

卒業制作(研究)を指導して CAD/CAM/CAEの活用によるスターリングエンジンの設計・製作

九州ポリテクカレッジ 生産技術科 木崎 俊郎
(九州職業能力開発大学校)

1. はじめに

本校の生産技術科に赴任して5年が過ぎた。それまで民間企業にいた私は機械加工の経験はなく、ものづくりに重点を置いた卒業制作には毎年苦慮していたところであるが、今回初めて「ポリテックビジョン2004」での発表と展示を行う機会を得た。そこでこの1年間における学生の卒業制作への取り組みとその指導に当たっての所感について報告する。

2. 生産技術科における仕上がり像

本校は1999年に2年間の専門課程に加えてプラス2年間の応用課程が新設され、校名も短期大学から大学へと改称された。その中で専門課程生産技術科の学生の仕上がり像としては、「ものづくりに必要な基本的な機械設計・加工技術を習得し、常に進歩し続けるCAD/CAM/CAEシステムや、高機能なNC工作機器にも柔軟に対応でき、自ら考え実践できるメカニカルエンジニア」の育成を目指しており、ものづくりに必要な基本的な機械加工技術やCAD/CAM技術を中心としたカリキュラム編成となっている。

上記の仕上がり像に対して、卒業制作は仕上がり像に達するための2年間の集大成であり、単位数も16単位と全取得単位数156単位の約10%（実際にはそれ以上の時間を使っているが）と大きなウエイトを占めており、ものづくりについての総合的な技術を

仕上がり像

自ら考え実践できる
メカニカルエンジニア

機械設計・製図

CAD/CAM/CAE



機械加工

NC工作機械

表1 年間計画

前期	4～5月	情報収集・文献調査
	6～7月	仕様・構想検討
	9月	構想設計
後期	10月	解析・詳細設計
	11～12月	機械加工・製作・組立・調整
	集中実習	組立・調整・再加工
	1月	試運転・発表準備
	2月	卒研発表会・ポリテックビジョン

実践し習得する場として位置づけている。前期には卒研テーマに対する調査・情報収集、企画・構想設計などを主として4単位の時間割設定をしており、本格的には10月以後の後期から時間数を増やし、詳細設計や機械加工・製作に取り組む時間割設定を行っている。しかし、実際にはそれでも時間が足りなくなってくることから、空き時間や放課後を使い、遅くまで居残りをして進めているのが現状である。

3. 卒業制作のテーマと指導体制

本校の生産技術科では、教官1名当たり学生4～

5名の指導体制で卒業製作を行っている。テーマは本来学生のほうから提案すべきものと思うが、なかなか現実的なテーマが出てこないのが現状である。ほとんどは各教官がいくつかのテーマを提示し、学生が希望するテーマを選択するという形で行っている。これまでも学生が提案したレーシングカート的设计製作などを担当してきたが、物が大きい故に1年間では製作が難しく改造程度に終わり、いまひとつ物足りなさを感じていた。そんな時、NHKの趣味悠々という番組でホットエアエンジン（スターリングエンジン）が紹介されていたのを見た学生が、興味深く話をしてくれたのがきっかけとなり、これは学生が興味を持って取り組みそうだと感じ、早速このテーマを学生に提示したところ希望者が多くすぐに定員がいっぱいになった。

4. スターリングエンジンとは

このエンジンは1816年にスコットランドの牧師であったロバート・スターリングにより発明された。簡単に言えば、シリンダ内に密閉された作動ガス（今回は空気を使用）を外部から加熱・冷却することにより生じる作動ガスの膨張・収縮、すなわち作動ガスの圧力変動により動作するエンジンである。このエンジンは、エンジン自体を自分たちの手で作ることができ、また環境にやさしいクリーンなエンジンとして近年再び注目されている。これまでも企業や研究機関、大学等で多くの研究がなされており、設計から製作までのものづくりの教材としても広く活用されている。しかし、今回初めて挑戦するというのもあって、ほんとうに動く物ができるだろう

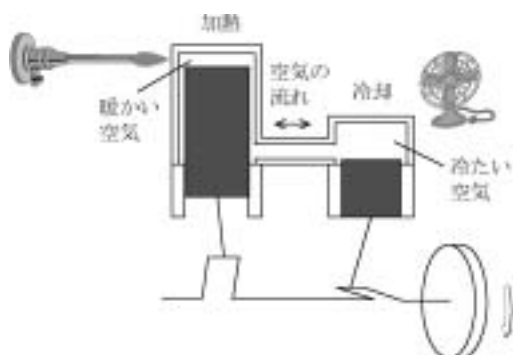


図1 動作原理の略図

かという不安があったが、学生と一緒に挑戦するつもりで取り組みを始めた。

5. 指導方法と実際の取り組み

取り組みに当たっては、最初に学生と十分なディスカッションを行い、目標をある程度イメージできるように明確にして意識づけをするとともに、大まかな年間計画をたてることから始めた。その上で、卒研テーマを達成するため項目ごとに分解し、それぞれの計画を立てる。これらにより、各メンバーが目標を共有化できるとともに、各自の役割をある程度認識できる。当然何事もなくスムーズに進むことは考え難く、リスクを考慮し最終期限の1ヵ月前を目標とした。次にその項目ごとの取り組み状況を示す。

5.1 情報収集・基礎知識習得

最初の段階ではまず、熱力学の基礎知識や動作原理などについて調べることから始める。本校の機械系においては、熱力学や流体力学の科目がないため基礎理論の理解には苦労するが、最近はインターネット上のホームページ上に、スターリングエンジンについての数多くの解説ページがあり、動作原理が図解でわかりやすく説明してある。また、専門書として「模型スターリングエンジン」(山海堂)を参考にした。調べたことを各自レポートにまとめるなどして基礎知識の習得を行った。また、動作原理を理解するために、ホームページ等に掲載されている試験管やスチールウールなどを使った簡単なスターリングエンジンモデルを実際に試作し、動かしてみた。これにより、ほんとうに動かせるということを認識し、やる気も出てきたようである。やはり頭で考え



図2 簡易モデルの試作

るより、実際に作って動かしてみるのが、いちばんの動機づけになるようだ。

5.2 構想設計

まずは仕様を決め、エンジン部分の設計計算を行い、それを動力源として車輪を回す構造を考える。重要な部分であるが、実際放っておくと時間ばかり浪費する。まずは幅や高さ、出力トルク、回転数などの仕様を決め、アイデアを図にしてみることから始める。今回はCAD/CAM/CAEの利用に重点を置き、エンジン部分は参考モデルの類似設計とした。手書きによるラフな構造図を書いたあと、3次元CAD (Solid Works) を使ってモデル化していく。この段階ではおおまかに全体のレイアウトとバランスを見るようにする。3次元CADでモデル化することにより、出来上がりイメージをお互いに鮮明に共有化することができ、討議もより具体的に行うことができる。

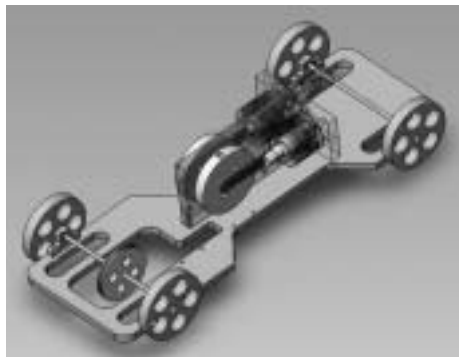


図3 3次元CADによる構想モデル

5.3 解析 (CAE)

全体モデルが見えてきたら、そのモデルを使って解析を行う。まず、エンジン部分の機構解析を行った。これにより、特に外からは見えないシリンダ内部の動きやタイミング、部品同士の干渉チェックなどを行うことができる。

またボディ部品は構造解析を行うことにより、板厚や形状を変更した場合の変形や応力を、容易に予測することができる。ここでは荷重が小さいため、特に問題になるようなところはないが、CAEとはどういうものか、どんな効果が得られるのかを実践し

理解することができる。なお解析ソフトは、機構解析にはCOSMOS Motion、構造解析にはDesign Spaceを用いた。いずれも3次元CADにアドオンされたソフトで、オペレーションもナビゲーション機能を使うことにより、この程度の解析は容易に行うことができる。しかし当然ながら、オペレーションよりも出てきた結果をどう評価するか、材料力学等の考え方が重要であり、そちらのほうに指導の重点を置いた。

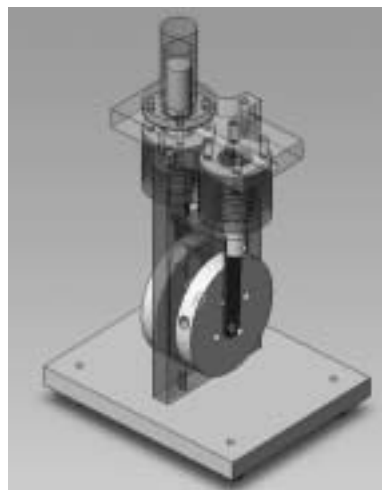


図4 エンジン部の機構解析



図5 ボディ部品の構造解析

5.4 詳細設計

構想段階における3次元CADモデルを使ってさらに詳細化していく。アセンブリモデルから各パーツを取り出し、部品図を作成する。この段階でパーツの形状を修正してもアセンブリモデルにリンクして修正してくれる。3次元CADのメリットが大いに生かされる場所である。最終的に部品の2次元図面化を行い、製作図面を作成する。

5.5 機械加工・部品製作

製作図に基づいて各部品を作成する。何を使ってどのような加工をすればよいかを学生自身が考え実践する。旋盤やフライス盤などの汎用機械を使うのはもちろんだが、特にシリンダ部分は厳しい加工精度を求められるところであり、何度も失敗を繰り返すが、失敗の数に比例して上達が見られる。また、ボディ部品などはCAMを使ってNCプログラムを作成し、レーザ加工機やワイヤカットにより加工した。加工実習でやったことが実践で大いに試される場所である。ここでは機械加工専門の他の先生の指導協力を得て、何とか加工を進めることができた。



図6 旋盤による加工

5.6 組み立て・調整

製作部品を組み立て、調整を行う。特にシリンダ部分はわずかな摩擦によって大きな抵抗となるので細心の注意が必要である。スムーズに動かすために何度も分解し、磨いたり作り直したりした。ここではやはり加工精度や組み立て精度が考慮されないCADモデルと実物との違いを実感することになる。すなわちCADやCAEはあくまでも設計ツールにすぎないことをあらためて認識する。

5.7 試運転

このエンジンは、組み立てるのは比較的簡単であるが、動かすのに苦労する。わずかな寸法誤差や位置の狂いが抵抗となってなかなか始動しない。そのため組み立て精度が非常に重要で、動くまで根気よく調整・工夫を続ける必要がある。半ばあきらめて

助けを求めてくるがやはり自分たちで苦労して問題解決してこそ、ものづくりの難しさと楽しさを味わい、動き出した時の感動も大きいものがある。あきらめずに粘り強く続けるよう発破をかけながら、じっと見守るところである。ようやく動き出した時には、思わず歓声が上がった。



図7 完成状態

5.8 プレゼンテーション

今回はポリテックビジョンで発表することになり、並行して早めにプレゼンテーション準備に取り掛かった。パワーポイントでの発表資料、展示パネルなどを作成した。自分たちの発表をお互いに聞きあい、何度も発表練習を繰り返し、時間チェックを行う。想定される質問を友人にも尋ね、答えを調べておく。なんでもそうであるように、繰り返し練習すること、準備の大切さを知るところである。

6. 発表と展示

2004年2月20～21日に本校で行われたポリテックビジョン2004において発表と展示を行った。写真やビデオを組み入れて約10分間の発表で、なかには鋭い質問もあり答えに苦しんだ場面もあった。しかし、練習のかいあってか機械系の学生発表の部で最優秀賞をいただくことができた。展示のほうは、視界を良くするためと走行抵抗を減らすため、透明なアクリル板で円形のコースを作り、ミニガスバーナーを搭載して走らせた。熱源が小さく長時間走らせることができなかつたのが残念だった。



図8 ポリテックビジョンでの展示



図9 表彰状

7. 指導しての所感

- ・本製作を通じて、CAD/CAM/CAEといった最新のツールを活用した企画・設計から加工・組立・調整までの一連のものづくりの流れを実践させることができた。
- ・CAEとは何か、どんなことができるのかを実感させることができた。特に組み立て・調整の段階で解析(CAE)と現実との違いを実感し、解析シミュレーションでうまく動いたからといってそれがそのまま実現象を現しているわけではないということ認識できた。
- ・CAEは便利なツールであるが、結果を過信してはならない。特に構造解析では間違った結果に疑いを持たないケースがよくあった。そのため、まず手計算で予測をたてさせてからCAEを使うようにした。オペレーションよりも結果の妥当性を考えさせるべきであると痛感した。
- ・プレゼンテーションについては、数少ない機会であ

り、自分たちの考えをわかりやすく説明し発表することの難しさ、準備・練習の大切さを実感したことは社会に出てからもきっと役に立つことであろう。

- ・アビリティや出張等で抜けることも多く十分な指導ができなかった時もあったが、特に苦手な機械加工においては他の先生方の指導協力のおかげで進めることができた。担当や科にこだわらず、学生のためにお互いに指導協力するこのようなよい体制を今後も続けていきたい。

8. 今後の課題

機械加工実習は1年時から行っているが、時間不足で卒業制作に当たっては、技術的にまだまだ未熟な面が見られる。そのため今年は卒研時間の一部を使い、汎用旋盤、フライス盤などの加工実習の特訓を行う試みを始めた。さらに目標と自信を持たせるため、技能検定やCADトレース技能審査の受験を薦め、ほぼ全員が挑戦している。なかには才能を開花させ熱心に自主練習を重ね、技能検定の2級やCADトレースの中級に挑戦する学生もでてきている。

9. おわりに

何もわからない状態から情報を収集し、構想設計から実際に製作するまでの一連の流れを自分たちで考えながらチームワークで進めたこと、また何よりも困難な問題に直面した時の解決方法など、卒業制作では学生にとって、学科や決められた実習では得ることのできない貴重な体験をすることができたと思う。最後まであきらめずに粘り強く挑戦し続ければ結果がついてくる、苦労した分ようやく動いた時の達成感も大きく、これこそものづくりの楽しさ、喜びである。それを身をもって体験し今後の糧とする意味で卒業制作は技術的にも精神的にも大変重要なものと感じる。

<参考文献>

「模型スターリングエンジン」山海堂