

機械工学科における一年生を対象とした 基礎学力向上の試み*

森 山 茂 章**

A Trial of the Improvement in Freshman's Fundamental Ability for Learning Mechanical Engineering

Shigeaki MORIYAMA

An academic achievement of Fukuoka University undergraduate students in the department of mechanical engineering has been declining in recent years. To improve their fundamental abilities that are necessary for learning main majors, all educational staffs in the department have intensively taught freshmen physics and mathematics from the standpoint of the mechanical engineer in small classes. Through this introductory course, students' typical weak points were made clear and an improvement in their basic ability for use of physics and mathematics was recognized.

Key Words: Engineering Education, Student, Freshman Education, Mechanical Engineering, Introductory Course

1. はじめに

福岡大学の機械工学科における教育目標は、社会のニーズを的確に把握して機械の開発・設計ができる技術者を養成することである。そのためには、学生は機械工学に関する様々な知識や考え方を修得する必要がある。しかし、機械工学の基礎となる初等力学と数学に関する理解が不足しているために、専門科目の理解に支障を来している学生が少なくない。基礎力不足が最初に問題となる専門科目は、1年後期に開講される「機構学」である。機構学では、剛体の運動や座標変換、リンク機構、カム、歯車などを取り扱う。また、機械で多く用いられる機構を通じて、機械工学の基本的な考え方や用語を学習する。機構学は高校の数学および物理の知識で十分理解可能な内容としているが、授業内容の理解があまり進まなかった。演習や定期試験において基本的な誤りが非常に多く、

この傾向は年々進行している印象を持った。例えば様々な機構の変位を求めるためにベクトルを用いるが、ベクトルの取り扱いに慣れておらず、ベクトルとスカラーを等号で結ぶなど基本的事項の理解ができていなかった。また、この科目では変位から速度や加速度を求めるが、変位を求めることができても、変位を時間で微分し速度や加速度を求めることができない学生が多く見られた。このように専門科目の理解が進まない状況だったので、1年後期において高校までの数学や力学の理解状況の調査を行った。その結果、必要な内容を十分に理解している学生は2割程度であることがわかった。そこで、カリキュラムおよび入学試験制度の変更を行うとともに、導入教育科目を開講し、機械工学の専門科目の理解を深めることを目指した。導入教育科目である「機械工学基礎演習」を継続した結果、数学や力学において学生が入学時に理解していない項目や専門科目を教育するときに注意しなければならない点が明らかになったので、具体的な事例を報告する。

*平成20年1月8日受付

**機械工学科

2. 方法

高校までの数学および物理の理解度を調査した結果、多くの学生にとって専門科目の十分な理解は困難であると考えられた。そこで以下の3項目の対策を行った。

2.1 導入教育科目の開講

2000年度より1年生を対象として前期の必修科目「機械工学基礎演習」を開講した。この科目の目的は、

- (1) 専門科目を学ぶために必要な基礎力の向上
- (2) 数学、物理学と専門科目との関連付け
- (3) 学生の学力・修学状況の把握

である。具体的には、機械工学科の全ての教員(9名)を担当者とし、約110人の学生を対象とした。クラス分けは、入学直後に試験を行い、個々の学生の学力に応じて9組の少人数クラスとした。教材は高校の数学、物理(特に力学)の範囲から専門科目とのつながりを考慮して作成した。授業と演習の内容は学生のレベルに応じてそれぞれの担当者が決定した。学期末の定期試験において最低限理解しておかなければならない問題を出題し、これに合格することを単位取得の必要条件とした。定期試験および通常の授業において担当教員が理解不足と判断した学生に対しては後期に補習を行い、可能な限り1年次に単位修得できるようにした。以上の方法を4年間試みたのに続いて、2004年度より授業内容を変更した。変更後は基本的に毎回試験を行い、学期末の定期試験を廃止した。90分の授業の前半30分で前回の試験を解説し、後半60分で決められた範囲から出題する試験を行った。試験結果はポイント制とし、基準ポイントに到達した学生は、その時点で合格と判定した。数回の試験においてポイントを得ることができない学生に対しては、従来と同様少人数で授業を行った。試験のみでは学生の学習意欲が維持できないと考え、初回授業において機械工学基礎演習の目的などの説明するとともに、企業で活躍している技術者による講演や校内設備(図書館、情報処理システム)の利用方法などの講習を行った。

2.2 カリキュラムの変更

従来のカリキュラムでは導入科目が全く存在せず、1年次の専門科目の設置も少ない状況であった。これは入学後の学習意欲がわからない理由としてアンケートなどにあげられていた。また、4年次の専門科目の選択科目は、登録者が多いが、実際に受講する学生は少なかった。これは卒業に必要な単位を取得しているためである。そこで、機械工学基礎演習の開講とともに専門科目の配置を全体的に年次を下げる変更を行った。この際、科目間の連携を十分に考慮した。

2.3 入学試験制度の変更

従来の入学試験では物理を必ずしも選択する必要がな

く、少数ではあるが高校で物理を全く学習していない学生が存在した。機械工学科においては高校の物理、特に初等力学は理解しているものとした授業が行われているので、そのような学生にとって物理学などの基礎科目や専門科目の理解が困難な場合があった。そこで、現在多様な入学試験制度を採用しているが、どのような入試を経ても数学と物理を学習しておく必要がある入試制度に変更した。従来の推薦入学の選考は、調査書と面接に加え、面接の一部として英語、数学、理科(物理または化学)から2科目を選択するミニテストを行っていた。一般入試に関しては、英語、数学、理科(物理または化学)を課していた。この入学試験の方法の問題点は、高校において物理を学ばなくても受験可能であることである。一般入試において理科の化学を選択する者は約10%と多くはないが、機械工学を学ぶためには問題がある。また推薦入試では英語と化学の2科目の選択も可能となっていた。高校において物理を学ばなくても大学で物理学や力学を学べば専門科目の理解には本来支障がないと思われるが、実際に非常に少数ではあるが、「物理が嫌い」、「勉強したくない」と言う学生も存在した。このような学生は入学後学習意欲がわかず、退学になる例もあった。このような状況は放置できないので、大学入試センター試験導入を機会に入学試験制度の変更を行った。具体的にはどの入学試験制度で受験しても数学および物理は高校において必ず学習しておかなければならない内容とした。また、このことにより機械工学では数学および物理が重要であることを受験生に認識してもらえよう配慮した。

3. 結果

機械工学基礎演習においてクラス分け試験および授業を行った結果、高校までに理解しておかなければならない内容で多くの学生が十分に理解していない項目が明らかになった。また問題の正解を得ることはできるが、定義を知らない場合や問題の解き方を表面的に知っているだけで、本質を理解していない場合も多かった。これらはその後の専門科目の理解を困難にしている原因と考えられるので、具体的に事例を挙げ説明する。

3.1 角度、角速度

π の値を問うと全ての学生が3.14と答えた。また、 $\pi/4$ ラジアンは45°とこれもほぼ全ての学生が答えた。しかし、ほとんどの学生が1.0ラジアン変換することができなかった。通常1.0ラジアンが何度かを問う問題は設定されることはないが、円弧の長さを求める計算においてラジアンで角度の値を代入する場合は少なくない。特に電卓を使用して計算する場合に誤りを多く見かけた。この原因は、180°が π ラジアンであり、円弧の長さは

半径×角度であることは知っているが、弧度法の定義を明確に知らないことにある。定義を説明すると、多くの学生は理解するが、最後まで一部には角度の単位にラジアンを使うべきところで誤る学生も存在した。

角速度に関しては、角度の単位を十分に理解していないことに加え、その定義である角度を時間で微分する（単位時間当たりの回転角）という定義を理解していない場合が多い。例えば1秒間に1回転する物体の角速度を問うと、 2π rad/s と正しい答えは得られるが、即答できない場合が多い。この理由ははっきりしないが、高校において角速度は円運動における周期とともに学ぶ。そこで、一度周期になおした後に「公式に当てはめて」角速度を求めているようである。そこで、1秒間に一回転（ 2π ラジアン）する場合の角速度は 2π rad/s というように指導して、初めて角速度の意味を理解しているようである。角度や角速度は、学生が理解しているものとして物理学や力学など工学教育における基礎科目や専門科目において頻繁に用いられるが、大学の基礎教育において理解しているか確認するべきである。

3.2 単位

単位の重要性を認識せず、誤った単位を用いたり必要な単位を付けないことがあるなどいくつかの問題点が確認された。その中で多くの学生が理解していない単位は、仕事および動力（仕事率）の単位である。高校で学んだにもかかわらず、それらの定義および単位を正確に知らない。また、単位の換算においても非常に誤りが多い。例えば体積を m^3 や l 、 cm^3 など様々な単位で表す場合において換算をできない学生が少なくない。これらも専門科目の授業などで再確認すべき項目である。

3.3 力学

運動方程式は知っているが、実際問題から物理モデルを考え、運動方程式に代入することができない。例えば図1に示すように「なめらかな水平面上にある質量 m_1 および m_2 の物体を力 F で押す。加速度および物体間の力を求めよ。」という問題を考える。これは高校において運動方程式を学ぶ際の教科書の例題として用いられる問題である。これを解かせた結果、加速度を求める問題はほとんどの学生が正解であったが、物体間の力の正解率は60%程度であった。加速度を求めることができたにもかかわらず物体間の力を求めることができない学生の多くが

$$(m_1 + m_2)a = F \quad (1)$$

と二つの物体を一つの物体と考えて解いていた。この考え方は誤りとは言えないが、問題から考えると良い方法ではない。そこで、物体間の力を求めることができない学生がどのように考えているかを調査した。その結果、

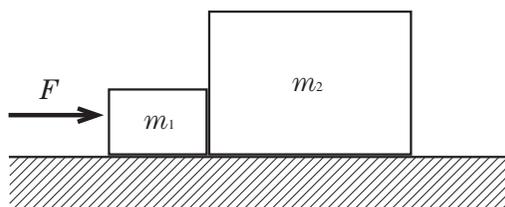


図1 力学の基本的な問題

作用・反作用の法則を十分に理解していない場合もあったが、運動方程式の立て方を理解していない場合が多かった。つまり、運動方程式を立てる場合の基本である物体にかかる力を全て書きだし、それを運動方程式に代入するという基本を理解していないのである。そこで、それぞれの物体にかかる力を図示し、運動方程式の左辺には「質量×加速度」、右辺には「方向を考えて全ての力」を記述するように指導した。その結果、ほぼ全ての学生が運動方程式を理解した。

力学における大きな問題は、多くの学生が力学を暗記科目だと考えていることである。高校においては微分方程式を学習しないため、物体の運動を考えるときに全ての学生が「公式に当てはめ」答えを求める。ニュートンの運動の法則のみを知っていれば、基本的には力学の問題を解くことができることを認識させる必要がある。またこのことが、微分・積分など数学と物理学の関連を意識しない原因であると考えられる。これらの項目は、本来大学の基礎科目である物理学や力学などで学ぶべき内容であるが、力学が関連する専門科目においても再確認する必要がある。

3.4 微分・積分

多くの学生が様々な関数を正確に微分することができたが、少し複雑な合成関数の微分は誤りが多かった。また次の関数のグラフを書く問題の正解率は15%程度であった。

$$y = \frac{x^3}{x^2 - 1} \quad (2)$$

この関数は分数関数であり、二次導関数を求めるには計算量が多く、漸近線もあるので若干高度である。このような問題に対して、正確に増減表を作成した後グラフを書く習慣がなかった。また、複雑な問題に対しては、途中で計算が面倒になり、諦めてしまうという非常に深刻な問題が見られた。

積分に関しても基本的な関数の積分を行うことができるが、対数の積分などに誤りが多かった。また、一部を切り取った球の表面積を求める問題といった求積など具体的な問題に対応することができない傾向があった。

微分・積分において最も大きな問題点は、高校におい

て微分方程式を学習しないことである。これは力学などの基礎科目や専門科目の理解に大きな影響がある。福岡大学の機械工学科における従来のカリキュラムでは微分方程式は2年後期の基礎科目である「微分・積分Ⅳ」で取り扱われていた。そのため、学生は微分方程式とはどのようなものであるか全く理解しないまま微分方程式を解く必要がある専門科目を受講していた。そこで、機械工学基礎演習において簡単な微分方程式の解法を教えるとともに、その応用として力学の問題を微分方程式を用いて解かせた。一年生は微分方程式は何を求める方程式かを全く理解していないので、変数分離形など微分方程式の基本から講義を行った。授業中に用いる例題や演習問題は、できるだけ機械工学と関連するものとした。また、一年次の数学や物理学など基礎科目の担当者に微分方程式の取り扱いを依頼し、専門科目において微分方程式を用いる科目との連携を強めた。

3.5 答案の書き方

答案の書き方における大きな問題は、計算の過程を書かないことと文字を用いずに最初から数値を代入することである。これらは受験対策による悪影響と推測されるが、答案を採点できないばかりでなく、答案を書いた本人がどこで誤ったかわからない状況であった。また、他人に答案を読んでもらうという意識が希薄であった。機械設計を行う際は、試行錯誤を繰り返しながら最終的な最適解を求める。計算の過程や根拠を書く習慣ができていないことと最初からの数値の代入はその後の専門科目の理解に大きな及ぼす。この傾向は従来からレポートや定期試験の答案などにも見られたので、機械工学基礎演習において繰り返し指導を行った。その結果、答案の書き方に大きな改善が見られた。

3.6 得られた成果と問題点

機械工学基礎演習を開講し、主に高校の範囲の力学や数学に関する基礎力向上を目指した。その結果、以上に示したそれぞれの項目で見ると理解していない学生は多くないが、全ての項目を理解している学生はほとんどいなかった。機械工学基礎演習ではこれらの項目に対して繰り返し授業および演習を行うことにより、定期試験時には8割程度が合格となった。残りの2割は後期に補習を行ったことにより、ほぼ全ての学生が最低限必要な内容を理解した。このことから、高校の範囲の復習という点からは効果があったと思われる。

従来からそれぞれの教員は基礎的な数学や力学を学生はあまり理解していないと感じていた。しかし、どのような内容を理解していないかの共通の認識はほとんどなかった。機械工学科の全教員が機械工学基礎演習を担当

することにより、学生が数学や物理学の基本的な項目を十分に理解していないことや学生により基礎力に大きな差があることを、全教員が痛感したことは大きな成果であると考えられる。また、理解度が低い項目については、関連する専門科目においても繰り返し説明するようにしている。

以上の少人数クラスの授業を4年間続けたがいくつかの問題点が確認された。最も大きな問題は、目的とした専門科目の理解が大きく改善されなかったことである。答案の書き方などは良くなったが、全ての教員が専門科目に対する基礎力向上はほとんど見られないと判断した。その理由は、学生がわからない問題を自ら根気よく考える習慣ができていないためだと考えられる。これは、授業評価アンケートの自由記述欄に「教材中の問題の解答が欲しい」という記述が多く見られることから推測される。そこで2004年度より機械工学基礎演習の授業方法および内容の変更を行った。毎回行う試験の内容を予習・復習をしなければならないものとし、自宅での学習の習慣が付くように工夫している。自ら問題を解くことができず、試験に合格できない学生に対しては、従来通りに少人数教育を行うことにより、基礎力の底上げを目指している。また、早期に合格点に達する学生に対しては個別に課題を与え、学習意欲を保ち続けることができるように配慮している。現在、授業方法変更後の定量的評価はできていないが、学生および教員の評価は以前の方法より良い。特に、企業の第一線において活躍している講師による特別講演は、学生の意欲の向上に役立っている。現在まで、「トロイダル CVT の開発」、「Formula 1へのあくなき挑戦」、「H-II A ロケットの開発と打ち上げ」という講演を行ったが、学生にとって非常に印象深かったようである。

4. おわりに

1年前期に機械工学基礎演習を開講し、専門科目を学ぶために必要な数学や力学の基礎力向上を試みた。その結果、基礎的事項の修得や学習意欲の向上は見られたが、目的である専門科目の基礎力はあまり向上しなかった。そこで現在は授業方法を変更し、試験を中心とした内容としている。機械工学基礎演習では専門科目と数学や力学の関係を理解できるように工夫しているが、現状ではそれが学生にはあまり伝わっていないようである。この科目のみで専門科目の基礎力が大幅に向上することは期待できないが、数学や物理学など他の基礎科目と専門科目との関係を学生が意識できるよう機械工学基礎演習を含めた全ての科目の改善を行う必要性を感じている。