

## 宇宙用固体潤滑剤(トライボコーティング膜を施した玉軸受)の曝露実験 -曝露環境下の宇宙機器のための新固体潤滑膜形成法-

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 足立 幸志

### 1. はじめに

しゅう動部における「摩擦制御」は、宇宙機器の信頼性と耐久性を保证するためのキーテクノロジーである。宇宙機器に代表される真空環境下における機器のしゅう動部の多くは、固体潤滑剤を用いて潤滑される。しかし固体潤滑は、液体を用いた潤滑と比較し「高摩擦であり潤滑剤の摩耗による寿命が存在する」などの本質的に避けられない欠点を有している。

これに対し、従来使用されている軟質金属薄膜より低い摩擦係数を半永久的に持続することのできる固体潤滑法として In-situ トライボコーティング潤滑法が提案され、すべり摩擦試験及び玉軸受試験においてその有効性が実証されている<sup>(1)</sup>。

本プロジェクトでは、このトライボコーティングを施した玉軸受と一般的に使用される既存の真空玉軸受を曝露実験に供し、宇宙環境への曝露によるこれら潤滑膜の材料特性および軸受の摩擦特性の変化より、トライボコーティング膜の曝露環境下の宇宙機器のための新固体潤滑膜形成法としての可能性を明らかにすることを主たる目的とする。

### 2. 成膜及び実験装置

トライボコーティングシステムを有する玉軸受摩擦試験機の概略を図1に示す。スラスト荷重は錘によって外輪のみに与られ、軸受の内輪はモータにより直接駆動される。軸受に発生する摩擦力は外輪の回転を抑える板ばねに貼り付けたひずみゲージの出力から算出した。潤滑剤(インジウム: In)を内蔵しモリブデン(Mo)線を巻きつけたセラミック製の坩堝が、玉軸受の下部に設置され、Mo線に通電加熱することにより被膜材料を蒸発させ、トライボコーティング膜を形成する。これらの装置は、 $10^{-6}$  Paの真空下に設置された。

トライボコーティングを施した2種類の玉軸受と一般的に使用される既存の真空玉軸受の合計3種類を曝露実験に供した。試験片の仕様を表1に示す。

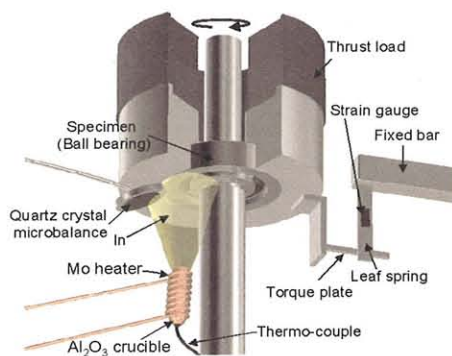


図1 成膜・摩擦実験装置の概略図

表1 3種類の試験片の仕様

内外輪	SUS440C		
玉	$\text{Si}_3\text{N}_4$	SUS440C (MoS <sub>2</sub> )	
保持器	SUS440C	フッ素樹脂	
潤滑剤	Tribo-coated In		MoS <sub>2</sub> フッ素樹脂
質量	17.32 g	18.21 g	18.00 g
ID	BR1	BR2	BR3
形状 (厚さ8mm)			

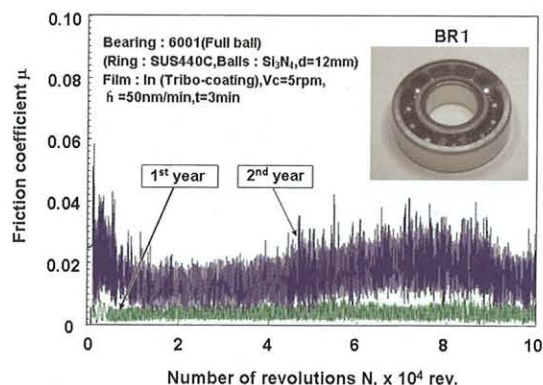


図2 曝露試験片の摩擦特性

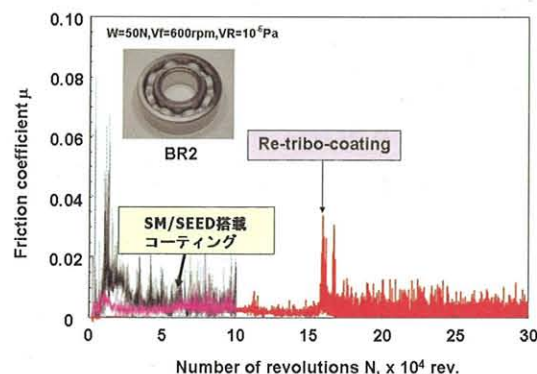


図3 曝露試験片の再トライボコーティング

### 3. 曝露実験結果

図2に、1,2年間宇宙空間に曝露させた玉軸受(BR1)の摩擦特性を示す。1年間宇宙環境に曝露した玉軸受の摩擦特性は、初期の低い摩擦状態を維持しているのに対し、2年間宇宙環境に曝露した玉軸受では、相対的に高い摩擦特性を示している。2年間宇宙環境に曝露させたBR3の摩擦特性も同様に高い特性を示しており、いずれの試験片においても、宇宙環境下において潤滑膜の特性が劣化したことを示唆している。

図3にBR2の試験片(1年間曝露)において、摩擦係数の急増が見られた地点での再トライボコーティングの結果を示す。 $1 \times 10^5$  cycleの低摩擦の後に潤滑膜の消失に伴う摩擦係数の上昇が観測されたが、再トライボコーティングにより、再び当初の低い摩擦に修復することに成功している。これは、宇宙環境に曝露した試験片であっても、軸受使用中の再トライボコーティングにより潤滑膜の修復が可能であることを実証した結果といえる。

### 4. おわりに

2年間、宇宙空間に曝露した試験片においては、いずれの試験片においても相対的に高い摩擦特性を示した。また、1年間宇宙空間に曝露した試験片であっても、 $1 \times 10^5$  cycleでの摩擦の急増が見られ寿命の低下を示した。これらは宇宙環境における曝露の影響と考えられるが、本実験のもつ特異性を考慮した場合、現時点で曝露による潤滑剤の劣化のみの影響であるとの判断は困難である。これらの点に関しては、3年間宇宙環境に曝露された試験片の結果を含め総合的に判断する予定である。

一方、宇宙環境に曝露された試験片であってもトライボコーティング法による潤滑膜のその場修復の可能性を示せたことは大きな意義を持つ。現在、研究室にて進行中のその場トライボコーティングのためのマイクロユニットを導入し、宇宙環境に曝露されるような環境であっても、潤滑特性の変化を感知、診断そして修復し、常に低い摩擦を実現できる自己修復軸受実現の可能性を意味している。

### 参考文献

- (1) K. Adachi, H. Shibuya, S. Obara, K. Kato, Film formation mechanisms of indium by tribo-coating on ball bearing in UHV, Synopses of the International Tribology Conference, Kobe, 2005 82005) P-44.