

2023 年度日本トライボロジー学会功績賞受賞者

三宅 譲治 君



三宅氏

三宅譲治氏は、1971 年 3 月に大阪大学大学院修士課程を終了後、トヨタ自動車(株)に入社され、材料技術分野において主に自動車のトライボロジー技術（しゅう動部品材料、摩擦材料、潤滑油）向上に大きな成果を挙げられ、自動車の高性能化にはトライボロジーが必須であることを明らかにした。トヨタにおけるトライボロジー技術の草分け的存在であり、また後進の指導、育成にも積極的に当たられた。

本会においては、第 38 期、39 期の理事を務めるとともに、編集委員長、学会指定研究会燃費低減の主査を務めるなど、本会の発展に多大な貢献をされた。

木川 武彦 君



木川氏

木川武彦氏は、1968 年に早稲田大学大学院理工学研究科を修了後、旧日本国有鉄道に入社され、翌年鉄道技術研究所に配属され、1987 年の国鉄民営化により財団法人鉄道総合技術研究所に入所した。この間の業績では、特に車両ブレーキ時に車輪/レール間の摩擦力不足によって発生する車輪フラットと称する損傷の発生メカニズムを明らかにした。1996 年から日本精工株式会社に移籍し車両用軸受に発生する摩耗、転動疲労など各種損傷の発生調査を行い防止方法を明らかにした。また、車輪、軸受とも損傷事例集の整理を行いメンテナンスの標準に期した。本トライボロジー学会においては、各種の委員会委員、特に、鉄道のトライボロジー研究会の主査（第 37、38 期）、さらに理事（第 40、41 期）を務めるなど、トライボロジーと本会の発展に尽くした。

2023 年度日本トライボロジー学会功績賞受賞者

有田 正司 君



有田氏

有田正司氏は、1974年に横浜国立大学大学院工学研究科を修了後、日産自動車(株)材料研究所に入社し、自動車用エンジン・駆動系材料の開発およびトライボロジーの研究開発に従事され、特に自動車用エンジン部品の摩擦損失低減、自動変速機の湿式摩擦材料の研究やトラクションドライブ変速機の研究に尽力された。また宇宙航空技術の分野でも地球低軌道におけるトライボロジーの研究を立ち上げ、2004年には東京大学から「宇宙環境要素が二硫化モリブデン系固体潤滑膜のトライボロジー性能に及ぼす影響に関する研究」で工学博士を授与されている。2009年大日本スクリーン製造(株)に移籍後も、氏の幅広い経験から技術統括の立場に従事された。本会においては、編集委員長など理事2期、評議員9期を務められ、さらに書籍「トライボロジー辞典」の発行にも編集委員として寄与されるなど、トライボロジーと本会の発展に多大な貢献をされた。

村上 輝夫 君



村上氏

村上輝夫氏は、1975年に九州大学大学院工学研究科博士課程を単位取得退学後、九州大学工学部助手に就任し、工学博士の学位を取得後、講師、助教授を経て、1988年から2012年までは教授としてトライボロジー、生体医工学、設計工学に関する教育研究に精力的に従事された。特に、生体内の摩擦・摩耗・潤滑に関するバイオトライボロジー研究では、体の可動関節の円滑な動作を支える潤滑メカニズムとして「多モード適応潤滑機構」を提案し検証するなど、数多くの顕著な業績を挙げ、この研究領域を代表する世界的第一人者としての評価を得ている。また、研究室における研究者養成にも情熱を注がれ、同氏の指導を受け博士の学位を取得したものの多くが、現在も大学の教員として当分野の後進の育成に取り組んでいる。このように、同人はトライボロジーと本会の発展に多大な貢献をされた。

2023 年度日本トライボロジー学会論文賞受賞者

伊原 健人 君（東北大学 大学院工学研究科 現 三菱重工業株式会社）

足立 幸志 君（東北大学 大学院工学研究科）



伊原氏



足立氏

Friction Reduction by Laser Irradiation for a Friction System Using Bearing Steel and Aluminum Alloy in Engine Oil

本論文は、自動車エンジン内しゅう動部材として使用されるアルミ合金を用いた摩擦システムの境界潤滑下での低摩擦発現を目的として、アルミ合金へのレーザを用いた表面処理法を提案し、その有効性を実証するとともに、低摩擦界面形成のためのレーザ照射の役割を明らかにしたものである。

アルミ合金は軽量であるため、主軸受等の自動車エンジン内しゅう動部材として用いられる一方、軟質ゆえに相手面への凝着が生じやすく、過酷な境界潤滑領域における耐摩耗や低摩擦発現のための添加剤による安定した境界膜が形成されにくいという課題が指摘されている。これに対し著者らは、表面テクスチャの創製と表面改質が可能なレーザを用いた表面処理法を提案し、広範囲なレーザ処理条件での実験によって、アルミの凝着抑制と添加剤由来の潤滑膜形成の可能性を追求している。

本論文では、閾値以上のレーザ照射エネルギーを用いた表面処理により、アルミの凝着抑制と添加剤由来の潤滑膜形成により低摩擦が発生することを明らかにしている。また、レーザ非照射部分を含む詳細な分析により、レーザ照射による酸化に加え、熱拡散起因のアモルファス/ナノ結晶化が ZnDTP の反応促進の鍵となることを明らかにしている。さらに ZnDTP 由来のポリリン酸被膜形成がアルミの凝着抑制と MoDTC 由来の潤滑膜形成の起点となることを明示している。

以上のように、アルミ合金へのレーザ照射によりアルミの移着抑制と添加剤由来の低摩擦界面形成が可能となることを見いだすとともに、それらを誘起するレーザ照射の役割を明らかにした本論文は、学術的および実用的価値の高い研究であり、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：Tribology Online, Vol.17, No.4 (2022) 335-347.

2023 年度日本トライボロジー学会論文賞受賞者

佐藤 魁星 君 (東京理科大学 大学院工学研究科)
 大久保 光 君 (横浜国立大学 環境情報研究院)
 川田 将平 君 (関西大学 大学院システム理工学研究科)
 渡部 誠也 君 (大阪大学 大学院理学研究科)
 佐々木 信也 君 (東京理科大学 大学院工学研究科)



佐藤氏



大久保氏



川田氏



渡部氏



佐々木氏

Synergistic Enhancement of the Lubrication Performance of Zinc Dialkyldithiophosphate by Coexistence with Ionic Liquid

イオン液体とは、カチオンとアニオンで構成される常温で液体の塩である。その物理的・化学的特性は、カチオン、アニオンならびにその組合せによって変化する。また、組合せを容易に変更できることから、カチオンとアニオン各々のトライボロジー特性を把握し、組み合わせることができれば、任意の潤滑特性が付与できると考えられている。先行研究においては、純のイオン液体を用いた多くの研究がなされていたが、潤滑油添加剤として、イオン液体を用いた研究例は少なく、他添加剤とイオン液体を併用した潤滑油の摩擦・摩耗特性に関しては不明な点が多く存在した。

本研究では、添加剤としてイオン液体と一般的に広く用いられるジアルキルジチオリン酸亜鉛(ZDDP)を併用した潤滑油を用い、摩擦・摩耗特性およびそのメカニズム調査を行った。実験では、異なるカチオンを持つ 1-Butyl-3-methylimidazolium trispentafluoroethyl trifluorophosphate ([BMIM][FAP]) ならびに 1-Butyl-1-methylpyrrolidiniumtrispentafluoroethyl trifluorophosphate ([BMPL][FAP]) の二種のイオン液体を用い、鉄鋼材表面の往復動摩擦試験を行った。結果としては、ZDDP とイオン液体を併用することで、どちらのイオン液体においても優れた耐摩耗性を示すことが確認された。この耐摩耗性の向上は、ZDDP とイオン液体を併用したどちらの潤滑油でも発現したこと、また、どちらの潤滑油でも厚いフッ化鉄の膜を生成したことから、同一の FAP アニオンの生成したフッ化鉄の耐摩耗性に起因することが推測された。また、摩擦特性に関しては、[BMIM][FAP] と ZDDP と併用した潤滑油においては、低摩擦効果が発現する一方で、[BMPL][FAP] と ZDDP を併用した潤滑油においては、高摩擦化することが確認された。これは、[BMIM][FAP] と ZDDP を併用した潤滑油下では厚い ZDDP 反応膜を生成し、[BMPL][FAP] と ZDDP を併用した潤滑油下では薄い ZDDP 反応膜を生成したことから、カチオンの構造変化による ZDDP 反応膜の膜厚が変化し、金属・金属間の直接接触割合が変化したためと結論付けた。

本研究結果は、一般的に広く使用される ZDDP とイオン液体を併用した際に、カチオンの化学構造が反応膜の膜構造を変化させ、摩擦・摩耗特性に影響することを示したものである。当時は、潤滑油添加剤としての使用例が少ないイオン液体であったが、最近はその使用例も増えている。今後、添加剤としてのイオン液体の研究が発展することで、イオン液体のカチオンとアニオンの構造変化による摩擦・摩耗特性制御が実現されることを深く期待する。

対象論文: Tribology Online, Vol.16, No.3 (2021) 178-191.

2023 年度日本トライボロジー学会論文賞受賞者

Xu Liu 君 (Shanghai University)

Xiaoyang Chen 君 (Shanghai University)

Rongyu Kang 君 (Shanghai University)

Dehua Tao 君 (Shanghai University)

Ben Ni 君 (Ford Motor Company)



Liu 氏



Chen 氏



Kang 氏



Tao 氏



Ni 氏

Experiment Study on the Influence of Lubricant Viscosity and Solid Additives on Irregular Cavitation Noise in the Oscillatory Squeeze Film

When the engine was in an idling state, the irregular abnormal noise occurred in its main bearings. The noise of engine operating at idle speed is an important noise evaluation criterion for both commercial vehicles and passenger cars. In view of irregular abnormal cavitation noise in main bearing of engine under the dynamic load from engine spindle, this paper is devoted to finding effective factors that can reduce this cavitation noise.

The influence of lubricant viscosity and three different solid additives (carbon black, molybdenum disulfide, hexagonal boron nitride) on the cavitation noise were investigated experimentally. The obtained results and analysis are as follows:

- (1) As the viscosity of the lubricants increases, the cavitation noise occurred more frequently. The cavitation area for the high viscosity lubricants is larger than that for low viscosity lubricants.
- (2) The results show the occurrence of cavitation noise become intense dramatically that after adding MoS₂. And hBN does not have obvious effect on cavitation noise reduction. However, the cavitation noise reduces prominently after the carbon black is added, and this suppression effect enhances as the carbon black concentration increases.
- (3) The noise reduction mechanism of carbon black is that the carbon black increases the cavitation nucleus in the lubricant, which causes bubble groups in the oscillatory squeeze film. And these bubble groups do not easily aggregate to form large cavitation, which reduce the chances of connecting with the atmosphere in the process of cavitation collapse and realizes the effect of noise suppression.

対象論文：Tribology Online, Vol.15, No.5 (2020) 365-373.

2023 年度日本トライボロジー学会論文賞受賞者

設楽 裕治 君 (ENEOS 株式会社)

森 誠之 君 (岩手大学)



設楽氏



森氏

しゅう動特性に及ぼす HFO 冷媒の影響 (第 1 報)

—冷媒雰囲気下のしゅう動特性および金属新生面への吸着特性—

ルームエアコン等に代表される冷凍空調機器には、現在 HFC (Hydro Fluoro Carbon) 冷媒が広く使用されているが、今後、段階的に環境負荷の小さい低 GWP (Global Warming Potential) 冷媒への転換が求められている。冷凍サイクルに使用される圧縮機の内部は、冷媒と冷凍機油が共存する複雑かつ特殊な潤滑場であり、しゅう動特性には冷媒と冷凍機油が関与する。今後適用増加が予想される HFO (Hydro Fluoro Olefin) 冷媒は GWP が低く、これらに対応する冷凍機油開発では、先んじてしゅう動特性への冷媒の影響把握ならびに潤滑作用メカニズムの解明が重要となっている。

本論文では、HFO 冷媒 R1234yf (2,3,3,3-tetrafluoropropylene) に着目し、トライボロジー特性への影響を HFC 冷媒 R32 (difluoromethane) と比較した。耐圧密閉型ボールオンディスク往復動試験機を用いた冷媒雰囲気下のドライ潤滑において、R1234yf は良好な耐摩耗性を示すとともに、トライボロジー特性が冷媒圧力や温度の影響を敏感に受けること、XPS 分析により R32 に比べて厚いフッ化鉄が形成されることを明らかにした。さらに潤滑膜形成の初期過程である吸着現象に着目すべく、真空中で鉄表面を切削し、生成する鉄新生面への冷媒吸着を質量分析計でその場観測した。その結果、R32 は吸着が認められず、不飽和結合を有する R1234yf やプロピレンにおいては高い吸着活性を示した。なお、冷媒分子構造による吸着特性の違いは、分子シミュレーションにより算出した吸着エネルギーでも同様に認められており、分子内不飽和結合が吸着に大きく関与していることを明らかにした。

以上のように、本論文はトライボロジー特性における冷媒分子構造の影響を新生面への吸着特性と分子シミュレーションによって、表面化学・トライボ化学の面から検証したものであり、工学的に意義深く、冷凍システムや冷凍機油の技術確立への貢献が期待できる。

対象論文：トライボロジスト、第 67 巻、第 9 号 (2022) 662-671.

2023 年度日本トライボロジー学会論文賞受賞者

遠山 護 君 (株式会社豊田中央研究所)

泉 貴士 君 (株式会社豊田中央研究所 現 PwC コンサルティング合同会社)

三田 修三 君 (株式会社豊田中央研究所 現 東京都市大学 総合研究所)



遠山氏



泉氏



三田氏

Proposition of Thermal-Diffusion-Induced Spiral Model for the Rapid Oil-Film Breakdown Process during Scuffing

自動車の燃費向上のために、エンジンや駆動系ユニットの潤滑油はますます低粘度化が進んでいる。低粘度化は粘性抵抗の低減に有効である一方、油膜厚さの減少による摩耗増大や焼付き発生の抑制が重要となる。焼付きに関しては多くの先行研究があるが、しゅう動部が正常に稼働している状態から摩擦が急増して摩擦面全体が瞬間的に損傷に至る過程や要因など、未解明な点もある。

本研究では、エンジンすべり軸受合金などの実部品の金属材料とその相手面にサファイアディスクを用いて、オイル潤滑下での純すべり摩擦試験を実働時に近い高速度条件で実施し、摩擦力測定と同時に、摩擦面の可視化観察と油膜厚さ分布あるいは温度分布の *in-situ* 計測を行い、摩擦力の急増と同時に摩擦面の局所で発生した油膜破断が数ミリ秒という瞬時に面全体に拡大する焼付き過程をとらえた。その油膜厚さ分布測定には3波長光干渉法を動状態計測に初めて適用して、摩擦面の温度分布測定には中赤外サーモグラフィを用いて、高精度の定量解析を実現している。また、供試金属試験片の表面を大曲率半径(1500mm)の球面として、片当りの少ない面接触状態を再現したことも本研究の特長である。

これらの *in-situ* 計測に基づき、摩擦面の局所で生じた油膜破断による摩擦発熱が隣接部に拡散して、温度上昇に伴う油膜粘度の低下と油膜厚さ減少を招き、油膜破断領域の拡大を誘起することが繰り返される「熱拡散誘起スパイラルモデル」を示し、焼付き現象の一端を明らかにした。このような熱拡散で誘起される油膜破断域の拡大過程については従来から推察はなされていたが、定量的な裏付けは初であり、熱拡散を抑制できる表面テクスチャや低熱伝導材料など高耐焼付き摩擦面設計への貢献が期待される。

対象論文: Tribology Online, Vol.16, No.2 (2021) 89-98.

2023 年度日本トライボロジー学会技術賞受賞者

川村 隆之 君 (NTN 株式会社)

関 誠 君 (NTN 株式会社)

近藤 涼太 君 (NTN 株式会社)



川村氏



関氏



近藤氏

低フリクションハブベアリング III 用グリースの開発

本技術は、タイヤの回転を支えるハブベアリングの回転トルクを大幅に低減させるために必要なグリース技術である。

近年、グローバルで自動車の燃費や電費向上への要求が高まるとともに、二酸化炭素排出規制の強化が進み、車両走行時の消費エネルギーの削減がますます重要になっている。タイヤの回転を支えるハブベアリングには基本性能である強度や寿命を満たした上で、更なる回転トルクの低減が求められている。

この課題に応えるため、ハブベアリング用の低フリクショングリースを開発した。玉軸受内グリースの存在状態と回転トルクとの関係を調べ、玉と保持器ポケット面間に介在するグリースのせん断応力を低減することにより低トルク化を実現した。せん断応力低減には、①グリース粘度の低減、②チャンネルリング状態への迅速な移行、が必要であり、開発グリースは、ハブベアリングの実用せん断速度域でのグリース粘度を下げ、グリースの降伏応力が大きくなるようにした。また、グリース基油の分子構造を環状／分岐構造が少なく、直鎖構造が主体のものとし、玉と軌道輪間に介在するグリースによるトラクションを低減させた。また、基油の流動点を下げ、ハブベアリングで問題となる低温時の耐フレッチング性を向上させた。上記技術を盛り込み、増ちょう剤、基油、添加剤を適切に配合した新開発グリースにより、ハブベアリングに必要な機能を維持しながら、従来グリースに対し回転トルク 56%低減を実現した。

本技術は、ハブベアリング以外の一般の転がり軸受にも量産適用可能であり、カーボンニュートラル社会への貢献が大いに期待される。

2023 年度日本トライボロジー学会技術賞受賞者

清水 保典 君（出光興産株式会社）

甲嶋 宏明 君（出光興産株式会社）

葛西 杜継 君（出光興産株式会社）



清水氏



甲嶋氏



葛西氏

金属系添加剤非含有のディーゼルエンジン油の開発

環境負荷低減を目的に、ディーゼル車には排ガス中の粒子状物質（ススや添加剤由来の金属灰分）を捕集するフィルタ（DPF）が搭載されている。捕捉されたススは DPF 再生プロセスにて焼却除去されるが、金属系添加剤由来の粒子は残留し、DPF 再生頻度の増加や、燃費の悪化、DPF の洗浄/廃棄の実施など、様々な問題の要因となっている。

本課題の解決手法として、金属系添加剤を使用しないことが理想であるが、技術的な難易度が高いため、従来は使用量の減量（低金属灰分化）が実質的に唯一の手法であった。受賞者らは、この課題を根本的に解決するために、従来のディーゼルエンジン油で必須成分とされてきた金属系清浄剤や金属系耐摩耗剤を使用しないエンジン油の開発に着手した。添加剤の無灰化には計算科学を活用し、金属系添加剤同等の性能を有する新規無灰化合物の開発に成功した。次いで、それら性能をエンジン油中で最大限に発揮する添加剤配合技術を確立した。本技術を適用したエンジン油は、DPF 目詰まり試験において DPF 内に金属灰分が堆積しないことや各種エンジン試験で合格レベルの性能を示すことを見いだした。開発した金属系添加剤非含有のディーゼルエンジン油は、DPF を搭載するトラックやバス向け日本自動車技術会規格（JASO DH-2 規格）相当の性能を実現し、実車走行試験において良好な性能を確認でき、販売を開始した。

開発油は、DPF 搭載車の燃費悪化の抑制や廃棄物の削減など、省燃費・省資源への貢献が期待できる。さらに、運輸業界における運転手不足や高齢化、2024 年問題など、急務となっている業務効率化に対し、DPF トラブルに起因する労働環境の悪化の改善による貢献も期待できる。

2023 年度日本トライボロジー学会技術賞受賞者

小野寺 拓 君 (ENEOS 株式会社)

設楽 裕治 君 (ENEOS 株式会社)

柴田 潤一 君 (ENEOS 株式会社)

緒方 壘 君 (ENEOS 株式会社)



小野寺氏



設楽氏



柴田氏



緒方氏

超高速にトライボロジー現象を解明できる AI 分子シミュレータおよび 潤滑剤のバーチャルスクリーニング技術

本技術は、従来の不可能を可能にする AI 分子シミュレータを世界に先駆けてトライボロジー課題へと適用し、摩擦界面の現象解明に留まらず、マテリアルズ・インフォマティクス (MI) による材料スクリーニングへと発展させたものである。

これまで、分子シミュレーションの技術は、見えない界面現象の可視化やメカニズムの解明に多大な貢献をしてきた。しかし、例えば材料物性を再現する力場パラメータが都度必要になることや、電子状態計算の負荷が膨大であることなど、多くの課題が顕在化していた。受賞者の一部を含む研究グループは、深層学習に基づく力場を実装する AI 分子シミュレータ「MATLANTIS™」を開発した。従来法には必須であったパラメータを一切必要としないことに加え、かつてない速さでの分子シミュレーションを可能とした。

MATLANTIS を用いて、環境負荷の小さな次世代冷媒の複雑な表面反応メカニズムを初めて解明、また樹脂材表面における添加剤の吸着と摩擦特性との関係を見いだした。さらに、超高速計算の特徴を活かして材料物性データを大量に生成、機械学習を用いた MI へと発展させ、膨大な化合物群の中から金属加工油の基油を選定した。国内の研究機関においても本技術が用いられ、ZnDTP・MoDTC 併用系の複雑なトライボケミカル反応の解析が進んでいる (本年度の学生奨励賞を参照)。

本技術は、実験コストを抑えるとともに迅速な要因解明や材料選定に資することができ、トライボロジー分野だけでなく触媒や電池など MI の適用が盛んな他分野での材料設計にも汎用的に活用できる。わが国発の革新的な新素材や、ノーベル賞級の素材発見につながる可能性すら秘めており、極めて高い将来性が期待される。

2023 年度日本トライボロジー学会技術賞受賞者

西 駿明 君（東北大学 大学院工学研究科）
 山口 健 君（東北大学 大学院工学研究科）
 柴田 圭 君（労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所）
 原野 健一 君（株式会社アシックス）
 堀切川 一男 君（東北大学）



西氏



山口氏



柴田氏



原野氏



堀切川氏

架橋発泡樹脂を用いたユニソール構造による超軽量耐滑シューズの開発

本技術は、架橋発泡樹脂の気孔率制御により耐滑性と耐摩耗性を両立させた材料を開発し、これを応用してミッドソールとアウトソールを一体化した「ユニソール」という独創的なソール構造により開発した超軽量耐滑シューズに関するものである。本超軽量耐滑シューズは、東京 2020 オリンピック・パラリンピック競技大会に参加するフィールドキャスト（大会スタッフ）やシティキャスト（都市ボランティア）のユニフォームシューズとして実用化されている。

架橋発泡樹脂は、軽量性と緩衝性に優れることから、一般にはミッドソール用材料として用いられている。しかし、ゴム材料と比較すると耐滑性と耐摩耗性に劣るため、アウトソールへの適用はなされてこなかった。本技術では、表面から内部に向かって気孔率が増大するよう傾斜機能性を持たせるとともに、架橋発泡樹脂が低気孔率の場合は耐摩耗性に優れ、高気孔率の場合は低弾性が故に高摩擦を発現することに着目し、表面近傍の気孔率をアウトソール用として最適化することにより、優れた耐滑性と耐摩耗性の両立に成功した。

また、天然ゴムを添加することにより、環境適合性の向上も図った。本超軽量耐滑シューズでは、暑さ対策のためユニソールの側面と上下面に通気孔を配置しているため、歩行時の繰り返し圧縮に起因するへたりの発生が懸念されたが、セルロースナノファイバを添加することにより大幅な高強度化を実現できたことで、へたりの抑制も図ることができた。

さらに、ユニソールではアウトソールとミッドソール接着面が存在しないため、垂直方向の通気孔が遮断されることなくシューズ内換気の高効率化も実現できた。

本技術は、使用用途に応じたソールの耐滑性や耐摩耗性、通気性、軽量性、緩衝性の設計を可能にするものであり、シューズの安全性や快適性、耐久性の更なる向上に貢献することが期待される。

2023 年度日本トライボロジー学会奨励賞受賞者

柳澤 穂波 君（日本精工株式会社）



柳澤氏

マイクロ EHL 解析と内部応力解析による表面損傷への影響因子の解明

本研究は、転がり軸受表面に生じる損傷に関わる影響因子の解明を試みたものである。

カーボンニュートラルの実現に向けて、転がり軸受に更なる摩擦損失の低減が求められている。軸受に使用される潤滑油の低粘度・低油量化が近年のトレンドであるが、この流れが加速すると転がり/すべり接触部の潤滑状態が過酷となり、摩耗やピーリング（英：Micro-pitting）といった表面を起点とする損傷の増加が懸念される。

摩耗とピーリングがどのように発生するかを理解するため、これまで多くの疲労試験が行われてきた。その結果によれば、転動体とリングの理論接触面積に対する真実接触面積の比（以下接触割合）やそこで発生する応力（以下接触応力）が、損傷の発生を大きく左右する影響因子であると推察される。しかしそれは数々の疲労試験データに基づく経験的な仮説にすぎず、理論的な根拠に乏しいことが課題であった。

そこで本研究では、理論的な見地から上記仮説を立証することを目的として、金属表面間に形成される油膜、接触状態ならびに内部応力状態を評価可能な数値シミュレーション技術の開発が行われた。シミュレーションに使用したプログラムは、表面粗さの影響を決定論的に扱うことができるマイクロ EHL 解析と、それにより算出した圧力分布を入力とする内部応力解析を連成させたものである。本連成プログラムを用いて、寿命の影響因子として注目している“接触割合”および“接触応力”をそれぞれ求め、その結果を疲労試験で実測した損傷状態と照合することにより、損傷と影響因子の因果関係を深く考察することが可能となった。具体的には、摩耗には接触割合、ピーリングには接触応力が顕著に影響していることが浮き彫りとなり、経験的に立てた仮説が理論的な裏付けにより補強されたと言える。

以上のように、本研究ではこれまで測定が困難であった表面損傷の影響因子が、数値シミュレーション技術により明らかにされた。この成果は、軸受長寿命化、エネルギー効率化への取組みの飛躍的な加速につながる重要な知見と考えられる。

対象論文：トライボロジー会議 2022 秋 福井, F2.

ITC Fukuoka 2023, 30-G-08.

2023 年度日本トライボロジー学会奨励賞受賞者

齋藤 庸賀 君（東京都立産業技術研究センター）



齋藤氏

指モデル接触子を用いた動的摩擦特性に及ぼす正弦波駆動の影響

本研究は、ヒトの指腹を模倣した“指モデル接触子”を用いて、ヒトのなめらかな触動作を模倣した正弦波運動での摩擦試験を実施し、その動的摩擦特性の解明に取り組んだものである。

昨今、製品への付加価値の付与、効率的な製品設計のために“触り心地”を数値的に評価したいという要望が高まっている。摩擦の観点から触る行為を考えた場合、ヒトの指でどのような摩擦現象が起こるのか、それをどのように捉えることができるのが重要となる。ヒトが物に触れる際の摩擦現象を捉えるために、ヒトの指紋突起および柔らかさを再現した“指モデル接触子”を試験片として用い、表面テクスチャを有する本革、合皮、樹脂材料との摩擦試験を実施した。この時、ヒトの動きを再現するために、試験装置は正弦波駆動機構を有する摩擦試験装置を用いた。

正弦波運動での摩擦試験では試験中に刻々と速度が変化するが、この速度変化を利用することで速度に対する摩擦応答を連続的に評価できることが確認された。また、摩擦信号中の振動成分に着目し、時間情報を空間情報に変換した摩擦データを周波数解析することで、表面テクスチャの粗さ成分に由来する信号（摩擦振幅）が生じていることを明らかにした。加えて、摩擦試験に供した試験サンプルを用いて触り心地に関する官能評価を実施したところ、摩擦係数とすべり感、摩擦振幅と粗さ感に強い相関がみられ、今回の評価手法がヒトの触り心地を評価する有効な手段となり得る可能性が示唆された。今後、本評価手法が触認知理論、触覚評価手法の発展の一助となることを期待したい。

対象論文：トライボロジー会議 2023 春 東京, B11.

2023 年度日本トライボロジー学会奨励賞受賞者

江波 翔 君（日本精工株式会社）



江波氏

転がりすべり接触下における潤滑剤からの水素発生に及ぼす油種の影響

本研究は、転がりすべり接触下における潤滑剤からの水素発生の影響因子を調べ、水素発生メカニズムを考察したものである。

転がり軸受のはく離形態の一つに鋼中に特異な白色組織を伴う早期はく離（白色組織はく離）がある。本はく離は潤滑剤の分解により発生した水素が鋼中に侵入することで生じると考えられている。軸受の信頼性向上のためには、はく離に至るまでの過程を詳細に理解せねばならない。白色組織はく離は水素起因のはく離であることから、軸受使用中にどのように水素が発生しているのかを明らかにすることが重要であり、潤滑剤からの水素発生メカニズムの明確化が課題となっている。

本課題に対しこれまでに受賞者は、転がりすべり接触下における潤滑剤からの水素発生に及ぼすすべり速度と温度の影響を調べてきた。純転がり条件では、転がり接触面からの水素発生は見られなかった。一方で転がりすべり接触下では、すべり速度が大きく潤滑剤の温度が高いほど水素発生量は多かった。これらより、二面間のすべりにより露出する金属新生面の触媒作用により潤滑剤が分解し水素が発生したと考えられる。高温条件下での水素発生量増加要因として、温度が高いことで潤滑剤の分解反応が促進されたことが考えられる。さらに本研究では、潤滑剤からの水素発生に及ぼす油種の影響を調べた。白色組織はく離が再現されやすい潤滑剤では、白色組織はく離が再現されにくい潤滑剤より水素発生量が多いことを示した。基油や添加剤が水素発生に影響を及ぼしたと考えられる。また本結果は水素発生量を基に白色組織はく離の寿命予測が可能であることを示唆する。

以上のように本研究では潤滑剤からの水素発生に関する有益な知見が得られた。本成果は白色組織はく離の対策技術や寿命予測技術の開発に貢献し、軸受の信頼性向上が期待される。

対象論文：トライボロジー会議 2023 春 東京, E24.

2023 年度日本トライボロジー学会奨励賞受賞者

小畑 智彦 君 (NTN 株式会社)



小畑氏

着色剤による転がり軸受内のグリース挙動の可視化

本研究は、狭小すきま通過時に分裂する特殊な着色剤微粒子の凝集体をグリースに添加し、軸受運転時の凝集体の微細化に伴うグリース色の変化を利用して、グリース挙動を可視化したものである。

自動車や産業機械の潤滑において油からグリースに置き換える動向がある。それに伴い、グリース潤滑軸受の摩擦損失の少ない潤滑技術が求められている。グリース潤滑時の軸受トルクは、チャーニングとチャンネリングと呼ばれる潤滑状態の違いによって大きく変化する。また、これらの状態は、グリース種および運転条件の影響を受けるため、低トルク化のためには軸受内のグリース挙動を正確に理解する必要がある。

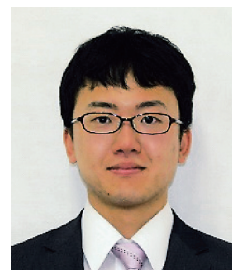
本研究では、高速度カメラを用いて軸受内のグリース分布や流動を観察することに加え、トルク要因となる保持器ポケットすきまおよび転動体と軌道輪の接触点近傍すきまを通過するグリースの流動を観察するために、着色剤の分裂現象を利用した新しい可視化手法を考案した。着色剤を添加したグリースは、堆積量や通過するすきまの大きさによって、色調が変化する。この現象を利用して、軸受内のグリースの流動の履歴や移動量を定量化した。さらに、グリース流動の観察と摩擦トルクの測定を同期することで、保持器を介したグリースの循環流動が軸受トルクの増加に影響することを明らかにした。

以上のように、本研究で示した着色剤の分裂現象を利用した可視化手法は、転がり軸受でのグリース流動およびその時の流動履歴を高精度に推定できる技術である。得られた成果は、低トルク化が要求される軸受の内部設計およびグリース開発に貢献すると期待される。

対象論文：トライボロジスト，第 67 巻，第 1 号 (2022) 54-60.

2023 年度日本トライボロジー学会奨励賞受賞者

嘉村 直哉 君 (NTN 株式会社)



嘉村氏

X 線回折環分析装置による転動接触疲労の評価

希薄潤滑状態で使用される転がり軸受では、マイクロピッチングの発生が問題になることがあるが、マイクロピッチングの発生に及ぼす接触表面のせん断応力の影響はこれまで未解明であった。

本研究では、X 線回折環分析装置で得た残留応力 6 成分に、接触解析で求めた接触応力を重ね合わせることで、希薄潤滑条件での転動接触面に生じる応力振幅を計算した。その結果から、接触面に引張応力は存在しないこと、表面での主せん断応力の振幅が軸受鋼の疲労限度を超えていることを確認し、マイクロピッチング特有の微小き裂はせん断モードで発生する可能性が高いことを示した。これは、マイクロピッチングの発生機構の解明につながる知見であると考えられる。また、上記の考察に関連し、ショットピーニングで付与される圧縮残留応力は、希薄潤滑条件での転動接触においては必ずしも長寿命化に寄与しないという実験結果も得た。

また、転動接触疲労の進行度(疲労度)を評価可能な新たなパラメータを提案した。従来の X 線回折を用いた転動接触疲労の疲労度推定では、評価パラメータに残留オーステナイト、残留応力、半価幅のいずれかが用いられてきた。しかしながら、それらパラメータでは一定以上の疲労度に達すると疲労度の推定精度が低下する場合があった。

本研究では、転動接触面から得られる X 線回折環の回折強度分布の変化が転動疲労進行と関連することを確認し、これを定量化して疲労度のパラメータとして利用した。従来の手法では疲労が進行した領域で推定精度が低下するが、今回の手法では疲労度の評価精度を高めることが可能である。

本研究成果は、転がり軸受の疲労度推定精度の向上に寄与し、機械のライフサイクル延長の観点で重要な転がり軸受再使用の可否判断といった用途での活用も期待される。

対象論文：トライボロジー会議 2018 春 東京, A36.

2023 年度日本トライボロジー学会学生奨励賞受賞者

斎藤 千夏 君（鳥取大学）



斎藤氏

疎水性表面における三重線の移動抵抗係数の測定

本研究は、分子運動論を用いて、液滴の固体表面における濡れと脱濡れ過程の固・液・気界面（三重線）の移動特性を明らかにしたものである。

液滴が表面に付着することは、輸送機械、精密機器、熱交換機、燃料輸送システム、医療機器など多くの分野で問題を引き起こす。疎水性表面には液滴が付着しにくく、関連する諸問題の多くを解決できるため、疎水性表面を持つ材料の開発や表面処理による固体表面の疎水化は、機械分野における重要な課題の一つである。また、液滴の付着のしにくさだけでなく、付着した液滴の除去のしやすさも、固体表面の液滴に対する特性の中で注目すべき点である。液滴の除去のしやすさを評価するためには、固体表面上での液滴の動的挙動について理解する必要がある。

三重線の移動特性は、主に液体による濡れや脱濡れの観察を行うことにより研究されてきた。液滴の濡れと脱濡れ過程の理論として、エネルギー散逸が三重線での液体分子の吸着および脱離過程によって起こると仮定して提案された分子運動論がある。これまで、疎水性表面の濡れと脱濡れ過程は分子運動論で説明できることが示唆されているが、疎水性表面と親水性表面での分子運動論のパラメータの違いについては報告されていない。

本研究では、疎水性表面の濡れと脱濡れ過程を液滴の拡張・収縮法により模擬し、液滴の動的接触角、三重線の変位・速度を測定した。さらに、液滴の前進接触角と後退接触角の測定結果と分子運動論から、三重線の移動抵抗係数、液体分子が液体表面から固体表面あるいはその逆方向にジャンプする周波数、液体分子がそのジャンプの際に動く距離を求めた。その結果、液体分子がジャンプする距離は、疎水性表面でも親水性表面と同様に 1 nm 程度であるが、液体分子がジャンプする周波数は親水性表面よりも疎水性表面の方が小さいことが示唆された。

対象論文：トライボロジー会議 2023 春 東京, C8.

2023 年度日本トライボロジー学会学生奨励賞受賞者

湯浅 大海 君（東京理科大学）



湯浅氏

基油の極性が冷凍機油用リン系摩耗防止剤の吸着特性に及ぼす影響

本研究は、リン酸エステル（リン系摩耗防止剤）の酸化鉄に対する吸脱着挙動を、エネルギー散逸（Dissipation）測定機能を付与した水晶振動子マイクロバランス（QCM-D）により評価し、リン系摩耗防止剤の吸着特性を検討したものである。

冷凍空調機器の圧縮機には摩耗を防ぐため、基油と添加剤から構成される冷凍機油が使用される。基油には極性油が、添加剤にはリン系摩耗防止剤が広く用いられる。リン系摩耗防止剤はしゅう動部の酸化鉄と反応してリン酸鉄を形成し、それが潤滑膜として摩耗を抑制する。リン系摩耗防止剤の摩擦特性や反応機構については多くの研究例がある一方、潤滑膜形成初期に重要となる吸着特性に関する知見は不足している。特に化学構造と吸着質量や分子占有面積を関連付けた定量的な解析、および基油の極性に着目した取組みは少ない。このような背景から、本研究では基油の極性に着目し、リン系摩耗防止剤の吸着特性に及ぼす影響を検討した。

無極性基油中においては、活性ヒドロキシ基を有する diphenyl phosphate（DPPha）の吸着質量が顕著に大きくなった。これは DPPha のヒドロキシ基が反応活性点となり化学吸着性が高いこと、さらに DPPha はバルク溶液（無極性）よりも酸化鉄表面（極性環境）に対する親和性が高いためと考えられる。また、ベンゼン環を有する物質は吸着質量が大きくなった。極性基油中においては DPPha と活性水素を有する diphenyl phosphite（いずれも高極性物質）の質量変化が負になった。これは酸化鉄の表面に吸着していた極性基油がリン系摩耗防止剤に置換された結果と考えられる。すなわち、高極性摩耗防止剤は酸化鉄に対する吸着能が高いことから、極性基油の脱着を強く促し、質量の総変化が負になったと考えられる。

以上よりリン系摩耗防止剤の化学吸着性と極性、およびベンゼン環の存在が吸着特性に影響を及ぼすことが示唆された。また、基油の極性もリン系摩耗防止剤の吸着特性に影響を与えることが示唆された。今後は極性基油の化学構造がリン系摩耗防止剤の吸着特性に及ぼす影響を検討し、知見の拡充を図る。

対象論文：トライボロジー会議 2023 春 東京、D15.

2023 年度日本トライボロジー学会学生奨励賞受賞者

堀尾 巴人 君（兵庫県立大学）



堀尾氏

ZnDTP および MoDTC 添加剤の化学反応ダイナミクス： ニューラルネットワークポテンシャルを用いた分子動力学シミュレーション

本研究は、機械学習を用いて原子間のポテンシャルエネルギーを推論するニューラルネットワークポテンシャル（NNP）を力場とする分子動力学シミュレーションにより、ジアルキルジチオリン酸亜鉛（ZnDTP）およびジアルキルジチオカルバミン酸モリブデン（MoDTC）の金属表面への吸着・反応ダイナミクスを解析したものである。ZnDTP や MoDTC は実験により様々な研究が行われてきた。しかし、計算化学によるアプローチは密度汎関数法を用いた計算が主で、扱える系は単分子吸着などの素過程に限られた。これは、従来の分子動力学で扱える元素の種類が限定されていたためである。本研究では最近開発され、トライボロジーのみならず材料科学全般で注目されている、汎用な NNP である PrePreferred Potential（本年の技術賞記事を参照）を、本系の解析に初めて適用した。

まず、MoDTC 1 分子を挟むように鉄基板または酸化鉄基板を配置し、シミュレーションを行うことで金属表面反応の検討を行った。結果として、鉄新生面では MoDTC 分子は鉄新生面に吸着した後、片方のモリブデン原子と結合している硫黄原子が解離し、もう一方のモリブデン原子と結合している酸素原子がモリブデン原子に転移する様子が見られた。対して、酸化鉄表面では分子構造を保ったまま吸着した。片方の酸化鉄基板に 2.5 GPa の圧力をかけるシミュレーションを行うと、 $\text{Mo}_2\text{S}_2\text{O}_2$ の中心部分とジチオカルバミン酸に分解し、最終的に酸化鉄表面の酸素をモリブデン原子が奪い、 MoO_3 と MoS_2O 、ジチオカルバミン酸が生成した。

次に、ZnDTP と MoDTC が併用されるエンジン油を模擬し、ZnDTP (10 分子) に加えて MoDTC (10 分子) を添加し、基油として n-オクタン (10 分子) を用いた潤滑油のせん断シミュレーションを行った。金属界面において ZnDTP 分解反応が起こり、分解した亜鉛原子が油中の ZnDTP 分子の吸着を誘発し、亜鉛 2 原子を介してチオリン酸が吸着した。鉄最表面において亜鉛濃度が高いことは実験的に知られており、本シミュレーションはこれに対応するものであると考えられる。

以上のように、NNP を適用することでこれまで実質的に不可能であった分子シミュレーションにて ZnDTP や MoDTC の化学反応ダイナミクスを明らかにした。今後、金属界面における ZnDTP と MoDTC の相乗作用をはじめ、「トライボ化学反応」と一口に呼ばれてきた複雑な表面化学反応の分子レベルでの解明が進むことが期待される。

対象論文：トライボロジー会議 2023 春 東京, D20.

2023 年度日本トライボロジー学会学生奨励賞受賞者

田中 祐次 君（名古屋工業大学）



田中氏

SPR 法による鉄表面の脂肪酸吸着膜の厚さ計測試行

本研究では、銅表面の油中添加剤の吸着過程のその場観察が可能である表面プラズモン共鳴（SPR）顕微鏡を改良し、トライボ材料として広く使用される鉄材料表面への添加剤吸着過程の観察を可能とする新しい SPR 顕微鏡を開発した。

SPR 顕微鏡は、金属の表面プラズモンと入射光との共鳴現象を利用しており、接触面内の反射率変化情報から吸着膜厚を 2D マップとして同定可能である。ただし、可視光に対し表面プラズモンを励起するのは金、銀、銅、アルミニウムのみに限られるため、SPR 顕微鏡の応用範囲には制限がある。そのため、鉄材料のようにしゅう動部材として広く使用されている材料への吸着特性については測定が困難であった。

以上の課題に対して本研究では、鉄薄膜を銅表面に蒸着した試験片を SPR 顕微鏡に活用することで、従来の表面プラズモン計測法を鉄表面での吸着膜可視化に適用した。表面プラズモン共鳴の特性を失わない程度に薄く、一方で、鉄のバルク特性を有する膜厚として、鉄の膜厚を 5nm と選定した。実証試験では、一般的な添加剤のステアリン酸を用いて、銅と鉄の表面に対する吸着特性の差を定量化することを目的とした。その結果、鉄表面では真実接触部を中心に階段状の厚い膜が形成されることがわかった。これらの結果は、接触の機械的刺激によって乱雑に吸着しているステアリン酸分子が排除され、規則的に整列した膜の形成が促進されるためと考えられる。一方、銅表面ではこれらの傾向は銅のみの試験では発現されなかった。このことから、鉄と脂肪酸の間に働く特有な界面相互作用を観察できたと言える。

本研究では SPR 顕微鏡の利点を生かしつつ、材料の適用範囲を広げることに着目したが、潤滑油機構の解明には脂肪酸以外の添加剤の吸着特性の理解や、しゅう動中のダイナミクスの影響や表面の粗さの影響をいかにしてモデル化するかなど、まだまだ課題が多く残っている。本研究で開発した SPR 顕微鏡を活用することで、これら課題の解明に向けて頑張っていきたい。

対象論文：トライボロジー会議 2023 春 東京, C30.

2023 年度日本トライボロジー学会教育貢献賞受賞者

長谷 亜蘭 君 (埼玉工業大学)



長谷氏

次世代を担う子ども達に向けた“摩擦の科学×謎解き”教育活動

長谷亜蘭氏は、本学会増強委員会・次世代教育ワーキンググループのメンバーとして各種企画・運営に関わるとともに、小中高生を対象とした独自の“摩擦の科学×謎解き”教育活動を精力的に行っている。この“摩擦の科学×謎解き”イベントを東京国立科学博物館など各地で多数開催し、これまでに多くの実績を残している。

このような取組みに対し、「謎解きを取り入れた環境教育教材の考案と教育実践」の功績により 2019 年地球温暖化防止活動環境大臣表彰、2017 年には日本機械学会教育賞を受賞し、トライボロジーの一般へのアピールにも大きく貢献している。また、当該教育活動の成果をトライボロジー会議のみならず国際会議 WTC (北京およびリヨン) や MITC (マレーシア) の教育シンポジウム等でも多数発表している。その独創的かつ先駆的な当該教育の取組みに、国内のみならず海外からも大きな注目を集めている。

当該教育手法は、参加者の興味を惹く工夫がなされ、子ども達が自発的に考える能力を養うとともに、グループ活動による摩擦実験などを通してコミュニケーション能力も養うことができる。さらには、デジタル化によりアナログに触れる機会が少なくなった子ども達に対して有効かつ斬新な教育手法といえる。昨今のコロナ禍では、オンライン教育やハイブリッド教育にも対応できるように、ペーパークラフトを用いた摩擦実験教材を開発するなど、対面による教育活動が困難な中でも活動を継続している。本教育活動の参加者にはリピーターも多く、保護者や主催関係者からも高い評価を得ている。

これらの功労と将来性から、当該教育活動はトライボロジーの啓蒙活動および将来のトライボロジストを確保するうえでとても重要な活動であり、本会の教育貢献賞に相応しい。