

Green TriboNet Newsletter

グリーントライボ・ネットワーク・ニュースレター



vol. **7**
MARCH
2015

「トライボロジー会議 2014 秋 盛岡」において 「グリーントライボロジー」セッションを開催

日本トライボロジー学会では、毎年春と秋にトライボロジー会議を開催しています。2014年11月5日～8日にアイーナいわて県民情報交流センターで開かれた「トライボロジー会議2014秋 盛岡」において、本ネットワーク(GRENE)は、同学会との連携により、シンポジウムセッション「グリーントライボロジー」を企画・開催しました。

このセッションは、機械システムにおいてエネルギーの最大活用をめざすグリーントライボロジー技術がテーマで、11月5日の終日にわたって19件の講演と討論が行われ、多くの学会員が来聴しました。

冒頭の基調講演で、東京理科大学の佐々木信也教授は「地球環境問題が大きくクローズアップされる前から、我が国のトライボロジストは研究開発を通して持続発展可能な社会の構築に貢献してきました。現在のCO₂排出量の内訳を見れば、既存の機械システムのエネルギー効率や環境負荷特性の改善こそが喫緊の課題であり、トライボロジストはそれに対して即効性のある解決策を提供すべく、よりいっそうの貢献が求められています」と述べ、グリーントライボロジーの重要性をセッション参加者全員が改めて認識しました。

その後は、GRENEのメンバーが次々に成果を発表したほか、GRENEの外から企業も含む研究者が講演しました。さまざまな表面材料、潤滑材料、表面加工法と、それらの機能の評価・測定法が報告され、この分野の研究者が討論を通じて互いにインスパイアしあう、貴重な機会となりました。



トライボロジー
会議
2014 秋 盛岡



基調講演を行う
佐々木教授



糸魚川文広 准教授
(名古屋工業大学)



小野寺 拓氏
(日立製作所)



佐々木貴彦氏
(東シ・タウコーニング)



会場風景



微細加工・設計チーム
東北大学大学院工学研究科
教授

足立幸志 Koshi ADACHI



ゲルを用いた機械システムの構築に向けて

摩擦・摩耗は材料単独の特性ではなく、環境や摩擦条件なども含めたシステムの応答特性です。同じディスクとピンの組み合わせでも、荷重や摺動速度によって摩擦係数も比摩耗量も大きく変わります。

しかも、摩擦特性は、摺動開始時としばらく経ってからでは異なります。例えば、開始時にはディスク表面が削られて摩耗粒子ができたり、皮膜がはがれたり、ピンの材料がディスクに移って移着膜ができたりします。数百回程度摺動すると、これらは収まり、定常状態となります。定常状態として超低摩擦を発生している摩耗面には、時に数nm程度の安定した層ができあがります。この過程を「なじみ」、できた層を「ナノ界面」と呼んでいます。実は、摩擦を支配するのはナノ界面なのです。

逆に言えば、環境や摩擦条件に合わせてナノ界面の状態を制御できれば、いつも低摩擦を実現できるということになります。低摩擦の表面を一から設計するのに比べると、摩擦

材料の自発的な変化を利用する方法は、ずっと合理的です。私は、最先端・次世代研究開発プログラムにおいて、このアイデアを実現すべく研究を進めてきました。

例えば、SiCの表面間に水を挟むと摩擦はとて小さくなりますが、水は耐荷重性が低いので、すぐに焼き付いてしまいます。これを防ぐには、表面のぬれ性を高めて表面エネルギーをあげるとともに、平滑面で挟まれた厚さ1nmの均一な水の膜をつくる必要があります。そのために、私は表面に適切な形状の凹凸をつけることを考えました。これにより、こすれ合う部分がなじみ過程で平滑になり、さらに化学反応も起こってぬれ性があがりました。

また、摩擦表面に酸素を吸着させ



その場SEM内摩擦・摩耗解析システム

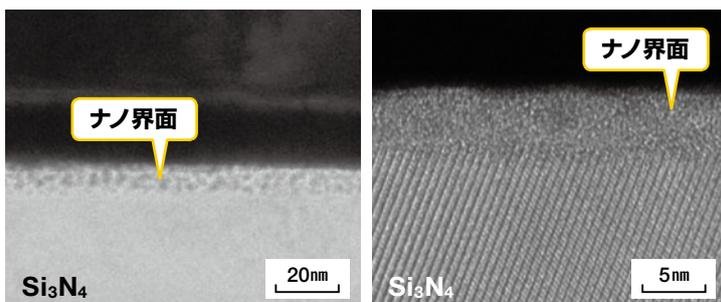
最先端・次世代研究開発プログラムにおいて開発したもので、摩擦試験を行いながら、リアルタイムで電子顕微鏡による観察ができる。さらに、エネルギー分散型X線分析装置により、摩擦面の化学組成も同時に調べられる。この装置により、なじみ過程の観察や摩擦面の制御の検討が可能になった。

てから「なじみ」を行うことで、低摩擦化が可能であり、このとき、きれいなナノ界面が形成されていることを明らかにしました。

本ネットワークでは、山形大学の古川英光教授、横浜国立大学の中野健准教授と共同で、こうした制御の考え方をDNゲルに適用する研究を行っています。DNゲルの柔軟性、超潤滑性や、外圧をかけると摩擦係数が小さくなる性質を生かした機械システムを構築するため、相手表面の材料の検討を進めています。

DNゲルの機械システムへの応用例としては、摺動シールやスライダが考えられます。DNゲルはポテンシャルの高い材料ですが、そのよさを引き出して低摩擦システムをつくるのは、簡単ではありません。機械屋として、その実現に貢献できればと思います。

ナノ界面の電子顕微鏡写真



窒化炭素膜と窒化ケイ素ボールの摩擦において、0.01オーダの低摩擦係数を発現する時にボール摩耗痕に観察されたナノ界面。なじみ過程で形成されるナノ界面がその後の摩擦を支配する。



機能・構造評価チーム
東北大学金属材料研究所
教授

久保百司

Momoji KUBO



超低摩擦材料を分子動力学シミュレーションで評価

分子動力学シミュレーションとは、コンピュータの中で原子を並べて材料のモデルをつくり、原子どうしの化学結合や静電的相互作用などのもとで、個々の原子がどう動くかを計算する手法です。個々の原子の位置をごく短い時間ごとに求め、それらをつなぐことで、アニメーションのように材料内部の原子の運動を再現します。再現された運動から、さまざまな物性値を計算することもできます。

従来、摩擦現象を理論的に研究するときには、摩擦面をバルク固体、潤滑材料を連続流体とみなすのが普通でした。しかし、約20年前に摩擦面や潤滑材料を原子・分子レベルで扱う研究が世界のいろいろなグループで開始され、私たちのグループも分子動力学シミュレーションによる摩擦プロセスの研究において先駆的な役割を果たしてきました。さらに、約10年前には、量子論に基づくことで、摩擦界面で起こる化学反応を採り入れることができる独自の計算手法を世界で初めて開発し、最先端・次世代研究開発支援プログラムでは、それをさらに精密化した計算手法を開発しました。

本ネットワークでは、こうした積み重ねを生かし、京都大学の辻井敬亘先生が開発しておられる濃厚ポリマーブラシの分子動力学シミュレーションを行っています。原子1個1個を扱うと計算量が膨大になってしまうので、炭素、水素、酸素合わせて15原子からなるモノマーを1個のビーズと見なして計算しています(この

ようなやり方を「粗視化」といいます)。

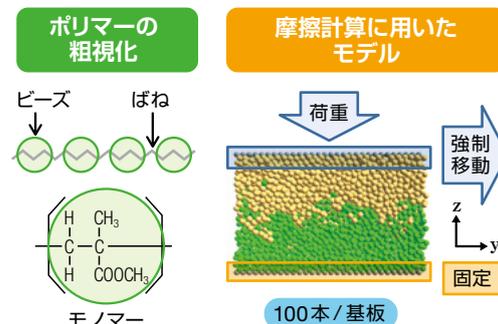
特に注目しているのは、ポリマーの摩耗現象です。濃厚ポリマーブラシは超低摩擦特性を示す優れた材料ですが、摺動を繰り返すうちにポリマーが摩耗し、期待された特性を示さなくなるという問題があります。そこで、摩耗現象を再現し、メカニズムを明らかにしようと考えました。

2つのポリマーブラシを向かい合わせて一方を移動させるシミュレーションを行ったところ、上の基板の

近く(ポリマー鎖の付け根付近)と、上下のブラシの接触部でポリマー鎖の切断が起こりやすいことがわかりました。ただし、現在は溶媒のない条件で計算しているため、今後は、水やイオン液体が共存した場合のシミュレーションを行って、より詳しい解析を行う予定です。

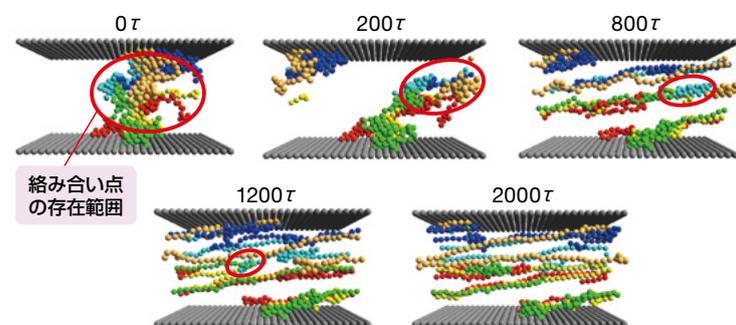
こうした結果は辻井先生にフィードバックし、よりよいポリマーブラシの設計・製造に役立てていただきたいと思います。

濃厚ポリマーブラシの分子動力学シミュレーション



ポリマー鎖は、モノマーを1個のビーズと見なし、そのビーズがばねでつながったものとする。30nm四方の基板に、モノマー100個からなるポリマー鎖(長さ約100nm)が100本結合した濃厚ブラシを2つ作り、向かい合わせて荷重をかけ、上側の基板を強制的に横に動かしたときのポリマー鎖の動きを再現する。

ポリマー鎖切断のメカニズム



摩擦計算から、1200 τ 以降、上下のブラシの接触部での切断数が急増することがわかった(τ は、約10ナノ秒程度の時間)。その理由を何本かのポリマー鎖の運動に着目して解析した(図は着目したポリマー鎖のみを表示)。摩擦時間が長くなるにつれ、上下のポリマー鎖の絡み合い点の存在範囲が狭くなっていき、1200 τ では、上下の接触部に集中することがわかった。これにより、引っ張り応力も接触部に集中し、切断しやすくなると考えられた。

活動報告

1

夏の学校 2014 を開催

2014年7月14日～15日に東北大学片平キャンパスにおいて「グリーントライボ・ネットワーク夏の学校2014」が開催され、90名を超える参加がありました。

まず、豊田中央研究所の大森俊英氏が、「なぜトライボロジー？」と題した特別講義で、摩擦の原理・原則はまだわかっておらず、トライボロジーには、それを求める「科学」としてのおもしろさがあると話し、自身の分子動力学シミュレーションによる研究例を紹介しました。

企業からの講師による応用講義として、三菱重工の林慎之氏が「重工業製品におけるトライボロジー設計」について、出光興産の石川元治氏が「エンジンオイルの基礎と燃費向上技術」について話した他、GRENEメンバーによる基礎講義が4件行われました。恒例となった技術交流会は1日目の夕方に関われ、2日目の午後にはラボツアーも行われました。

開講の挨拶をする栗原教授



大森氏の特別講義



林氏の応用講義



石川氏の応用講義



活動報告

2

2014 GRENE インターンシップ プログラムを実施

今年度のインターンシップは、2回に分けて実施しました。前半は2014年8月4日～8日の日程で、山形大学と東北大学で行い、鶴岡工業高等専門学校の本科生と専攻科生合わせて6人が参加しました。山形大学では形状記憶ゲルの作製などの実習、東北大学ではAFMによる表面観察などの実習を行ったほか、両大学のいくつかの研究室を見学しました。

後半は8月25日～29日に京都大学と同志社大学で実施し、専攻科生2人が参加しました。京都大学ではポリマーモノリスの合成、構造解析などを体験し、同志社大学では摩擦試験とデータ解析を行うなど充実した実習

でした。参加した学生は研究生活のイメージを抱くことができましたようです。

東北大学での実習の一コマ



お知らせ

運営委員の國武豊喜先生が文化勲章を受章

本ネットワークの運営委員を務める國武豊喜先生（公益財団法人北九州産業学術推進機構理事長）が、平成26年度の文化勲章を受章されました。

國武先生は、九州大学卒業後、ペンシルバニア大学大学院で博士号を取得され、帰国後、九州大学で助教授、教授を務められました。退官後も、理化学研究所、北九州市立大学などで精力的に研究を続けておられます。

世界で初めて人工脂質による脂質二分子膜を作製するなど、分子の自己組織化を利用してさまざまな組織をつくり出す研究で多くの業績があります。最近では、自立性のあるナノ薄膜を初めて実現し、この膜は燃料電池の電解質膜などへの応用が期待されています。

GRENEトライボネットセミナーで講演する國武先生（2013年2月）

