

材料曝露実験(SM/MPAC&SEED)による固体潤滑材被膜の摩擦特性変化

物質・材料研究機構 笠原章 後藤真宏 太田悟志 木村隆 福島整 土佐正弘
宇宙航空研究開発機構 総合技術研究本部 井上利彦 宮崎英治 今川吉郎

1. はじめに

宇宙軌道環境では、原子状酸素、紫外線、電子線、放射線、宇宙塵、熱変化等複合因子により摩擦係数の増大や摩耗量の増加の問題が懸念され固体潤滑材料にとって過酷な環境であり、したがって、駆動部材料はそのままでは摩擦増大の他に酸化や照射損傷によって一層摩擦が増大する可能性があるために高性能固体潤滑剤の被覆により長期にわたって円滑な駆動が保証されることが望まれている。

そこで、TiNをはじめとする4種類の異なる摩擦特性を持つ固体潤滑材料をステンレス鋼に被覆した試料を軌道上に打ち上げ設置しこの軌道上において1年ならびに1年以上の長期間わたって軌道環境で曝露し地上に回収した後、摩擦特性、表面構造、ならびに組織組成等を分析して軌道用固体潤滑被覆膜の軌道環境曝露の影響について検討し、特に、曝露試料、および地上保管比較試料とで、摩擦特性、加熱処理による効果、荷重依存性摩擦測定による凝着力、表面形状など基本的特性変化について報告したい。

2. 方法

基板には、市販のSUS304 オーステナイト系ステンレス鋼 (14x14x1mm³) を用い、高周波マグネトロンスパッタ蒸着装置を用いて単層膜のCu、化合物膜のTiN、MoS₂、および、Cu+BN 混合膜をそれぞれ被覆した。SUS304 基板、TiN/SUS、MoS₂/SUS、Cu/SUS、Cu+BN/SUS の計5試料を1組とし、地上保管用試料1組、軌道曝露試料3組さらに、地上対照試料3組の総計7組、35枚の試料を製作した。

国際共同宇宙ステーションのロシアモジュール(SM/MPAC&SEED)における宇宙軌道曝露環境は、平均軌道高度約400km、曝露日数315日および865日、真空度10⁻⁵Pa台、また、飛行軸に対して直角曝露59%、平行曝露41%であった。さらに、地上対照試料3組はそれぞれ原子状酸素、紫外線、電子線照射を軌道空間での照射量の0.5年、および1年相当量模擬照射した。

超高真空対応パウレンレーベン型摩擦試験器を用いた摩擦(μ)測定のための条件として、荷重0.48N、摩擦距離5mm、測定回数5回、測定圧子1/8インチ径SUS304球を用い、N₂大気圧雰囲気下および真空中(10⁻⁵Pa)での両測定を行った。また、凝着力変化のための荷重依存性の測定は荷重0.98mN、0.19N、摩擦距離5mm、測定回数5回、測定圧子1/8インチ径サファイア球を用いてN₂大気圧雰囲気下で測定した。さらに、真空中で加熱することにより被膜の摩擦特性に対する安定性を評価した。

試料表面形状の変化は、表面原子間力顕微鏡を用いて観察し、さらに、表面における化学組成や化学結合状態の変化はX線光電子分光分析器を用いて測定した。

3. 結果

図1に軌道環境曝露(1年及び2年間)試料の摩擦係数(ベースライン破線)、ならびに加熱後の真空中摩擦の時間変化を示す。曝露しないステンレス鋼の測定では粗さによる差異はあるものの

一般に加熱により摩擦係数が増大し (μ : 0.3~0.4)、なかなか減少していかないが (10^6 sec 後で μ : 0.2~0.3)、1年間曝露したステンレス鋼試料では、加熱による摩擦係数の上昇が小さく、また、冷却後低い値に短時間で戻ることが示された。さらに、他の曝露試料についても同様の傾向が見られ、特に、Cu 試料、TiN 試料、MoS₂ 試料、およびCu+BN混合膜試料についても加熱によっても真空摩擦の上昇はほとんど観察されなかった。また、2年間曝露した試料ではMoS₂ 試料以外若干の摩擦増加傾向にあることが示された。

4. 研究発表リスト

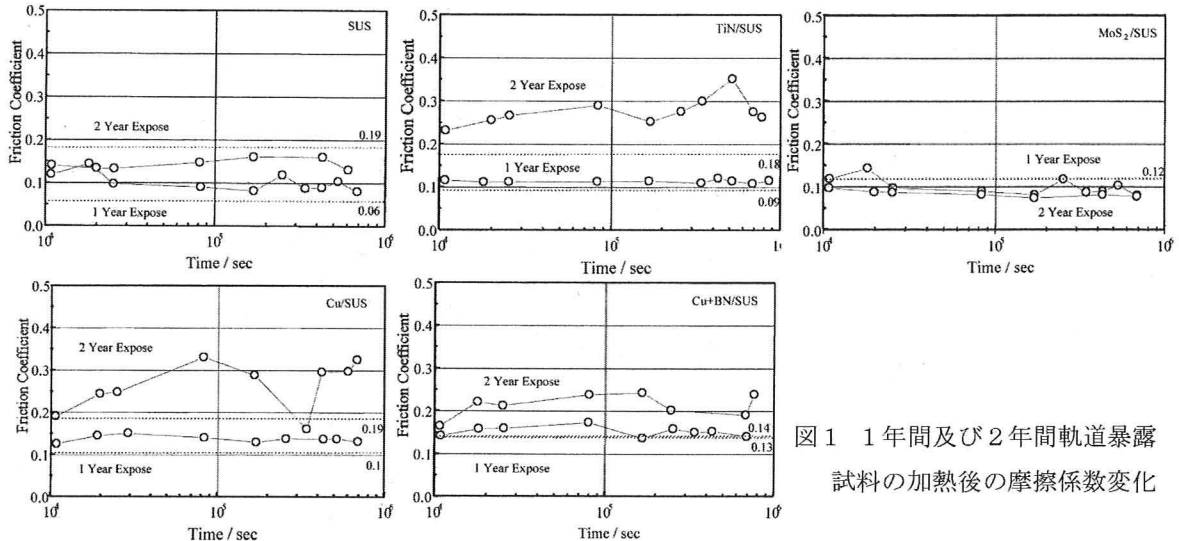


図1 1年間及び2年間軌道曝露試料の加熱後の摩擦係数変化

- 1) 軌道環境曝露による固体潤滑材料の摩擦特性変化, 日本真空協会第46回真空に関する連合講演会, 東京, 2005年.
- 2) Lubricative Coating for Space Orbit, The 4th International Symposium on Electrochemical Processing of tailored Materials (EPTM2005), 京都, 2005年.
- 3) Effect of Exposure in Orbit on Friction of Lubricative Coating, The International Astronautical Federation 56th International Astronautical Congress, 福岡, 2005年.
- 4) Effect of orbit environmental condition on friction of surface modified stainless steels, 日本トライボロジー学会International Tribology Conference Kobe 2005, 神戸, 2005年.
- 5) Frictional change in lubricant coating by exposure in orbit, International Symposium on Space Technology and Science (24th ISTS), 宮崎, 2004年.
- 6) 潤滑被膜の軌道環境曝露試験後の表面特性変化, 日本マイクロ重力応用学会第20回学術講演会 (JSMAC-20), 福井, 2004年.
- 7) 潤滑被覆膜の摩擦に及ぼす軌道環境の影響, 日本真空協会第45回真空に関する連合講演会, 大阪, 2004年.
- 8) 軌道曝露材の摩擦特性変化, 日本トライボロジー学会トライボロジー会議2004, 鳥取, 2004年.
- 9) 潤滑被膜の軌道環境曝露試験による特性変化, 日本真空協会第44回真空に関する連合講演会, 東京, 2003年.
- 10) 低軌道飛行体用潤滑被覆, 「きぼう」船外実験プラットフォーム利用材料曝露実験公開ワークショップ, つくば, 2002年.