

# 卒業論文要旨

## 摺動面上の微小穴部付着気泡の挙動

システム工学群

医工先進検査システム研究室 1230013 飯牟礼 亮

### 1. 緒言

摺動面の摩擦低減の要求は、自動車エンジンに限らず、情報機器等の小型軸受でも同じである。そのような軸受で支持する荷重は小さく、一般的な軸受面に必須のマクロな先すばまり領域を必要としない簡易な軸受でも機能すると期待できる。例えば、微小な穴部（ディンプル）が密に配列されたテクスチャ面は、それだけで軸受として機能する他、そこでの摩擦の低減効果は、種々の潤滑面で実際に活用されている。本研究では、そのような微小穴部に気泡を保持させることにより、更なる摩擦の低減を目指す。薄膜で高せん断な潤滑面での気泡の安定した保持が問題となっている。

ここでは、直径  $100\mu\text{m}$  深さ  $15\mu\text{m}$  の微小穴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条件の検討を、平行摺動面について行った。また、情報機器の円板状スラスト軸受に多用される円周方向に正弦波状の凹凸を持つ軸受面やスパイラルグループ軸受のように、凸状の起伏のある移動面が微小穴部気泡上を通過する際の気泡挙動についても検討した。

### 2. 実験装置ならびに撥水・親水処理と気泡挙動の特徴

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、速度が  $V$  となるよう摺動させた際の気泡の挙動を、図中の光学系（同軸落射型テレセントリックレンズ）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  $15\mu\text{m}$  の穴部が  $200\mu\text{m}$  ピッチで配置してある。なお、移動試験片には全面親水処理を施し、潤滑剤にはグリセリン水溶液（グリセリン 67%）を使用している。

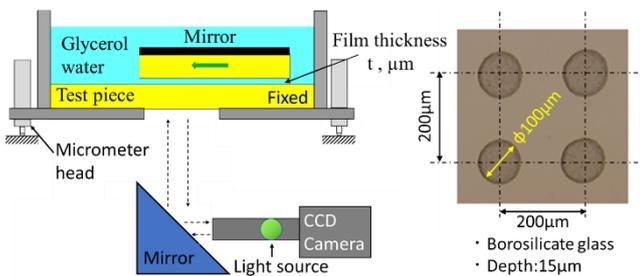


Fig.1 Schematic view of equipment and test piece

表1には、平坦な平行平板間の膜厚を  $10\mu\text{m}$  としたときの、穴部の気泡挙動を、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。

穴部を含む全面が親水面の場合の気泡は、極低速から容易に離脱して再付着することは無い。これに対し、全面が気泡

との親和性が高い撥水面の場合には、棚部にも気泡が付着し易いが、高速では離脱する。そして、離脱した気泡同士が結合・一体化することがあるため、潤滑面には好ましくない。これらに対し、穴部撥水/棚部親水面では、穴部の気泡が保持される一方で、棚部気泡は容易に離脱し、結合や成長することは無いため、潤滑面への適用が期待できる。これ以降は、この穴部撥水/棚部親水面での気泡挙動について考える。

Table.1 Influence of treatment on behavior of bubbles

Sliding speed V [mm/s]		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	~	90
Hydrophilic surface	flat surface	×	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	dimple	△	△	△	×	-	-	-	-	-	-	-	-
Water repellent surface	flat surface	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	-	×
	dimple	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Water repellent dimple	flat surface	○	○	○	○	×	-	-	-	-	-	-	-
	dimple	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

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

### 3. 凸状起伏移動面での穴部付着気泡の挙動

凸状の起伏面を模擬した円柱状移動試験片（親水ガラス棒）を用い、最小膜厚部が穴部中心に来た場合の潤滑膜の形状を図2に示す。

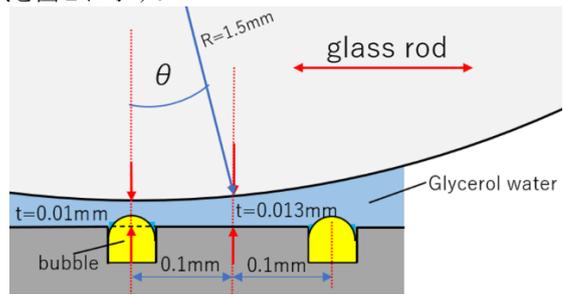


Fig.2 Film shape near dimple

撥水穴部からの気泡の伸展度合いの評価は、図3に示すように、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  $S$  で評価できるが、ここでは、最も基本的な進展長さ  $L$  を用いる。

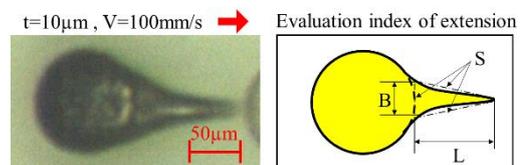


Fig.3 Shape of bubble and extension index

代表例として膜厚  $t=10\mu\text{m}$ 、摺動速度  $V=10\text{mm/s}$  と  $t=4\mu\text{m}$ 、 $V=90\text{mm/s}$  の条件で、移動試験片を1往復するように摺動させたときの気泡の挙動について、横軸を最小膜厚位置(穴部中心を0)、縦軸をLとした図を図4、図5に示す。

最小膜厚部が観測気泡を通り過ぎる前では、摺動方向への気泡伸展がみられ、図4(f)や図5(b)、(f)が顕著である。要因として、①円柱面によってできたくさび形膜による気泡の接触変形や押し出し(摺動方向に作用)②ガラス棒と気泡のせん断摩擦(摺動方向に作用)③発生した圧力による押し出し(摺動方向に作用)④伸展した気泡の前・後方部の接触角の差による力(摺動と逆方向に作用)が考えられる。

最小膜厚位置が0の場合では、①は気泡変形が最大で(摺動方向に作用)、②は摺動方向に作用、③は非常に小さく(摺動方向に作用)、④は摺動と逆方向に作用すると考えられるため、図4.5の(c)(g)のように伸展が最大に近づき変化が緩やかになる。

最小膜厚部が観測気泡を通り過ぎた後は①はほぼ0となり、②もほぼ0、③は負圧が発生し摺動と逆方向に作用し、④は小さくなるが摺動と逆方向に作用する。そのため図4(h)や図5(d)のように気泡は元に戻ろうとしてLが小さくなる。

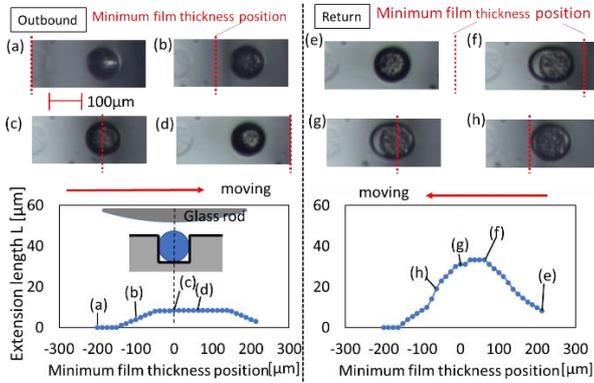


Fig.4 Bubble extension length ( $t=10\mu\text{m}$ ,  $V=10\text{mm/s}$ )

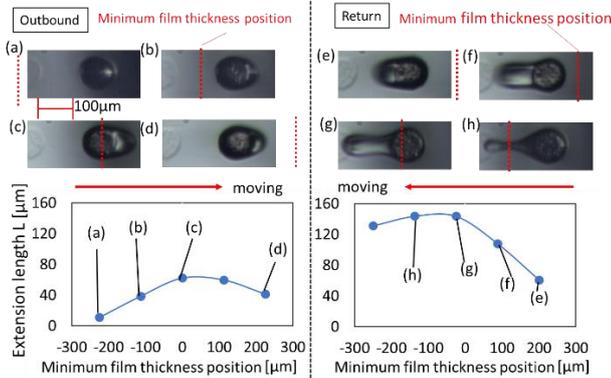


Fig.5 Bubble extension length ( $t=4\mu\text{m}$ ,  $V=90\text{mm/s}$ )

続いて膜厚をさらに薄くして  $t=2\mu\text{m}$ 、 $V=10\text{mm/s}$  の条件で3往復させた結果が図6である。1回目は往復どちらも穴中央で気泡が最大伸展した後元に戻った。2回目では往路は同じ伸展量を示したが、末広がり部で発生する負圧とせん断によって液中に溶けている気体が気泡に拡散し、気泡が成長したため気泡の部分離脱を示したと考えられる。3回目の往路では伸展量の大きな変化はなかったが、復路では気泡の成長により2回目と比べて早期に気泡が離脱した。しかし気泡の一部は穴部に残留後、成長したためこのように気泡の一部が離脱したとしても穴部には摩擦低減に必要な気泡が続いて存在する。また離脱前後で気泡の大きさに変化はないように見られる。

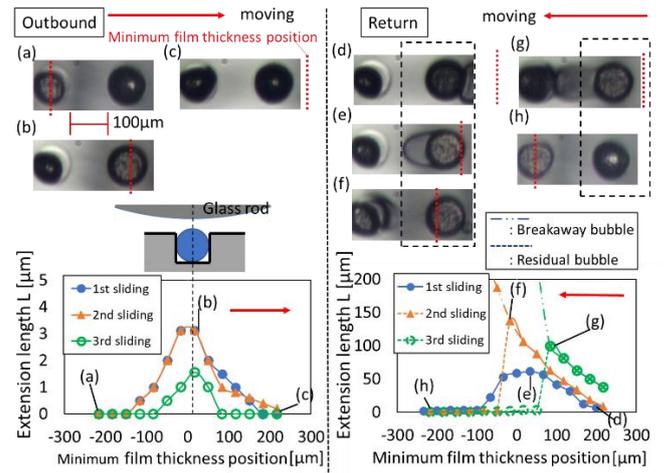


Fig.6 Bubble behavior in 3 reciprocal sliding ( $t=2\mu\text{m}$ ,  $V=10\text{mm/s}$ )

以上を基に、図7において気泡伸展長さ $L$ と円柱状移動試験片によるせん断速度 $\dot{\gamma}$ の関係性を検討した。観測点は附着している気泡の穴部中心を基準に( $0\mu\text{m}$ )、前後 $100\mu\text{m}$ を含めた3点をとった。

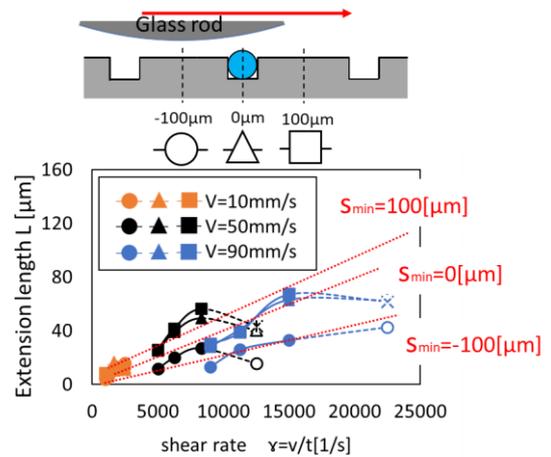


Fig.7 Relationship between shear rate and Extension length

気泡の伸展長さは、どの観測点においてもせん断速度に依存して大きくなる傾向にあり、気泡周囲の流体膜から受けるせん断力もまた伸展長さに影響すると判断できる。

#### 4. 結言

情報機器等の小型軸受などの適用を想定して、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状態の検討を行った。

- 1) 全面親水・撥水処理された潤滑面の穴部気泡に比べ、穴部撥水面(棚部親水)の方が気泡は保持され易い。
- 2) 非常に薄い膜厚下においても、気泡は部分的に離脱するものの、溶存空気気泡中への拡散による成長もあり、必要量の気泡は残留し続ける。

#### 参考文献

- (1)大塚 茂, “小型モータにおける多孔質動圧スラスト軸受の研究”, (1999), pp.24
- (2)和田宏之, 京極啓史, 中原綱光, “せん断流中における油中気泡の成長機構”, 日本機械学会論文集(B編), 54巻497号(昭63-1), pp.19-22