

低温度差スターリングエンジンを活用した教員研修

森阪 康昌*・山本 利一**

キーワード：低温度差スターリングエンジン、技術科、教員研修、エネルギー変換

1 緒 言

21世紀は知識基盤社会の時代といわれ、新しい知識・情報・技術が社会での活動の基盤として飛躍的に重要性を増している。これらの時代において、「課題を見出し解決する力」、「知識・技能の更新のための生涯にわたる学習」、「他者や社会、自然や環境と共に生きること」など変化に対応する能力が求められ、新しい学習指導要領が平成20年3月に告示された¹⁾。中学校では平成24年度に完全実施となり、学校の判断で平成21年度から先行実施が可能となる。

技術・家庭科技術分野（以後、技術科と記す）は、「材料と加工に関する技術」、「エネルギー変換に関する技術」、「生物育成に関する技術」、「情報に関する技術」と4つの内容に再構成された。エネルギー変換に関する学習は、現行学習指導要領²⁾では「技術とものづくり」の選択項目（5）に位置づけられていたが、新学習指導要領では、ひとつの学習のまとまりとして独立し、全ての生徒に履修させることになった。

F県での学習内容実態調査からエネルギー変換に関する技術について、必修教科の製作題材は、手回しの発電機にラジオやライトを組み合

わせたキット教材を使用している場合が多い。これらは、マニュアルに従い用意された部品を組み上げる作業が中心で、原理や法則の確認をすることができるが、技術科が求めている“科学的な知識等を踏まえて計画・設計し、身体的な技能等を用いて具体的な物を創造する”ものづくりとして位置付かない場合も見られる。これらことから、エネルギー変換で取り扱う製作題材については様々な研究^{3,4)}がなされている。しかし、その多くは選択教科としての製作題材であり、必修教科としての研究は十分とは言い難い。

そこで、限られた時間数の中で、エネルギー変換に関する技術を学習する題材として、スターリングエンジンに着目した。このエンジンは、近年の環境やエネルギー問題の視点からも再注目されており、教育実践の報告も見られるようになってきた⁵⁾。

本研究は、低温度差スターリングエンジンの製作と、それらを活用した指導過程の検討を教員研修に組み込んだ実践について報告する。

2 開発した低温度差スターリングエンジン

2.1 特徴

スターリングエンジンは、1816年にロバート・スターリング氏によって発明された外燃機関のエンジンである。このエンジンは、「燃料の多

* 福井県教育研究所

** 埼玉大学教育学部技術教育講座

様性]、「高熱効率性」、「低公害性」、「静音性」などの特徴があり、近年の環境やエネルギー問題との関連から再注目されている⁶⁾。本実践では、低温度差スターリングエンジンを取り上げた⁷⁾。その理由として、大きな熱源を必要としないため、熱に耐えるような特殊な素材を必要としないことと安全面からである。

開発したスターリングエンジン（以後、SE教具と記す）に使用した材料は、入手しやすい材料で学校でも再現できるように配慮した。また、温度差が生じてピストンが動作するところを視覚的に確認できるように、透明のアクリルパイプや注射筒を使用した。

各材料の接着は、比較的硬化時間も短く、気密性が保てるシリコン系の接着剤を用いた。

クランクは、木材の丸棒に釘でコンロッドを固定する方式を採用することにより、加工が容易になるだけでなく、パワーピストンのストロークを調節できるよう工夫した。

SE教具に使用した材料の一覧表を表1に、その外観を図1に示す。

表1 使用材料一覧表

部品名	材質(サイズ)	数
アルミニウム板A(上部)	アルミニウム(φ100×t=1)	1
アルミニウム板B(底部)	アルミニウム(φ100×t=1)	1
ディスプレイサ用シリンダ	アクリルパイプ(φ90×W=30×t=3)	1
ディスプレイサ用シール	輪ゴム(折径120×W=18×t=1.1)	2
ディスプレイサピストン	発泡スチロール(φ80×t=15)	1
ディスプレイサ用軸	ステンレス鋼(φ1.5×L=45)	1
ディスプレイサ用軸受けA	ボールペンの芯(φ3×ID1.8×L=15)	1
ディスプレイサ用軸受けB	プラスチック(φ20×ID3×H=7)	1
ボルト	(M3×40)	8
ナット	(M3)	8
ワッシャー	(M3)	16
パワーピストン用シリンダ	ガラス注射筒(φ18×ID15×L=15)	1
パワーピストン	ガラス注射筒(φ15×ID12×L=16)	1
パワーピストン用軸A	ラミン丸棒(φ12×L=5)	1
パワーピストン用軸B	ステンレス鋼(φ1.5×L=15)	1
支柱	アルミニウム(L=110×W=20×t=1)	1
ネジ	(M3×10)	1
ナット	(M3)	1
ワッシャー	(M3)	2
フライホイール	廃CD	1
フライホイール用軸	ステンレス鋼(φ1.5×L=28)	1
フライホイール用軸受け	プラスチック(L=20×W=12×H=7)	1
ディスプレイサ用クランク	ラミン丸棒(φ20とφ15×L=4)	1
パワーピストン用クランク	ラミン丸棒(φ20×L=4)	1
クランク用軸	釘(φ0.9×L=6)	2
ワッシャー	(M2)	4
コンロッド(連接棒)	プラスチック(L=75×W=6×t=1)	2
コンロッド連結チューブ	シリコンチューブ(φ2×ID1×L=15)	2
接着剤	シリコン系接着剤	1
両面テープ	厚口 W=20×L=10	1

2.2 製作方法

(1) けがき

- ①アルミニウム板A・Bにφ100・φ95・φ90のけがきする。
- ②支柱とディスプレイサピストン、パワーピストンの位置決め。

(2) 穴あけ及び切断

- ①パワーピストンφ12キリ、その他φ3キリ。
- ②φ100外形切断。
- ③支柱・コンロッドの切断。

(3) 部品加工

- ①支柱の加工。
- ②アルミニウム板Aの部品取り付け。
- ③ディスプレイサピストンの加工。
 - ・発泡スチロールを円筒に切断。
 - ・φ1.5のステンレス鋼(長さ45mm)を、ディスプレイサピストンの中心に治具を用いて垂直に接合する。

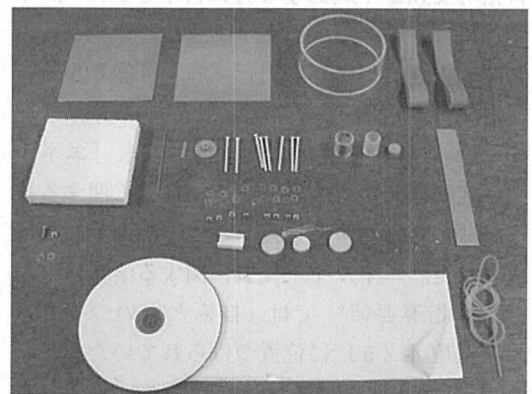


図1 使用した材料の外観

④パワーピストンの加工。

・パワーピストンは、注射筒をダイヤモンドルータにより切断する。

⑤クランクとフライホイールの加工。

⑥コンロッドの加工。

(4) 組立

- ①ディスプレイサ用シリンダに輪ゴムを切断面を覆うように取り付け（シールドパッキン）、機密性を保つ。
- ②アルミニウム板Aにディスプレイサピストンを差し込み、作動流体（空気）の漏れやピストンの接触に注意して、シリンダをアルミニウム板Bではさみ、ネジとナットで対角線かつ均等な力で締める。
- ③クランク軸（釘）にコンロッドとM2ワッシャーを入れ、クランク同士が90度ずれるように差し込む。
- ④2種のピストンの軸にシリコンチューブを差し込み、コンロッドの長さを調節し接合する。

(5) 調整

- ①回転を確認する。フライホイールのバランスが悪いときは、ワッシャーを付けるなどしてバランスを調整する。
- ⑤お湯や水などを利用してアルミニウム板AとBで温度差を作り、動作を確認する。

SE教具の外観を図2に、製作図を図3に示す。

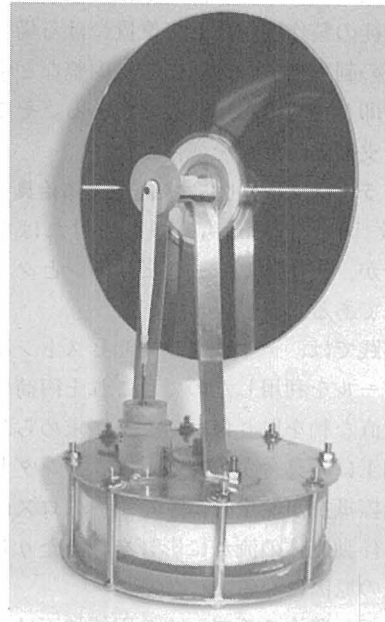


図2 SE教具の外観

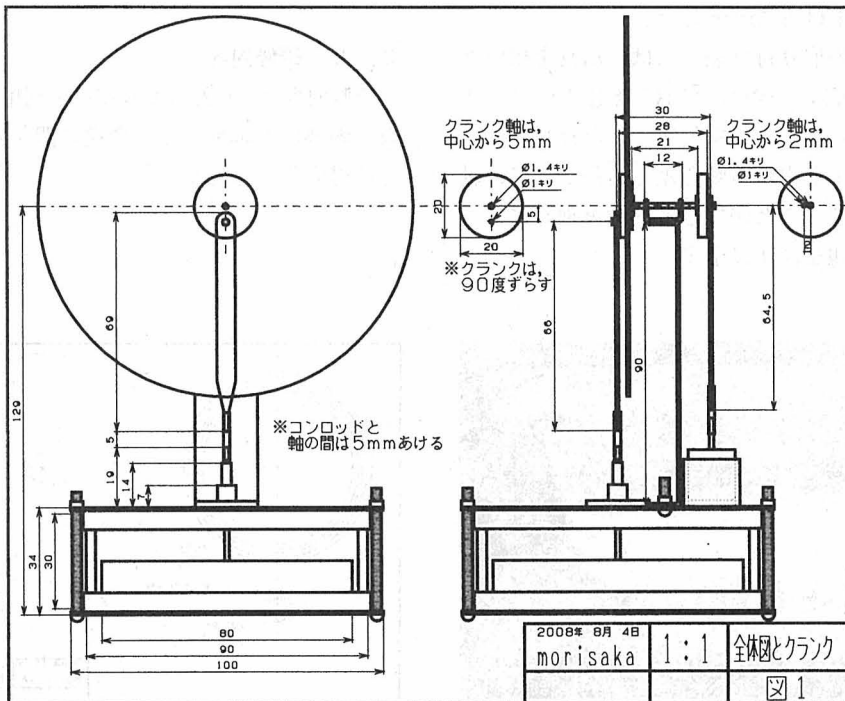


図3 SE教具の設計図

2.3 製作支援の手立て

SE教具は、製作する過程で加工精度、組み立て精度を求められる箇所が複数見られる。また、生徒の製作題材として位置づける場合、製作時間の制限や試行錯誤による調整など学校や生徒の即したものにすることがある。そこで、製作を支援する教具を準備した。

(1) ディスプレーサに主軸を立てる治具

SE教具の製作で最も支援しなければならない部分が、ディスプレイサピストンとクランクの加工である。

本実践では、ディスプレイサピストンに発泡スチロールを利用したので、これを円筒に加工し、垂直な軸を取り付けることが求められる。この加工に不具合が生じると、シリンダと接触して摩擦抵抗が発生しエネルギーのロスになったり、作動流体の流れに影響を与えたりして動作不良の原因になる。

そこで、発泡スチロールの円筒加工は、型紙を発泡スチロール材に貼り付け（紙は伝熱電では溶けない）、電熱線で切断し、端面の凹凸を紙やすりで仕上げることにした。

また、軸の取り付け加工には、治具を用いた。治具の底板にけがかれた円に発泡スチロール（ディスプレイサピストン）を合わせ、そこに治具のガイド穴から軸を差し込むことで、軸を垂直に立てることができる。軸を垂直に立てる治具の外観を図4に示す。

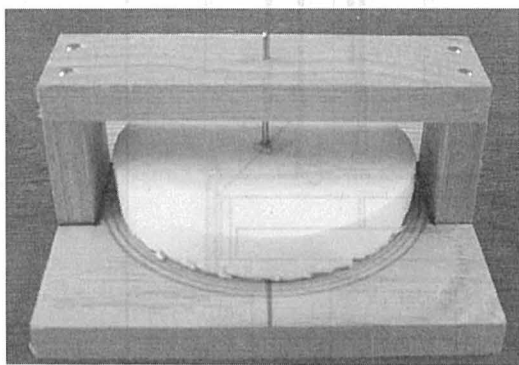


図4 軸を垂直に立てる治具の外観

(2) 正確にけがきをする支援シート

SE教具製作では、ディスプレイサピストン以外にも、部品の中心に軸を取り付けたり、軸受け穴あけ加工など、回転運動を扱う部品が複数見られる。特にクランクとなる部品（木材製）は、中心に主軸を取り付けるだけでなく、中心から適切な位置（本実践では、2mmと5mm）にコンロッドを取り付ける軸穴を加工する必要がある。

そこで、ピストンやクランク、フライホイルの平面図（図5）をTPシートに描き現し、現物合わせで、位置決め、穴あけなどを行った。これは、けがきや穴あけの位置を確認するゲージとしても使用できる。

3 教員研修の実施

3.1 実施時期及び対象

教員研修は、2008年8月に1.5日間で、技術・家庭科教員を対象として実施した。研修受講生は、6名であった。

3.2 研修内容

研修内容は「自然エネルギーを利用した教材・教具の製作とエネルギー変換に関する専門知識を習得する」とした。

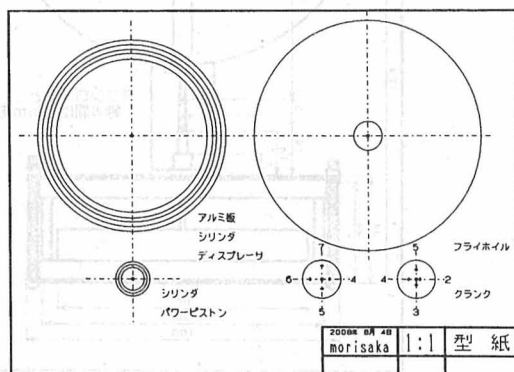


図5 位置決めのTPシート

3. 3 研修の手順内容

研修の手順は下記のように進められた。

- ①試験管をお湯で温め、風船がどの程度膨らむかの確認（熱による空気の膨張）
- ②SE教具の動作原理の理解
- ③製作するSE教具の内部構造の確認と観察
- ④SE教具の製作
- ⑤各部の調整と動作確認
- ⑥低温度差スターリングエンジンのシミュレーションソフトを活用した動作の確認
- ⑦エネルギー変換についての現在学校で取り組んでいる内容の情報交換
- ⑧指導手立ての検討
- ⑨指導計画と実践事例

3. 4 教員の反応

研修の前半では、少ない空気の膨張・収縮を利用してスターリングエンジンがなぜ動くのかという動作原理に関する疑問を抱いていたが、シミュレーションソフトと自分が製作をしたSE教具を見比べながら、スターリングサイクルの4つの行程を確認することで理解していた。製作に苦勞した教員も見られたが、予定の時間内に全ての教員がSE教具を完成させていた。

研修実施後のアンケートでは、100%全員が内容に満足しているという結果となった。その理由として、「自分の知らなかった内容を知ることができた」、「安全で生徒が製作する題材としても活用できる」、「製作した教材を授業で活用できる」等の意見が多く徴集できた。

また、この研修が今後の学校で指導や実践に役立つと思うかという問いでは、80%が役立つと答え、残り20%も概ね役立つという答えであった。その理由として、「生徒が非常に関心を持つことが予想されること」、「身近な材料で、価格も安く、生徒一人一人に作らせることが可能であること」、「エネルギー変換や発電の方法として説明できること」の3つにまとめることができる。全員が役立つと答えてはいるものの、満足度に比べると、やや劣る結果になってしま

った。これは発生した動力の活用方法についての説明や実践がやや弱かったことが原因と考えられる。

今後は、各学校で実際に実践したときの生徒の反応を調査し、修正や支援に活かしていきたいと考えている。

4 結 言

本製作題材は、スターリングエンジンの動作原理や構造をつかめるだけでなく5つの学びがあると考えている。

第1に、技術には光と影があり、安全な技術開発が求められるという学びがある。スターリングエンジンの発明は、蒸気機関の蒸気ボイラーの爆発事故によって多数の死傷者が出たことから始まる。ロバート・スターリング氏は、爆発事故を起こさない安全な動力機関がつかれないかと考え、このエンジンを生み出していった。この経緯は、まさに技術が起こした問題を技術によって解決しようとした行為である。また、これは事が起こってからではなく、事が起こる前に技術を適切に評価し、判断し、開発するといったことにもつながる。

第2に、資源の有効利用を踏まえ、環境やエネルギー問題を考えた技術開発が求められるという学びがある。このエンジンは空気の膨張と収縮を利用したもので、排ガスや爆発による騒音も発生せず、燃料費もほとんどかからない。また、熱効率も40%程度あり、省エネでクリーンなエンジンといわれている。題材の製作を通して、必要な材料を考え、エネルギーやコストを調べたり、エネルギー変換効率を比較したりしながらこれらの問題について学ぶことができるのではないかと考える。

第3に、技術には多様な答えの出し方があるという学びである。このエンジンは、動作原理にさえ適合していれば、どのような形であっても、どのような素材や材料であっても動作する。今回取り上げた形や素材、材料も一例にしか過

ぎない。資源の有効利用を学ぶ観点から、使用する材料について考えさせ、材料に合わせて形をデザインし製作する取り組みも可能である。そのような活動を通して、生徒の創造性が生まれ、技術の多様性を実感することができるのではないだろうか。

第4に、加工精度を追究していかなければならないという学びである。この題材は、加工精度が動作にはっきりと表れるため、これまでの学習の英知を集め、製作する必要がある。

第5に、技術は応用できたり、発想の転換によって新たな技術を生み出すことができたりするという学びである。基本的な原理は、すでに提案されているものであっても、それらをどのように具現化するかは、人間の知恵によるものである。スターリングエンジンには多種多様な形あり、今回のSE教具は、出力は小さいが、動作原理を学習するには適している。これらのように、利点を見つけ出し、それらを価値にすることにより技術も教育も進化すると思われる。

これら5つの観点からも教員研修としての題材として適切であると推察される。

今後の課題として、①パワーピストンの素材の検討がある。注射筒は確かに優れているのだが加工が難しいので、より身近で加工しやすく、低価格の素材に置き換えていきたい。

次に、②様々な素材や大きさ、形のSE教具を製作していきたい。目標としては、10℃程度の温度差で動作するものに仕上げたい。生徒の発想を広げるためにも、多様な見本を用意する必要があると推察される。また、③このSE教具

で得た動力を活かす装置の開発にも取り組んでいきたい。

最後に、④これらを題材にしたエネルギー変換に関する内容の指導計画や指導案の作成である。そして、⑤学校の授業実践を通してそれらの教育効果を評価すると共に、教具の改良を進めたいと考える。これら①～⑤は、今後の課題とする。

参考文献

- 1) 文部科学省：中学校学習指導要領 解説 技術・家庭科編，(2008)
- 2) 文部省：中学校学習指導要領（平成10年12月）解説—技術・家庭編一，東京書籍（1999）
- 3) 山本利一・牧野亮哉：太陽光発電システムの教材化と授業実践，日本産業技術教育学会誌，第42巻，第4号，p.183-188（2000）
- 4) 山本利一・家永知明・田口浩継・牧野亮哉：中学校におけるロボットコンテストの実施調査，日本機械学会論文集（C編），第73巻，第725号，1-9頁（2007）
- 5) 安藤義仁・松尾政弘・山本利一：スターリングエンジンの製作を通して行うエネルギー変換の学習，埼玉大学紀要教育学部（数学・自然科学I），第54巻，第1号，89-96頁（2005）
- 6) 兵働 務・米田裕彦：スターリングエンジン，パワー社（1990）
- 7) 小林義行：はじめてのスターリングエンジン，誠文堂新光社（2007）

(2008年9月18日提出)

(2008年10月17日受理)

The proposal of teacher training program using low temperature difference Stirling engine

Yasumasa MORISAKA and Toshikazu YAMAMOTO

Keywords : low temperature difference Stirling engine, technology education,
teachers training, energy conversion

The purpose of this study is to propose a practical training program which use low temperature difference Stirling engine as a content of energy conversion to junior high school technology teacher.

The designed program was focused on not only to acquire new knowledge and skill of energy conversion technology through design and product low temperature difference Stirling engine, but also to improve instructional skill. Low temperature difference Stirling engine and some supporting tools were developed for carrying the program out at education center of prefectural board of education.

As a result of practice, teachers as attendance had showed interest in Stirling engine as a content of energy conversion in technology education after taking the program very much. And a renewal interest in energy conversion curricula and developing it were grown in most of them.