

S-09(SO-03)

2023A5071, 2023B5071

BL16XU

月面有人と圧ローバトランスミッション開発における放射光利用

高橋直子¹⁾、小坂悟¹⁾、磯村典武¹⁾、大石敬一郎¹⁾、佐野敏成²⁾横山崇³⁾、松本康司³⁾、劔持伸朗³⁾、小原新吾³⁾、多田亜喜良⁴⁾、角谷真夕子⁴⁾、金子博之⁴⁾¹⁾(株)豊田中央研究所、²⁾トヨタ自動車(株)、³⁾(国研)宇宙航空研究開発機構(JAXA)、⁴⁾ENEOS(株)

月面有人と圧ローバ開発では、地球環境とは異なる月面環境特有の課題が多く存在する。例えば、月面は温度が -238°C から $+120^{\circ}\text{C}$ 、圧力が 10^{-12} から 10^{-15} 気圧、宇宙放射線量が地球周回比の2から3倍と過酷な環境である。重力も地球の $1/6$ であるため、潤滑用ポンプ機能への影響が大きい。また、宇宙レゴリスと呼ばれる磁気を帯びた細かく、尖鋭な月面砂の部品への噛み込み等も懸念される。とりわけトランスミッション開発では、真空および極低温下での潤滑が課題であり、ギヤや軸受摺動部の耐久性の向上、密閉性の高いオイルシールの開発等が必要である。中でも、オイルに関しては粘度を下げることで凝固が回避できるが、油膜形成性の低下により金属同士の接触が増加し、焼付きや疲労損傷が起こりやすくなる。さらに、これまでの宇宙探査機にはない10年、10000 km以上の長距離探査においてもトランスミッションを正常に機能させ続けなければならない。

そこで、トランスミッションの摺動摩擦面にオイル添加剤由来の被膜を生成させ、保護機能を持たせることで耐摩耗性、耐焼付き性および耐疲労性の向上を試みている。被膜を機能させるためには、膜厚、組成、化学状態、基材の疲労(変質)などの詳細を分析し、把握する必要がある。

硫黄-リン系極圧剤を添加したOil SP、真空での極圧剤の揮発を考慮したOil P、代替硫黄-リン系極圧剤を添加したOil SP2のいずれも低粘度オイルを 80°C に加熱し、大気圧または $10^{-1}\sim 10^0$ Paの真空環境下にてピンオンディスク摩擦試験を行った。摩擦速度は 0.5 m/s、摺動距離は 10.8 km、荷重は 5 N、最大面圧は 1.3 GPaであった。摩擦試験の結果、Oil SPでは真空環境下において摩耗が大きかったが、Oil PとOil SP2では摩耗が抑制された。

次に、摩擦試験後の摺動部に生成した被膜を放射光を含む各手法で分析した。HAXPES分析はSPring-8のBL16XU(サンビーム)にて入射X線エネルギー 7.942 keV、Take off angle 85° の条件で実施した。図1にHAXPESによる各オイル摺動部における被膜中の硫黄の濃度とスペクトルを示す。真空環境下においてOil SPに対し、Oil PとOil SP2の被膜では硫黄が増加しており、硫黄のスペクトルより化学状態は硫化鉄と推察された。この結果から、ある種の硫化鉄が摩耗の抑制に効果がある可能性が推察された。

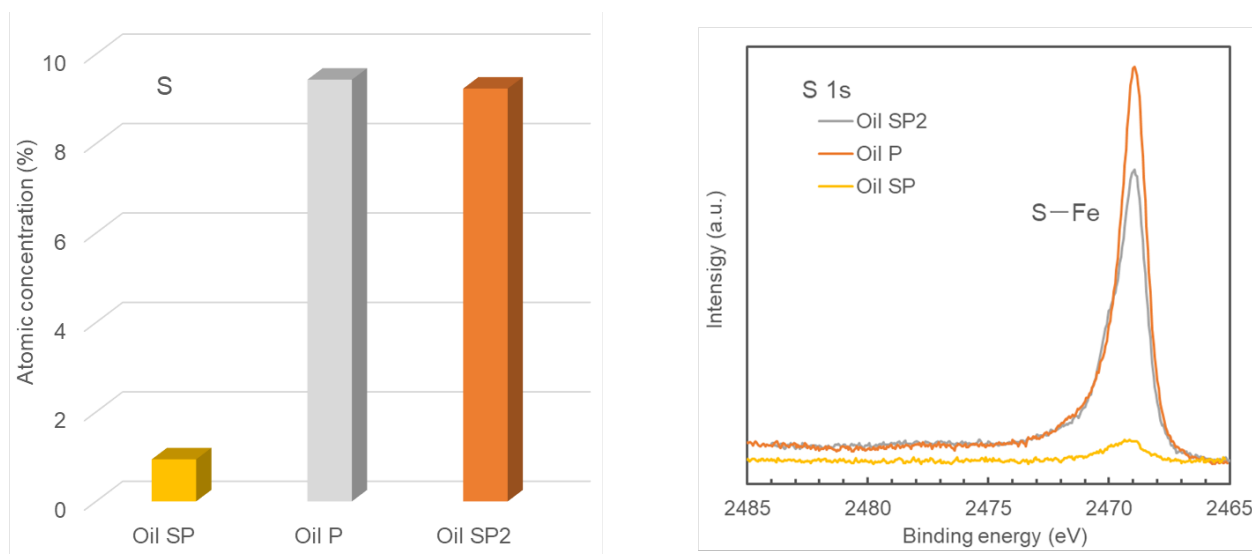
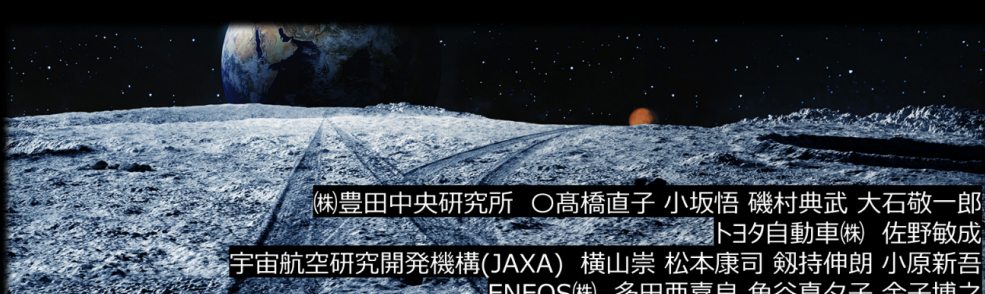


図1 HAXPESによる被膜中の硫黄の濃度(左)および硫黄スペクトル(右)

2024/9/11
第21回SPring-8産業利用報告会

月面有人与圧ローバトランスミッション開発における放射光利用



(株)豊田中央研究所 ○高橋直子 小坂悟 磯村典武 大石敬一郎
トヨタ自動車(株) 佐野敏成
宇宙航空研究開発機構(JAXA) 横山崇 松本康司 剣持伸朗 小原新吾
ENEOS(株) 多田亜喜良 角谷真夕子 金子博之

2024/9/11
第21回SPring-8産業利用報告会

ルナクルーザー開発 トランスミッションオイル開発の連携体制



JAXA **ENEOS** **TOYOTA** **TOYOTA CENTRAL R&D LABS., INC.**

2024/9/11
第21回SPring-8産業利用報告会

まとめ

ルナクルーザートランスミッション開発において月面模擬環境下で**摩耗発生**
 トランスミッションオイルの添加剤処方改良・アウトガス試験・被膜の観察および**放射光分析**
 ↓
 処方改良で**摩耗抑制/硫黄揮発**で摩耗/約50 nmの**リン酸鉄系・硫化鉄**被膜が摩耗に影響

今後

- 摩耗メカニズム解明
- 耐焼付き・疲労向上処方検討
- 実機試験・評価・分析

謝辞

JAXA	間庭和聡様
ENEOS(株)	菅野泰徳様 志田亮也様
トヨタ自動車(株)	岩見雅弘様 床桜大輔様 椎名貴弘様
	橋本洋人様 熊谷厚法様
サンビーム	JASRI 理化学研究所 あいちSR 関係各位

Sun (サンビーム) からLunarを目指します
ご指導・お力添えをお願い致します

18/18

ルナクルーザーイメージ動画 <https://youtu.be/W56soAx7yvw>