

## 微小模擬摩耗粒子の接触面間進入における潤滑油の流動シミュレーション Simulation of Lubricant Flow in Imitation Particles Entrainment into Contact Area

大同大・工（学）\*吉田 拓司 大同大・工（正）坪井 涼 名大・工（正）野老山 貴行

名大・工（正）張 鋭瑩 名大・工（正）梅原 徳次

Takuji Yoshida\*, Ryo Tsuboi\*, Takayuki Tokoroyama \*\*, Ruixi Zhang\*\*, Noritsugu Umehara\*\*

\*Daido University, \*\* Nagoya University

### 1. はじめに

潤滑油中に発生する摩耗粒子をはじめとするサブマイクロメートルサイズの粒子進入は、進入粒子が接触する二面の材料よりも硬い場合アブレシブ作用を起こし、軸受やすべり面の摩耗を促進する要因と考えられる<sup>(1)</sup>。潤滑油中における接触面間への粒子進入を阻害する要因として、接触面間に働く流体の逆流現象が知られており<sup>(2)(3)</sup>、潤滑油が十分に存在する場合には接触面間への進入が起りにくいことが示唆されている。進入粒子の挙動について、蛍光染色粒子を用いた研究から、粒子が摺動表面に近づいたり離れたりする運動は油膜内に発生する渦流れによるものだという予測がされている<sup>(4)(5)</sup>。

上記の研究では接触面間に存在する潤滑油には、接触面内へ引き込まれていく進入流と接触面間に入らない逆流に分かれるものとして扱われているが、接触面前方で発生する渦の位置や流れの詳細については明らかになっていない。そこで本研究では数値流体力学（Computational Fluid Dynamics, CFD）を用いて潤滑油の流れの可視化を行った。ボールオンディスクをモデルとしたシミュレーションを行い、複数の油膜厚さにおける界面位置の違いや渦の発生位置の変化について明らかにした。

### 2. シミュレーション方法

本研究では商用ソフトウェアである Fluent 2020 R1（ANSYS Inc., US）を用いて実施した。シミュレーションは3次元非圧縮性層流を仮定した。計算概略を Fig. 1 に示す。支配方程式は連続の式とナビエ・ストークス方程式を用い、潤滑油と空気の界面計算には VOF（Volume of Fluid）法を使用した。また、本研究ではディスクの材質は石英ガラス、ボールは SUJ2、潤滑油は PAO8 を想定した。境界条件は下面を 5 mm/s で摺動する移動壁面とし、上面は  $\phi 8$  mm のボールの曲面を付与した固定壁面とした。ボールとディスク間に生成される接触円を模擬しており  $\phi 30$  mm を仮定した。中央断面は対称境界である。流入面は上部から空気が、下部から潤滑油が流入し、流入する潤滑油の膜厚さを 0.4  $\mu\text{m}$ , 1.2  $\mu\text{m}$ , 2.0  $\mu\text{m}$  と変化させた。また、流入面には流入速度として 5 mm/s を付与した。圧力は流出面にて固定圧力 0 Pa とした。その他の条件として、作動流体である潤滑油の密度を 800 kg/m<sup>3</sup>、粘度を 46.0 mm<sup>2</sup>/s とし、潤滑油とディスクの接触角を 11°、潤滑油とボールの接触角を 0.1°に設定した。

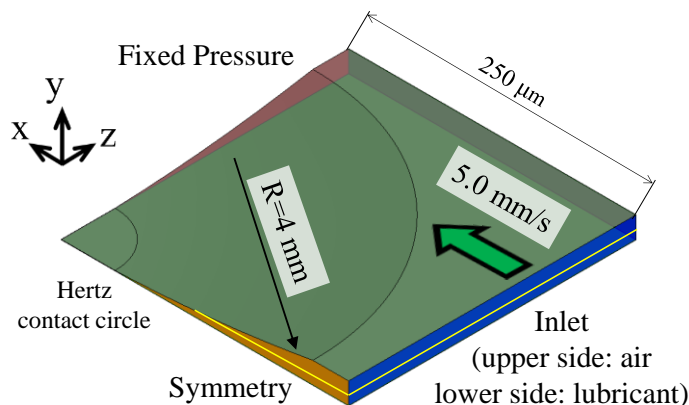


Fig. 1 Simulation overview

### 3. 結果と考察

Figure 2 は各膜厚さにおける、対称面での潤滑油の流れの様子を示しており、(i)は速度ベクトルと、(ii)は鉛直方向速度の大きさを表している。空気とオイルの間の界面は、各媒体が等しい量で存在すると仮定して、VOF=0.5 として定義した。Figure 2 (a-i)より、流入する潤滑油の膜厚さ 0.4  $\mu\text{m}$  ではヘルツ接触円中心から 95  $\mu\text{m}$  までの区間において、潤滑油はボール表面に付着し、これより上流側では油はボールに付着しないことが確認できた。同様に、膜厚さ 1.2  $\mu\text{m}$  の場合は 175  $\mu\text{m}$  付近、膜厚さ 2.0  $\mu\text{m}$  の場合は 200  $\mu\text{m}$  付近にて潤滑油と空気の境界を形成することが確認できた。

流入する潤滑油の膜厚さに関わらず、ボール前方では複数の渦が発生している様子が確認できた。渦付近の速度の鉛直成分は大きくても 1.0  $\mu\text{m/s}$  ほどであるが、この流れによって摺動面に流入する粒子は摺動面に近づいたり離れた

りする挙動をするものと考えられる。

#### 4. おわりに

ボールオンディスクをモデルとした潤滑油の流動シミュレーションを行い、複数の油膜厚さにおける界面位置の違いや渦の発生位置の変化について明らかにした。

- 1) 流入する潤滑油膜厚  $0.4\ \mu\text{m}$ ,  $1.2\ \mu\text{m}$ ,  $2.0\ \mu\text{m}$ , 摺動速度  $5\ \text{mm/s}$  で摺動させた場合の界面位置は接触円中心からそれぞれ  $95\ \mu\text{m}$ ,  $175\ \mu\text{m}$ ,  $200\ \mu\text{m}$  であった。
- 2) ボール前方では複数の渦が発生している様子が確認でき、この流れによって摺動面に流入する粒子は摺動面に近づいたり離れたりする挙動をするものと考えられる。

#### 文献

- 1) 朝鍋・佐木：日本機械学会九州支部特別講演資料集，(1982) 35.
- 2) V. Strubel, S. Simoens, P. Vergne, N. Fillot, F. Ville, M.El. Hajem, N. Devaux, A. Mondelin & Y. Maheo: Fluorescence tracking and  $\mu$ -PIV of individual particles and lubricant flow in and around lubricated point contacts. Tribology Letters, 65, 75 (2017) s11249-017-0859-z.
- 3) T. Tokoroyama, T. Watanabe, N. Umehara, T. Sato, T. Muramatsu & Y. Asada: Proc. ITC Sendai 2019 (JAST & STLE young tribologist symposium(II)), Sep. 17, 2019.
- 4) 千葉・伊神・野老山：境界潤滑条件における模擬摩耗粒子の摩擦面その場観察，材料試験技術協会論文集，63, 1 (2018) 17.
- 5) T. Tokoroyama, M. Okashita, N. Fusetani, M. Murashima, N. Hashizume, R. Tsuboi, H. Shiomi & N. Umehara: The 1 mm wear particles entrainment in situ observation via fluorescent staining silica particles by silane coupling with Rhodamine B, Frontiers in Mechanical Engineering, DOI 10.3389/fmech.2024.1371948.

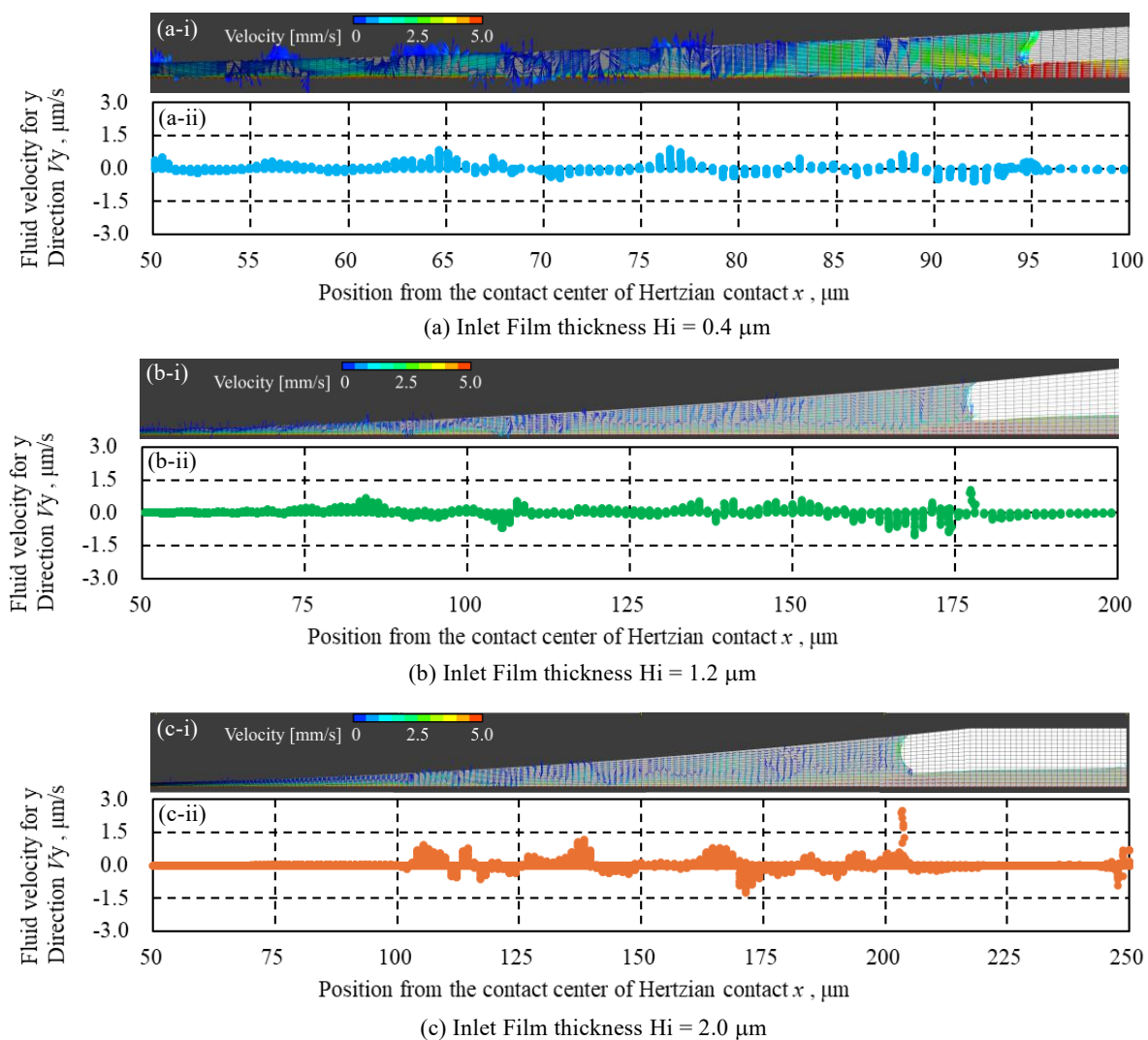


Fig. 2 The Navier-Stokes Simulation results of different oil film thickness (a)  $H_i = 0.4$ , (b)  $H_i = 1.2$ , and (c)  $H_i = 2.0\ \mu\text{m}$ . (i) shows velocity and direction of oil, (ii) shows average velocity of y direction.