S114064

四球式摩擦試験機を用いた植物油のトライボロジー特性評価に関する研究石田 亮太^{*1}, 坪井 涼^{*2}, 佐々木 信也^{*2}**Evaluation of lubricating properties of various vegetable oils
by using a four-ball sliding tester**Ryota ISHIDA^{*1}, Ryo TSUBOI^{*2} and Shinya SASAKI^{*2}^{*1*2} Tokyo University of Science, 1-14-6, Kudankita, Chiyoda-ku, Tokyo, 102-0073 Japan

Vegetable oil has an excellent biodegradability. Therefore, it holds promise as an environment-friendly lubricant. Vegetable oil has superior characteristics such as film strength is strong; viscosity index is high. However, applications of the vegetable oil have not advanced, due to low anti-oxidation and performance stability and few basic data. Therefore, we aim to evaluate basic sliding characteristics of the vegetable oil. In order to investigate a load carrying capacity and seize resistance of the vegetable oil, a friction examination was performed using a four-ball sliding tester. Lubricants used in the test are vegetable- derived lubricant, edible vegetable oil and mineral lubricant. From experimental results, vegetable oil showed an excellent tribological characteristic compared to mineral lubricant. Moreover, the unsaturated fatty acids contained in the vegetable oil influence seize resistance.

Key Words : Tribology, Lubricants, Friction, Wear, four-ball test, vegetable oil

1. 結 言

潤滑油は、摩擦面間の摩擦・摩耗の低下、焼き付きや表面損傷の防止等を目的として、機械部品など多くの箇所で使用されている。潤滑油の分類として、鉱物油、動植物油、合成油などが挙げられる。古くより植物油や動物油が潤滑油として使用されてきたが、19 世紀後半以降、鉱物由来の潤滑油が一般的となり、現在では合成油の使用も拡大している。しかし、鉱物由来の潤滑油や、それに使用される添加剤の安全性への懸念、また、油の漏洩や廃油処理が要因となる環境汚染への関心の高まりから、潤滑油にも環境との適合性が強く求められるようになっていく。基油と共に使用される添加剤に関しては、微量であっても有害物質を含んだものもあり、環境や人体への悪影響も懸念される。例えば、塩素系の添加剤は、廃油の焼却処分にあってダイオキシン発生の原因になるとされ、使用が制限される方向にある⁽¹⁾。そこで環境中に放出されても生物によって無害な物質に分解され、たとえ人体に入っても安全である植物性潤滑油が、環境調和型潤滑油基油として注目を集めている。日本の環境規制において、エコマーク適合潤滑油として生分解性試験を行い、生分解性が 60%以上のものをエコマーク適合品として認定している。また、ドイツの Blue Angel では生分解性が 80%以上の油を生分解性油として認定している。さらに植物油には、油膜力が大きい、粘度指数が高い、脂肪酸や不飽和脂肪酸等の油性成分を多く含むなど潤滑油基油としていくつかの有利な特徴も有している⁽²⁾。植物油であるココナッツ油や菜種油などについては、これまでに多くの研究成果が報告されており、2 サイクルエンジンや一部の軸受などに応用されている。一方で、依然としてその他の植物油に関するデータは少ないのが現状で、耐酸化性や性能安定性に難があるとされ普及は進んでいない。

本研究では、環境への負荷が少なく人体に安全な植物油について鋼に対する基本的な摺動特性を評価することを目的とし、植物油の耐荷重性能を評価するため、焼き付き性に着目し、四球式摩擦試験機を用いた。本報では、四球式摩擦試験機を用いた摩擦・摩耗試験結果と、植物油の潤滑性について考察した結果を報告する。

^{*1} 学生員, 東京理科大学 工学研究科 (〒102-0073 東京都千代田区九段北 1-14-6)

^{*2} 正員, 東京理科大学 工学部

E-mail: s.sasaki@rs.kagu.tus.ac.jp

2. 実験方法

2.1 実験装置

図1に本実験で用いた四球式摩擦試験の概略を示す。この試験機は、モータ側の回転軸にSUJ2のボール試験片1つを固定し、下部治具に3つのボール試験片を固定する。荷重制御機構により下方から一定荷重を負荷することで、ボール試験片同士を接触させる。治具内を潤滑油で満たし、モータで回転軸を回転させ3点接触による摩擦試験を行う。また、治具に埋め込んだヒータにより、油温の温度制御を行う。摩擦係数は、下部治具に生じる摩擦トルクの計測値より求める。

2.2 実験条件

試験片には、SUJ2製の $\phi 1/2$ インチ軸受鋼球を用いた。四球式摩擦試験を用いて摩耗試験と焼き付き試験を行った。各試験の摺動条件は表1に示した通りである。焼き付き試験での荷重は525Nより600sec毎に段階的に増加させた。試験片はアセトンとベンジンの混合溶媒中で超音波洗浄した後に、試験機に取り付けた。実験に供試した潤滑油は、市販のSoy oil、食品用油(Sun flower oil, Olive oil, Sunflower oil, Grape oil, Canola oil)に加え、比較として石油由来のPoly Alpha Olefin (VG32相当)を用いた。表2に各潤滑油における粘度指数、40°Cにおける粘度を示す。表3に各潤滑油の飽和脂肪酸、不飽和脂肪酸の含有量を百分率で表した表を示す。摩耗特性は、光学顕微鏡により下部試験片鋼球の摩耗痕径を計測して評価した。

Fig.1 Schematic of four-ball sliding tester

Table 1 Test condition

Test type	Wear testing	Seizure testing
Test Method	four-ball sliding	four-ball sliding
Revolutions	600 rpm	600 rpm
Temperature	80°C	80°C
Load	525N	525, 1025, 1525, 1775N
Sliding Time	60min	—

Table 2 Viscosity of lubricant

Lubricants	Viscosity index	Viscosity at 40°C [mm ² /s]
PAO	130	32
Soy oil	225	34
Olive oil	161	36
Sunflower oil	160	39
Grape oil	171	30
Canola oil	164	33

Table 3 Fatty acid content

Vegetable oil	Saturated fatty acid	Unsaturated fatty acid			
		linoleic acid	linolenic acid	Oleic acid	etc.
Soy oil	15	50	7	26	2
Canola oil	7	30	7	54	2
Grape oil	12	71	-	17	-
Olive oil	16	8	-	75	1
Sunflower oil	12	8	-	80	-

3. 実験結果及び考察

3.1 各潤滑油における摩擦特性

図2に油温 80°C における摩擦係数 μ と測定時間 t の関係を示す。なお、負荷荷重は、図中 A では 525N, B は 1025N, C は 1125N, D は 1225N, E は 1325N, F は 1425N, G は 1525N, H は 1775N である。石油由来の潤滑油である PAO と植物油の比較をすると、植物油の方が低い摩擦係数を示した。摩擦調整剤などの添加剤を含まない基油の PAO に対し、植物油は油性剤として使用されるオレイン酸などの不飽和脂肪酸を含有していることから、その油性効果によって低い摩擦係数が得られたものと考えられる。

C 領域では、Sunflower oil で 0.06 から 0.22, D 領域では、PAO で 0.10 から 0.20, E 領域では Olive oil で 0.06 から 0.15, の H 領域では Canola oil で 0.06 から 0.25 と、摩擦係数の急上昇が確認された。摩擦係数が急上昇した原因は、摩擦面の焼き付きであると考えられる。摩擦係数が急激に上昇した後の荷重を焼き付き荷重と定義すると、図3のように示すことができる。一価不飽和脂肪酸を多く含む Sunflower oil や Olive oil では低荷重域で焼き付きが生じたのに対し、多価不飽和脂肪酸を多く含む Grape oil や Canola oil では高荷重域まで焼き付きが生じなかった。不飽和脂肪酸が摺動面に及ぼす影響の詳細は今後の検討課題である。

3.2 各潤滑油における耐摩耗性の比較

摩耗試験の各潤滑油における摩耗痕直径は、PAO で 752 μ m, Soy oil で 601 μ m, Sunflower oil で 557 μ m, Olive oil で 631 μ m, Canola oil で 612 μ m, Grape oil で 705 μ m となった。摩耗痕直径は PAO で最大となり、植物油では Sunflower oil が優れた耐摩耗性を示した。植物油は粘度指数が高く、温度上昇による粘度変化が少ないこと、不飽和脂肪酸による油性効果が機能することから、PAO に比べ優れた耐摩耗性が得られたものと考えられる。

4. 結 言

四球式摩擦試験を用いた植物油の潤滑性評価の結果、試験結果、以下のような知見を得た。

- (1) 植物油は、石油由来の基油 PAO に比べて摩擦および摩耗低減効果を示した。
- (2) 一価不飽和脂肪酸を多く含む食用植物油は、高い摩擦低減効果を示すものの、高荷重域における耐焼き付き性が劣っていた。
- (3) 多価不飽和脂肪酸を多く含む食用植物油は、高い耐焼き付き性を示した。

文 献

- (1) 大塚正和, 村木正芳, “生分解性潤滑油の動向”, トライボロジスト, Vol.50, No.3 (2004), pp.32-37.
- (2) 似内昭夫, “機械の潤滑なんでも Q&A” (1998), pp.69-71 科学図書出版.

Fig.2 Friction behavior under lubrication with each oils

Fig.3 Seizure load with each oils