

## 回転用オイルシールの潤滑機構の解明と摩擦低減に関する研究

水田, 裕賢

<https://doi.org/10.15017/1441187>

---

出版情報：九州大学, 2013, 博士（工学）, 課程博士  
バージョン：  
権利関係：全文ファイル公表済

(別紙様式2)

論 文 要 旨

区 分	甲	氏 名	水 田 裕 賢
論文題名 回転用オイルシールの潤滑機構の解明と摩擦低減に関する研究			

論 文 内 容 の 要 旨

オイルシールは構成が単純で小型であり、密封性の信頼性が高いことから運動用シールとして広く用いられており、オイルシールの更なる摩擦低減は、環境保護の観点で近年重要性が増している。オイルシールの密封機構および潤滑機構については、実験および数値計算などの理論面で数多くの研究が長年に亘って行われ、両機構はシールしゅう動面における表面粗さ突起部でのマイクロEHL（弾性流体潤滑）が主要な要因と理解されている。しかしながら、表面粗さの影響や境界潤滑作用など、未だに明らかになっていない点も多く、オイルシールの更なる摩擦低減のためには、これらの解明が必要不可欠である。本研究は、実験と数値計算による検証によって、オイルシールの潤滑機構と密封機構におけるしゅう動面粗さの影響を明らかにすることで両機構の理解を深め、これらの知見を基にオイルシールの更なる摩擦低減のための設計指針を提示することを目的とした。

第1章では本研究の背景、オイルシールについての従来の研究および研究目的について述べた。

第2章は、オイルシールの摩擦特性に関する実験結果について述べた。本研究で対象とするオイルシール試験片の概要や実験方法を述べるとともに、潤滑油添加剤やPTFEコーティング、油槽圧力、大気側からの油の供給量などの諸因子がオイルシールの摩擦特性に及ぼす影響について、摩擦測定やしゅう動面観察結果を示した。各因子による摩擦への影響から、シールの潤滑状態は流体潤滑だけではなく境界潤滑作用を含む混合潤滑状態にあると認められた。しかし、摩擦係数は軸受特性数 $G$ が大きいほど高くなる傾向を示し、従来の潤滑理論では、混合潤滑状態にあることを矛盾なく説明することができないことを示した。

第3章では、シールのしゅう動面粗さの影響に関する実験と解析について述べた。まず、表面粗さの異なるシール材料を用いた実験から、表面粗さの違いによって摩擦特性が異なることを示した。次に、4種類のシールしゅう動面の表面粗さパラメータを比較し、摩擦特性の関係について調べた。その結果、表面粗さ曲線の相関距離や突起密度は、大気側にも油を供給した時（ポンピング状態）のシールの摩擦特性と相関関係が見られた。一方、通常使用時（シーリング状態）の摩擦特性とは相関関係は認められなかった。以上から、完全な流体潤滑状態での表面粗さの影響が明確であるのに対し、固体接触ないし混合潤滑状態が存在する場合はその影響が明確に捉えられないことを明らかにした。

第4章では、決定論的なしゅう動面粗さの表面モデルを用いた数値計算モデルについて、差分法による計

算方法とその結果を示した。計算条件は第2章、第3章の実験条件に基づいて決めた。完全な流体潤滑を想定したモデルでは、摩擦係数は高 $G$ 領域で0.1以上になり、正弦波モデルの波長が短いほど高く、実験結果に近い結果が得られた。しかし、計算結果において摩擦係数は軸受特性数の1/2乗に比例する傾向であり、約1/3乗に比例する実験結果とは一致しなかった。シール表面の微小突起と回転軸との接触を考慮した混合潤滑の数値計算モデルでは、表面粗さの波長が短い場合、高 $G$ 領域まで微小突起の直接接触部が荷重の一部を支持することがわかった。この場合の摩擦係数は、流体潤滑のみを考慮した場合に比べて、境界摩擦の寄与分だけ高くなり、結果的に $\mu$ - $G$ 線図において傾きが低下し、実験結果に近い摩擦特性が得られることを示した。以上より、実際のシールにおいては混合潤滑状態が支配的であることを数値計算モデルによって明らかにした。

第5章では、実験および計算結果に基づいて、オイルシールの摩擦特性を正しく捉えられるために新たに混合潤滑機構を考慮する必要があることを提案した。さらに、この潤滑機構に基づく摩擦低減策として、しゅう動面に油を多く取り入れる設計と、しゅう動面から油を排除する設計の2つの設計指針を提示した。前者は、流体潤滑状態を確保し、摩擦低減のためにしゅう動面の油膜を厚くする設計指針である。一方後者は、高 $G$ 領域で特に顕著に増加する流体摩擦を極力低減し、境界摩擦によって低摩擦を維持する設計指針である。

第6章では、本研究の結論と、今後の課題と展望を示した。

以上、本研究ではオイルシールの潤滑機構に関する実験および数値計算によって、摩擦特性に及ぼすしゅう動面粗さの影響について調べた結果、広範囲な作動条件において完全な流体潤滑ではなく、固体接触部を含む混合潤滑状態にあることを示した。また、得られた知見に基づいて、オイルシールの摩擦低減のための設計指針を提示した。