

シリカナノ粒子を担持させた石英ガラスを用いてなじみ処理を施した a-C:Hの水潤滑特性

Water Lubrication Properties of a-C:H during Running-in Process with Quartz Glass Supporting Silica Nanoparticles

三友特殊精工（正）*堀場 夏峰 岐阜大（学）**葛谷 修造 岐阜大（正）**上坂 裕之

Natsuo Horiba*, Shuzo Kuzuya**, Hiroyuki Kousaka**

*Sanyu Tokusyu Seiko, **Gifu University

1. はじめに

水潤滑は環境負荷の少ない潤滑システムとして、ケイ素含有セラミックスにおいて様々な検討が進められてきている¹⁾。当研究グループは窒化ケイ素 (Si_3N_4) と a-C:H の組み合わせにおいて摩擦特性が良好であることを確認してきた²⁾。しかし、なじみ過程において必ずしも超低摩擦が発現しないことが課題となっている³⁾。当グループは以前より Si_3N_4 に担持されたシリカナノ粒子（シリカ NP）が a-C:H へ移着することを指摘している。そこで、本研究ではシリカ NP の a-C:H への移着現象に注目し、a-C:H 面への効果的なシリカ移着層の形成を目論んだ。そこでシリカ NP を担持した石英ガラスと a-C:H ペアにおいてなじみ処理を行うことで、a-C:H 面へのシリカ NP の移着を試みた。a-C:H に移着したシリカ NP がシリカ移着層として水潤滑下で機能を発揮すると予想し、この水潤滑特性をリングオンディスク試験において実験的に明らかにする。

2. 実験方法

2.1 実験装置および試験片

実験装置はエー・アンド・デイ製 EFM-3-H で、リングオンディスク試験を実施した。概略図を Fig.1 に示す。荷重は上部からロードセルを介して行われる。限界荷重は 5,000 N である摩擦は下部側の回転機構で付与され、軸回転数は最大で 3350 rpm である。摩擦力は上部アームを介して摩擦トルクとして、定格荷重が 100 N のロードセルで検出される。試験片上部のボールベアリングを設置することでリング-ディスク試験片が試験開始直後から面当たりになる。摺動面は常に浸水状態を維持されるが、試験開始から終了まで潤滑水（精製水）は交換されることはない。

試験片の Si_3N_4 ディスク試験片と a-C:H リング試験片は、摩擦面に対してラップ処理を行い、面粗さを $Ra=0.1 \mu\text{m}$ 以下にした。石英ガラスは既製品を購入後、アセトン洗浄したものをもそのまま使用した。

2.2 シリカ担持方法

水潤滑による低摩擦を発現させるために石英ガラスディスク試験片の摩擦面に水分散ナノシリカ（日産化学社製スノーテックス ST-OS、粒子径は平均 9 nm、以後シリカ NP）を担持させた。大気圧プラズマ（Ar ガス）にて試験面を洗浄後、大気圧プラズマの噴流を利用して、スポイトに保持した水分散ナノシリカを試験面に吹き付けた。その後、未担持のシリカ NP を除去する目的でふき取りを行った。

3. 実験結果及び考察

3.1 実験結果

石英ガラスと a-C:H ペアの水潤滑特性を確認するため、すべり速度 300 mm/s、500 N の定荷重にて、すべり距離 1,000 m の摩擦試験を実施した。初期荷重 50 N で 60 秒間なじませた後、100 N から 500 N まで荷重を 30 秒ごとに 100 N 増やし、500 N に達したのち、すべり距離 1,000 m に到達した段階で試験終了とした。Figure 2 に一例を示す。試験終了時の

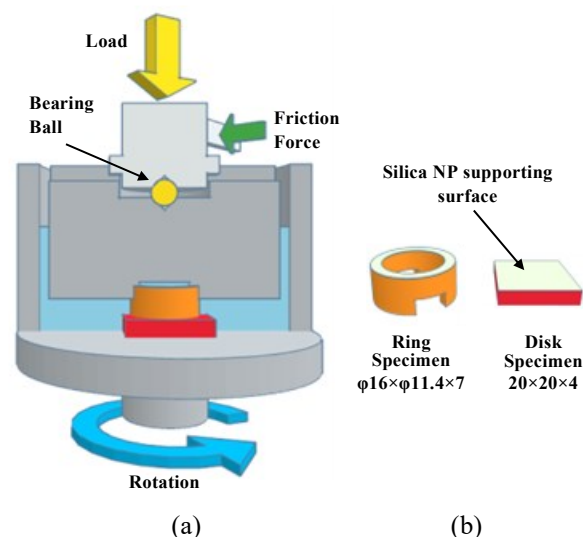


Fig. 1 Schematic images of (a) ring-on-disk friction apparatus and (b) image of specimens.

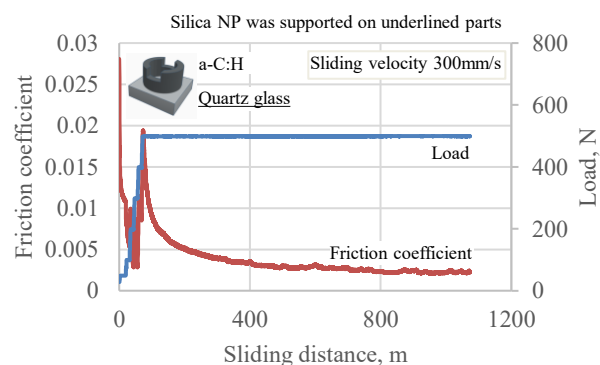


Fig. 2 An example of friction properties of sliding friction test of 1,000m distance.

摩擦係数は 0.002 を示した。a-C:H 摩擦面を FE-SEM で観察すると、a-C:H 表面とは別の薄層の形成が確認された (Fig.3)。この薄層は、石英ガラスに担持されたシリカ NP が a-C:H 摩擦面に移着したシリカ移着層であると推定した。

そこで、a-C:H 面に効果的にシリカ移着層を形成するために、次の実験を行った。初期荷重 50 N で 60 秒間なじませた後、200 N まで 50 N で 60 秒毎 200 N まで載荷し、200 N で 180 秒間維持するなじみ工程を 4 回繰り返した (Fig.4)。その後、シリカが移着された a-C:H をアセトンで 5 分間超音波洗浄し、Si₃N₄ との組み合わせですべり速度を変化させる摩擦試験を実施した³⁾。Figure 5 は、Si₃N₄ ディスク試験片にはシリカ NP 無担持で、a-C:H 摩擦面にシリカ NP が無担持のものとシリカ NP が移着した試験片の摩擦試験結果である。シリカ NP 無担持のものと比較して、シリカ移着層が存在すると全体的に摩擦係数が小さくなり、最終的に 0.008 の超低摩擦が発現した。

3.2 考察

シリカ NP を担持した石英ガラスでなじみ処理を施した a-C:H と Si₃N₄ ペアの摩擦試験後、a-C:H 試験片の FE-SEM 観察を実施した (Fig.6)。Figure 6 (a)では、a-C:H 試験片の摩擦面のうち、白色部 Area A と黒色部 Area B の二種類の色調を確認することができた。それぞれの箇所を観察すると、Fig.6 (b) の Area A では a-C:H の素地の上に、球状のシリカ NP が確認できる。一方、Fig.6 (c) の Area B では、a-C:H の素地は見当たらず、表面を一様に覆う物質が確認された。Area B を EDX 分析した結果、Si が検出されたことから石英ガラスに担持されたシリカ NP が、なじみ過程で a-C:H 表面に移着したシリカ移着層であると考えられる (Table 1)。なお、Cr は a-C:H コーティング時の下地層、Ar は大気圧プラズマで使用したガス源に由来する。次に原子間力顕微鏡の DFM 測定モードで Area A と Area B を測定した結果、Area A の面粗さ Rz 98 nm に対して、Area B は Rz 41 nm となり面粗さの最大高さが小さくなり、Area B は Area A と比較して相対的に平滑化されていることが確認された。a-C:H 摩擦面の Area B は、なじみ処理過程においてシリカ NP が移着することで、平滑化が促されたと考えられる。

4. おわりに

シリカ NP を担持させた石英ガラスと a-C:H を水潤滑下で摺動させると石英ガラスに担持されたシリカ NP が a-C:H 摩擦面に移着することがわかった。そして、この a-C:H 摩擦面に形成されたシリカ移着層は、Si₃N₄ との水潤滑で超低摩擦を誘引することがわかった。

文献

- 1) 足立：低摩擦システムのための摩耗-なじみとトライボ化学摩耗-, トライボロジスト, 64, 5(2019), p.288-293
- 2) 堀場・内山・上坂：ナノシリカ粒子を担持させた窒化ケイ素の水潤滑特性, トライボロジー会議 2023 春 東京, F9.
- 3) 堀場・葛谷・上坂：すべり速度の変化に伴うシリカナノ粒子を担持させた窒化ケイ素と a-C:H ペアの水潤滑特性, トライボロジー会議 2024 春 東京, C20.

Table 1 Mass concentration of a-C:H friction surface [%].

C	O	Si	Ar	Cr	Total
77.60	1.33	1.75	2.03	17.30	100.00

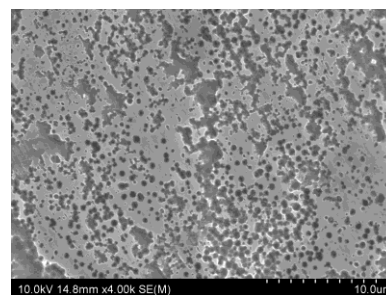


Fig. 3 Image of a-C:H friction surface after running-in process against quartz glass.

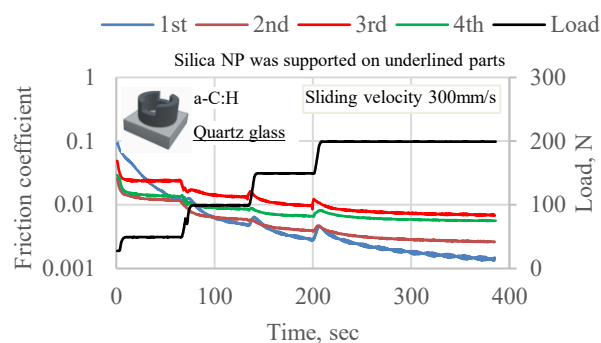


Fig. 4 Running-in process of quartz glass supporting silica NP and a-C:H pairs.

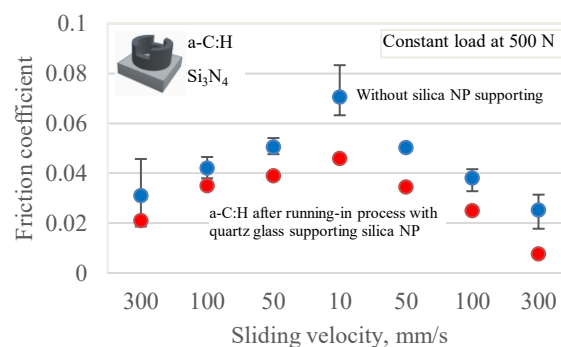


Fig. 5 Friction properties of Si₃N₄ and a-C:H pairs as a function of sliding velocity.

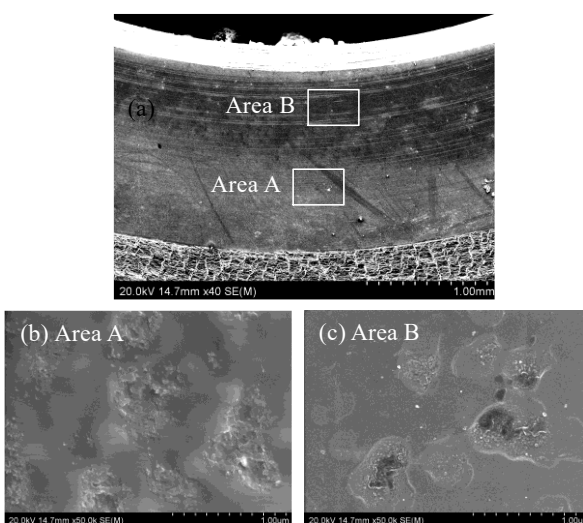


Fig. 6 Surface observation of a-C:H friction surface by FE-SEM, (a). overview, (b). Area A, (c). Area B.