

# 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. **5**  
FEBRUARY  
2014

## GRENE & TIMT Joint International Symposium on Tribology を開催

2013年10月7日、ホテルベルエア仙台において、本ネットワークと東北発 素材技術先導プロジェクト(超低摩擦技術領域)の連携国際シンポジウムが開催されました。本ネットワークの全メンバーおよび連携関係にある研究者の発表に合わせて、トライボロジー分野において著名なJ. M. Martin教授(Ecole Centrale de Lyon)、

N. D. Spencer教授(ETH Zürich)、R. Crockett博士(Empa)、H. Spikes教授(Imperial College)を招き、講演していただきました。参加者は114名で外国人も13名参加し、各発表のあとには活発な議論が交わされました。また、翌8日には本ネットワーク主催のセミナーが開かれました(詳細はp.4に掲載)。

### program — プログラム —

※日本人研究者の発表も英語で行われたが、演題等は日本語に掲載

10:00  
10:10

**開会の挨拶**  
栗原和枝(東北大学)

10:10  
10:20

**ご挨拶**  
立松慎也(文部科学省)

10:20  
11:30

**超低摩擦**  
「Superlubricity: Quo vadis」  
Jean Michel Martin (Ecole Centrale de Lyon)



「ゲルによる低摩擦革新技术」  
古川英光(山形大学)

「酸化物による超潤滑」  
土佐正弘(NIMS)

11:40  
13:10

**低摩擦材料**  
「Biomimetic Approaches to Lubrication」  
Nicholas D. Spencer (ETH Zürich)



「濃厚ポリマーブラシ:  
特性と摩擦研究の展開」  
辻井敬亘(京都大学)

「イオン液体型ポリマーブラシによる  
超潤滑システムの開発」  
佐藤貴哉(鶴岡高専)

「液晶粘度の自律制御と潤滑系への応用」  
田所千治(横浜国立大学)

14:10  
15:30

**低摩擦のナノ計測**  
「ナノトライボロジーのための共振すり測定」  
栗原和枝(東北大学)

「The Behavior of Water in  
Low-Friction, Adsorbed Layers」  
Rowena Crockett (Empa)



「サブミクロン領域における境界潤滑膜のレオロジー」  
平山朋子(同志社大学)

「ナノ触診法とナノトライボロジーへの応用」  
中嶋健(東北大学)

15:30  
16:30

ポスター発表

16:30  
18:00

**低摩擦設計**  
「Elastohydrodynamic Friction」  
Hugh Spikes (Imperial College)



「低摩擦設計のためのその場観察」  
森誠之(岩手大学)

「炭素系コーティングによる超潤滑ナノ界面の創製」  
足立幸志(東北大学)

「低摩擦材料設計のための第一原理計算に基づく  
トライボケミカルシミュレーターならびに  
束縛系量子化学分子動力学法の開発」  
久保百司(東北大学)

18:00

閉会の挨拶

貴重な研究交  
流の場となっ  
た会場





微細加工・設計チーム  
山形大学大学院理工学研究科  
教授

古川英光

Hidemitsu FURUKAWA



## 強いゲルを低摩擦機械に活かす

ダブルネットワーク (DN) ゲルは、90%以上の水を含みながら、車で踏んでも壊れない強度をもっています。そして、表面はツルツルしています。私は以前、DNゲルを開発した北海道大学の研究室において、ゲルの内部構造の解析や摩擦特性の測定を行っていました。北海道大学では人工軟骨などの医療用途を想定していましたが、山形大学ではDNゲルやプラスチックを使った「やわらかい機械」の実現をめざしており、特に本ネットワークでは、DNゲルを低摩擦機械に応用するための基礎的

な研究を行っています。

私たちはトライボロジーの研究経験が浅い一方、ゲルの専門家集団です。強度、硬さ・軟らかさといった摩擦以外の力学的データと内部構造の情報を添付して、ネットワーク内の先生方にDNゲルを送り、多角的に摩擦特性を測定していただいています。その結果、例えば、板状のゲルの上でボールを滑らせると、ボールの部分だけゲルがへこんでしまい、抵抗が出て低摩擦にはできないとか、ボールにゲルがくっついてしまっただけで摩擦するといい、ゲルを

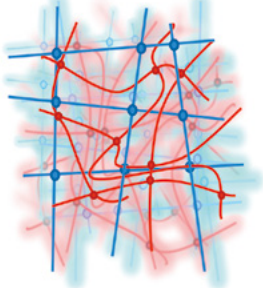
機械動作に適用するときには考慮しなければいけない問題がわかってきました。私たちも、ゲル摩擦界面を観察する装置を考案・作製して解析を行っています。

本ネットワークのおかげで、最先端の精密な研究がスピーディーに進み、DNゲルの低摩擦現象について広い視点からの理解が進んだと感じています。今後2年間で、機械設計の改良とともに、ゲルを薄くしてへこまないようにするといった材料面の改良も行い、軸受けやロボットの関節への利用にチャレンジしていきたいと思っています。改良にあたっては、ネットワークの先生方のご協力をいただけることが非常に心強いです。

一方、このようなゲルを機械に応用する際には、加工技術や接着技術が必要となります。そこで、私たちは、ゲル専用の3Dプリンターを開発しました。DNゲルの場合は、硬いゲルを乾燥させて微粒子にしておき、軟らかいゲルの原料の溶液に混ぜてこの装置にセットし、紫外光をあてることで、望む形のものをつくることができます。

DNゲルのロボットへの応用については、山形大学の研究者と共同研究を進めています。金属などの硬い材料でできたロボットは、暴走すれば凶器となりますが、ゲルやプラスチックでできたロボットなら、人体にあたってはけがをしにくいことでしょう。低摩擦の研究を、そんなロボットの実現に活かせたらと考えています。

### DNゲル

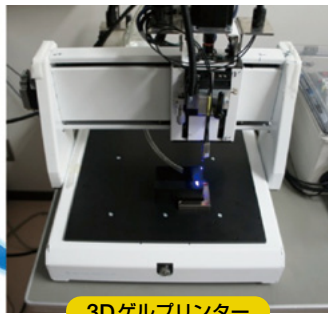


DNゲルは、ポリ(2-アクリルアミド-2-メチルプロパンスルホン酸) (PAMPS) の硬いゲル(青)と、ポリアクリルアミド (PAAm) の軟らかいゲル(赤)が、相互侵入した網目構造をもち、硬くて強い。

### 3Dゲルプリンターの試作機



3D-CADデータ



3Dゲルプリンター



高強度ゲル

3D-CADで描画したデジタルデータから、描画したデータどおりの高強度ゲルを3D自由造形できる。



## 粘度を自律制御する液晶潤滑システム

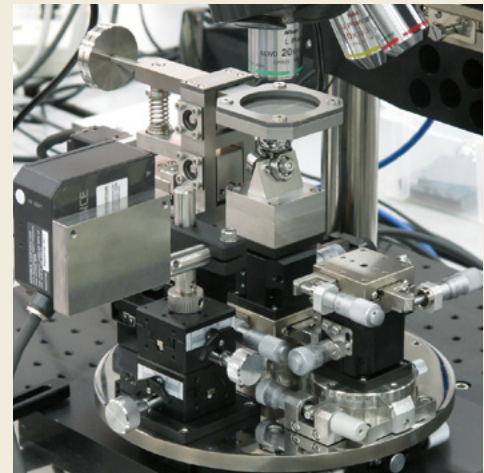
潤滑面の摩擦係数は、速度、荷重、潤滑油の粘度によって変化します。荷重が一定の場合、速度が高い領域は流体潤滑となり、低粘度の潤滑油を使ったほうが摩擦係数は低くなります。しかし、低粘度の潤滑油の油膜は小さな負荷で破断しやすいため、速度が少し下がっただけで混合潤滑、さらには境界潤滑へと移り変わってしまいます。つまり、どの速度でも摩擦係数を低く保てるような潤滑油は存在しないのです。

そこで、私たちは、流体潤滑領域では粘度が下がり、混合潤滑領域では粘度が上がるような「スマートな」潤滑システムをつくらうと考えました。ポイントは、液晶を使ったことです。液晶は棒状の分子からなっていて、ふだんは流れに沿った向きに分子が並び、粘度は低いのですが、電場をかけて分子の向きを流れに垂

直にすれば粘度が高くなります。この性質をうまく使い、電場を使わずに液晶分子の向きを変える方法があれば、めざす潤滑システムをつくれるはずです。

私たちは、液晶としてペンチルシアノビフェニル(5CB)、液晶分子の方向を指示する分子としてパルミチン酸(HDA)を使い、このアイデアを実現しました。5CBにHDAを添加したものを潤滑油として使うと、潤滑油をはさむ表面に自然にHDAが並び、表面間の間隔が狭くなると5CBがHDAの指示で垂直方向を向くのです。

狙ったとおりの現象が起きていることは、潤滑システム試験機を作

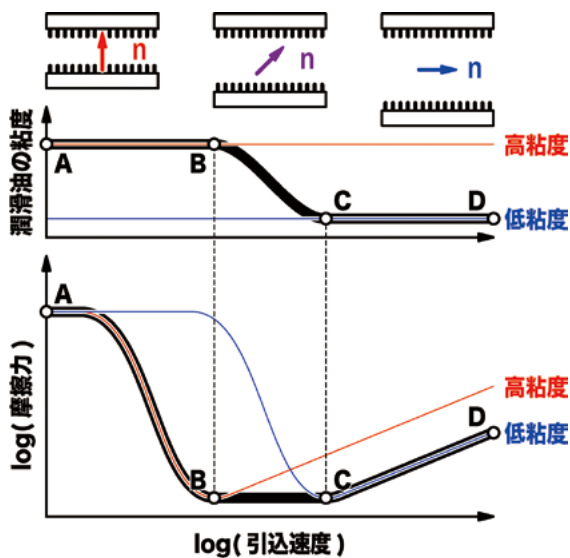


潤滑システム試験機

回転自由なボールに対してプレートを駆動させ、両者の間の膜厚と摩擦係数を測定する。駆動速度は $10^0 - 10^{-1}$  m/sの範囲で変えられる。膜厚は光干渉法により1nmの分解能で測定できる。

製して確かめました。この装置でプレートの駆動速度をさまざまに変えて潤滑膜の厚さを測定し、結果を解析したところ、5CBにHDAを添加した潤滑油は、速度が下がるにつれて5CBに由来する粘度が高くなっていくことがわかったのです。今後は、栗原先生や森先生の装置を使わせていただき、より直接的な検証を行いたいと考えています。その一方、比較的簡単に粘度を測定できる自由振動式粘度計も作製し、よりよい液晶分子の探索も進めています。

この潤滑システムが実用化されれば、風力発電のタービンのように回転速度が大きく変わる装置でも、常に低摩擦で動かすことができることでしょう。この研究をいっしょにやってきた田所千治研究員が近々巣立つことと合わせ、将来に期待しています。



スマート潤滑システムの概念図

速度が大きく変わる場合、一般的な潤滑油ではどの速度でも低摩擦にすることはできない。そこで、速度に応じて液晶分子がみずから向きを変え、粘度を制御するしくみを考案した。液晶に加えたパルミチン酸が表面に並び、その動きにより低速域で液晶分子の向きが垂直になる。

## 活動報告 1

### GRENE Seminarを開催

2013年10月8日、GRENE & TIMT 連携国際シンポジウムの開催に引き続き、東北大学WPI-AIMR セミナールームにおいて、GRENE Seminarが開催されました。講師は、J. M. Martin教授とH. Spikes教授で、本ネットワークメンバーを中心に30数名の参加がありました。また、テレビ会議システムによりネットワークに中継されました。

Martin教授は超低摩擦材料として応用が期待されるダイヤモンドライクカーボン(DLC)について話し、Spikes教授は潤滑油の歴史をたどりつつ添加剤について話されました。いずれもシンポジウムの講演の内容をさらに深める話で、講演後には熱いディスカッションが行われました。

講演するMartin教授



聴衆と議論するSpikes教授



展示小間での説明のようす



## 活動報告 2

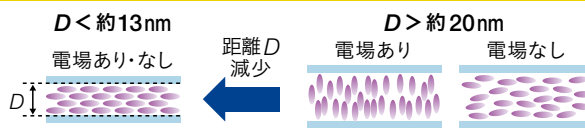
### メッセナゴヤ2013に出展

2013年11月13日から16日まで、ポートメッセなごや(名古屋市国際展示場)で開催されたメッセナゴヤ2013(異業種交流展示会)に出展しました。ポスター等を用いて、表面力・共振り測定の原理や装置をはじめ、これらの計測により展開される固-液界面の分子論、トライボロジー特性の分子レベルでの評価について、基礎から応用まで広く説明しました。

## お知らせ

### 狭い空間での 液晶分子の挙動を解明

栗原教授のグループは、液晶が非常に狭い空間に閉じ込められると、バルク状態とは異なる振る舞いを示すようになるという画期的な発見をし、2014年2月7日付の「Soft Matter」誌(電子版)に発表しました。一般に液晶分子は電場の方向に並ぶ性質がありますが、6CBという液晶を基板間の距離が約



基板間の距離による液晶分子の挙動の違い

13 nm以下の空間に閉じ込めたところ、基板に垂直な向きに電場をかけても分子は向きを変えませんでした。この成果は、狭い空間で機能する潤滑油の振る舞いの理解にもつながるものです。