

潤滑油の新還元添加剤による粘性および寿命評価の手法

里永憲昭¹⁾ 渡邊孝司²⁾ 竹川秀男²⁾

APPARATUS AND METHOD FOR EVALUATING BEARING FATIGUE LIFE OF LUBRICANT AND VISCOSITY OF A NEW SYNTHETIC LUBRICANT

Noriaki SATONAGA Takashi WATANABE Hideo TAKEGAWA

KEY WORDS: Heat Engine, Power Transmission, /Engine Oil, Lubricating Oil/Transmission Oil, Additive Lubrication/Tribology

We developed a new unique reducing additive composed primarily of polyol-ester, di-ester, and vegetable oil-based ester compounds in order to switch from boundary to fluid lubrication and improve tribology performance, and chemically and experimentally investigated its effects on tribology performance. To confirm the lubrication effects of this reducing additive, we added it to oil and chemically investigated the cleaning and dissolving of the ultra-fine particle layer of contaminants, etc., adhering to lubrication pathways and sliding surfaces, and performed commercialization testing using actual vehicles. We found that this additive washed away and dissolved sludge, varnish, and other contaminants from lubricated surfaces, improving their lubrication properties and their tribology performance by reducing abrasion and friction. Furthermore, we would like to evaluate tribological performance by using a detector for evaluating fatigue life of the thrust ball bearing by the change depending on an additive ratio.

1. ま え が き

近年の自動車の高性能化に加えて、省資源と環境負荷低減のため潤滑油のトライボロジー性能向上に対する要求が一段と増してきている。これらの要求に応える手段として潤滑性能の向上、摩擦、摩耗の低減のためエステル系合成潤滑油が開発されてきたが、まだ、十分とは言い難い。このエステル系合成潤滑油は有機（脂肪）酸とアルコールを原料としているが、特にポリオールエステル系合成潤滑油^{(1),(2),(3),(4)}は元来、ジェットエンジンの潤滑油として広く使用されており、最近、自動車用として注目されている。

この合成潤滑油は鉱物系潤滑油と比べて、低温流動性、熱、酸化安定性に優れ、高粘度で使用温度範囲が広く、潤滑性が良好で清浄、分散性や生分解性を有するなど多くの特長を有する。しかし、欠点として加水分解しやすく、吸湿性があり、ゴム、シール材、樹脂や塗料で制限され、またコストが高い点を有するが、合成潤滑油の中でトライボロジー性能、省資源と省エネなどに対して最も機能的に優れている^{(3),(4)}とされている。合成潤滑油は各種潤滑油添加剤^{(5),(6)}を混合して製造されているが、潤滑油添加剤の主な種類として清浄分散剤、酸化防止剤、極圧剤、防錆剤、粘度指数向上剤、流動点降下剤、消泡剤や摩擦低減剤などがあり、これらの添加剤の化合物は自動車の発展とその環境とともに変革してきている。このような状

1) 崇城大学 (860-0082 熊本県熊本市西区池田 4-22-1)

n-satonaga@mec.sojo-u.ac.jp

2)(有)D1 ケミカル (812-0897 福岡県福岡市博多区半道橋 1-3-

45) watanabe@d1-chemical.com、takegawa@d1-chemical.com

況の下で最新の自動車技術に対応できる潤滑油はエステル系合成潤滑油としてポリオールエステル系やジエステル系添加剤を添加剤とした合成潤滑油が不可欠と考えられる。

本研究はエンジン、トランスミッション、デファレンシャルギアなどの自動車用潤滑油の潤滑、摩耗、摩擦性能などをより改善するため、2次的合成添加剤としてポリオールエステル (POE)、ジエステル (DST) や植物油系エステル (VOE) 化合物などを主成分とした独自の還元添加剤 (SOD-1)を開発し、トライボロジー性能に及ぼす影響を化学的作用と実用試験等により確認し、さらに還元添加剤の添加割合に対する粘性評価や寿命評価の解析方法を検討したので報告する。

2. 最近のエンジンにおける潤滑油添加剤の傾向

最近のエンジンにおける潤滑油添加剤の傾向⁽⁷⁾を見てみると、ディーゼルエンジンは不完全燃焼による煤 (C) が、燃料の燃焼によって発生する NO や SO₃ と反応してできる生成物がデポジットの主成分で、ラッカー、ワニスは圧縮行程の末期近くで発生する低分子の燃料酸化物と考えられている。燃焼室内のデポジット低減に燃料添加剤と潤滑添加剤を併用した報告⁽⁷⁾がある。また、排ガスの後処理として煤や灰の捕捉を目的とした DPF の灰分蓄積を少なくするために、カルシウム硫酸塩をベースにした潤滑油添加剤⁽⁸⁾があり、クランクケース内の潤滑油中の煤の存在がバルブ系とライナー摩耗に影響を与えるので、適切な潤滑添加剤を用いることにより両者の摩耗を制御して実用化できた報告⁽⁹⁾がある。

ガソリンエンジンのデポジット生成は、高温領域での基油の酸化劣化が主原因と言われ、低温領域では燃料とその酸化物が主原因となり、これらの物質はブローバイガスの成分としてクランクケース内で樹脂状やカーボン状物質を形成して、エンジン内部の潤滑油経路や各部の堆積物となる。また、ガソリンエンジンの低摩擦持続性を延長可能な新規の潤滑油添加剤⁽¹⁰⁾や硫黄を含まないジアルキルリン酸亜鉛 (ZnDTP) やリン酸エステルなどの耐摩擦性向上添加剤⁽¹¹⁾も開発されている。したがって、両エンジンにとって共通のデポジット対策は、潤滑油添加剤の清浄分散、分解性と酸化防止が最も重要な作用と言える。

3. 新還元添加剤

3.1 新還元添加剤のコンセプト

自動車エンジン、変速機、デファレンシャルギアなどの潤滑摺動部表面に固着したデポジット、ワニスやスラッジなどのコンタミ類は、時間の経過とともに積層して、トライボロジー性能（潤滑、摩耗、摩擦）に悪影響を与えている。これらを改善するために通常、オイル交換時に灯油系清浄剤でフラッシングを実施する方法があるが、図 1 に示すように上から 3 層の一般の汚れの膜、吸着分子層と酸化膜からなるコンタミの完全除去は困難で、除去されたコンタミ類が潤滑油経路に詰まったりして清浄効果は少なくなり、潤滑不良を発生するなど逆にリスクを伴う。

したがって、本新還元添加剤は POE、DST や VOE 系化合物等を主成分に各種添加剤をブレンドした新還元添加剤を標準的な添加率としてはエンジン、手動変速機、パワーステアリングとデファレンシャルギア・オイルに 10 vol%，自動変速機オイルは 7 vol% 混合して、潤滑作用をしながらコンタミ類を清浄、除去し、最初の金属加工面に戻す還元作用により、摩擦損失を大幅に低減し十分なオイルクリアランスを保持することで潤滑性を改善して摩耗、摩擦を減少できる独自の作用である。

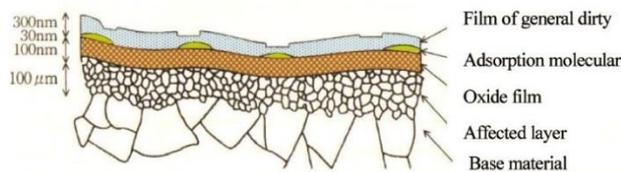


Fig.1 Components of Solid Surface

よって、本新還元添加剤のコンセプトは潤滑摺動部のコンタミ類を清浄、分解、除去して、最初の準滑面（金属加工面）を再生、還元することにより、潤滑、摩耗、摩擦といったトライボロジー性能の改善を示唆している。本新還元添加剤の最大の欠点は加水分解やすささと吸湿性であり、またゴム、シール材を膨潤、硬化する特性があるが、この対策として石油系油脂のグリース成分等を添加することによって対応しているが、逆に良好な結果を得ている。

Table 1 Oxidation Stability Test of Reducing Additives (SOD-1)

Kinematic Viscosity	40°C mm ² /s	610.0
	100°C mm ² /s	92.4
Viscosity Index		243
Pour Point	°C	-42.5
Flash Point (PM)	°C	170.0
Ash	mass %	2.305
Oxidation Stability (ISOT)		
Viscosity Ratio		1.06
Increased Oxidative	mgKOH/g	-0.80
Lacquer Rating		No Deposits

3.2 エンジンオイル化学的性状における新還元添加剤の影響

新還元添加剤の化学的性状とエンジンオイルに及ぼす影響を表 1 に示す。高粘度、温度による粘度変化が小さく耐燃性、低温流動性に優れる POE、DST 系化合物の特色を表している。酸化安定度試験 (ISOT) は粘度比 1.06 で酸化前後の粘度変化が少なく、酸化の増加の -0.80 mgKOH/g は加熱後の酸化が少なく、ラッカー度は付着物なしで酸化物やスラッジが混入していないことを示している。

3.3 新還元添加剤をエンジンオイルに添加時の化学的性状

新還元添加剤をエンジンオイル (SN5W-30) 新油に 10 vol% 添加時の化学的性状の結果を表 2 に示す。オイルの耐熱性と洗浄分散性の程度を 10 段階で判断するホットチューブテストの評点は新還元添加剤無しが 7 で添加後は 8 で 14.3% の上昇であった。ゴム膨潤度は同様に各々 5.6 と 8.2% で 46.4% の増加であった。

以上のように新還元添加剤の効果は大きく、特に動粘度とファレックス焼付荷重の増加率は約 30% 前後あり、これらの上昇率が後述するように新還元添加剤が潤滑、摩擦、耐熱性と洗浄分散性などの複合作用とゴム、シール材の硬化防止といったトライボロジー性能の改善に寄与していることを示唆している。

Table 2 Effects of Reducing Additive Chemistry on Engine Oil (SN5W-30)

	SOD-1	SN5W-30	SN5W-30+SOD-1(10 vol%)	Progress Rate %
Kinematic Viscosity	40°C mm ² /s	610.0	60.9	77.6
	100°C mm ² /s	92.4	10.5	13.5
Viscosity Index		243	162	179
FALEX Seizure Load	lbs	—	750	1000
Hot Tube Test	289°C Mark	—	7	8
Rubber Swelling Degree	vol%	—	5.6	8.2

Table 3 Effects of “SOD-1” on ATF Oil Chemistry and Shear Stability (Ultrasonic Method, JPI-5S-29-88)

	New Oil (ATF)	New Oil (ATF)+SOD-1(7 vol %)	Progress Rate %	
Kinematic Viscosity	40°C mm ² /s	33.7	42.2	25.2
	100°C mm ² /s	7.21	8.96	24.3
Viscosity Index		185	200	8.1
Acid Value	mgKOH/g	1.72	1.48	-14.0
Shell 4-Ball Wear Test (ASTM D4172)	mm	Seizure	0.46	—
Shear Stability (Ultrasonic Method)				
Kinematic Viscosity	40°C mm ² /s (Before Test)	33.6	42.0	25.0
	40°C mm ² /s (After Test)	30.8	36.3	17.9
	Rate 40°C %	-8.33	-13.6	—
Kinematic Viscosity	100°C mm ² /s (Before Test)	7.21	8.97	24.4
	100°C mm ² /s (After Test)	6.50	7.59	16.8
	Rate 100°C %	-9.85	-15.4	—

3.4 ATF オイルに及ぼす新還元添加剤の影響と剪断安定度試験

ATF オイル（新油）に及ぼす新還元添加剤（7 vol%添加）の影響と剪断安定度試験の結果を表 3 に示す。シェル四球摩耗試験において新還元添加剤無しの ATF オイルは焼付いたが、添加後は 0.46mm の摩耗径であった。よって ATF においても新還元添加剤の動粘度に対する影響は約 25%増加し、粘度指数は 8.1%増加し、酸価もマイナスを示しており、これらの特性が新還元添加剤の高粘度、耐熱、耐酸性安定性と耐摩耗性の向上に対する影響を示している。

さらに、剪断安定度試験は超音波試験法により 40°C と 100°C で測定した。

したがって、剪断安定度試験により試験前の 40 と 100°C の動粘度の増加率は両者とも約 25%で、試験後においては同様に動粘度の増加率は両者とも約 17%で、試験前後における 40 と 100°C の動粘度の増加率は、各々約 63 と 57%を示しており、以上の結果から、本新還元添加剤の添加によって粘度変化による剪断安定度の影響は無かった。

3.5 新還元添加剤の添加率に対する潤滑油の粘度変化

エンジン、手動変速機、デファレンシャルギア・オイルに 10vol%、ATF オイルに 7vol%を添加することを標準としているが、添加率に対する粘度変化を測定した結果を表 4 に示す。本実験は潤滑油として ATF、5W-30、VG320 の新たなグレード潤滑油を使用したことから基油から粘度を再測定し混合割合を 3、5、7、10 vol%と変化させて粘度の変化を測定した。表 2、表 3 の基油データと粘度が異なるが、合成油の粘度は規格としての範囲（たとえば SAE 規格で 100°C には 9.3~12.5mm²/s）を認められることから、仕様としては規格を満足している。表 4 に基油に対する変化の割合を示す。図 2 に各潤滑油とも測定における誤差を含むと考えられるような変動幅が見られたが、傾向としては一定の比例関係の上昇傾向が認められる。

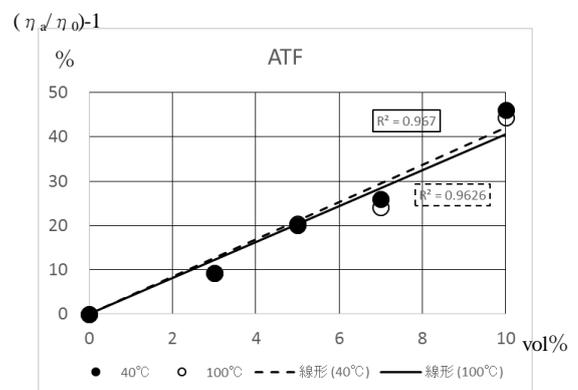
また、基油の粘度が高いほど、特に高温時（100°C）の混合割合に対する上昇率は低下する傾向が認められた。

Table 4.Effects of new Reducing Additive ratio Viscosity on Lubricant Oil (ATF, 5W-30, VG320)

ATF	Base Oil	Base Oil (ATF)+SOD-1				
		0vol%	3vol%	5vol%	7vol%	10vol%
Kinematic Viscosity	23.9	26.1	28.7	30.1	34.9	
	40°C mm ² /s					
100°C mm ² /s	5.4	5.9	6.4	6.7	7.8	
Viscosity Index	170	182	189	191	204	

5W-30	Base Oil	Base Oil (Engine oil)+SOD-1				
		0vol%	3vol%	5vol%	7vol%	10vol%
Kinematic Viscosity	60.4	70.1	65.5	66.3	77.4	
	40°C mm ² /s					
100°C mm ² /s	11.6	14.0	14.0	13.7	16.4	
Viscosity Index	191	208	223	215	229	

VG320	Base Oil	Base Oil (Gear oil)+SOD-1				
		0vol%	3vol%	5vol%	7vol%	10vol%
Kinematic Viscosity	324	327	330	350	334	
	40°C mm ² /s					
100°C mm ² /s	23.9	26.0	30.0	32.0	33.2	
Viscosity Index	94	104	125	129	140	



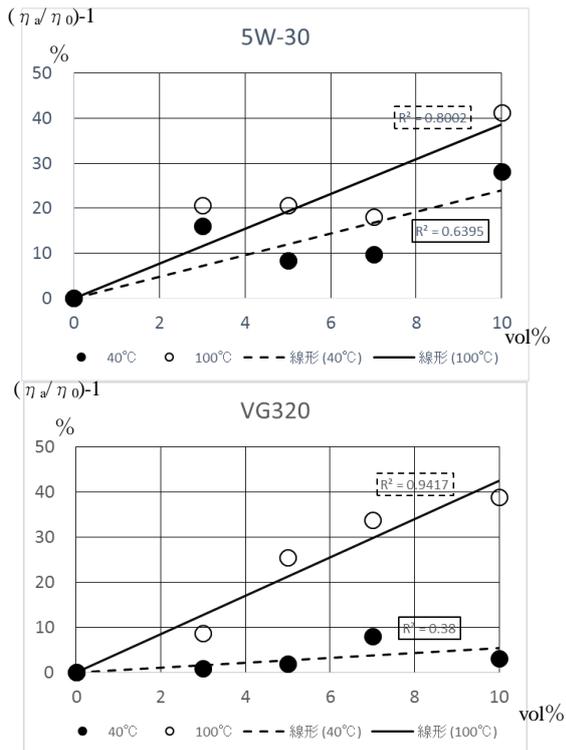


Fig. 2 Rise ratio of viscosity for the additive ratio

3.6 エンジンオイルによるシェル四球摩耗試験における新還元添加剤の影響

某自動車メーカーの純正オイル 5W-30 (新油) を用いて新還元添加剤によるシェル四球摩耗試験の摩擦、摩耗の影響を測定した。試験方法は回転速度 1200rpm, 負荷 40kgf, 温度 75°C, 時間 60 min で実施した結果, 図 3 に示すように添加剤無しの摩耗痕径は 0.46 mm で添加剤有りは 0.33 mm と新還元添加剤の添加が 0.13 mm 少なく 28.3% の減少率を示し, これらの数値から本新還元添加剤が摩擦, 摩耗に対して有効な特性を有しており, トライボロジー性能の改善の可能性を示唆している。

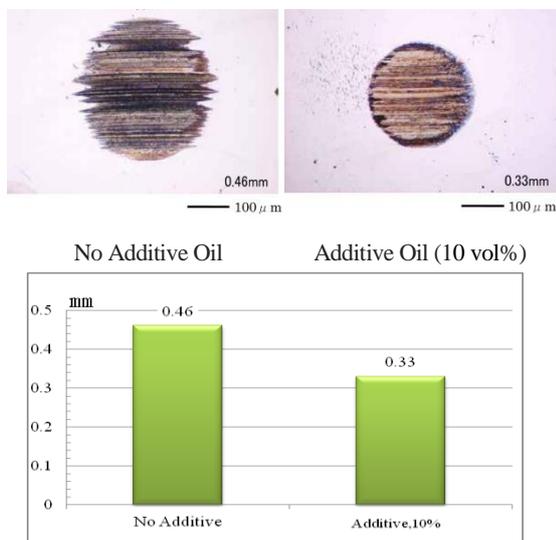


Fig.3 Shell 4-Ball Wear Test (SN 5W-30)

4. 新還元添加剤を用いた実用例

4.1 新還元添加剤の添加によるガソリンエンジンの内部洗浄例

中古軽自動車の車検整備後, 純正エンジンオイルに交換して約 1,000 km 走行後にエンジン分解をして内部点検をした。その後, エンジンを組み立てて還元添加剤を 10 vol% 添加して平均 50 km/h で 5089 km 走行後にエンジンを再分解して 1 回目の比較点検をした。さらに, 再組み立て後に同条件で 5,032 km, 合計 10,121 km 走行後に 2 回目の比較点検をした。その結果, 1, 2 回目とも新還元添加剤の添加後は各所に清浄化が進行しており, 特にシリンダボディのオイル通路孔に蓄積していた閉塞気味のヘドロ状のスラッジがほぼ清浄, 除去されていた点は注目の成果であった。

新還元添加剤の添加前後のシリンダヘッド上面内部とピストン側面の比較を図 4 に示す。シリンダヘッド上面内部は 2 回目の比較で示すが, カムシャフトやカム駆動部分の表面に黒く固着していたスラッジ, カーボンのコンタミ類が分解, 清浄化されて金属面が現れているのが分かる。ピストンについては, 図 4 に示す 1, 2 回目の側面写真からクラウン部はもとよりトップランドのスラッジ類が著しく分解, 清浄化され, 1st と 2nd ピストンリングの固着解放による復元とオイルリングの清浄化が認められた。さらに, ピストンリングとクラウン部を試験前と拡大比較すると, 清浄化の状況がより明確に認められる。

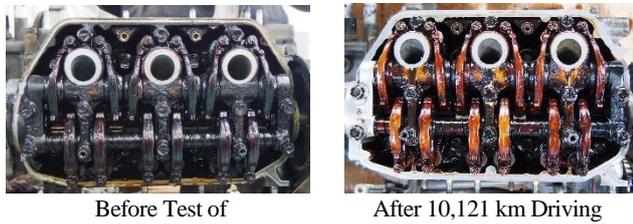
排気ガスの改善例として, 1500 cc の普通乗用車に新還元添加剤を添加前後におけるアイドル時の CO, HC の測定値を表 5 に示す。この表から CO が 0.03 %, HC が 45 ppm と大巾に改善されたことが分かる。このように新還元添加剤はエンジン内のスラッジ, カーボン, ワニス, デポジット類を分解, 洗浄し最初の金属加工面を還元でき, 燃焼も改善されることが立証できた。

4.2 D1 グランプリドリフト競技車のミッションオイルにおける新還元添加剤の効果

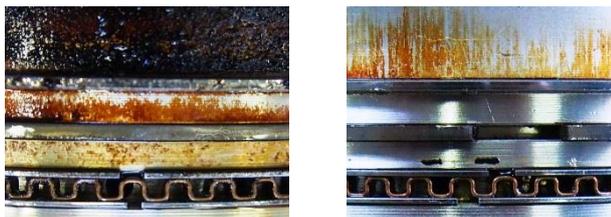
最近, ドリフト競技が脚光を浴びているが, 従来のモータースポーツと比較してかなり過酷なレースで, スタートから 500 m を 10 sec 前後で約 200 km/h に急加速後, 急減速に耐えるエンジンとトランスミッション等に対する高度な耐久性と耐摩耗性を要求される。この車両のミッションオイルに新還元添加剤の有無について各々 2 時間走行して, そのオイルのシェル四球摩耗試験と元素分析を実施した結果を表 6 と図 5 に示す。この結果, 摩耗痕径は新還元添加剤無しで 0.93 mm, 添加剤有りで 0.38 mm で 59.1 % 少なく, 元素分析で最も顕著な有意差のあった元素は Fe で, 添加剤無しで 15 mass%, 添加剤有りで 4 mass% を示し, 73.3 % の改善率により摩擦と摩耗が著しく減少することを示した。さらに, Cu, Al, P などについても同様に 60.0~97.8% の改善が見られた。また, ドライバーによる

Table 5 Effects of Reducing Additives on Emission of CO, HC

	CO %	HC ppm
Before Addition	0.03	54
After Addition	0.00	9



Cam Shaft Assembly in Cylinder Head



Enlarged View of Crown and Piston Rings



Before Test



Piston Side View of Before Test and After Addition

Fig. 4 Effects of Reducing Additive on Camshaft Assembly, Piston Side and Piston Rings

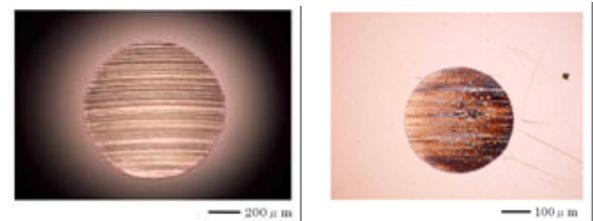
と添加剤有りの時、変速のUP、DOWN時のショック音が静かでスムーズであったとの感想であった。

以上の結果により、本新還元添加剤は過酷なミッションなどの潤滑状況においても、摩擦、摩耗などのトライボロジー性能を著しく改善ができ、高耐久性を明らかにした。その他、潤滑油中の異物の成分、形状などを観察し、状態の劣化状況の評価する手法⁽¹²⁾を用いることで、本添加剤の有効性をメカニズムとして示すことが期待できるが、そのことは今後の課題と

して検証を加える。

Table 6 Acid Dissolution Metal Analysis of Reducing Additive on Transmission Oil in Drift Car Engine (Shell 4-Ball Wear Test)

Transmission Oil	85W-250	85W-250 + SOD-1	Progress Rate %
Diameter of Wear Scar mm	0.93	0.38	—
Element Mass %			
Fe	24.9	1.2	95.2
Pb	0.0	0.0	0.0
Cu	0.5	0.2	60.0
Cr	0.2	0.0	100
Al	3.1	0.2	93.5
Ni	0.0	0.0	0.0
Sn	0.1	0.0	100
Si	0.2	0.0	100
B	0.1	0.0	100
Na	0.4	0.0	100
P	4.5	0.1	97.8
Zn	0.5	0.5	0
Ca	0.5	0.1	80.0
Ba	0.1	0.0	100
Mg	0.0	0.0	0.0
Mo	0.0	0.0	0.0
V	0.0	0.0	0.0



No Additive Oil Additive Oil (10 vol%)

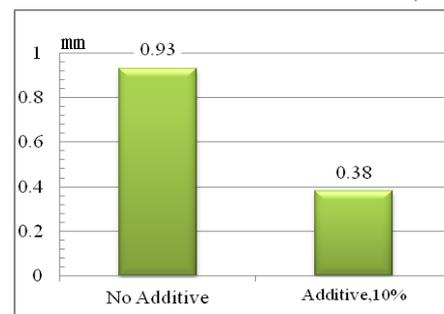


Fig. 5 Shell 4-Ball Wear Test (レース用 MT オイル 85W-250)

4.3 軸受寿命評価の方法

試験機としては図6に示すスラスト玉軸受寿命試験機を用いる。試験片はスラスト玉軸受 51104 (外径 35mm、内径 20mm、高さ 10mm、玉径 5.56mm) の玉数を 14 個から 3 個に減じ、モータによる回転をベルトにて伝達し油浴槽に設置した軸受の外輪 (上輪) を回転させ、内輪 (下輪) を固定し

た。軸受けに与えられる荷重は圧縮バネを締付けることにより、スラスト荷重を4.4kNとし、軸回転数は1000rpmと固定した。回転によるトルクを計測することにより摩擦力を把握することができる。この条件下での定格寿命は11.38h、最大ヘルツ接触圧力は4GPaとなる。実験上の安全を確保するために軸受の破壊による振動が所定の値を超えるようになった時、もしくは許容のトルク力を超えるような状況になった時には安全装置が作動し、モータ電源が停止するように安全管理にも配慮した設計をした。

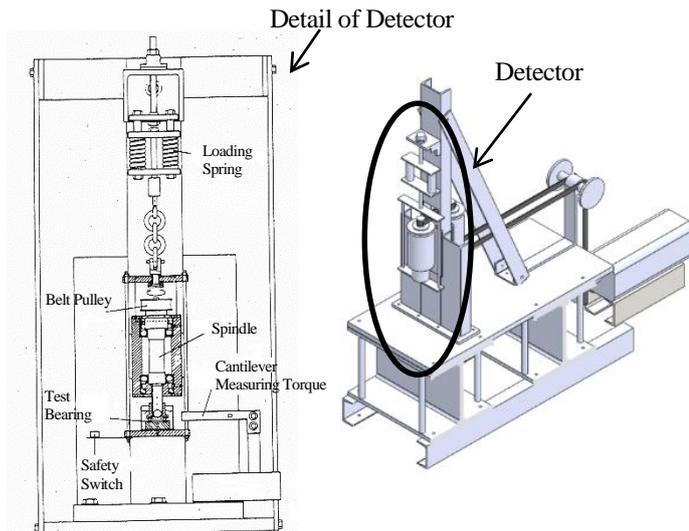


Fig.6 Detector for evaluating fatigue life of the thrust ball bearing

評価するデータは、新還元添加剤の添加割合による油温、摩擦力、振動加速度を追跡しながら行うこととし、さらに、様々な潤滑油を同条件で観察し、実際の機械要素として軸受けに与えるトライボロジー性能を評価、究明していく予定である。

5. 結論

合成添加剤としてポリオールエステル (POE)、ジエステル (DST) や植物油系エステル (VOE) 化合物などを主成分とした独自の還元添加剤を開発し、トライボロジー性能に及ぼす影響を化学的作用と実用試験等により確認した結果、下記の結論が得られた。

- 1) ポリオールエステル、ジエステル系と植物油系エステル化合物などを主成分とした独自の還元添加剤は、潤滑面のスラッジ、ワニスなどのコンタミを洗浄、分解することにより潤滑面を再生し、摩耗や摩擦を低減させてトライボロジー性能を改善できる。
- 2) 本還元添加剤の化学的、物理的特性からトライボロジー性能の改善に寄与できることが確認され、その中で特に添加割合に対する粘度変化を観測し、粘度上昇率は一定の比例関係で上昇し、基油粘度が大きいほど粘度の上昇率に与える影響は小さい傾向が見られた。

- 3) 本還元添加剤はエンジンの摩擦損失、排気ガスや燃費低減のみならず、オートマチック・トランスミッションやデファレンシャルギアなどのトライボロジー性能にも画期的な効果を示す。
- 4) 潤滑油の性能を評価する装置として軸受寿命試験機を製作し、実験条件、評価方法を明確にした。

謝辞

本添加剤の化学的作用については、さらに工学的な解明を加えて実施する。最後に実験を支援してくれた崇城大学機械工学科生産システム工学研究室の清水秀真、中村優真の両君、実験の機器調整にご協力いただいた(有)D1 ケミカル 園田智之取締役社長に感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 里永憲昭、渡邊孝司:自動車用潤滑油の還元添加剤によるトライボロジー性能に及ぼす影響、自動車技術会春季大会予稿集 No.316(2015)
- (2) Noriaki Satonaga, Takashi Watanabe : Effects on Tribology Performance of a Reducing Additive for Automobile Lubricant SAE-2015-01-2047(2015)
- (3) 平野二郎:ポリオールエステル系合成潤滑油の動向、潤滑、第29巻第9号, p627-635 (1980)
- (4) 平野二郎:油化学, 第22巻, p695(1973)
- (5) 田島 正:潤滑油添加剤について、自動車技術, vol.29, No.3, p210-215 (1975)
- (6) 林 茂美:潤滑油添加剤について、自動車技術会シンポジウムテキスト, p8-13 (1983)
- (7) S. R. Kelemen, et al.: Fuel, Lubricant and Additive Effects on Combustion Chamber Deposits, No.982715 (1998)
- (8) Alexander Sappok, et al.: Characteristics and Effects of Lubricant Additive Chemistry on Ash Properties Impacting Diesel Particulate Filter Service Life, SAE Paper (2010), 2010-01-1213
- (9) Wim van Dam, et al.: The Impact of Additive Chemistry and Lubricant Rheology on Wear in Heavy Duty Diesel Engines, SAE Paper (1999), 1999-01-3575
- (10) Katsuya A., et al.: Lubricant Technology to Enhance the Durability of Friction Performance of Gasoline Engine Oil, SAE Paper, No.952533 (1995)
- (11) Koji Hoshino, et al.: Tribological Properties of Sulphur -Free Antiwear Additives Zinc Dialkylphosphates (ZDPs), SAE Paper (2011), 2011-01-2132
- (12) Noriaki Satonaga, et al. : Condition Diagnosis Method by AE and Lubricating Oil Analysis, And Extension Method of Running Period by Improvement of Lubricating Oil for Gearbox Machinery, SICE paper (2007), Vol.6, No2, pp8-16