

「技術科」教員養成カリキュラムにおける「機械実験実習」 製作課題としてのスターリングエンジンの採用とその評価

関 根 文 太 郎 ・ 手 島 光 司

(京都教育大学)

(京都教育大学)

An Adoption and an Appraisal of the Stirling Engines as a
Manufacture Subject of " the Practice of Mechanical Engineering " in
the Curricula for Teacher Training of Technology Education

Fumitaro SEKINE, Koji TESHIMA

1998年9月30日受理

抄録：学校教育において「技術科」を担当する教員の養成に当たっては、教師自身がもの作りの意義や楽しさを経験して生徒たちに伝えてくれることがより重要であると考えられる。その意味で、エンジンのような「動くもの」は適切であると考え、スターリングエンジンを実習の製作課題として採用した。本報告では、教材として採用したねらいと採用しはじめて5年間に工夫した点を述べるとともに受講生の興味、反応、学習効果などについて実施したアンケート調査結果を踏まえ、今後の機械実験実習としてのあり方および指導内容・方法の改善についても検討を加えた。

キーワード：もの作り、機械実験実習、教材、スターリングエンジン

I. はじめに

従来（平成4年度まで）本学の機械実習課題として採用していた「卓上万力の製作」は、機械加工の基本となるフライス盤、旋盤、ボール盤、けがき作業などを含んでいて、初心者には適切なものとして、多くの大学、工業高専、工業高校において採用されてきている。しかし、学校教育において「技術科」を担当する教員の養成に当たっては、現場で旋盤などの工作機械を使うことがほとんどない状況や、昨今の子供を取りまく状況を考えると、これらを扱う知識・技能よりも、教師自身がもの作りの意義や楽しさを経験して生徒たちに伝えてくれることの方がより重要であると思われる。そのためには、作る対象物が製作者の興味をそそるものであることが先ず大事であろう。その意味で、エンジンのような「動くもの」は適切であると考えた。なかでも、スターリングエンジンは外燃機関であり、簡単な構造のものでも出力は小さいが、回転させることができる。しかしその反面、工作精度、組立調整などにおいて一定のレベルが要求されるので、ある程度の習熟した技能に達する努力が要求される。これらは、大学生レベルであれば十分達成できるものであって、これにより、さらに達成感が高められるものと期待できる。また、万力と違って金属以外の材料も用いるため、木材加工を含めて加工領域全般を

含めることができ、さらにエネルギー変換、動力の伝達機構などを含んでいるので「機械」領域にもかなり関わっている。従って、製図などを含めて、この製作課題は「技術科」教員養成カリキュラムの「電気」・「栽培」・「情報」を除く全領域におよぶ総合実習科目として位置づけることができる。本報告では、教材として用いたねらい、用いはじめて5年間に工夫した点を述べるとともに受講生の関心・反応・学習効果などについて実施したアンケート調査結果を踏まえ、今後の機械実験実習としてのあり方および指導内容・方法の改善についても検討を加えた。

Ⅱ. スターリングエンジン

1. スターリングエンジンの作動原理と種類¹⁾

スターリングエンジンはシリンダ内に密封された作動流体を外部より加熱により膨張させ、冷却により圧縮させることにより得られる圧力変動から動力を取り出すことのできる外燃機関である。図1に作動原理を示す。この特徴は、理論的にカルノーサイクル（可逆等温膨張・断熱

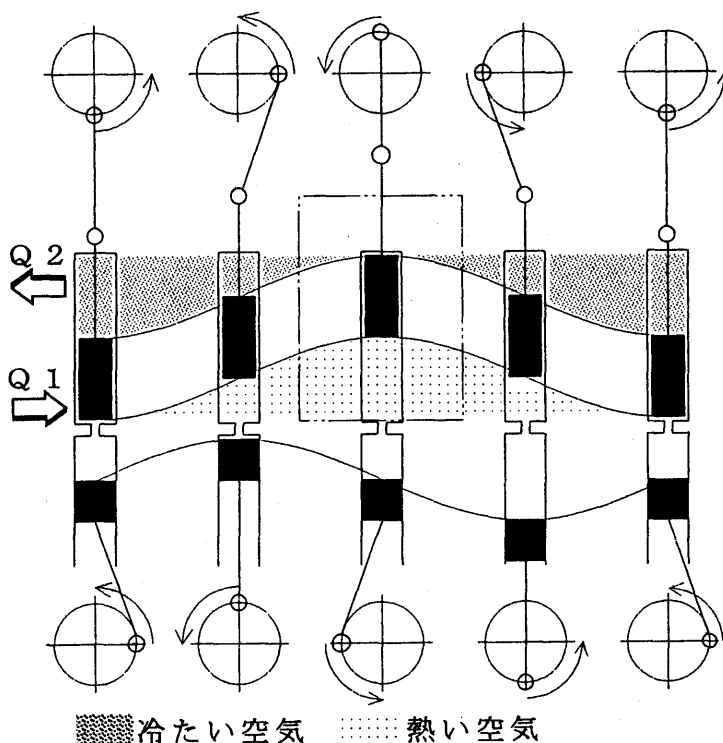


図1 スターリングエンジンの作動原理

圧縮)と等しい高い熱効率を有する、外燃機関であるため熱源を選ばない、連続燃焼であるため排気ガスがクリーンになる、圧力変動が正弦波状であるため、振動・騒音が低い、ことなどである。

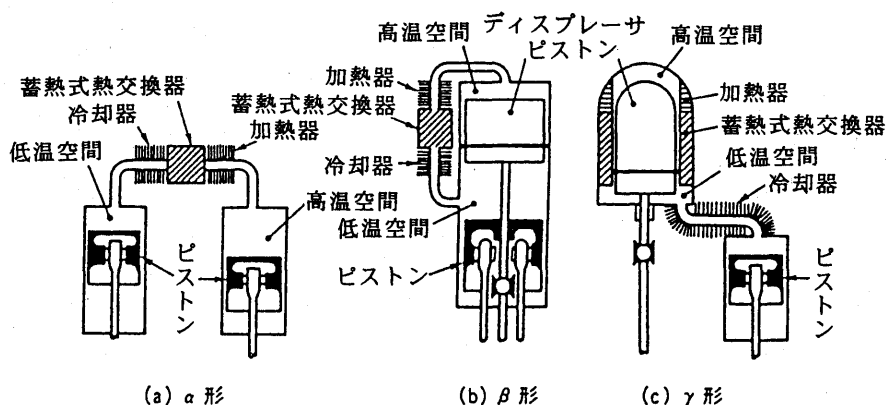


図2 スターリングエンジンの基本形式

スターリングエンジンは、機器の配置により図2の3種類の形式が考えられている。加熱器、蓄熱式熱交換器、冷却器、ピストンなどの基本構成については、2ピストンのa) α形、ディスプレーサ形のb) β形、c) γ形の形式に分けられる²⁾。

2. 教材として選んだモデルとその特徴

採用したモデルは、埼玉県立春日部工業高等学校で考案された2ピストン型の簡易スターリングエンジン³⁾である。このモデルの特徴は、一般にピストンおよびシリンダーには気密を保つため高い工作精度と加工技術を要するが、初心者には難しいためこれらを市販の注射器で置き換えている点である。熱源としては、アルコールランプやろうソクの炎による加熱で十分である。金属やプラスチックなど、現在使われている多くの工業材料を部品として使うことができ、それぞれの、材料特性、加工技術を知ることができる。

初年度は資料³⁾のとおりに製作したが、2本の注射器の先端をつなぐ連通管の孔の間隔と注射器の間隔の違い、注射器の先端を連通管の孔に差し込んだ時の隙間を埋める耐熱性接着剤(デブコン)の使用、注射器の支持などにおいて不都合が多くみられ、翌年度からはデブコンの代わりに注射器の先端部にテフロンテープを巻き付けて連通管の孔に差し込むように改良した。これにより、耐熱性、接着性、気密性がともに改良され、孔の間隔と注射器の間隔の違いの許容度も広がった。さらに、運転中に注射器内部が焼け付いたりした場合でも簡単に分解清掃して再組立が短時間でできるようになった。注射器の支持の仕方などにも金具を使い、その金具の加工には専用の治具を用いるようにして、手作業による加工の際の工夫の仕方を学ばせることにしている。本実習で製作したスターリングエンジンの製作図面と完成写真を図3、4にそれぞれ示す。

3. 材料費

実習課題を製作するのに必要とした材料費を表1に示す。

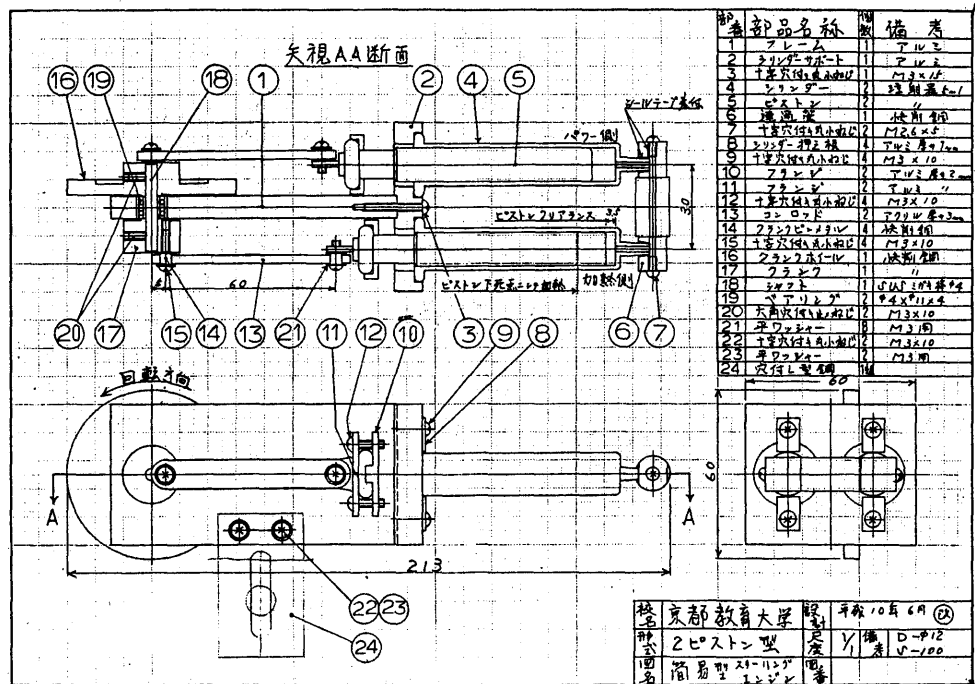


図3 2ピストン型スターリングエンジン組立図

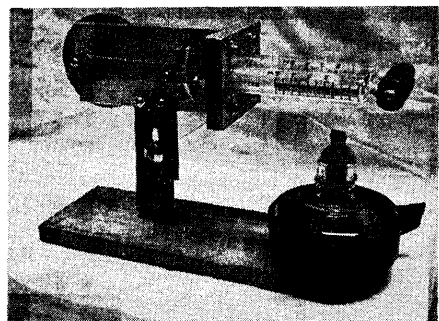


図4 2ピストン型スターリングエンジン

表1 材料費

素材（金属・木材・ アクリル板等）	注射器	ベアリング	その他購入品 （ねじ・ワッシャ等）	合 計
約 600円	740円	550円	約 20円	約 2000円

Ⅲ. 実習内容

1. 目標

本実験実習で学習する項目としては、つぎの内容が挙げられる。

- ① 将来、生徒に関連領域の実技指導あるいは授業を行うために、必要な知識の修得や作業の経験をする。
- ② 工作機械について、その使用法およびそれらによる加工法を経験し理解する。
- ③ 製作図面の理解とそれに基づいた製作工程との関連性を理解する。

実習は、工作機械等の数や施設が限られているため、加工工程を大きく3つに分け、受講生（平均15名）も3つの班に分けローテーションにより全工程を終えるようにした。

2. 作業工程

実習の工程は、大きく加工、組立・調整の2つにわけられるが、以下、工程に沿って作業を説明する。

(1) 加工工程

共通作業（各作業において共通の作業）

鋸盤による材料取り、けがき工具によるけがき作業、マイクロメータ、ノギス、スケールなどによる寸法測定

a. 手作業（ボール盤作業も含む）

金鋸引き、ヤスリ掛け、治具の使用による部品加工、タップによるねじ切り、ボール盤による穴開け

b. 旋盤加工

旋盤による旋削

c. フライス盤加工

フライス盤による切削

加工部品と加工作業の関係を表2に示す。

(2) エンジン組立・調整・運転

フレーム→シリンダーサポート→ホイール→ピストン→コンロッド→連通管の順に組み立てる。小ホイールのディスプレイサ側ピストンの先（目盛先端の方）側をアルコールランプで加熱しながら大ホイールを回転させて始動する。始動しない時は小ホイールの止めねじを弛めて、位相差を調整して最良の位置を探す。自力で回転したら回転中の回転数を計測する。

3. 時間配分

各作業工程と組立・調整に対する時間配分を表3に示す。加工工程が終わらなかった学生は、時間外または、組立・調整時間を使って加工をおこなった。

表2 工程の時間配分

加工部品 \ 加工作業	手作業	施盤作業	フライス盤作業
フレーム (①)	○		◎
シリンダサポート (②)	○		◎
連通管 (⑥)	○	◎	○
シリンダ押さえ板 (⑧)	◎		
フランジ (⑩, ⑪)	◎		
コンロッド (⑬)	◎		
クランクホイール (⑯, ⑰), シャフト (⑱)	○	◎	

ここで、カッコ内は組立図中の部品番号。◎は主な作業，○は一部の作業を示す。

表3 加工部品と加工作業の関係

	加工工程			組立・調整
作業内容	手作業	施盤作業	フライス盤作業	組立・調整・運転
配分時間	3週×2時限	3週×2時限	3週×2時限	3週×2時限

IV. アンケート結果

アンケート対象者	産業技術科学	2回生	9名	
	情報応用	4回生	1名	
	美術科	4回生	1名	
	科目等履修生（現職教員）		3名	
	計		14名	回答者10名

1. 予備知識について

あなたは、これまで機械関係の授業を受けたことがありましたか。

はい - 7名 いいえ - 3名

あなたは、これまで実習で使用した工具を使ったことがありましたか。

はい - 2名 一部ある - 7名 いいえ - 1名

実習を始めるにあたっての基礎知識として、機械関係の授業は、1年次に開講している授業をはじめとして、70%の人が実習と関連した授業を受けている。また、工具については、使用

した工具を使ったことのある受講生が20%で一部知っていた受講生を含めれば、90%の受講生が工具を使ったことがある。しかし、「技術・家庭」が中学校に設けられていることを考えると基本的な手工具にもかかわらず、10%の人が工具を使ったことがないと云うのは、憂慮すべきことがらである。

2. 各作業について

各作業についての設問と回答数を表4に示す。

図面から実際の製品の立体イメージを導くことが「十分できる」のは40%、「少しできる」の60%と合わせて、全員が図面から実際の物をイメージできるようになっている。製作図面から加工方法と工具を考えることができるのは、10%、少しできるの80%と合わせてほとんどの人が図面から加工方法と工具を考えることができていて、大部分の人が図面を読めるようになっている。

表4 作業工程における評価

回 答 設 問		十分できる 又は よく理解できる	少しできる 又は 何となく理解できる	できない 又は いまだ理解できない	その他
製作図面を 見て	立体形状の読み取り	4	6	0	0
	手順と工具を考える	1	8	1	0
施盤	構造が理解出来る	2	8	0	0
	自分で作業が出来る	1	7	2	0
フライス盤	構造が理解出来る	3	7	0	0
	自分で作業が出来る	2	7	1	0
ボール盤	構造が理解出来る	9	1	0	0
	自分で作業が出来る	8	2	0	0
手作業工具を自分自身で使用出来る		7	3	0	0
ケガキ作業	意義を理解出来た	10	0	0	0
	作業が身についた	5	5	0	0
各工程を理解出来た		4	6	0	0
測定器が使用出来るか		9	0	1	0
材料の特徴（加工のしやすさ、重さ、表面性状）を理解出来たか		1	8	1	0

表5 全体を通しての評価

設 問	回 答				
	楽しかった	つまらなかった	その他		
スターリングエンジンを作って楽しかったか	10	0	0		
スターリングエンジンの製作は難しかったか	難しかった	それほど難しくなかった	簡単		
	6	4	0		
スターリングエンジンのどこ難しかったか	施盤作業	フライス作業	ボール盤作業	手作業	組立・調整
	5	1	0	0	6
あなたはスターリングエンジンは何回目の調整後に回ったか	1回目	2回目	3回目	4回目以上	回らない
	0	2	2	6	0
回らなかったのはなぜか（どこに問題があったか）	ホイール	コンロッド	連通管	フランジ継手	その他
	3	1	1	1	4
回転数は何rpmでしたか	0～200rpm	201～400rpm	401～600rpm	601～800rpm	801～1000rpm
	0	2	3	4	1
人に実習作業を教える訓練になったか	訓練になった	少しは訓練になった	訓練にならなかった		
	1	8	1		
エネルギー変換について十分理解出来たか	よく理解出来た	何となく理解出来た	いまだ理解出来ない		
	4	5	1		
スターリングエンジンを製作してその原理を理解できた	よく理解出来た	何となく理解出来た	いまだ理解出来ない		
	6	3	1		
機会があったらもう一度製作したいですか	よく理解出来た	何となく理解出来た	いまだ理解出来ない		
	7	0	3		

本実験で使用した工作機械の作業を通じた構造の理解については、旋盤・フライス盤・ボール盤ともに、「何となく理解できた」を含めて全員がその大まかな構造を理解できている。とくに、ボール盤では90%が「よく理解できた」と答えており、本実習が工作機械の理解に十分有効であることがわかる。工作機械の作業については、本実習で使用した程度に工作機械作業

を「十分できる」のは、旋盤・フライス盤では10~20%程度で残りの受講生は「少しできる」程度と答えており、工作機械の操作方法の取得目的としてはやや不十分である。ただし、ボール盤と手作業は、それほど難しくないため「十分できる」が70~80%と十分操作方法を取得している。

ケガキ作業については、100%の受講生が作業の意義を「よく理解できた」と答えている。ただし、身についたかどうかに関しては、「十分できた」が50%で残りの50%は「少しできた」と答えており、身につけるために役たっているが、十分ではない。ノギス、マイクロメータ等測定器の使用法については、90%の受講生が「十分できる」と答えている。加工性、性状など材料の特徴については、「何となく理解できた」と「よく理解できた」を合わせて90%が理解できている。

各工作過程についてもやはり、「何となく理解できた」と「よく理解できた」を合わせて全員が各工作過程を理解できている。

3. 全体を通して

全体を通しての設問と回答数を表5に示す。全体を通しては、100%の受講生がスターリングエンジンを作って「楽しかった」と記述している。製作の難位度については、「難しい」が60%に対し「それほど難しくない」が40%で難位度としては極端に難しくはない。難しい作業内容としては、「旋盤作業」、「組立・調整」がそれぞれ約50%で他と比べ複雑な作業が必要なためと思われる。

スターリングエンジンが回り始めるのは、「4回目以上」が60%と、やはり組立・調整に手間のかかることが判る。回らなかった原因は、各部品から調整までのすべてが原因となっている。回った時の回転数についてみると、300rpm~850rpmと製作精度と調整具合によってかなり変動が見られる。

エネルギー（熱）変換については、「何となく理解できた」を含めて90%が理解できている。人に実習作業を教える訓練になったかどうかについては、「少しは訓練になった」を含めて90%が教える訓練になったと考えている。製作を通して60%がスターリングエンジンの原理をよく理解できおり、「何となく理解できた」を含めて90%がその原理を理解している。また、条件付をふくめればすべての学生が、機会があればもう一度製作したいと考えており、前述の結果と併せて本課題が実験実習の製作課題として十分であると考えられる。

4. スターリングエンジンを製作しての感想

寄せられた感想を次に示す。

- ・最初はスターリングエンジンが製作できるかどうか不安だったが、楽しく製作できた。機械の扱いはたいへんだったが、けががなくてよかった。この機械操作の指導を十分できるといふ自信がないので、もう一度操作を行うなどして理解できるようにしたい。
- ・各工程を経て部品を製作するに従って、組立図と部品図を見て精度の必要な部分とそうでない部分が読み取れるようになった。製作した部品は図面通りの寸法で作ったはずでも組立てる時ずれている場合があった。ものを正確につくことの難しさがわかった気がする。また、工作機械と工具もある程度理解できるようになった。
- ・各部品を作っている時はその部分の役割が理解できなかった。組立ての時に部品の役割が理

解できた。部品の製作時に、役割を理解しながら作るべきだったと思う。機械を使用し、スターリングエンジンを作ることが、難しかったが楽しかった。また、各工程終了時に提出するレポートを書くことによって、各作業内容を理解できたのでよかった。

- ・自分で、実際にものを製作する楽しさを味わえた。工作機械を理解できた、今回使用した機械、工具を使って他のものを作りたい。
- ・スターリングエンジンが理解できた。自分の作ったスターリングエンジンが動いた時はうれしかった。
- ・使ったことのない機械を使用して思うようにできない部分が多かった。教え方が少し判った。作業については反省すべき点もあったが、楽しく作業ができて、エンジンも回ったのでよかった。
- ・部品を正確に製作することが重要だと知った。旋盤とフライス盤の送りの目盛が理解できなかった。
- ・機械の作業はうまくできたが、手作業で手直しが必要になった。小さなことが原因でエンジンがなかなか回らなかった。調整を繰り返すことによって、スターリングエンジンの理解が深まった。実験実習の授業を通年としてもらい、もっと「機械」を理解したい。
- ・スターリングエンジンの原理をよく理解して、必要な部品精度を理解してから製作すべきであった。レポートの提出により機械の理解や手作業の理解に役に立った。実習を通して、機械や工具の知識を得ることができた。

V. おわりに

4章におけるアンケート結果と感想を見る限り、本製作課題は「木材加工」、「金属加工」、「機械」の各領域に関する知識理解にかなり有効であることが示された。技能習得に関しても、上記領域について実習の作業工程を通してほとんどの受講生が、正しいやり方を身につけることができている。感想には書いていないが、工程も後の方になると手作業などで自分で工夫しながら作業している受講生も見受けられた。他の人に教える訓練にもなっている。受講生の関心については、とくに感想で見受けられるように、全員、実習が楽しかったと答えている。さらに、この実習をもとにしてより高い技術の習得への欲求も見受けられた。

以上のことから、本製作課題は、「技術科」教員養成カリキュラムにおける「機械実験実習」製作課題として十分有効であると考えられる。さらに、より適切な課題とするために考慮すべき点を以下に示す。

- 1) 環境にやさしいエネルギー源として、自然エネルギー（太陽エネルギー）と組み合わせることが期待される。
- 2) 小学校・中学校で製作できるような、さらに簡易な教材の開発も期待される。
- 3) 本スターリングエンジンはパワー不足である。将来は、パワーを大きくして発電器を回し、他の電気器具と結合し、計算機を使つての制御等も採り入れ、技術科教員養成カリキュラムにおける総合的実習科目に発展できるように検討したい。新しく改訂された教員免許法で危惧される教科専門における弱さを補強する意味でもこのような総合的な実習科目を充実すべきであろうと考えられる。

最後に、本実験実習の部品加工方法と組立方法の開発にご協力いただいた、住田光弘氏（前機械教室技官）に厚くお礼申し上げます。

なお、本カリキュラムの推進にあたっては、平成6年度教育実践研究指導センターの研究推進補助金による補助を受けている。

参 考 文 献

- 1) (社)日本設計工学会(1997)「教材用スターリングエンジンの最適設計手法」
- 2) 一色尚次(1991)「スターリングエンジンの開発」工業調査会
- 3) (社)日本設計工学会(1994)「教材用スターリングエンジン技術講習会テキスト」