

# 外輪回転アイドラ軸受の耐水性能向上

## Improvement of Waterproof Performance of Outer Ring Rotating Idler Bearings

竹谷侑馬 Y. TAKETANI 山口晋弘 K. YAMAGUCHI

The idler bearings, which are used to adjust the layout of the driving belts for engine accessories, are exposed to a water-rich environment during operation. As there have been cases where water intrudes into the idler bearings, it is necessary to improve their waterproof performance. While the addition of a slinger that prevents the water from directly hitting the seal allows the waterproof performance to be improved, we have determined the contribution of the labyrinth geometry to the waterproof performance to optimize the geometry. Also, in order to deal with such an extreme condition as the idler bearing being fully immersed in the water, we have added an axial lip in contact with the slinger to the seal, so that greater improvement in waterproof performance from baseline has been achieved.

**Key Words:** idler bearing, waterproof performance, labyrinth structure, axial lip

### 1. はじめに

自動車のエンジン補機（オルタネータ、エアコン用コンプレッサなど）はエンジンの前面に取り付けられており、図1のようにポリVベルトを介してクランクプーリによって駆動される。アイドラ軸受（以下、アイドラと称す）はポリVベルトのレイアウトや張力調整のために使用されている。

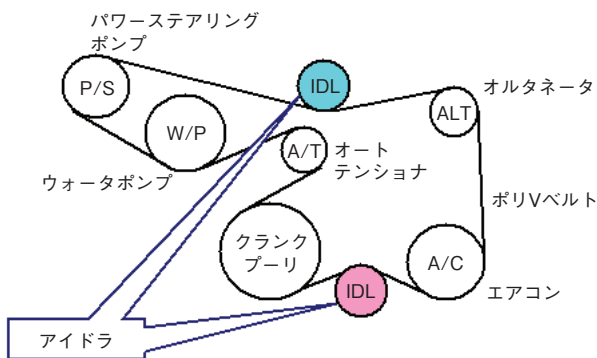


図1 エンジン補機のレイアウト例  
Typical belt layout of engine accessories

自動車は、走行地域の気候や道路条件、および顧客の使用方法によっては冠水した道路を走行する場合があります。多量の水がアイドラにかかる恐れがある。アイドラの耐水性能が不足すると、軸受内部に水が浸入してさびが発生し、異音や軸受破損につながる。近年、道路事情や気象条件が過酷な地域の海外市場でアイドラに水が浸

入しているケースが見られるため、さらなる耐水性能の向上が必要である。本報では、アイドラの耐水性能向上への取組みについて報告する。

### 2. アイドラの構造

アイドラの構造を図2に示す。転がり軸受の外輪にポリVベルト用のプーリを取り付け、外輪が回転し、内輪が固定されている。軸受を潤滑するグリースの密封と外部からの異物および水の浸入防止のためにシールが取り付けられている。

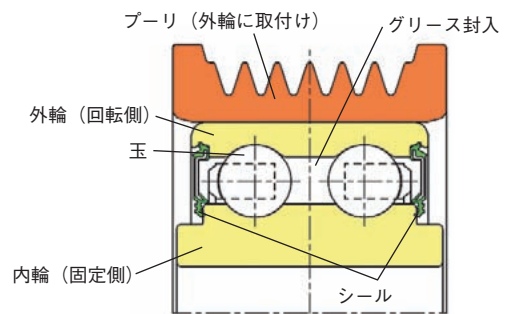


図2 アイドラの構造  
Structure of idler bearing

表1 形状と性能<sup>1)</sup>  
Design and performance

シールリップ形式	密封玉軸受				
	非接触形	接触形			軽接触形
	RU	RS	RK	RD	RM
特性					
グリース密封性	○シールド板より良	○RUより良	◎	◎	◎
防じん性	○同上	○同上(特に低速時)	◎	◎	◎
耐水性	△同上	○	◎	○	○
摩擦トルク	◎	△	○	◎	◎

◎：優，○：良，△：可

### 3. シールとスリングによる耐水性能向上

エンジン補機に用いられる当社の標準軸受シールリップの特徴を表1<sup>1)</sup>に示す。

アイドラの回転速度は最高  $10\,000\text{min}^{-1}$  以上になる場合があり、温度上昇を抑えるためにシールリップの接触面圧を低く設定する必要がある。当社製アイドラでは、主に耐水性能、昇温、およびトルクの面でシールリップを内輪にしゅう動させる形式のうち最も優れるRMシールリップを採用している。しかしシール単体の耐水性能には限界があり、RMシールリップを採用したアイドラでも市場で過酷な環境下で使用されると水が浸入する場合がある。

そのため、図3に示すようにスリングをシールの前に追加し、シールリップ部への水の直撃防止およびラビリンス効果（水の浸入経路の複雑化と延長）で耐水性能を向上させている。図4に示す試験機および表2に示す条件で泥水試験を実施し、スリングの有無で耐水性能を比較した結果を表3に示す。

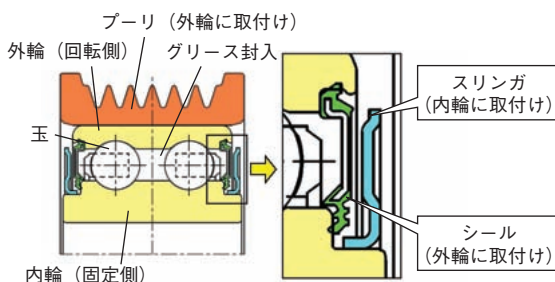


図3 スリングを追加したアイドラ  
Idler bearing with added slinger

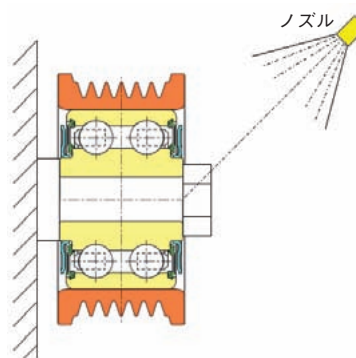


図4 注水試験機

Water injection test machine

表2 スリングの効果確認試験条件

Test conditions for checking effects of slinger

項目	条件
ベルト荷重	ベルトが滑らない程度の軽荷重
泥水組成	JIS8種 関東ローム粉を水に混入
注水量	1 000mL/min
試験サイクル	1サイクルを下記のように設定 

表3 スリング追加による耐水性能向上効果

Waterproof performance improvement by added slinger

試験サイクル数	RM シール単体	RM シール+スリング
1	○	—
2	○	—
3	○ ○ ×	—
4	○ ○ ○ × × ×	—
5	○ × ×	—
6	×	—
7	×	—
12	—	○
30	—	○ ○

泥水浸入無し：○，泥水浸入有り：×

表3に示すようにスリングの追加で耐水性能は向上するが、スリングで形成されるラビリンス部の寸法が、耐水性能に及ぼす影響は明確でなかった。そこで耐水性能に影響すると考えられる要因(図5)について、実験計画法を用いて耐水性能確認試験を実施し、各要因の影響度を確認した。

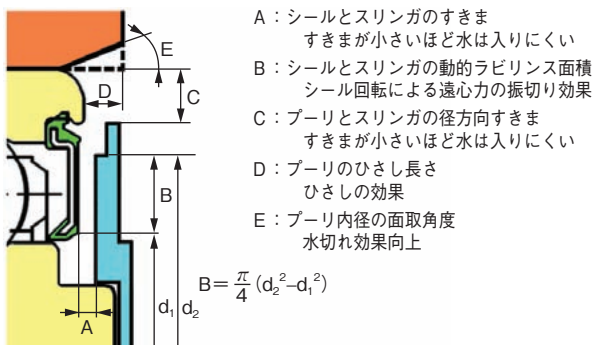


図5 耐水性能への影響が考えられる要因

Factors supposedly affecting waterproof performance

試験条件を表4に、試験機を図6に示す。シールリップ部に到達する水量を確認するため、試料のシールリップ部を切断し軸受を通過する水の量(浸水量)を測定した。各要因の浸水量に及ぼす影響を示した要因効果図を図7に示す。

表4 耐水性能確認試験条件

Test conditions for checking waterproof performance

項目	条件
回転速度	1 000min <sup>-1</sup>
注水量	1 000, 2 000mL/min
温度	常温

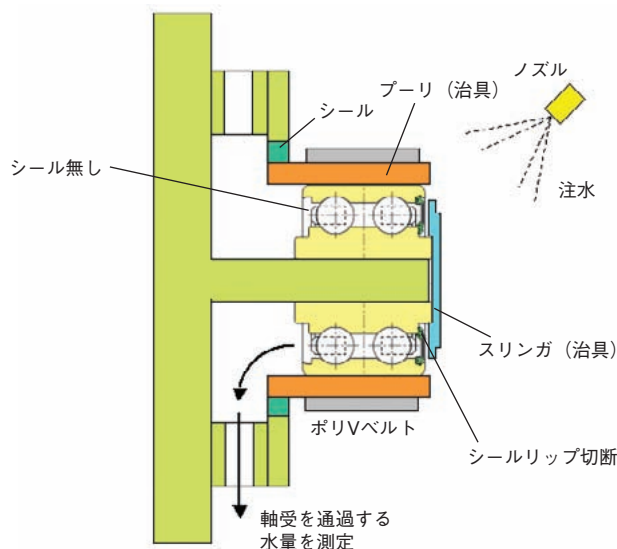


図6 耐水性能確認試験機

Test machine for checking waterproof performance

図7より、プーリとスリングの径方向すきまCとプーリのひさし長さDが浸水量に影響しているが、他はほとんど影響していないことが分かる。シールとスリングのすきまAおよびシールとスリングの動的ラビリンス面積Bが影響しない理由は、図8に示すように開口部から入った水の多くがスリング(固定側に取り付けられており振切り効果を持たない)のシール側表面を伝って流れ落ちるためと考えられる。またプーリ内径の面取角度Eが影響しない理由は、図9に示すように面取りの設定でプーリとスリング間の開口部が増えるという背反があり、効果が相殺されている可能性が考えられる。

浸水量に影響する2つの要因(プーリとスリングの径方向すきまCとプーリのひさし長さD)は、図10に示すように注水方向に対するプーリとスリング間の開口部の大きさ(面積)を決めており、それが浸水量に影響すると考えることができる。

開口部の大きさを代表する値として、注水方向に直角なプーリとスリングのすきまF(以下、すきまFと称す)を新たに定義し、すきまFの大きさと浸水量の関係を図6の試験機を用いた耐水性能確認試験で確認した。試験条件を表5に、すきまFと軸受への浸水量の関係を図11に示す。

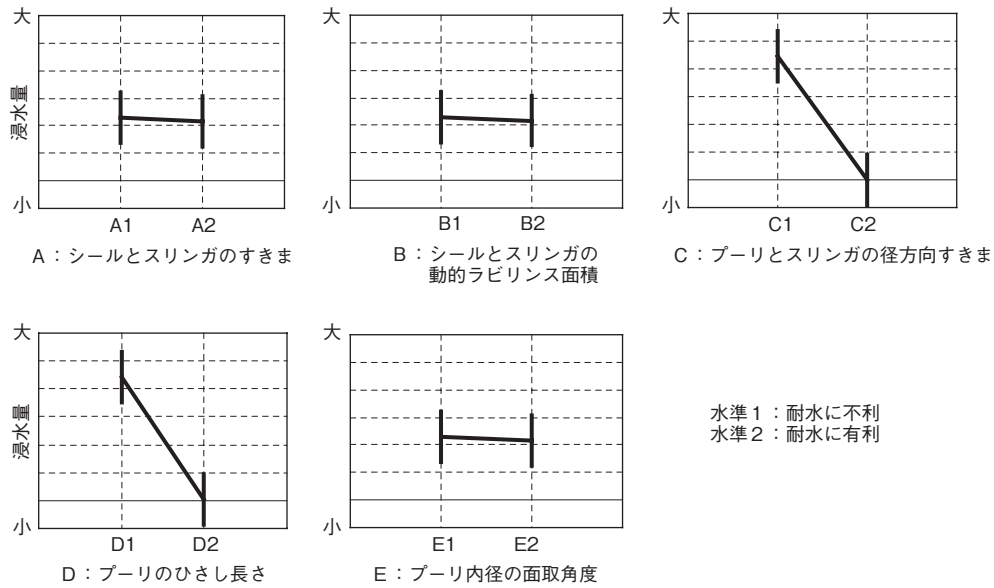


図7 要因効果図  
Factor-effect diagram

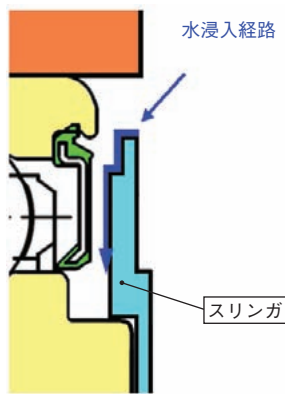


図8 水の浸入の推定経路 (耐水性能確認試験)  
Assumed route of water intrusion  
(waterproof performance test machine)

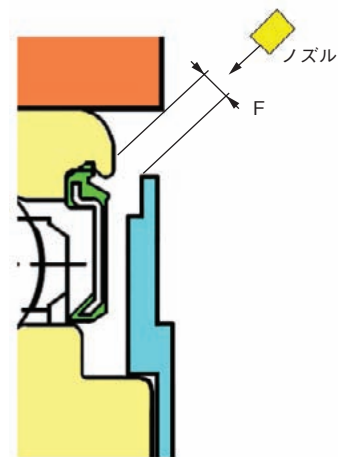


図10 すきまF (注水方向の開口部)  
Clearance F (opening in direction of injecting water)

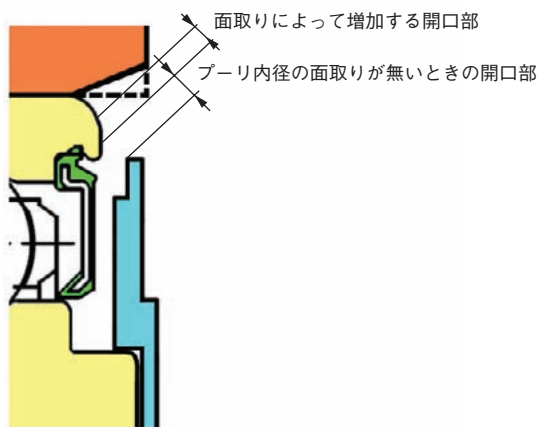


図9 面取りによる開口部の増加  
Increased openings by chamfer

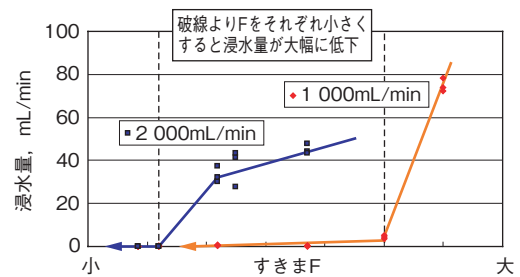


図11 すきまFと浸水量の関係  
Clearance F vs. water intrusion volume

表5 耐水性能確認試験条件  
Waterproof performance test condition

項目	条件
回転速度	1 000min <sup>-1</sup>
注水量	1 000, 2 000mL/min
温度	常温

図11で注水量ごとに見ると浸水量はすきまFの大きさと相関があるが、あるしきい値よりすきまFが小さくなると浸水量が極端に少なくなる。すきまFが図11中の破線よりそれぞれ小さい値になるよう設定することで、プーリとスリングの径方向すきまCとプーリのひさし長さDを適正化できた。すきまFがしきい値を持つ理由は、図12に示すように開口部から入った水はスリングの取付け部に当たり表面を流れ落ちるが、ある程度まで水量が増えないと水流がシールリップ部に届かず、水は入らないためと推定される。

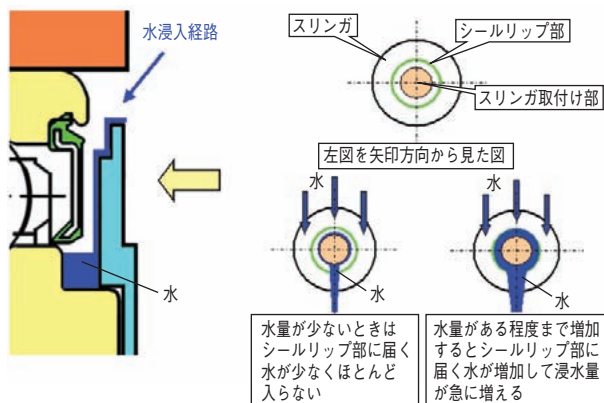


図12 水の侵入の推定経路（すきまFの効果確認試験）  
Assumed route of water intrusion  
(Test for checking effect of clearance F)

#### 4. 水没条件への対応（アキシアルリップの追加による耐水性能向上）

シール性能改良やスリングの追加で耐水性能を向上させてきたが、一部の車種や顧客の使用条件ではアイドラが完全に水没する場合があります。このような条件にも対応する必要が生じてきた。耐水性能を向上させる方法として、図13に示すように①シールリップの緊迫力向上と②シールリップの追加の二つが考えられる。

①、②のいずれの方法も昇温の増加が予想されるが、水没条件で車両が走行する速度は低くエンジンの回転速度も比較的低い（アイドラの回転速度も低い）と考えられる。そのため、アイドラが低速回転時はシールリップを耐水性能が確保できる大きさの接触面圧に設定し、高速回転時は接触面圧を低くして昇温を抑制することを検討した。アイドラはシールが外輪と一緒に回転するため、シールリップに遠心力が作用する。高速回転時には遠心力でシールリップの接触面圧が下がるようなシールリップ剛性に設定すれば、必要な特性が得られる。

②シールリップの追加について、アキシアルリップの方がラジアルリップと比較するとシールリップ剛性の設定可能範囲が広く、組付け性が良い（ラジアルリップは軸を挿入する際のシールリップの反転などに注意が必要）ことから、アキシアルリップをスリングに接触させる構造で検討した。

RMシールリップおよびアキシアルリップの接触面圧が遠心力によって低減されるか確認するため、静止時から高速回転時（15 000min<sup>-1</sup>）までの緊迫力をFEM解析で計算した結果を図14に示す。

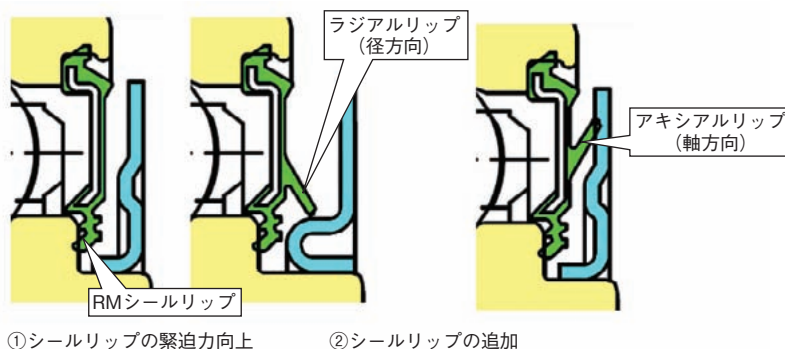


図13 耐水性能の向上案  
Proposals for improving waterproof performance

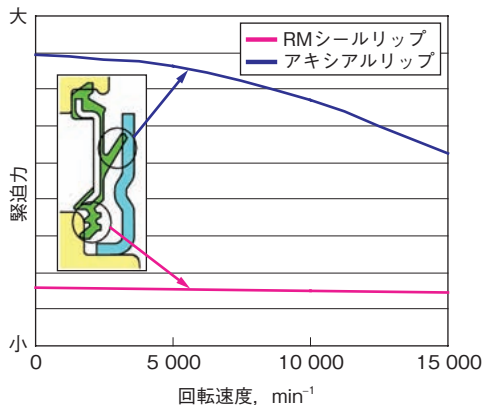


図14 RMシールリップおよびアキシャルリップの緊迫力  
Tension force of RM seal lip and axial lip

RMシールリップの緊迫力は高速回転時でもほとんど低下しないが、アキシャルリップの緊迫力は回転速度が上昇すると低下し、高速回転時の昇温低減を期待できる。したがって、アキシャルリップの追加により耐水性能の向上を実施することにした。

アキシャルリップの形状（角度および厚さ）としめしろは、耐水性能に必要な緊迫力と高速回転時にシールリップの接触面圧を低減できるシールリップ剛性が両立するように設定した。実際に試作したアキシャルリップ付アイドラを高速回転させ昇温を確認した。使用した試験機を図15に、試験条件を表6に、測定結果を図16に示す。

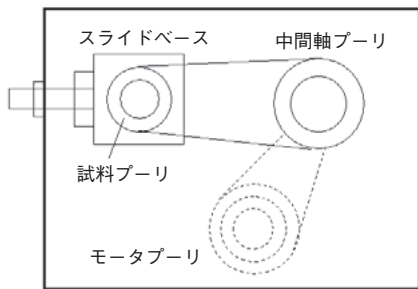


図15 高速回転試験機  
High-speed rotation test machine

表6 昇温測定試験条件  
Temperature rise measurement test condition

項目	条件
プーリ荷重	使用条件の平均軸受荷重
回転速度	15 300min <sup>-1</sup>
雰囲気温度	車両の最高使用温度
試料温度	成行き

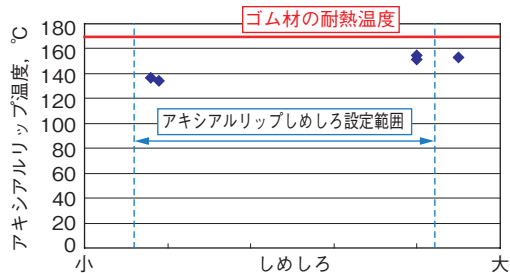


図16 昇温測定結果  
Temperature rise measurement result

図16より、車両の最高使用温度でアキシャルリップのしめしろが上限値の場合でも、シールリップ近傍の温度（アキシャルリップが接触している部分のスリング表面温度）はシール用ゴム材の耐熱温度以下であり問題無いことが分かる。またシールリップ摩耗やへたりへの影響を確認するため、図15の装置を用いて表7の条件で耐久試験を実施し、試験後のしめしろを確認した。試験結果を図17に示す。しめしろ上下限品ともに走行300 000km相当の試験後にしめしろが残存している。

表7 耐久試験条件  
Durability test conditions

項目	条件
プーリ荷重	使用条件の平均軸受荷重
回転速度	15 300min <sup>-1</sup>
雰囲気温度	車両の最高使用温度
試料温度	成行き
試験時間	300 000km 走行相当

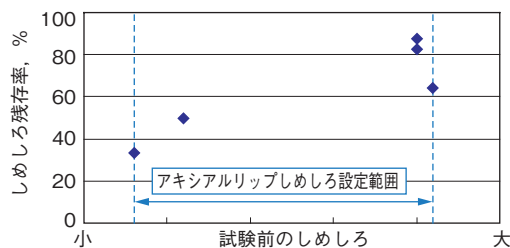


図17 耐久試験後のアキシャルリップしめしろ  
Axial lip interference after durability test

次に水没条件での耐水性能を確認した。図18に示す試験機を用いて水没状態のアイドラを回転させ、軸受内部への水の浸入有無を確認した。試験条件を表8に、試験結果を表9に示す。

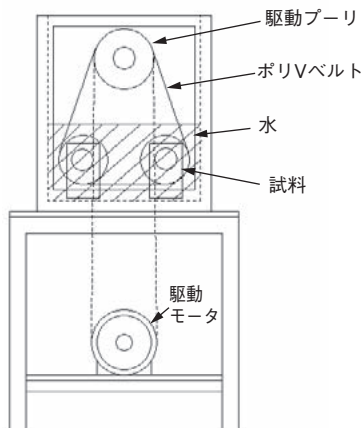


図18 水没試験機  
Immersion test machine

表8 水没回転試験条件  
Immersion and rotation test conditions

項目	条件
プーリ荷重	500N
水深	プーリ上部が完全に水没する位置で設定
回転速度	水没走行を想定し設定
試験時間	浸水が認められるまで (最大 10h)

表9 水没回転試験結果  
Immersion and rotation test result

アキシアルリップ	回転時間	軸受内部への水浸入量
無し	10s	1.58g
有り	10s	0.00g
	1min	0.00g
	1h	0.00g
	10h	0.00g

従来品のアキシアルリップ無しのアイドラは試験時間 10 秒で軸受内部に水の浸入が認められるが、アキシアルリップ付アイドラは 10 時間後でも水の浸入が認められない。アキシアルリップの追加により大幅な耐水性能の向上（水が浸入するまでの時間が従来品の 3 600 倍以上）が達成できた。また、走行 300 000km 相当の耐久試験を終了したもので水没試験（試験時間は 1 時間に短縮）を実施したが、試験後に軸受内部への水の浸入は認められない。

## 5. おわりに

本報では、アイドラ軸受の耐水性能向上への取組みについて紹介した。以下にまとめを示す。

- (1)スリングで形成されるラビリンス部の要因のうち最も耐水性能に影響するのは、注水方向に直角な開口部の大きさである。注水条件に対し開口部の大きさを一定値以下にすることで、軸受への浸水量を大幅に低減することが可能であり、プーリおよびスリングのラビリンス寸法を適正化できた。
  - (2)水没条件への対応のためシールにアキシアルリップを追加することにより、耐水性能の大幅な向上を達成できた。
- 今後も軸受の性能向上への取組みを続け、信頼性の高い製品の開発を続けていきたい。

## 参考文献

- 1) 中川義崇, 奥村剛史: 高速回転軸受用高密封性シール, KOYO Engineering Journal, no. 154(1998)53.

## 筆者



竹谷侑馬\*



山口晋弘\*

Y. TAKETANI K. YAMAGUCHI

\* 軸受・駆動事業本部 中部テクニカルセンター