

卒業論文要旨

撥水粗さ面への微小気泡の付着観測

システム工学群

極限ナノプロセス・トライボロジー研究室 1190043 越智晃司

1. 諸言

従来のスラスト軸受は、テーパランドやスパイラルグランドのような幾何学的な先ずぼまり部を有する。これに対し、本研究では、スリップ流れが発生し易い撥水处理領域と、発生し難い親水处理領域を滑り方向に交互に配置した部分撥水スラスト軸受構造を提案している。そして、これまでの研究で、摩擦係数が $\mu=0.0007$ と良好な特性が確認されているが、ここでは、更なる性能向上を目指し、凹み(ディンプル)に保持された気泡の利用を考える。

例えば、図1に示すように、親水性のスラスト軸受面の一定領域に、気泡が付着し易い撥水性の浅い微小穴を多数設け、それらの穴の内壁面に気泡を強固に保持させる構造が考えられる。その気泡により潤滑剤をスリップさせる領域と、スリップが発生し難い平坦で広い親水性の棚部を滑り方向に交互に配置することで、両領域でのせん断流量差を補うために発生する圧力により荷重を支持するスラスト軸受構造をここでは提案される。

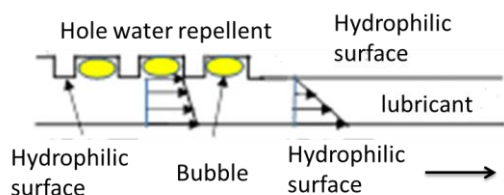


Fig1 Partial water repellent concave texture

本スラスト軸受の実現には、軸受面での安定した気泡の保持が必須となるため、そのような気泡保持にとって有効となる潤滑面の性状(ディンプルや粗さを含む)について明らかにする必要がある。本報では、数 mm の気泡での摩擦低減の可能性について示すとともに、ディンプルや粗さ溝への数十 μm 程度の微小気泡付着の可能性の検討結果について述べる。

2. 数 mm の気泡での摩擦低減の可能性

摩擦測定実験装置の概略を図2に示す。上側の移動ガラス試験片を膜厚 $5\mu\text{m}$ の下で水平方向に 80 mm 滑らせた時の摩擦を、水槽を固定している触感計(摩擦計測装置)により測定している。試験片の自重は $W=0.27\text{N}$ 、移動速度は 6mm/s, 3mm/s, 1.5mm/s の三種類で行った。

移動試験片には、幅 35mm、長さ 50mm、厚さ 3mm のガラス板を用い、潤滑面側の前半分には、気泡との親和性が高く気泡を保持し易い粗い撥水面を、後ろ半分には親和性の低い親水鏡面を配置してある(図3参照)。一方、固定試験片(水槽に固定)には鏡面の親水性ガラス面を用いている。また、潤滑剤には、散在気泡の保持を容易にするために、グリセリン水溶液(グリセリン 67%)を使用した。

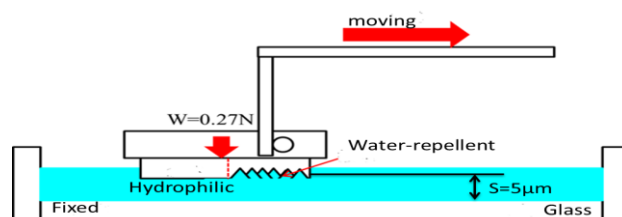


Fig.2 Friction measurement equipment

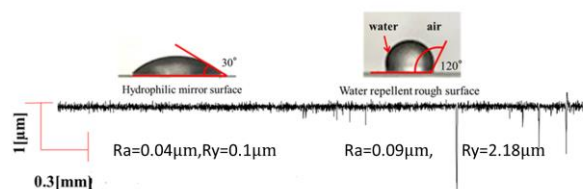


Fig.3 Surface roughness

図4は、各滑り速度での、摺動前・後の気泡の挙動を示す(試験片の移動方向は左から右)。親水2面間にあった気泡は、各図の左側のように、滑りとともに下流側(試験片外)へと排出されるが、撥水粗さ面(右側)の気泡は、滑り後もほぼ滑り前と同じ状態で強固に保持される。この傾向は、どの滑り速度 V でも共通している。

図5には、その時の摩擦係数と測定時間の関係を、2面間に気泡を介在させない場合の結果と比較して示してあるが、気泡の介在により、摩擦係数が減少することが確認できる。図6は、気泡の有無による摩擦係数の違いを、各滑り速度について示したものであるが、高速の場合ほど、その差が大きくなることがわかる。

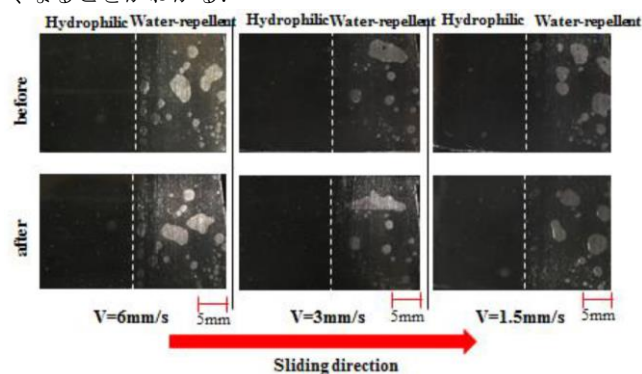


Fig.4 Bubble behavior ($S=5\mu\text{m}$)

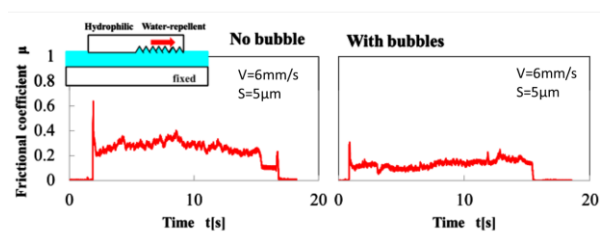


Fig.5 Difference in friction behavior due to presence / absence of air bubbles

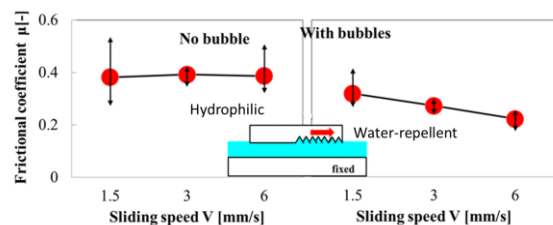


Fig.6 Relation between V and μ

2. 微小気泡の粗さ撥水面への付着

以上のように、粗さ面に撥水性を持たせることで気泡が強固に保持され、相手面や潤滑剤との間に、スリップを発生させるため、低い摩擦が得られる可能性がある。したがって、気泡の強固で安定な保持の実現は、低摩擦軸受の開発に繋がると期待される。しかし、上述の実験での気泡は数 mm と、膜厚に比べ極めて大きく、滑り速度がさらに大きな場合、潤滑面への保持が難しくなる危険性がある。一方、0.2mm 程度の微小気泡になると、高いせん断速度下でも保持が容易になることが分かっている。そこで次に、凹み（粗さを含む）を持つ撥水面での、0.2mm 以下の微小気泡保持の可能性について検討した。

微小気泡は、上述のグリセリン水溶液（100g）に、少量の超音波診断用造影剤「ソナノイド」を溶解後攪拌することで発生させた。また、試験片には、直径 100 μ m、深さ 10 μ m の凹みを持つガラス板を使用し、凹み部を含む試験片全面を撥水处理後、ポリシングフィルムにより凹み部以外の平坦部の撥水膜を除去し、親水化した物を用いた。

図 7 は、上記の潤滑剤作製過程において、数秒間のごく軽い攪拌を行ったグリセリン水溶液中で、上記試験片を浸漬・振動後、気泡の無い精製水中で振動させた場合の、凹み部の写真である。参考のために左側に示した、サンドブラスト処理で作成した凹み底部の粗さ面と違い、右側の撥水凹み部には、10 μ m 以下の微小気泡の散在付着が確認できる。

図 8 には、ビーカーの中で 30 秒間の攪拌を行った潤滑剤を使用した場合に観測された、 ϕ 15 μ m 程度の微小気泡径の経時変化である（試験片上に極薄膜の潤滑剤を介して親水性のプレパレートを設置させ撮影）。同図右側に示したように、時間の経過とともにその投影面積は徐々に減少するものの、20 分経過後も、20%程度の面積減少に止まっている。なお、この微小気泡は、図 9 に示すように、試験片のほぼ全ての凹みについて、保持される。

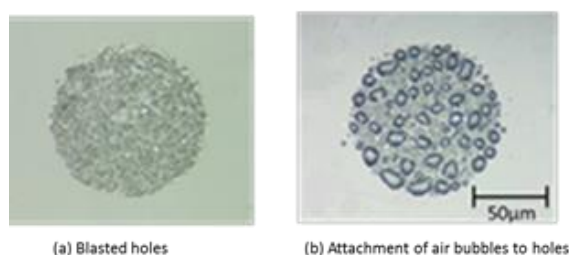


Fig.7 Attachment of bubbles to holes

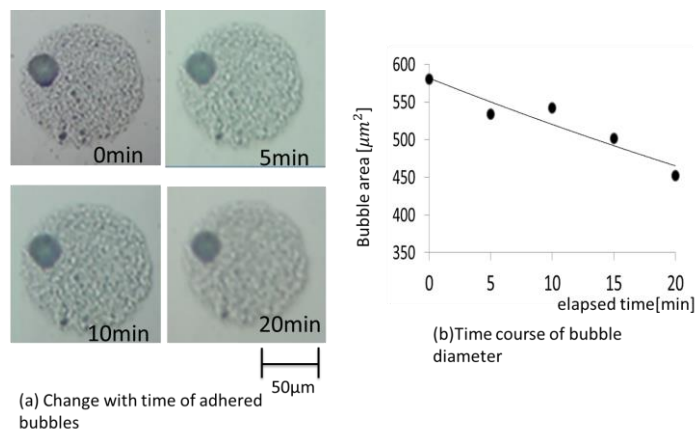


Fig.8 Observation over time of adhered bubbles

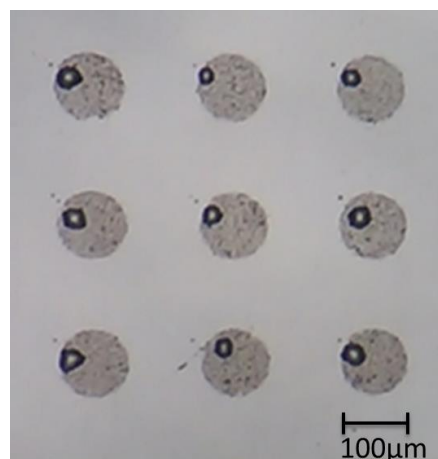


Fig.9 Bubble adherence to each hole

一方、図 10 には、ビーカーの中で 3 分間の攪拌を行った微小気泡入り水溶液を用いた場合の写真を示してあるが、気泡投影面積は 2800 μ m²と大きく、20 分程度でも、ほとんど変化せず、安定して保持されている。

以上述べたように、気泡は粗い凹み部に優先的・安定的に付着することが分かった。

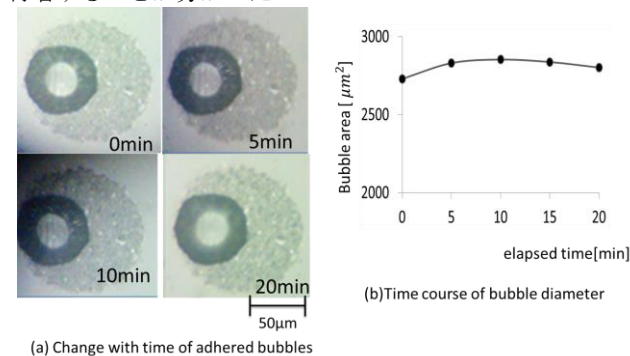


Fig.10 Observation over time of adhered bubbles

4. 結言

撥水粗さ面に強固に付着した数 mm の気泡による摩擦の低減が確認された。また、数十 μ m の気泡の粗い凹み部への優先的・安定的付着も観測でき、この気泡上での潤滑剤の滑りを積極的に活用する、部分スリップ軸受の可能性を知ることができた。

5. 参考文献

1. 竹内 彰敏：“撥水・親水处理による潤滑面からの気泡排出の可能性” 日本設計工学会 2015 年度研究発表講演会 予稿集 2015, P169~170