

鉄道車両用潤滑油の再生可能性

Possibility of Recycling Lubricating Oil Used in Railway Vehicles

鉄道総研（正）*鈴木 淳一 生駒 一樹

Junichi Suzumura Kazuki Ikoma

Railway Technical Research Institute

1. 緒言

持続可能な社会の実現に向け、各業界では温室効果ガスの排出量を削減する取り組みが進められている。鉄道の脱炭素化に向けた方向性については、2022 年から国土交通省の「鉄道分野におけるカーボンニュートラル加速化検討会」において議論が行われ、①鉄道事業そのものの脱炭素化、②鉄道アセットを活用した脱炭素化、③環境優位性のある鉄道利用を通じた脱炭素化、の3つの柱に沿った取組みを進めていくことが提言された¹⁾。これを受けて、鉄道事業者等では、電力ネットワークの効率化や内燃動車におけるバイオディーゼル燃料の適用、鉄道貨物を利用した水素輸送などの取組みを推進している。本講演では、鉄道の脱炭素化に貢献しうるトライボロジー技術として、鉄道車両用潤滑油の脱炭素化に向けた方向性について検討した結果を報告する。また、鉄道車両で使用された潤滑油の再生可能性について、異物除去および添加剤の追添加の観点から検証した結果を報告する。

2. 鉄道車両用潤滑油

鉄道車両には様々な潤滑油が、1両あたり10～200L程度使用されている。比較的多くの油が使用されている箇所としては、電車走り装置の車軸軸受（新幹線電車）や歯車装置の軸受・歯車、内燃動車のエンジンや液体式変速機、減速機の軸受・歯車等があり、これらの潤滑油は数ヶ月から数年ごとに実施される車両の定期検査の際に交換される。現在、使用済みの油は産業廃棄物として燃焼処理が行われており、この過程で多量の温室効果ガスが排出される。

3. 鉄道車両用潤滑油の脱炭素化に向けた方向性

鉄道車両用潤滑油は車両用材料としては多量ではないが、比較的短い周期で廃棄されるため、特に潤滑油の廃棄量を削減することで効率的に温室効果ガスの排出量を削減できると考えられる。鉄道車両用潤滑油の脱炭素化に向けた方向性について、以下に示す。

(1) バイオマス原料の適用

鉄道用材料へのバイオマス原料の適用による脱炭素化の取り組みとして、営業列車を用いたバイオディーゼル燃料の実装試験が行われ、実車への適用可能性が示された²⁾。一方、潤滑油への適用に際しては、歯車装置潤滑油（ギヤ油）等の油は鉄道車両専用に製造された油であり、鉄道車両の使用条件において十分な性能と耐久性を有しているか検証する必要がある。

(2) 更油周期の適正化

鉄道車両用潤滑油に対しては、潤滑油の寿命や汚損に対して十分な余裕を考慮した更油周期が設定されている。潤滑油の劣化状況を適切に評価し、安全性を確保しつつ更油周期を適正化することで潤滑油の廃棄量を削減できると考えられる。さらに、オンラインセンサ等により潤滑油の劣化状況をモニタリングし、CBM（状態基準保全）を導入することでさらなる廃棄量の削減も期待できる。

(3) 潤滑油の再生

使用済潤滑油を精製し基油として再利用する「再生基油」の適用、また、劣化や汚損の度合いが特に小さい場合は、異物除去などの精製処理により余寿命を延伸する、または他用途の潤滑油として使用する「潤滑油再生」による廃棄量の削減が考えられる。前に述べたように、鉄道車両用潤滑油では比較的短い周期で定期的な交換が行われていることから、再生基油の原料となることが期待される。潤滑油再生については4章で詳述する。

(4) エネルギー損失の低減

過去に開発された、新幹線電車の寒冷地走行に対応して低温流動性を向上させたギヤ油は、低温から常温にかけての粘度が現行油より小さいため、走行に必要なエネルギーを低減できる可能性がある。現在、ギヤ油の粘度などの性状が走行時のエネルギー損失に及ぼす影響を定量的に評価する研究が行われている³⁾。

4. 使用済潤滑油の再生可能性

鉄道車両で使用されたエンジン油、車軸軸受油およびギヤ油について、異物除去による精製および添加剤の追添加を実施することによって性能を回復できるかどうかを検証を行った。

4.1 試料油の異物除去方法

試料油の異物除去方法としては、過去にエンジン油を対象に検証を行った結果から、より簡便で効果が大きい遠心分離法を採用した⁴⁾。試料油に対し、遠心分離機で最大遠心力21800 xgを24時間負荷させることで異物粒子を沈殿させたのちに上澄みを回収した。エンジン油については微細なカーボン粒子が多量に混入することから、最大遠心力209000 xgを3時間負荷させる試験も追加で実施した。精製処理前後の試料油に対し、溶剤不溶解分の測定（ASTM

D893 準拠), ICP 法による摩耗金属分分析およびパーティクルカウンタを用いた異物粒子の粒径測定を実施した。

4.2 試料油の性状評価

精製処理前後の試料油の性状を Table 1 に示す。エンジン油 (No.1-1~1-3) では、遠心分離により異物粒子数が大幅に減少するが、油中のカーボン量を示す指標である溶剤不溶解分は半減程度にとどまり、摩耗金属分の減少割合も小さい。また、最大遠心力を大きくした条件でもこの傾向はほとんど変わらない。本試験の条件では、粒径が 2μm 未満のカーボン粒子や摩耗金属粉が残存していたと考えられる。車軸軸受油 (No.2-1~2-2) では、遠心分離により異物粒子数および摩耗金属分が顕著に減少する。ギヤ油 (No.3-1~3-2) では、遠心分離により特に大粒径の異物粒子が顕著に減少する一方、摩耗金属分の減少割合は異物粒子と比較して小さい。本試験で用いたギヤ油は摩耗金属粉が顕著に多く含まれた試料であり、エンジン油と同様に小粒径の粒子が残存していたと考えられる。

Table 1 Properties of sample oils.

No.	Refining types	Neutralization number (mgKOH/g)	Insoluble amount (mass%)	Wear metal density (ppm)			Number of contamination particles (particles/ml)			
				Fe	Cu	Al	2μm≤	5μm≤	15μm≤	25μm≤
1-1	Unprocessed engine oil	Base: 2.24	2.18	20	1	3	4345169	508075	1127	121
1-2	21800xg*24h	Base: 2.31	1.04	15	1	2	15962	1167	129	26
1-3	209000xg*3h	Base: 2.38	0.97	13	1	0	40463	5520	366	79
2-1	Unprocessed axle bearing oil	Acid: 0.11	0.03	11	3	6	534079	70639	602	109
2-2	21800xg*24h	Acid: 0.09	0.00	0	1	1	1887	463	50	8
3-1	Unprocessed gear oil	Acid: 1.09	0.09	241	485	1	1338174	678339	75430	7219
3-2	21800xg*24h	Acid: 1.13	0.01	81	248	0	37626	5844	46	3

4.3 精製処理した試料油の摩擦摩耗特性

精製処理を施した試料油の摩擦摩耗性能を評価することを目的として、シェル四球試験 (ASTM D4172 準拠) を実施した。試験終了後に 3 個の固定球についた楕円形の摩耗痕の直径を計測し、試料油の耐摩耗性能を評価した。試験結果を Table 2 に示す。エンジン油および車軸軸受油では、遠心分離により摩擦摩耗特性の改善が見られ、摩耗痕径は未使用油と同程度である。一方、ギヤ油では摩擦摩耗特性の改善は見られなかった。この理由として、小粒径の摩耗金属粒子が多量に残存していたことが考えられる。

4.4 添加剤の追添加

エンジン油においては、添加剤である清浄分散剤の消耗およびそれに伴うカーボン粒子の凝集 (スラッジの増加) が主な劣化要因であり、更油周期の適正化を検討する際の阻害要因となる場合がある。そこで、消耗によって減少した清浄分散剤を追添加することでエンジン油の余寿命を延伸できる可能性が考えられる。未使用のエンジン油および使用済エンジン油 (No.1-1) に対して、塩基価が 300mgKOH/g のカルシウムスルホネートを 2%および 4%添加し、塩基価を測定した結果を Table 3 に示す。清浄分散剤の追添加によって塩基価は増加するが、増加量は未使用油よりも使用油の方が小さい。この理由として、追添加した清浄分散剤が使用油中の燃焼ガスやカーボン等と反応した可能性が考えられる。今後、これらの油の特性について検証を進める予定である。

Table 2 Results of shell four ball tests.

Sample	Wear scar diameter (mm)
Unused engine oil	0.506
1-1	0.546
1-2	0.504
1-3	0.512
Unused axle bearing oil	0.622
2-1	0.720
2-2	0.596
Unused gear oil	0.373
3-1	0.459
3-2	0.456

Table 3 Addition test of detergent inhibitor.

Sample	Base number (mgKOH/g)		
	No additive	2% additive	4% additive
Unused engine oil	8.64	12.42	16.59
1-1	2.24	4.17	6.85

5. 結言

鉄道車両用潤滑油の脱炭素化に貢献しうるトライボロジー技術として、①バイオマス原料の適用、②更油周期の適正化、③潤滑油の再生、④エネルギー損失の低減などが考えられる。これらのうち、異物除去および添加剤の追添加による潤滑油の再生可能性について検討した。その結果、遠心分離により使用済潤滑油中の異物粒子数を大幅に低減でき、一部の油については摩擦摩耗特性を改善できる可能性があることがわかった。一方、異物粒子数が多い試料では小粒径の粒子が残存し、摩擦摩耗特性が改善しない場合がある。今後、処理方法の検討、実使用に近い条件での摩擦摩耗特性評価、および添加剤を追添加した油の特性評価等を進める予定である。

文献

- 国土交通省 鉄道分野におけるカーボンニュートラル加速化検討会 報告書：鉄道分野のカーボンニュートラルが目指すべき姿, 2023
- 高重達郎, 奥野敬太, 荒川貴裕, 岡部彰人: 次世代バイオディーゼル燃料を用いた実証試験, JREA 協会誌, Vol.67, No.9, pp.48169-48172, 2024
- 木川定之, 高橋研: ギヤ油の油量が電車用歯車装置のエネルギー損失に及ぼす影響 ー性状の異なるギヤ油での比較ー, トライボロジー会議 2023 春 東京 予稿集, pp.259-260, 2023
- 鈴木淳一: 使用済潤滑油中の異物粒子が耐摩耗性能におよぼす影響, トライボロジー会議 2024 秋 名護 予稿集, pp.60-61, 2024