システム工学群

1. 諸言

ウルトラファインバブル(以後,ナノバブルと記す)は, 直径が 1µm 以下の極微小な気泡である¹⁾.本研究では、こ の微小気泡が撥水壁面に付着・保持されるスリップ領域と, 気泡が付着しない非スリップ領域でのせん断流量差を補う ために誘起される圧力により荷重を支持する,部分スリップ



Fig.1 Ultrasound image

軸受構造を提案している. 撥水面の電気二重層と負に帯 電したナノバブル間の電気的 相互作用により ²⁾,ナノバブル を撥水面に安定して付着・保持 させてスリップ率の向上を図 り,気泡が容易に離脱して付着 が避けられる非スリップな親 水面との間でのせん断流量差 を増大させることで,負荷を生 む軸受構造である.

例えば図1に示す,超音波映

像装置により測定した扇状部分撥水スラスト軸受の潤滑面 画像には、 ミクロな気泡が撥水処理面全体に安定して付着し ていると考えられる, 超音波の反射率が高い領域(図1の暗 い扇状領域)が確認できており、本軸受構造での潤滑が実際 に可能であることを示唆している. しかし、ナノバブル水 が潤滑剤として適するか否かについての基本的な情報は極 めて少ないのが現状である.

そこで本報では、ナノバブル水の時間的安定性, 温度上昇 の影響, 撹拌に伴う安定性について, 平均径 0.1µm のナノ バブル水を用いて検討した結果について述べる.

軸受内で潤滑剤が遭遇する現象の例と実験装置 2.

図2に、スラスト軸受のモデルと、潤滑時に潤滑剤が遭遇 する幾つかの現象を示してある.例えば、(1)高いせん断に 伴う温度上昇,(2)負圧や撹拌により発生するキャビティー, が挙げられる.このような環境下で潤滑剤として安定して機 能可能かを確認するために、実験では、(a)ナノバブル水の 時間的安定性, (b) 温度上昇の影響, (c) 撹拌に伴うせん 断やエアレーション (気泡性キャビテーション) 発生時の安 定性について検討した.



Fig.2 Lubrication phenomenon in operation.

医工先進検査システム研究室 1231003 藤原千晃

図3には、実験装置を示してある. 撹拌装置上に液体が入 ったビーカーを置き, 撹拌子を回転させて上記の (c) の実験 を行うが、同時に、温度の影響も調べた. (a) については、 液体を入れたビーカーを静置させ、一定時間(30分)ごとに 観測を行うが、(b)の温度上昇の影響については、ヒータで 水温を上昇させ温度を維持しながら観測している.なお、比 較用に、イオン交換法により作成した精製水(市販品)を用 い,同様の実験を行った.



Fig.3 Experimental device

ところで、ナノバブルの安定性については、レーザー光 (緑:波長≒532nm)の散乱強度(輝度)を基に評価している. その際,発射されたレーザーを凹・凸レンズを使用して直径 が約5mmの安定した棒状になるように直径を広げて、ナノバ ブルの状況を観測し易くして用いた.なおレーザーは、ビー カーの外側から直径方向に入射させている.

観測位置は,静置実験では,ビーカー底から 50mm の位置 であり、ビーカー上部から観測を行っている. 撹拌実験では、 撹拌子の上側 3mm の位置と, 撹拌に伴い発生する液面の窪み (窪み渦)の底から 15mm 上側の, 空気との接触や巻き込み が著しい位置とした. 撹拌子の回転速度は, 660rpm である.

時間安定性(室温·静置実験) 3.

図4に、室温(20.0℃)で一定時間静置させた場合のナ ノバブル水の観測例を精製水の結果と共に示す. ナノバブル 水では微小気泡のブラウン運動によるレーザーの散乱があ り³⁾, 光路が明瞭に現れ, 2時間経過後もその明るさは変化 しないのに対し、そのような気泡を含有させていない精製水 では、観測開始直後でも光路の輝度は極めて低い. これら画 像の黄色の枠内の輝度分布の例を図5に示し、図中の数字は 最大輝度を示す。図から明らかなように、精製水とナノバブ ル水での輝度は異なり、ナノバブル水の方が高い.





図6には、図4における上記各輝度分布の最大輝度の時間 変化を示してあるが、室温での静止の場合2時間程度では、 ナノバブルの顕著な消滅の傾向は認められない.



Fig.6 Variation of maximum brightness on time

4. 温度の影響(静置実験)

次に、同様の観測を、水温を上昇(T=40℃,60℃)させて 行った場合の結果(輝度評価)を図7に示す、縦軸は実験開 始時(室温状態)の最大輝度で規格化した輝度比である、図か ら明らかなように、水温を上昇させた場合、ナノバブル水で の光路輝度は、40℃では30分経過した頃から60℃では開始 直後から低下傾向を示しており、高温で長時間保持する場合 には、ある程度のナノバブルの消滅は考えておく必要がある。



5. 撹拌と温度の影響

図8は、図3の撹拌子の3mm上部の観測例である.室温 ではナノバブル水,精製水ともに前述した静置実験とほぼ同 じである.これに対し,水温が40℃と高いナノバブル水の場 合,撹拌子中央位置(窪み渦底部)付近で線状または糸毬状 の高輝度部が現れる.

窪み渦底部付近の圧力が周囲より低く,ナノバブルが集積 した可能性もあるが,線状の輝き部(極光,鮮やか,)は精製 水でも認められることから,撹拌に伴い大気境界から吸い込 まれた空気気泡の影響が主であると考えられる.

なお温度が高い60℃になると、その気泡も消滅する傾向 を示している.

ところで図9は, 撹拌に伴い発生する窪み渦の底から15mm 上側の, 空気との接触や吸い込みが著しい位置での結果であ る. U字型の大気との境界での輝度が著しく高く現れている. 境界面の乱れや空気の巻きこみが発生するためと考えられ るが、ナノバブル水と精製水での著しい差は認められない. また、巻き込まれる空気とナノバブルの合体による高輝度領 域の巨大化も無いようである.

図 10 には、各温度で4分撹拌後に静止させた場合のナノ バブル水の輝度を、撹拌前の輝度と比較して示してある.い ずれの水温でも、撹拌により、ナノバブル水の輝度は低下す る傾向にあるが、高温での輝度の低下(ナノバブルの減少)が 大きいようである.



Fig.8 Laser scattering just below the depressed vortex. $20^{\circ}C$ $40^{\circ}C$ $60^{\circ}C$



$T=20^{\circ}C$ $T=40^{\circ}C$ $T=60^{\circ}C$ Fig.10 Change in brightness with stirring.

6. 結言

ナノバブル水の潤滑剤としての可能性を知るために、ナノ バブル水の時間的安定性や温度上昇の影響, 撹拌に伴う安定 性について検討を行い, 以下の結果を得た.

1) ナノバブルの輝度は室温では長時間変化しがたい

2) しかし、40℃そして 60℃と高温になると少なからず消滅 の傾向を示す

3) この傾向は撹拌により助長される可能性が高い.

4) ただ, 撹拌によって大きく成長する気泡はほとんどない したがって, 軸受への適用の際には消滅したナノバブルの補 給法を考えておく必要がある.

7. 参考論文

1) 柘植秀樹"マイクロバブル・ナノバブルの基

礎",Bull.Soc.Sea Water Sci.,64(2010)4-10

 2) 牛田晃臣,長谷川富市,内山広成,鳴海敬倫,萱場龍一,"微小 孔を通過するナノバブルを混合した界面活性剤水溶液の流 動特性",Nihon Reoroji Gakkaishi Vol39,No.4(2011)165-172
3) 関口智大,川口達也,斎藤卓志,佐藤勲,"マイクロ・ナノバ ブルのブラウン運動の画像解析",日本機械学会論文集(B 編),77 巻,784 号(2011)