

早期体験型実験・演習科目としての「機械システム入門セミナー」科目の継続

機械システム工学科 代表者 丸茂康男

1. 緒言

機械システム工学科では、教育目的の一つである『基礎学問の知識を応用して、機械システムを設計・開発・構築する能力を育成する』ことを目指すため、1年次の前期から体験型の内容を含んだ科目の一つとして「機械システム入門セミナー」を実施し、ものづくりに関する導入教育を行っている。しかしながら、残念なことに、近年ものづくりの基礎となる基礎知識の理解が表面的な学生が多く見受けられるようになり、この科目に続く多くの専門科目の修学にも影響を与えると考えられるようになってきた。

このような状況を踏まえ、学生自身の経験に基づいた機械システム・ものづくりに対する素養を醸成すること、専門科目への勉学意欲向上を期することなどから機械システム入門セミナーを実体験しながら基礎知識の理解を深める内容へとシフトし、早期体験型実験・演習科目へと改訂するプロジェクトを平成23年度に企画し、以来継続して改善に努めている。平成23年度以前から、ゴーカート・エンジンの分解組み立てで4コマ、ロボットの分解・組み立てで2コマを体験型実験として実施してきたが、残りの6コマの座学中心の内容に替えて、物理・工学の基礎に関する体験型実験および創成型演習を導入し、「手を動かす」テーマを履修するカリキュラムとしてきた。

一方、大学入学直後の履修者群は、その背景知識や技術にばらつきが大きいいため、実験・演習科目の実施に長い時間を要する傾向がある。また、ものづくりの基礎となる物理現象を「直感的」に「正しく」理解するためには、現象を精度良く測定し、綿密な分析をする必要があるため、さらに長い時間が必要になる。しかしながら、機械システム入門セミナーでは、履修者を8名程度の小グループに分け、一テーマを2コマから4コマ程度で実施する方式を採用しているため、このような実習のための時間を十分に設けることは難しく、実験・演習の体験を通じて目的とする単元を「直感的」に「正しく」理解する上での厳しい制約となっていた。

そこで、平成25年度から限られた1コマの時間内で行う実験・演習を通じたものづくりについての理解向上を目的とし、機械システム入門セミナーの中での実験・演習における測定の精度を効率的に向上させる対策を導入することを中心に機械システム入門セミナー

の改善に取り組んできた。

テーマ毎にボトルネックは異なるため、以下ではまず科目について簡単に紹介し、取り組みについて代表的なものを報告することとする。

2. 機械システム入門セミナー改善プロジェクト

平成23年度以前のプロジェクト

従来の「機械システム入門セミナー」は

- ・ ゴーカート・エンジンの分解組み立て (4 コマ)
- ・ ロボットの分解組み立て (2 コマ)
- ・ セミナー (6 コマ)

の構成で、体験型の要素は含まれるものの、半数(6コマ)は座学中心の講義形式であった。

平成23年度以降のプロジェクト

平成23年度より「機械システム入門セミナー」をより体験型でかつ基礎知識の習得及び想像力の育成に寄与できる内容を目指して改訂を行うプロジェクトを行ってきた。

具体的には、座学中心だった6コマ分に次のような体験型の機械・物理実験科目および創成型演習科目を導入した。

体験型機械・物理実験

測定の基礎 (1 コマ)

平均・誤差・標準偏差・有効数字の概念
力と運動 (2 コマ, 前後編構成)

運動の三法則を含めた力学基礎の確認
摩擦と仕事 (1 コマ)

摩擦と仕事に関する実験

熱とエネルギー (1 コマ)

熱とエネルギーに関する体験

創成型演習

ストロータワー (1 コマ)

ストロータワーの高さ×張り出し量×座屈荷重を競う

これらの改訂は体験型の実習を通して、機械工学で基礎となる知識をより深く理解し、実現象と理論との対比を明確に理解できる学生の育成に向けたものである。

3. 体験型実験・創成型演習

3. 1 測定の基礎

計測方法とデータ整理方法を理解させることを目的

表 1 進行表

1. 事前確認テスト (10分)

力学法則に関する自分の理解の程度を認識する

2. グループワーク (20分)

グループワーク (ペア) での話し合いにより力学法則検証のための実験を考案する
各班の検討結果披露とブレインストーミング

3. 検証実験計画の策定 (15分)

実験装置の概要と測定装置使用法を説明
グループワーク (4~5人) により、先の課題を検証できる実験計画を策定する

4. 実験の実施 (25分)

制限時間内に分担して実験実施
教員および TA が実験を支援する

5. ショートプレゼンテーション (10分)

実験成果を相手班に3分間プレゼンテーション
各班の実験とプレゼンの講評を行う

6. レポート課題説明と事後確認テスト (10分)

レポート要領と演習課題と成績評価方法の説明
理解度を再度確認し学習意欲を促進

として、「ノギスとネジ・マイクロメーターの使い方」を習得させる。計測器具を学生一人ひとりに配分し、目盛の読み方、円柱(高さ)および円管(外径, 内径)の測定, 平均値および確率誤差の算出を行う。

3. 2 力と運動 (その1: 実験で理解を深めるニュートンの運動法則)

運動の三法則を扱う実験を通して力学法則(慣性の法則, 運動の法則, 作用・反作用の法則, 運動量の保存則, 完全(非)弾性衝突)を体感させ, 力学科目の理解に必要なセンスを身につける。単なる実演でないアクティブラーニングを拡充することによって, アクティブラーニングとクリティカルシンキングを取り入れた90分間の実験・演習メニューを構築した(表1を参照)。まず自身の理解度を事前確認テストにより認識させ, グループワーク(ペア)により検証方法を考案させ, 検証実験計画を策定したのち, 確認実験を行う。実験結果のプレゼンテーションとそれらの講評を行い, 事後確認テストによって理解度を再確認し, 学習意欲を促進させる。

平成25年度から高速撮影可能なデジカメを導入したことにより, 高速な力学現象のより正確な観察が可能になり, 力学実験の種類が増加した。

3. 3 力と運動 (その2: 単振り子の周期)

振り子の実験では, 等時性の破れを実際の振り子の周期を測定することによって, 高校で学んできた振り



(a) グループワークと実験計画策定



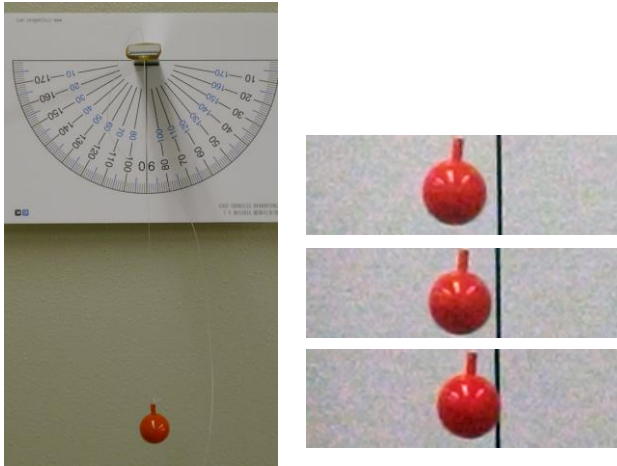
(b) TA 指導による力学実験



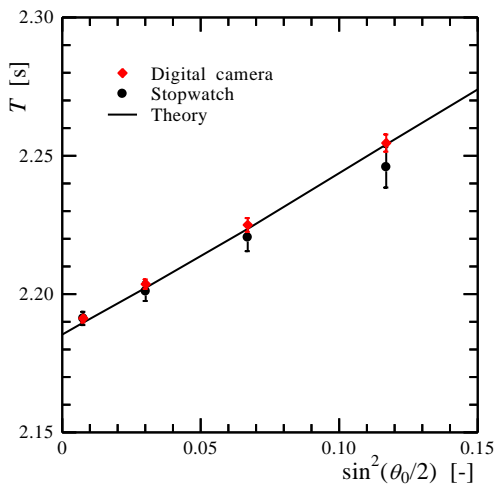
(c) ショートプレゼンテーション

図1 アクティブラーニングの拡充: 力と運動
(その1: 実験で理解を深めるニュートンの運動法則)

子運動の線形近似の限界を確認し, 微分方程式と物理, 数値積分などの関係を体験することを目的としている。考えている範囲での非線形の効果が微小であることから振り子の周期を厳密に測定するには種々の工夫が必要であるが, 一つには上記と同様, 高速度カメラを用いて周期を測定する方法を導入している(平成24年度)。この結果, 数値的に求めた解(ほぼ厳密解に一致する)に対応する傾向を得ることが出来ていたが, 大きな初期振幅では厳密解に比べ周期が短く推定されるという問題があった。この原因として, 振り子の実際の運動には実験者の想定する測定面内の振り子運動に加え, この面に直交する奥行き方向にも速度成分を有し, 測定された初期振幅が小さく見積られる傾向があるためと推測された。そこで, ナイフエッジのある



(a) ライティングによる高速度カメラによる撮影画像の鮮明化



(b) 平成 26 年度の実験結果と理論値との比較

図 2 高速度カメラによる高精度化（単振り子の周期）

装置（ボルダの振り子）を導入し、この影響を排除することを試みたが、角振幅を大きく取れなかった。よって、平成 26 年度は 2 周期目を 2 回計測して平均値を用いることによって初期振幅の影響を回避し、1000 分の 3 秒以内の精度で周期を求めることができた。また、図 2(a)のように、平成 26 年度はライティングによって鮮明な画像を取得することもできた。

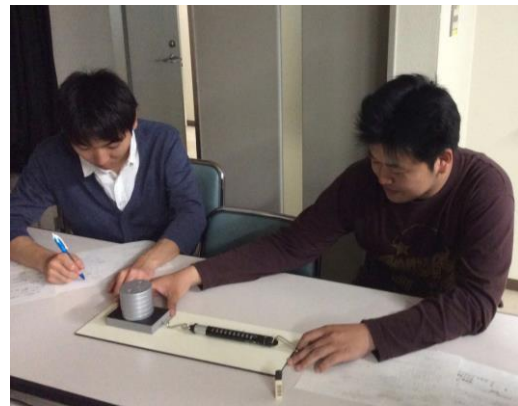
平成 25 年度までは Excel を用いたシミュレーションを行い、その結果を比較データとして使用してきたが、シミュレーションを理解できない学生が少なからずいた。しかし、平成 26 年度は理論値をプロットさせることによって、単振り子の「等時性の破れ」を「測定誤差」と誤解する学生が減少した。

3. 4 摩擦と仕事

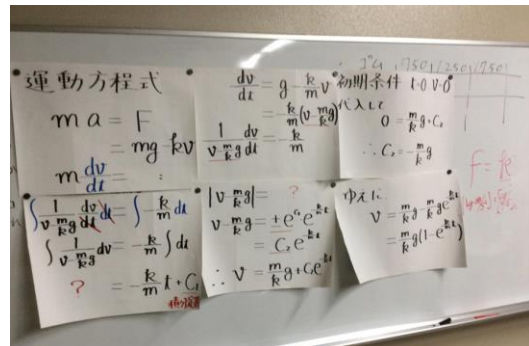
摩擦と抵抗を理論と微積分でつないで理解させるために、「自由落下実験」と「最大静止摩擦力測定実験」を行う。空気抵抗を考慮した自由落下運動を運動方程



(a) 自由落下実験（空気抵抗考慮）



(b) 最大静止摩擦力測定実験



(c) 物理と微積分のリンク



(d) グラフ作成と考察

図 3 摩擦と仕事（高校物理と大学物理をつなぐ導入教育）

式で表し、実験結果との差異について考察し、摩擦の発生メカニズムについて考察することを学生の目的としている。

まず、物理と微積分の関係について、速度や落下距離の関係式でそれらが微分と積分の関係にあることを理解させる。次に、実際に図3(a), (b)のように、物理現象を測定する。その後、その物理現象を微積分の問題として解き(図3(c)参照)、最後に表計算ソフトでグラフを作成し、実験結果と理論値の比較を行い、それらの差異について原因を考察する(図3(d)参照)。

90分の中で完結でき、高校の座学で学んでことを実体験させ、科学的に理解し、物理と数学の融合を経験できる効果的なテーマである。

3.5 熱とエネルギー

発電の基礎としての熱力学・流体力学の導入教育のため、火力発電と風力発電の原理を理解するための実験を行う。図4のように、圧力釜や軸流ファンを使った簡単な四つの実験を通して、火力発電の原理、飽和温度と飽和圧力の関係、凝縮現象、凝縮による真空圧の出現、圧力差と蒸気流速の関係などを学ぶ。また、風力発電の実験では、小さな風車に扇風機で風を当てて発電量を求め、同時に風速も測定して、風がもつエネルギーを求め、発電機の効率を含む風力発電の効率を算出する。

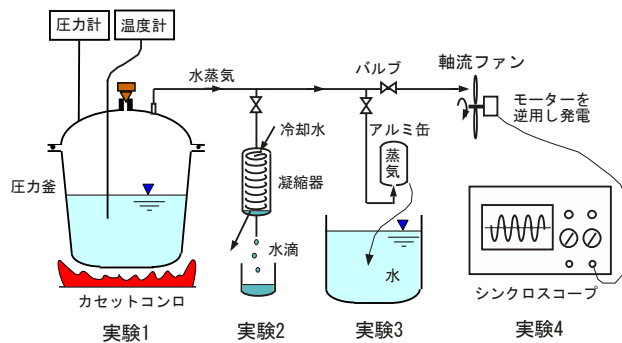
3.6 ストロータワー(発想力コンテスト)

高校物理で修得した静力学をトラスの強度予想に応用し、3次元トラスにおける力の伝わり方を体験的に学習し、理論計算と実際の結果との違いを考察すること、グループで課題に取り組み、共同作業を通じて協調性を養うことを目的とし、ストローをトラス部材として、グループで斜塔を製作する。材料はストロー40本、セロテープ、段ボールおよびひもで、「高さ H × 張出 L × 加重 N 」で競争する。

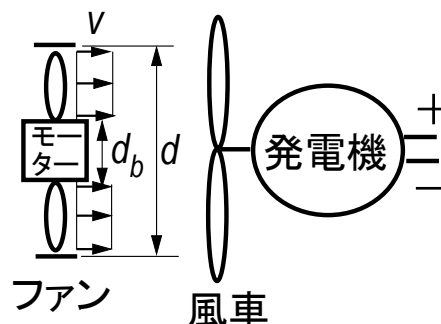
4. まとめ(プロジェクトの評価)

平成23年度より継続的に実施してきた機械システム入門セミナーにおいて、ものづくりの基本である物理現象の直感的理解の増進と正しい把握を目指した改善として履修者の体験時間の増大を目指した機材の拡充と、誤差や外乱など対象とする問題以外からの影響を抑え本質を直接に把握できるように実験系の改善を実施した。

図6のように、学習効果に対する学生アンケートの調査結果、学習目標を達成するために、本プロジェクトはおおむね有効であり、理解度の向上、技術習得効率の向上、実験精度の向上、協働学習の強化につながった。今後も改善を継続していく予定である。



(a) 火力発電の原理を理解するための実験



(b) 風力発電の原理を理解するための実験
図4 発電の基礎としての熱力学・流体力学

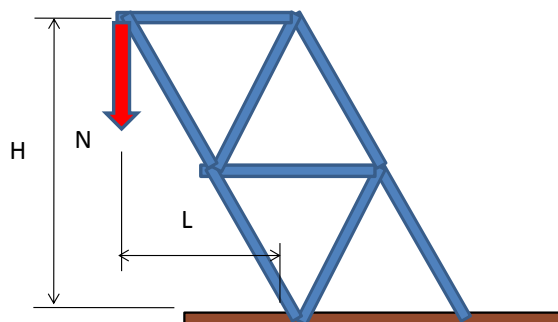


図5 ストロータワー「高さ H × 張出 L × 加重 N 」で競争(設計20分、製作40分)

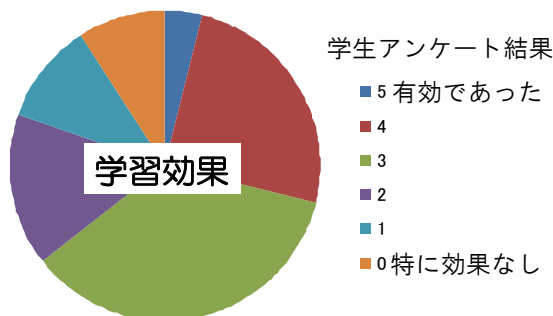


図6 学生アンケート結果(学習効果)