



わたしたちの研究（17）機械機能要素工学研究室

平山朋子（H9/1997卒）

1. 本研究室の概要と研究紹介

3年半前の2019年4月に教員として着任し、「機械機能要素工学研究室」を運営させていただいております。私は2001年の3月に本学精密工学専攻博士課程を中退しましたので、18年ぶりに母校に戻ってこられた形となります。ただ18年間京大から離れていましたので、恥ずかしながら、実は研究室の系譜はよく分かっておりません。ただ、私の出身研究室は矢部寛先生、藤尾博重先生が運営される「機械要素研究室」でしたので、名前も似ているし同一系譜なのだろうと勝手に思い込んでいます。自分の出身研究室を運営させていただいていると思うと、いっそう身が引き締まる思いになります。そして今でも毎朝、C3棟3階の渡り廊下を歩きながら、京大に戻ってこられたなんて本当に夢みたいと喜びを噛み締めるのが日課です。ずっと京大におられた先生方には分からないかもしれませんが、外に出ると京大に居を構えて研究できることのありがたみを強く感じると思います。そのくらい本当に幸せな職場であり、幸せな職業だと思います。

2022年度現在の当研究室の構成は、教員3名、博士課程学生5名、修士課程学生7名、学部生5名、研究生2名、事務補佐員1名となっています。教員は安達真聡助教と山下直輝特定助教と私で、山下先生と私は主としてトライボロジーを、安達先生は粉体搬送技術を軸とする航空宇宙用のデバイス開発を専門としています。研究室は和気藹々としていて、毎日教員も学生も揃って大学の食堂でランチを共にしています。また、事務補佐員の深尾さんを中心としてプロムナードに研究室の花壇を作るなど、日々の生活と共にある研究室作りを心掛けています。



図1 2022年度研究室のメンバー写真（2列目右から3番目が安達先生、3列目左から2番目が山下先生、2列目左から2番目が平山）



図2 研究室花壇の様子

2. トライボロジーの魅力

先にも書きましたように、私自身はトライボロジーを専門としています。トライボロジーとは摩擦、摩耗、潤滑現象を対象とした学問で、特に機械要素の中の摺動面の性能向上を目指す分野です。博士課程までは、矢部寛先生の下でハードディスクスピンドル用の流体軸受の設計に取り組んでいました。ですが、矢部先

生の後を追ってばかりではいつまでも矢部先生を追い越すことができないこと、また、時代的に、今後は流体潤滑計算だけでは研究者として生きていけないだろうという思いが強くあり、より摩擦の本質に踏み込むべく、卒業してすぐに境界潤滑の研究に取り組み始めました。ただ、矢部研は流体潤滑状態を対象としていることから「摩擦試験機」たるものもなく、私もただの一度も摩擦試験をしたことがなかったので、最初は本当に暗中模索に四苦八苦で失敗だらけの毎日でした。(摩擦試験漬けの今では考えられません！)

トライボロジーは機械要素の性能向上を謳っていますが、実際は地味な学問です。教員になりたての頃、トライボロジーの重鎮の先生に「もうトライボは先が長くないからうまく分野換えしたほうがいいよ」などと釘を刺されたり、摩擦試験をしてもうまく現象が整理できなかつたりで、もっと確たるベースのある学問に憧れていました。ですが巡り巡って20年経った今は、トライボロジーが大好きで、トライボロジー分野が自分の専門で良かったと心から思っています。その巡り巡った20年を話すと長くなりますので、ここではトライボロジーの魅力だけを端的にお伝えしたいと思います。

㊦ り組み方が多様

一言でトライボロジーと言っても、そのアプローチは多種多様です。摩擦試験一つを取ってもさまざまですし、その現象解明のための手段も分析、計測、シミュレーションと多岐に渡っています。人によって見ているスケールも次元も全く違う。にもかかわらずその全ての結果に真理がある。そこがトライボロジーの面白さです。昔は、摩擦試験で得られた値の意味合いが読み取れず、現象が整理できなくて嫌だと思っていたはずなのに、今は少しだけその理屈が分かるようになってきたからなのか、不思議とそこに面白さを感じています。

㊧ イバル・仲間が世界中にいる

ノーベル賞を目指す分野のように、一つの山の頂点に誰が早く到達できるかを競う分野ではありません。かといってライバルがいなくてもありません。どの分野でも同じかと思いますが、共通の真理を目指すライバル、そして仲間が世界中にいます。特にトライボロジーは数理的に記述しにくい分、頼るのは実験で得た肌感覚のみの場合もありますが、それを人と共有できたときの喜びは望外です。

① 分野融合に強い

トライボロジーは異分野との親和性が高い学問だと思います。異分野の知識を活用することによってトライボロジー現象をより深く解明する試みもあれば、トライボロジーの応用先としての融合もあります。物理、化学、生物、地学、医学、たいていどのような分野にも「摩擦」に絡む課題があったりします。それでまたコミュニティが広がっていくと、トライボロジーをいっそう好きになります。

② トムアップからトップダウンまで

近年、ナノメートルスケールのミクロな摺動界面の構造を精緻に調べることができるようになってきました。そしてそのミクロな構造がマクロな摩擦特性に直接的に繋がっていることがようやく明らかとなってきました。もうしばらくすれば、ミクロ構造とマクロ摩擦特性の関係性が体系立って整理され、その次は所望の摩擦特性を得る界面構造の設計がより現実化していくことと信じています。これはトライボロジー分野にとって大きなブレークスルーです。

③ ローテクの中にロマンがある

トライボロジーはローテクです。ただ、ローテクなのが味わいをいっそう深めている気がします。また、何気ない日常や暮らしが学問と繋がっているところにロマンを感じます。

④ 己研鑽できる

トライボロジーは自然現象を理解する学問です。そして自然の力の恩恵をどのように機械設計に活かすかを考える学問だと思っています。征服ではなく、調和の中にこそ最適解がある。自然の圧倒的な力の前に、その恩恵をささやかながら享受することで良いものができる。そう思うといつも謙虚な気持ちになれます。

⑤ 将来発展性

トライボロジーという用語が生まれた50年前と比べると、摺動面での摩耗や焼き付きといった問題は随分と聞かなくなりました。一方で、現在は高効率で省エネルギーな機械の開発が強く望まれており、その砦の一つがトライボロジー分野の研究動向にかかっていると信じています。摩耗や焼き付きの後手対応だった昔に比べて、現代ではよりポジティブな学問に変遷してきたように感じています。

3. 研究紹介

ここで当研究室にて取り組んでいる研究について、その代表的なものを2つほど紹介します。

(1) 境界潤滑に関する研究—各種界面分析法による添加剤境界潤滑層の構造および形成メカニズムの解明

摺動面が境界潤滑状態にあるとき、固体表面あるいは固体間に形成される柔らかい分子鎖状の「境界潤滑層」の存在がキーとなります。機械摺動面においては、潤滑油中に含まれる添加剤によって形成されるのが一般的です。当研究室では、さまざまな界面分析手法を用いることで、その構造や物性および形成・脱離といった動的プロセスの解明に取り組んでいます。図3は周波数変調型原子間力顕微鏡（FM-AFM）によって取得した金属／潤滑油界面の断面像であり、添加剤による吸着層の形成と外的刺激の導入によるその成長が明瞭に捉えられています。その他、中性子反射率法、全反射型赤外分光法、水晶振動子微量天秤法、表面力測定法等の手法を駆使し、境界潤滑層に関わる情報の取得とそれに基づく潤滑油の最適設計に取り組んでいます。

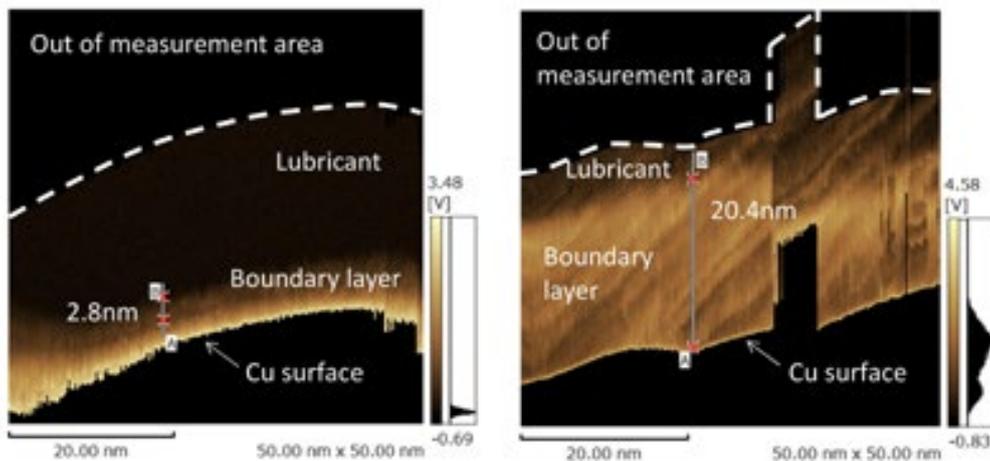


図3 FM-AFMによって得られた銅／潤滑油界面の境界潤滑層構造
(左：分析開始時、右：数時間の分析作業を行った後)

(2) 流体潤滑に関する研究—ナノテクスチャによる弾性流体潤滑特性の向上とその応用

流体潤滑状態とは油膜を介して非接触摺動を実現している状態を指し、機械摺動面において最も望ましい潤滑形態とされています。その流体潤滑状態をより積極的に作るには、表面テクスチャの形成が有効です。一般的に、表面テクスチャ

が有効に働くテクスチャ深さはすきま長さと同程度のときであり、加工精度の向上に伴って摺動部のすきまがより狭小化する傾向にある昨今、ナノテクスチャの形成は流体潤滑状態の形成、保持に極めて有効な手法であると言えます。

当研究室では、主に、フェムト秒レーザや精密エッチングによって形成した表面ナノテクスチャを対象とし、流体潤滑から混合潤滑に至るまでの潤滑挙動について詳細な研究を行っています。図4はフェムト秒レーザによって深さ数百ナノメートルの周期溝を施した球の写真と模式図であり、これを用いて弾性流体潤滑下における油膜厚さを調べたところ、テクスチャがない場合に比べて最大2倍程度にまで油膜が厚くなることを確認しています。この技術をボールベアリングの内外輪等に応用することで、ベアリングの低摩擦化が期待されています。

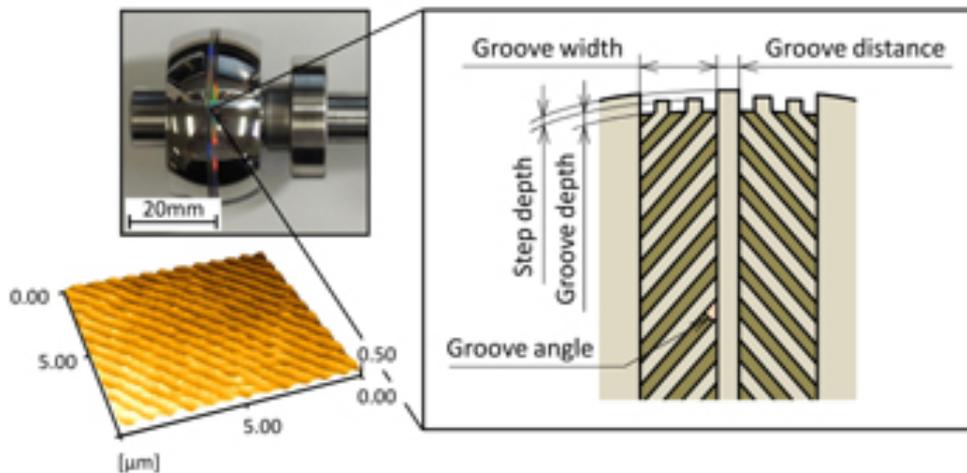


図4 ナノテクスチャ加工を施した球による弾性流体潤滑油膜厚さの向上試験

4. 研究室のこれから

本当はもっと研究の紹介をするべきですが、研究内容についてはホームページで公開したり、解説記事などでも紹介していますので、もしよろしければそちらをご覧くださいませましたら幸いです。現在、自動車、機械要素、潤滑剤、家電、鋼材メーカー等、10社ほどの企業と共同研究を実施しており、研究室で得た知見を広く社会に還元できればと願って活動しております。

★ 研究室ホームページ : <http://www.elem.me.kyoto-u.ac.jp/>

なお、2021年度より安達先生が、2022年度より山下先生が着任下さり、研究室の活動の幅も大きく広がりました。安達先生は早稲田大学ご卒業後、ドイツ航空宇宙センター（DLR）でポスドクをされ、その後当研究室にお越しくださいまし

た。静電気や磁場を使った粉体搬送技術をコアとして、月レゴリスの採取・分級・搬送やそのデバイス開発に従事されています。山下先生は田畑修先生の下で博士号をご取得後、東京理科大勤務を経て、現在は当研究室のトライボロジー研究をサポートして下さっています。特に表面科学に立脚するアプローチを得意とされ、摩擦現象のナノレベルからの解明に取り組まれています。

もし当研究室の活動にご関心を持っていただける場合は、ぜひ私までご連絡ください。機械要素工学分野を牽引する研究室作りを目指して、いっそう努力して参る所存です。今後とも皆様のご指導、ご支援のほど、よろしくお願い申し上げます。