

審査の結果の要旨

氏名 柴崎健一

本論文は、「転がり軸受における枯渇弾性流体潤滑とマクロ流れのマルチスケール連成解析手法の開発」と題して、5章から構成されている。

転がり軸受は、低摩擦化および環境負荷低減が強く求められており、潤滑油量を低減することでそれらに効果があることが知られているが、潤滑油量を減らし過ぎれば、弾性流体潤滑(Elasto-Hydrodynamic Lubrication : EHL)油膜が表面粗さよりも薄くなり、直接金属接触による損傷が起きてしまう。従って潤滑油量低減のためには、軸受に供給する油量から EHL 油膜厚さを予測する技術が不可欠である。従来の EHL 油膜厚さ予測技術は、転がり接触部近傍 0.1mm 程度のミクロな範囲 (EHL) のみを扱っているため、EHL 入口部に存在する油量を境界条件として与える必要があった。しかし実際の軸受では EHL 入口部油量が分からず、境界条件を与えることができないという問題があった。

そこで本論文では、入口油量を陽に与えない方法として、ミクロな EHL 領域とともに軸受内部空間全体 100mm 程度のマクロな液膜 (Liquid film: LF) 領域を考慮する、マルチスケール連成解析手法を提案した。LF は外輪、内輪、転動体の表面上を流れる薄い潤滑油の液膜を表現するものである。本手法では、軸受に供給される潤滑油流量を LF の境界条件に与えればよく、EHL 入口油量は計算の結果として求まる。

第1章は「序論」であり、本研究で対象とする転がり軸受における枯渇潤滑の実態を踏まえ、それに対する本研究の意義、目的について述べている。

第2章では、本研究で対象とする転がり軸受における枯渇潤滑が有する特徴について述べ、数値シミュレーションを行う際に注意すべき点について考慮した上で、マルチスケール連成解析手法の概要、ミクロ部の解析手法、マクロ部解析手法、カップリング手法について述べている。

第3章では、本研究で提案するマルチスケール連成解析手法を玉軸受に適用する方法およびその結果を示し、供給油量と油膜厚さの関係が計算可能であることを確認するとともに、計算格子のセル形状および格子密度が計算結果に及ぼす影響について調査し、本手法に適した形状および十分な格子密度の指標を示している。また、本研究の EHL 部の結果における入口油量と油膜厚さの関係が、従来研究と一致していることから、本研究の EHL 解析の妥当性を示した。

第4章では、マルチスケール連成解析手法の妥当性を実験的に検証するため、油膜厚さを軸受よりも詳細に測定できるボールオンディスク装置を軸受と見立て定常枯渇状態を実現する実験を実施し、EHL 入口油量、フルフィルム領域の形状および油膜厚さを測定し、計算と比較した。その結果 EHL 出口部における油のトラックへの回り込みの考慮が枯渇潤滑に重要であることを示した。また、EHL 入口油量について実験と計算が良好な一致を得たことからマルチスケール連成解析手法の妥当性を示した。

第5章では、本研究で得た結論および展望を述べている。本論文では、ミクロな EHL 領域とともにマクロな LF 領域を考慮するマルチスケール連成解析手法を提案し、EHL のみに

着目した従来手法では解くことができなかった EHL 入口油量を，本手法により解くことが可能であることを実験的に証明した．また計算格子に関して数値計算上の検証を行い，格子形状については三角形より少ないセル数で擬拡散を防ぐことができる四角形が適していることを示し，格子密度については，枯渇潤滑油膜厚さを決定する重要な要因である EHL 入口フルフィルム領域の大きさを，幾つの計算点で解像できているかという指標 n_f を提案し，十分な格子密度の条件として $n_f = 1.8$ を得ている．EHL における油の回り込み現象を擬似的に再現することで，実験との一致が見られることから，LF の物理モデルには問題がなく，油の回り込みという EHL における物理モデルの開発が課題であると言える．その際に現在考慮していない流体潤滑的負圧および表面張力による負圧の影響を含め EHL 計算を行ったところ，回り込みを定性的に再現できることを確認した．従って EHL の物理モデルでは流体潤滑的負圧および表面張力による負圧を考慮したモデルを開発する必要がある．

本研究で提案したマルチスケール連成解析手法は，EHL 入口油量情報を必要とせず枯渇潤滑下 EHL 油膜厚さの予測を可能とする方法であり，既存の軸受に対する最小潤滑油供給量の設計に役立つことはもちろん，潤滑油量低減を前提とした新しい軸受（潤滑油量低減軸受）の最適設計に欠かすことのできないシミュレーションツールとなりうる．今後，そのような潤滑油量低減軸受の開発が進むことで低摩擦化による省エネルギーおよび環境負荷低減に貢献することが期待できる．さらに，本手法はマクロな液膜流れとミクロな EHL 流れの連成を扱うことができるため，転がり軸受以外のトライボロジー分野への応用も期待できる．例えば，滑り軸受，シール，歯車，機械加工の分野において，潤滑油の供給と潤滑特性の関係を予測し，油量の低減を前提とした最適設計が進むことにより，確実な潤滑特性の確保および，潤滑油使用量の削減による環境，省エネルギーへの貢献が期待でき，その意義は大きい．

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる．