

2018年度日本トライボロジー学会功績賞受賞者

岩渕 明 君

岩渕明氏は、1975年に東北大学大学院を修了し、1983年にフレッティングに関する研究により工学博士の学位を授与された。1984年岩手大学助手に着任し、1991年より教授、その後、理事・副学長、三陸復興推進機構長を歴任した後2015年に岩手大学学長となられている。この間、岩手大学地域共同研究センター長、岩手大学工学部附属金型技術研究センター長としてトライボロジーを通じたモノづくりの重要性を地域に根付かせる中心的な役割を果たした。

また、日本機械学会「摩耗の標準試験法原案作成委員会」の委員長およびNEDO「低摩擦損失高効率駆動機器のための材料表面制御技術の開発」の研究統括として、トライボロジーの基礎から応用に関わる発展に多大なる貢献をされた。

さらに、岩手県総合計画審議会会長、日本学術会議連携会員、文部科学省科学技術・学術審議会産業連携地域支援部会委員、復興庁復興推進委員会委員等多数の公的な役職を務められるとともに日本トライボロジー学会理事、日本機械学会副会長、日本機械学会機素潤滑設計部門長を務め、同部門功績賞を授与されるなど、科学技術としてのトライボロジーおよび本会の発展に対して多大なる貢献をされた。



岩渕氏

小宮 広志 君

小宮広志氏は、1970年に宮崎大学工学部工業化学科を卒業後、光洋精工株式会社（現・株式会社ジェイテクト）に入社し、転がり軸受用グリース、潤滑油およびさび止め油の研究開発に従事された。また2007年退職後、2007～2014年に日本グリース株式会社技術顧問、2014～2018年に同志社大学理工学部研究員として、グリースの潤滑膜形成に関する研究指導に携わられた。特に、自動車用高温高速軸受に使用するウレアグリースの技術開発、中でも、それら高温高速軸受のノイズ低減や水素による脆性はく離抑制等に対して大きな実績を残し、実用条件下における軸受の性能向上および長寿命化に飛躍的な進展をもたらした。本会においては、出版委員、増強委員、選挙管理委員等を歴任され、ITC 神戸（2005年）やWTC 京都（2009年）等の開催にも実行委員として尽力された。また、グリース研究会幹事（35～36期）および主査（43～44期）、トライボケミストリー研究会幹事（47期～現在）、さらに第50～51期（2005～2006年度）には理事、第54～57期（2009～2012年度）には評議員を務めるなど、学会活動の発展と普及に多大なる貢献をされた。



小宮氏

多川 則男 君

多川則男氏は、1975年東北大学大学院工学研究科機械工学第2専攻修士課程を修了後日本電気株式会社中央研究所に入社、ファイル記憶装置を中心とした情報機器の研究開発に従事され、1985年東京大学から工学博士の学位を授与された。1997年に関西大学工学部機械工学科に移籍され、教授、システム理工学部長、理事を務められるとともに、ファイル記憶装置に関する超薄膜気体潤滑と動力学的研究や超薄膜液体潤滑膜・DLC 薄膜に関するナノトライボロジーの研究に関して顕著な業績を挙げられ、本学会の技術賞も受賞されている。本会においては副会長2期、理事4期、第4回世界トライボロジー会議実行委員会学術プログラム委員長、トライボロジー会議2015春姫路実行委員長、表彰委員会委員長、国際企画委員会委員長、出版委員会委員長などを歴任、また第3種研究会「ファイル記憶のトライボロジー研究会」主査も長年務められるなど、トライボロジーおよび本会の発展に対して多大な貢献をされた。



多川氏

2018年度日本トライボロジー学会論文賞受賞者

星 靖 君 (岩手大学 理工学部)
 滝渡 幸治 君 (一関工業高等専門学校 未来創造工学科)
 七尾 英孝 君 (岩手大学 理工学部)
 森 誠之 君 (TS ラボ)



星氏



滝渡氏



七尾氏



森氏

グリース潤滑における過渡応答の顕微赤外分光法によるその場観察

本論文は、近年用途が拡大しているウレアグリースについて、Ball-on-Disk 型潤滑試験機と顕微赤外分光器を組み合わせることで潤滑膜をその場観察し、潤滑膜形状と増ちょう剤の濃度分布を動的条件下で観察した結果から、潤滑メカニズムを考察したものである。

脂環式、芳香族、脂肪族のウレアグリースともに数分間かけて2~3 μm の厚い潤滑膜を形成すると同時に、ヘルツ接触部では増ちょう剤濃度が上昇することを明らかにした。これは、潤滑中に増ちょう剤が濃縮した付着膜を形成したものである。また、試験後の静止状態でも接触部に高濃度の増ちょう剤が検出されたことから、増ちょう剤の濃縮はボールおよびディスク表面への付着が主な原因であることが明らかとなった。

さらに、転がり条件からすべり条件に変化させて経時変化を測定し、増ちょう剤濃度および潤滑膜厚さの過渡応答を観察した。せん断により、増ちょう剤濃度がバルク濃度まで急激に低下し、潤滑膜厚さも低下することを見いだした。これは、転がり条件下で形成した付着膜がせん断によってはく離する様子を観察したものである。また、転がりとすべりを繰り返したとき、付着膜の成長とはく離による潤滑膜厚さの変化が再現性良く得られた。これらの膜厚変化は、ウレアグリースの増ちょう剤の種類に依存し、脂環式<芳香族<脂肪族の順であった。また、付着膜の成長速度よりもはく離速度のほうが速いことも明らかにした。

本論文で得られた知見は、グリース潤滑のメカニズムを理解する一助になるとともに、グリース設計の新たな指針を提示するものである。今後、本手法を用いた潤滑状態のその場観察によりグリースにおける潤滑現象の解明が一層進むと期待される。

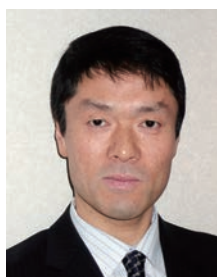
対象論文：トライボロジスト, 61巻, 第11号 (2016) 784-791.

2018年度日本トライボロジー学会論文賞受賞者

畠中 清史 君 (九州工業大学 情報工学部)

馬場 祥孝 君 ((株)神戸製鋼所)

亀山 裕樹 君 ((株)神戸製鋼所)



畠中氏



馬場氏



亀山氏

ジャーナル表面温度の予測精度を高める新たな熱流体潤滑モデル

本論文は、ジャーナル軸受の熱流体潤滑理論モデルの予測精度を高めるための、油膜のエネルギー方程式の新たな解法を提案している。

ジャーナル軸受の熱流体潤滑性能は、三つの偏微分方程式（一般化レイノルズ方程式、油膜のエネルギー方程式、軸受パッドの熱伝導方程式）と、複数の代数式（温度・粘度関係式、油膜厚さ式など）から構築される連立方程式を解いて求める。従来の熱流体潤滑モデルによっても、軸受パッド表面の温度分布やその最高温度については実験値と良好に一致する予測値が得られる。しかし、ジャーナル表面温度の予測精度は十分ではなく、予測値と実験値との一致度は良好にはならない。

本研究では、その理由が油膜温度の解析方法にあるという推測のもと、油膜内で発生し下流側のパッド間領域に排出されるせん断発熱量が、パッド寄りでは適切に評価されるが、ジャーナル表面寄りでは過大に評価されることを考察により明らかにした。これを受け、パッド寄りの油膜温度はパッド潤滑面を基準面とする座標系で記述した従来の油膜のエネルギー方程式から、ジャーナル表面寄りの油膜温度はジャーナル表面を静止側の基準面とする相対座標系で記述した油膜のエネルギー方程式から、それぞれ求めるという熱流体潤滑モデルを新たに提案した。この新しいモデルをティルティングパッドジャーナル軸受に適用して軸受性能を予測し、それを実験値と比較した結果、パッド表面最高温度の予測精度を悪化させることなく、ジャーナル表面温度を高い精度で予測できることが明らかになった。

油膜のエネルギー方程式を使い分ける本熱流体潤滑モデルを適用すれば、これまで以上に高い精度の性能予測値を軸受設計の段階で得られるようになる。本研究の有用性の高さはこの点にあると考える。

対象論文：トライボロジスト，63巻，第5号（2018）360-367.

2018年度日本トライボロジー学会トライボロジーオンライン論文賞受賞者

村島 基之 君 (名古屋大学 大学院工学研究科)

梅原 徳次 君 (名古屋大学 大学院工学研究科)

上坂 裕之 君 (岐阜大学 大学院工学研究科)

Xingrui Deng 君 ((株)リケン)



村島氏



梅原氏



上坂氏



Deng 氏

Effect of Electric Field on Adhesion of Thermoplastic Resin against Steel Plates

低燃費自動車への要求が高まる中、軽量の複合材である炭素繊維強化樹脂 (CFRP) に注目が集まっている。しかし、熱硬化性樹脂が用いられる従来の CFRP は製造時間・コストが高く大衆車への適用が進んでいない。そこで、熱可塑性 CFRP に次世代の車体材料としての期待が高まっている。加熱により軟化する熱可塑性 CFRP の製造には既存のプレス成型手法を用いることができ、製造時間・コストの低減が期待される。一方で、高温金型表面から離型する際に樹脂が金型へ付着するトラブルが報告されている。著者らの過去の研究では、高温金属表面に対する付着特性やナノテクスチャを用いた熱可塑性樹脂の付着抑制手法の開発がなされた。本論文は、電場印加という大面積に適用可能な新しい手法を用いた、高温金型表面への熱可塑性樹脂付着抑制手法の開発およびそのメカニズム解明のために実施された。

本論文では、極性基を有するアクリル樹脂とガラス転移温度に達した金属表面との付着力を測定し、金型への電場印加の影響を明らかにした。直流電場を印加した場合は付着力の増加が観察され、これは極性基が電場により金属表面に引き付けられたためと考えられた。一方で、交流電場の場合には周波数の増加とともに付着力は減少し、電界強度 10 V/mm, 1 MHz を印加した際には無印加と比較して 44% の付着低減効果を示した。これは、極性基の移動が分子の絡まりや慣性力などにより遅れる、位相遅れが生じたためと考察した。本論文では、アクリル樹脂のガラス転移温度における誘電正接は周波数とともに増加することも実験的に確認し、位相遅れによる極性基と電場の反発力により付着力が抑制されたと示された。

以上のように、本研究では電場を利用する従来にはなく、かつ大面積金型に適用可能な熱可塑性樹脂付着抑制手法を開発した。また、誘電正接などを実際に測定しそのメカニズムが示されたことで、付着抑制性に優れた分子構造の開発など今後の発展が期待される。

対象論文：Tribology Online, Vol. 12, No. 2 (2017) 42-48.

2018年度日本トライボロジー学会トライボロジーオンライン論文賞受賞者

辰巳 剛 君 (JXTG エネルギー(株))

長谷川 慎治 君 (JXTG エネルギー(株))

大沼田 靖之 君 (JXTG エネルギー(株))



辰巳氏



長谷川氏



大沼田氏

Advanced Control of Frictional Properties on Paper Clutch Materials by a Combination of Friction Modifiers

自動変速機 (AT) の発進装置として広く採用されているトルクコンバータでは、湿式摩擦材を滑らせながら締結させることで伝達効率を向上しているが、滑り制御時にシャダーと呼ばれる振動を生じる場合がある。そこで自動変速機油 (ATF) には、シャダーが発生しないように摩擦材を上手く滑らせる性能が求められており、摩擦係数の滑り速度依存性 (μ -V 特性) を正勾配に保つことが重要となる。一方で、締結時には摩擦材を滑らせてはならないため、ATF の設計には極めて精密な摩擦制御技術が要求される。

ATF に含まれる摩擦調整剤 (Friction Modifier: FM) は、一般的に直鎖の油性基と材料表面への吸着力を有する極性基からなり、低滑り速度時の摩擦係数を低下させる作用を有する。そのため、正勾配の μ -V 特性を得るのに有効であるものの、締結時の滑り防止の観点からは摩擦係数を下げ過ぎてはならないため、配合量には限りがある。さらに、FM は一般的に高温ほど吸着力が増して摩擦低減効果も強くなる傾向があることから、AT で求められる幅広い使用温度域にわたって、望ましい摩擦特性を確保するのは容易ではない。

本論文では、上記の課題を解決する手法として、FM の吸着を選択的に阻害する成分 (FM with an Advanced Concept: FMAC) を新たに開発し、FM との併用による摩擦制御を検討した。FMAC は FM に類似した構造を有するが、多分岐タイプの油性基であるため、吸着時にも摩擦低減効果は発現しない。さらに極性基の高温での吸着力が高くなるように設計しており、高温でのみ選択的に FM の吸着を阻害する。結果として、FMAC の適用により併用する FM の作用を制御することが可能となり、幅広い温度域において望ましい摩擦特性を達成できることが明らかとなった。

以上のように、本論文は ATF に求められる高度な摩擦制御を可能とする新たな手法を確立したものであり、自動車の省燃費化技術の更なる発展への貢献が期待できる。

対象論文: Tribology Online, Vol. 12, No. 3 (2017) 103-109.

2018年度日本トライボロジー学会技術賞受賞者

佐藤 努 君 (日本精工(株))

伏見 元紀 君 (日本精工(株))

上光 一郎 君 (日本精工(株))



佐藤氏



伏見氏



上光氏

耐焼付き性に優れた DLC 被膜転がり軸受の開発

本技術は、高面圧下で使用される転がり軸受の軌道面においても適用可能な DLC 被膜技術である。

転がり軸受において、その使用環境が厳しくなると、焼付きや摩耗などの表面損傷を生じ、軸受としての機能に支障をきたす場合がある。このような表面損傷を防止する方法として、金属接触を防止できる表面処理が有効であり、特に低凝着性、耐摩耗性を有する DLC 被膜は大きな効果が期待できる。しかしながら、DLC は硬質膜ゆえに剥がれやすいという課題があり、特に接触面圧が大きい転がり軸受の軌道面においては、被膜剥がれが生じやすく適用が難しかった。

高面圧転がり接触下における被膜剥がれの抑制には、被膜内部に発生する応力の低減が必須と考え、検討・改良を行った。転がり接触下においては、母材である鋼が大きな弾性変形を繰り返すため、中間層を含めた各層のヤング率を鋼に近づけることで、接触により被膜内部に発生する応力を低減した。加えて、成膜時に発生する被膜の残留応力を被膜組成や成膜条件の最適化により低減した。これらの改良により、高面圧下においても剥がれにくい高耐久な DLC 被膜を得た。

今回開発した耐剥がれ性に優れた DLC 被膜を転がり軸受に適用することで、過酷な使用環境においても長期にわたって焼付きや摩耗を防止することが可能となった。大規模空調設備用ターボ冷凍機においては、この技術を圧縮機支持軸受に採用することで軸受列数の削減と小型化が可能となり、従来機から軸受損失を約 50% 低減させ CO₂ 排出量削減が期待される。また、製紙機械においては、抄紙工程のロール支持用の自動調心ころ軸受で問題となるスミアリング損傷（表面の微小焼付き）を実機環境下において長期にわたって防止する効果が確認されており、今後、生産設備の安定稼動ならびに、メンテナンスの軽減に貢献してゆくことが期待される。

2018年度日本トライボロジー学会技術賞受賞者

関 真利 君 (NOK(株))
 石岡 克敏 君 (NOK(株))
 吉田 勇介 君 (NOK(株))
 細江 猛 君 (イーグル工業(株))
 徳永 雄一郎 君 (イーグル工業(株))



関氏



吉田氏



細江氏



徳永氏

写真無

石岡氏

テクスチャ付与による自動変速機用低トルクシールリングの開発

本技術は、自動変速機用シールリングの低トルク化技術である。近年の世界的な温暖化対策を背景に自動車のCO₂排出規制が厳しさを増す中で、自動変速機内のシール部品においても更なるトルク低減が求められている。自動変速機内のシール部品の機械損失は、全体の約25%を占めており、中でも高压・高速しゅう動環境で複数個使用される回転用シールリングについては、低トルク化のニーズが非常に高い。

従来のシールリングは、シール幅低減により、油圧による押付け荷重を低減し、低トルク化を図ってきたが、過度な油漏れを防ぐためには、更なるシール幅の低減は困難である。そこで、シールリングのしゅう動面に動圧すべり軸受機構を発現する溝形状（テクスチャと呼ぶ）を配置し、流体潤滑状態で作動させることを試みた。シールリングしゅう動面のテクスチャ形状は、流体潤滑を仮定した数値解析をもとに形状を設定した。数値解析では、しゅう動面のみを対象とし、有限差分法によるレイノルズ方程式にて荷重と釣り合う油膜厚さを求めた。また、検証評価として、LIF法を用いたしゅう動面の油膜計測を行い、軸受特性数 G の増加に伴い油膜厚さが増加する傾向は実験も解析も同様であることを確認した。

テクスチャシールリングは、従来のシールリングに対し、最大で約70%のトルク低減効果を確認し、すでに量産車へ適用されている。今後、自動変速機用シールリング以外の分野においても採用可能な技術であり、他樹脂しゅう動部品への展開も期待できる。

2018年度日本トライボロジー学会奨励賞受賞者

長谷川 慎治 君 (JXTG エネルギー(株))



長谷川氏

潤滑被膜形成におけるホウ素化合物の影響

本研究は、無段変速機 (CVT) に用いられる潤滑油 (CVTF) 中のホウ素化合物が潤滑被膜の物性および摩擦特性に及ぼす影響について検討したものである。

自動車用変速機の一つである CVT は二つの金属プーリと金属ベルトを組み合わせて無段変速を行うトランスミッションであり、効率のよいエンジン回転数を利用できる点に特徴がある CVT では、エンジンからの動力がプーリとベルトの接触面を介して伝達されることから、CVTF はプーリ・ベルト間において高い金属間摩擦係数を確保できるように設計されている。CVTF に適量のホウ素化合物を添加することが有効であることが経験的に知られていたが、メカニズムは十分に解明されていなかった。

本研究では、ホウ酸エステルが添加された CVTF を用いてしゅう動試験を実施し、形成された潤滑被膜の組成および物性に関して AFM, EPMA, XPS, XANES, ナノインデンタを用いた多角的な分析を行い、得られた被膜の情報と摩擦係数の関係を考察することで、ホウ素化合物の作用機構の解明を目指した。

研究の結果、ホウ酸エステルを添加した CVTF では大幅な金属間摩擦係数の増加増大が認められ、潤滑被膜表面に数 μm の細孔が多数存在する蜂の巣状で表面粗さの大きい構造が形成することを確認した。

潤滑被膜の主成分はリン酸カルシウムであり、被膜深度によってリンおよびカルシウムの結合エネルギーが異なる結果が得られた。これは、リン酸カルシウム被膜の Ca/P 組成比が深さ方向において不均一であることを示しており、リン酸カルシウム被膜に取り込まれたホウ素が被膜の成長過程で触媒的に作用して Ca/P 組成比に影響を与えたものと推察される。また、ナノインデンタを用いて潤滑被膜表面の硬度を測定したところ、ホウ酸エステルの添加により硬度は低下する傾向であることが明らかとなった。

これらの結果から、ホウ素はリン酸カルシウム被膜の形成過程で作用し、反応膜中の Ca/P 比率を変化させることで構造や強度に影響を及ぼす可能性が示された。適量のホウ素化合物を添加した場合には特徴的な粗い表面構造を有する被膜を形成し、境界潤滑域へと潤滑領域を遷移させることによって、摩擦係数が向上したものと推察する。

対象論文：トライボロジー会議 2017 秋 高松 F22.

2018年度日本トライボロジー学会奨励賞受賞者

堀端 頌子 君（首都大学東京 大学院システムデザイン研究科）



堀端氏

くさび状隙間の関節液流体圧力分布が関節軟骨の二相性潤滑特性に及ぼす影響

関節軟骨は優れた潤滑特性を長期にわたって維持し、円滑な関節動作を保障する重要な組織である。その潤滑メカニズムに関しては古くより関心が持たれ、境界、混合、流体潤滑の各理論による説明が試みられてきたが、現在では様々な潤滑メカニズムが相補的に機能し、関節軟骨の優れた潤滑特性を実現していると考えられている。本研究では、高含水性の二相性材料である関節軟骨において、軟骨内部の流体による荷重支持が摩擦低減に寄与する二相性潤滑と、流体潤滑の二つのメカニズムの協調的な働きに着目した。二相性潤滑においては、軟骨内部の流体による荷重支持が重要であり、荷重下における軟骨内部流体の流出はその潤滑能の低下を引き起こす。そこで、くさび膜効果によって軟骨周囲に存在する関節液の流体圧が増大することが、軟骨内からの流体流出を抑制し、二相性潤滑の機能を高める可能性があるかと推測した。本研究は、生体関節運動によって発生するくさび膜効果が関節軟骨の二相性潤滑特性におよぼす影響を、しゅう動時の流体圧測定およびその流体圧を考慮した摩擦解析を通して調査したものである。

円筒状軟骨モデル材料（アクリル樹脂）と平面アルミプレートの摩擦面構成において、しゅう動時に接触部近傍のくさび状隙間で発生する流体圧力分布を、MEMS圧力センサを用いて実測した。そして、有限要素解析において、固液二相性軟骨モデルと剛体圧子の組合せで摩擦モデルを作製し、前述の流体圧分布をくさび状隙間に発生する流体圧として代入し摩擦解析を行った。くさび状隙間の流体圧の有無による比較を行ったところ、くさび膜効果による流体圧が軟骨内部流体の流出を低減し、動摩擦係数が低下することが明らかとなった。また、隙間内の流体圧が一定の場合よりも、実測でみられたような隙間先端側により高い流体圧発生域が存在することが、接触域近傍における軟骨内部流体の流出低減に効果的であり、摩擦を低値に保つことが示された。以上より、軟骨の摩擦接触域近傍に発生するくさび膜効果による流体圧は、二相性潤滑特性の向上に寄与することを示した。

本研究成果は、関節軟骨の潤滑メカニズムにおける、流体潤滑と二相性潤滑の協調的な働きを実測と解析を通し明示したものである。また、この知見は生体関節の潤滑メカニズムの解明だけでなく、関節軟骨を模擬した二相性材料のトライボマテリアルとしての応用においても有用な知見となるものである。よって本研究は日本トライボロジー学会表彰規程に該当するものと認められる。

対象論文：トライボロジー会議 2017 秋 高松 G31.

2018年度日本トライボロジー学会奨励賞受賞者

村島 基之 君 (名古屋大学 大学院工学研究科)



村島氏

3D プリンタにより造形された変形表面による流体潤滑状態の能動的制御

本研究は、表面形状が変形するという従来の機械部品とは異なるコンセプトでの摩擦の能動的制御を目的として実施されたものである。この研究は、生物がどのような環境でも生存するために能動的に形態を変化させ優れた性能を発揮していることにアイデアを得て始められた。この能動的変形表面の実用化により、どのような運転状態においても優れた性能を発揮する高性能、省エネルギー機器の開発につながると期待されている。

本研究では、ダイヤフラム構造変形部を有するシリンダ材料を3Dプリンタにより造形した。この変形表面(スマートサーフェス)は固体材料でありながら数百 μm 以上の大変形および乾燥摩擦中での0.3~0.5の範囲における摩擦係数の能動的制御に成功している。本研究では、このスマートサーフェスの流体中での能動的摩擦制御可能性を検討し、変形しない従来表面では達成不可能であった能動的摩擦制御による有用性を検討した。試験では、スラストシリンダ式摩擦試験機を用いて水潤滑中における表面形状と摩擦係数の関係を明らかにした。スマートサーフェス試験片では、内部構造の空気圧(ダイヤフラム裏面)を上昇させることで、初期凹形状から高さ約80 μm の凸形状に変形する。比較のために表面が平坦なフラット試験片も準備し、スマートサーフェスの能動的摩擦制御性を明らかにした。

フラット試験片では、速度上昇とともに摩擦係数が低下する混合潤滑状態から摩擦係数が上昇する流体潤滑状態までが実現された(25~270rpm)。一方でスマートサーフェス試験片のストライバック曲線では、どの形状であっても極小値が確認されなかった。これは、ストライバック曲線の右側シフト、つまり流体潤滑状態になりにくい特性を示している。これは、3Dプリンタ造形に伴う大きな表面粗さと変形部の凹凸形状により発現されたと考えられる。

変形量を調整することで高速すべり条件(150~270rpm)においては、フラット試験片よりも小さい0.04程度の摩擦係数を得た。加えて200rpmの速度条件ではスマートサーフェスがフラット試験片($\mu=0.06$)よりも小さい摩擦係数(凹形状の時、 $\mu=0.04$)も、高い摩擦係数(圧力0.05MPaの凸形状の時、 $\mu=0.75$)も選択が可能であった。これはつまり、省エネルギー運転の際には摩擦係数を低くし、振動等の不安定性抑制の際には摩擦係数を大きくするなど従来表面では不可能であった摩擦制御が可能であることを示している。

本研究では、変形表面を用いた流体中摩擦の能動的制御性を明らかにするとともに、ストライバック曲線よりその変化メカニズムを考察した。特に、平坦表面の摩擦係数と比較して、低減させることも増加させることも可能であるという重要な結果が示され、今後の発展が期待される。

対象論文：トライボロジー会議2018春 東京 D8.

2018年度日本トライボロジー学会学生奨励賞受賞者

上原 周一 君 (東北大学 金属材料研究所)



上原氏

全原子分子動力学法による無溶媒下でのポリマーブラシ先端間の摩擦シミュレーション

近年、高分子鎖の末端を材料表面に高密度で固定したポリマーブラシの作成が可能となった。ポリマーブラシは溶媒下において、高い耐摩耗性と低摩擦性を示すことから、自動車のオイルシールや家電製品のコンプレッサなどのしゅう動部への応用が期待されている。しかしポリマーブラシにおいては、摩擦熱により溶媒が揮発してしまい、低摩擦の維持が困難という課題があった。一方で、無溶媒下においても官能基がフッ素化されたポリマーブラシが低摩擦を示すことが実験的に注目されている。ポリマーブラシの社会実装に向けては、官能基のフッ素化による低摩擦化のメカニズム解明が求められているが、摩擦界面の直接観察は困難であり、メカニズムの詳細は不明である。そこで計算科学が有効な手段となるが、従来、高分子材料の摩擦シミュレーションに適用されてきた粗視化分子動力学法では、数十個の原子団を一つの粒子として表すため、官能基のフッ素化という原子スケールの影響を調べることは困難である。そこで本研究では、ポリマーブラシの先端間の摩擦をモデル化し、原子スケールの影響を調べる事が可能な全原子分子動力学法により、官能基のフッ素化がポリマーブラシの摩擦力に及ぼす影響を調べた。

すべてのモノマーがフッ素化されていない非フッ素化ブラシと、すべてのモノマーがフッ素化された全フッ素化ブラシと、先端のみがフッ素化された先端フッ素化ブラシについてそれぞれ、ポリマーブラシの先端間の摩擦モデルを作成し、全原子分子動力学法に基づく摩擦シミュレーションを行った。その結果、全フッ素化ブラシと先端フッ素化ブラシは非フッ素化ブラシと比較して約 1/10 の低摩擦力を示した。さらに、全フッ素化ブラシと先端フッ素化ブラシは同程度の低摩擦力を示した。このことから、ポリマーブラシの先端にフッ素化された官能基があることで、ポリマーブラシの相互貫入を減らし、無溶媒下における低摩擦化に寄与することがわかった。

本研究成果は、ポリマーブラシの社会実装に向け、ブラシの先端をフッ素化することが、無溶媒下における低摩擦化に向けた設計指針であることを、全原子分子動力学法により解明したものである。新たなしゅう動材料として期待される高分子材料の設計において、全原子分子動力学法が有効であることを示したことは、今後の材料開発において大変意義深い。よって、日本トライボロジー学会表彰規程に該当すると認められる。

対象論文：トライボロジー会議 2017 秋 高松 B27.

2018年度日本トライボロジー学会学生奨励賞受賞者

伊藤 彰太 君 (東京理科大学 大学院工学研究科)



伊藤氏

表面テクスチャリングによる摩擦異方性発現とそのメカニズムに関する考察

本研究は、真実接触部における連続性に着目し、表面テクスチャリングによる異方性発現メカニズムを考察したものである。

近年の環境問題を背景に、輸送機器の二酸化炭素排出量削減および燃費向上を目的として、無段変速機 (Continuously Variable Transmission: CVT) を搭載した自動車が普及している。CVT はベルトとプーリから構成され、無段階に変速比を変更可能なことから、内燃機関エンジンが最も効率の良い領域での運転が実現され、燃費改善が可能となる。CVT の更なる高効率化のためには、ベルト-プーリ間の伝達効率を上げることが有効であるが、変速を担うプーリ半径方向の摩擦低減が求められる。そこで、CVT のプーリ面に摩擦異方性を発現させる手法として、表面テクスチャリングの適用を考えた。表面テクスチャリングによる摩擦異方性の最適化を図ることで、メカニズム解明を行う。

CVT 用トランスミッションオイル潤滑下において、3種類の溝形状を有するテクスチャサンプルを用いて摩擦試験を行った。摩擦試験は溝の長手方向に沿って0~90度まで摩擦異方性を調査した。試験結果より、すべてのテクスチャサンプルにおいて摩擦異方性の発現が確認されたが、異方性の発現状況と摩擦係数の大きさはテクスチャ形状によって異なることが明らかとなった。表面上の溝は潤滑油供給源として機能するため、摩擦異方性の発現には表面プラトー部におけるアスペリティの接触長さが大きな影響を及ぼしていると考えられる。

表面プラトー部におけるアスペリティの連続接触回数を算出するため、テクスチャ表面をしゅう動方向にずらしながら真実接触部を連続的に解析する新たな解析手法を提案した。真実接触解析には GREENWOOD WILLIAMSON モデルを用い、レーザ顕微鏡によって取得したテクスチャ表面とシリンダの三次元プロファイルより、真実接触解析をしゅう動方向に連続的に行い、各座標における接触部の経時変化を解析した。真実接触部の連続解析より、連続接触回数は0度方向において高く、角度を増加させると接触回数は徐々に減少した。平均連続接触回数と摩擦係数との関係について実験結果から得られた摩擦特性をもとに、摩擦モデル式を提唱した。

本研究成果は、摩擦異方性の発現メカニズムについて真実接触部における接触の連続性に着目した境界潤滑下での摩擦モデルを提案したものであり、表面テクスチャ技術の発展に大いに貢献するものと期待される。

対象論文：トライボロジー会議 2017 秋 高松 E37.

2018年度日本トライボロジー学会学生奨励賞受賞者

西川 航平 君 (兵庫県立大学 大学院シミュレーション学研究科)



西川氏

分子動力学法による腐食防止添加剤の銅および酸化銅表面への吸着特性解析

本研究は、分子動力学法を用いて銅腐食防止添加剤における吸着挙動を解析したものである。ベンゾトリアゾール (BTA) をはじめとする銅腐食防止添加剤は、半世紀以上の研究開発の歴史を有するにも拘わらず、その分子レベルの作用機構はほとんど明らかではなかった。これは、銅新生面および酸化銅表面の界面科学現象であること、またBTAは低分子ではあるが、表面の保護は、多数の分子集団における電荷移動を伴う化学反応プロセスであるため、理論的に適切に扱う方法がこれまでなかったためである。

理論化学における従来研究は、単一のBTA分子が銅または酸化銅表面に吸着する際の結合状態の量子化学解析、あるいはその際の雰囲気効果の分子動力学解析のみであった。本研究では、ReaxFFという電荷移動を現象論的に扱うことが可能な分子動力学手法を用いて、この問題に取り組んだ。この手法は、シュレーディンガー方程式を直接解くのではなく、経験的なパラメータにより分子内・分子間相互作用および電荷移動を扱うため、従来の量子化学計算よりも軽いアルゴリズムであり、多数のBTA分子の表面吸着について、物理吸着・化学吸着の両面から扱える。

さらに、本研究の特色として、一つのシミュレーションセルに銅新生面と酸化銅の二領域を有するハイブリッド表面モデルを考案したことが挙げられる。この系において、バルク中から表面に向けてBTA分子を降らせることにより、銅新生面・酸化銅のどちらの側に吸着するか、すなわち選択的吸着現象を直接観察することができる。吸着過程の観測のみならず、吸着した分子の部位、配向、表面拡散、電荷移動などの解析を実施した。

この結果、BTA分子は当初は両者の面に付着するが、次第に、銅新生面側についたBTAが電荷移動により分子内の分極率を上昇させ、周辺のBTA分子を呼び寄せ、結果的に銅新生面側のBTA分子数が酸化銅側と比較して大幅に増大するという、選択的な吸着加速機構を初めて発見した。

以上のように本研究では、銅腐食防止添加剤の作用機構を、原子レベルの解析で明らかにした。この機構は、銅腐食防止添加剤に限らず、様々な化学吸着現象において関係すると考えられ、トライボロジーおよび表面科学の発見として大変有意義であるといえる。また、本手法を用いて様々な添加剤の分子設計に用いることが可能であることも示した。

対象論文：トライボロジー会議 2018 春 東京 D30.