

## 流体潤滑下におけるテクスチャ表面の潤滑液流れの可視化

### Visualization of lubricant flow on surface texturing under hydrodynamic lubrication

坪井 涼\*

Ryo TSUBOI

#### Summary

Surface texturing is one of the attractive techniques which changes lubricate properties. In hydrodynamic lubrication, one of the effects is generating of hydrodynamic pressure. This leads improvements of a load capability and friction characteristics. Some experimental and numerical studies are performed to clarify the mechanisms about generating hydrodynamic pressure with the surface texturing. However, small number of the researches described the information of the lubricants flow. In this study, visualization of lubricant flow on surface texturing using fluorescent particles and high-speed camera was performed and some results of the visualization are shown.

キーワード：表面テクスチャリング，流体潤滑，可視化

Keywords : Surface Texturing, Hydrodynamic Lubrication, Visualization

#### 1. はじめに

表面テクスチャリングとは、表面に凹凸や溝などの微細な形状を人為的に加工する技術であり、表面改質技術の一つとして挙げられている。近年、微細加工技術の進歩によってミクロンサイズの形状を規則的に付与する研究が多く、実験ならびに数値計算によって様々な用途に応じた検討が行われている。表面テクスチャリングは主に摩擦低減を目的としているが、中には意図的に摩擦を増加させる研究も行われている<sup>[1]</sup>。

表面テクスチャリングの効果は摺動面の潤滑状態により異なる。各潤滑領域で期待されるテクスチャリングは、流体潤滑では流体動圧を発生させ、潤滑膜厚さを増加させることで、摩擦係数を低減する効果である。混合潤滑での効果も流体潤滑よりのものとなる。境界潤滑では、摺動表面のテクスチャに潤滑油が溜まることで、摺動面へ潤滑油を供給する効果である。

また、異物が潤滑油に混ざっている状態では機械の寿命が大幅に低下してしまうということも報告されている<sup>[2]</sup>。機械の運転状態により潤滑状態が変化し、境界

潤滑における固体接触時に発生した摩耗粉が、流体潤滑状態の維持を阻害する。したがって、異物をトラップすることで、潤滑を阻害する摩耗粉などの異物を排出する効果があることがわかっている<sup>[2-4]</sup>。

本研究においては、流体潤滑、混合潤滑領域における表面テクスチャリングの効果を対象とした。摺動面が平行かつ平滑な場合、2面間の流体膜には理論上圧力が発生しないが、表面の凹凸形状を制御することで、流体膜に正圧が発生し、摺動面を浮上させる力（負荷容量）が発生する。正圧と負圧が同等になる凹凸形状でも、負圧部にキャビテーションが発生することで全体として正の圧力となり、浮上する力が発生すると言われている。しかし、この説明は物理的な根拠に基づく説明が困難であり、表面テクスチャリングによる負荷容量の向上メカニズムが未だ明らかとなっていない。

本研究では、流体潤滑における表面テクスチャリングによる摩擦特性の向上メカニズムを解明することを目的とし、テクスチャ表面の潤滑液の流動状態を観察するため、ハイスピードカメラを用いた流体潤滑下のテクスチャ周りの流れ場の可視化を行った。

\* 機械工学

## 2. 実験概要

### 2.1 実験装置

本研究で製作した観察装置を図 1 に示す。この装置は、石英製ディスクをモーターで回転させ、下部よりテクスチャ試験片を押しつけてその摩擦表面をその場観察する装置である。ハイスピードカメラの映像を PC に送り、画像処理を行う。流体潤滑状態を維持するため、ディスクの下部はすべて潤滑液によって浸されている。ディスクには、白色光を透過する石英ガラス ( $\phi 160 \text{ mm} \times t10 \text{ mm}$ ) を用いた。試験片の固定器具には、角度調節が可能なステージを用い、ディスクと試験片を平行に調節することを可能とした。また、膜厚を調節するために試験片固定器具のシャフトはマイクロメーター式の Z 軸ステージと接続されている。ここでの膜厚とはディスク下表面と試験片表面の距離を指す。

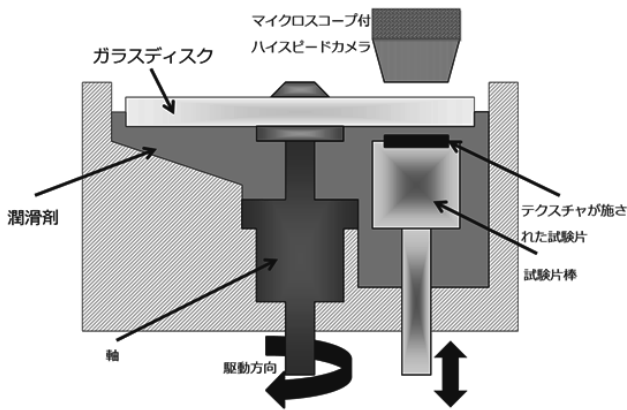


図 1 実験装置の概要

本研究は他研究所で使用されていた観察装置を改良することにより実施した (図 2)。この装置の問題点は回転軸の振れ、ガラスディスクと回転軸の取り付け精度により、回転時のガラスディスクと試験片の平行度が低いことであった。そこで、回転時の精度を上げるため、改良を施した。

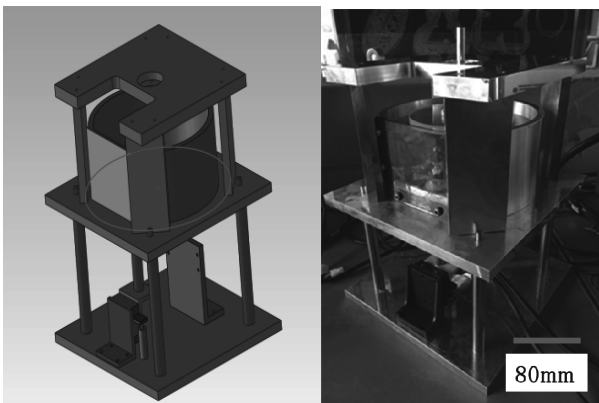


図 2 改良した試験装置の概要および外観

### 2.1 観察装置

テクスチャ表面に流れる粒子の観察をするために、顕微鏡付のハイスピードカメラ、KEYENCE ハイスピードマイクروسコープ VW-9000 を使用した。また、観察のためのトレーサー粒子は平均粒径  $10 \mu\text{m}$  の蛍光粒子を用いた。

### 2.2 実験方法

実験の手順は以下の通りである。

- (1) 試験片ホルダーに試験片をセットする。
- (2) ガラスディスクを中心軸にセットする。
- (3) 水槽にトレーサーを混入させた水をガラスディスクの下部まで浸す。
- (4) マイクロメーターで試験片の高さを調節する。
- (5) モーターを回転させる。
- (6) マイクロスコープ付きハイスピードカメラで撮影する。
- (7) 撮影した動画からデータを取得する。

### 2.3 試験片

実験に使用する試験片は 3 種類用意した。いずれの試験片もレーザー加工による表面テクスチャリングがなされている。図 3 に示す試験片 A は表面にディンプル形状を加工し、算術平均粗さ  $R_a$  は  $14.7 \mu\text{m}$  である。図 4 に示す試験片 B は同じくディンプル形状で、平均粗さ  $R_a$  は  $21.6 \mu\text{m}$  である。図 5 に示す試験片 C は溝形状の加工が施され、平均粗さ  $R_a$  は  $4.81 \mu\text{m}$  である。

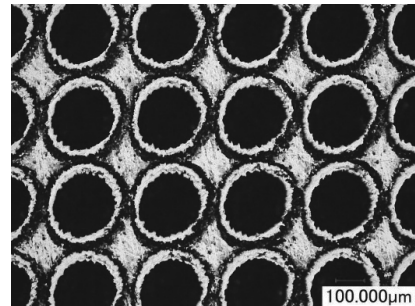


図 3 試験片 A : ディンプルパターン (a)

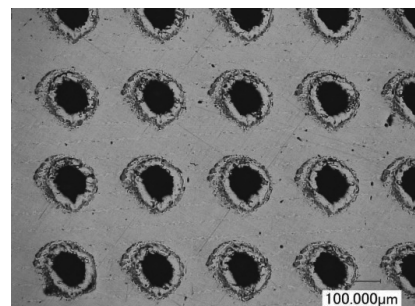


図 4 試験片 B : ディンプルパターン (b)

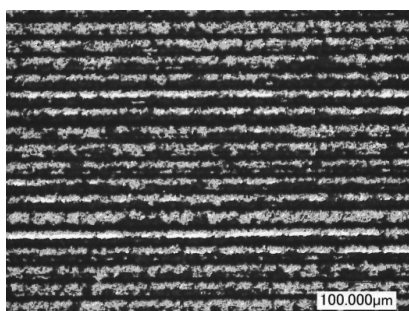


図 5 試験片 C : 溝パターン

#### 4. 実験結果

製作した装置を使用し、トレーサーによる流れを観察した結果、試験片とディスクの間を流れる粒子を観察することに成功した。

試験片 A のテクスチャ付近で撮影されたトレーサーの挙動を図 6 に示す。摺動方向は図の上から下方向である。0.0 秒からトレーサーが下に流れていくのが確認出来る。周囲の明るさと比較すると、トレーサーの確認は非常に難しく、光量の増加など、改良が必要と考えられる。また、ディンプル上部を通過する際は、摺動表面からの光の反射が少なく、特に確認が困難であった。

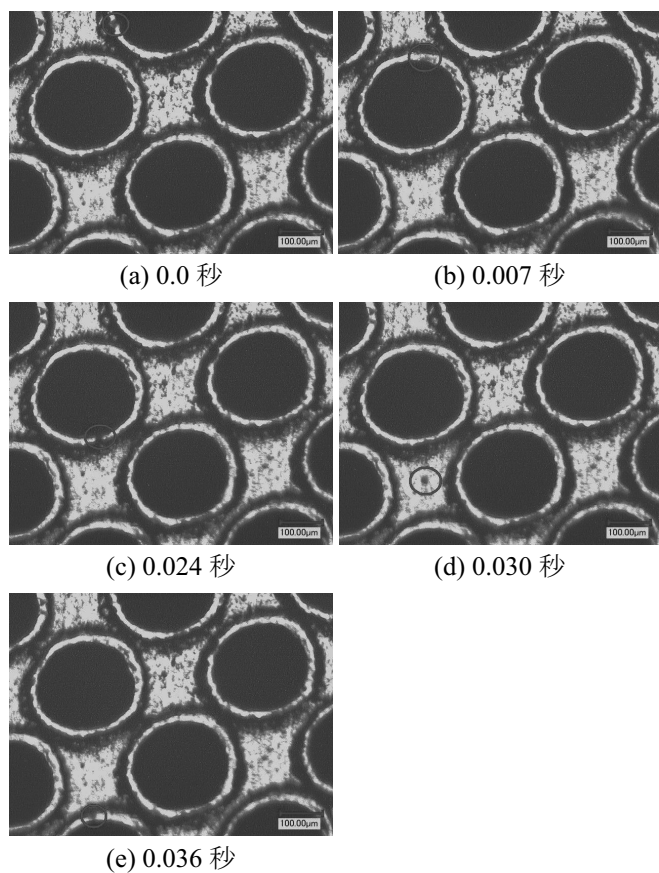


図 6 試験片 A におけるトレーサーの流れ

図 6 を合成し、トレーサーの軌跡を描いた画像を図 7 に示す。若干の流れの変化はみられたが、テクスチャリングの影響による変化なのかは解らなかった。この図からもディンプル上部でトレーサーが確認できないことが分かる。

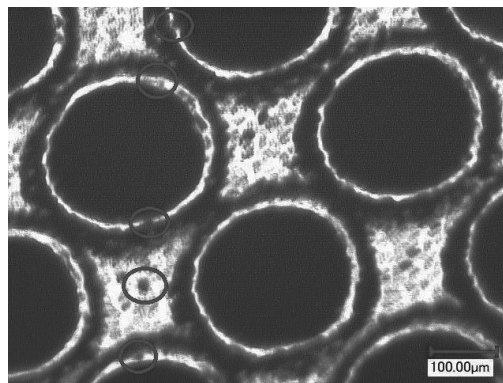


図 7 試験片 A におけるトレーサーの軌跡

試験片 B のディンプル付近で撮影されたトレーサーの挙動を図 8 に示す。摺動方向は図の右から左である。トレーサーが左に流れていくのが確認出来る。また、(a) には大きな影のようなものも確認でき、これはテクスチャ表面付近ではなく、もっと離れた位置でのトレーサーが確認されたのではないかと考えられる。

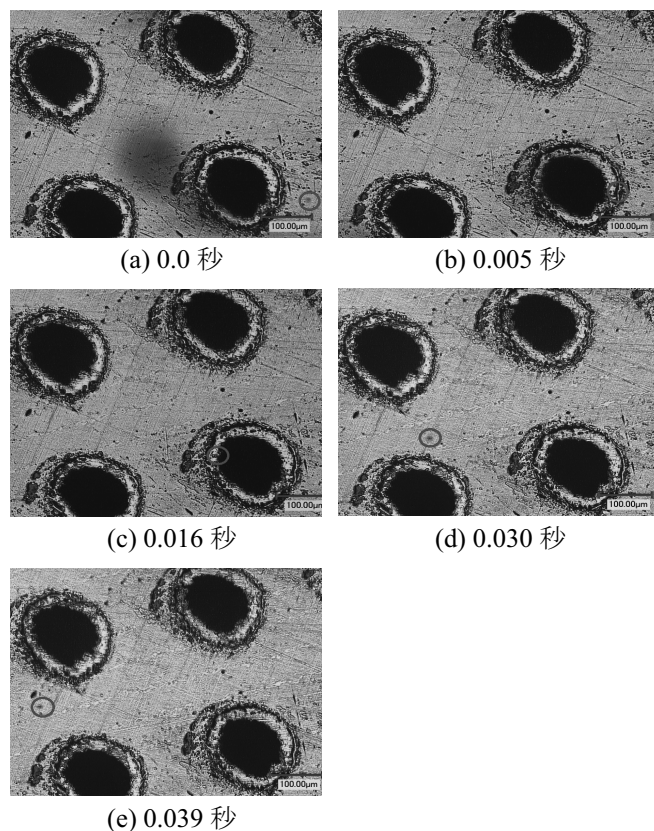


図 8 試験片 B におけるトレーサーの流れ

図 8 を合成し、トレーサーの軌跡を描いた画像を図 9 に示す。試験片 A と同様に、流れの変化はみられたが、テクスチャリングの影響による変化なのかは判別できなかった。

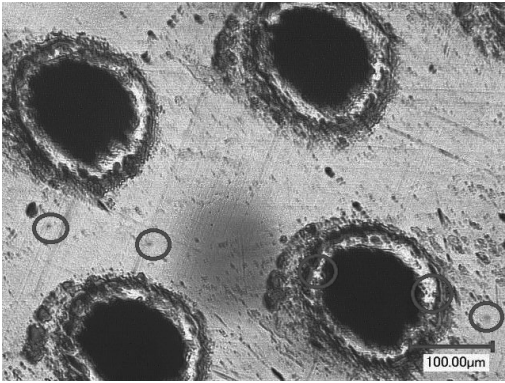


図 9 試験片 B におけるトレーサーの軌跡

試験片 C の溝付近で撮影されたトレーサーの挙動を図 10 に示す。摺動方向は右から左である。トレーサーが右から左に流れていくのが確認出来る。これらの画像から、テクスチャ表面は非常に暗いことが分かる。これは、溝形状は表面の粗さが小さく、細かい形状が表面に付与していると考えられ、光の拡散が大きいことが原因であると考えられる。

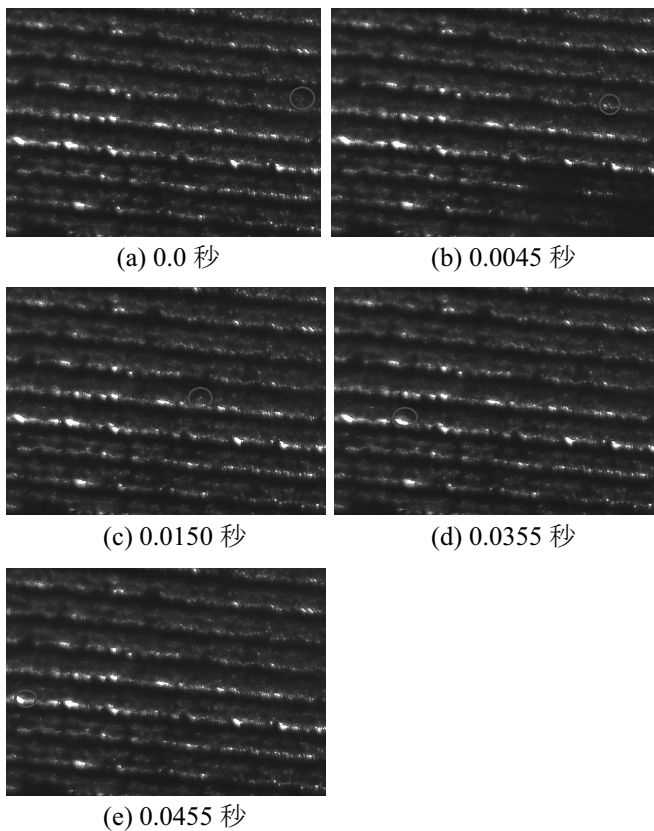


図 10 試験片 B におけるトレーサーの流れ

図 10 を合成し、トレーサーの軌跡を描いた画像を図 11 に示す。こちらの画像からも、光の反射が弱く、トレーサーの観察が困難であったことが分かる。

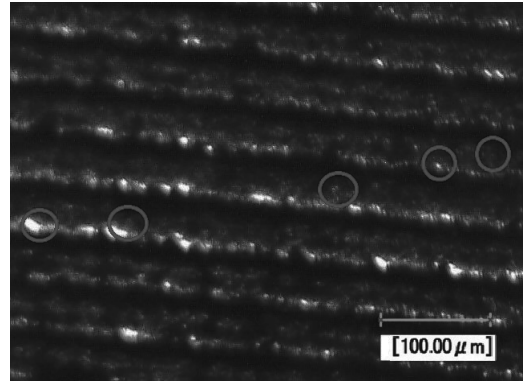


図 11 試験片 C におけるトレーサーの軌跡

#### 4. まとめ

本研究はテクスチャ表面の潤滑液の流れの状態の把握のための観察装置を設計・製作し、ハイスピードカメラを用いて蛍光粒子を観察することにより以下の結果を得た。

- (1) テクスチャ表面付近を流れるトレーサーの追跡に成功した。
- (2) テクスチャ表面の形状によって光の反射具合が異なり、得られた撮像結果に違いが生じた。
- (3) 今回の実験結果からは、テクスチャの影響により潤滑液の流れに変化が起こる様子は確認できなかった。

今後の課題として、テクスチャ表面の潤滑液の流れへの影響を深さ方向で計測するために、テクスチャの断面内での潤滑油の流動状態を撮影する手法の確立が求められる。

#### 参考文献

- 1) 佐々木 信也, トライボロジー特性改善のための表面テクスチャリング, 潤滑経済, 2010/10
- 2) I. Krupka et al., "Effects of surface topography on lubrication film formation within elastohydrodynamic and mixed lubricated non-conformal contacts", Proceeding of IMechE, Vol. 224, Part J, Engineering Tribology, pp.714-722.
- 3) T. E. Tallian, "On Competing Failure Modes in Rolling Contact", ASLE Transactions, Vol. 10 (1967), pp.418-439.
- 4) 佐田 隆, 三上 剛, "異物混入潤滑化の軸受寿命に及ぼす油膜厚さの影響 第 1 報: 異物混入油中における玉軸受の寿命試験", Koyo Engineering Journal, No.167 (2005), pp.19-23.