

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

Effect of Contamination Particles in Used Lubricating Oils on Wear Characteristics

鉄道総研（正）*鈴木 淳一

Junichi Suzumura

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。潤滑油に関する脱炭素化の取り組みにおいては、使用済潤滑油を精製し基油として再利用する「再生基油」の適用が注目されている¹⁾。鉄道車両で使用される車軸軸受潤滑油、駆動装置潤滑油およびディーゼルエンジン油（以下、「エンジン油」）などは、一般に潤滑油の寿命に対して十分な余裕を考慮して定期的に交換が行われており、顕著な劣化や汚損は生じていないと考えられることから、再生基油の原料となることが期待される。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「潤滑油再利用」への適用も期待できる。一方、再生基油や再使用潤滑油の品質は、原料となる使用済潤滑油の性状の影響を受けることから、使用済潤滑油の劣化や汚損状況を把握し、これらが潤滑性能におよぼす影響を評価することが重要である。本研究では、鉄道車両で使用されたエンジン油について、異物粒子の除去による摩擦摩耗性能の改善効果を評価した。以下にその結果を報告する。

2. 試料および試験方法

(1) 試料油の精製処理

評価対象とした使用済潤滑油（以下、「試料油」）は、鉄道車両で使用されたエンジン油である。試料油は、定期検査において更油を実施した際に採取され、約3か月間（約3万km走行相当）営業車両で使用された油である。試料油の精製処理法として、ろ過法および遠心分離法を検討した。ろ過法では、セルロース製の円筒ろ紙（目開き1μm）に試料油を滴下することで異物粒子を除去した。遠心分離法では、試料油50mlを延伸沈殿管に入れ、遠心分離機で最大遠心力21800xgを2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。

(2) 潤滑油の性状分析

試料油中に含まれる異物粒子の量や粒径等を評価することを目的として、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析およびレーザ透過式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。

(3) 摩擦摩耗試験

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4球試験およびring on disk型摩擦摩耗試験を実施した。それぞれの試験条件をTable 1に示す。シェル4球試験における試験条件はASTM D4172に準拠した条件とし、試験終了後に3個の固定球についての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。ring on disk型摩擦摩耗試験における試験条件は、試験機の仕様等を考慮して可能な限り厳しい試験条件に設定した。試験中の摩擦係数および油温の測定結果、および試験後の試験片の状況などから試料油の摩擦摩耗特性を評価した。

Table 1 Test condition of friction and wear tests.

	Shell four ball test	Ring on disk test
Test specimen	1/2 inch bearing balls; SUJ2	Ring; High-strength brass, Disk; SUJ2
Rotation speed, Sliding speed	1600 min ⁻¹ , 45.24 m/min	2000 min ⁻¹ , 143.26 m/min
Radial load	392 N	500 N
Oil temperature	Fixed at 75°C	Start at 25°C, Maximum at 150°C
Test time	60 min	120 min or time to reach 150°C

3. 試料油の性状分析結果および考察

精製処理前後の試料油の性状をTable 2に示す。試料油1-1および2-1は精製処理前の油であり、試料油1-1の方が2-1よりも清浄分散剤の残存量の指標である塩基価が小さく、また、溶剤不溶解分、摩耗金属分および異物粒子数が多いことから、劣化と汚損の度合いが大きい。試料油1-2および1-3は試料油1-1に対して精製処理を施した油である。両者の性状を比較すると、遠心分離により精製処理を行った試料油1-3の方がろ過により精製処理を行った1-2よりも異物粒子の除去効果が多いことがわかる。試料油1-3では未処理油（1-1）と比較して、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し、異物粒子数は粒径によるものの最大で0.2%程度まで除去されている。異物粒子数の減少度合いに対して溶剤不溶解分の減少度合いが小さい理由として、粒径が2μm未満のカーボン粒子が除去できずに残存していることが考えられる。また、摩耗金属分については顕著な減少は見られない。ICP法では酸による溶解などの試

料の前処理を行わない場合、粒径 10 μm 以上の摩耗粉は検出感度が大幅に低下するとされている。以上から、精製処理により ICP 法で検出が難しい大粒径の摩耗金属粒子は除去されるが、カーボン粒子と同様に微細な摩耗金属粒子は残存していると推定される。試料油 2-2 は未処理油（2-1）に対してろ過法により異物粒子を除去した油であるが、溶剤不溶解分、摩耗金属分および異物粒子数の減少傾向は、同様にろ過法を適用した試料油 1-2 と概ね類似した傾向である。

Table 2 Properties of sample oils.

No.	Refining types	Base number (mg/g)	Insoluble amount of solvent (mass%)	Wear metal density (ppm)			Number of contamination particles (particles/ml)			
				Fe	Cu	Al	2 $\mu\text{m}\leq$	5 $\mu\text{m}\leq$	15 $\mu\text{m}\leq$	25 $\mu\text{m}\leq$
1-1	Non	2.24	2.12	20	1	3	4345169	508075	1127	121
1-2	Filtration	2.37	2.05	19	1	3	2892837	312126	1013	56
1-3	Centrifugation	2.31	1.04	15	1	2	15962	1167	129	26
2-1	Non	3.91	0.22	8	1	3	600845	84724	290	24
2-2	Filtration	3.94	0.13	8	1	2	331594	13740	87	18

4. 摩擦摩耗試験結果および考察

摩擦摩耗試験の結果を Table 3 に、ring on disk 試験における各試料油の摩擦係数の推移を Fig.1 に示す。なお、試料油 1-2 では、Table 2 に示す通り異物粒子の除去効果が小さいことから、摩擦摩耗特性の改善効果が大きいと推定される試料油 1-3 を選定して摩擦摩耗試験を実施した。Fig.1 から、試験開始直後と試験終了直前の摩擦係数の変動が大きいことがわかる。試験開始直後は初期なじみの過程であり、試験終了直前ではしゅう動面に面荒れが発生することで潤滑状態が悪化していると推定される。試験期間の中間は比較的摩擦係数の変動が小さい状態であり、この期間が長い油ほど摩擦摩耗特性に優れると判断できる。

Table 3 Results of friction and wear tests.

Sample	Shell four ball	ring on disk			
	Average wear scar diameter (mm)	Total test time (min)	Average friction coefficient	Time to reach 70°C, 100°C, 130°C (min)	Weight reduction of ring (mass%)
Unused oil	0.506	120	0.105	14, 36, 96	0.0204
1-1	0.546	40	0.160	7, 10, 15	0.0650
1-3	0.504	58	0.134	8, 14, 47	0.0525
2-1	0.524	65	0.130	8, 24, 51	0.0334
2-2	0.492	74	0.123	9, 18, 53	0.0416

シェル 4 球試験における平均摩耗痕径、および ring on disk 試験における全試験時間（油温が 150℃に到達する時間）、摩擦係数、油温の上昇傾向および試験片の摩耗状況から、異物粒子の除去により一定程度の摩擦摩耗特性の改善がみられる。試料油 1-3 では、粒径が 2 μm 以上の異物粒子数は最も少ないが、摩擦摩耗特性は試料油 2-1 および 2-2 と比較して劣る。3 章で述べたように、試料油 1-3 では、粒径が 2 μm 未満のカーボン粒子が除去できずに半分程度残存しており、微細なカーボン粒子が摩擦摩耗特性を悪化させる一因となっている可能性がある。一方、試料油 1-3 の塩基価は試料油 2-1 および 2-2 と比較して小さいことから、油の酸化劣化や添加剤の消耗が摩擦摩耗特性に影響を及ぼしている可能性も考えられる。

5. 結言

鉄道車両で使用されたエンジン油に対し、ろ過法および遠心分離法による精製処理を適用し、異物粒子の除去効果と摩擦摩耗性能の改善効果を評価した。その結果、以下の知見が得られた。

- (1) 異物粒子の除去効果は遠心分離法の方が大きいですが、今回検討した処理方法では、粒径が 2 μm 未満のカーボン粒子は半分程度残存する。
- (2) 鉄道車両で使用されたエンジン油では、カーボン粒子の量を減らすことで摩擦摩耗の改善効果が期待できる。

今後、基油の酸化劣化や添加剤の消耗に着目した検証や、車軸軸受油などの検証を進める予定である。

文献

- 1) 内藤康司：使用済み潤滑油からの基油再生の動向（第一報）
ー使用済み潤滑油リサイクルの世界動向と LCAー、トライボロジー会議 2023 春 東京 予稿集(2023)。

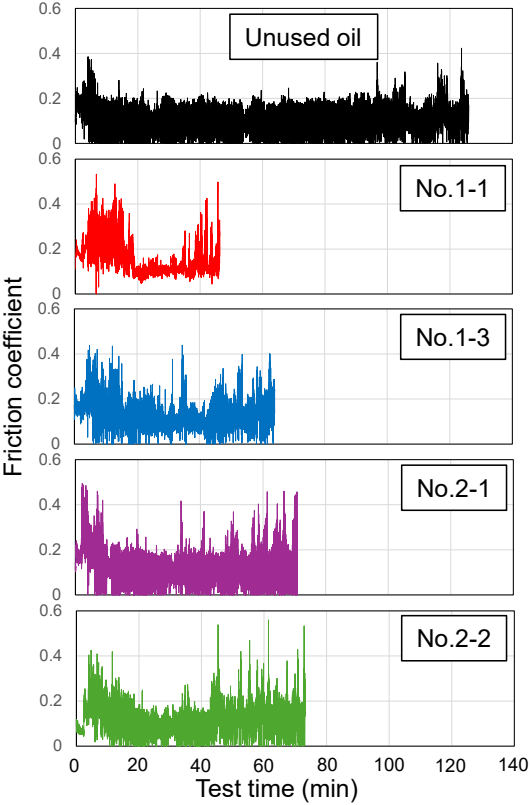


Fig.1 Friction coefficient in the ring on disk tests.