

## メカニカルシールの密封機能向上と摩擦低減に関する研究

徳永, 雄一郎

<https://doi.org/10.15017/1654826>

---

出版情報：九州大学, 2015, 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

氏 名 : 徳永 雄一郎

論 文 名 : メカニカルシールの密封機能向上と摩擦低減に関する研究

区 分 : 甲

## 論 文 内 容 の 要 旨

各種回転機械軸封部に使用されているメカニカルシールは、相対すべり運動を行うシールリングとメイティングリングを互いにばね力等により押し付け、流体の漏洩を防ぐ密封装置である。メカニカルシールにおいて、良好な密封状態を長期的に維持するためには、しゅう動面間の隙間を小さくするとともに、密封流体による流体潤滑膜を適度に形成させてしゅう動面の摩耗・面荒れ等を防止する、すなわち密封と潤滑の相反する条件を両立させる必要がある。

従来のメカニカルシールにおいては、接触形メカニカルシールの場合、漏れ量が比較的少ない反面、摩擦係数が高い領域で作動する。一方非接触形メカニカルシールの場合、しゅう動面に積極的に流体を取り込み流体潤滑領域で作動するため、摩擦係数が小さい反面、漏れ量が多い領域で作動する。したがって、漏れが生じず、かつ摩擦係数も小さい領域で定常的に作動するメカニカルシールは、これまでのところ存在しない。このような背景より、密封機能と潤滑機能を両立させた、漏れが生じず摩擦係数も小さいメカニカルシールの実現が望まれており、これを実現することができれば、その工学的な価値は非常に大きい。このためには、密封と潤滑の両機能を同一のしゅう動面間でバランスさせるという従来の設計指針からの転換が必要となる。本研究は、メカニカルシールにおいて、密封機能向上と摩擦低減を両立させる技術の確立を目的とした。

本論文は次の6章からなる。

第1章ではメカニカルシールの密封および潤滑理論についての従来の研究と課題を整理し、本研究の目的を述べた。

第2章では、メカニカルシールの流体潤滑理論、およびキャビテーション理論を整理して示し、それらを基に、メカニカルシールしゅう動面の圧力分布の数値解析手法の詳細を示した。

第3章では、回転中のしゅう動面を直接観察する装置として、しゅう動面可視化装置を構築し、その詳細を示した。本装置により、メカニカルシールのしゅう動面間に生じる、キャビテーション領域の明確な観察が可能となった。さらに、しゅう動面の液膜厚さ分布に関して、レーザー励起蛍光法を用いた液膜厚さ分布の測定機構を構築した。その結果、液膜厚さをサブミクロンオーダーで定量的に測定・評価することが可能となった。(この可視化技術は、今後のメカニカルシールの性能向上に大きく貢献する可能性があり、工学的価値が高い。)

第4章では、円形ディンプルの流体供給メカニズムについて、しゅう動面の直接観察と数値解析により詳細を検討した。これにより、円形ディンプルによる流体潤滑膜の形成状態とその液膜厚さ、及び周囲の流体がしゅう動面へ定常的に供給されるメカニズムを、理論と実験の両方により明らかにした。続いて、メカニカルシールにおいて密封機能と潤滑機能を両立させるため、従来の密封機構からの転換として、新たなしゅう動面設計のコンセプトを提示した。この提案構造を実現するためには、有効な密封機能を持つしゅう動面構造を新たに考案する必要があった。そこで、円形ディ

ンプルの考察で得られた知見に基づき、ポンピング作用を有する、新しいしゅう動面溝形状を提案し、その機能の確認に成功した。

第5章では、密封と潤滑の両機能を両立可能な、もう一つの新たなしゅう動面溝形状の提案を行った。これら2つのしゅう動面溝形状は、異なるメカニズムでありながら、良好な密封機能および潤滑機能を有するため、メカニカルシールのしゅう動面の設計技術の革新に繋がる可能性があり、工学的な利用価値が高い。本章ではさらに、提案したしゅう動面構造に関し、数値解析によりその密封および潤滑特性の詳細な検討を実施した。また、キャビテーション領域形状の観察、液膜厚さの測定、摩擦係数測定、等の実験結果を示し、数値解析結果と比較した。その結果、流体潤滑領域で作動し漏れを生じず、ポンピング作用を有するメカニカルシールが実現可能であることと、その詳細な性能を、理論と実験の両面により示した。これらの検討結果は、ひとつの形状や条件下での結果であり、実用化のためには、多種多様なサイズや条件に対応させる必要があった。そのため、シールのサイズや条件によらない一般化された最適設計手順を確立することを目的として、まず、パラメータの無次元化に関する検討を実施した。ここでは、無次元負荷容量、無次元キャビテーション圧力、無次元密封圧力を定義した。これらの無次元数を用いることにより、シールサイズや作動条件によらず、しゅう動面に設置する溝の寸法比率のみによりその密封および潤滑機能を一般化して整理できることを明らかにした。続いて、これらの無次元パラメータを用い、溝形状の最適設計手法について検討した。その結果、密封機能を保持しつつ摩擦低減が可能で、かつしゅう動面幅を可能な限り小さくする、多目的最適化手順の一例を示した。

第6章は結論であり、本研究の統括と実用化に向けた課題、および今後の展望について議論した。

以上、本研究は、メカニカルシールの密封機能と潤滑機能を両立させるため、従来にない新たなしゅう動面の溝構造を提案し、流体潤滑理論に基づく数値解析としゅう動面可視化試験を用い、その機能を確認した。提案した溝形状により、密封と潤滑の両機能を両立可能なメカニカルシールが実現可能であることを示した。また、本技術の実用化を目的とし、溝形状の最適設計指針を提示した。

〔作成要領〕

1. 用紙はA4判上質紙を使用すること。
2. 原則として、文字サイズ10.5ポイントとする。
3. 左右2センチ、上下2.5センチ程度をあげ、ページ数は記入しないこと。
4. 要旨は2,000字程度にまとめること。  
(英文の場合は、2ページ以内にまとめること。)
5. 図表・図式等は随意に使用のこと。
6. ワープロ浄書すること(手書きする場合は楷書体)。  
この様式で提出された書類は、「九州大学博士学位論文内容の要旨及び審査結果の要旨」  
の原稿として写真印刷するので、鮮明な原稿をクリップ止めで提出すること。