2024年度日本トライボロジー学会功績賞受賞者

川久保氏

川久保　洋一 君

川久保洋一氏は，1969年東京大学大学院工学系研究科精密機械工学専攻修士課程を修了後，日立製作所中央研究所に入社，磁気ディスク記憶装置の機構，媒体，トライボロジーの研究に従事され，1993年東京大学から博士（工学）の学位を授与された．1999年に信州大学工学部機械システム工学科教授，2010年より芝浦工業大学機械機能工学科特任教授，非常勤講師を務められた．その間，磁気ディスク媒体のトライボロジー，CNT複合樹脂のトライボロジー，半導体プラナリゼーションCMPの研究に関して顕著な業績を挙げられ，精密工学会高城賞など数々の賞を受賞されている．本会においては理事2期，出版委員長，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などを歴任されるなど，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．

鈴木氏

鈴木　政治 君

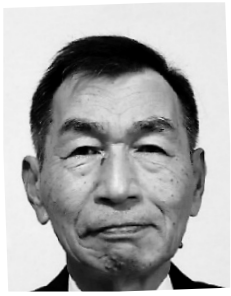
鈴木政治氏は，1974年に東京都立大学大学院工学研究科を修了後，旧日本国有鉄道に入社，翌年鉄道技術研究所（現(公財)鉄道総合技術研究所）に配属された．ここで，鉄道車両用潤滑剤の開発に数多く携わられた他，特に，気動車エンジン油の油中摩耗粉分析による状態診断においては，異常の兆候を示す摩耗粉の特徴について明らかにするなど，鉄道車両用潤滑剤の評価技術の向上に大きな成果を挙げられた．本会においては，運営委員長など理事2期，グリース研究会主査，鉄道のトライボロジー研究会の主査8期，トライボロジーハンドブックをはじめとする本会各種出版物の編集委員を務められるなど，トライボロジーと本会の発展に多大な貢献をされた．

2024年度日本トライボロジー学会功績賞受賞者

中島氏

中島　晃 君

中島晃氏は，1974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，佐賀大学理工学部講師に採用され，助教授を経て1988年に教授に昇任，2015年に退任されるまで，トライボロジー，機械要素，機械設計に関する教育研究に精力的に従事された．特に，歯車材や軸受鋼の転がり疲れ，溶射被膜の耐はく離強度，転がり軸受の運転性能，熱弾性流体潤滑に関する研究などで優れた業績を挙げられ，日本潤滑学会論文賞（1979年）や日本機械学会賞（2003年）の受賞など学術的に高い評価を受けている．本会においては，第42期，第43期の理事，国際会議の組織委員や実行委員，トライボロジー入門講座の講師を務めるなど，トライボロジーおよび本会の発展に多大な貢献をされた．



新田氏

新田　勇 君

新田勇氏は，1982年3月に東北大学大学院工学研究科機械工学専攻博士課程前期課程を修了後，東北大学工学部助手を経て，1984年に新潟大学工学部助手として就任された．その後，助教授を経て2004年に教授に昇進され，接触剛性の研究やシュリンクフィッタの開発など，接触問題に関する一貫したご研究に従事された．その成果は，2001年12月の新潟大学初の大学発ベンチャー企業(株)オプセルの起業や，広視野レーザ顕微鏡/干渉計という独自の顕微鏡システムの開発につながった．近年では同システムを用いた真実接触面を広範囲に観察する技術の開発と接触面観察を通じたトライボロジー現象の解明やプリンタの用紙規格策定などにご尽力された．以上のように，同氏はトライボロジーと本会の発展に多大な貢献をされた．

2024 年度日本トライボロジー学会論文賞受賞者

相馬　実波 君（協同油脂株式会社）
野木　　高 君（協同油脂株式会社）
董　　大明 君（協同油脂株式会社）
木村　好次 君（東京大学 香川大学）

相馬氏

野木氏

董氏

木村氏

グリースの組成によるパーミアビリティの変化および低速 EHL 厚膜への影響

グリースで潤滑した転がり接触では，低速域において基油で潤滑した場合よりはるかに厚い潤滑膜が形成されるという特異な現象，厚膜化が認められている．著者らは，厚膜化が生じた際に出口側の馬蹄形の領域で膜厚が減少していること，軌道面に残存するグリース中の増ちょう剤の濃度が上昇すること等の実験結果に基づき，この現象は EHL（弾性流体潤滑）下で生じており，入口領域において基油を主体とする低粘性成分が選択的に排除されて増ちょう剤の濃度が上昇し，その結果グリースの見かけ粘度が上昇して膜厚が増加するというメカニズムを提案してきた．

本論文では，遠心分離試験によって測定した離油度からグリースのパーミアビリティを求める方法を提案し，パーミアビリティが修正を加えた KOZENY-CARMAN の式によって十分な精度で表されることを示した．また，グリースの圧力流れを増ちょう剤の網目構造の流れと網目構造を透過する基油の流れに分けて扱う二相流モデルと ERTEL-GRUBIN モデルを用いて増ちょう剤の濃度の上昇を考慮した EHL 解析を行う方法を提案するともに，増ちょう剤の濃度，基油の粘度，増ちょう剤の種類を変えたグリースを対象として中央膜厚を算出し，測定と良好な一致を示す結果を得た．さらに，膜厚-速度線図における厚膜化の開始点，すなわち速度を低下させていく際にグリースと基油の膜厚の乖離が生ずる点がグリースの組成によって系統的に変化することを示し，厚膜化の過程へのパーミアビリティの関わりを考察した．

以上のように，本論文は EHL 理論の課題であるグリースのモデリングと，グリースで潤滑される転がり軸受や歯車の性能予測に新しい視点とアプローチを提供するものであり，学術的，技術的に高い価値が認められる．

対象論文：トライボロジスト，第 68 巻，第 3 号（2023）185-197.

2024年度日本トライボロジー学会論文賞受賞者

厨川　和哉 君（東北大学 大学院工学研究科）
足立　幸志 君（東北大学 大学院工学研究科）

厨川氏

足立氏

Durability of Super-Low Friction of Hydrogenated Carbon Nitride Coatings in High-Vacuum Environment

本論文は，水素含有窒化炭素（CN_x:H）膜を用いた無潤滑下での超低摩擦の継続的発現を目的として，CN_x:H膜が発現する超低摩擦の持続性とそれに及ぼす膜中の含有水素の役割を実験的に明らかにしたものである．

CN_x:H膜は，摩擦環境の最適化により超低摩擦を発現するナノ界面を自己形成し，無潤滑状態で摩擦係数0.01以下の安定した超低摩擦を発現することが報告されている．この低摩擦現象の実用展開を考えるとき，ナノ界面の形成機構の解明とともに耐久性の保証が強く求められる．これに対し著者らは，独自に導入した精密な環境制御下における摩擦実験装置を用いた精緻な実験と詳細な分析により，超低摩擦の耐久性とそれに伴う摩擦界面での現象変化の解明を試みている．

本論文では，CN_x:H膜と窒化ケイ素（Si_3N_4）の摩擦対において，高真空環境下で発現する0.01以下の摩擦係数を示す超低摩擦が，固体潤滑で一般的な0.05～0.1程度の摩擦係数に増加する「超低摩擦の寿命」が存在することを明らかにしている．また，この超低摩擦の持続性が水素含有量に依存することを実験的に明らかにしている．さらに，寿命前後におけるSi_3N_4に形成されるナノスケールの炭素質トライボ層の構造変化を明らかにするとともに，CN_x:H膜極表層からの水素の脱離がこのトライボ層変化の鍵を握ることを明示している．

以上のように，CN_x:H膜を用いた摩擦システムにおける超低摩擦の継続的発生の可能性とそのための含有水素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定に該当するものと認められる．

対象論文：Tribology Online, Vol.19, No.1（2024）62-73.

2024年度日本トライボロジー学会論文賞受賞者

渡辺　稔紀 君（横浜国立大学 大学院環境情報学府）
中野　　健 君（横浜国立大学 大学院環境情報研究院）

渡辺氏

中野氏

Two Origins for Bell-Shaped Velocity-Dependent Friction Coefficient: Kelvin-Voigt or Standard Linear Solid Viscoelasticity

柔軟な材料の摩擦係数は中速域で極大値を持つ「釣鐘型」になることが知られており，その機構として2種類の説がある．一つは「材料特性」に着目した説であり，材料の損失正接の周波数依存性が釣鐘型を示すとき，摩擦係数が損失正接に比例すると考えれば，釣鐘型の摩擦特性を説明できる．もう一つは「力学応答」に着目した説であり，高速域で対向面が浮上して接触勾配が減少すると考えれば，やはり釣鐘型の摩擦特性を説明できる．

そこで本研究では，これらの仮説の守備範囲を検討するために，明示的な摩擦則が不要なミニマルモデル（剛体圧子と粘弾性ファンデーションのすべり摩擦モデル）を利用した．材料特性の視点から2種類の粘弾性（非釣鐘型の「KV粘弾性」と釣鐘型の「SLS粘弾性」），力学応答の視点から2種類の拘束条件（圧子の浮上が不可能な「固定圧子」と可能な「可動圧子」）を設定して，これらの組合せとなる4種類の状況を理論的に解析した．まず，個々の状況における摩擦係数のマスターカーブを無次元形式で求め，「KV粘弾性と固定圧子の組合せ」を除く3種類の状況で釣鐘型の摩擦特性が現れることを示し，釣鐘型の摩擦特性の発現機構として「釣鐘型の粘弾性」と「対向面の浮上」はどちらも妥当であることを確認した．その上で，両者が共存可能な「SLS粘弾性と可動圧子の組合せ」では，対向面の浮上の効果が優勢に現れ，釣鐘型の粘弾性の影響は二次的になることを明らかにした．

以上の研究成果は，一般に材料特性に帰着されがちな摩擦特性に対して，トライボシステムの力学的な拘束条件が決定的な影響を及ぼす場合があることを示唆している．特に，摩擦特性を調査するための計測や計算では，ミクロからマクロまでスケールによらず，対向面の背面剛性をはじめとする力学的な拘束条件に十分な注意を払う必要がある．

対象論文：Tribology Online, Vol.19, No.3（2024）167-177.

2024年度日本トライボロジー学会技術賞受賞者

床桜　　大輔　君（トヨタ自動車株式会社）
佐野　　敏成　君（トヨタ自動車株式会社）
白石　　有　君（トヨタ自動車株式会社）
多田　亜喜良　君（ENEOS株式会社）
相澤　　康樹　君（ENEOS株式会社）
薄田　　洋平　君（ENEOS株式会社）

床桜氏

佐野氏

白石氏

多田氏

相澤氏

薄田氏

電動用超低粘度トランスアクスルフルードの製品化

本技術は，電動車のさらなる燃費向上とモータ冷却性向上のため，従来オイルから動粘度を50%以上大幅に低減すると同時に，将来の電動車の普及を見越して電動車ユニットに特化したオイル中の添加剤設計を新たに行うことで，低粘度化の課題であるしゅう動特性や消泡性の低下に対し従来オイル同等以上の信頼性を確保しつつ，電気絶縁性を成立させた世界初の新規電動車用超低粘度トランスアクスルフルードに関するものである．

燃費向上については，電動車ユニットの損失測定で従来オイルと比較して約30%以上の損失低減効果を実証し，WLTCモード燃費で1.2%以上の燃費向上の効果が得られた．また，モータ冷却性向上としては，低粘度化によりオイルの熱伝達率が向上し，実機評価でモータ最高温度が4℃以上改善することを実証した．

信頼性については，低粘度化の課題である耐疲労性，耐摩耗性，耐焼付き性，消泡性の低下に対し，添加剤処方の改良によって，油膜保持性の大幅な向上，添加剤反応被膜の平滑化，消泡剤の沈降抑制等に成功した．それにより，電動車ユニットの各種焼付き耐久試験でギヤ等の耐焼付き性が従来オイル同等であること，ギヤ・ベアリング実機疲労評価により従来オイル以上の耐疲労性能を確認した．さらに，ブリーザ性能試験により従来オイル以上の消泡性を確認した．

本技術は，燃費向上効果により電動車両1台当たり14.8kg/年のCO_2を削減でき，将来的に全電動車に適用することで'30年には新車のCO_2排出量で年間約12万トンの削減が見込まれる．すべての電動ユニットに使用されていく潤滑油は，今後の電動化技術の柱でありカーボンニュートラルに大きく貢献する技術である．

2024 年度日本トライボロジー学会技術賞受賞者

中村　　秀弥 君（出光興産株式会社）
本田　　知己 君（福井大学 学術研究院工学系部門）
今　　智彦 君（福井大学 学術研究院工学系部門）
関口　　浩紀 君（出光興産株式会社）
小別所　匡寛 君（出光興産株式会社）

中村氏

本田氏

今氏

関口氏

小別所氏

潤滑油画像解析による劣化診断法の開発

本技術は，潤滑油の劣化診断法として酸化による色相の変化と，汚損による固形粒子を同時にかつ簡便に測定する方法である．機械設備を設計寿命まで長期間安定して稼働させることは，経済性の観点および低環境負荷の観点から重要である．それには適切な保全管理（メンテナンストライボロジー）が必要であり，その一つの手法として潤滑油の管理が挙げられる．潤滑油は機械の血液とも呼ばれ，機械の異常は最初に潤滑油の変化として現れる．

この潤滑油劣化診断法は，スマートフォン用アプリとサンプル容器を兼ねた潤滑油撮影装置で構成される．スマートフォンは一般的な機種が使用可能であり，さらにアプリの簡単な操作で結果が得られる．潤滑油撮影装置は，小型で持ち運び可能であり，劣化状態を現場で即時に診断可能である．酸化度合いは，撮影画像の色を RGB 値に変換し，その値と変化から，当社保有の劣化油特性データとの比較により判定される．バックデータとして劣化油の RGB 変化と，IR，UV，Ruler による解析結果，さらに潤滑油中に含まれる酸化防止剤の種類や量との関係を比較し，評価している．

一方，潤滑油中の固形粒子については，撮影画像を二値化処理し，独自アルゴリズムによって粒子数，大きさ，面積率を測定する．また，市販のパーティクルカウンタでは測定が難しい着色の強い劣化油でも同様の解析ができるように，解析法を工夫している．

本診断法は，簡便かつ即時に現場での潤滑油管理が可能であるため，測定頻度を増やすことによるきめ細かな潤滑油管理が実現し，機械異常の早期発見につながる．さらに，即時に診断結果が得られるため，タイムリーに保全対応策を決定でき，装置損傷の拡大防止と保全業務の負担軽減に貢献する．

本技術は，従来のメントナンストライボロジー技術に近年のデジタル通信技術を融合させた，新しい現場診断技術として大いに期待できるものと捉えている．

2024年度日本トライボロジー学会技術賞受賞者

岩井　善郎 君（福井大学 産学官連携本部）
福間　慎治 君（福井大学 学術研究院工学系部門）
髙澤　拓也 君（福井大学 工学部技術部）

岩井氏

福間氏

髙澤氏

エロージョン摩耗を利用した固体材料表面下の微細構造の可視化（*i*-MSE 法）

本技術は，トライボロジーと情報工学との融合により，マイクロスラリージェットエロージョン（MSE）試験による粒子投射面形状曲線の大量のデジタルデータから局所エロージョン率（表面の微小破壊の進展速度に対応）を算出して描画（レンダリング）し，材料内部の強さの分布に基づく微細構造を可視化する手法（innovative MSE；*i*-MSE 法）である．

従来の MSE 法は，主として粒径 0.3～50 μm のセラミックス微小粒子の投射により形成されるエロージョン痕形状曲線から投射ノズル中心位置における最大エロージョン深さを測定し，そのエロージョン率を指標として材料表面の強さを評価する手法であり，一次元（線）での評価であった．しかし，トライボ材料（例えば，薄膜や表面処理材）の内部や界面は不均一で複雑であることが多く，それらの現象解明や機能改善では広い領域を対象として「面」で評価することが重要であり不可欠である．

i-MSE 法では，エロージョン痕形状曲線の任意位置の局所エロージョン率をその近傍のエロージョン深さ測定データを用いた局所回帰係数として算出することで，信頼性の高い局所エロージョン率分布が得られるようにした．この分布をコンピュータグラフィクス技術の応用によりレンダリングすることで，広領域（幅数百 μm で，深さ数十 nm から数十 μm）の微細構造を可視化する．局所エロージョン率は逆正接関数を用いて正規化されていることから，評価材料や投射圧力などの試験条件が異なる場合でも微細構造の比較が可能である．

本技術は，トライボロジー分野のみならず，材料強度，加工，表面分析など多様な分野における様々な材料に広く展開でき，革新的な材料表面特性評価法として貢献することが期待される．

2024年度日本トライボロジー学会奨励賞受賞者

川北　成美 君（コマツ）

川北氏

斜板式ピストンポンプによるスリッパ／斜板間の潤滑油膜厚さその場観察

建設機械用の斜板式ピストンポンプは摩擦損失としゅう動部からの漏れによる損失から効率が決まる，しゅう動部の潤滑状態の最適化が極めて重要な機器である．カーボンニュートラル実現に向けたさらなる性能向上のためにはスリッパの複雑な運動や潤滑状態を実験と解析により把握し，それに基づいた設計指針の構築が必要不可欠である．

本研究は，斜板式ピストンポンプのスリッパ／斜板間のしゅう動部について，実使用環境に即した潤滑油膜厚さ分布の観察手法を確立し，運転中のスリッパの運動としゅう動状態の動的な挙動を明らかにしたものである．

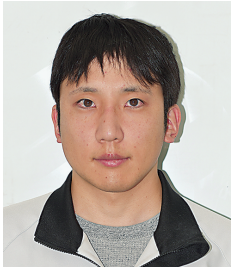
従来，スリッパの油膜厚さ分布の計測は静電容量法や渦電流法などの方法で行われているが，これらはスリッパ側から計測する場合には配線の都合からスリッパの自転を拘束する必要があるため本来のスリッパ挙動を再現できず，一方で，斜板側から計測する場合には数カ所の位相での姿勢を計測するのみで，連続した姿勢の変化を捉えられないといった課題があった．また，数点のセンサでの計測は，面接触し弾性変形を伴うしゅう動部の膜厚分布測定には不十分であった．そこで，面内を均質に照射する独自の光学系を用いた蛍光法の利用により，動作中の複雑な運動・変形をする面接触油膜厚さ分布を計測する方法を開発し，その方法を用い，運転中のピストンとスリッパの運動としゅう動状態の動的な挙動を把握することに成功した．さらに，ピストンの回転運動を同時に計測することで，スリッパ挙動に影響を与える球座部の相対運動についても明らかにした．

本研究で得られた知見は油圧ピストンポンプの潤滑状態把握に寄与し，設計指針構築に貢献することはもちろん，この計測方法が多くの機械要素の潤滑挙動のその場観察に応用可能であると考えられ，様々なしゅう動面の潤滑状態改善への貢献が期待される．

対象論文：トライボロジスト，第69巻，第1号（2024）32–42.

2024年度日本トライボロジー学会奨励賞受賞者

巻島　創 君（イーグル工業株式会社）



巻島氏

粒子追跡法によるテクスチャメカニカルシールにおける流れの可視化

本研究では，表面テクスチャメカニカルシール（以下，テクスチャシール）の深溝内における流体の流れを粒子追跡法（Particle Tracking Velocimetry，PTV）を用いて可視化し，数値流体解析（Computational Fluid Dynamics，CFD）結果と比較し，深溝の深さが流体挙動に及ぼす影響を調査した．

テクスチャシールは，しゅう動面にサブミクロン～ミクロンオーダの表面テクスチャを施すことで潤滑機構や密封機構として機能する．しゅう動面にはこれら潤滑機構や密封機構のほかに，数十～数百μmオーダの深溝が配置され，潤滑・密封機構の分離，潤滑機構への流体導入，密封機構における圧力の開放などの重要な役割を担っている．しかし，深溝の幾何学的な形状の違いが流体挙動に及ぼす影響に関する研究は限られている．

本研究では，様々な深さの深溝を付与したテクスチャシールを用い，回転環側をガラスとすることで固定環しゅう動面における流体の流れを観察した．密封流体中に直径3μmのトレーサ粒子を分散させ，周速1.5m/sでしゅう動させた際の粒子の挙動を粒子追跡法で可視化するとともに，しゅう動させた際の流体の流れを粒子追跡法で可視化するとともに，数値流体解析による計算結果と比較した．

その結果，深溝内の流体の流れは実験結果と数値流体解析が定性的に一致し，深溝深さの増加に伴い，半径方向の深溝内において周方向に平行な渦が形成され，渦が滞留する傾向が顕著になることが確認された．また，溝の深さによっては渦の中心に気泡が発生し，しゅう動中も安定して存在し続け，数値流体解析と異なる流れを示した．さらに，密封機構まで連通する半径方向深溝では，気泡がしゅう動面外周や円環方向深溝へ断続的に排出される一方で，半径方向深溝内には継続的に気泡が存在した．このことから，気泡はしゅう動面内周側や密封機構に生じるキャビテーション領域から流入している可能性が示唆された．

以上の結果から，テクスチャシールの深溝の深さや形状が流体の挙動に大きく影響を与えることが明らかとなった．今後，流体挙動がメカニカルシールの潤滑・密封性能に及ぼす影響を明確にすることで，メカニカルシールの技術開発への貢献が期待される．

対象論文：トライボロジー会議2024春 東京，D23.

2024年度日本トライボロジー学会奨励賞受賞者

小林　兼士 君（出光興産株式会社）

小林氏

潤滑油の耐摩耗性能予測における機械学習の適用

本研究は，潤滑油の耐摩耗性能予測に複数の機械学習モデルを適用し，それらのモデルの精度を検証するために二つの取組みを行ったものである．

一つ目の取組みでは，潤滑油原材料の配合量を説明変数，二値化した四球摩耗試験の結果を目的変数とする741サンプルのデータベースを用いて，重回帰モデル，ロジスティック回帰モデルおよびニューラルネットワークモデルの3手法の学習精度を比較した．その結果，重回帰モデルおよびロジスティック回帰モデルは，ランダムな予測と同等の正答率しか得られなかった一方で，ニューラルネットワークモデルは高い予測精度を示した．

ニューラルネットワークモデルの課題として，学習結果から目的変数に影響を与える説明変数を読み取る難しさが挙げられる．そこで二つ目の取組みでは学習結果の解釈しやすさに着目し，別のモデルを検証した．6種類の原材料から50通りの配合比による耐摩耗性能を評価し，重回帰モデルと決定木モデルの2手法の学習精度を比較した．重回帰モデルは予測に足る学習ができなかったのに対し，決定木モデルは学習結果から耐摩耗性能に寄与する原材料の組合せを特定することができた．

これらの結果から，潤滑油の耐摩耗性能予測において，非線形な関係を学習できるニューラルネットワークモデルと決定木モデルが有用であることが示唆された．決定木モデルはニューラルネットワークモデルと比べ，古典的な統計処理手法であるものの，学習結果を解釈しやすい利点がある．機械学習の適用においては，予測精度と解釈しやすさの両面を考慮し，目的に応じて適切な手法を選択することが望ましいと考えられる．本研究の一連の取組みは，潤滑油の性能予測における機械学習適用の一助となることが期待される．

対象論文：トライボロジー会議2024春 東京，B32.

2024年度日本トライボロジー学会奨励賞受賞者

石埆　新太 君（東北大学 大学院工学研究科）

石埆氏

すべり方向に対する矩形ゴムブロックの向きがグリセリン潤滑下における摩擦と流体圧力に及ぼす影響

本研究は，グリセリン中における矩形ゴムブロックとガラスの摩擦において接触界面に発生する流体圧力を測定し，矩形ゴムブロックの硬度や向きが潤滑下の摩擦や流体圧力に及ぼす影響を明らかにしたものである．

労働死傷災害における転倒事故の4割はすべりに起因するものである．すべりによる転倒事故は油や水で濡れた床面で生じることが多く，潤滑下で高摩擦を発現する靴底意匠の開発が求められている．液中におけるゴムブロックの摩擦にはゴムブロックの向きや硬度，端面角部半径等の様々な因子が影響することが明らかになっているが，摩擦に影響する因子が多岐にわたるため体系的なメカニズムの解明には至っていない．

そこで本研究では，液中において矩形ゴムブロックの向きや硬度が摩擦に及ぼす影響とそのメカニズムを明らかにすることを目的として，矩形ゴムブロックと接触させるガラス面に圧力センサと変位センサを取り付け，流体圧力と断面形状を測定した．グリセリン中において，矩形ゴムブロックの長手方向がすべり方向に平行な向きであるとき，接触界面には大きな負の流体圧力（負圧）が発生し，高い摩擦係数を示した．またゴムブロックの硬度や向きの条件によらず，負圧の増加に伴い摩擦係数が増加する傾向を示した．測定された断面形状から膜厚を算出したところ，負圧の増加に伴い膜厚が減少することが確認された．その結果，凝着摩擦や流体の粘性抵抗が増加したことが，高摩擦発現のメカニズムであると考えられる．これは接触界面に負圧を発生させることがゴムブロックの高摩擦化に寄与することを示唆している．

本研究の成果が耐滑靴底意匠の設計指針の開発に寄与し，安全・安心な社会の実現に貢献することが期待される．

対象論文：トライボロジー会議2024春 東京，C8.

2024 年度日本トライボロジー学会学生奨励賞受賞者

名口　裕美 君（福井大学 学術研究院工学系部門）

名口氏

フラーレン添加油におけるトライボロジー特性に及ぼす表面形状の影響

本研究は，フラーレン添加油におけるトライボロジー特性に及ぼす表面形状の影響およびその摩擦低減機構について検討したものである．

近年普及が進む内燃機関とモータの両方を動力源とするハイブリッド車のエンジンでの使用を想定し，従来のエンジンオイル添加剤に代わる新たな多機能添加剤としてフラーレンが注目されている．フラーレン添加油の摩擦低減作用にはプラトー構造表面が有効であると報告されているが，その低摩擦発現の詳細な条件や表面形状とトライボロジー特性との関係は未解明であり，定量的な表面設計指針は確立されていない．

そこで，本研究では表面粗さパラメータがフラーレン添加油の摩擦特性に及ぼす影響の解明を目指し，最大高さ粗さを表すパラメータ Rz を段階的に変化させた試験片を用いて往復しゅう動試験を実施した．その結果，一部の表面形状においてフラーレン添加油は基油と比較して低摩擦を発現した．これは，複数のフラーレン会合体がプラトー構造表面における表面凹部にとどまり垂直荷重を支持することで基油よりも優れた摩擦低減効果を示したと考えられ，現段階では FLN 添加油の有する曳糸性が低摩擦発現に寄与していると考察している．また，表面粗さパラメータと摩擦係数との関係性についても評価を行った．線粗さパラメータ Rsk，RΔq，Mr2，Rsm，Rku とフラーレン添加油における摩擦係数の関係は下に凸の二次関数で近似可能であり，摩擦係数の最小値およびそのときの各粗さパラメータの値を求めることで，フラーレン添加油における表面粗さ最適解を得ることができると考えている．

以上のように本研究では，フラーレン添加油における摩擦低減機構について考察し，表面粗さ最適解を提案した．本研究成果は，表面形状によってフラーレン添加油における摩擦係数が制御できることを示唆しており，自動車エンジンの燃費向上技術の発展に貢献すると期待される．

対象論文：トライボロジー会議 2024 春 東京，A36.

2024年度日本トライボロジー学会学生奨励賞受賞者

山本　悠生 君（名古屋大学 大学院工学研究科）

山本氏

反射分光摩擦面その場観察装置による DLC 膜の炭素骨格構造が MoDTC 由来トライボフィルムの摩擦特性に及ぼす影響の解明

本研究は，DLC（diamond-like carbon）膜における炭素骨格構造が MoDTC（Molybdenum dithiocarbamate）の摩擦面への反応性に寄与する影響を，反射分光摩擦面その場観察装置を用いて評価したものである．

自動車用潤滑油には，境界潤滑状態での摩擦損失を低減するために MoDTC が添加されており，しゅう動面にトライボフィルムと呼ばれる生成物層を形成して摩擦を低減する．また近年では境界潤滑状態における摩擦および摩耗低減を目的として，しゅう動部材として DLC 膜の適用が進められている．よって DLC 膜の表面においても MoDTC 由来のトライボフィルムを効果的に形成して低摩擦を得ることが期待されているが，DLC 膜の膜特性が形成される MoDTC 由来トライボフィルムの厚さや組成およびその摩擦メカニズムに及ぼす影響は定量的に評価されていない．そこで本研究では DLC 膜の膜特性として炭素骨格構造（I_D/I_G 比）と含有金属量に着目し，MoDTC 含有潤滑油中における摩擦特性との関係を明らかにした．また反射分光摩擦面その場観察装置を用いることで，摩擦中に形成されたトライボフィルムの膜厚および組成をその場分析した．

異なる炭素骨格構造を有する DLC 膜として ta-C（tetrahedral amorphous carbon）膜および GNC（graphene nanocrystallites）膜を用いた．また DLC 膜中の金属含有量の影響を明らかにするため，金属の Ta（タンタル）を成膜時にドープして Ta 含有 ta-C（ta-C:Ta）膜および Ta 含有 GNC 膜（GNC:Ta）膜を成膜した．これらの DLC 膜に対しラマン分光分析を行ったところ，ta-C:Ta 膜は Ta の含有量の増加に伴い I_D/I_G 比が増加した．一方，GNC:Ta 膜は Ta の含有量に関わらず I_D/I_G 比が 1.2 程度であった．またこれらの DLC 膜を用いて MoDTC 含有潤滑下で摩擦試験を行ったところ，I_D/I_G 比が 1.0 を上回る DLC 膜において 0.10 程度の低摩擦を示した．このとき，MoS_2 リッチなトライボフィルムが形成されていたことが反射分光分析により明らかとなった．I_D/I_G 比が高い DLC 膜はグラファイトの欠陥量が多いため，活性な欠陥部を起点として低摩擦に寄与する MoS_2 の生成が促進されたためと考えられる．

対象論文：トライボロジー会議 2024 春 東京，B3.

2024 年度日本トライボロジー学会学生奨励賞受賞者

Himanshu Shekhar 君（Nagoya University）

Shekhar 氏

ポリアルキルメタクリレート系摩擦調整剤のフレキシビリティパターンとコンフォーメーションへの影響

I had the privilege of presenting my research at the Tribology Conference 2024, Spring Meeting, held in Tokyo, Japan, under the auspices of the Japanese Society of Tribologists. My presentation, titled *"Exploring Flexibility Patterns in Poly (alkyl methacrylates) Friction Modifiers and Their Influence on Conformations,"* focused on the molecular behavior of polymeric friction modifiers (PFMs) and their impact on tribological performance.

PFMs serve as crucial lubricant additives, forming protective films on surfaces to reduce friction and wear. The thickness and stability of these films are critical determinants of PFM efficacy, influenced by the polymer's conformational dynamics upon adsorption. Bottlebrush polymers (BBPs), such as poly(alkyl methacrylates) (PAMAs), have garnered attention due to their unique molecular architecture, featuring long linear side chains attached to a backbone. This structure allows for considerable design flexibility, as molecular parameters like side chain length and molecular weight, along with external factors such as temperature and mechanical stress, govern polymer conformation and functional performance.

Previous studies suggest that BBPs exhibit a clustering tendency, where side chains aggregate around the backbone. However, how this clustering affects polymer flexibility and adsorption behavior under tribological conditions remains an open question. In this study, we employed Molecular Dynamics (MD) simulations to quantify cluster formation in three PAMAs–poly (octyl methacrylate) (POC), poly(lauryl methacrylate) (PLA), and poly(stearyl methacrylate) (PST)–each equilibrated in hexadecane. These polymers possess side chain lengths of 8, 12, and 18 carbon atoms, respectively. Our findings revealed that shorter side chains resulted in a higher number of clusters. The cluster count was a semi-quantitative measure of polymer flexibility.

To investigate adsorption behavior, we introduced these polymers–initially in their equilibrated bulk conformations–between two iron oxide surfaces and subjected them to shear conditions. Our results showed that POC (with the shortest side chains) and PLA exhibited stable adsorption even after rotational perturbations. Conversely PST with longest side chains, failed to achieve stable adsorption, instead adhering only at their terminal ends. Although some prior studies indicate that longer side chains yield thicker films, our findings suggest that under shear conditions, shorter side chains enhance adsorption stability, thereby improving tribological performance. Experimental validation cited via research work of different labs further demonstrated that POC and PLA outperformed PST in reducing friction, reinforcing the importance of polymer architecture in designing effective PFMs. This study contributes to a deeper understanding of polymer conformational behavior and its role in tribological applications.

The 2024 Spring Meeting provided an excellent platform to share my findings, engage in discussions with experts, and receive valuable feedback from experimentalists, which has shaped future research directions in this field. I am honored to receive the **Student Encouragement Award** and sincerely appreciate the recognition of my work.

対象論文：トライボロジー会議 2024 春 東京，B21.

2024 年度日本トライボロジー学会学生奨励賞受賞者

渡辺　稔紀 君（横浜国立大学 大学院環境情報学府）

渡辺氏

摩擦系の安定性に及ぼす構造減衰と材料減衰の影響

摩擦系の安定性は，微細加工の精度向上，ブレーキの鳴きの抑制，プレート間のすべりの予測など，様々な摩擦系が抱える課題の一つである．特に近年では，ガソリン車から電気自動車への転換に伴い，相対的に騒音が顕在化し，摩擦振動を制振する技術の需要が高まっている．一般に，摩擦を含む動力学問題は，明示的な摩擦則（クーロン則，速度依存則，速度状態依存則など）を仮定して解かれる．しかし，明示的な摩擦則を仮定すると，材料パラメータが摩擦係数の中に埋め込まれてしまい，明瞭な材料設計の指針を得ることが困難になる．

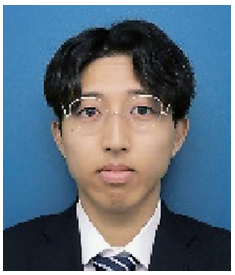
そこで本研究では，摩擦系の安定化に向けた材料設計の指針を得るために，明示的な摩擦則の仮定が不要な摩擦モデル（剛体圧子と粘弾性ファンデーションのすべり摩擦モデル）を用いた．同モデルは 2 種類の剛性と減衰を含む．一つは剛体圧子を支持するばねとダンパ（構造剛性と構造減衰），もう一つは摩擦材料の粘弾性を表すばねとダンパ（材料剛性と材料減衰）である．まず，固有値解析の結果を無次元数で整理し，安定性マップを描画した．次に，安定性マップに存在する三つの境界に着目し，対応する三つの安定条件を理論的に導出した．その結果，構造減衰は系を必ず安定化するが，材料減衰は系を不安定化する場合もあることがわかった．さらに，材料減衰が系を不安定化する理由として，摩擦材料の粘性に起因する圧子の浮上現象が系を不安定化することを明らかにした．

以上の研究成果は，一般に困難であった「材料特性を含む摩擦系の安定性解析」の一例であり，製品の摩擦部からラボの摩擦試験機に至るまで，摩擦材料とその周辺材料は明確に区別して設計するべきであることを示唆している．

対象論文：トライボロジー会議 2024 春 東京，C14.

2024年度日本トライボロジー学会学生奨励賞受賞者

稲田　航己 君（名城大学 大学院理工学研究科）



稲田氏

スズ薄膜の摩擦摩耗特性に及ぼす熱処理とテクスチャリングの複合効果

本研究では，自動車エンジンの摩擦損失低減と耐荷重性能向上を目的として，スズ（Sn）基薄膜に着目した．Snは典型的な軟質金属であり自動車エンジン用軸受のオーバレイ素材として実用化されている．金属被膜では，熱処理によって膜と下地間の相互拡散により密着強度は向上するものの，化合物層や固溶体形成が促進され界面の脆化や膜表面の組織変化を誘発することに注意が必要である．金属同士の摩擦では凝着部成長に伴うせん断抵抗の増加が懸念されるが，形状が制御された表面上に成膜し表面の機械的性質を不均質化することで凝着成長抑制が期待できる．そこで，レーザ加工によりあらかじめ配列した突起群から構成されるテクスチャが付与された表面の凹部にSn基薄膜を成膜し幾何学的には平坦で場所によって硬さやヤング率の異なる表面を作製した．

摩擦試験は面接触方式にて行い，相手材には焼入鋼を用い，潤滑環境下で試験を行った．凸型テクスチャを付与することで，開放的に繋がった凹部がしゅう動時に発生した摩耗粉を排出し，凝着部の成長抑制することで摩擦や摩耗の低減に寄与することがわかった．

さらに凹部へのSnの充填により凝着成長抑制効果はさらに律速され，実験初期から0.01程度の低く安定した摩擦係数が発現した．今後はテクスチャ形状の最適化やSn基合金の組成比を適正化および相手材の材料特性の選定も含め検討することで，さらなる摩擦特性の低減安定化と耐荷重性能の向上を検討する．また，表面の機械的性質の不均質化による油膜形成促進機構を考察し，自動車エンジンしゅう動面のように面圧，しゅう動速度，動作温度が大きく変化する環境でも低く安定した摩擦特性を発現する表面構造の提案を目指して研究を進める予定である．

対象論文：トライボロジー会議2024春 東京，C18.

2024 年度日本トライボロジー学会学生奨励賞受賞者

岡田　大和 君（東京科学大学 物質理工学院）

岡田氏

指の摩擦と触感覚にもたらすディスプレイのカーソル遅れと表面テクスチャの影響

本研究は，視覚刺激体験下におけるすべり速度や押付け荷重などの力学的応答と，「重み」感覚に対する触覚刺激の影響を検討したものである．

人間性に配慮した，「リアルな触感」を創り出すユーザーインターフェースの開発に向けて，Pseudo-Haptic 現象を利用した視覚刺激により生じる「重み」感覚の再現化は重要な鍵となる．本研究では，タブレット端末のディスプレイ上に表示されたカーソルを指で操作する際に，指のすべり距離に対してカーソルの移動距離が短く遅れをとっている場合に「重い」という疑似触覚が誘起されることを利用する．このような疑似的「重み」感覚への力学的応答として，指のすべり速度，加速度，垂直荷重，摩擦力などの力学的データが変化することが予測されるため，入力値としての視覚刺激と出力値としての力学的データの両面から，疑似的な「重み」感覚を定量的に評価することを目的とした．そこで本研究では，視覚刺激用アプリケーションソフトを自作し，指の移動距離に対してディスプレイ上のカーソルの移動距離の比率（Control-Display ratio，C/D）を任意で変更できるように設定し，C/D の変化により付与される視覚刺激がすべり速度，摩擦力，垂直荷重などの指の摩擦挙動に与える影響を調査した．また，指をすべらせる固体表面の粗さ形状やせん断強さを変化させて，入力値として触覚刺激も変化させることで，視覚刺激体験下における指の摩擦挙動に及ぼす触覚刺激の影響についても検討した．

摩擦実験では，C/D 比 1 のカーソルと 1 以下のカーソルを上下に並列表示するアプリを作成し，異なる粗さやせん断強さを持つ 3 種類のガラス試験片をタブレット上に設置した．各試験片上で上下のカーソルを指でスワイプし，すべり速度や荷重の変化を測定した．感性評価では，C/D 比をランダムに変化させながら呈示し，「重さ」と「べたつき」の程度を評価した．

摩擦実験の結果から，C/D 比の減少に伴い，すべり速度は減少し，荷重は増加する傾向が確認された．また，せん断強さの大きい試験片ほど，C/D 比の減少によるすべり速度の減少量や荷重の増加量が抑制されることがわかった．また，感性実験の結果よりすべてのガラス試験片において C/D 比の増大に伴い「重さ」感覚が増加したが，試験片間の差異はほとんど見られなかった．一方，「べたつき」感覚はせん断強さの大きい試験片ほど C/D 比の増加による影響が小さくなった．

以上より，力学的応答と感性評価には必ずしも相関があるとは限らず，すべり表面のせん断強さが「重み」感覚に影響を及ぼすことが明らかとなった．今後は，視覚刺激体験下における感覚評価において，すべり表面の物性を考慮した力学的応答の定量化が進展することが期待される．

対象論文：トライボロジー会議 2024 秋 名護，B09.

2024 年度日本トライボロジー学会学生奨励賞受賞者

大宮　尊 君（University of Coimbra）

大宮氏

Si-DLC コーティングと機能化コポリマーを組み合わせた新規潤滑システムの開発

本研究では，元素をドープしたダイヤモンドライクカーボン（DLC）コーティングと潤滑添加剤としての機能化コポリマーを組み合わせた新規な潤滑システムが開発された．この新規潤滑システムは，DLC の低い表面反応性と従来添加剤に含まれる金属成分による環境負荷の課題を解決することを目指している．アミン基を含む機能化コポリマーは，シリコンをドープした DLC 上で摩擦低減効果と耐摩耗性能を発揮し，XPS および ToF-SIMS 分析の結果，摩擦試験後のシリコンドープ DLC 表面に機能化コポリマーの存在が確認され，安定したトライボフィルムが形成されることが明らかとなった．さらに本研究では，マクロスケールの摩擦試験だけでなく，ナノスケールの界面挙動を統合的に理解するために ab initio 計算を用いたシミュレーションを実施した．その結果，トライボフィルムの形成初期段階において，機能化コポリマー内のアミン基がドープ DLC 表面内のシリコンに強く吸着することが確認され，N-Si 結合がトライボフィルム形成の鍵となることが明らかとなった．これらの結果は，まず機能化コポリマーがドープ DLC 表面に吸着し，その後機械的圧縮によって安定したトライボフィルムが形成され，摩擦・摩耗の低減に寄与していることを示唆している．本研究の成果は，機能化コポリマーの化学修飾とドープ DLC コーティングの適切な組合せが，次世代の高性能潤滑システムの開発に有効であることを示し，マクロスケールとナノスケールを融合した研究アプローチは，材料設計の最適化に貢献すると期待される．

対象論文：トライボロジー会議 2024 秋 名護，B52.

2024 年度日本トライボロジー学会学生奨励賞受賞者

澤木　昴 君（早稲田大学 大学院先進理工学研究科）

澤木氏

荷重が鉄摩擦界面における基油と油性剤の分子構造変化に与える影響の *in-situ* 表面増強ラマン分光解析

本研究は，潤滑油の基油および油性剤の鉄基板界面におけるしゅう動中の化学構造変化を，表面増強ラマン分光法（SERS）と呼ばれる表面敏感な手法で *in-situ* 解析したものである．

近年はより高度な省エネルギー化に寄与する新規潤滑油や添加剤の開発が求められている．そのためには従来から用いられてきた潤滑油の作用機構を分子レベルでより詳細に解析することが不可欠であり，そのアプローチとしてしゅう動中の潤滑油の分子構造を *in-situ* で観測することが重要である．先行研究において，基油や油性剤の分子レベル解析は数多くなされている．しかし，しゅう動中の分子構造には未だ不明な点が多い．本研究では，高い時間分解能かつ nm スケール界面の化学構造に対する高い感度を両立した SERS 計測を通じて，基油と油性剤のしゅう動中の化学構造に関する新たな知見を得た．

油性剤無添加時には，基油（ドデカン）はしゅう動を開始した直後に変性し，ベンゼン環を有するカーボンの構造へ変化することが示唆された．これは SERS の高い時間分解能により判明した結果である．一方，油性剤（ラウリン酸）はしゅう動前から鉄基板表面の酸化膜と反応しカルボキシレートイオン COO^- を形成し，この構造をしゅう動中にも維持することでラウリン酸が安定した潤滑膜として機能することが示唆された．さらに，しゅう動前・しゅう動中ともに，COO^- は bidentate の配位形態が支配的であることが示唆された．先行研究においては，特にしゅう動中の官能基の構造に関しては不明であったため，本研究の *in-situ* 計測によってこの点が初めて明らかとなった．

以上のように，SERS を用いて基油と油性剤のしゅう動中の化学構造変化の *in-situ* 計測に成功した．本研究で用いたセットアップは極圧剤のような他種の添加剤解析にも貢献することが期待される．

対象論文：トライボロジー会議 2024 秋 名護，C08.

2024 年度日本トライボロジー学会学生奨励賞受賞者

西村　泰風 君（兵庫県立大学 大学院情報科学研究科）

西村氏

全原子分子動力学法によるリチウム石けんの初期凝集過程における温度依存性の解析

本研究は，グリースの増ちょう剤として用いられるリチウム石けんとしてステアリン酸リチウム（LiS）と，12-ヒドロキシステアリン酸リチウム（Li12HS）の初期凝集挙動の温度依存性を，分子動力学シミュレーションによって解析したものである．

グリースは基油と増ちょう剤からなる半固体状の潤滑剤であり，長らく軸受潤滑に用いられてきた．カーボンニュートラル実現のための一つとして推進されている電気自動車では，内燃機関車に比べて高速回転する部分が多く，さらなる高性能のグリースが求められている．しかし，グリースは基油や増ちょう剤，製造工程など多くの要因が物性に影響することや，非線形なレオロジー挙動，チキソトロピー性を示すことから本質的な理解が難しい．そこで，ミクロな視点から現象を理解するため，分子動力学シミュレーションが有用な手法となる．

これまでに 2 種類のリチウム石けんの初期凝集過程に関してシミュレーションを行い，LiS は板状の逆ミセル，Li12HS は繊維状の凝集塊を形成し，これらは実験結果と定性的に一致することを報告した（トライボロジー会議 2024 春 東京）．これに加えて本研究では，初期凝集過程の温度依存性について解析を行った．その結果，Li12HS は高温で加熱するほど側鎖を介した乱雑な結合形態が減少し，クラスタサイズが増加する．さらに，その後冷却を行う過程で側鎖が整列した結晶様構造が増加することを明らかにした．実験的には加熱後の急冷により多数の微細な結晶核が出現し，徐冷では繊維が出現することがわかっている．高温の状態が維持される時間が長いほど結晶性繊維が成長するメカニズムは，本シミュレーションにより説明できると考えられる．

以上より，本研究は増ちょう剤の初期凝集挙動における温度依存性を，分子レベルで明らかにした．グリースは階層的に現象を理解することが重要であるため，さらに分子論的な観点からの発展が期待される．

対象論文：トライボロジー会議 2024 秋 名護，C37.

2024年度日本トライボロジー学会学生奨励賞受賞者

加々美　昌樹 君（東海大学 大学院理工学研究科）

加々美氏

フォトクロミズム可視化手法を用いたジャーナル軸受における軸受すきま方向からの流れの可視化（マイクロバブル周りの油膜挙動解析）

本研究では，新たな油膜挙動のその場観察法であるフォトクロミズム可視化手法を用いて軸受すきま内を流動するマイクロバブル周囲流れを観察し，摩擦低減のメカニズムの解明に挑戦した．

近年，流体潤滑における摩擦損失低減手法として，直径100 μm以下程度の微小な気泡であるマイクロバブルを潤滑油中に混入させる方法を提案しており，ジャーナル軸受で摩擦損失低減効果を発現することがわかっている．しかし，摩擦低減のメカニズムについては実験的な検証が不十分な点があり，バブル近傍の油膜挙動を直接的に観察することが重要であった．そこで，フォトクロミズム可視化手法を用いた軸受すきま内流れの観察を試みた．本手法では，特定波長の紫外光照射により着色するフォトクロミズムの性質を持つ色素を潤滑油に混ぜ込み，潤滑油を着色できる．この着色油を追跡することで，油膜挙動の観察が可能となる．これを用いて，軸受すきま内を流動するバブル近傍の油膜を着色し，マイクロバブルが周囲の油膜流れに与える影響の直接的な観察に挑戦した．

本実験に際しては，100 μm程度の非常に狭い軸受すきま内を拡大撮影し，高速で流れる潤滑油を鮮明な画像で取得する必要性から，光学系の構築を何度も見直し，さらにレーザ照射とマイクロバブルの通貨のタイミングが一致するまで実験を繰り返した．その結果，楕円形状に変形したバブルが着色油に接触後，バブルの上流側から下流側へとバブルの輪郭に沿って着色油が移動する流れを撮影することができた．この流れは，マイクロバブルが楕円形状に延伸状態を維持したまま回転している影響といえ，摩擦低減メカニズムの実験的な検証に成功したと考える．

対象論文：トライボロジー会議2024秋 名護，E47.

2024年度日本トライボロジー学会教育貢献賞受賞者

野口　昭治 君（東京理科大学 創域理工学部）

野口氏

トライボロジー教育教材の開発とトライボロジー普及活動

野口昭治氏は，トライボロジーが関係する現象を，実験を通じて理解させる教材を開発し，それを用いた授業を小学生から大学生に至る幅広い世代を対象に行うことにより，若者たちへのトライボロジーの普及に多くの実績を残している．

摩擦・摩耗・潤滑の総合的な学問であるトライボロジーを，身近な現象を通じて体感し，実験結果から考えさせる教材を開発し“摩擦の実験ノート”として具体化した．

トライボロジーの実験手引書ともいえる“摩擦の実験ノート”は，小学校低学年から大学生まで各々の学齢に応じた内容で開発されており，例えば小学校低学年用としては，種類の異なる手袋をしてステンレスパイプを回して力の伝わりやすい材料を考えるなど，難しい摩擦摩耗の現象を体感し考えさせる教材となっている．

また，開発した教材を用いた授業を千葉県野田市教育委員会とのパートナーシップに基づいて野田市の小学校で行い，子ども達にトライボロジーの面白さや実験の楽しさを教え，トライボロジーの普及に加えて“理科嫌い”の改善にも貢献している．

“摩擦の実験ノート”を用いた授業内容は，トライボロジストや工学教育で報告されており，加えてトライボロジー学会のホームページに掲載することにより，学会員以外にも広くトライボロジー教育の教材として活用されている．

長年にわたる当該教育活動を通じ，トライボロジーの普及・トライボロジストの育成に多くの成果を残しており，本会の教育貢献賞に相応しい．