エンジンを教材とした教育の一方法

Engine as an Educational Material

石川 正 昭^{*1}

Masaaki ISHIKAWA

It seems to be difficult to use engines as educational materials in mechanical engineering lab courses because of lack of budget, space, time and instructors. In this paper, some ideas of using engines with small amount of budget, without changing timetables, with small space and only with one instructor are introduced. We have been working on the program for four years, and obtained good educational results. Three items are used to evaluate students' performances; checking preparative works with short exams, checking behaviors on the day of lab courses and checking assignments posted after the lab courses. It is suggested that preparative works are the most important to obtain higher educational results.

Keywords : Mechanical Engineering, Students, Materials, Laboratory Course, Educational Results

キーワード：機械工学教育，学生，教材，実習，教育効果

1. 緒言

「エンジン」といえば、機械系学生にとってロボットと並ぶ魅力的なキーワードであり、機械系学科ではぜひ取り扱いたい教材の一つである。しかし実際には、各学校の教育設備や予算、教育スタッフの充実度によりその取り扱いがまちまちである。充実した教育環境下では、理論学習から分解・組立・性能試験まですでに学科カリキュラムの中に取り込まれている¹⁾。しかしそのような環境に恵まれない多くの大学では、熱力学の一部で基礎理論を学ぶだけに過ぎない。本格的にエンジン理論+実習をカリキュラムに取り込もうとすれば、現実としてさまざまな制約が多いためである。

著者の所属する機械システム工学科もそれらの環境に恵まれているとは言いがたいが、限られたスタッフ、予算、スペース、時間割の中でエンジンをを用いた実習を平成13年度から実施してきた²⁾⁻⁴⁾。本論文ではその具体的な方法およびここまでの試行錯誤の経過を紹介し、教育効果や問題点などについて分析・考察する。

2. カリキュラム中の位置付け

当学科では、いわゆるエンジンだけを取り扱う「内燃機関」のような講義科目はない。エンジンに関しては、まず2年生対象の講義科目「熱力学」の中の2回程度で理論熱サイクルを扱い、また3年生対象の講義科目「エネルギー変換工学」でやはり2回程度、やや詳しい理論を学ぶだけである⁵⁾。そこでまず限られた

時間割の中で実習を実施するために、著者が担当する授業科目の中で実施することとした。具体的には、学部3年生対象の「機械システム工学実験」のうちの割当1回分および大学院1年生対象の「エネルギー変換工学特論」にて実施する。前者は通常どの大学にもある実験・実習系科目であり、5名程度が1グループとなっていて毎週1回午後の時間帯で1テーマに取り組むというのが標準的である。著者も熱工学分野で1回分のテーマを任されており、その実験テーマとして「ガソリン機関の観察および性能試験」を導入した。後者は大学院の講義科目である。エンジンが燃料から動力発生までの一連のエネルギー変換過程を持つ装置であること、また車両用エンジンに特化した内容であることを考えると、この科目でエンジンを選択的に扱うことは合理的である。

2. 1 機械システム工学実験にて

(1) 準備と予算

用いたエンジンは据え置き式発電機で、単気筒OHV 4サイクルガソリン機関、排気量83cc 電気出力800W相当のものである。エンジンは分解観察用と性能試験用の2台（1台35,000円程度）を用意する。さらに一般的な工具類のほかに、特殊工具としてピストンリングコンプレッサー（約900円）が必要である。また分解手順や観察ポイントをまとめた「手順書」をあらかじめ作成してwebsite上で提供し、受講生は事前に閲覧できるようになっている。

(2) 方法

分解可能な部品点数は約110点であり、車両用に比べて少ないので、分解観察から性能試験まで、一般的

平成16年11月4日受付

*1 信州大学工学部機械システム工学科

な実験科目の時間帯である13時から17時の時間内で終了できるプログラムとなっている。本科目で実施しているプログラム例を表1に示す。

まず開始とともに予習チェックテストをおこなう。テストは、実験の目的や方法についての設問5問で構成されており、7分間で実施する。その後諸注意を与えたのちに実際の作業に入る。図1は単気筒エンジンの排気量を計測しているところ、図2は取り外された部品の例、また図3はTAによる指導の様子である。人数の都合上一回に2グループを並行して実施するためTA 1名に頼らざるを得ないが、担当のTAは事前に説明のポイントや方法などのトレーニングを受けている。

表2に分解観察のポイントの例を示す。特にフライホイールの役割を知っている受講生はほとんどなく、「膨張仕事の一部を回転エネルギーに蓄え、圧縮仕事を取り出す」と説明しても受講生には理解されない。「エンジンは膨張過程でのみ力を発生しており、残りの3/4は勢いだけで回転している。その勢いを保つのがフライホイールである」という説明で、受講生は圧縮仕事の意味を理解する。

すべての観察および組立が終了したら、性能試験をおこなう。ここで学生の立場からすれば、目の前で分解観察をしたエンジンそのものを運転してみたいはずである。しかし運転から性能計測となると、電気系統、燃料、動力測定、排ガス処理系統などを整備しなくて

はならず、限られた時間内で実施するのは困難である。また一度分解したエンジンを再度組み立てて運転するためには、組み立て時の締め付けトルク管理や微調整などを適切におこなわなくてはならない。これらの管理には非常に時間がかかるほか、もしこれらが管理できなかった場合エンジンの安全な運転が確保できない。本科目は整備士養成学校の講座ではないという理由で、分解したエンジンそのものを運転するという予

図1 排気量の計測

図2 ピストン、カム軸、タペット

図3 TAによる指導

表1 「機械システム工学実験」のプログラム

事前（予習）	テキスト・手順書をよく読む
13：00～13：20	出欠確認・予習状況のチェック 各種注意事項（工具の使用方法，燃料や排ガス，安全のことなど）
13：20～15：20	分解と観察 分解可能な部品点数 約110点
15：20～16：00	組立
16：10～17：00	性能試験
事後	レポート作成（1週間以内） チェック・返却

表2 分解観察のポイント

気化器	混合気形成のメカニズムやベルヌーイの定理について理解し，キャブレターの主要構造をスケッチする。
フライホイール	圧縮仕事，慣性モーメントについて理解する。
ヘッド部	フライホイールを手で回し，点火プラグ穴からピストン上下動を観察してバルブとの連動を調べ，4ストロークが実現されている様子を理解する。
シリンダー	圧縮比について理解し，行程容積および死容積を計測する。
心臓部	ピストンリングの種類や働き，カム軸，調速機構について理解する。

定は今のところはない。しかし本科目では熱工学という分野での実施となっているため、同一メーカー・同一型番のエンジンを別途用意して性能測定をおこない、そこで熱力学的な考察事項を中心課題としている。

(3) 効果

工業高校出身者はエンジンの分解経験があるようだが、本学科の場合その人数は非常に少ない。高専からの編入生もほとんど未体験である。個人的な趣味でバイクのエンジンに親しんでいる者はいるがごく一部である。実際に経験したことのある学生に当時の様子を尋ねると「理解が不十分でよくわからなかった」「組立がうまくいかなかった」というものが多く、機械工学という認識がなかったことによる消化不良がうかがえる。しかし今回の実習をおこなった後では「すべて理解できた」「もっと複雑なエンジンをさわりたいくなった」という声に変わり、3年生の科目に本テーマを設定したことは成功している。

また初めてエンジンを観察した多くの学生の反応はほぼ期待通りであり、「面白かった」「自動車のエンジンも見てみたくなった」「理論が理解できた」というものが多かった。「もっと低学年でやりたかった」という声もあったが、エンジンに関しては、低学年で実施すると「早期の動機付け」というメリットを得る代わりに「機械工学の集大成を感じる」という重要なポイントの一つ失う。当学科では低学年の動機付けとして比較的簡単な機械を用いた別のプログラムを用意しており、エンジンのようなある程度システムとなっているものに関しては、高学年を対象とする方が適切である。

(4) 成績評価

平成16年度は予習20点+作業中の態度50点（ABCの3段階評価）+レポート30点で、平成15年度は作業中の態度50点（同）+レポート50点（10段階評価）で評価した。態度については、作業に積極的に関わっているか、質疑に対して真剣に考えているか等を評価のポイントとした。

2. 2 エネルギー変換工学特論にて

(1) 準備と予算

用いたエンジンは、キャブレター方式3気筒ガソリンエンジン（軽乗用車用）、直接噴射方式4気筒ガソリンエンジン（乗用車用）、副燃焼室式4気筒ディーゼルエンジン（ワンボックス車用）の三種類である。必要な予算は、エンジン本体3台とエンジンスタンド3組の合計が約6万円、スパナやラチェットなどの一般工具が3組で約3万円、インパクトレンチやインパクトドライバー、ピストンリングコンプレッサー、バルブスプリングコンプレッサーなどの特殊工具が1組で約2万円である。

エンジン本体は解体業者から入手し、エンジンスタンドへ設置したのちに、ハーネスなどの不要な部品を外しておく。また購入したばかりのエンジンはオイル

や燃料の一部が残っており、構造によっては分解不可能な部分もあるので、教員があらかじめ一度分解作業をおこない、エンジン全体の様子を細部まで把握しておく。各エンジンについて分解観察用の手順書を作成する。まず購入直後の分解作業のときに、手順書作成のための写真を撮影する。エンジン3台についてこの作業を行うのにほぼ3日が必要である。

(2) 方法

学習の流れを表3に示す。実習においては、寸法や形状、重量の計測により、そのエンジンのエネルギーバランス図（図6参照）を算出・作成することを最終到達目標とする。そのためには受講生は実習前レポートの段階で、必要な観察・計測項目をあらかじめリストアップしておかなくてはならない。前半7週は通常の講義をおこない、後半は受講生がグループごとに集まって手順書を見ながら計測項目や計算方法などを話し合う。その結果を実習前レポートとして提出させ、内容の不足している点などを教員が指摘する。これにより受講生は、実習当日に滞りなく必要な観察をおこなうことができる。

表4には受講生から出された観察項目の例を示す。これらの項目は、実習後レポートにおいてほぼ全員が

表3 学習の流れ

1～7週	内燃機関に関する講義
8週	グループ分けと手順書の説明
9～10週	実習前レポート作成 グループ内での打合わせ
終日	実習
約2週	実習後レポート作成 チェック・返却

表4 観察・計測項目の例

気化器方式の場合	・スロー系、メイン系、パワー系、加速系などの観察とスケッチなど ・燃料吸入量・運転時の空燃比
燃料噴射方式の場合	・吸入空気量
吸排気系	・体積効率と充填効率 ・バルブ周辺の流量係数 ・吸排気系の流動損失
機械損失	・ピストン、クランク周辺 ・バルブ駆動動力、カム周辺、カム作動曲線とバルブジャンプ限界回転数 ・平均トルクと速度変動率、フライホイール
エネルギー一般、損失分析	・冷却損失 ・排気量、圧縮比と理論熱効率 ・投入燃料から軸出力および各種損失のエネルギーバランス図
その他	・冷却水流量とポンプ駆動動力 ・発電機駆動動力 ・オイル流量とポンプ駆動動力

計測と算出を試みている。また表4以外でも、受講生が自発的に項目を挙げ算出を試みたものに、フライホイールの寸法推定や燃焼ガス比熱比の推定、体積効率改善策などがあった。

(3) 効果

図4および図5に実習の様子を示す。本実習ではエンジンの実際の運転をしていないが、運転をしなくてもこれだけの性能予測ができるということを受講生に理解させるのが大きな目的の一つである。逆に、設計時にはこれだけのことを予測して設計されているということを受講生が知る点に、本課題の教育効果がある。受講生の声を聞く限りでは、これらの目的は達成されている。

一般に大学院の特論では、受講生の研究に直接関係ない分野の講義は敬遠されがちである。しかし本科目ではエネルギー変換工学といえども、その内容は熱力学、伝熱工学、流体力学だけでなく材料力学や機構学にも広がっており、さまざまな分野の受講生がそれぞれの得意分野で計測や計算に力を発揮できるという点に特徴がある。受講生の感想からも「機械は一専門分野のみで作られているものではないということを改めて知った」という声は多い。

図4 実習の様子：ディーゼルエンジン

図5 実習の様子：手前からディーゼル、キャブレター方式ガソリン、直接噴射ガソリン機関

図6 受講生により作成されたエネルギーバランス図の例：ディーゼル

図7 受講態度とレポート評価の関係 (H16年度)

図8 受講態度と予習評価の関係 (H16年度)

図9 受講態度とレポート評価の関係 (H15年度)

3. 予習と実習態度およびレポートの関係

3年生対象の実験において、平成16年度の本テーマは前述のように予習20点+受講態度50点(ABCの3段階)+レポート30点で評価している。

図7に受講態度とレポート評価との関係を示す。受講態度についてはABCそれぞれ51人、31人、4人で合計86人が評価されている。受講態度の良好なもの(以降Aグループとする)はレポートの評価も高い。しかし受講態度評価がBまたはCであるもの(以降Bグループとする)は、レポートの評価は全体として前者より低いものの、その評価にはばらつきがある。この原因として、Bグループの受講生から提出されたレポートに、自作のものと他作のものが混在していることが挙げられる。websiteのコピーなど明らかに他作と判明したものは0点としているが、採点者側では他作の完全な把握は不可能である。実際にレポートを見ても他作と疑わしきものはBグループに多く、その結果採点結果にばらつきが発生しているものと考えられる。

図8に受講態度と予習評価との関係を示す。Aグループは予習の程度にばらつきが大きい。しかし予習不十分な受講生でも熱心な態度で取り組んだ結果、レポートの評価は高いものとなっている。一方Bグループは予習の程度が低いところに集中しており、まず予習はしていないということが明らかである。そして受講態度もそれほど熱心ではなく、レポートも他作を交えて適当に提出しているという姿が見られる。

図9には平成15年度の評価結果を示す。この年度は受講態度(ABC評価)とレポート(10点)のみで評価をしており、予習に関するデータは採取していない。図9によれば、Aグループはレポートの平均点が高くばらつきが少ない。またBグループはレポートの平均点が低く、そのばらつきも大きいという結果になっており、平成16年度と同様な結果となっている。

完成度の低いレポートについては再提出も指示する。しかし再提出対象者はたいていBグループであり、予習不足のままBCレベルの受講態度で既に実習を終えていることから、効果的な指導とはならない。再提出を指示した場合でも、関連websiteの情報や友人のレポートのコピーで済ませるケース、あるいは自力で修正したとしても修正前とあまり変わらない出来のものとなっているケースが多い。受講態度が熱心でなかった以上は、レポートの再提出を指導してもあまり教育効果は上がらず、この点は一般講義科目の宿題等とは異なる。

以上の分析・考察結果を表5にまとめる。ここから、ポイントは予習にあることがわかる。Bグループの受講生はほぼ予習をしていないため、Bグループの中から予習をすることで救われる学生がいるはずである。またAグループは予習の足りない学生でも、態度が熱

表5 予習、受講態度、レポート評価の関係

予習	→	態度	→	レポート
優劣		A		優
劣		BC		優劣

心であるため結果として優秀なレポートを作成できる可能性が高い。予習の指示の方法を工夫し、「予習」「まじめな実習態度」「完成したレポート」という流れをクラス全体に作ることが、教育効果を高める上で重要である。まず予習の徹底をはかり、Aレベルの受講態度で臨ませた上で、復習や再提出の指示をするとさらに効果的であるといえる。

4. その他の問題点の指摘

4.1 共通してとった態度

3年生対象およびM1生対象いずれの科目においても、できるだけ学生に頭を使わせることに主眼をおいた。3年生対象では、実習中にその場でいくつもの質問を繰り返すスタイルとなっている。またM1生対象では十分な予習が必要となるような課題を実習前に与えることで、学生が自分の頭で考えざるをえないような仕掛けとした。

本科目に限られたことではないが、3年生対象の場合、教員からの質問に対して学生から誤答が返ってきた場合の対応が重要である。なぜそう考えたかを丁寧に追求し間違いであることを自ら気づかせるような誘導が必要である。誤答を即座に否定してしまうと、その学生はその後の質疑に参加しなくなってしまう傾向がある。

4.2 適切なグループの人数

一つの機械を扱う実習においては、著者の経験から1グループ3名が適切であるといえる。4名以上になると1名が主体的に参加しなくなるという傾向が見られる。この件に関してはキーパーソン1名が他の2名に関わるという形態が最も自然であるという報告があり⁶⁾、著者が本実習で経験的に感じていることと一致する。現在は3年生対象では6名が1グループで回ってくるので、エンジンを2セット用意している。また大学院対象も平成16年度の実施は1グループ3名とした。その結果、5名を1グループとしていた頃に比べて、ほとんどの学生が自らの課題に主体的に取り組むようになった。

4.3 集中できる時間

受講生が内容に集中できる時間は、著者の経験上講義では30分、実習では60分程度である。3年生、大学院科目いずれにおいても、実習中にはできるだけ多くの問いかけをすることで、時間を忘れて没頭できるような環境を提供する。またそれと合わせて適宜休憩時間を取ることが重要である。

4. 4 受講生の一般的な傾向

(1) 伝達能力が劣っている

本科目ではキャブレターのスケッチなども課題としているが、残念ながら受講生の描画能力は低く、図10のようなものも少なくない。目の前にある装置のスケッチが十分にできなければ、頭の中で構想した機械構造などを紙面に表現することはできず、機械設計の支障になるはずである。

また口頭・文章での説明能力が低いという点も、近年の問題である。これは特にフライホイールのはたらきを考える箇所で見られ、自分の頭で理解していることを他人に説明できない受講生が多い。これらの伝達能力については別科目での指導が必要である。

(2) 実物経験が不足している

機械系に進学してくる学生でも、子どもの頃から工具類に親しんでいるという者は減ってきており、工具の使い方やネジの締め具合などが適切でない受講生が多い。教員が何も注意しないと、ネジを破壊してしまう場合も多発している。またネジの締めつけ順序などはほとんどの受講生が意識をしていない。このような点についても別科目での指導が必要である。

(3) 調査方法がワンパターンである

レポートの課題の中には調査の必要なものも含まれている。この場合、受講生はまずインターネットにてwebsiteのキーワードサーチから始め、キーワードサーチだけで調査を完了する。たとえば「排ガスに含まれる成分とその発生原因を挙げよ」という出題であれば、「排ガス」というキーワードで検索し、出題に対する解答がそのままwebsiteに掲載されていれば、そのままコピー&ペーストでレポートを作成する。キーワードサーチは否定されるべきものではないが、今後このようなケースはさらに増えると考えられるので、教員には出題方法を工夫することが要求される。

図10 キャブレターのスケッチの例：提出されたレポートより

5. 結言

近年は小学校から大学までどの発達段階でもものづくり教育が盛んであるが、何も知らないところから独創的なものづくりは発生しない。そのような中、身近にあり適度に複雑で、機械工学のすべてが含まれているともいえるエンジンは理想的な教材である。本論文で得られた結論は以下のとおりである。

- (1) 紹介した方法は、単気筒エンジン、車両用エンジンとも数年に1回の投資で取り扱うことができる。
- (2) スタッフは教員1名とTA1名、また従来からの時間割の範囲で実施可能であるため、他の授業科目に影響を与えることなく継続的に実施することができる。
- (3) 教員が説明しすぎないことで、限られた時間内に高い教育効果を得ることができる。
- (4) 実験実習科目において学習効果を高めるには、レポート再提出等の事後フォローよりも、事前処理である予習の徹底が効果的である。

参 考 文 献

- 1) 大黒正敏ほか：機械工学導入教育としてのエンジン解剖とその教育効果，工学教育，49-4(2001)，19-24
- 2) 石川正昭ほか：ガソリンエンジン観察の効率的な実施，平成14年度工学・工業教育研究講演会(2002)，97-100
- 3) 石川正昭：ものづくりと伝熱シリーズ「ガソリンエンジンの観察と性能試験」，日本伝熱学会誌，41-171(2002)，39-41
- 4) 石川正昭：車両用エンジンを教材とした実習つき講義，平成16年度工学・工業教育研究講演会(2004)，25-26
- 5) 石川正昭：授業科目「エネルギー変換工学」における学習指導，平成15年度工学・工業教育研究講演会(2003)，39-42
- 6) 赤木徹也ほか：CAD演習授業で展開されている受講者間の相談行為に基づく教育効果工場に関する研究，平成16年度工学・工業教育研究講演会(2004)，11-12

著 者 紹 介

石川 正昭

1989年 東京大学大学院工学系研究科修士課程修了
1989年 信州大学工学部助手
1995年 博士(工学)(東京大学)
1997年 信州大学工学部助教授
専門分野 熱工学