

薄膜下での撥水穴部気泡挙動の観測

Behavior of bubbles in water-repellent dimples on sliding surface lubricated with thin film

知能機械工学コース

医工先進検査システム研究室 1245004 安藤 匡平

1. 緒言

従来のスラスト軸受は、幾何学的な先すぼまり部を持つ軸受構造を有している。これに対し本研究では、スリップ流れを積極的に利用し、スリップ流れのない領域との間で発生するせん断流量の不連続性を利用して圧力を発生させる、部分スリップ軸受を提案し、その可能性を検討している。

図1に示すように、微小な凹部（ディンプル）に保持された気泡上でのスリップを利用した軸受構造もその一つであるが、気泡の安定した保持が問題となる。ここでは、直径 $100\mu\text{m}$ 深さ $15\mu\text{m}$ の微小凹みを持つ凹状テクスチャ面を対象に、凹部や棚部への撥水・親水処理と、そこでの微小気泡の光学観測を通して、すべり面での気泡の挙動や、気泡保持にとって好ましい潤滑面の検討を行った。

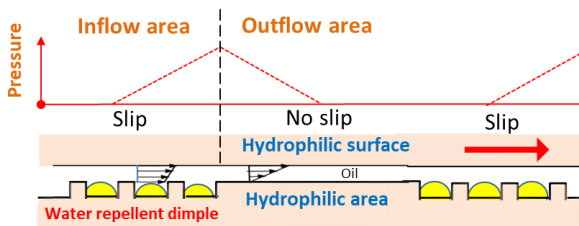


Fig.1 Partial slip bearing using bubbles.

2. 実験装置と厚膜（ $\approx 40\mu\text{m}$ ）下での凹部気泡挙動

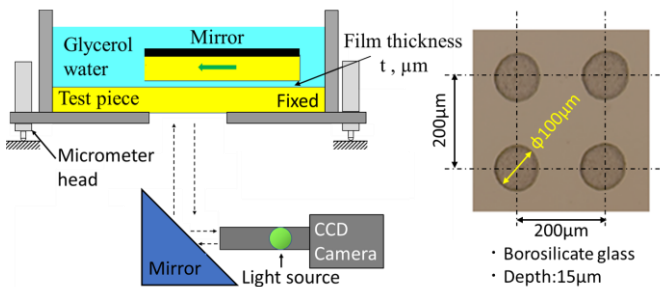


Fig.2 Schematic view of equipment and test piece.

気泡挙動観測装置の概略を図2に示す。マイクロメータヘッドにより固定試験片との間の平行膜厚を調整した移動試験片を、速度 V でスライドさせた際の気泡の様子を図中の、光学系を用いて定点観測した。固定・移動試験片共にホウケイ酸ガラス製であり、固定試験片表面には、直径 $100\mu\text{m}$ 、深さ $15\mu\text{m}$ の凹部が $200\mu\text{m}$ ピッチで配置されている。

表1には、気泡と移動面が接触しない厚膜（ $\approx 40\mu\text{m}$ ）での摺動における凹部気泡の挙動を、1）固定試験片の全面（凹部を含む）を親水化処理した場合、2）全面が撥水面の場合、3）凹部を撥水化、棚部を親水化した面を用いた場合について調べた結果を示してある。移動試験片には全面親水処理が施されている。凹部が撥水化される2）と3）の面では、凹部気泡は摺動中も安定して保持されており、上述した部分ス

リップ軸受にとって好ましい状態にある。

Table 1 Influence of treatment on behavior of bubbles in dimples.

Sliding speed V [mm/s]		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Hydrophilic surface	Dimple	△	△	△	×	—	—	—	—	—	—
Water repellent surface	Dimple	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Water repellent dimple	Dimple	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

— : Unconfirmed × : Scattering △ : Instable ○ : Immovable

3. 薄膜（ $\leq 20\mu\text{m}$ ）下での凹部気泡の挙動

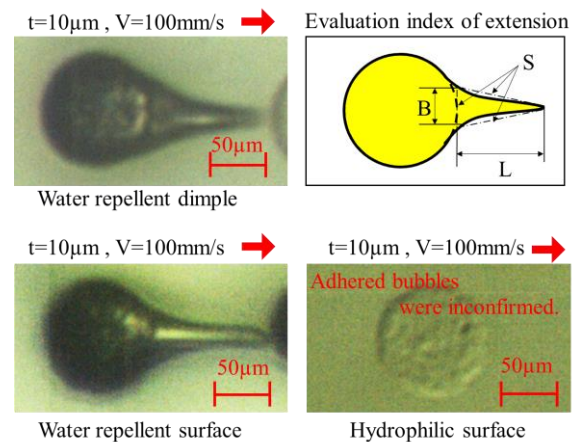


Fig.3 Shape of bubble on each treated surface.

実際のスラスト軸受面の膜厚は、数 μm ～ 十数 μm 程度であり、そこでの凹部気泡の挙動を明らかにする必要がある。図3には、膜厚を $10\mu\text{m}$ とした場合、穴部からの気泡の伸展の様子を示してある。ここでは、この伸展の状態を、伸展部長さ L 、伸展部幅 B 、そして三角形で近似した伸展部輪郭長さ S で評価する。

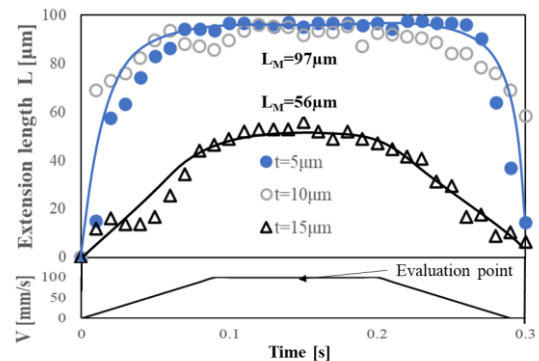


Fig. 4 Extention length of bubble due to slip.

図4は、最大速度 100mm/s で摺動させた場合の、撥水凹部（棚部は親水）の気泡伸展部長さであるが、例えば $t=15\mu\text{m}$ の膜厚での結果のように、増速に伴い伸展部長さは増加し、一定速度域では変化しない。このような定常状態での気泡の進展状態を表す各指標を、図5～7に示す。

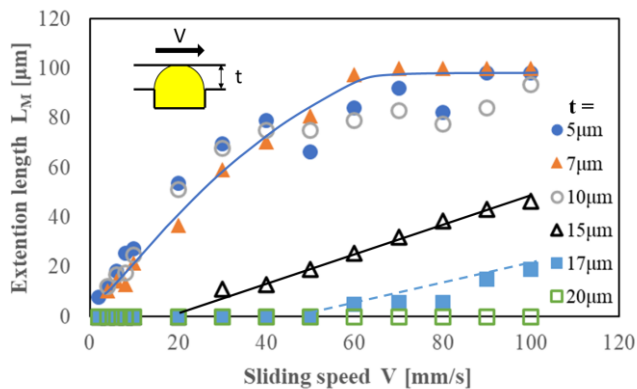


Fig.5 Effect of speed and film thickness on extension length (water repellent dimple).

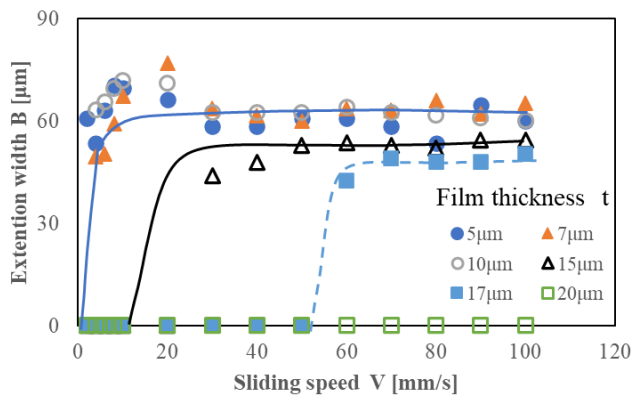


Fig.6 Effect of speed and film thickness on extension width (water repellent dimple).

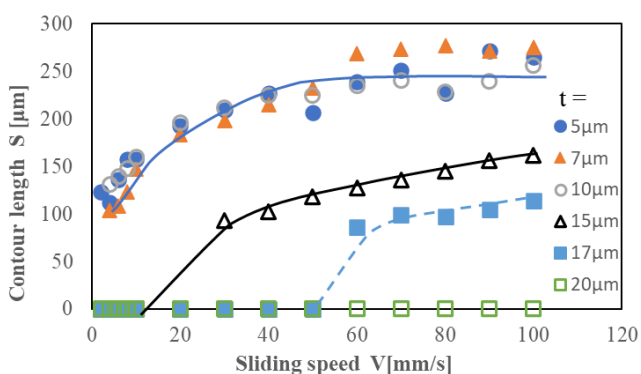


Fig.7 Effect of speed and film thickness on contour length (water repellent dimple).

伸展部の長さは図5に示すように、滑り速度にほぼ比例して増加し、隣接穴部の影響を受ける $L \approx 100\mu\text{m}$ に近づく。これに対して伸展幅 B は、どの膜厚 t であっても、 $50\mu\text{m}$ 程度であった。ただし、 $t=20\mu\text{m}$ での穴部気泡は、 $V=100\text{mm/s}$ の高せん断場であっても伸展すること無く、また、 $t=17, 15$

μm では引き出しが始まる臨界速度 V_c が確認される。

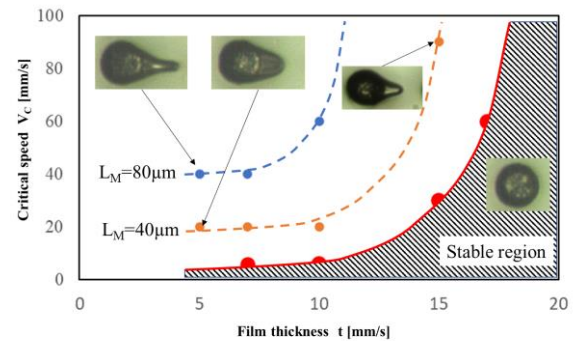


Fig.8 Relationship between critical speed and film thickness.

この臨界速度 V_c と膜厚 t の関係を図8に実線で示す。臨界曲線より右側の条件では、気泡は穴部から伸展することも、離脱することも無く、安定して強固に保持されるため、図1に示した部分スリップ軸受の実現への寄与が期待される。

ところで、表1の厚膜 ($t \approx 40\mu\text{m}$) での結果には、全面撥水の有効性も示されていた。図9は、そのような潤滑面での凹部気泡の伸展部長さ L について示してある。速度 V に対する傾向は、図5の凹部撥水（棚部親水）面での結果に類似しているが、 $t=17\mu\text{m}$ であっても、気泡の伸展が観測され、臨界速度も極わずかに認められる程度である。

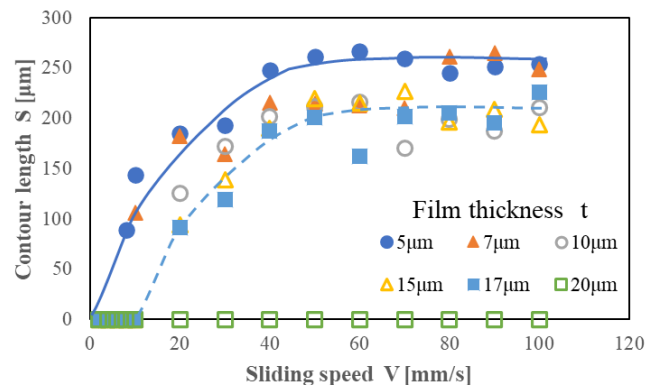


Fig.9 Effect of speed and film thickness on contour length (water repellent surface).

4. 結言

部分スリップ軸受への適用を想定して、微小な凹みを持つ凹状テクスチャ面での凹部気泡の挙動を光学観測し、気泡保持にとって好ましい潤滑面の検討を行った。その結果、

- 1) 全面が撥水处理された潤滑面の凹部気泡に比べ、凹部撥水面（棚部は親水）の方が気泡は保持され易く、同じ速度での伸展長さも多少短い。
- 2) 凹部撥水面の場合、気泡の伸展が始まる臨界速度 V_c が膜厚に応じて存在し、臨界曲線が得られる。

参考文献

- 1) 京極啓史, 染谷常雄, “潤滑油膜における気泡発生・成長機構”, 日本機械学会論文集B編, 51巻461号
- 2) 佐野理, “低レイノルズ数流れの粒子に働く力”, 「エアロゾルと流体力学」, エアロゾル研究, 11(4), 290-294(1996)
- 3) 園山希, 井口学, 佐々木康, 石井邦宜, “濡れ性の悪い平面壁に衝突する単一気泡の挙動”, 鉄と鋼 Vol. 86 No. 4