圧保護

前述したように、システム内または構成部品おける制限もしくは閉塞により過圧が発生します。ポンプまたは(希釈システム用等の)外部圧縮ガス供給からの圧縮ガス流量により加圧が発生する場合があります。システムの過圧を防ぐには、おもに 2 つの方法があります。それは、次の段落で説明する圧力逃しおよび過圧アラーム/トリップです。

6.4.1 圧力逃し

バースティングディスクまたは圧力逃しバルブにより圧力を開放することができます。システムの動作圧はシステムの設計圧力定格以下である必要があります。これらの装置に適切なパイプラインを取り付けた後、プロセスガスを安全に排出でき、かつ排出制限のない場所に接続してください。ご使用のプロセスが固形生成物を生成する場合は、圧力逃し装置の定期点検を実施し制限または閉塞がないことを確認してください。このような保護装置の設計では、バースティングディスクの疲労寿命やバルブの寿命に関し、圧力脈動の影響を考慮に入れる必要があります。

6.4.2 過圧アラーム**/**トリップ

当社ではこの保護方法をよく使用しています。このタイプの保護方法はすべてのシステムで推奨されますが、特に固形副生成物を生成するシステムに適してない場合があります。

6.4.3 圧力レギュレータ

圧力レギュレータには主に以下の 2 種類があります : ベントおよび非ベント。ベントレギュレータは雰囲気中または個別のベントラインにガスを排出し、フロー停止状態で一定のアウトレット圧力を維持します。ベントレギュレータは、一般的にパイプラインの安全性が最も重要な場所に使用されます。

非ベントレギュレータは、フロー状態でのみ一定のアウトレット圧力を維持します。レギュレータのアウトレット圧力がフロー停止状態で供給圧レベルまで上昇するタイプのものもあります。上昇率はレギュレータ特性および接続アウトレット数により異なります。上昇は数分から数ヶ月までの幅で行われます。

正しい装置の選択

圧力レギュレータは遮断バルブとしては設計されていないので、遮断が必要な場合は(ソレノイドバルブのような)適切なアイソレータ装置と組み合わせて使用する必要があります。

アイソレータ装置を使用しない場合は、過剰圧力を安全に排出する措置を講ずる必要があります。

6.4.4 火炎防止器

火炎防止器は爆発防止装置ではなく、パイプやダクトに沿って火炎が伝播するのを防止するよう設計されています(フレームアレスタ保護システムの使用 *(HazLoc システム)* ページ 30 を参照してください)。火炎防止器は、火炎面に対する広い表面積および小さなコンダクタンスギャップにより鎮火を行います。火炎防止器は通常、クリーンガスおよび蒸気用システムでの使用にのみ適しています。

ガス混合物の爆発エネルギーは圧力とともに上昇します。多くの火炎防止器は、内部圧が大気圧を超える箇所を保護するよう設計されています。火炎防止器までの排ガス吸引システム内の最大動作圧を超えていないことを確認してください。ただし、ケミカルドライ真空ポンプで使用が承認されているアレスタを使用する場合は、最大許容圧力については関連する製品の取扱説明書を参照してください。また、真空ポンプの最大許容背圧も考慮する必要があります。

火炎防止器は火炎からの燃焼熱を除去することで動作し、最高安全動作温度を有します。トレースヒーティング、絶縁材またはそれ等を通過するガス流量の温度により最高安全温度が上昇しないようにしてください。

火炎防止器の消炎能力は火炎速度つまり発火源からの距離により決定されます。火炎防止器を当社製ケミカル真空ポンプで使用する場合は、インレットおよび排気をしっかりと結合してください。一定の条件を満たすいくつかのポンプには、ポンプ、アレスタ間でエルボーおよびT字形部品を使用することができます。これについては、当社にご相談ください。

6.5 パージシステム

プロセスサイクル終了後のシステム内に残留するプロセスガスを除去する目的で不活性ガスパージシステムを装置に取り付けることができます。

パージが正しく実行されている場合、ポンプおよび火炎防止器などの保護システムに損傷を与えることなく腐食生成物を除去することができます。保護システムに損傷を与えないことは非常に重要です。さらにプロセスガスの除去により、異なるプロセスサイクルで使用した材料間での危険かつ不要な化学反応の発生を防止します。

6.6 まとめ－装置の正しい選択

- 用途に合った正しい種類の装置を選択
- 故障の際の安全を確保するため、適切な安全装置をすべて取り付ける
- 滞留ガスを除去する
- システムが適切に制御および調節されていることを確認
- 必要に応じ圧力逃し装置を取り付ける
- 必要に応じ火炎防止器を使用する
- 使用前のシステムおよび設備のリークテスト

7 操作手順および訓練

適切な訓練、簡潔で分かり易い説明書および定期的な保守が装置動作の安全性には必要です。すべての真空装置のオペレタは適切な訓練を受けるとともに、必要に応じて監督下で操作するようにすることが重要です。

当社製装置の操作または安全性に関する詳細についてご不明な点は当社までお問い合わせください。

真空システムの安全性は、設計に大きく影響されます。しかし、特に誤用や故障の可能性を考慮すると、システムの正しい動作も同様に重要であることが経験から示されています。

ここでは、特定の真空システムの動作に関連する危険の完全なリストを提供することはできません。これについては、適切なリスク分析を使用してエンドユーザーが確立する必要があります。

通常の動作だけでなく、保守ステップや故障時に何をすべきかを網羅した詳細な操作手順を確立することが特に重要です。多くの場合、予期しない危険や潜在的な損傷や怪我につながるのは、これらの計画されたイベントです。

以下に、発生する可能性のある予期しない危険の種類の概念を示すためのいくつかの例を挙げます。

- 真空システム内で純金属粉末を生成するプロセスは、真空システム内の大気に酸素が含まれないように窒素パージで動作します。プロセスの中断中は、損傷した部品を取り外すためにチャンバを開く必要があり、この手順にかかる時間はわずか数分です。その間、真空ポンプはインレットアイソレーションバルブによってチャンバから隔離されます。保守手順が完了すると、チャンバは密閉され、プロセスポンプを使用してポンプダウンされます。残念ながら、チャンバには大気が含まれており、結果として真空ポンプへの急流により反応性金属粉末が発火します。
- 加熱炉アプリケーションでは、プロセス材料は排気ラインにあるフィルタを介して抽出され、定期的に洗浄する必要があります。生産にかかる圧力のため、洗浄ステップが見落とされ、時間の経過とともにフィルタが詰まり、排気の過圧により真空ポンプがトリップしました。これは通常、プロセスオペレータが緑色の始動ボタンを押し続け、モータの熱保護をオーバーライドしてポンプを再び動作させようとしなければ、安全な状態のはずでした。その結果、真空ポンプが過剰な背圧を生成し、フィルタが爆発する原因となりました。
- 化学プラントでは、排気ラインに入る前に腐食性生成物を捕捉するために、真空ポンプに排気コンデンサが取り付けられていました。操作手順の一部には、高レベルスイッチが満杯を示したときにレシーバーを排水することが含まれていました。排気は、通常は大気圧付近であった共通の排気ラインに接続されましたが、故障により、より高い圧力がかかった状態でした。オペレーターがレシーバーを開けて排水しようとすると、腐食性の液体が圧力下で押し出され、オペレーターの全身に飛び散りました。これには重大な結果が伴います。

8 真空システムの改造

真空システムは通常、特定の目的のために設計されており、特定の用途を念頭に置いて危険分析を行うことが一般的です。

真空システムを別の目的に使用する場合、または排気されるプロセスガスを何らかの方法で変更した場合、元の危険分析は無効になり、予期しない危険が発生する危険性があります。

真空システムを改造したり、プロセスガスを何らかの方法で変更したりする場合は、必ず新しい危険分析を実施してください。

9 概要

- 危険評価を実行し、除去が可能なところおよびすべての危険を軽減できない場合を識別します。これは真空システムの設計、構造、試運転、操作、保守、および廃棄のために実行する必要があります。
- システム内で発生する可能性のあるすべての化学反応を考慮します。故障状態下で発生する化学反応を含め、異常な化学反応を考慮に入れます。
- 自動発火等のプロセス材料の潜在的危険性について判断する場合は、材料データシート/材料安全データシートを参照してください。
- 希釈を行うことで酸化剤および可燃物質に対する反応を最小限に抑えます。
- 酸化剤及び自燃性物質の排気時には、正しい種類の潤滑油を使用してください。
- プロセスがアジ化ナトリウムを使用または生成する場合には、排気システムのガス経路内で重金属を使用しないでください。
- 安全計算を行う場合は、必ずシステム内の全構成部品の安全動作圧を考慮するようにしてください。通常でない状態や故障状態についても必ず考慮してください。
- 正しい種類の圧力逃し装置を取り付けるとともに、定格が用途に合った適切なものであることを確認してください。
- 排気詰まりが発生しないようにしてください。
- 希釈ガスの適切な調節および監視を行ってください。
- 危険材料を排気する場合、フェイルセーフ設計を行う必要があります。
- 酸化剤を排気する場合、PFPE (パーフルオロポリエーテル)潤滑油を使用します。
- 可燃ガスおよび窒息性ガスを希釈するために不活性ガスを使用します。または故障を含むすべてのプロセスでの最適な安全要素を考慮した、可燃/爆発制限の上限より上を維持することを確約します。
- システムのすべての箇所でシステムの最高圧力が最大圧定格を超えないようにしてください。
- 真空作動室のオイルに関し危険があるオイルシール型ポンプの代わりに、ドライポンプの使用を検討するようにしてください。
- 滞留ガスを除去する
- システムが適切に制御および調節されていることを確認します。
- 必要に応じ火炎防止器を使用します。
- 使用前のシステムおよび設備のリークテスト

通常動作制限 - 通常動作制限を超えないでください

真空システムを形成できるコンポーネントは数多くあります。いずれの場合も、これらのコンポーネントは設計された動作限界内で選択し、運用する必要があります。これを怠ると、予期しない故障につながる可能性があります。

このページは空白です。

このページは空白です。

Leybold

Pioneering products. Passionately applied.

Leybold GmbH
Bonner Strasse 498
50968 Cologne
GERMANY
+49-(0)221-347-0
info@leybold.com
www.leybold.com