

水潤滑軸受の信頼性向上に関する研究

長崎大学大学院生産科学研究科 吉川文隆

現在、船舶推進系の軸受システムには油潤滑システムと水潤滑システムとがあり、油潤滑は中大型船に、水潤滑は小中型船を中心に採用される傾向が強い。このうち、油潤滑システムに用いられる軸受は、鉱物油を潤滑剤として使用しているため、近年、油潤滑シールの性能は大幅に改善されてきたとはいえ、依然、油漏洩による環境汚染の問題が残されている。一方、環境にやさしい水潤滑システムは、このような時代背景の下で見直しが進み、最近、油潤滑から水潤滑への方向転換を考える船主および建造所も多くなってきている。水潤滑システムに使用される軸受材は、天然木を使用したリグナムバイタに始まり、現在では合成ゴム軸受が主流となっている。

水潤滑システムは、150年の歴史があるが、意外と改善や開発の研究は少ない。そのようなことから、本研究では、先ず、現在合成ゴム軸受において問題点とされている給水設備にコストがかかる点、軸スリーブに異常摩耗が多発している点に着目した研究を行なった。また、しゅう動特性の点において自己潤滑性を持たない合成ゴム軸受の限界にも着目し、PTFEを利用した新しい軸受の開発を試みた。これを陸上縦型ポンプ用のしゅう動部材として適用することにより、ポンプで不可欠な初期注水を排除できることから、給水設備の全廃が可能になる点にも着目した。

このような背景と問題点を踏まえ、「水潤滑軸受の信頼性向上に関する研究」に着手した。

第1章では、船舶用軸受の変遷と現状を述べ、問題点を指摘し、本論文の構成と概要について述べた。

第2章では、これまでの発表された関連文献を取り上げ、その大まかな内容を調べ上げ、未解決の課題を拾い出した。そこではいずれの文献においても、水潤滑軸受の潤滑性能を左右する軸受内の流動状況や、軸受システムとしての寿命を左右する軸の腐食に関してはほとんど触れられていないことを指摘した。そして、自己潤滑性のあるしゅう動材を用い、さらに自己アライメント性を考慮した船尾管軸受に関しては、当時世の中に存在しなかったこと、ポンプ用軸受では、著者および共同研究者らの発表が端緒になっていることを指摘した。

第3章では、船舶推進系水潤滑システムにおいて、設備設置に困難を極めている張出軸受への強制給水撤廃を目的に、しゅう動実験と可視化実験によって軸受内の水の流れ及び軸受内への給水量について評価した。その結果、軸と軸受の間にクリアランスを持つ水潤滑軸受は、軸受両端面に回転方向によって正圧と負圧になる箇所が存在し、正圧部では軸受内の水が吐出し、負圧部では逆に水を吸込むという、いわゆる自らのポンピング作用があることを確認した。それゆえ、強制的に給水しなくても軸受内の温度上昇度はわずかであることと、軸受中央部の水頭を計測して予想流量を算出した結果などから、軸受冷却に

必要とされている流量以上の冷却水が入れ替わることを明らかにした。

第4章では、近年フェリーが大型化しプロペラ軸の周速が増大するに伴い、海水潤滑の船尾管軸受において、合成ゴム軸受としゅう動を行う銅合金製の軸スリーブの摩耗が大きい問題が発生している。その際、軸スリーブ表面には斑点状のクレーターが形成される特徴もある。そこで、実船から採取した軸スリーブの調査を手掛りに、原因の究明と摩耗メカニズムの解明を試みた。実体軸スリーブの分析による解析と、基礎試験における海水中と蒸留水中の比較および軸スリーブの電位計測の結果、腐食環境下に曝された腐食摩耗であったことが明らかになった。

続く第5章では、第4章で解明したメカニズムを基に、軸スリーブの腐食を抑制して摩耗を低減させることを検討し、すべり軸受では世界で始めてカソード防食の適用を試みた。まず基礎試験において、防食に有効な防食電流密度は 8 A/m^2 であることを確認し、実船に防食装置を取り付け、試運転にて計画した軸スリーブ付近の電位が防食域になっていることを確認した。さらに、5年後に軸抜き点検を行って、軸スリーブの外観及び外径の計測を確認した結果、摩耗量は防食を行わない時と比べ $1/4$ に低減でき、軸スリーブの寿命を飛躍的に延長できることを確認した。

第6章では、現在船舶用水潤滑軸受として主流の合成ゴム軸受では、これ以上の飛躍的な性能向上は望めないと考え、自己潤滑性を有する PTFE を使用して、これまでに使用されてこなかった新型軸受の開発過程を述べた。具体的には PTFE をしゅう動面に配し、合成ゴム軸受の特徴である弾性を持たせるため、PTFE とバックメタルの間にゴムを挟み込んだ三層構造の複合構造軸受を考案した。そして、摩擦係数を始めとする各種軸受特性について評価し、すべての性能にわたり合成ゴム軸受を凌駕する軸受であることを確認した。さらに、海水潤滑システムを採用する代表的な船種である大型フェリー、艦船、漁船等への実船使用結果において、1年ごとの摩耗記録から、すべての船種にて合成ゴム軸受の5～6倍の耐摩耗性を持つことが分かった。

第7章では、船舶用として開発した上述の PTFE 複合構造軸受を、冷却水汲み上げ用の縦型ポンプに適用させるため、各種の実験を重ね、ポンプに適した製品に仕上げた模様を述べた。この結果、縦型ポンプで従来の合成ゴム軸受を使用すると、ポンプ起動時に喫水より上にある軸受に対しては、給水設備を設けて軸受しゅう動面を湿潤状態にしてから始動する必要があったが、新開発した PTFE 軸受では給水設備の全廃を可能にしたことを述べた。

第8章では、結論として以上の研究で得られた知見を整理し、研究全体を総括した。

以上のように、本研究論文は、地球温暖化に重要な影響を与えるエネルギー問題への対応において、トライボロジ技術が貢献できた事例である。水潤滑軸受の長寿命化、信頼性向上、付帯設備の廃止など、実際の機械で実践し多くの成果を挙げている。また、水潤滑は環境にやさしいシステムであり、PTFE 軸受の出現により、油潤滑が主体となっていた高荷重下の大型船でも対応可能となり、将来、油潤滑から水潤滑への移行が示唆されることも含めると、本研究は極めて重要な意義のあるものと考えている。