

真空ポンプ・コンプレッサ用 PTFE ラジアルリップシール

PTFE Radial Lip Seals for Vacuum Pumps and Compressors

機器部品事業部
技術開発部

// 笈田 弘紀

■ H. Oida

機器部品事業部
技術開発部

// 石川 雅浩

■ M. Ishikawa

機器部品事業部
技術開発部

// 池田 毅

■ T. Ikeda

スクリー型やルーツ型のドライ真空ポンプおよびコンプレッサの回転軸のシールには、一般的にオイルシールと呼ばれるゴム製ラジアルリップシールやメカニカルシールが多く使用されてきたが、近年の装置の高性能化および多様化への対応やコスト面などの問題から、4 ぶつ化エチレン樹脂 (PTFE) を用いたラジアルリップシールの採用が拡大している。

PTFE ラジアルリップシールは PTFE の優れた耐熱性、化学的安定性、低摩擦性と適度な弾性を活かした、オイルシールやメカニカルシールよりもシンプルで、信頼性の高い軸シールである。

本報では、真空ポンプおよびコンプレッサの回転軸シールとして採用されている PTFE ラジアルリップシールについて紹介する。

【キーワード】 真空ポンプ, コンプレッサ, PTFE, ラジアルリップシール, 回転軸, シール

As rotary shaft seals for dry vacuum pumps and compressors, rubber oil seals and mechanical seals have been used. However, because of demands for higher-performance, diversification of recent pumps and compressors, polytetrafluoroethylen (PTFE) radial lip seals are being used instead.

PTFE has superior heat resistance, chemical stability, low abrasion, and moderate elasticity. Therefore, the PTFE radial lip seal is simple in structure but has higher reliability than oil or mechanical seals.

In this report, we introduce applications of the PTFE radial lip seals in dry vacuum pumps and compressors.

【Key words】 Vacuum Pump, Compressor, PTFE, Radial Lip Seal, Rotary Shaft, Seal

1 まえがき

一般的に、スクリー型やルーツ型のドライ真空ポンプ (以下真空ポンプ) およびコンプレッサの回転軸部を密封するシールには、オイルシールと呼ばれるゴム製ラジアルリップシールまたはメカニカルシールが多く採用されており、これらシールはその安定したシール性能から高い評価を得ている。

しかしながら、近年の装置の高性能化や多様化に伴う使用条件の過酷化に対し、ゴム製のオイルシールではその材料特性から使用できない用途が増えてきている。

また、メカニカルシールでは組み付け性やコスト面での問題に加えて、組み付けに要するスペースの面で装置の小型化に対応できないという問題もある。

上記問題を解決するために、当社では四ぶつ化エチレン樹脂 (以下 PTFE) をシールエレメントに用いたラジアルリップシール (図 1) を提案してきた。

PTFE ラジアルリップシールは PTFE のもつ優れた材料特性 (耐熱性、化学的安定性、低摩擦性など) とポンピング効果を含むシール機能を考慮した設計により、オイルシールやメカニカルシールよりもシンプルで、かつ信頼性の高いシールとなっている。



図 1 PTFE ラジアルリップシール
PTFE radial lip seals

2 PTFE ラジアルリップシールの仕様

2.1 PTFE ラジアルリップシールの構造

PTFE ラジアルリップシールの基本構造は図 2 のとおりであるが、構成部品の形状、個数および配列によりさまざまな構造とすることが可能であり、真空ポンプおよびコンプレッサの回転軸用としては、使用条件や使用環境に合わせて図 2 の構造以外に図 3 に示すような構造が採用されている。

個々の構成部品は、アウターケースの端面をプレス加工またはローラー加工によりかしめることで一体化している。

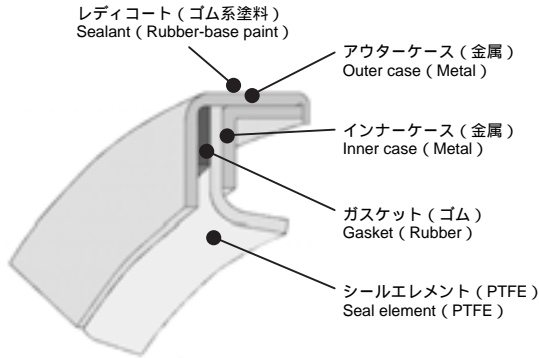
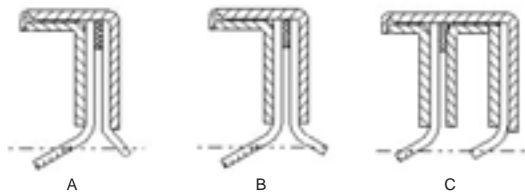


図2 PTFEラジアルリップシールの基本構造
Basic structure of the PTFE radial lip seal



形状A：ダストが多い環境で使用される場合の構造（ダストリップ付）
形状B：アンロードが大きい場合の構造
形状C：差圧が大きい場合の構造

図3 その他PTFEラジアルリップシールの構造
Other structures of the PTFE radial lip seal

PTFEラジアルリップシールの外周部の寸法は、正・負の圧力によるシールの前後移動や共回り（シールが軸に連れ回る現象）を防止するために、ハウジングのボア径に対して嵌め合いとしている。

真空ポンプおよびコンプレッサでは、性能面からもシール外周部のシール性能（気密性）は重要視されており、組み付け後に気密試験を行う場合が多い。そのため、シール外周部には図2に示すレディコート（ゴム系塗料）の塗布によりシール機能を付加することを基本としているが、組み付け時にシーラント（液状パッキン）を塗布する場合や、フランジ側に組み付けたOリングでシールをする場合には、製品外周にはレディコート塗布を行わずに表面粗さを小さく規定するなど、顧客仕様に合わせて対応が可能である。

2.2 構成部品の仕様

2.2.1 PTFEシールエレメント

(1) 材料

PTFEラジアルリップシールのシール性能には、使用するPTFEの材料特性が大きく影響しており、使用条件に合わせて最適な材料を選定する必要がある。

PTFEは適度な充填剤の含有により機械的特性が改良されるが、真空ポンプおよびコンプレッサの回転軸用のPTFEラジアルリップシールに用いる材料に対しては、特に以下の点を考慮して材料を配合、選択している。

- 1) 使用条件において耐摩耗性に優れた材料の選択（耐久性）

- 2) コンタクトパターンの変化を抑えるために熱膨張、クリープの少ない材料の選択（シール性能の安定化）
- 3) 軸偏心および軸触れに対する追従性の点から弾性モジュラスの小さな材料の選択
- 4) 摺動トルクの軽減のために摩擦係数の小さい材料の選択
- 5) 組み付け性、シール面でのなじみ性の点から硬度の低い材料の選択
- 6) 密封流体（空気、潤滑油、水、蒸気など）に対して安定な充填材の選択

(2) 形状

PTFEは融点を超えても高い粘性を持ち、通常の熱可塑性樹脂のように射出成形や溶融押出が困難である。

そのため、当社ではフリーベキング法（金型内で圧縮成形した後に加熱焼成する一般的な製法）で成形した素材を切削加工して、PTFEシールエレメントを製作している。シール性能の向上および安定化、耐摩耗性の向上を目的としてシールエレメント表面には表1に示すような加工を施す場合がある。

なお、切削加工したPTFEシールエレメントはケースと一体化後（かしめ加工後）に癖付け加工を行うことで、所望の湾曲形状が得られる。

表1 シールエレメントデザイン
Design of the seal element

| タイプ | 特徴 |
|----------------------|---|
| プレーン (溝なし) | <シール面に加工> ・ 気体およびグリスのシールに適用 ・ ガスシール性に優れ、ドライ状態での使用も可能 ・ 軸の回転方向は両方向に対応 |
| ハイドログループ (同心溝) | <シール面に加工> ・ 液体および気体のシールに適用 ・ 面圧の部分的集中と油膜保持効果によりプレーンタイプよりも高いシール性能が得られる ・ 耐圧性に優れ、ドライ状態での仕様も可能 ・ 軸の回転方向は両方向に対応 |
| ハイドロスレッド (スクリュー溝) | <シール面に加工> ・ 液体シールに適用 ・ 強制的に流体を密封側に押し戻す効果（ポンピング作用）と油膜保持効果により高いシール性能が得られる ・ 高速性能、偏心追従性に優れる ・ 軸の回転方向は片方向 |
| カットバック | <シール湾曲部に加工> ・ 上記3タイプ全てに適用可能 ・ PTFEシールエレメントの湾曲形状を変えることで、湾曲部への面圧集中を軽減し、耐摩耗性が向上 |

2.2.2 アウターケース、インナーケース

アウターケースやインナーケースなどの金属部品には炭素鋼を用い、耐食性の向上を目的とした表面処理を行うことを基本としている。しかしながら、真空ポンプ用途、コンプレッサ用途においては密封流体がそれぞれ腐食性ガスおよび水や蒸気の場合があり、これらより高い耐食性が要求される場合にはステンレス鋼などを適用している。

2.2.3 ガasket

ガスケットは内部リーク（各部品間を通っての漏れ）を防止するために組み込まれており、適用材料は耐熱性や密封流体に対する耐性により選択している。ゴム製のガスケットを用いることが一般的ではあるが、高温などでゴムでは使用に耐え得ない場合には PTFE などの樹脂を適用することも可能である。

3 PTFE ラジアルリップシールの性能

PTFE ラジアルリップシールは前述のとおり、PTFE のもつ優れた材料特性とポンピング効果を含むシール機能を考慮した設計により、オイルシールやメカニカルシールよりもシンプルで、かつユニークな特徴を持つシールであることを紹介したが、実使用において重要な性能に対する比較（概論）を表 2 に示す。

表 2 他シールとの性能比較（概論）

Comparison of performance with other seals

| | PTFE ラジアル リップシール | オイル シール | メカニカル シール |
|-------|------------------------|------------|--------------|
| 耐熱性 | ○ | △ | ◎ |
| 耐寒性 | ○ | △ | ○ |
| 耐油性 | ○ | △ | ○ |
| 耐薬品性 | ○ | × | ○ |
| 耐久性 | ○ | △ | ○ |
| 高速性能 | ◎ | △ | ◎ |
| 耐圧性能 | ○ | △ | ◎ |
| 耐異物性 | ○ | × | △ |
| 偏心追従性 | ◎ | ○ | × |
| 組み付け性 | ○ | ◎ | × |
| 摺動発熱 | △ | ○ | △ |
| シール価格 | ○ | ◎ | × |
| 相手部価格 | ○ | ○ | × |

注 1. PTFE ラジアルリップシールは図 2 の基本構造で想定

注 2. 一般的仕様による比較

表 2 から PTFE ラジアルリップがオイルシールおよびメカニカルシールの短所をカバーしており、非常にバランスの取れたシールであることが分かる。

次項では PTFE ラジアルリップシールの機能特性を紹介する。

4 機能特性

4.1 On/Off サイクル試験

4.1.1 試験条件

図 4 に示すシールベンチ試験機に試料を組み込み、表 3 および図 5 に示す条件にて試験を実施した。

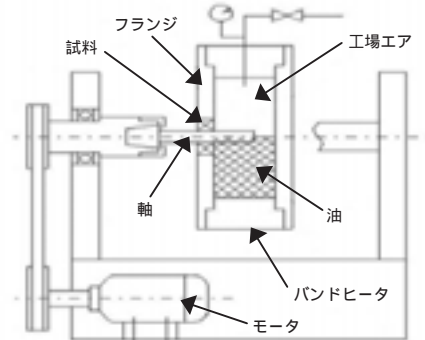


図 4 シールベンチ試験機概略
Rotational testing machine

表 3 On/Off サイクル試験の試験条件

Testing condition of the On-Off cycle test

| | |
|-------|--|
| 試料 | <ul style="list-style-type: none"> ・ $\phi 65$ (内径) $\times \phi 85$ (外径) $\times 10$ ・ 構造は図 3 の形状 C ・ 外周にレディコート（ゴム系塗料）塗布 ・ 第 1 シールエレメントはハイドロスレッドタイプ（スクリュー溝）、第 2 シールエレメントはプレーンタイプ |
| 軸 | <ul style="list-style-type: none"> ・ $\phi 65$ h8 ・ 中炭素鋼 + 高周波焼き入れ (HRC55 ~ 60) ・ 表面粗さ 0.4 Ra (プランジグライнда仕上げ) ・ 偏心量 : 0.10 mm TIR 以下 |
| ハウジング | <ul style="list-style-type: none"> ・ $\phi 80$ h8 ・ 炭素鋼 ・ 表面粗さ 3.2 Ra |
| 流体 | <ul style="list-style-type: none"> ・ コンプレッサオイル (軸中心まで浸漬) |
| 運転条件 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 圧力 : 0.05 MPa (On) \leftrightarrow 0.5 MPa (Off) ・ 油温 : 100°C ・ 軸回転数 : 5,000 rpm (On) \leftrightarrow 0 rpm (Off) ・ 運転時間 : 3,000 hrs. (Off 状態含む) |

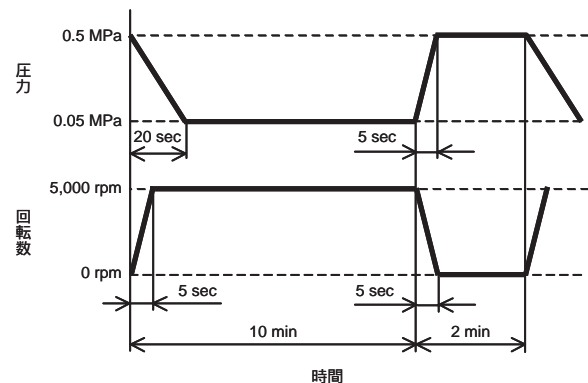


図 5 圧力と回転数のチャート
Chart of pressure and rotation speed

4.1.2 試験結果

(1) 油漏れ

試験中に油漏れは確認されなかった。また、1,000 hrs. 到達時、2,000 hrs. 到達時、試験終了後に 24 hrs. の連続運転および 24 hrs. の静止を行って油漏れ有・無の確認を行っているが、運転中ならびに静止状態での油漏れは確認されなかった。

(2) 試験後の試料解析結果

試験後の試料解析結果を表 4 に示す。シールエレメントの摩耗は軽微であり、試験後においても軸に対して十分な締め代を有しており、安定したシール性能を維持している。また、シールエレメント表面およびスクリー溝内にはスラッジ付着がほとんど見られず、耐久試験後も初期と同等のシール性能が保持されていると判断された。

表 4 On/Off サイクル試験後試料の解析結果
Evaluation results of samples after the On-Off cycle test

| | (単位: mm) | | | |
|------|--------------|------|--------------|------|
| | 第 1 シールエレメント | | 第 2 シールエレメント | |
| | 締め代 | 摩耗量 | 締め代 | 摩耗量 |
| 試験 1 | 1.10 | 0.03 | 0.55 | 0.01 |
| 試験 2 | 1.02 | 0.05 | 0.50 | 0.02 |

注 1. 締め代は試験後試料の内径寸法と軸径の差から算出
注 2. 摩耗量は試験後試料の厚みと設計値の差から算出

(3) 軸摩耗量

試験後の軸に顕著な摩耗は見られなかった。

4.2 気密試験

4.2.1 試験条件

図 4 に示すシールベンチ試験機に試料を組み込み、油を入れた慣らし運転を行った後に油を排出し、表 5 に示す条件で気密試験を実施した。

表 5 気密試験の試験条件
Testing condition of the leak test

| | |
|-------|--|
| 試料 | <ul style="list-style-type: none"> ・ $\phi 50$ (内径) $\times \phi 68$ (外径) $\times 9$ ・ 構造は図 2 の基本形状 ・ 外周にレディコート (ゴム系塗料) 塗布 ・ シールエレメントはハイドロスレッドタイプ (スクリー溝) |
| 軸 | <ul style="list-style-type: none"> ・ $\phi 50$ h8 ・ 中炭素鋼 + 高周波焼き入れ (HRC55 ~ 60) ・ 表面粗さ 0.4 Ra (ブランジング仕上げ) ・ 偏心量: 0.10 mmTIR 以下 |
| ハウジング | <ul style="list-style-type: none"> ・ $\phi 68$ h8 ・ 炭素鋼 ・ 表面粗さ 3.2 Ra |
| 流体 | <ul style="list-style-type: none"> ・ コンプレッサオイル (軸中心まで浸漬し 1,000 rpm \times 5 min 運転後、全て排出) |
| 気密条件 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 圧力: 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 MPa ・ 温度: RT ・ 保持時間: 10 min |

4.2.2 試験結果

試験結果を表 6 に示す。各試験圧力において軸とシールエレメント間および外周部からの漏れは確認されなかった。

表 6 気密試験の結果
Testing results of the leak test

| | 0.4 MPa | 0.6 MPa | 0.8 MPa | 1.0 MPa |
|------|---------|---------|---------|---------|
| 試験 1 | 漏れなし | 漏れなし | 漏れなし | 漏れなし |
| 試験 2 | 漏れなし | 漏れなし | 漏れなし | 漏れなし |
| 試験 3 | 漏れなし | 漏れなし | 漏れなし | 漏れなし |

5 むすび

オイルシールおよびメカニカルシールよりもシンプルで、かつ信頼性の高い PTFE ラジアルリップシールについて、真空ポンプやコンプレッサの回転軸のシールとして用いる場合の仕様や機能特性を紹介した。記載した性能比較表からも、本シールがオイルシールやメカニカルシールの短所をカバーしている非常にバランスの取れたシールであることが明らかである。

PTFE ラジアルリップシールは既に真空ポンプやコンプレッサの回転軸用シールとして多く採用されているが、PTFE のもつ材料特性と構造の多様性から、より高速・高温・高圧などシビアな使用条件下での使用が可能であり、更なる機器の高性能化や多様化にも貢献できると考えている。

なお、今回は真空ポンプやコンプレッサへの適用を一例として紹介したが、これら以外の機器に対しても優れた性能をもつ当社の PTFE ラジアルリップシールの採用が期待される。