

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 有 田 正 司

本論文は「宇宙環境要素が二硫化モリブデン系固体潤滑膜のトライボロジー性能に及ぼす影響に関する研究」と題し、5章からなる。

高度 300~500 km の低地球周回軌道 (LEO : Low Earth Orbit) 上を秒速 8km で運動する宇宙ステーションには、実験用あるいは補給用のペイロードを脱着、固定するためのマニピュレータやラッチ機構が設けられる。これらは宇宙環境に直接曝露された状態で摺動・接触する可動部を有しており、長期間メンテナンスフリーで稼働することを保証するには信頼性の高いトライボ設計が要求される。中でも、摺動面、接触面の潤滑設計は極めて重要であり、高真空用の潤滑剤として十分な実績のある二硫化モリブデン系固体潤滑膜の使用が検討されている。しかし、原子状酸素や紫外線など LEO 環境要素が、この潤滑膜の性能、寿命に与える影響は十分解明されておらず、信頼度の高いトライボ設計は困難である。

そこで本論文では、多種ある二硫化モリブデン系固体潤滑膜の中から最適の潤滑膜を選定し、目的に適うように設計するための指針を確立することを目的として、LEO 環境模擬実験装置の使用と LEO 実環境曝露の双方の手段により、複数の二硫化モリブデン系固体潤滑膜の性能、寿命に対して LEO 環境要素が与える影響を定性的、定量的に明らかにするとともに、複数の手法を組み合わせることで固体潤滑膜の表面分析を行ない、LEO 環境要素の作用のメカニズムを解明するという研究を展開している。

第 1 章「序論」では、二硫化モリブデン系固体潤滑膜の潤滑作用、およびこの潤滑剤が宇宙用固体潤滑剤として有望であること、しかし LEO 環境要素の中で化学的に活性な原子状酸素と太陽からの紫外線や宇宙線が潤滑膜に大きな影響を与える可能性があることを述べている。また、先行する関連研究の内容を論じ、次いで本研究の目的と研究方針を述べている。

第 2 章「原子状酸素が二硫化モリブデン系固体潤滑膜のトライボロジー性能に及ぼす影響」では、金属ディスク表面に各種の二硫化モリブデン系固体潤滑膜を成膜し、地上で人工的に作り出した LEO 環境中で膜に原子状酸素を照射したあと、LEO と同等の真空環境でピン・オン・ディスク摩擦試験を行って、摩擦係数と寿命の変化を測定している。その結果、原子状酸素は摩擦係数を増大させるが、寿命にはほとんど影響しないことを見出している。さらに、オージェ電子分光(AES)と X 線光電子分光(XPS)を適用して固体潤滑膜を構成する各原子の潤滑膜深さ方向分布と化学結合状態を詳細に論じ、グラファイトのようにせん断抵抗の小さい層状構造をもつ二硫化モリ

ブデンが摩擦係数の高い酸化物に変化するために摩擦係数が増加すること、最も優れた性能を示す有機バインダ膜は、この酸化の度合いが少なく二硫化モリブデンの残存量が多いことを見出している。

第 3 章「紫外線が有機バインダ二硫化モリブデン固体潤滑膜のトライボロジー性能に及ぼす影響」では、第 2 章と同種の金属ディスク表面に有機バインダ二硫化モリブデン固体潤滑膜を塗布焼成し、地上で人工的に作り出した LEO 環境中で膜に紫外線を照射したあと、やはり第 2 章と同様に LEO と同等の真空環境でピン・オン・ディスク摩擦試験を行って、寿命の変化を測定している。その結果、紫外線を照射すると寿命は低下するどころか大幅に延伸することを見出している。そこでフーリエ変換赤外分光法(FT-IR)を適用して紫外線照射による有機バインダの分子構造の変化を詳細に検討し、もともと架橋反応が不十分であった樹脂が紫外線照射によって架橋反応が進行したためにバインダの機械的性質が強化されたことが寿命延伸の原因であることを見出している。

第 4 章「LEO 実環境が有機バインダ二硫化モリブデン固体潤滑膜のトライボロジー性能に及ぼす影響」では、第 2 章、第 3 章によって最終使用目的に最も適うと判断された有機バインダ二硫化モリブデン固体潤滑膜を塗布焼成した金属ディスクを宇宙空間に打ち上げて実際の LEO 環境に長期間曝露したあと回収し、第 2 章、第 3 章と同じ高真空ピン・オン・ディスク摩擦試験を行っている。その結果、摩擦係数は第 2 章の結果と異なってほとんど増加せず、一方、寿命は第 3 章の結果と同様に大幅に延伸することを見出している。そこで、AES、XPS、FT-IR を適用して固体潤滑膜の表面分析を行ない、二硫化モリブデンの酸化は膜の極薄い最表面にとどまること、有機バインダ樹脂の架橋が進行していることを見出し、実験結果の説明ができることを示している。また、第 2 章、第 3 章の実験結果との若干の差異は、人工照射装置による原子状酸素と紫外線の特性が実際の LEO 環境を完全には模擬できていないことによって説明できることを示した。

第 5 章「結論」では、以上の知見を総括している。また付録として、本研究で使用した AES、XPS、FT-IR の分析手法の特徴と使用機器の性能についても述べている。

以上を要するに、本研究は従来明らかにされていなかった、宇宙空間における化学的に活性な原子状酸素と紫外線が二硫化モリブデン系固体潤滑膜の摩擦係数と寿命に与える影響、およびその作用のメカニズムについて、実験に基づく論証により明らかにしたものである。また、各種表面分析手法の複合的な利用方法の有効性、および優れた性能、寿命を保証する二硫化モリブデン系固体潤滑膜の調製方法をも提示しており、全体として工業並びに工学に対する寄与が大きい。

よって、本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。