

研究種目：基盤研究(B)  
 研究期間：2005～2008  
 課題番号：17360067  
 研究課題名（和文） トライボ化学反応を活用する高性能潤滑剤の研究  
 研究課題名（英文） Application of tribochemical reaction for development of high performance lubricants  
 研究代表者 森 誠之(MORI SHIGEYUKI)  
 岩手大学・工学部・教授  
 研究者番号：60091758

研究成果の概要：

表面化学の立場から潤滑油添加剤の反応を制御し、より適切な潤滑特性を得るために表面形状の影響を検討した。鋼試験片表面に適切な粗さを与えることにより、摩擦係数が徐々に低下し、安定で低い値を示すことを見出した。表面分析の結果、表面の突起部で金属新生面が生成し、ここで添加剤が反応するとともに潤滑性の境界膜を形成したことを明らかにした。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
17 年度	10,100,000	0	10,100,000
18 年度	1,800,000	0	1,800,000
19 年度	1,700,000	510,000	2,210,000
20 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
総 計	15,100,000	960,000	16,060,000

研究分野：工学

科研費の分科：機械工学

キーワード：表面形状，境界潤滑，トライボ化学反応，潤滑添加剤，摩擦係数，耐摩耗，なじみ，摩擦制御

1. 研究開始当初の背景

潤滑油には摩擦係数を下げる目的で Mo を含む摩擦調整剤と摩耗を抑制する目的で Zn を含む耐摩耗剤が添加され、それぞれ摩擦によ

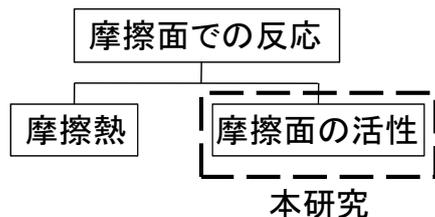


図1 摩擦面の活性因子

り反応し、摩擦面に皮膜を形成することにより潤滑性能が得られると考えられている。これまでの研究では、摩擦面における反応生

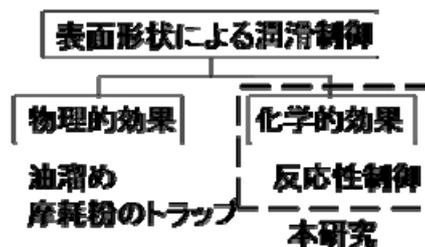


図2 潤滑特性に対する表面形状の役割

成物を解析し、その化学構造と潤滑性の関係が詳しく調べられてきた。その反応機構は、主として摩擦熱による熱反応が論じられてきたが、本研究では摩擦面の化学活性に着目し、添加剤の反応に対して新生面の化学活性を積極的に利用することを考えている（図1）。

一方、本研究におけるもう一つの目的である、潤滑特性に対する表面形状の効果については物理的な立場から研究が行われてきた。すなわち、表面に適度な形状をつけることにより、潤滑油溜めとしての役割をはたし、流体潤滑性が向上することが知られている。また、潤滑中に生成した摩耗粉を接触部から除くトラップとして表面形状が役立つことも知られている。本研究で着目したのは、このような物理的な効果ではなく、表面形状により添加剤の反応が制御できるといった化学的効果であり、この観点からの検討は全く独創的である。

## 2. 研究の目的

本研究では、摩擦面におけるトライボ化学反応に着目し、添加剤の効果をより有効に引き出すことを目的とした。摩擦条件下で起こる化学反応いわゆるトライボ化学反応の活性因子のうち、摩擦により生成する金属新生面の化学活性に着目し、新生面と潤滑添加剤の反応を制御することにより適切な境界潤滑膜を形成し、より潤滑性に優れた潤滑法を確立することを最終目的とした。

摩擦面の反応性を制御するために、試験片表面に粗さをつけ、粗さと添加剤のトライボ化学反応さらに潤滑性との関係を明らかにすることにより目的を達成する。

## 3. 研究の方法

潤滑添加剤として摩擦調整剤 MoDTC および耐摩耗剤 ZnDTP を用い、軸受鋼(SUJ-2)のディスクとボールの間での潤滑特性（摩擦係数と摩耗量）を評価した。添加剤の濃度は 300~1,000ppm である。用いた潤滑試験機は、回転式のボールオンディスク型摩擦試験機で、荷重 5, 10N、摩擦速度 20mm/s で評価した。研究目的のために、ディスク表面を粗さの異なるエメリー紙で研磨し、表面に異なる粗さの形状を作り、表面形状とトライボロジー特性（摩擦・摩耗）との関係を検討した。さらに、摩擦した表面を XPS および

TOF-SIMS を用いて化学分析し、表面形状とトライボ化学反応性および境界膜構造と潤滑特性の関係を検討した。

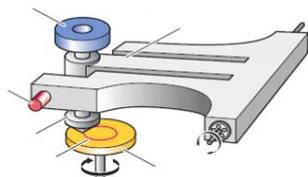


図3 摩擦試験装置

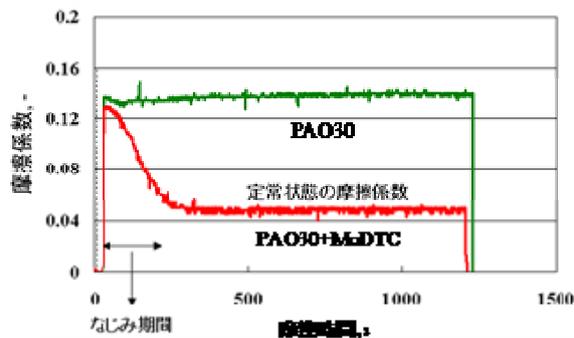


図4 基油と添加油

## 4. 研究成果

表面の形状の影響を検討するために、添加剤 MoDTC を基油 PAO に溶解した潤滑油と基油の潤滑特性を比較した（図4）。表面の平均粗さは  $0.7\mu\text{m}$  である。基油では摩擦係数が高く一定であったのに対し、MoDTC を添加した潤滑油では、摩擦時間とともに徐々に摩擦係数が低下し、低い値で定常になった。同じ添加油を用いても、表面を鏡面研磨した試験片では、このような摩擦低減が起らなかったことから、潤滑性に対する表面形状の効果は明らかである。

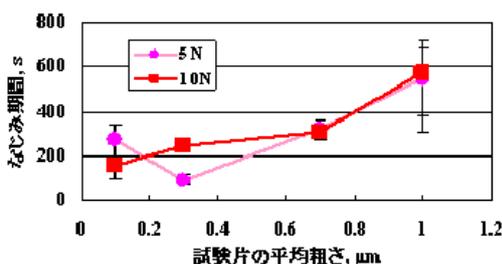


図5 表面粗さとなじみ時間

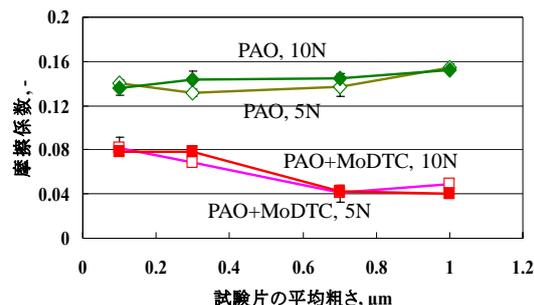


図6 表面粗さと摩擦係数

図4より、潤滑性のパラメータとしてなじみ時間と定常状態での摩擦係数が挙げられる。そこで、これらの潤滑パラメータに対する表面粗さの影響を検討した。表面粗さが粗いほど、なじみ時間が長くなり、定常になるまでに表面反応が必要であることを明らかにした。また、定常状態における摩擦係数は表面粗さが粗い方が低くなることを見出し

た。すなわち、添加剤の効果は表面粗さにより制御できることが明らかとなった。

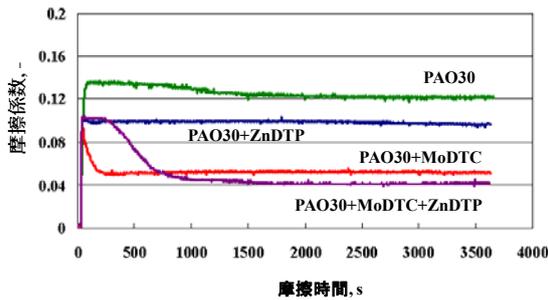


図7 添加剤による効果

摩擦・摩耗を制御するために、添加剤の表面反応を制御することを目的とした。特に、表面形状を積極的に利用して、表面形状により摩擦面におけるトライボ化学反応を促進させ、潤滑特性を制御することに成功した。潤滑油添加剤としては、摩擦調整剤であるMoDTCおよび耐摩耗剤であるZnDDPを用いたところ、ZnDDPでは摩擦係数が低下することはなく、また表面形状の影響も受けなかった。また、複合して用いたところ、MoDTCが含まれていれば、単独で用いたときと同様になじみ期間ののち摩擦係数は安定した低い値を示した(図7)。

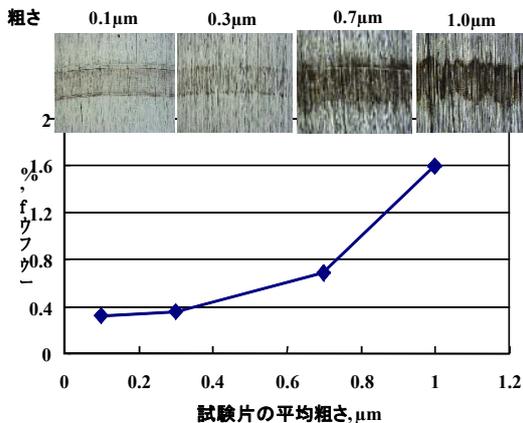


図8 摩擦痕の光学顕微鏡写真とEPMAによる硫黄分の分析

摩擦試験後の摩擦痕の光学顕微鏡写真と摩耗痕内をEPMAで測定した硫黄濃度を図8に示した。明らかに、表面粗さが粗いほど生成物の量が多く、これが低摩擦係数を示した原因である。

生成物の化学構造を知るために、XPSおよびTOF-SIMSにより摩擦面を分析した結果、MoDTCは突起部で反応しMoS<sub>2</sub>を形成し(図9上)、一方ZnDTPは谷部でZn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>を形成して潤滑特性を制御することが明らかとなった(図9下)。TOF-SIMSケミカルイメージにより、下地のFeと生成物のMoの分布が逆転して

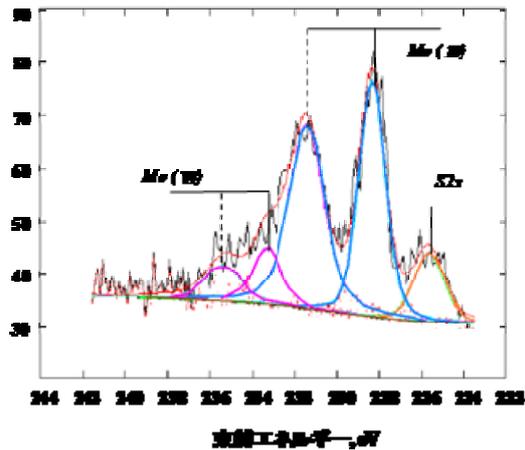


図9 生成物のXPS分析

おり、Moは表面の突起部に集中して生成していることが明らかになった。すなわち、突起部の厳しい条件では金属材料表面の酸化皮膜が除去され、金属新表面が露出することにより、MoDTCが反応しやすくなったと説明できる。一方、ZnDDPは金属酸化物が多い、表面粗さの谷の部分に多く生成した。このように境界潤滑膜が形成されることにより、なじみ期間、定常期における安定な低摩擦係数が実現できることを明らかにした。

この現象をさらに詳細に検討し、表面粗さと潤滑特性の関係を検討した。低く安定な摩擦係数を得るためには、最適な表面粗さがあることを見出した。また、摩擦の初期に摩擦係数が低下する「なじみ」期間があり、これも表面粗さにより制御できることが明らかとなった

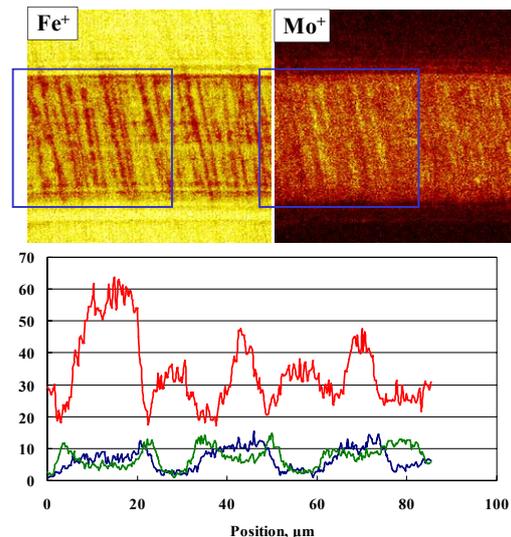


図10 TOF-SIMSケミカルイメージ

研磨により金属材料の表面形状を制御することにより、添加剤のトライボ化学反応が促進され、その結果としてトラ

イボロジ特性を制御できることを明らかにした。低摩擦係数を得るためには、最適の表面粗さがあることを見出した。そこで、さらに精密な表面形状を構築し、その潤滑効果について検討した。すなわち、金属材料の表面形状をフェムト秒レーザーにより調製し(図1 1上)、周期400および800nm程度の周期的構造に対して本法を適用した結果、研磨法で調製した表面と同様の効果を得ることができた(図1 1下)。すなわち、ナノメータスケールの極微細な表面形状であっても、添加剤のトライボ化学反応により生成する境界膜でトライボロジ特性を制御できることが明らかとなった。

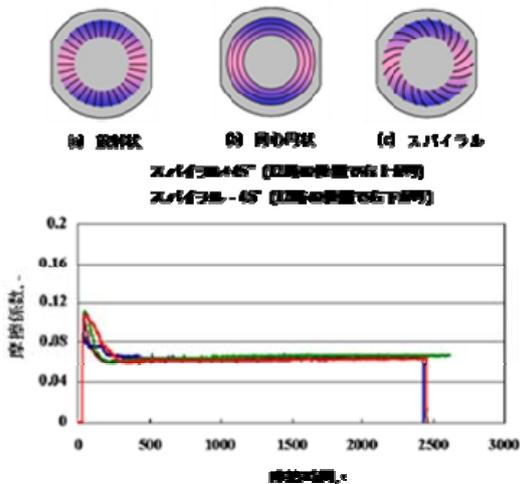


図1 1 ナノ構造の表面形状効果

まとめとして、本研究により明らかとなった潤滑機構を図1 2に示した。表面粗さの突起部で生成した新生面でMoDTCが反応し、摩擦面にMoS<sub>2</sub>が生成する。表面粗さに応じて、MoS<sub>2</sub>が蓄積し、低く安定な摩擦係数が得られたと結論される。これらの研究成果により、トライボ化学反応を積極的に利用した潤滑法が可能であることを示すことができた。

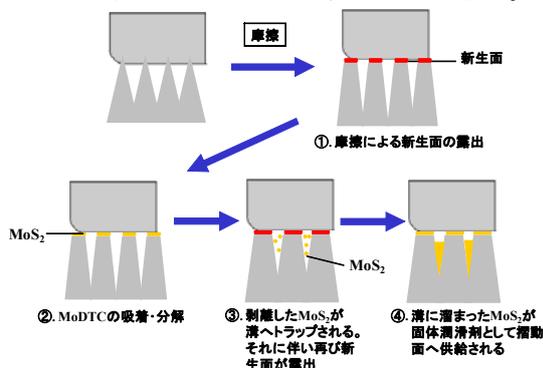


図1 2 表面形状効果の機構

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0件)  
投稿準備中

[学会発表] (計 3件)

①中村貴洋, 森誠之, 他2名4番目, 表面形状によるトライボ化学反応と摩擦特性の制御(第三報)-ナノ構造制, トライボロジー会議2008秋, 2008年9月18日, 名古屋

②松舘心, 七尾英孝, 南一郎, 森誠之, 表面形状によるトライボ化学反応と摩擦特性の制御(第二報)添加剤の影響, トライボロジー会議2008春, 2008年5月13日, 東京

③松舘心, 七尾英孝, 南一郎, 森誠之, 表面形状によるトライボケミカル反応と摩擦特性の制御, トライボロジー会議2007秋, 2007年9月26日, 佐賀

[図書] (計 0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 1件)

名称: 潤滑構造

発明者: 森 誠之

権利者: 国立大学法人岩手大学

種類: 特許

番号: 特願 2007-248248

出願年月日: 2007年9月25日

国内外の別: 国内

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

森 誠之 (MORI SHIGEYUKI)

岩手大学・工学部・教授

研究者番号 60091758

(2) 研究分担者 (2007年度まで)

南 一郎 (MINAMI ICHIRO)

岩手大学・工学部・准教授

研究者番号 00183111

七尾 英孝 (NANAO HIDETAKA)

岩手大学・工学部・助教

研究者番号 50312509

(3)連携研究者 (2008 年度)

南 一郎 (MINAMI ICHIRO)  
岩手大学・工学部・准教授  
研究者番号 00183111

七尾 英孝 (NANA O HIDETAKA)  
岩手大学・工学部・助教  
研究者番号 50312509