

## 研究課題名 (和文) 非ニュートン流体熱弾性流体潤滑理論の構築

研究課題名 (英文) Establishment of Thermal Elastohydrodynamic Lubrication Theory

## 研究代表者

兼田 慎宏 (KANETA MOTOHIRO)  
九州工業大学・工学部・特任教授

研究の概要：潤滑油の非ニュートン挙動と系のエネルギーバランスを考慮した熱弾性流体潤滑理論の構築に立脚して、集中接触下で転がり/滑り運動する機械要素の機能・性能・信頼性の飛躍的向上に資する新設計指針をもたらす学術的に価値のある新知見を導出するとともに、高圧・高せん断場における潤滑油挙動の解明に直結する基盤を提供した。

研究分野：機械工学

科研費の分科・細目：設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：トライボロジー、弾性流体潤滑、非ニュートン流体、温度分布

## 1. 研究開始当初の背景

「ものづくり」の基盤となるトライボロジーが生んだ20世紀の主要な学術的成果である弾性流体潤滑理論は、集中接触下で稼動する機械要素の設計に主導的役割を果たしてきた。しかし、研究代表者らは、その理論で無視されている接触域内の3次元温度分布の重要性を指摘し、真の設計指針の確立のためには潤滑油の非ニュートン挙動を考慮した熱弾性流体潤滑理論の確立が必要不可欠との結論に達し、本研究に着手した。

## 2. 研究の目的

表面凹凸、荷重変動、往復運動などに伴う油膜の応答を系のエネルギーバランスと潤滑油の非ニュートン性を考慮して組み立てられた熱弾性流体潤滑理論との対比検討に基づいて集中接触下で稼動する機械要素の新設計指針を提供する。

## 3. 研究の方法

- (1) 油膜厚さ分布、温度分布、トラクションの擬似同時計測システムを構築する。
- (2) 表面粗さ、変動荷重、運動形態、油量不足などの影響を把握する。
- (3) 潤滑油の非ニュートン挙動、系のエネルギーバランス、表面粗さ、非定常運動などを考慮した熱弾性流体潤滑数値解析プログラムを作成し実行する。
- (4) 実験・理論の相互比較検討による集中接触する機械要素の新設計指針を導出する。

## 4. 研究の主な成果

アイリング流体モデルに立脚した非ニュートン流体熱弾性流体潤滑理論数値解析プログラムを完成させるとともに、油膜分布、トラクション、油膜および接触表面の温度分布の擬似同時高精度計測システムを構築した。これらの達成によって得られた主な成果は以下のようにまとめられる。

- (1) 縦方向粗さで粗さ波長が小さい場合には、潤滑油の非ニュートン性に起因して、突起部よりも谷部で油膜温度が高い特異現象が発生することを数値解析で予測し、その正しさを実証した。
- (2) 横方向粗さで波長が長い場合には、潤滑油の流動モデルに依存せず凹凸面は平滑化される。波長が短いと突起変形量及び圧力の変化幅は等温アイリングが最も小さく、次いで非等温アイリングモデルとなる。故に、ニュートンモデルに立脚した転動接触疲労損傷解析は安全側になる。
- (3) モデル凹凸を用いた油膜の直接観察並びに数値解析を併用して、弾性流体潤滑下における摩耗、焼付き現象及び転動接触疲労損傷の発生箇所、並びにそれらに影響する両面の滑り率の正負の影響を明らかにした。
- (4) ヘルツの圧力分布の転動接触疲労解析への適用は、接触面の熱伝導係数が相違する場合や潤滑油の粘度の圧力係数が高い場合には避けねばならない。
- (5) 熱伝導率が互いに相違する場合の高速側には高熱伝導率物体を使用すべきである。

〔4. 研究の主な成果 (続き)〕

- (6) 潤滑油の粘度の圧力係数が高い場合の接触面には、耐疲労性の高い材料の選択が必要となる。
- (7) 実用作動範囲である滑り率の低い領域におけるトラクション係数は、粘性発熱よりも圧縮発熱起因温度上昇によって基本的に支配される。
- (8) 油膜温度は潤滑油の流動モデルに大きく依存してトラクションに影響する。しかし、接触物体が同一材料の場合には、油膜厚さ及び圧力分布の流動モデル依存性は小さい。
- (9) 等温理論とは相違して、油膜厚さ及び油膜圧力分布は、接触面の熱伝導率、大気圧下粘度、転がり速度に大きく依存する。
- (10) 無次元接触中央膜厚と無次元転がり速度の関係は広範囲で等温 EHL 解析結果に順じていても、実際の潤滑状態は相違すること、トラクション曲線は傾向的には類似であっても、その値は表面粗さに大きく依存すること、などを高精度実験から見出し、従来の計測結果解釈を再考することの必要性を指摘した。
- (11) 曖昧であった油量不足の意味を物理的に解釈しなおし、油量不足と油膜厚さ・温度上昇・トラクションとの関係を明らかにした。
- (12) 純スクイズ運動下で発生する油膜の閉じ込めが初期隙間に依存して相違する新現象を見出し、転がり滑り運動する機械要素が変動あるいは衝撃荷重を受けた場合の油膜応答機構の論理的説明に成功した。
- (13) 往復運動下では、温度上昇がわずかであっても油膜厚さと摩擦力は顕著な影響を受けることを見出し、これらに影響を及ぼす諸因子の効果を明らかにして往復運動する機械要素の基本設計指針を提供した。
- (14) 油量不足が顕著に現れる微小振幅下での実験結果に立脚して、油量不足を数値解析に簡便に取り入れる手法を開発し、油量不足考慮の必要条件を提案した。
- (15) 本研究結果に立脚して、小振幅往復運動用シールで発生する特異摩擦波形並びに油膜崩壊現象の機構を明らかにして往復運動用シールの未解決問題を解明した。
- (16) 未だ統一の見解の無いディーゼルエンジン等で問題となるスーツによる動弁系の摩擦機構をスーツ挙動の直接観察並びに摩擦試験によって現象論的に検討し、スーツ摩擦の主原因はスーツがアブレッシブとして作用することであることを明らかにした。
- (17) AC サーボモータに使用されているグリース封入転がり軸受で問題化している電食の発生条件の探索とその防止法を図るために、接触部の油膜厚さ分布を直接観察しながら油膜の絶縁破壊個所をも直接同定できる装置を開発した。

5. 得られた成果の世界・日本における位置づけとインパクト

- (1) 機械要素の設計指針の変更をせまる多くの新知見を獲得するとともに潤滑油挙動解明に直結する基盤を提供するなど今後のこの分野の発展に与える影響は多大である。
- (2) Royal Swedish Academy of Engineering Sciences から Jacob Wallenberg Foundation Award を授与された。

6. 主な発表論文

(研究代表者は太字、研究分担者には下線)

- (1) Nishikawa, H., Ueda, K., **Kaneta, M.**, Wang, J., Yang, P., Effects of Longitudinal Roughness on Fluid Temperature in Point Elastohydrodynamic Lubrication Contacts, J. Eng. Tribol., Proc. IME, Vol.221, pp.793-799, 2007.
- (2) **Kaneta, M.**, Ozeki, S., Nishikawa, H., Guo, F., Effects of Impact Loads on Point Contact Elastohydrodynamic Lubrication Films, J. Eng. Tribol., Proc. IME, Vol.221, pp.271-278, 2007.
- (3) Wang, J., **Kaneta, M.**, A Study on Starved Micro-Thermal Elastohydrodynamic Lubrication in Simple Sliding Circular Contacts, J. Eng. Tribol., Proc. IME, Vol.221, pp.209-221, 2007.
- (4) Guo, F., **Kaneta, M.**, Wang, J., Nishikawa, H., Yang, P., Occurrence of a Noncentral Dimple in Squeezing EHL Contacts, J. Tribology, Trans. ASME., Vol.128, pp.632-640, 2006.
- (5) Wang, J., **Kaneta, M.**, Guo, F., Yang, P., Occurrence of Microelastohydrodynamic Lubrication in Simple Sliding Motion with Transverse roughness, J. Eng. Tribol., Proc. IME, Vol.220, pp.273-285, 2006.
- (6) Yang, P., Wang, J., **Kaneta, M.**, Thermal and Non-Newtonian Numerical Analyses for Starved EHL Line Contacts, J. Tribology, Trans. ASME, Vol.128, pp.282-290, 2006.
- (7) **Kaneta, M.**, Nishikawa, H., Matsuda, K., Behaviour of Transverse Ridges Passing Through a Circular EHL Conjunction, Solid Mechanics and Its Applications, Vol.134, pp.189-200, 2006.
- (8) Wang, J., Hashimoto, T. Nishikawa, H., **Kaneta, M.**, Pure Rolling Elastohydrodynamic Lubrication of Short Stroke Reciprocating Motion, Tribol. Int., Vol.38, pp.1013-1021, 2005.
- (9) **Kaneta, M.**, Shigeta, T., Yang, P., Effects of Compressive Heating on Traction Force and Film Thickness in Point EHL Contacts, J. Tribology, Trans. ASME, Vol.127, pp.435-442, 2005.
- (10) Yang, P., Cui, J., **Kaneta, M.** Nishikawa, H., Influence of a Surface Bump or Groove on the Lubricating Performance and Dimple Phenomena in Simple Sliding Point EHL Contacts, J. Tribol., Trans. ASME, Vol.126, pp.466-472, 2004.