

トライボロジーシミュレーションの教育方法の模索
Exploration of Teaching Methods for Tribology Simulation

鹿児島工業高等専門学校・機工（正）*杉村 奈都子

Natsuko Sugimura*

*National Institute of Technology, Kagoshima College

1. 背景と目的

筆者は分子シミュレーション、粗視化モデリングを専門とし、最近の研究においては粒子法による焼付きシミュレータの開発を進めている。所属校における工学（機械、制御、電気、土木、情報）教育では、CAE(Computer Aided Engineering)ソフトウェアの講義実習は定着して久しく、ここ数年はIoT、AI講義のカリキュラムへの導入が急速に進んだ。一方で、依然として物理、化学に基づく工学系シミュレーションのカリキュラム導入はなされていない。その一因として、計算機シミュレーションの基盤である計算力学、計算科学に対する理解が十分になされていない可能性が考えられる。CAE同様、シミュレーション＝何かを作るためにヒトの代わりに自動化してくれるもの、設計の道具、危険予測のための道具にすぎないという認識が根深いように見受けられる。あるいは、コンピュータやプログラミングに関する技術の習得の意味合いが、情報通信技術の習得開発に集約される傾向がある。CAEもITもAIもプログラミングも、計算機利用が学生にとって身近になるという意味では非常に有益であるし、ものづくりが好きな学生にとっては、コンピュータによる設計、自動制御、知能工学はとても親和性が高い。しかし、“何か分からない現象を明らかにするために、数式モデルに落とし込んで、それを計算機の力を借りて解くことで、分からないことを明らかにする”，というシミュレーションの世界を知ること、うまい具合にスルーできてしまう。つまり学生は、何で？を計算機で調べる、複雑な数式をどうにか処理する という作業に、カリキュラムに乗っただけでは行きつけない。

こうした学習環境において、計算機シミュレーションとトライボロジーのどちらもが初学の学生に対して、短期間に効率よくトライボロジーシミュレーション技術習得を実現させる方法を模索している。トライボロジーの基本内容と学術的テーマの理解、シミュレーションの手法の理解、シミュレーションのための計算機の使い方が3本柱であるが、これを同時並行していかに効率よく進められるか、それを推進あるいは阻害する要素の分析を合わせて議論する。そして、高度な計算実施に至らしめる実践内容について報告を行う。合わせて、自身の研究をこの教育と両立させる取り組みについても報告する。

2. 方法と実践

筆者が所属する機械工学科において、トライボロジーが多少なりとも関わる講義（必修）として、学生は機械力学、機械工作法、機械設計法、材料学、材料力学、流体力学、熱工学、制御工学を本科2-5年の間に受講する。このうち、筆者が担当するのは本科3,4年生の機械設計法で、特にねじ、軸受、歯車、ベルト伝動の単位においてはトライボロジーの教科書内容や研究内容を、設計法の教科書内容に交えて説明することが可能である。学生はトライボロジーという用語を知らずとも、機械摩擦の事象にはなじみがあり、学術的テーマとしてのトライボロジーは彼らの興味を惹起しやすい。しかしながら、力学では収まらない、設計の原理を学ぶという設計独特の内容にボリュームがあるため、教える側も教わる側もトライボロジー的興味の深掘りにはなかなか至れない。とはいえ、歯車は特定の学生の興味を引きやすく、歯の切り方や組み合わせ方と摩擦特性の関係を熱心に研究し、実際にCADソフトで設計して作成するための相談を受けることが例年ある。つまり、設計法の範疇でトライボロジーに触れる機会を与えることはある程度できていると考える。他方、筆者がトライボロジーシミュレーションを年間に教育する機会は以下のとおりであり、受講者はほぼ全学年、幅広い年代にまたがっている。そして、これがなかなか手強い。

受講者	受講者数	受講時間	科目	内容
専攻科2年	1名	90分 ×180回	特別研究Ⅱ	配属学生の修了研究、スカフィング(SPH)
専攻科1年 (大学3年)	1名	90分 ×180回	特別研究Ⅰ	配属学生の修了研究、ゴム摩耗(SPH)
専攻科1年	12名	90分 ×7回	特別演習Ⅰ	トライボロジーとシミュレーションの講義・実習・特別講演、MC、MD、DPD、SPH、MO
本科5年 (大学2年)	4名	90分 ×180回	卒業研究	配属学生の卒業研究 弾性接触(SPH)、流体潤滑(MPS)、フレッティング摩耗(SPH)、界面膜反応(MD) / VR
本科4年 (大学1年)	49名	90分 ×15回	機械設計法Ⅱ	うち、補習60分程度において軸受計算コードの説明と提供(解析計算)

本科 1 年	42 名	90 分 × 2回	機械工学演習	シミュレーション実習 (MC)
本科 2~3 年	42 名×2	60 分	時間外イベント	研究紹介
中学生	(R6 年 度) 15 名	60 分	1 日体験入学	シミュレーション実習 (MC)
全世代	15 名	90 分	STEAM 教育	物理シミュレーション実習(MD)とロボット実習 (LEGO SPIKE)
小学生	30 名	45 分	仕事紹介イベン ト	研究を含む仕事紹介, シミュレーションとは? の説 明

筆者がシミュレーションを座学で教えられるのは、本科卒業、専攻科修了研究を除けば、本科1年生と専攻科1年（大学3年相当）の教科のみである（表中、下線部）。前者は学科教員が輪番で受け持つ1日限りの講義のため、実は周到な準備が必要である。極端な失敗例であるが、その認識のなかった初年度、物理シミュレーションの数々を紹介したが何も理解をされず、さらに、かつてC言語初学者に用いられることの多かったモンテカルロ(MC)法による放射性崩壊のコードの穴埋めを演習にしたところ、放射性崩壊も微分方程式も未修の彼らにはやはり全く理解ができなかった。物理シミュレーションのコーディングを初めて持ち込む際には、すでに受講者がよく知った内容と式で構成することがいかに大切であるかを思い知ったものである。また、カリキュラム上、指導のコーディング言語がC言語からPythonに移行するため、それを反映させると学生の負担が少ない。一方、後者はこれより5年年長の学生が対象であり、シミュレーションの内容選定にはあまり苦労がない。学生はこれがシミュレーションの講義だと前もって認識しており、さらにトライボロジーの名を冠した教科書¹⁾を教材に指定しているため、摩擦のシミュレーションを学ぶのだと分かって臨んでいる。ただし、トライボロジーの初学者ではあるため、内容を良くは知らない。そのため、6回の講義（1回はテスト）で表にある多くのシミュレーション手法を教えるにあたり、その全てをトライボロジーのシミュレーションに落とし込んで説明するのが効率的である。粒子法(SPH)、分子動力学法(MD)は無理なく説明ができるが、たとえばMC法は、機能性高分子溶液や某かの統計平均処理のためのシミュレーションなどをいきなり紹介することには無理があるため、少々強引ではあるが摩擦材料の合金のパターンシミュレーションのトイモデルという建付で、メトロポリス法を教えている。学生は統計力学が未修であるためアンサンブルや分布関数、分配関数については前置きが必要であるが、この程度であれば問題はない。なお、トライボロジーとの脈絡のない放射性崩壊シミュレーションは、専攻科生にとっては何の問題もないものの面白くないようで、次年度は指数関数的減少モデルとして皮膜の摩耗や添加剤の消耗をテーマにする方針である。

筆者が本格的にシミュレーションを教えられるのは、研究室に配属された学生に対してである。Linuxに初めて触れる学生も多く、種々のコマンド操作にははじめは手間取る。しかし、2ヶ月を過ぎると研究室全体で問題がなくなる。というのもコマンドは、こちらが実演して見せるだけで覚えられるものではなく、コマンド表をPCデスクトップ画面に貼るなど、学生も工夫をする。また、2ヶ月で終わると分かってきたため、筆者はあまり労を惜しまずに聞かれれば口伝する。それでもコマンド操作を負担と感じる学生の中には、VS Codeを利用する者もいる。自分で快適なコーディング環境を自発的に整えられれば、シミュレーション導入指導の仕事は一つ終了である。

研究指導で最も腐心するのは用いる手法、コード、ソフトウェアの選定である。テーマ設定については、ほぼトライボロジーの初学者であると学生自身が認識しているため、多くが指導教員に委ねられ、テーマが面白くないから研究が進まない、ということとはほぼない。一方で、コードやソフトウェアをうまく使いこなせない、結果がなかなか出てこない状態は、かなりのフラストレーションになり、やる気が削がれる傾向にある。どうにか頑張って突破してもらいたいところだが、それだけの熱意はなかなか期待できず、指導する側も年度末に大変苦労することになる。そのため、指導者自身の研究を卒業研究教育と両立させるのに最も効率が良いのが、指導者がその年度、指導者自身で手を動かせる内容についてのみ不確実性が残るものをテーマに設定し、他は確実に相応の結果が得られると期待できるコードやソフトウェアの利用で完結できるものをテーマに設定することであると思うに至った。ジョブが動かない、おかしい結果が出てきた、という状況を、よし、なんとかしよう と楽しめるまでには相応の時間がかかるのは、思い返せば当然のことである。とりわけ本科の卒業研究の取り組み期間は毎週2日（年間90分×180時間）の1年間で、非常に費やせる時間が短い。テーマの設定に腐心したこともあったが、それが敗因ではなかったと気づくのに数年を要したところである。

なお、本科4年生の設計法では、補足説明として今年度初めてレイノルズ方程式によるすべり軸受の負荷動圧解析シミュレーションに触れたが、シミュレーションの指導実施に至る時間的な余裕はなかった。

3. まとめ

本稿では、計算機シミュレーションとトライボロジーの双方が初学である学生に対して、短期間に効率よくトライボロジーシミュレーション技術を習得させるための筆者の教育的工夫（模索）を述べた。他に大規模計算の指導に関する課題も含めて、カリキュラムに明示的に組み込まれていない環境において、指導者にとって負担が少なく学生の充実度の高い、効率的な研究と指導の両立方法について、さらに検討を進める予定である。

文献 1) 佐々木・志摩・野口・平山・地引・足立・三宅：はじめてのトライボロジー，講談社(2013)