

# 高面圧すべり接触における水溶性加工油添加剤と 極圧添加剤のトライボロジー特性(2) 開発油剤の性能に関する研究

山口 永人\*・八木大輔\*・大山雄介\*・奥津晶彦\*\*・中辻 武\*\*\*

Tribological Properties of Water-soluble Processing Oil Additives and Extreme  
Pressure Additives  
under High Pressure in Sliding Contact(2)  
—Tribological discussion on the performance of developing oil additives—

Eito YAMAGUCHI\*, Daisuke YAGI\*, Yusuke OYAMA\*, Akihiko OKUTSU\*\*,  
Takeshi NAKATSUJI\*\*\*

## ABSTRACT

Under high pressure sliding contact, it is difficult to keep fluid-lubrication and, the contact surfaces can easily become boundary-lubrication. In such a case, it is easy to fall into the state yielding extreme wear and scuffing from thermal influence. In our researches, the processing oils blending additives fatty acid of Amine were used to be able to dissolve the additives having hydroxyl in water. Then, we tried to find the suitable processing oil for deep drawing.

*Keywords*: tribology, water lubrication, additives, high pressure, effect of dilution

## 1.はじめに

歯車や軸受等の機械要素や機械加工面などの接触面において、急速な加減速や荷重増加などの運転条件の変化等が生じる場合、容易に潤滑膜は破断され、乾燥摩擦に近い厳しい潤滑状態となる。特に高面圧状態では完全流体潤滑状態を維持するのは困難であり、境界潤滑や金属接触が支配的な状態となる。加工面においても同様で、圧延や板金プレス加工、深絞り等における加工条件が厳しい場合には、熱的影響により、極度な摩耗や焼付が生じやすい状態に陥りやすい。そのため加工油剤としては、金属接触を防止する何らかの添加剤が必要であり、特に深絞りでは発熱が大きいので、その除去も必要である。一般にこのような加工油剤としては、鉱油（以下、不水とする）に極圧添加剤を混入したものが用いられる。し

かしながら、不水の加工油剤は、廃油処理時に二酸化炭素を発生する。また、これは、石油から精製されるものであり、化石燃料等の資源を守る意味からも、できるだけ不水の加工油剤は使用しない方がよいと思われる。そこで、本報では環境に良いと思われる水溶性加工油剤がこのような厳しい加工条件でも使用可能かどうかについての検討を行った。第1報は市販の加工油剤の効果を報告したが、本報ではその結果をさらに深めた開発加工油剤の結果について報告する。

## 2.実験装置および実験方法

本研究では、図1に示されるシェル式高速四球型摩擦試験機を使用した。また、試験機の主要部である、試料油容器を拡大したものを図2に示す。試験球は回転球、固定球ともに直径1/2インチSUJ2 JIS1級の高炭素クロム軸受用鋼球を用いる。試験球の表面粗さ(算術平均高さ)は0.01[ $\mu\text{m}$ ]、ピッカース硬度は7840[HV]である。装

\* 神戸高専専攻科 機械システム工学専攻

\*\* (株)大和化成工業

\*\*\* 神戸高専機械工学科 教授

置図などは一報に示すとおりである．試験機の主要部であるオイルカップには3個の固定球と固定球の上に1個の回転球が設置されている．また，オイルカップ内は潤滑油で満たされており，荷重は下から油圧によって負荷される．

オイルカップを固定しているトーションバーに貼り付けられたひずみゲージによって，摩擦係数の算出に必要なひずみ量を測定する．



図1 シェル式高速四球形摩擦試験機

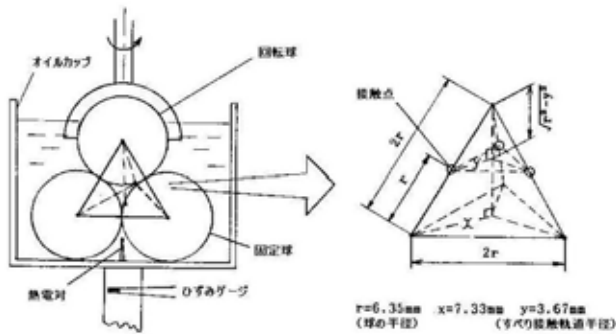


図2 試験装置主要部

摩擦係数の算出には，必要なひずみ量をペンレコーダーに記録させ，摩擦係数  $\mu$  は次式によって求めた．

$$\mu = \frac{T}{0.011P} \quad (1)$$

$\mu$  : 摩擦係数       $T$  : 摩擦モーメント [N・m]  
 $P$  : 単位球あたりの垂直荷重 [N]

表1 試料油の成分

	市販油剤 300E	開発油剤 300S
水	74.3%	59%
OH基	19%	15%
防腐剤メルカプタン系	1%	1%
防腐剤脂肪酸アミン系	0.5%	1%
アミン	5%	5%
増粘剤	0.2%	1%
界面活性剤ノニオン系	-	18%

表1に示す開発油剤 300S は，面との吸着性の向上を期待して，界面活性剤を新たに添加した．また，ダイヤモンド 300S-Sには耐焼付き性を期待して，ジスルフィド（硫黄）系極圧添加剤が5%，ダイヤモンド 300S・ZnPには耐摩耗性を期待してZnP系極圧添加剤が5%含まれている．

実験はすべり速度  $V_s=0.46[\text{m/s}]$  とし，単位球あたりの垂直荷重  $P$  は  $681[\text{N}]$  で行った．荷重比  $\alpha$  は以下に示す式より，求めることができる．

$$= \frac{\max}{HV} \quad (2)$$

ただし，

$\max$  : 最大ヘルツ応力 [MPa]  
 $HV$  : 球のビッカース硬度 [MPa]

今回高荷重領域である， $\alpha=0.70$  で実験を行った．また，試験時間は60秒とした．

### 3. 実験に関わる原理

(1) 実験における目標摩擦係数と境界潤滑

図3に相対運動している接触2面間の潤滑状態を示す．

この潤滑状態は摩擦係数により次のように区分される。本研究では、境界潤滑の代表値である摩擦係数 $\mu$ が0.08以下になることを目標としている。

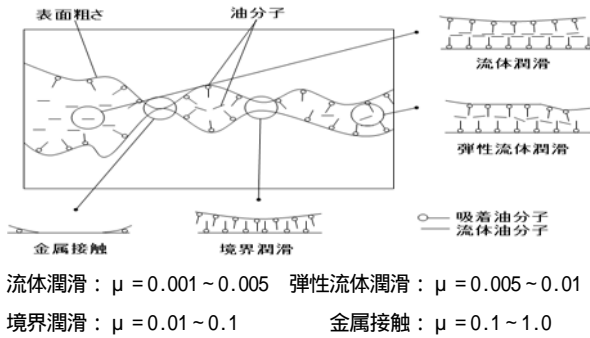


図3 潤滑状態の種類

(2)境界潤滑における油性と油膜強度

油性とは、境界潤滑状態において金属表面に油分子が物理吸着または化学吸着膜などを構成して摩擦を減少させる性質をいう。油性が高いとは、金属表面にこのような吸着膜を形成して摩擦を減少させる能力が高いことをいう。摩擦を減少させる要因となる物理吸着、化学吸着、化学反応を模式図を用いて順に説明する。

a)物理吸着と化学吸着

油性を高めるために、油に油性剤を添加するが、油性剤には物理吸着を生じる OH 基と化学吸着を生じる COOH 基がある。物理吸着とは潤滑剤と金属表面が電気的に結合することである。一般に可逆的であり、熱によって脱離するので低摩擦発生条件の場合に限られる。物理吸着の模式図を図4に示す。

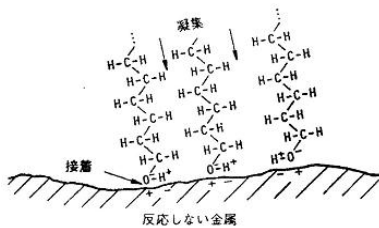


図4 物理吸着の模式図

化学吸着とは、潤滑剤の分子が化学結合し、金属石けんの膜を形成する。これは一般的に可逆的であり、化学吸着膜による潤滑は中程度の荷重、温度、すべり速度で可能であり、過酷な運転条件では膜は破断する。化学吸着の模式図を図5に示す。

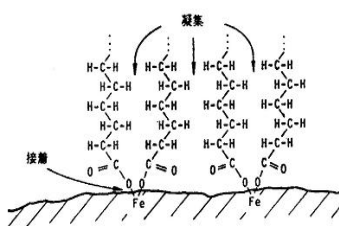


図5 化学吸着の模式図

b)化学反応

さらに油性を高めるために、極圧添加剤を添加する。多くの極圧添加剤は、硫黄S、リンP、塩素CLを含んでおり、熱によって金属と反応して硫化物、リン酸化物、塩化物といった融点の高い化合物を形成する。これは物理吸着膜や化学吸着膜よりも安定であり、高荷重、高温、高すべり速度条件に適している。硫黄系極圧添加剤は硫化ラードがよく用いられ、耐焼付き性に優れている。リン系極圧添加剤は、アミノフosphateがよく用いられ、耐摩耗性に優れている。また、2種類を混ぜたものもよく用いられる。それは自動車用である。さらに良好な潤滑作用が得られるものとしてCL-P系がある。これは塩素化パラフィンが瞬時に下地と反応して、塩化鉄皮膜を形成してそこにリンが溶解して、すぐに下地の鉄と反応するという性質を有する。しかし、廃油処理のときにダイオキシン発生の問題があり、実用的ではない。化学反応の模式図を図6に示す。

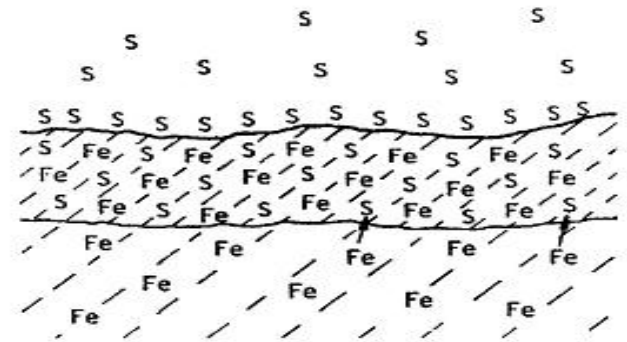


図6 化学反応の模式図

4.実験結果および考察

図7~9にそれぞれの潤滑油における摩擦係数の実験結果を原液、5倍希釈、10倍希釈と希釈ごとに示す。また、図10にそれぞれの希釈における摩耗径の測定結果を示す。

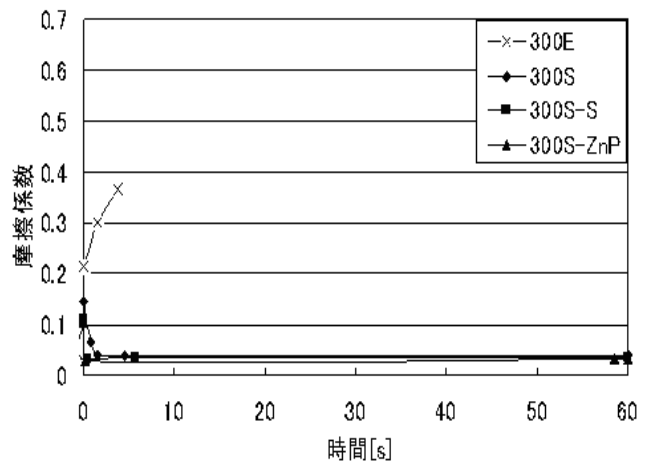


図7 原液における摩擦係数の比較

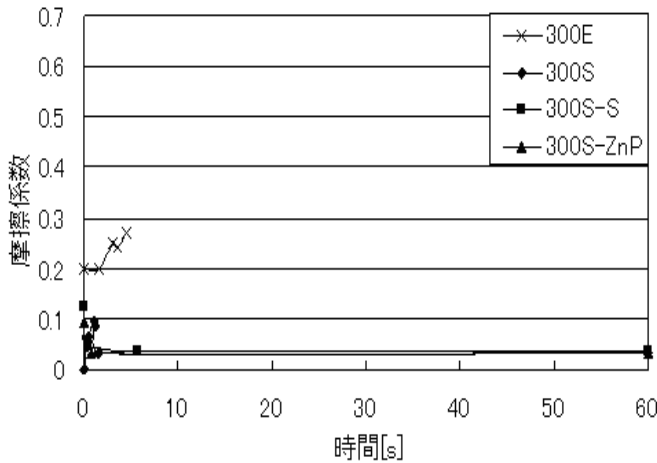


図8 5倍希釈における摩擦係数の比較

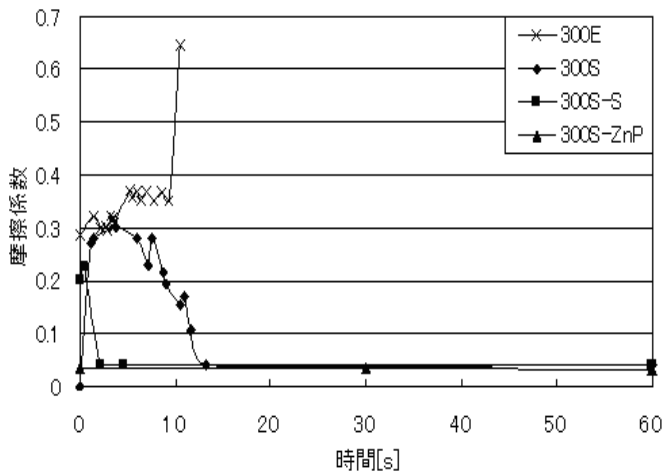


図9 10倍希釈における摩擦係数の比較

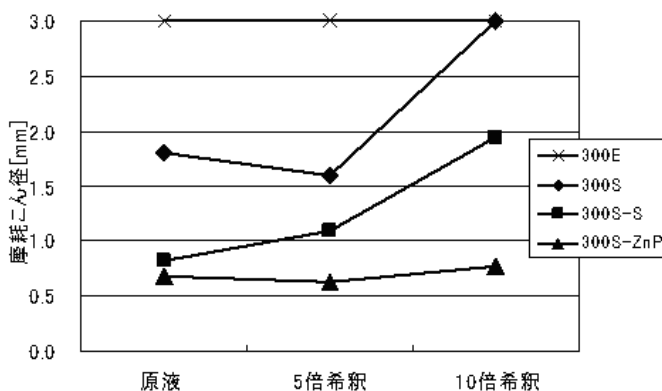


図10 摩耗こん径による比較

300Eは、原液、希釈を行った場合いずれも凝着を起こした。これは表1に示すように300Eはソルフィン酸主体の潤滑油であり、OH基による油性剤の効果はほとんどないと考えられる。300Sは原液、5倍希釈の場合において良好な摩擦係数の結果が得られた。これは、ノニオン系界面

活性剤により、水と潤滑油の親和性が増すことによって、接触面に添加剤が十分吸着したためだと考えられる。また、図10に示す摩耗こん径の比較からも原液と5倍希釈においては、低い値を示し界面活性剤の効果と思われる良好な結果となった。10倍希釈では、界面活性剤の効果はほぼなくなり、凝着を起こした。300S-Sは原液、5倍希釈において良い性能を示した。10倍希釈においても、ほかの希釈に比べて良好とはいえないが、ジスルフィド系極圧添加剤が添加されていない300Sが凝着したのに対し、凝着は起こさなかった。これはジスルフィド系極圧添加剤によって、2面間に硫化鉄被膜が形成され、金属接触状態が緩和されたためである。第1報に示した、塑性変形による避けられない摩耗こん径  $d = 0.67\text{mm}$  と比較しても、300S-ZnPはその程度の摩耗こん径を示していることから、300S-ZnPは全ての希釈において良好な結果を示し、今回使用した潤滑油の中で最も良い性能が得られた。これは300S-ZnPにはZnP系極圧添加剤が含まれているため、2面間にリン酸鉄被膜が形成され、金属接触が緩和されたためである。また、ZnP系極圧添加剤はジスルフィド系極圧添加剤よりも耐摩耗性に優れているため、5倍や10倍希釈の場合も摩擦係数、摩耗こん径ともに低い値になったと考えられる。また、この摩耗こん径の値は、第1報の500Eの値よりも小さく、300S-ZnPの開発油剤は、優れた摩擦摩耗特性を示していると言える。

### 5. おわりに

市販されている潤滑油と、その潤滑油に界面活性剤や極圧添加剤を添加している現在開発中の潤滑油の性能比較実験を行った。OH基の油性剤のみでは、高荷重に耐えることができず、界面活性剤、さらに極圧添加剤を添加することにより、性能が飛躍的に上昇することがわかった。とくに、界面活性剤が添加され、ZnP極圧添加剤が添加された、5倍や10倍希釈の300S-ZnPは、コストの面から考慮しても、十分な性能があることがわかった。以上の結果より、本開発の水溶性加工油剤は厳しい加工下において、不水に代わって十分適用できる可能性があることを見出した。

謝辞：以上の研究は、科研費(21560156)の助成を受けたものである。

### 参考文献

Daisuke YAGI, Yusuke OYAMA, Takeshi NAKTSUJI and Akihiko OKUTSU: "Tribological Properties of Water-soluble Processing Oil Additives and Extreme Pressure Additives under High Pressure in Sliding Contact (2)", Proceedings of CJIGHMTMD-2008, pp239-244