

CFD オイル流れ解析とレール間形状最適化による 2 ピースオイルリングのオイル排出性向上

Improved oil drainage of 2-piece oil control ring by CFD oil flow analysis
and rail-to-rail shape optimization.

TPR（正）*阿部 優士 TPR（非）酒井 俊行 TPR（非）彦根 顕 TPR（非）佐藤 圭佑

Yushi Abe*, Toshiyuki Sakai*, Akira Hikone*, Keisuke Sato*

*TPR, Co.,Ltd

1. はじめに

内燃機関には環境負荷対策として粒子状物質等の有害物質や燃料消費の低減が求められている。有害物質の一つである粒子状物質 PM（Particulate Matter）はオイル消費量と相関があり、また燃料消費対策としてフリクション低減が考えられるが、背反としてオイル掻き性能低下によるオイル消費量増加が懸念される。本報ではオイル消費量低減（有害物質低減）とフリクション低減（燃料消費低減）の両立を目指し、ディーゼルエンジン（以下 DE）向けのピストンリングである 2 ピースオイルリングの張力に頼らない高オイル排出形状の開発について報告する。

2. 解析・実験方法

DE で使用される 2 ピースオイルリングは、Fig. 1 に示すように上下のレールの間にシリンダライナ（壁面）から掻き落とされたオイルをピストンリング溝内へ排出するスリット（窓穴）が設けられている。既報¹⁾にて、小型（Φ100 未満）の新形状オイルリングでは窓穴のオイル排出量を 60% 多くすることによりオイル消費量が 20% 低減することを報告したが、本報では大型（Φ140～Φ170）のオイルリングでも同等のオイル排出量向上が見込めるレール間形状を CFD オイル流れ解析により選定し、その効果検証を可視化試験と実機試験で行った。

2.1 CFD オイル流れ解析手法

CFD オイル流れ解析では 2 ピースオイルリングの断面形状を 3D モデルに変換し、レール間の形状を抽出した。そして抽出した形状内で空気とオイルの二相流解析を行った。解析条件はクランク角度：0°～180°（下降行程）とした。解析には流体解析ソフトの STAR-CCM+ を使用し、解析手法には VOF（Volume of Fluid）法を用いた。

2.2 可視化試験条件

可視化試験ではレール間を含むオイルリング周りの油量を連続蛍光撮影法で測定した。試験機は、ガラス製のシリンダライナと過給機を備えた単気筒で構成されている²⁾。運転条件は筒内圧：6MPa、回転数：2000、3000、4000r/min の 3 水準とした。

2.3 実機試験条件

実機試験では 4 気筒 2.8L の DE を使用し、オイル消費量を測定した。運転条件は回転数：3400r/min（Full Load）とした。

2.4 設計探索手法

設計探索ツールの HEEDS を使用することで、3DCAD（NX）と流体解析ソフトを連携した。その結果、CFD オイル流れ解析の自動化とレール間形状の最適化が可能となる。この手法により局所的な探索と大域の探索を実施でき、効率的かつ高精度な最適化を実施した。

3. レール間形状の開発

3.1 小型 2 ピースオイルリングのレール間形状選定

既報¹⁾にて乗用 DE 向けに小型の 2 ピースオイルリングを対象とし、流体解析ソフトと実験計画法を用いてレール間形状の選定を行った。窓穴からのオイル排出量を多くすることができた新形状の断面を Fig. 1 に示す。選定の結果、ランド間距離（B3）の影響が最も大きく、ランド間距離を短くする

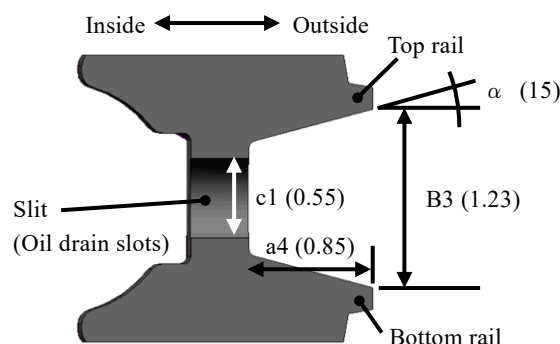


Fig. 1 New cross-sectional shape (Small size)

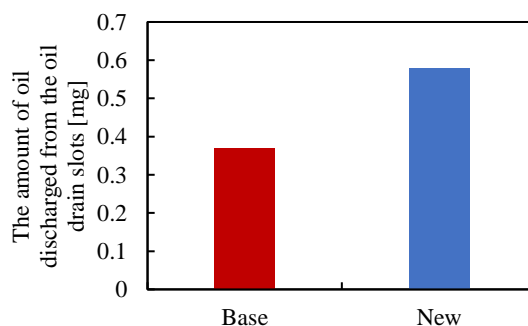


Fig. 2 The amount of oil discharged from the oil drain slots (Small size)

ことで窓穴のオイル排出量を多くすることができた。また、各断面形状の窓穴オイル排出量を Fig. 2 に示す。CFD オイル流れ解析により、ランド間距離と窓穴上部の平坦部が短いほどオイル排出量が多くなり、小型のベース形状と比較して 60% 多くすることができた。これは窓穴までの経路を短くしたことで、オイル排出のタイミングが 40% 早期化できたことによるためである。可視化試験で同形状のレール間油膜厚さを計測し、ベース形状に対し 10~30% 低減することを確認した。油膜厚さ低減の要因は窓穴から排出したオイルがリング下に流動したためである。また実機試験では、ベース形状と比較してオイル消費量は 20% 低減した。

3.2 大型 2 ピースオイルリングのレール間形状選定

次に産業用 DE 向けに大型の 2 ピースオイルリングのレール間形状の選定を行った。小型とは異なりランド間距離が長いので、ランド間を狭めることなくオイル排出量を多くすることができる形状を検討したところ、レールと窓穴の間に傾斜を設ける形状が有効であった。また、傾斜を設けることで寸法の検討箇所が増え、従来のように実験計画法を用いると必要な計算回数が多く、解析に長時間を要することとなる。そこで形状作成ソフトの 3DCAD、流体解析ソフトと連携が可能な設計探索ツールを活用した。このツールによりレール間形状最適化と CFD オイル流れ解析の自動化を実施した。

形状最適化の結果、窓穴からのオイル排出量を多くすることができた大型 2 ピースオイルリングの新断面形状を Fig. 3 に示す。また、各断面形状のオイル流動分布を Fig. 4 に、窓穴オイル排出量を Fig. 5 に示す。レール間に傾斜を設けることで、ベース形状と比較してオイル排出量を 40% 多くすることができた。これは Fig. 4 に示すように傾斜に沿ってオイルが窓穴に流動（誘引）するためであり、小型のオイルリングとは全く異なる形状コンセプトでオイル排出量を多くすることができた。

3.3 新形状中型 2 ピースオイルリングの効果検証

中型（Φ100～Φ140）の 2 ピースオイルリングでも大型と同様のコンセプトの形状を作成し、可視化試験と実機試験を行った。可視化試験では、中型のベース形状と比較して 3rd ランドとレール間の油膜厚さが 20% 低減することを確認した。実機試験では、ベース形状と比較してオイル消費量が 40% 低減した。これらの結果から、レールと窓穴の間に傾斜を設けた形状でオイル消費低減効果を確認した。

4. まとめ

小型の 2 ピースオイルリングではランド間距離と窓穴上部の平坦部を短くすることにより、ベース形状と比較してオイル排出タイミングが早期化し、オイル排出量を 60% 多くすることができる。また、中型・大型の 2 ピースオイルリングではレールと窓穴の間に傾斜を設けることで、オイルが傾斜に沿って流動（誘引）し、ベース形状と比較してオイル排出量を 40% 多くすることができる。可視化試験と実機試験で新形状の効果検証を実施し、レール間の油膜厚さ低減とオイル消費量低減の効果を確認した。

文献

- 1) 阿部・酒井・彦根・大平・梅田：CFD 解析による新断面形状 2 ピースオイルリングの開発，自動車技術会学術講演会予稿集 (2022)。
- 2) 林・大黒・酒井・小澤・川合・山本：ピストンリング周りにおけるオイル消費メカニズムの解析，自動車技術会学術講演会予稿集 (2015)。
- 3) 大黒・林・酒井・川合・山本：高ピストンスピード領域におけるピストンリング周辺のオイル上がり現象の連続蛍光撮影，自動車技術会学術講演会予稿集 (2016)。

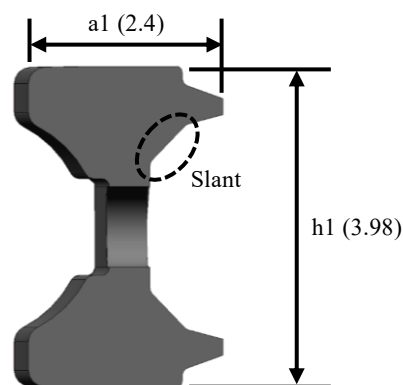


Fig. 3 New cross-sectional shape (Large size)

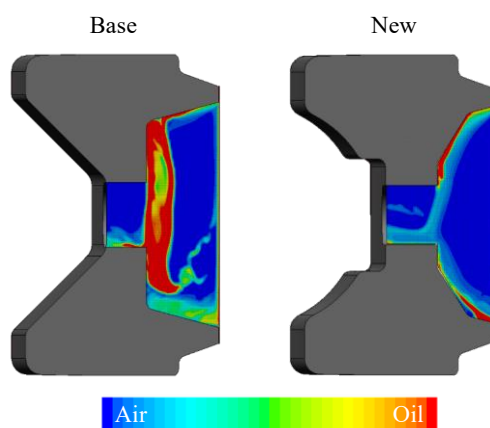


Fig. 4 Oil flow distribution

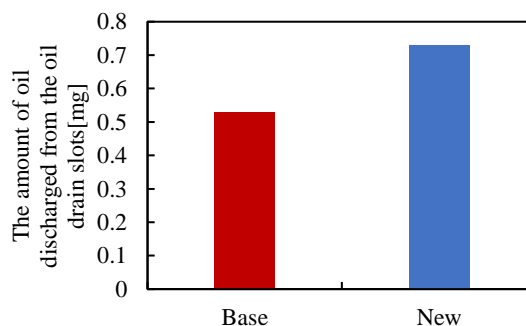


Fig. 5 The amount of oil discharged from the oil drain slots (Large size)