

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	境界潤滑条件におけるトライボ化学的な水素生成と鋼への水素侵入に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	福島由倫
Author(English)	Yoshinori Fukushima
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10778号, 授与年月日:2018年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:青木 才子,久保内 昌敏,多湖 輝興,谷口 泉,田中 真二,平山 朋子
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10778号, Conferred date:2018/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻：	化学工学	専攻	申請学位（専攻分野）：	博士	（工学）
Department of			Academic Degree Requested	Doctor of	
学生氏名：	福島 由倫		指導教員（主）：	准教授 青木 才子	
Student's Name			Academic Supervisor(main)		
			指導教員（副）：		
			Academic Supervisor (sub)		

要旨（和文 2000 字程度）

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は以下に示す全七章から成る。各章の構成及び要旨を記述する。 第一章[序論]では地球温暖化対応を背景に、CO₂排出規制や排出ガス規制の強化だけでなく、燃料の多様化による様々なトライボロジーの課題を示した。省資源・省エネルギー志向の現代社会のニーズへの要求は厳しく、自動車の主要ユニットが更なる小型化・軽量化する傾向であり、なかでも転がり軸受の環境は苛酷化し、転がり軸受特有の白層剥離の課題が顕在化してきている。 白層剥離は潤滑油基油や環境の水分がトライボ化学的に分解し、分解物である水素が鋼材中に侵入、剥離に至る仮説が報告されている。しかし、実験的データは乏しく、未だに現象解明には至っていない。 そこで本研究は、白層剥離のメカニズム解明に必要な評価・分析技術ならびに潤滑条件下における水素生成と鋼への水素侵入を抑制する要因と、潤滑油添加剤の作用メカニズムを表面化学の立場から明らかにすることを目的とした。 第二章[トライボ化学分解に対する基油構造および材料特性の影響]では、基油の分解に対する潤滑油の分子構造と材料の表面粗さおよび硬さの影響を検討した。合成炭化水素油(SHC)は、鋼の新生面が生成する接触条件下で分解し水素生成することを、摩擦試験中の気体分析により明らかにした。基油としてアルキルジフェニルエーテル(ADE)を用いたところ、分解による水素生成が抑制されることを見出した。ADEでも、厳しい切削条件下では分解し水素を生成した。軸受鋼の表面に粗さをつけると ADE が分解した。一方、軸受鋼を焼きなまして材料を軟化することでも ADE の分解が確認された。すなわち、基油の分子構造、材料の表面粗さおよび硬さを制御することで新生面の生成を抑制し、基油分解による水素生成を抑制できることが明らかとなった。 第三章[トライボ化学分解に対するリン酸エステルと硫酸エステルの抑制効果]では、SHC を基油としてトライボ化学分解に対する添加剤の影響を検討した。リン系および硫黄系添加剤として、リン酸エステルおよび硫酸エステルを用い、トライボ化学分解による水素生成に対する影響を比較した。硫酸エステルに比べてリン酸エステルは水素生成を抑制する効果が高かった。表面分析の結果、リン酸エステルからは摩耗痕にリン酸塩が生成し、これが表面保護膜となって活性な新生面の生成を抑制した。これに対し、硫酸エステル添加油で摩擦した摩耗面には硫酸エステルの還元生成物である硫化鉄が検出された。硫化鉄は炭化水素分解の触媒としても知られており、トライボ化学反応の抑制効果が得られなかった。 第四章[リン酸エステルと過塩基性カルシウムスルフォネートの組み合わせによるトライボ化学分解の抑制効果]では、リン酸エステルと過塩基性カルシウムスルフォネートを混合添加することにより、それぞれ単独で用いた場合に比べて、より高荷重、高速度の厳しい接触条件において水素生成が抑制されることを見出した。表面分析の結果より、混合添加の場合は摩耗面にリン酸カルシウム膜が厚く形成されていた。すなわち、混合添加剤から形成された保護膜により新生面の生成が抑制され、水素生成も抑制できることが明らかとなった。 第五章[境界潤滑条件における鋼材に侵入した水素分析]では鋼中の水素とトライボ化学分解で生成し鋼に侵入する水素を区別するため、水素の同位体である重水素をトレーサとして TOF-SIMS 分析により鋼への水素侵入を検討した。 添加剤を含まない SHC を用い、重水素雰囲気下で 4 球摩擦試験を行った。ボールは摩耗トラック上をカットし、その断面を TOF-SIMS で分析した。摩耗面から内部に 100~200 μm における鋼の重水素量は自然存在比の 50-100 倍になることを見出した。さらに、摩耗面からボール中心部方向に重水素濃度が緩やかに減少する傾向があることから、重水素は摩耗面から侵入しボール中心部に向けて拡散していることを明らかにした。 第六章[境界潤滑条件における添加剤による鋼への水素侵入抑制]では白層剥離に有効な添加剤を抽出し、重水素トレーサ法を用いた TOF-SIMS 分析により、添加剤による鋼への水素侵入の抑制を検討した。 添加剤には転がり軸受の剥離寿命の延長に効果がある亜硝酸ナトリウムを選定した。亜硝酸ナトリウムは重水素雰囲気における 4 球摩擦試験でも、剥離寿命の延長効果があることを確認した。重水素雰囲気下、亜硝酸ナトリウム添加油で 4 球摩擦試験を実施し、摩耗面直下のボール断面を TOF-SIMS で分析した。その結果、摩耗面からボール中心部のすべての分析箇所において重水素の存在量は自然存在比と同じであり、亜硝酸ナトリウムは鋼への重水素の侵入を抑制することを明らかにした。 第七章[総括]では、本論文で得られた結果を総括した。基油構造、材料特性および添加剤を因子として、摩擦試験中のトライボ化学的な水素生成および鋼への水素侵入について検討し、トライボ化学的な潤滑油基油の水素生成の抑制および鋼への水素侵入の抑制には、軸受鋼表面における物理的および化学的に安定な保護膜形成が有効であることが明らかになった。
--

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻：	化学工学	専攻	申請学位(専攻分野)：	博士	(工学)
Department of			Academic Degree Requested	Doctor of	
学生氏名：	福島 由倫		指導教員(主)：	准教授 青木 才子	
Student's Name			Academic Supervisor(main)		
			指導教員(副)：		
			Academic Supervisor(sub)		

要旨(英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

In order to obtain higher car efficiency, the mechanical condition of bearings for cars becomes much severer. One of the big problems to be solved in car bearings under severe conditions is Rolling Contact Fatigue(RCF). In this thesis, hydrogen is focused on as an important cause to initiate RCF and a tribochemical formation of hydrogen and hydrogen permeation into bearing steel during lubrication were investigated from the viewpoit of surface chemistry.

Synthetic hydrocarbon oil can be decomposed by the effect of a catalytic activity of nascent steel surface formed at mechanical contacts. Hydrogen evolved as a decomposition product was detected with a quadrupole mass spectrometer. It was found that the hydrogen formation can be controlled by the molecular structure of oils, additives, surface roughness and hardness of steel. Alkyl phenyl ether is more stable than hydrocarbon oil for tribochemical decomposition. Mixture of organic phosphate and calcium additive is effective to suppress the decomposition of hydrocarbon oil.

Hydrogen permeation into steel was investigated by a tracer method with deuterium using TOF-SIMS. After lubrication tests by a four-ball tester under deuterium atmosphere, the cross-section of an upper ball was investigated by TOF-SIMS. Deuterium was found to be higher concentration than natural abundance of deuterium at 100 – 200 μ m underneath the friction track of tested ball. Hydrogen permeation can be suppressed by the addition of sodium nitrite which is known as an additive to obtain a long life for RCF.

It is concluded that formation of hydrogen as a cause of RCF can be controlled by the molecular structure of synthetic oils, appropriate additives, surface roughness and hardness of steel, and that hydrogen permeation into bearing steel can be suppressed by the boundary film formed from additives.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).