

炭素系硬質薄膜を用いた窒素ガス潤滑システムの構築

シーズ育成試験 平成17年度採択課題

「炭素系硬質薄膜の窒素ガス潤滑による超低摩擦しゅう動要素の開発と応用」

東北大学 大学院工学研究科
機械システムデザイン工学専攻 准教授
足立 幸志



東北大学トライボロジー研究室において発見された「窒化炭素膜の窒素ガス吹き付けによる0.01以下の低摩擦係数の発生」を利用し、従来の液体潤滑、固体潤滑が使用不可能な小型精密機械機器のための新しい潤滑(窒素ガス潤滑)システムの開発を行なった。その結果、工業的汎用硬質薄膜と炭素系硬質薄膜との組み合わせにより無潤滑低摩擦すべり軸受が可能となることを実証した。

■ 研究内容、研究成果

機械機器のしゅう動部の潤滑(摩擦と摩耗の制御技術)は、機械機器の信頼性、耐久性の保証及び新機能実現の鍵を握る技術である。液体潤滑、固体潤滑、静・動圧による気体潤滑は、通常用いられる潤滑形態であるが、マイクロ・ナノオウダの精度及びサイズが求められる機械機器においてはいずれも適用不可能である。それ故、マイクロマシンに代表される小型精密機械機器のための新たな潤滑システムの開発が急務の課題となっている。

そこで東北大学トライボロジー研究室において発見された「窒化炭素膜の窒素ガス吹き付けによる0.01以下の低摩擦係数の発生(図1)」を窒素ガス潤滑法として提案し、この手法を導入した汎用低摩擦しゅう動要素の開発を行った。

具体的には、窒化炭素(CNx)被膜付き窒化ケイ素(Si₃N₄)球と汎用硬質薄膜である窒化チタン(TiN)、窒化クロム(CrN)、炭化チタン(TiC)、TiCN被膜付きSUS440Cディスクの窒素ガス吹き付け下でのすべり摩擦(接触圧力:100MPa、滑り速度:200mm/s)において以下の結果を得た。

- (1) 汎用硬質薄膜であるTiN被膜とCNx被膜の窒素ガス潤滑による低摩擦・低摩耗発現のためには、前処理(摩擦初期における予すべり)の制御が極めて重要であることを実験的に明らかにした。本実験においては、0.01以下の低摩擦、10⁻⁹mm³/Nm オウダの低摩耗を発現するための前処理条件(予すべり距離、予すべり時の雰囲気、摩擦対、初期表面仕上げ)を実験的に明らかにした。
 - TiN被膜付きディスクへの前処理としてCNx被膜付きSi₃N₄球により摩擦前に予すべりを与え、TiN被膜とCNx被膜の窒素ガス吹き付け下の摩擦と摩耗に及ぼす前処理の影響を実験的に明らかにした。図2にその結果の一例を示す。図中の矢印は、最適な前処理を施すことにより0.01程度の安定した低摩擦を示すデータである。

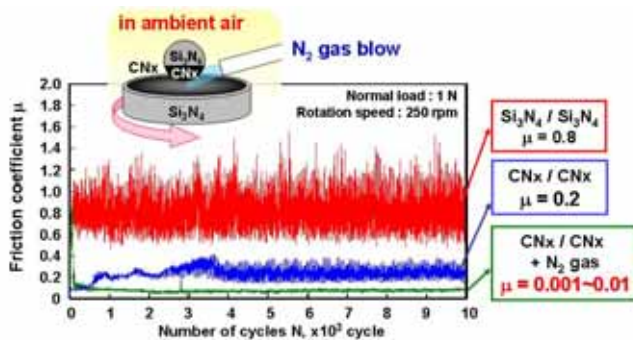


図1 窒化炭素膜の窒素ガス潤滑

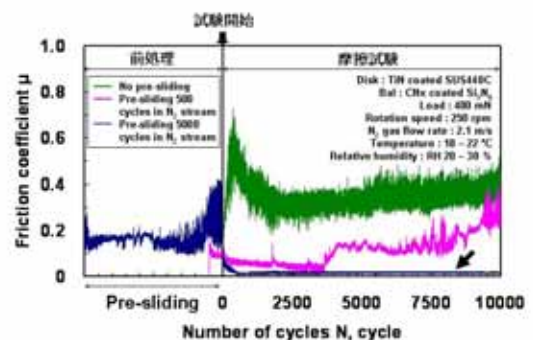


図2 窒化炭素膜の窒素ガス潤滑特性に及ぼす前処理の影響

前処理として 5000 サイクルの予すべりを与えることにより，前処理を施さない場合と比較し摩擦係数は 1/20 の 0.01 程度に低下し，ボールの比摩耗量は，1/300 の $6 \times 10^{-9} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ に低下することを確認した．

- ・低摩擦を得るための前処理条件の一つとして，予すべりを与える時の摩擦対の重要性を明らかにした．図 3 に TiN 被膜への前処理として与える予すべり時に， Si_3N_4 球を用いた場合と CNx 被膜付き Si_3N_4 球を用いた場合の摩擦特性の相違を示す．図中の矢印は，予すべり時に CNx 被膜付き Si_3N_4 球を用いることにより窒素ガス潤滑下における低摩擦(0.01)が得られることを示すデータである．

(2) 汎用硬質薄膜(CrN,TiC,TiCN)においても窒素ガス潤滑下の CNx 被膜付き Si_3N_4 球とのすべり接触において，最適な前処理を施すことにより 0.01 以下の安定した低摩擦係数が得られることを実証した．図 4 に CrN, TiCN ディスクを用いた場合の前処理後の低摩擦発現の結果を示す．

以上の実験結果は，炭素系硬質薄膜 (CNx) と工業的汎用硬質薄膜(TiN, CrN, TiC, TiCN)とのすべり接触下において，前処理の制御により，特に動圧効果を期待することが難しい高接触圧力域 (100MPa 以上)，低速領域(200mm/s 以下)において安定した低摩擦(0.01 以下)と低摩耗 ($10^{-9} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ オーダ)を発現する窒素ガス潤滑が可能であることを示している．

■ 今後の展開、将来の展望

本研究の成果は，従来の液体，固体を用いた潤滑が不可能な小型精密機械機器しゅう動部の潤滑法として窒素ガス潤滑法が有効であることを意味し，工業的汎用硬質薄膜と炭素系硬質薄膜との組み合わせにおける 0.01 以下の汎用低摩擦すべり軸受の実現の可能性を広げたものである．

以下の 2 つが今後の展開となる．

(1) 窒素ガス潤滑法を用いたすべり軸受の開発

本研究で得られた知見に基づき，窒素ガス潤滑法を導入したすべり軸受を開発する．種々の形状に対する耐久性のある被膜形成技術が確立されている汎用硬質薄膜を摩擦対の一方とすることにより，種々の形状に対応可能なすべり軸受を開発する．

(2) 窒素ガス潤滑法を用いたすべり軸受の設計手法の確立

前述の組み合わせの摩擦に及ぼす接触面の表面電位，表面温度，酸素濃度，窒素濃度の影響を実験的に明らかにすると同時に，分子動力学法を基盤としたトライボシミュレータを用い，窒素雰囲気下における低摩擦機構の分子オーダでの解析を行う．これにより窒素ガス潤滑法を用いた汎用低摩擦すべり軸受の設計手法を確立する．

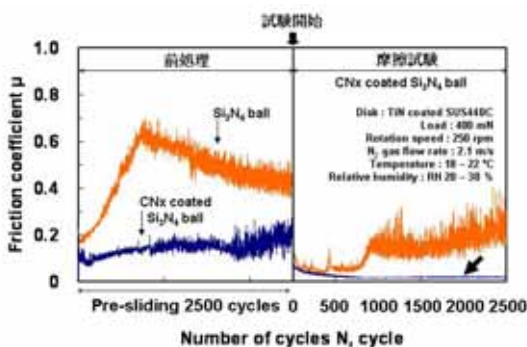


図 3 窒化炭素膜の窒素ガス潤滑特性に及ぼす前処理時の摩擦対の影響

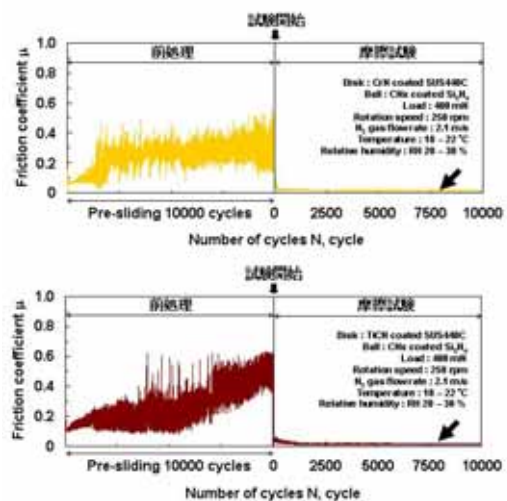


図 4 最適前処理による CrN, TiCN 被膜の窒素ガス潤滑の実現