

# 機械製作実習に関する教材の試作とその応用について

千田進幸\*, 高木 誠\*, 山本浩治\*, 福森 勉\*\*

\*工学研究科・工学部技術部 装置開発技術系

\*\*工学研究科・工学部技術部 電子・情報技術系

## 1. まえがき

19世紀以後の技術の進歩はめざましく、生活水準は飛躍的に向上した。しかし、工業の発達には環境汚染や地球温暖化などの負の遺産をももたらした。工業立国である我が国において、豊かな生活を維持し発展させるためには、独創的な技術により工業を発展させると共に負の遺産に対しても対処して行かなければならない。このような現状において、工学に携わる昨今の若手技術者や学生には「自ら問題を発見し、解決していく能力（創造的設計能力）の向上」が強く求められている。機械技術者として要求される創造的設計能力の修得のために与えられたテーマに関して構想から完成・評価に至るまで一貫したプロセスを体験させる機械製作実習は最も有効なプログラムであると考えられる。

本報告の目的は新たな実習教材「2ピストン型スターリングエンジン」の試作を行い、前述の機械製作実習教材としての優位性を検証し、それを基にした新たな実習構想を提案することである。研修計画は岩本らの著書「模型スターリングエンジン」<sup>(2)</sup>ならびに京都大学佐藤らの取り組み<sup>(3)</sup>を参考に次のような展開とした。(1)スターリングエンジンの作動原理や基礎理論を理解する。(2)前述の著書の例題図面をもとに、自らの手で模型エンジンを試作する。(3)自作したエンジンを運転し、性能評価を行う。エンジン製作にあたっては、ピストンとシリンダのはめあい精度が重要であり、クリアランス 0.020mm において滑らかな回転を実現し、最高 2,300rpm に達することを確認した。さらに、学生の協力を得て、模擬実習を実施した。製作させたエンジンは、初めはクリアランス不良が認められ回転しなかったが、再度、高温側ピストンを適正寸法に削り直させた結果、スムーズな回転が得られた。創造性教育のキーワードである「課題発見・問題解決」が実践された。学生アンケートの結果からも教材としての手応えを感じた。以下にその詳細を述べる。

## 2. 実習教材のねらい

本実習教材のねらいは次の通りである。

- (1) 創造的設計能力を習得させる。そのために構想から完成まで一貫したプロセスを体験させる機械製作実習を目指す。
- (2) 座学との関連性をより強める。関連する教科として例えば、「材料加工学」、「熱力学」、「機械設計」、および「機構学」などが挙げられる。
- (3) モノづくりの素晴らしさや面白さを実感させる。そのためには学生に主体性を持たせた指導方針にする必要があり、学生自身に考えさせ、問題を解決させることが大切である。
- (4) 機械工作の使用方法を習得させる。工作実習は安全教育が不可欠であり、マンツーマン指導により安全優先の実習指導を行う。

教材は上記のねらいを達成するために2ピストン型スターリングエンジンと定め、その有効性を検討する。

## 3. エンジンの作動原理と特徴

図1はスターリングエンジンの作動原理を表わすものであり、外部から加熱と冷却を交互に繰り返すことで作動ガスが膨張と収縮を起し、ピストンを上下に運動させることになる。これを連続往復運動にするた

作動ガスの膨張, 収縮によりピストンが上下動する

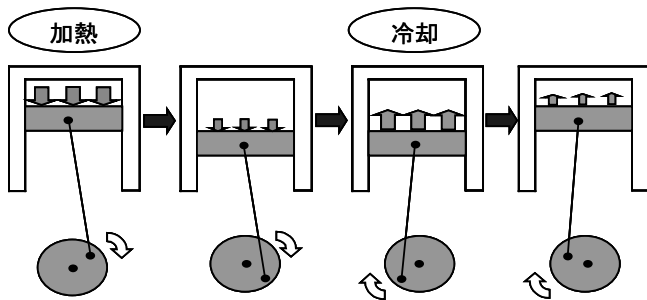


図1 スターリングエンジンの作動原理

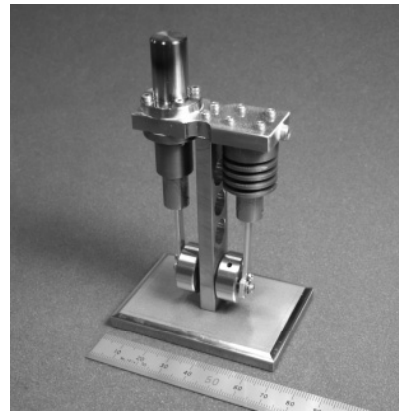


図2 2ピストン型スターリングエンジン

めのような構造が考案されており, 基本形式は図2のよう

な2ピストン型の $\alpha$ 形, そしてディスプレイサ

を備えた $\beta$

形と $\gamma$ 形の各形式がある. 共通の長所として, (1)熱効率が高いこと, (2)可逆機関であること, (3)熱源を選ばないこと, (4)静寂性が高いことが挙げられる. 一方, 短所として, (1)シーリングが難しいこと, (2)耐熱性, 耐久性の材料が必要なこと, (3)大出力のエンジンの作製は困難なことが挙げられる.

本エンジンの教材としての特徴は次の通りである.

- (1) 熱力学を学ぶこと, すなわち熱サイクル基礎理論とエンジンの作動原理を学ばせ, 座学との関連を高めることである.
- (2) 機械要素を学ぶこと, すなわちピストンとシリンダのはめあい精度が重要であることを学ばせることである.
- (3) 機構学を学ぶこと, すなわちピストン・クランク軸間のリンク機構を作ることを学ばせることである.
- (4) 作動試験をさせること, すなわちエンジン回転数や出力を測定し, 性能評価をさせることである.

#### 4. エンジンの試作と検証

図3は模型エンジンの試作のための素材を示す. ピストンとシリンダにFC250を使い, 台座, 連結板, およびフレームはSS400を使用している. またコンロッドはA2017を使っている. 回転部分にはミニチュアベアリングを4個使用し, クランク軸はSUS304丸棒を使っている. 図4は完成品であり, およそ15時間の試作時間を要した. 試作した結果, ピストンとシリンダのはめあい精度が重要でクリアランスは0.020mmであった. また作動試験を行い, 最高回転数2,300rpmに達した. ただし, 出力は小さく, 指ではずみ車を押さえると停止してしまっ. 材料費は4,500円であり, その内, ミニチュアベアリング4個分が全体の半分以上



図3 模型エンジンの試作素材

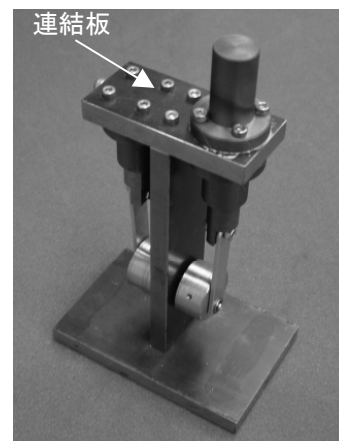


図4 模型エンジン完成品

の2,600円を占めた。

図4の上部に示す連結板をSS400からSUS304に変更したところ、回転数が低下することなく、スムーズに回り続けた。これはSUS304の方がSS400と比べ、熱伝導率が1/5であり、2つのシリンダ間で良好な温度差を維持できたからである。

## 5. 提案する実習プログラムと模擬実習

実習は「考える、創る、確かめる」をテーマとして、2ピストン型スターリングエンジンを製作課題にする。提案する実習プログラムは表1に示すように、座学は8時間を使い、基礎理論、CAD/CAMマシニングセンタの操作法、サンプルエンジンの分解、エンジン設計と図面作製、および安全教育を行う。次いで実技として12時間を使い、旋盤加工、フライス盤加工、CAD/CAMマシニングセンタ加工を行い、各パーツを作製する。その後4時間を使い、仕上げ、調整、組み立てを行い、最後に作動試験を行うというものである。図5は学生の協力を得て実施した模擬実習のようすを示し、前述の表1の実習プログラムに従って実行した。

## 6. 学生のアンケート結果

前述の模擬実習の進捗状況に合わせてアンケート調査を行った。実習を開始する前に行う「事前」、座学が終了した時点で行う「中間」、および全日程が終了した時点の「終了」の3つの時点で実施した。

- (1) 事前アンケートでは、「学生実験で見たスターリングエンジンを自分の手で作ってみたい」という意見が多かった。
- (2) 中間アンケートでは、「学部の授業で学んだことを思い出した」と記す学生がいた。
- (3) 終了アンケートでは、自分の中の意識の変化として、「自分でもモノづくりができるのではないか思えた」と感じた学生がいた反面、「設計段階といざ工作をするのとは随分違いがあることが分かった」と述べている。

表1 提案する実習プログラム

座学：8時間
・基礎理論と作動原理 ・CAD/CAMマシニングセンタの使い方 ・サンプルエンジンの分解 ・エンジン設計と図面作製 ・安全教育
↓
実技：12時間
・旋盤加工 ・フライス盤加工 ・CAD/CAMマシニングセンタ加工
↓
仕上げ・調整・組み立て：4時間
↓
作動試験（回転数の測定）：1時間

と感じた学生がいた反面、「設計段階といざ工作をするのとは随分違いがあることが分かった」と述べている。

このようなアンケート結果から、座学と関連づけながら実習に臨んでいるようすが理解でき、モノづくりの面白さや難しさを実感したようである。このことからスターリングエンジンを実習教材に設定したこと、および一連の実習プログラムの有効性に手応えを感じるとともに、我々のねらいがよく浸透していることが明らかとなった。



図5 模擬実習のようす

## 7. 実習構想と応用

我々が企画・実施しようとしている実習は正規の授業ではなく、講座配属となった4年生対象の自主参加型講習会の位置づけでとなっている。従って、授業カリキュラムに支障のない、夏季休業期間を使い、学生のモノづくり施設である創造工学センターを実施場所に予定している。

その特徴について列記すれば次の通りである。

(1)マンツーマン指導体制とする。(2)設計に自由度を持たせる。(3)CAD/CAM マシニングセンタの指導を取り入れる。(4)1週間で集中指導とする。

一方、問題点として、座学に教員の協力が得られるかという点と実施場所や機械の作動範囲などに制約があることが挙げられる。本実習は単位と対象外の講習会である。したがって多くの学生に受講してもらうためには、(1)魅力ある実習プログラムを提案、(2)教員との連携、および(3)指導する技術職員の高いモチベーションが不可欠である。前述の本実習のねらいで述べたように授業で習ったスターリングエンジンの基礎理論を思い出させる。その後、モノづくりの構想から完成まで一貫したプログラムを体験させることが大きな達成感をもたらすと考える。さらには講習会としての自由度を生かしつつ、エンジン作製のみならず、その動力を取り出し、「スターリングミニカー」として実際に走行できるマシンを作らせる。図6はスターリングミニカーの試作品であり、図のようなミニカーをグループ制で作製し、競争会を行う。このような遊び心を忘れない、夢とチャレンジのモノづくり実習を提唱していきたいと考えている。また、現在、別枠で実施されている学内向けものづくり講習会との間でテーマ開発などの協力・連携も今後の課題である。

## 8. まとめ

2ピストン型スターリングエンジンを題材とした実習教材開発の取り組みにより以下の成果が得られた。

- (1)教材対象を2ピストン型スターリングエンジンに定め、素材から模型エンジンを試作できることを確かめた。
- (2)エンジンをスムーズに作動させるためにはピストンとシリンダのはめあい精度が重要であり、そのクリアランスは直径で0.020mmであった。
- (3)模擬実習を行い、学生アンケートの結果からも、実習教材としての手応えを感じる事ができた。

## 謝辞

本実習教材について検討するにあたり、京都大学機械工作室の佐藤祐司氏をはじめ、関係の諸兄には懇切なる助言を頂きました。この場を借りて、心よりお礼申し上げます。

## 参考文献

- (1)山本浩治他、モノづくり実習アドバンスコース・ネジ立て機の考案と実践、平成18年度名古屋大学総合技術研究会、実験・実習技術研究会報告集、PP59-62
- (2)岩本昭一、模型スターリングエンジン〔第2版〕、山海堂
- (3)佐藤祐司他、機械製作実習におけるスターリングエンジンの製作、平成17年度実験・実習技術研究会報告集（鳥取大学）、PP51-56

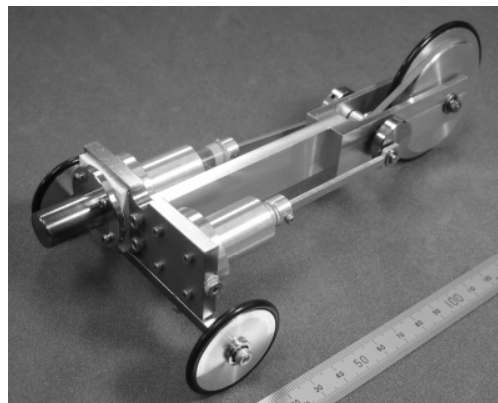


図6 スターリングミニカー試作品