

潤滑油寿命設計手法

望月 佑馬*

加藤 豪**

前田 誠*

抄 録

潤滑油は使用環境や時間の経過で劣化し、初期状態で有していた性能を失う。油温の上昇による劣化促進や金属触媒の存在による劣化加速は既知の現象であるが、各要因が劣化に及ぼす影響の定量的評価は未だ報告されていない。本報では、油温と金属触媒量を変数として潤滑油の劣化試験を実施し、各要因が余寿命に与える影響を定量的に評価した。得られた知見は、新規潤滑油の開発および最適な油交換インターバルの設定に活用可能である。

1. まえがき

添加剤の機能は、基油の性状を改善し、基油が持たない性能を付与することで、潤滑油全体としての性能を発揮させることである。特に自動車変速機用潤滑油には様々な添加剤が配合されており、クラッチの摩擦特性の制御やギアなどのしゅう動部品の焼き付き防止性能、耐久性に寄与している。しかし、潤滑油は使用環境や時間の経過に伴い劣化を生じる。劣化とは、潤滑油の性質が変化し、初期に有していた性能を失うことを指し、その場合、上記部品の制御や損傷の原因となるため、潤滑油の寿命設計は非常に重要である。

一般的に油は油温が高いほど早く劣化することが知られている⁽¹⁾。また、金属触媒の存在が油の劣化を促進させることも知られている⁽²⁾。一方、市場では両者が複雑に変化する環境で使用されるが、それぞれが油の劣化に関してどのような感度を持つのかについて定量的に報告された事例はない。

本報では、当社で使用している自動車変速機用潤滑油について、油温や金属触媒の量を変えて、様々な条件で劣化させた油を比較することで、その感度について調査したので報告する。

2. 実験方法

自動車変速機用潤滑油において、劣化の影響を最も顕著に受けるのは、クラッチの摩擦特性を制御する添加剤の消耗である。潤滑油が劣化することによりクラッチの開放、締結時のショックが懸念される⁽³⁾。そのため、当社ではクラッチ摩擦特性に寄与する添加剤の消耗を評価することで、油の余寿命を算出している。100が新油の状態で0が劣化により完全に消耗した状態とする。以下、本報の中ではこの油の余寿命を、油の劣化を表す指標として用いる。

まずTable 1の条件でISOT試験を実施し、劣化油の余寿命を整理することで油温と劣化速度の関係を求めた。

使用潤滑油としては既存のAT油を使用した。

Table 1 ISOT Test Conditions

	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7	Test 8	Test 9	Test 10
Temperature, °C	50	80	110	110	120	140	140	160	175	180
Time, h	144	144	144	1,152	280	144	576	144	216	144

その後、金属触媒の影響を調査するため、金属触媒を抜いた加熱試験（Table 2）、ユニット部品やその摩耗粉等金属触媒が多量に含まれるユニット耐久試験終了後の油（Table 3）について、併せて余寿命を整理することで金属触媒量の影響についても調査した。

Table 2 Heating Test Conditions

	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4
Temperature, °C	100	100	120	140
Time, h	1,000	3,000	3,000	2,000

Table 3 Unit Durability Test Conditions

	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4
Driving Conditions	A	B	C	D
Distance, km	37,000	5,000	38,000	18,000

3. 結果と考察

3.1 油温と劣化速度の関係

ISOT試験終了油の分析結果をTable 4に示す。余寿命から反応速度および反応速度定数を算出した。

反応速度定数を劣化の進行が初めに認められた110℃を起点として整理し、油温と劣化速度の関係を考察した。

110℃からの温度差が x ℃あった場合、その反応速度倍率は $e^{0.0471x}$ 倍となる（Fig. 1）。

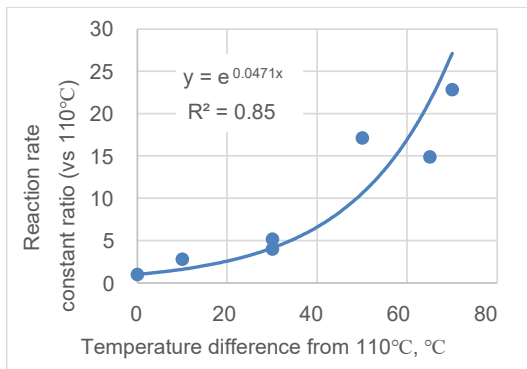


Fig. 1 Relationship between Lubricant Temperature and Reaction Rate Constant

Table 4 Results of ISOT Test

	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7	Test 8	Test 9	Test 10
Remaining life	100	100	100	64	74	75	39	36	24	23
Reaction rate	0	0	0	0.031	0.093	0.172	0.106	0.444	0.352	0.535
Reaction rate constant	0	0	0	0.0004	0.0011	0.0020	0.0015	0.0065	0.0057	0.0087

この考え方をを用い、110℃で1時間経験した時の油の熱被害を1とし、この値を熱被害数と定義することで、Fig. 2のように異なる油温での実験をまとめて整理することができる。

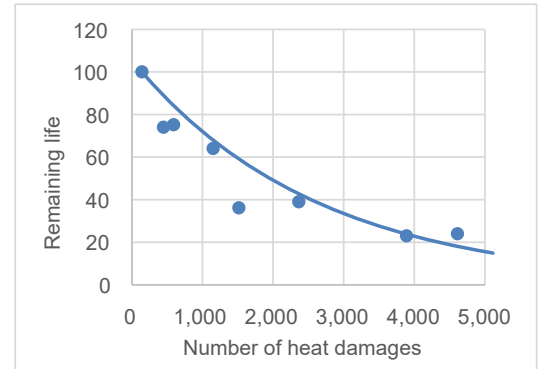


Fig. 2 Sorting Remaining Life Based on Number of Heat Damages

3.2 金属触媒の影響

各試験後の油の余寿命を算出し、それぞれ熱被害数で整理した（Fig. 3）。金属触媒無しの加熱試験終了油は金属触媒を含むISOT試験と同じ熱被害数でも長い余寿命を示した。

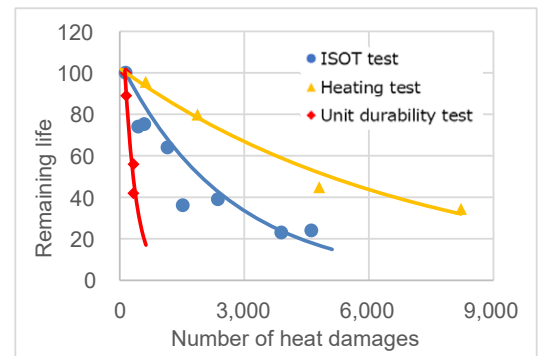


Fig. 3 Sorting Remaining Life Based on Number of Heat Damages

一方，ユニット部品やその摩耗粉等，金属触媒が多量に含まれるユニット耐久試験終了油は短い余寿命を示し，劣化速度が速くなっている様子が確認できた。

これは，鉄や銅といった金属触媒が添加剤の消耗を速めたものとする。

3.3 重回帰分析による整理

それぞれの要因の影響度合いを算出するため，得られた結果を用い，目的変数を油の余寿命，説明変数を熱被害数，金属触媒量の変数として油中Fe元素量，油中Cu元素量として重回帰分析を実施した。

得られた相関係数は0.83であり，高い相関があると解釈できる。

横軸に重回帰分析で得られた予測式から算出した油の余寿命計算値，縦軸に実測値を示したグラフをFig. 4に示す。計算値は実測値と良好な関係を示し，各油温での経験時間，金属触媒量と油の劣化の関係性を求めることができた。

また，各要因の標準化偏回帰係数も比較しており，その結果から，油の劣化に関して熱被害数，油中Cu元素量，油中Fe元素量の順に影響度が高いことが分かった。

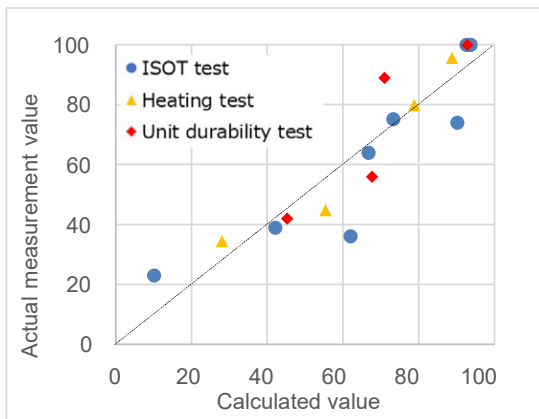


Fig. 4 Multiple Regression Analysis Results

4. まとめ

潤滑油の劣化に，各油温での経験時間，金属触媒が関係しており，今回様々な条件で劣化させた油の余寿命を比較することにより，それぞれの影響度合いについて定量的に整理することができた。

これらは，使用環境に適した寿命を持つ新油設計や適正な油交換頻度の設定のための基盤的な知見となる。

今後はユニット内の局所発熱の影響やしゅう動面の吸着による添加剤の消耗等を考慮し，更なる設計精度の向上を図り，実使用環境下における潤滑油寿命設計の確立を目指す。

5. 参考文献

- (1) 豊口 満：潤滑油酸化防止剤について，有機合成化学，13，11，512-516 (1955)。
- (2) 片山：潤滑油の酸化，油化学，5，5，261-270 (1956)。
- (3) 市橋 俊彦：クラッチに対する摩擦調整剤の作用とその劣化機構，石油学会，第41回石油・石油化学討論，2F13 (2011)。
- (4) 望月・加藤・前田：潤滑油寿命設計手法，トライボロジー会議2024秋 名護 予稿集，2024，A31

■ 著者 ■



望月 佑馬



加藤 豪



前田 誠