

耐高油圧シール内蔵玉軸受の開発

Development of Ball Bearing with Integrated High Oil Pressure Resistance Seal

松尾嘉臣 Y. MATSUO 白木利彦 T. SHIRAKI

Four-stroke engines have been widely used in motorcycles and special vehicles in order to meet emission control regulations and improve fuel efficiency. Lubricating oil is fed by an oil pump to the four-stroke engine, and a ball bearing with integrated oil pressure resistance seal is used at the oil pathway of the shaft end as an oil pressure bulkhead. As a result of improvements in engine performance, demands for higher speeds, higher pressures and improved sealing performance have increased. To meet these demands, we have developed a ball bearing with integrated high oil pressure resistance seal. This report describes this development.

Key Words: Ball bearing, pressure resistance seal, four-stroke engine, environment, lip reaction force.

1. はじめに

近年地球環境問題への急速な対応が必要とされており、四輪車の燃費規制、排気ガス規制などに対しては多くの最新技術が駆使されてきている。

自動二輪車においても、混合ガソリンを使う2ストロークエンジンは、環境や燃費の規制に対して構造上最適な制御が難しいことから、新機種での採用が減少し、燃費や排気ガスの制御がしやすい4ストロークエンジンが広く使用されている。図1に国内自動二輪車メーカーの新機種における4ストロークエンジンと2ストロークエンジンの年度ごとの比率を示す¹⁾。図2に示すように、4ストロークエンジンには、オイルポンプでオイル

を効率よく各部位に圧送する経路が設けられている。オイルは、各部位の潤滑だけでなく、エンジンピストンやすべりによる昇温部位を冷却することや異物を排除する役割がある。そのオイルは、クランク軸や変速機のメインシャフトおよびカウンタシャフトの中空穴を圧送されるのが一般的で、軸端部にオイル隔壁としてシール付き軸受が使われている。そのシール付き軸受には耐高油圧性の要求にこたえた耐高油圧シール内蔵玉軸受（以下耐圧シール軸受と称す）が4ストロークエンジンの普及に応じて増加してきた。さらに耐高油圧だけでなく、燃費向上のためフリクション低減などの要求性能も増加してきている。

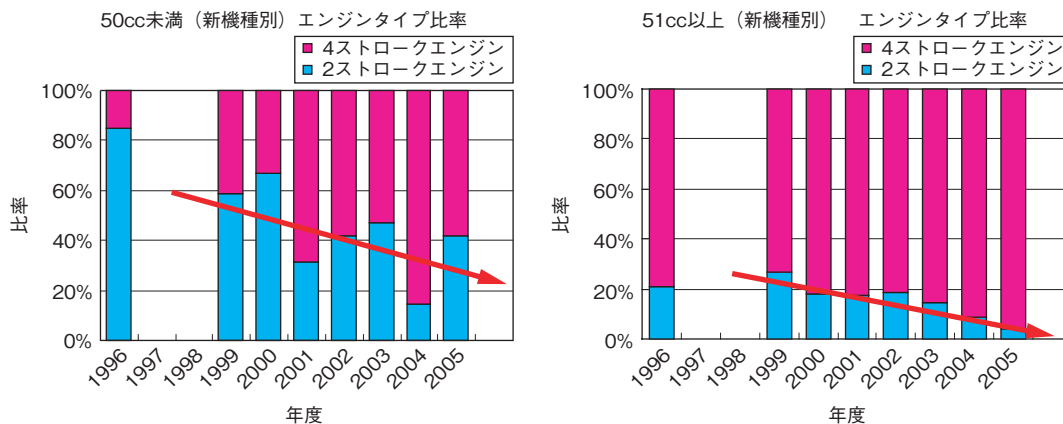


図1 国内の自動二輪車メーカーにおける新機種のエンジンタイプ比率¹⁾
Ratio of engine types used in new models by domestic motorcycle makers

本報では耐圧シール軸受のラインナップと、現在開発中の耐圧シール軸受の取組みについて紹介する。

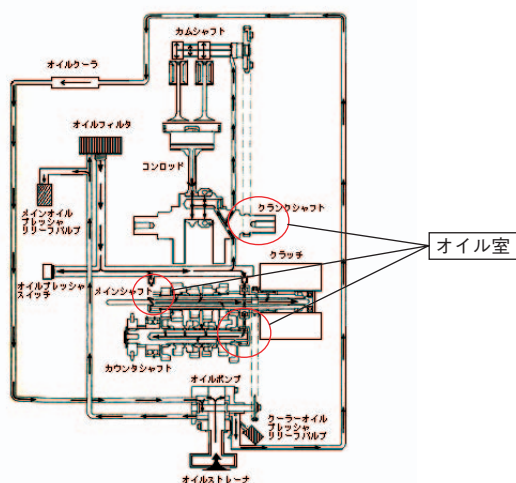


図2 4ストロークエンジンのオイル経路概略図
Schematic drawing of oil circulation for four-stroke engine

2. 耐圧シール軸受の使用環境

2.1 オイルの役割

4ストロークエンジンのオイルポンプで供給されるオイルには、先述のとおり役割がある。各部位を循環したオイルはオイルパンに戻り、そこからオイルポンプによりオイルストレーナで吸い上げられ、オイルフィルタを通り各経路、オイル室を通過してピストン下部、動弁系、ギアインナ部位、および回転支持部位に供給される。耐圧シール軸受は、オイル隔壁として、軸端部の回転部位における転がり軸受の横に軸シールやワッシャなどが使用されていたものに代わり、耐高油圧シールを軸受に内蔵することで、エンジン内のスペース確保、組立て易さを目的に開発されたものである。

2.2 耐圧シール軸受の要求性能

耐圧シール軸受には下記の性能が要求されている。

(1) 密封性向上

オイル経路でのオイル漏れをなくすことで、末端まで油圧レベルや供給量を保ちオイルポンプの効率向上を図る。

(2) フリクション低減

ATV（四輪バギー）などの大排気量単気筒エンジンの使用時に、クランクジャーナル軸受の大径化により、シールしゅう動径が増加し、フリクションの増大による燃費の悪化を防ぐ。

(3) 耐高油圧性向上

低温始動時のオイル動粘度が高い状態で、リリースバルブの作動が悪いときの高油圧に対しても、トラブルなく使用可能とする。

3. 耐圧シール軸受のラインナップ

表1にJTEKTの耐圧シール軸受のラインナップを示し、以下に各タイプの特長を示す²⁾。

3.1 RUE タイプ

RUEタイプは中油圧では最も一般的に使用され、数多くの実績がある。

シールリップ部形状は、油圧によりリップがしゅう動面に押しつけられるため、油圧によってリップが反転しないようにゴムの厚みが大きい。また、リップの摩耗が発生しないようにリップ先端には放射状のリブを設け、油圧でリップがしゅう動面に押しつけられても、リップしゅう動部に微量の油を供給し、リップの摩耗を軽減している。

外輪とのはめあい部（シールヘッド部）では、当初シールドのようなカール部をかしめることで油圧を受けた時のシールリップのフリクションに負けない回動力を確保していた。

一方、シールヘッド部のカール形状は板厚を厚くすることが難しく、油圧が高くなると、芯金自身が変形するため、シール性能が低下した。そこで、シールヘッド部の剛性を上げるには限界があるカール形状からシールヘッドの回動力を確保できるよう工夫したゴムはめあいタイプとすることで、油圧に対し、可能な限り厚くして変形しにくい芯金を設計し、耐高油圧性を向上させた。

現在は、信頼性の高いゴムはめあいタイプを推奨している。

3.2 RC5 タイプ

RC5タイプのシールリップ形状では、耐高油圧性はそれほど必要ではないが、高速回転の要求に対して、シールリップを二重構造にし油圧を受けた時にシールリップ部接触幅が極端に大きくならないようにしたタイプである。また、リップ間にオイルを溜めることで、しゅう動面への適度なオイル供給で、高速におけるシールリップ部の偏摩耗や昇温を低減する。

表1 耐圧シール軸受のラインナップ²⁾
Lineup of high-pressure resistance seal bearings

タイプ	RUE タイプ		RC5 タイプ		RO タイプ	
シールヘッド形状	カールタイプ	ゴムはめあいタイプ				
形状						
シールリップ周速, m/s	低速用	Max. 11	高速用	Max. 20	中速用	Max. 15
耐油圧, MPa	中圧用	Max. 0.5 (常用 0.3)	低圧用	Max. 0.2 (常用 0.1)	高圧用	Max. 0.7 (常用 0.5)
特長	微量の油をリップしゅう動面に供給し、リップの摩耗を軽減		リップが二重形状になっており、接触幅の拡大を抑える。リップ間にオイルを溜めることにより、リップの摩耗を低減		リップ部にバックアップリングを設けて油圧によるリップ変形を抑えリップの摩耗を低減	
リップタイプ	アキシアル		アキシアル		軸シール	
材質	アクリルゴムまたはふっ素ゴム		アクリルゴムまたはふっ素ゴム		ふっ素ゴム	

3.3 RO タイプ

RO タイプは耐高油圧性に対応するため、耐圧用軸シールとして実績のある軸シールタイプをそのまま軸受に内蔵したタイプである。シールリップのゴムの厚みを大きくし、バックアップリングを設けてシールリップの変形を抑えて偏摩耗を低減する。

上記の各シールタイプについてシールリップ周速と耐油圧の関係を図3に示す。

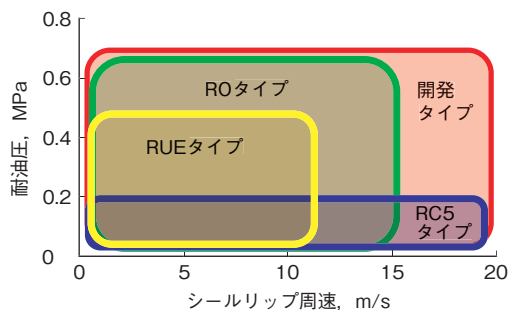


図3 使用範囲

Seal design range of application

4. 耐高油圧シール内蔵玉軸受の開発

しかし、近年使用環境の変化に伴い、前述のように高速・高圧化、密封性の向上、低フリクション化が要求されている。そこで、現行タイプに比べ、それらの要求を実現するためにリップ形状の最適化を行った。開発目標を表2に示す。

表2 開発目標

Target of development

内容	目標値	備考
高耐圧性, MPa (試験時間, h)	0.7 (100)	試験後著しいオイル漏れなきこと
密封性, cm ³ /min	オイル漏れ 0.1 以下	—
シール周速, m/s	20	—
フリクション低減	現行の 30%	—

4.1 RUE タイプシールの破損形態

図3に示す使用範囲を越えた条件で使用された場合のRUE タイプシールの破損形態を図4に、その要因分析を図5に示す。耐圧シールの破損の要因には、オイル漏れや他部位との干渉があり、いずれも芯金の変形、リップしめしろ過大、およびシール溝粗さ大が挙げられる。

また、フリクション過大もリップしめしろ過大が主要因である。

現状の使用範囲を越えた条件で問題なく使用するために、これらの要因を考慮して開発を進めた。



図4 過大油圧でのRUEタイプの破損形態
Failure mode of RUE type seal under excess oil pressure

4.2 開発品の特長

開発品の概略図を図6に、特長を以下に示す。

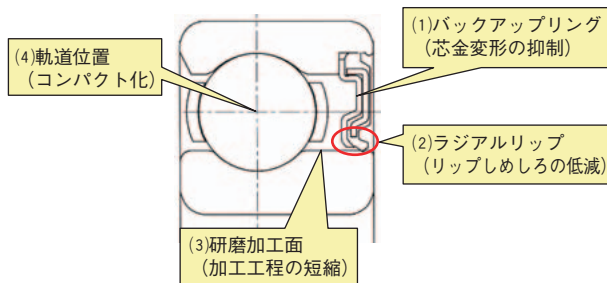


図6 開発品の概略図と特長
Developed part outline and features

(1) 芯金変形の抑制

シール部内側にバックアップリングを設けることにより、芯金の油圧負荷による変形を抑制する。

また、現状 (RUE タイプ) の板厚程度の芯金を2枚組み合わせているので、剛性を向上するための形状加工が容易にできる。

(2) ラジアルリップしめしろの低減

ラジアルリップ構造にして油圧による芯金の変形でシールリップしめしろが変化しないようにしている。

シールリップ部にバックアップリングを設けることにより、高圧条件下でリップの変形を抑える。

(3) 加工工程の短縮

ラジアルリップ構造のため、シール溝が不要で、しゅう動面は内輪外径部となり、しゅう動面粗さを抑えるための研削加工がしやすい。

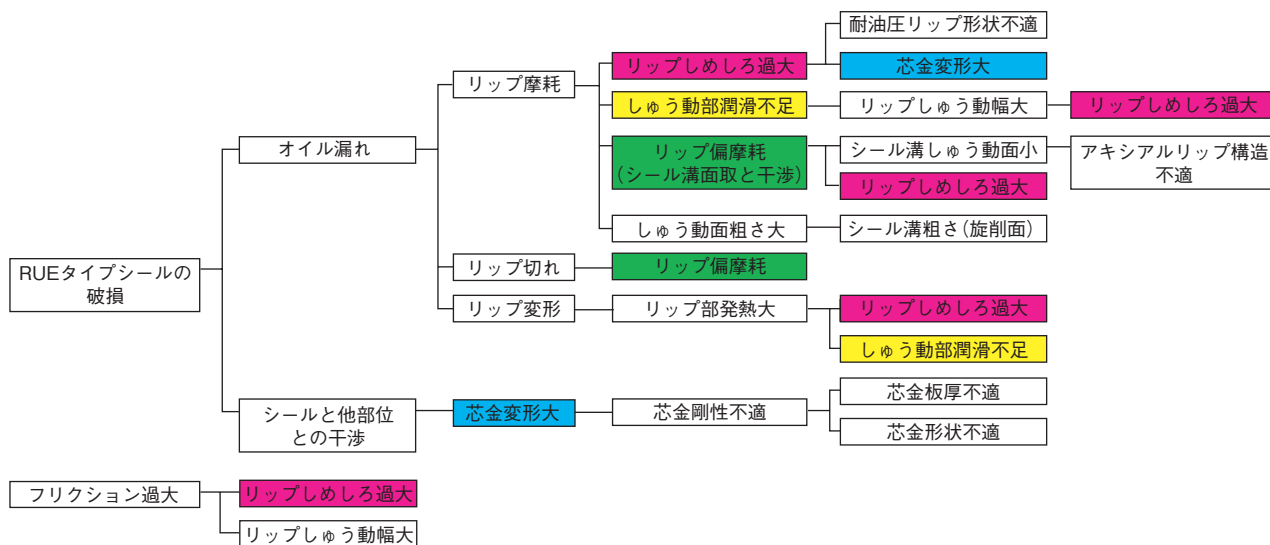


図5 RUEタイプシールの破損、およびフリクション大の要因分析
Factor analysis of failure and large friction for RUE type seal

シールタイプ		RUEタイプ	開発品
0.5 MPa	芯金軸方向変位	0.073mm, 0.118mm	0.013mm, 0.032mm, 0.044mm (37%)
	リップ反力	147N	52N (35%)
1.0 MPa	芯金軸方向変位	0.142mm, 0.226mm	0.031mm, 0.065mm, 0.093mm (41%)
	リップ反力	340N	86N (25%)

図7 FEM解析結果
Results of FEM analysis

(4)コンパクト化

標準軸受のスペースの中に納めるために、軌道位置を、軸受中心からずらしコンパクト化を図る。

4.3 開発品の効果確認

4.3.1 芯金の変形とリップ反力

高油圧時の芯金変形、リップ反力をFEM解析し、RUEタイプと開発品で比較した結果を図7、図8に示す。この結果より、シール芯金の軸方向変位量は約40%、リップ反力は約30%に抑えられ、リップ摩耗やリップ変形およびフリクションを低減することができると推定した。

4.3.2 起動トルク (フリクション)

開発品とRUEタイプの「油圧と軸受起動トルクの関係」を実測値とFEM解析結果から導いた計算値を比較して図9に示す。開発品の起動トルクは、RUEタイプと比較すると約1/3に低減された。また、その実測値はFEM解析結果から導いた計算値の比較結果とほぼ一致しているため、FEM解析でリップ反力・芯金変形を求めることにより、シール性能を予測することが可能であると考えられた。

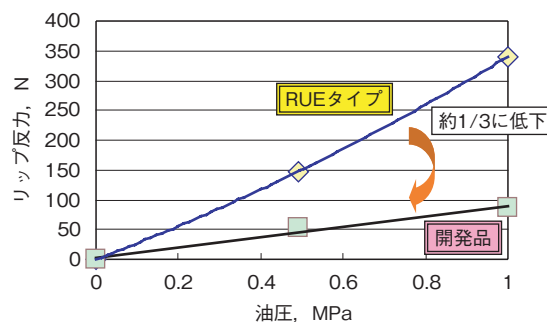


図8 油圧とリップ反力の関係
Relationship between oil pressure and lip reaction force

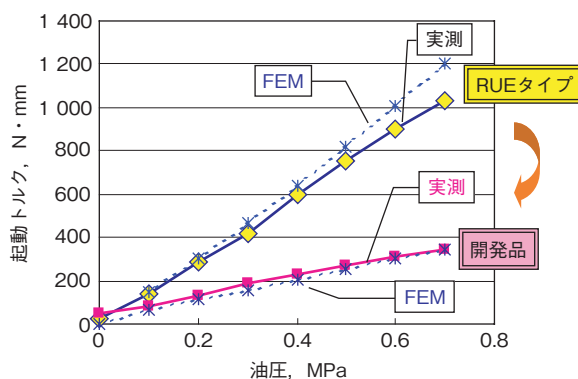


図9 油圧と軸受起動トルクの関係
Relationship between oil pressure and bearing starting torque

4.3.3 耐久試験

表3に示す試験条件で耐久試験を行った。試験結果は図10、図11に示すように、リップの摩耗量およびオイル漏れ量は、100時間経過しても判定基準内であった。

表3 試験条件
Test conditions

開発品	
油圧, MPa	0.7
回転速度, min^{-1}	7 000
時間, h	100
油温, $^{\circ}\text{C}$	140

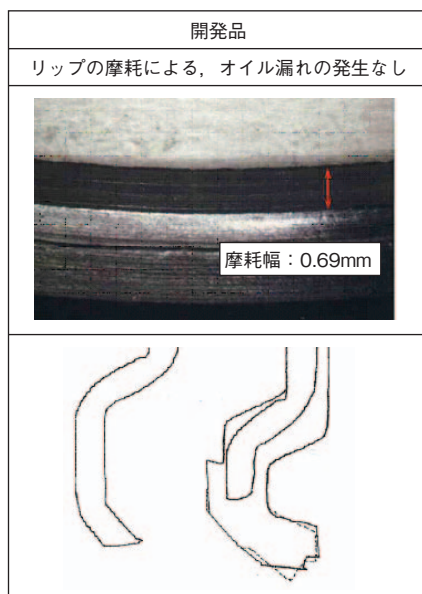


図10 断面形状 (試験後)
Cross-sectional form (after test)

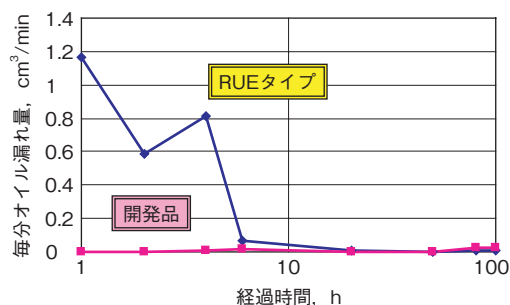


図11 単位当たりのオイル漏れ量 (試験後)
Amount of oil leakage per minute (after test)

5. おわりに

- (1) 低圧から高圧まで、低速から高速までのあらゆる範囲で、使用できる耐圧シール軸受をとりそろえた。
- (2) 芯金変形対策シールリップのしめしろ変位量を抑えることにより、リップの摩耗が抑えられ、高速、および高圧条件下で、耐えるシールを開発した。
- (3) 開発品の軸受起動トルクは、RUEタイプに比べ、1/3程度になっており、フリクション低減効果が見られた。

以上のように、今回の開発タイプの形状品は4ストロークエンジンの高性能化の要求に対応可能であることが確認できた。

最後になりましたが、今回の耐圧シール軸受を開発していくにあたり、多大なご協力をいただきました内山工業株式会社殿に対し厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 自動車技術, vol. 50, no. 8(1996)78.
自動車技術, vol. 53, no. 8(1999)82.
自動車技術, vol. 54, no. 8(2000)78.
自動車技術, vol. 55, no. 8(2001)67.
自動車技術, vol. 56, no. 8(2002)68.
自動車技術, vol. 57, no. 8(2003)71.
自動車技術, vol. 58, no. 8(2004)77.
自動車技術, vol. 58, no. 8(2005)74.
自動車技術, vol. 60, no. 8(2006)79.
- 2) 製品紹介: Koyo Engineering Journal, no. 168(2005) 54.

筆者



松尾嘉臣*
Y. MATSUO



白木利彦**
T. SHIRAKI

* 軸受・駆動事業本部 軸受・駆動技術企画部

** 軸受・駆動事業本部 産業機器技術部