



質量分析のための真空技術講座

Leybold

2025年3月

Agenda

質量分析のための真空技術講習

1. 真空を作る
2. 真空を測る
3. アウトガス、リーク
4. 真空中フローの種類
5. 真空コンポーネントのメンテナンス
6. トラブルシューティング
7. About us

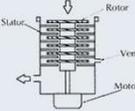


真空を作る

真空はどうやって作る？

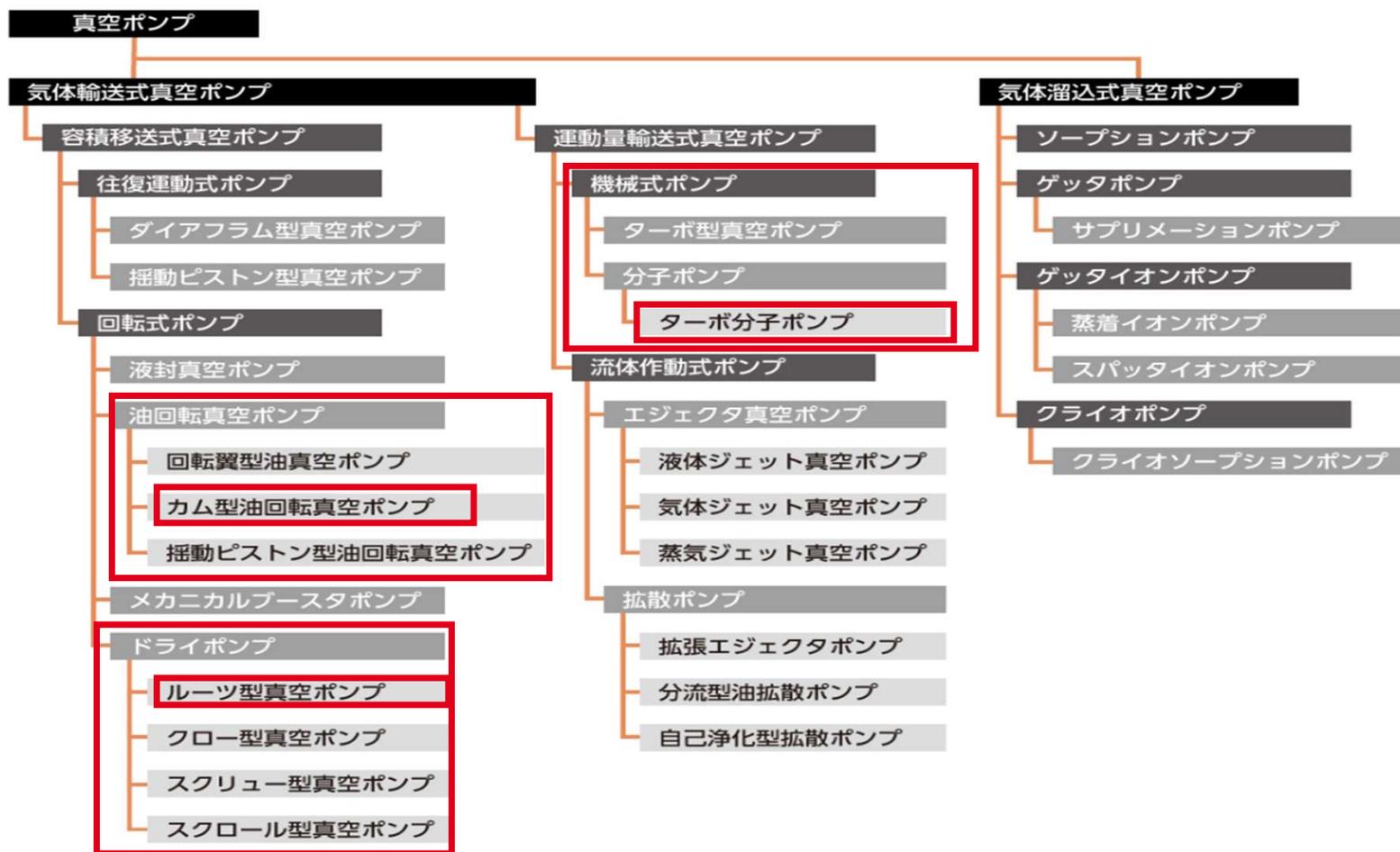


テクノロジーの範囲

アプリケーション	圧力範囲	真空ポンプの種類	テクノロジー	ライボルト製品群
スペースシミュレーション	Extreme High Vacuum (10 ⁻¹²)	クライオポンプ		 COOLVAC
R&D	Ultra High Vacuum (10 ⁻⁹)	イオンポンプ		 TURBOVAC
分析装置	High Vacuum (10 ⁻⁶)	ターボ分子ポンプ		 RUVAC
半導体	Fore Vacuum (10 ⁻³)	ルーツローアポンプ		 SCREWLINE
光学式コーティング	Rough Vacuum (10 ⁰)	ドライポンプ		 TRIVAC/ SOGEVAC
プロセス産業		ロータリーベーンポンプ		 SCROLLVAC PLUS
吸着搬送		スクロールポンプ		



真空ポンプの種類

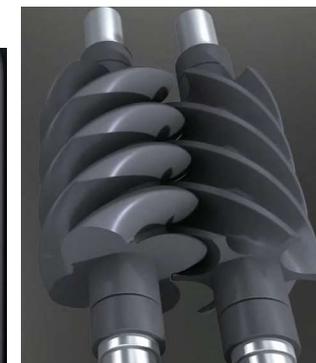
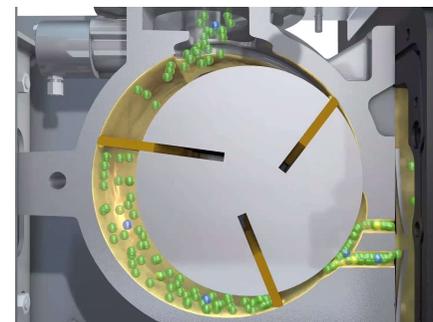


バックポンプとメインポンプ

それぞれの違い

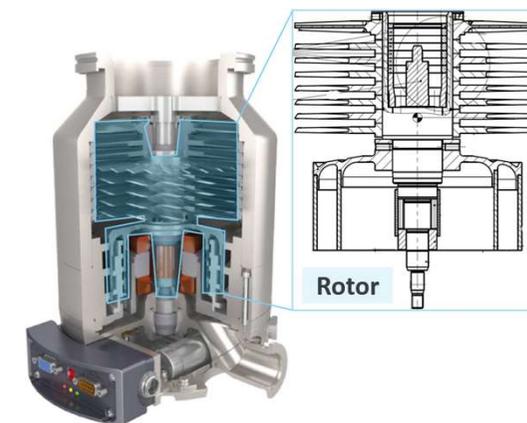
■ バックポンプ（補助ポンプ）

- シンプルな構造：扱いやすく、メンテナンスが比較的簡単。⇒比較的安価
- 高い性能：大気圧から中真空程度の真空状態を簡単に作り出せる
- 排気限界：真空度の限界があり、0.1Pa程度まで。
- 油蒸気の発生：使用中に油蒸気が発生することがある。⇒ドライポンプを使用することで解決



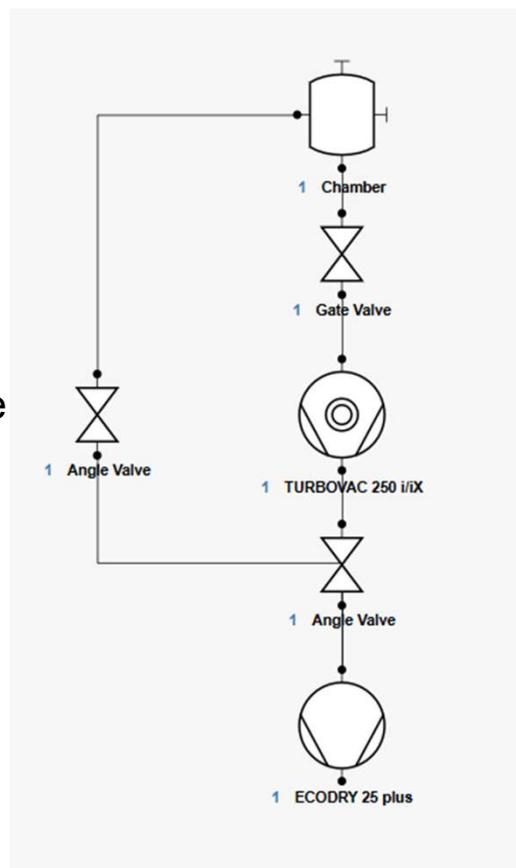
■ メインポンプ（ターボ分子ポンプ）

- 高真空度：非常に高い真空度（ 10^{-10} Pa程度）を実現可能。
- メンテナンス：油を使用しないため、メンテナンスが少ない。
- 高コスト：精密な機械加工が必要なため、価格が高い。
- 補助ポンプ：大気圧からの排気にはロータリーポンプなどの補助ポンプが必要



真空装置の構成

Roughing valve
粗びきバルブ

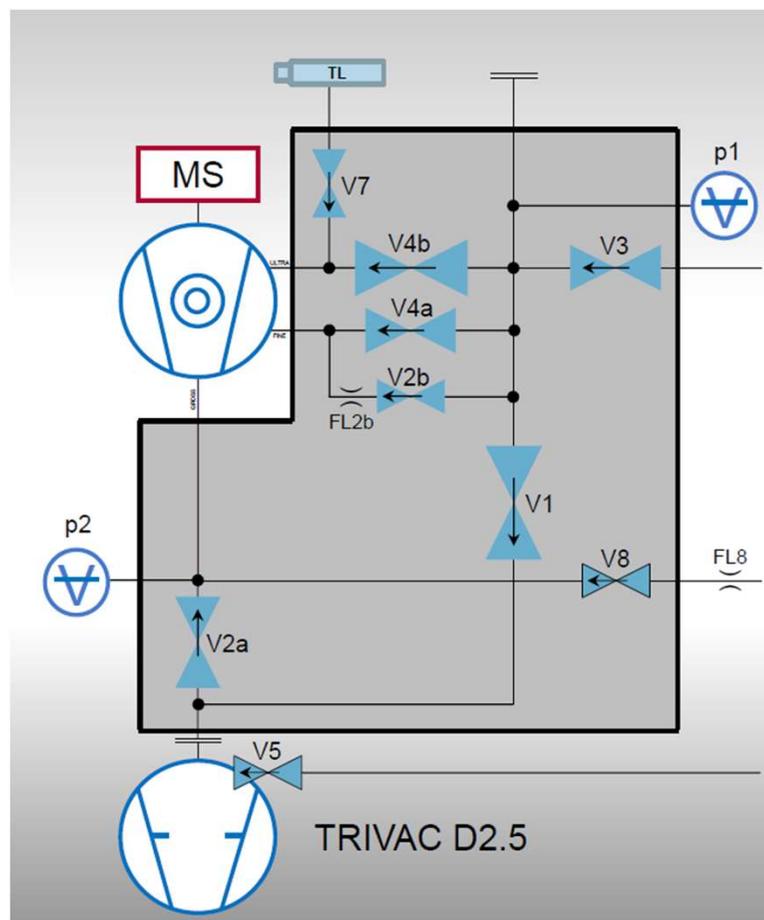


Gate valve
ゲートバルブ

Main pump
メインポンプ

Backing pump
バックポンプ

ライボルト製の質量分析装置 - リークディテクターの構成

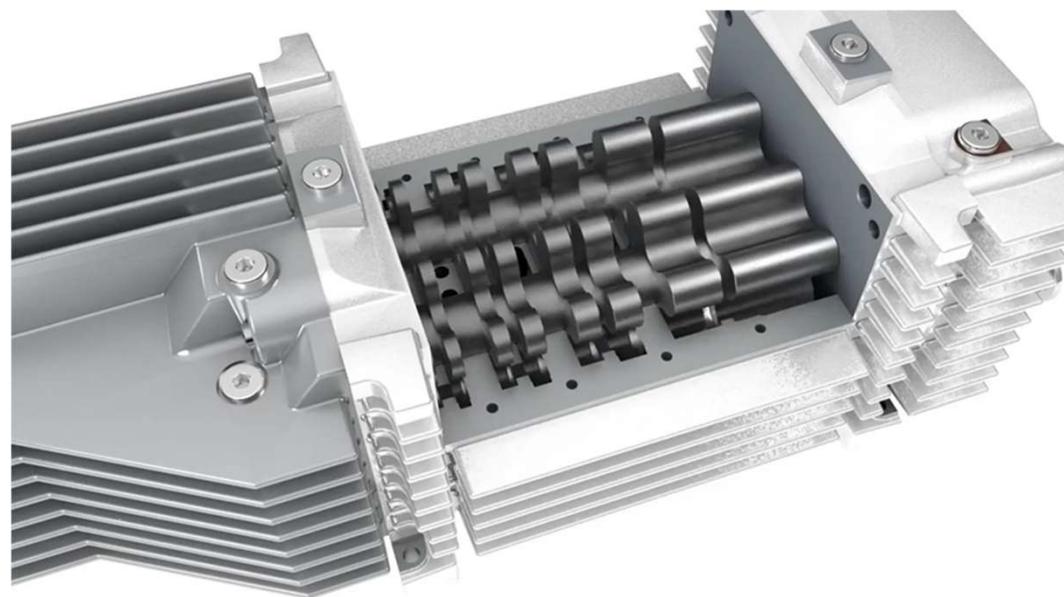


バックポンプ（補助ポンプ）の動作原理

ロータリーポンプ原理動画（ロータリーベーン）



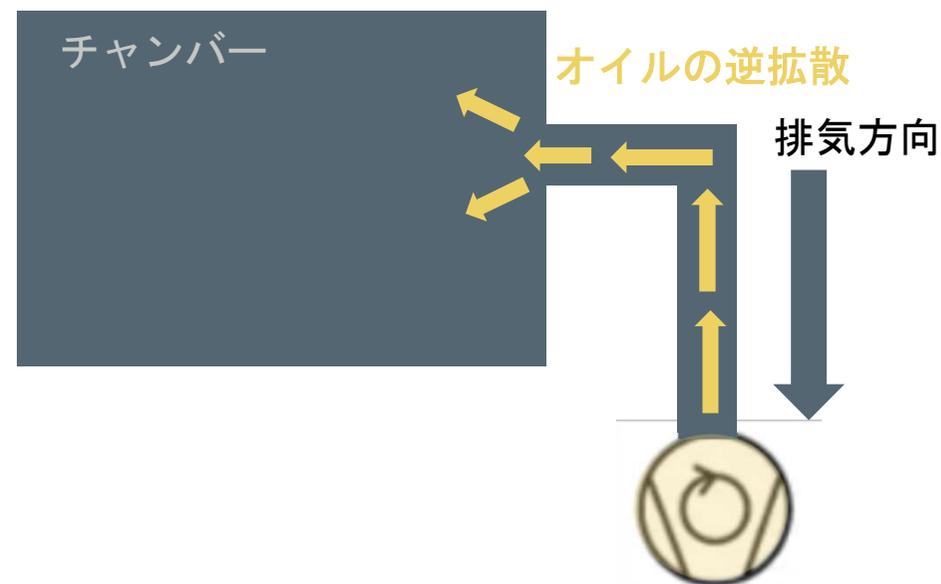
ドライポンプ原理動画（マルチルーツ：ドライ）



オイルバックとは？

真空ポンプのオイルバック（油の逆拡散）とはなんでしょう？

- 真空ポンプ
ロータリーポンプ（オイル潤滑）や油拡散ポンプで油の蒸気が真空チャンバー側に（空気を吸い込む方向と逆側）に進んでしまう現象
- どんなに真空排気をしていても逆戻りする油の分子を真空ポンプ側に引き込むことは難しく、油蒸気は真空チャンバー内に入り込んでしまう可能性がある
- 真空チャンバーの内壁（内面）などに油の付着物があるような場合にはオイルバックの可能性が高い
- 逆拡散の防止策としては、真空チャンバーと油拡散ポンプの間にゲートバルブやアングルバルブなどの遮断バルブを設けることで油上がりを防ぐことが可能

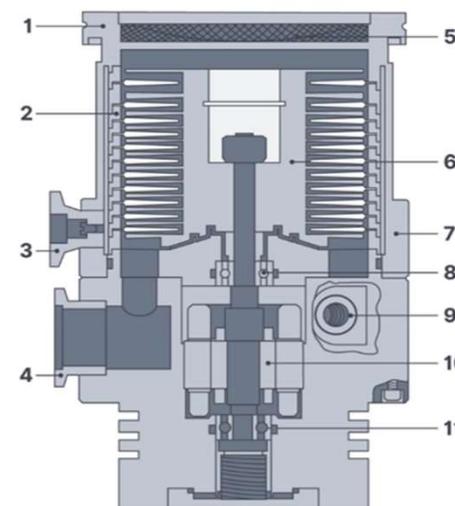


ターボ分子ポンプの基本

ターボ分子ポンプ (Turbomolecular pump, 略称 : TMP)

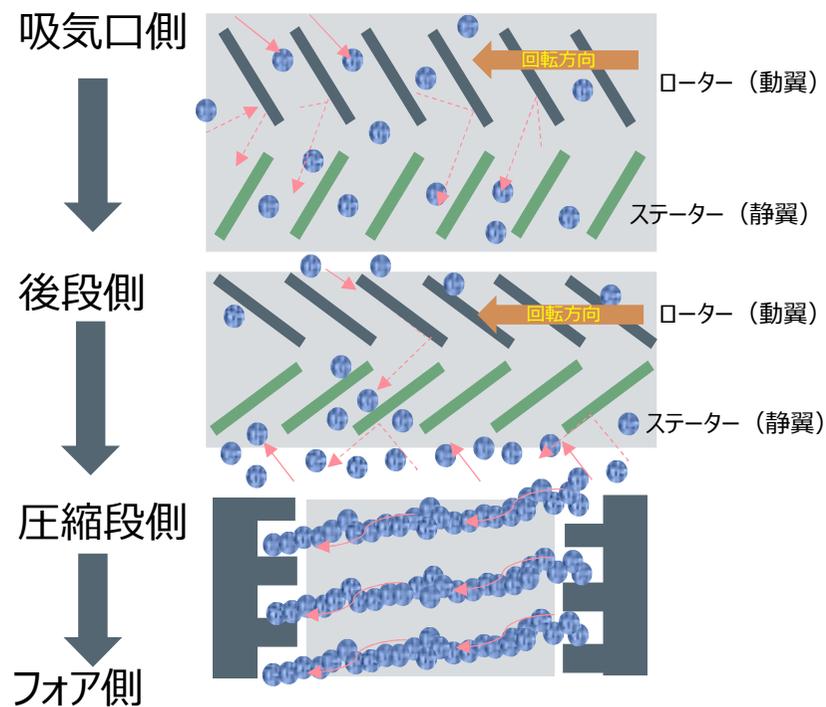
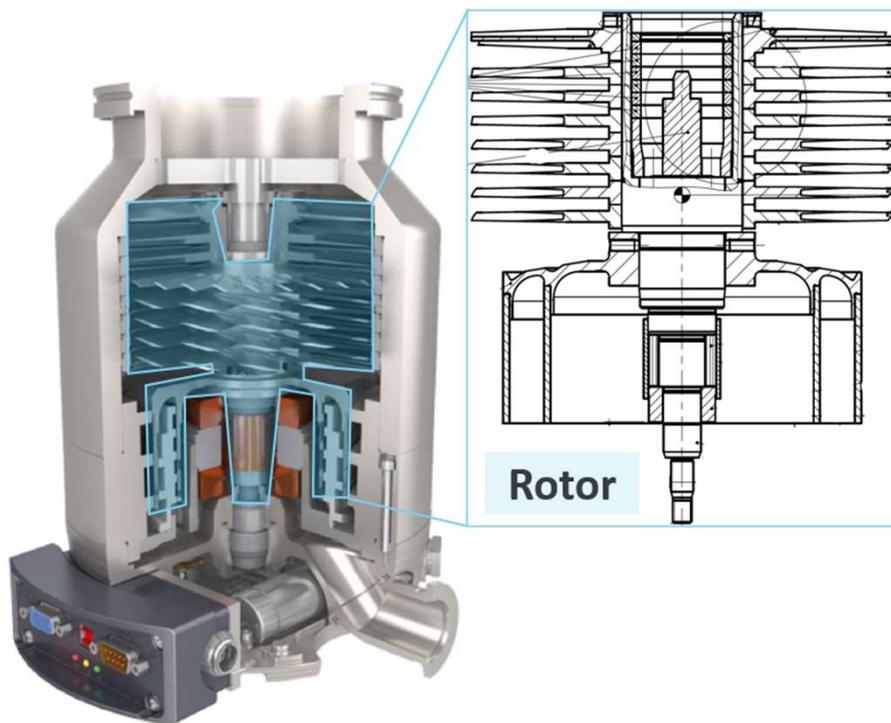
特徴と原理:

ターボ分子ポンプは真空ポンプの一種で、高速回転するタービン型の翼をもつロータ（動翼）とステータ（固定翼）から構成されています。
このポンプは、気体分子を弾き飛ばすことでガスを排気し、プロセスの高真空を実現します。

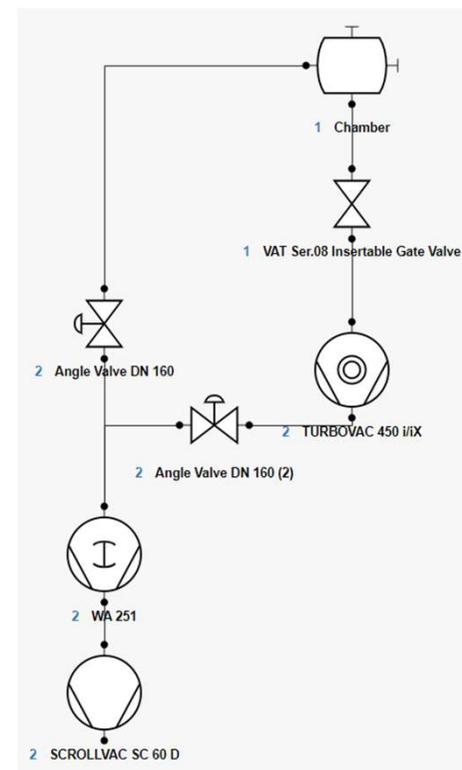
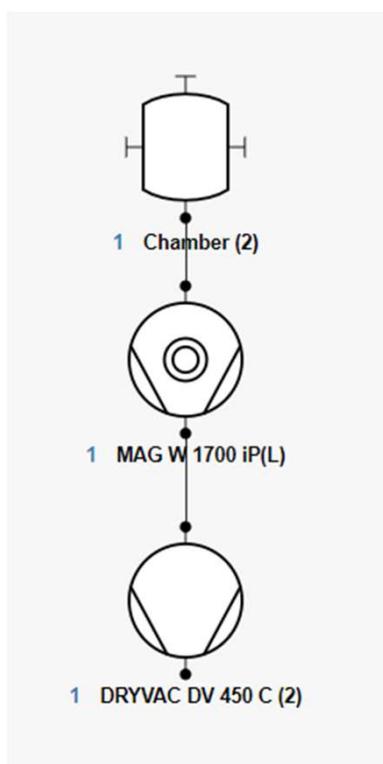


1. 高真空入口フランジ
2. ステータパック
3. ベントフランジ
4. 前段真空フランジ
5. スプリングガード
6. ローター
7. ポンプケーシング
8. ボールベアリング
9. 冷却水接続
10. モーター
11. ボールベアリング

吸気口に飛び込んできた気体分子は、高速回転するロータ（動翼）によって運動量を与えられ下段へ送り込まれます。複数の圧縮段を経ることによって、気体分子は圧縮され排気口へ送り込まれます。



ロータ（動翼）は1分間に数万回の速度で回転するため、大気中では動翼にかかる負荷が大きく、定常回転まで到達しません。
またターボ分子ポンプの背圧（フォア圧力）を下げるため、通常ある程度の真空状態をつくりだせるドライポンプやロータリーポンプといったフォアポンプと組み合わせて利用されます。



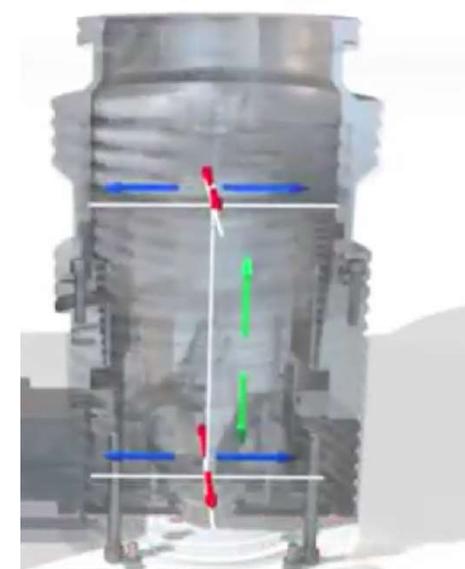
ターボ分子ポンプ

動作原理動画



ターボ分子ポンプの軸受けの種類

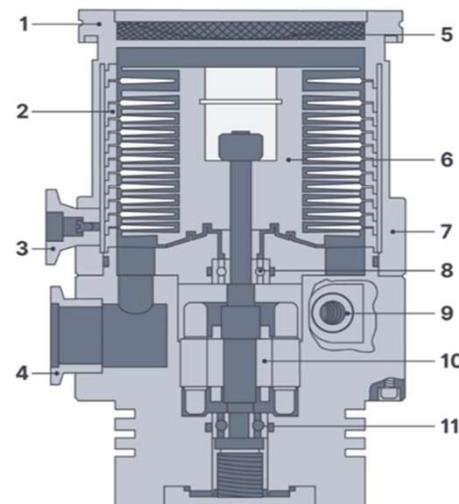
- 磁気軸受け（磁気浮上）
 - 非接触：摩耗が生じにくく、長寿命
 - 低振動：振動が少なく、静音性が高い
 - クリーン：オイルフリーで、汚染リスクが低い
 - × 高コスト：製造コストが高く、価格が高め
 - 取付方向に制限がない



ターボ分子ポンプの軸受けの種類

■ 油潤滑式軸受け

- 高耐久性：耐久性が高く、長期間使用可能
- コスト効率：比較的 low コストで製造可能
- × メンテナンス：定期的なオイル交換が必要
- × 汚染リスク：オイルミストの発生により、汚染リスクがある
- × 取付方向に制限がある
- × 油供給機構が必要



1. 高真空入口フランジ
2. ステータパック
3. ベントフランジ
4. 前段真空フランジ
5. スプリンタガード
6. ローター
7. ポンプケーシング
8. ボールベアリング
9. 冷却水接続
10. モーター
11. ボールベアリング

ターボ分子ポンプの軸受けの種類

■ グリス潤滑式軸受け

- 低メンテナンス：グリスの交換頻度が少なく、メンテナンスが容易
- 中程度のコスト：油潤滑式よりも高価だが、磁気軸受けよりは安価
- 適度な耐久性：油潤滑式ほどの耐久性はないが、十分な耐久性を持つ
- 取付方向に制限がない
- × 温度が高くなるとグリスが融け出し、潤滑不良になる



Leybold ターボ分子ポンプ[®] ラインアップ

TURBOVAC MAGシリーズ

磁気浮上式



マグネット/メカニカルベアリング
ハイブリット式

TURBOVAC i/iXシリーズ

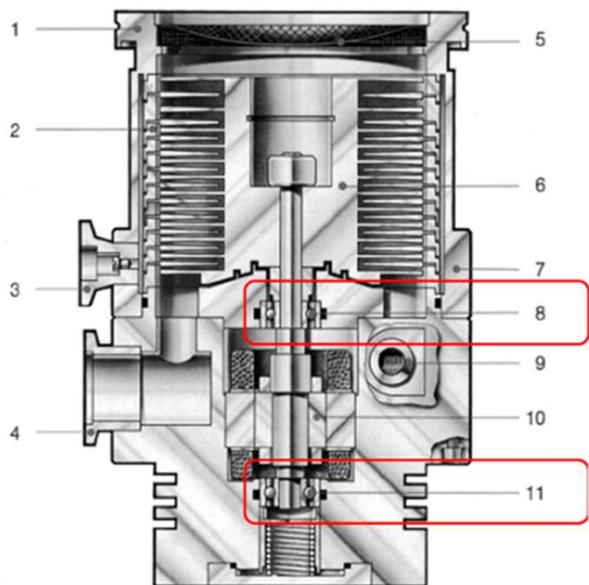
耐放射線仕様

TURBOVAC iRシリーズ



テクノロジーの進化

旧製品：上・下メカニカルベアリング



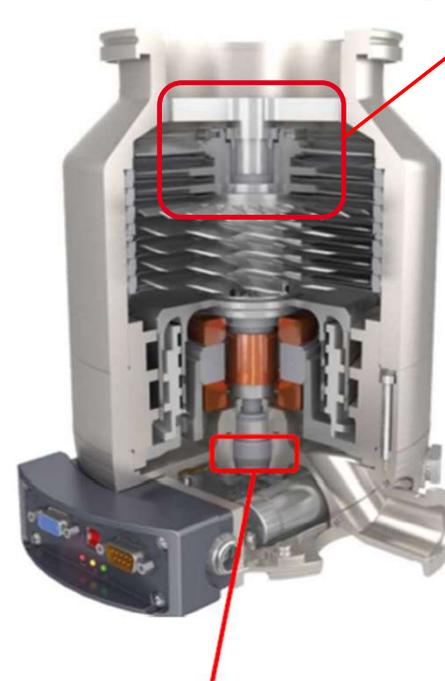
8 アッパーベアリング
11 ロワーベアリング

耐久性 UP!!

ハイブリットベアリング式

TURBOVACi シリーズ

磁気浮上式ベアリング



メカニカルベアリング

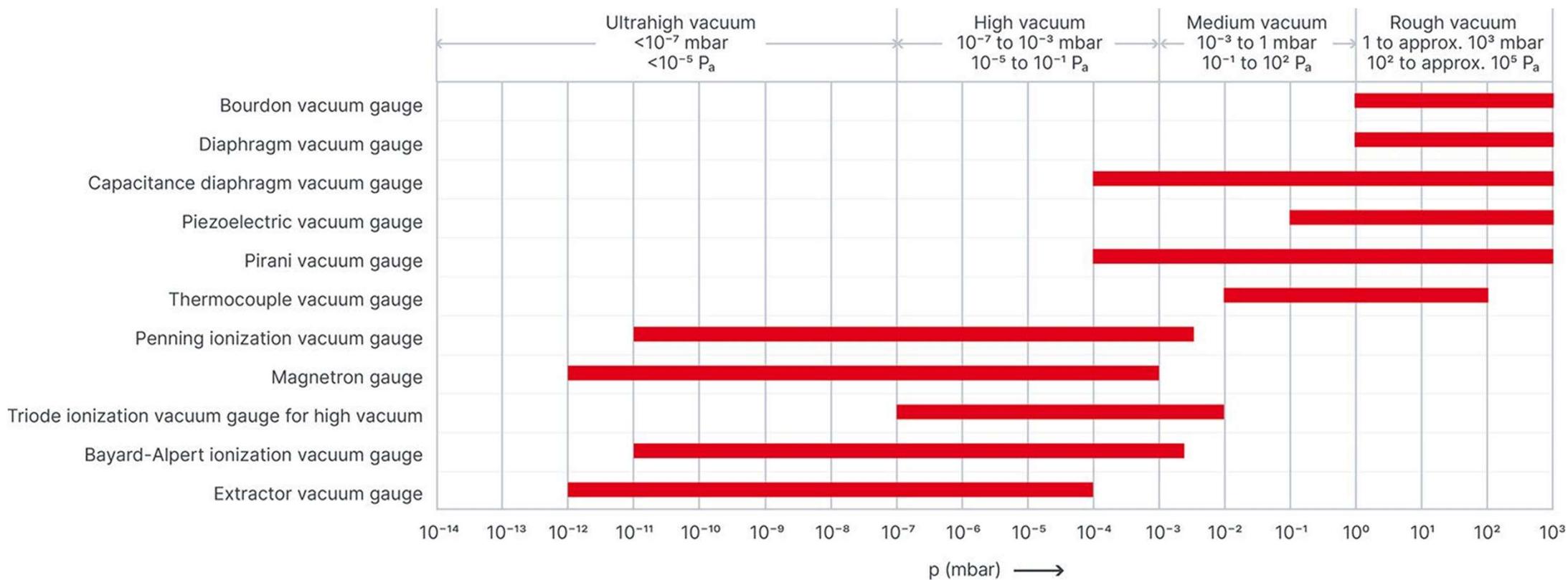


真空を測る

真空はどうやって測る？



真空度の定義と単位



The customary limits are indicated in the diagram.

█ Working range for special models or special operating data

真空計測 = 圧力測定の方法

■ ピラニ真空計

測定原理: 気体の熱伝導を利用

動作: 電熱線を加熱し、その温度変化を測定

特徴: 圧力が低いほど熱伝導が減少し、電熱線の温度が上昇する

測定範囲: 大気圧から1E-2Paまで



■ ペニング真空計

測定原理: 放電現象を利用

動作: 永久磁石による強磁界中で放電（ペニング放電）を発生させ、イオン電流を測定

特徴: 高真空領域でも使用可能

測定範囲: 10から1E-7Paまで（大気圧からは計測不可）



■ 電離真空計

測定原理: 気体の電離現象を利用

動作: 気体を電離し、生成されたイオンの電流を測定

特徴: 放電現象を利用する冷陰極電離真空計と、加速電子を利用する熱陰極電離真空計がある

測定範囲: 10から1E-7Paまで（大気圧からは計測不可）



 **Leybold**



アウトガス、リーク

真空の最大の敵...



アウトガス

■ アウトガスとは

アウトガスは、真空環境下で材料や装置の表面から放出される気体や蒸気のことを指す

特徴：

- **発生源**：真空チャンバーの壁、内部の部品、使用される材料などから発生する
- **主な成分**：水蒸気、炭化水素、シロキサン類、フタル酸エステルなどが含まれる
- **影響**：アウトガスは真空度を低下させ、真空システムの性能や製品の品質に悪影響を与えることがある

■ アウトガスの制御

アウトガスを制御するためには、以下の方法が用いられる：

- **ベーキング**：真空チャンバーを加熱して、表面に吸着したガスを除去する
- **材料選定**：低アウトガス材料を使用することで、発生量を抑えることが可能
- **表面処理**：表面を適切に処理することで、ガスの放出を抑制

LEYSPEC :
シンプルで直感的な操作を可能にする
オールインワンRGA



リーク

■ 真空におけるリーク

リークとは、真空システム内で外部の空気やガスが侵入する現象を指す
これにより、真空度が低下し、システムの性能や製品の品質に悪影響を与えることがある

■ リークの種類

- 取り外し可能な接続部のリーク: フランジやカバーなどの接続部からの漏れ
- 常時接続部のリーク: はんだ付けや溶接の継ぎ目からの漏れ
- 多孔性リーク: 多結晶材料や鋳造部品の微細な穴からの漏れ
- 熱リーク: 極端な温度変化による接合部の漏れ
- 見かけ上のリーク: 部品内部の空洞やブラインドホールからのガス放出

■ リークの検出方法

- ヘリウムリークテスト: ヘリウムガスを使用して漏れ箇所を特定する方法。高感度で微細な漏れにも対応可能
- 圧力上昇テスト: 排気を停止し、時間とともに圧力がどの程度上昇するかを測定する方法

■ リークの影響と対策

- 影響: 真空度の低下、システムの性能低下、製品不良など。
- 対策: 定期的なリークテスト、ガスケットやシール部品の点検・交換、適切な材質選び





真空中フローの種類

真空中はどうなってる？



真空中での流れの種類

真空中の気体の流れには、主に以下の3種類があります：

1. 粘性流（ラミナーフロー）

特徴：気体分子が互いに頻繁に衝突しながら流れる状態

適用範囲：低真空から中真空領域（圧力が高い場合）

例：大気圧に近い状態での気体の流れ

2. 分子流

特徴：気体分子が壁や他の分子とほとんど衝突せずに自由に飛び回る状態

適用範囲：高真空から超高真空領域（圧力が非常に低い場合）

例：宇宙空間での気体の流れ

3. クヌーセン流

特徴：粘性流と分子流の間間的な流れ。気体分子の平均自由行程が管径に近い場合に発生

適用範囲：中真空領域

例：真空ポンプの排気管内での流れ



真空コンポーネントの メンテナンス

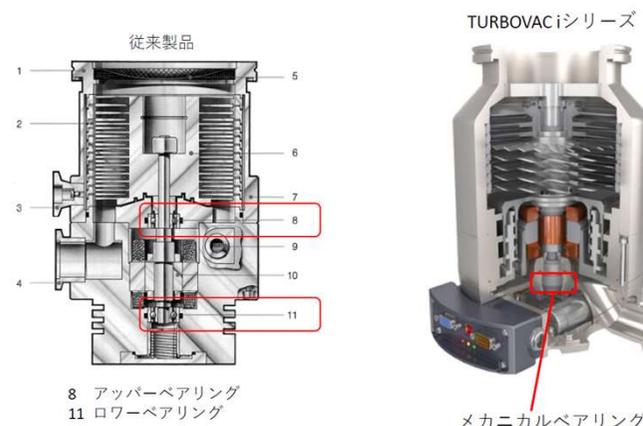


ターボ分子ポンプのメンテナンス

ターボ分子ポンプと周波数変換器は、ほぼメンテナンスフリーです。セラミックベアリングの交換は2年ごとに推奨されており、当社のフィールドサービスまたはトレーニングを受けた資格のあるお客様が行うことができます。

磁気浮上タイプのターボ分子ポンプはほとんどメンテナンスフリーです。しかし、旧来のメカニカルベアリングタイプはベアリング交換が必要です。

ライボルトのTURBOVAC i（ハイブリットベアリング）は、ベアリング交換が容易に行えます。

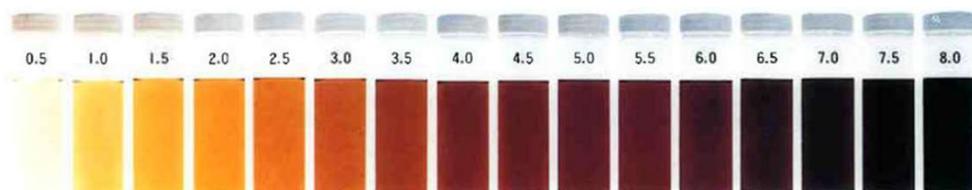


ロータリーベーンポンプのメンテナンス

- 真空ポンプオイルはどのくらいの頻度で交換する必要がありますか？

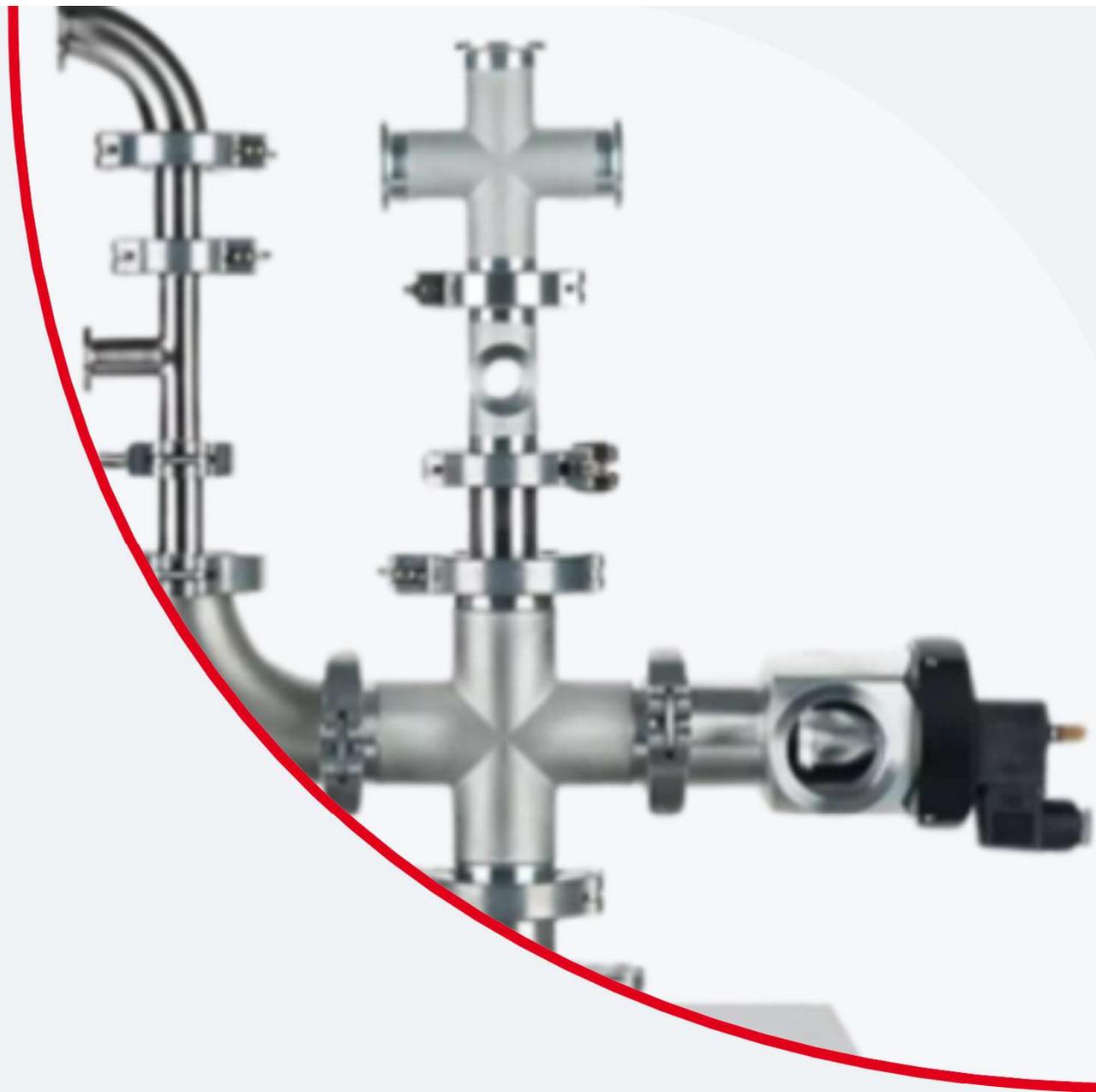
オイル分離およびリターン装置なしでオイルシールロータリーポンプを作動させる場合、一定量のオイル消費量を予測する必要があります。その程度は、ポンプのサイズおよびプロセスの性質によって異なります。

プロセス蒸気や汚染物質にさらされたためにポンプオイルが使用不能になった場合は、オイルを交換する必要があります。オイル交換が必要になる時期については、運転条件によってオイルが良好な状態を維持できる期間が決まるため、厳重な規則を策定することは不可能です。クリーンな条件下（電磁核加速装置の拡散ポンプ用のバックアップポンプなど）では、ロータリーベーン真空ポンプは、オイル交換なしで何年も稼働することができます。非常に「汚れた」状態（含浸中など）では、オイルを毎日交換する必要がある場合があります。オイルは、元の薄茶色、経年変化によるこげ茶色や黒色になったとき、または液体（水など）がポンプに入ったために白濁している場合は交換が必要です。腐食保護オイルにフレークが形成された場合もオイル交換が必要です。腐食保護剤を使い切ったことを示しています。





トラブルシューティング



真空排気システムのトラブルシューティング

目的の到達圧力が達成されない、または達成が遅すぎる場合の故障の原因

- 真空装置で目的の到達圧力にまったく達しない場合、あるいは過度に長いポンプ時間を経てようやく到達する場合、次の問題が原因である可能性があります。
 - 真空システムに漏れがあるか、汚れている可能性
 - ポンプが汚れている、または損傷している可能性
 - 真空計が故障している可能性
- ポンプダウン時間が非常に長い後に必要な到達圧力に達した場合は
 - 真空システムが汚れている可能性
 - ポンプラインが制限されているか、直径が小さすぎる可能性
 - ポンプが汚れているか、容量が少なすぎる可能性
 - ポンプ速度は、他の原因により制限される場合がある

不具合を特定するには、真空容器をポンプシステムから切り離し、ポンプシステムだけで到達圧力に達するようにします。

ロータリーポンプが回転しなくなったときの原因

- ポンプの電源を確認します
- ポンプが汚染オイルや樹脂オイルを含んだまま長時間放置されていませんか？
- ポンプは10℃より低温で、オイルが硬くなっています。ポンプを加熱します
- 機械的エラーが発生しています。メーカーにお問い合わせください

ターボ分子ポンプが正常に回転しなくなったときの原因

- ポンプの電源を確認します
- バックポンプの性能を確認してください
- フォアラインにリークは無いか確認してください
- 背圧を確認してください
- 機械的エラーが発生しています。メーカーにお問い合わせください

真空計のトラブルシューティング

測定原理を理解したトラブルシューティングが必要



■ ピラニ真空計

- 外気温を考慮する必要。炉、オープン等の影響で周囲温度が高くなりすぎると、熱伝導性真空センサーに誤った圧力が表示されます
- 高温でフィラメント変形したりして、測定システム内部に電氣的ショート
- フィラメント汚染：高温フィラメントの表面が変化したため、低い測定範囲では高すぎる圧力を示します（ピラニ真空計はエタノールで内部洗浄すると復帰する場合あり⇒汚染除去）エアブローはNG...

■ ペニング真空計

- 内部汚染：汚染されると放電電流が小さくなるため、圧力測定値が低くなりすぎます
- 内部電極が汚染されることによって電極が絶縁され放電が失火する。（ペニング真空計は軽くタッピングすると・・・⇒再着火）

■ 電離真空計

- フィラメントが汚染されることにより断線します
- 衝撃によりフィラメントが切断します



ライボルトについて

真空イノベーションの歴史

1850
Ernst Leyboldにより
会社設立
1863
Ernst Leyboldが会社を引き継ぐ
1870
E. Leybold's Nachfolgerとして
会社存続

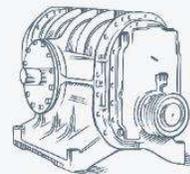
1850

1900

1925

1950

1975

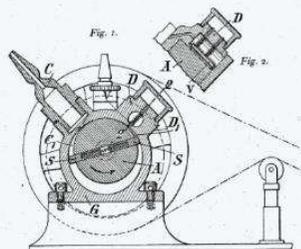


1935
蒸気またはガス/蒸気混合物の抽出を含む低圧を生成するためのシングルまたはマルチステージ真空ポンプ（ガスバラスト原理の特許）

1936
Wolfgang Gaedeが初の油封式ロータリーベーンポンプを開発

現在でも、成功を収めているTRIVACとSOGEVACシリーズのポンプにはガスバラストテクノロジーが搭載

1946
Auwärter博士がHeraeusの真空技術部門から去り
Emil Georg Bührleと共にGerätebau-Anstalt Balzersを設立



1975
ライボルトの初めての磁気浮上式ターボ分子ポンプを発売

1976
冷凍式極低温ポンプCOOLVACを発売

1981
高性能ロータリーベーンポンプTRIVAC Bを発売

1987
Degussa AGがLeybold-Heraeusのオーナーになり
Leybold AGとなる

1989
インテリジェントな駆動管理機能を備えた初の
ターボ分子ポンプを発売

1991
エッチングプロセスにおける腐食防止のためのKERALA
ロータリーブレードコーティングを発売

1994
Oerlikon-Bührleがライボルトグループを買収し
バルザースと合併してバルザース & ライボルトになる

1996
中国での製造を開始

1905-1945
物理学者のWolfgang Gaedeが革新的なポンプを開発、高真空テクノロジーの道を切り拓く

この分子ポンプが今日のターボ分子ポンプ（TMP）の基に

1908
ガス排気用ベーンポンプの排気口逆止弁

1909
物理学者のWolfgang Gaede教授が世界初のドライ分子ポンプを開発
最初の排気口バルブ付きオイルロータリーベーンポンプ

1915
拡散ポンプの開発

1954
ルーツプロウ-RUVACを市場に

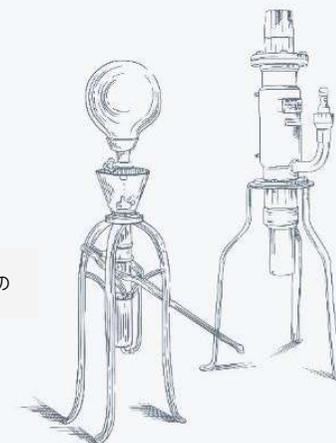
1961
フランスにSOGEV (Societe Generale de Vide)を創設

1962
液体ヘリウムと液体窒素を使用したクライオポンプを発売

1967
ロータリーベーンポンプTRIVAC Aを発売

LeyboldがHeraeus Hachvakuuと合併し
Leybold-Heraeusとなる

1970
Leybold Heraeusが
フランス・SOGEV (Societe Generale de Vide)の株式の
70%を取得





2005
SOGEVAC SV 630 Bを発売

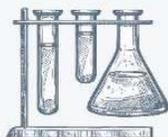
2006
Oerlikon Leyboldにリブランド
クライオポンプの製造をドイツ・ドレスデンで開始

2007
SOGEVAC SV 300 Bを発売
堅牢なアプリケーション向けのSCREWLINEを発売

2008
中国・天津での製造を拡張

2009
太陽光発電用の製品シリーズを発売
新型RUVAC WHシリーズを発売

世界的な経済状況の悪化に関わらず、将来のテクノロジーへの投資を継続



2015
サービス能力をドレスデンの施設に移行し
革新的なTRIVAC Tシリーズを発売

2016
新型TURBOVC iポンプを発売

新世代TURBOLABを発売
アトラスコプコがOerlikon Leybold
Vacuum GmbHを買収し社名をLeybold
GmbHに変更

2017
ECODRY plusを発売
新型PHOENIX 4を発売

2018
VARODRYシリーズとNEO Dを
発売

2019
NOVADRY NDシリーズを発売



2000

2005

2010

2015

2020

2001
ドライ圧縮式真空ポンプSCREWLINEを発売

2004
高真空テクノロジーのための新しいケルンの生産施設の開設により、研究開発における増大する需要に対応
Leybold Vacuumにリブランド



2010
RUVAC WHと組み合わせた補完的なモジュール
コンセプトを備えた新世代型DRYVACスクリュー型
ポンプ

SOGEVAC SV 65 BI FCを発売し
SV BIファミリーが完成

2011
コーティングおよび太陽光市場用の
MAGINTEGRA高真ポンプを発売

2014
TURBOVAC iターボ分子ポンプシリーズを
発売

PHOENIX L 500 iリークディテクターが
レッドドットプロダクトデザイン賞を受賞
ドイツ・ケルンに新しい物流拠点がオープン



2020
ECODRY plusシリーズを拡張
CLAWVACドライクロ-低真空用真空ポンプを
発売

ライボルトは創立170周年を
迎える

2021
堅牢でコンパクトなピラニゲージ・THERMOVAC
TTR-RNシリーズを発売

2023
研究開発、医学、産業アプリケーション用の
新世代型TURBOVAC iRモデルを発売
新型PTR90RNおよびPTR225RNゲージを
発売
クリーンなドライ排気ソリューション向けの
SCROLLVAC 3/3S plusスクロールポンプを
発売

製造・アセンブリー拠点



- 営業拠点
- 製造・アセンブリー拠点
- サービスセンター・フィールドサービス拠点
- 代理店および販売店

 Valence France	
 Antwerp Belgium	
 Lutin Czech Republic	
 Cologne Germany	
 Export USA	
 Tianjin China	

幅広い製品群

油回転式真空ポンプ



ターボ分子ポンプ



リークディテクター



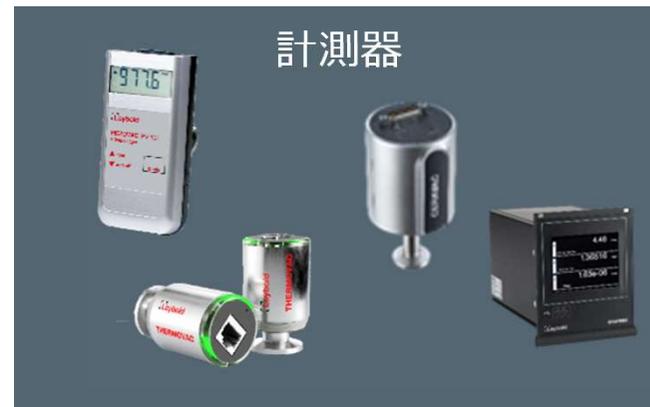
ドライ真空ポンプ



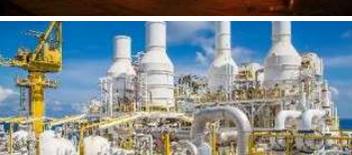
クライオシステム



計測器



主要なマーケットセグメント

	一般産業 (IND)	工業用洗浄、滅菌、プラズマ用途、リークテスト、乾燥、レーザー、車両構造（自動車）などの機械および部品	食品または類似製品の加工または包装用の機械、食品製造ポタニカル加工	食品加工および包装 (FPP)	
	コーティング (COA)	大規模コーティング（建築用ガラス）ディスプレイ（LCD-OLED） 摩耗保護 光学コーティング リフレクターコーティング	ウエハーとソーラーモジュールの製造 太陽光発電および半導体コーティング ソーラーモジュールのラミネート Si結晶の引き上げ	半導体および太陽光 (S&S)	
	分析 (ANA)	計測および分析技術、電子顕微鏡、分光計、リークディテクター	ランプ、RAC冷却回路、ブレーキ液ライン、冷却回路、ガスボトル、ヒートパイプなどの排気、充填およびテスト	チャージング (CHA)	
	研究開発 (R & D)	大学や研究所、研究開発機器メーカー、大規模研究センター、宇宙シミュレーション	ピックアンドプレイス機械、CNCルーター、下水または水の脱気、ボトルの成形、石またはタイルの製造、真空洗浄など	ユーティリティ バキューム (UTV)	
	エネルギーおよび エレクトロニクス (E&E)	エネルギー生産、電子部品、変圧器乾燥UF6濃縮、フライホイール、エネルギー貯蔵（リチウム電池など）	鉄鋼または特殊金属の生産 工業炉内の金属の熱処理 金属溶接（Eビーム、プラズマ）	工業炉および 冶金 (F&M)	
	プラスチックおよび 複合加工 (P&C)	ポリマー、プラスチック、ゴムまたは複合材料の処理 関連機械の製造	化学・製薬産業、製薬フリーズドライ用などの機械製造	化学品および 薬品 (CPI)	

ライボルト株式会社について

ライボルト株式会社 (Leybold Japan Co., Ltd.)

設立：1983年4月15日

代表取締役社長：嶋田 夕樹

従業員：27名（2025年1月1日現在）

横浜本社

〒222-0033 神奈川県横浜市港北区新横浜 3-23-3

大阪支社

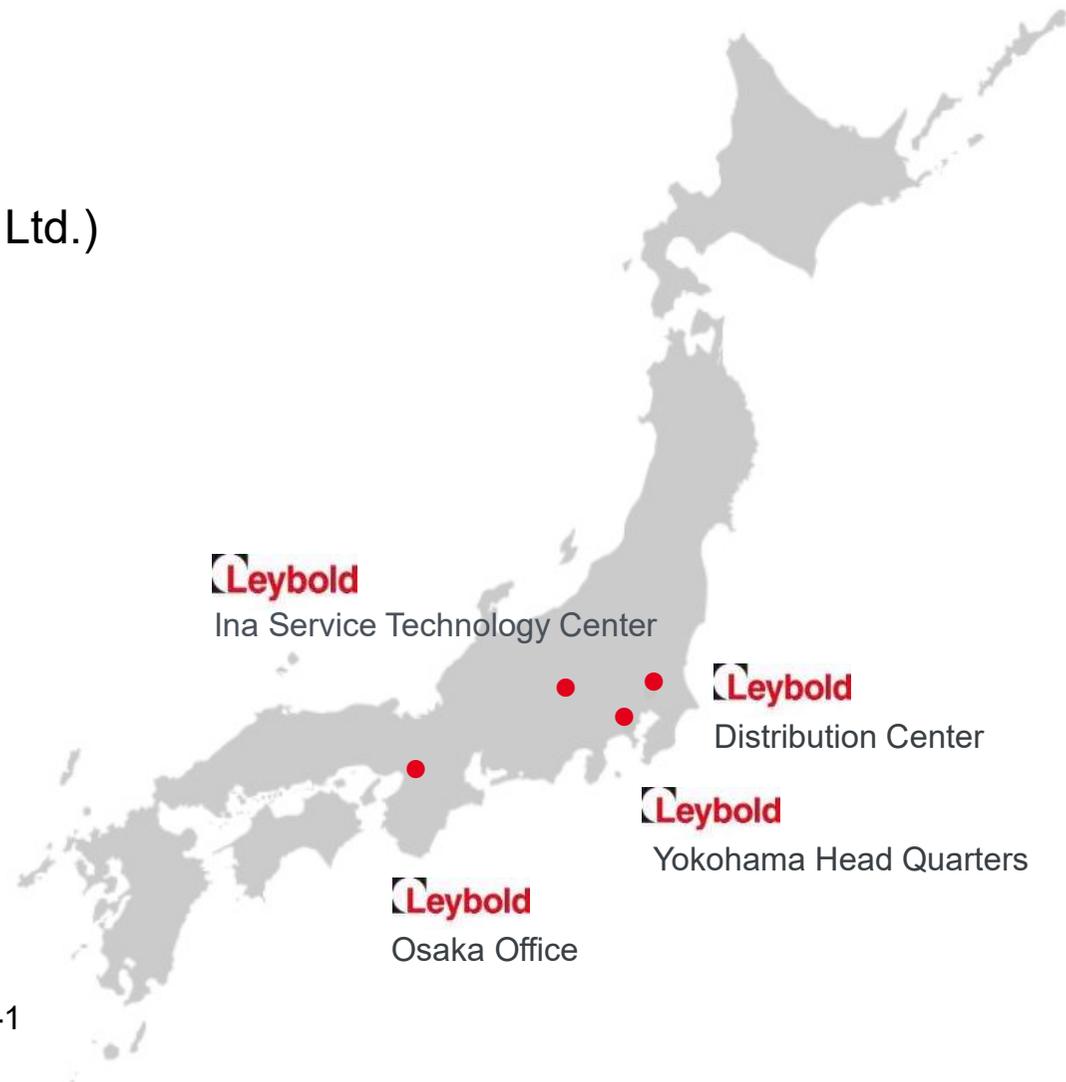
〒564-0063 大阪府吹田市江坂町2-18-15

伊那サービステクノロジーセンター

〒396-0041 長野県伊那市西箕輪字東原2640-10

物流センター

〒270-0105 千葉県流山市森のロジスティクスパーク二丁目806-1
GLP ALFALINK流山8 2階D区画



国内での安心のアフターサービス

サービステクノロジーセンター

グローバル基準のトレーニングを受けた認定エンジニアによる、高品質のアフターサービスを提供

- **海外への輸出**：世界各国にあるサービステクノロジーセンターでの修理が可能
- **日本国内販売**：長野県伊那市のサービステクノロジーセンターにて国内修理が可能



Leybold

Ina Service Technology Center



Leybold

UNIVEX system 各種装置、始めました。



250

400/400H

600

900

C

D

G

S



 **Leybold**



Pioneering products. Passionately applied.