

# スターリングエンジンの製作を通して

桐蔭学園高等学校教諭 鈴木邦彦

## 1 はじめに

中学や高校でも、ある程度の金属工作ができればと、思うことがしばしばあります。簡単な実験器具の修理や部品製作はもちろん、本格的な実験装置の製作等々…。木工と違い、金属工作は、経験がないと難しいと思われがちですが、小さな旋盤が1台あると、飛躍的に工作範囲が広がります。安全面でも、通常の電動工具とたいして変わりなく、生徒にも安心して作業させることができます。機械工作は、工業高校でしか経験できないことはありません。本稿では、スターリングエンジンの製作過程を踏まえて、生徒自身がひとつひとつ削りだした部品が、エンジンとなって、軽快に動き出す楽しさを紹介します。

## 2 工作機械の選び方

金属工作の主役は、金属を円筒形に削りだす「旋盤」と平面削りや穴あけ作業に用いる「フライス盤」です。フライス盤は、ボール盤(主に穴あけに用いる)と形は似ていますが、工作物を固定するテーブルが、動かせることが大きな違いです。両者を合体させたのが、いわゆる「万能工作機械」とよばれるものです(写真1)。これらの機械は、オモチャのようなものから、工場で使われる本格的なものまで、価格も数万円～数百万円までまさに千差万別です。



写真1 万能工作機械

工業高校でもない一般の高校においては、予算やスペースの面から現実的に候補に挙がるのは、いわゆる「卓上旋盤」とよばれるクラスです。旋盤のサイズを大まかに表す値に「心間距離(原理的に加工できるおよそ最大の長さ)」がありますが、この値が200mm～350mm程度のもので、

筆者の学校では、心間距離210mmの旋盤を使用しています(サカイML210)。非常にコンパクトで、古机の上に設置し、準備室の片隅に置いています。一通りの加工ができ、パワーも小さいので、生徒にも安心して作業させられる反面、少し大きな工作にはかなりの無理を強いられます。予算が許せば、心間距離350mmクラスがほしいところです(ただし価格は倍以上に跳ね上がります)。

同じサイズの旋盤でも、メーカーによってずいぶん価格に差がありますが、基本性能(各すべり面の精度、強度)、アクセサリーの充実度、使いやすさ、価格等の点で、どれも一長一短というところです。ねじ切り機構が後から追加できない機種もありますので、注意が必要です。フライス盤機能を追加する、ミーリングアタッチメントや、工作物をつかむ各種チャック、切削工具等を含めると、旋盤本体価格の1.5～2倍程度の予算が必要となります。本校の小さい旋盤でも、総額は10万円台後半となりました。高額の実験装置を買うことを考えれば、その使用頻度や発展性から検討する価値は、十分にあると思いますがいかがでしょうか。一度購入すれば、未永く使える機械ですから基本性能の良いものを選ぶのが、結果的には得ではないかと思えます。

## 3 金属工作に必要なもの

工作機械本体の他に必要なものを列挙します。

グラインダー…バイト(旋盤で金属を削る刃物)の研削、工作物の切断や研磨に使用する必需品です。金物屋で安く手に入れることができます。

砥石…バイトを研ぐのに使用します。

帯鋸盤…工作物の切断にあると便利ですが価格は高めです。

測定具…ノギスは必需品です。

切削工具…バイトやドリルの他、ネジ製作に用いるタップやダイス 精度の高い穴をつくるリーマ等は、必要に応じて少しずつ揃えていきます。

教科書…「ミニ旋盤を使いこなす本」久島諦著 誠文堂新光社

設置場所…工作機械自身は、まさに「卓上」サイズですが、金属の切り屑や切削油が飛び散り、また削るときに騒音が出ますから、周囲にあまり迷惑がからない場所を確保したいものです。

## 4 金属材料の調達

よく用いられるのは真鍮<sup>しんちゆう</sup>、アルミ、軟鉄ですが、適当なサイズの素材はなかなか手に入れにくいものです。特にアルミや真鍮等の高価な材料は、なるべく無駄の出ない(削る量が少なくて済む)サイズがほしいところですが、金属材料会社に問い合わせても、最低1m以上などと言われてしまいます。インターネット上の素材販売会社の利用や、DIY店で時々工場からの端材が格安で手に入ることもあります。市販の太いボルトを利用することもできます。秋葉原あたりの材料屋を探すと、適当な材料が見つかることもあります。

## 5 基本作業の練習

金属を削るとなると、最初は、教員も生徒もおっかなびっくりですが、実際に作業を始めてみると、思ったよりも簡単です。外径や内径、端面の削り作業を一通り練習すれば、きれいな切削面をつくるノウハウが、少しずつ分かってきます。バイトの切れ味が少し悪くになったら、こまめに砥石で研ぎます。研ぐといっても、砥石に対してバイトを一方向に動かし、刃先を丸めないよう注意して研ぎます。

## 6 スターリングエンジンとは

1816年に、スコットランドのスターリングによって発明されたエンジンで、以下のような特色があります。

- ・ 密閉空気を外部から加熱、冷却することにより膨張・圧縮させて仕事を取り出す「外燃機関」である。吸・排気がないため、構造が非常に単純である。
- ・ 容器内に高温部と冷却部をつくり、その間を密閉空気が移動することにより、加熱、冷却を連続的に行う。
- ・ 内燃機関のような爆発を伴わず、また排気もない

ので騒音がほとんどない。

- ・ 温度差をつけるための熱源(または冷却源)は、何でもよい。任意の燃料による連続燃焼、太陽光、温水、地熱、あるいは他の熱機関の廃熱等も利用できる。エネルギー問題で、再び脚光を浴びている「古くて新しい」エンジンである。

これらの特徴は、物理や機械工学の教材としても、以下のようなメリットがあります。

- ・ 加熱するだけで回り出す。「熱の仕事への変換」をこれほど明快に示すモデルは他にあまりない。
- ・ 密閉気体の変化なので、「熱機関の1サイクル、仕事、熱効率」の概念を示す実例として最適。
- ・ 構造が単純で、自作が可能である。また、自作用の設計図が数多く公開されている。
- ・ 環境問題を解決するひとつの手段として、将来性があり、夢が語れるエンジンである。

これらの特徴から、スターリングエンジンは、今まで主に工業高校や大学の機械科における工作実習、熱機関の素材として、活発に研究され、様々な模型エンジンの開発がなされてきています。

しかしながら、一般の高等学校においても、最低限の工作機械さえあれば容易に自作することができ、物づくりの楽しさの一端を味わうことができるのです。工作系のクラブや課題研究のテーマとして、あるいは熱力学分野の授業で示す実験の題材として、使わない手はありません。

## 7 スターリングエンジンの動作原理

スターリングエンジンには、いくつかの形式があります。

型(図1)…高温側容器と低温側容器が通路で結ばれ、それぞれの容器のピストンは、位相差90°で往復運動するように連結されています。この位相差により、密閉気体は、高温・低温容器の間を交互に移動しつつ、同時に気体全体の体積が変化します。これにより、気体全体の平均温度の変化で圧力変動が生じ、同時に、全体の体積変化により、外部に対してトータルで仕事をすることになります。なお、通路があるため、高温側と低温側の圧力は同じです。型の模型エンジンは、比較的高温度差・高回転タイプが多いようです。

型(図2)…一つの容器が、ディスプレイサ(仕切り板)によって高温部と低温部に分けられま

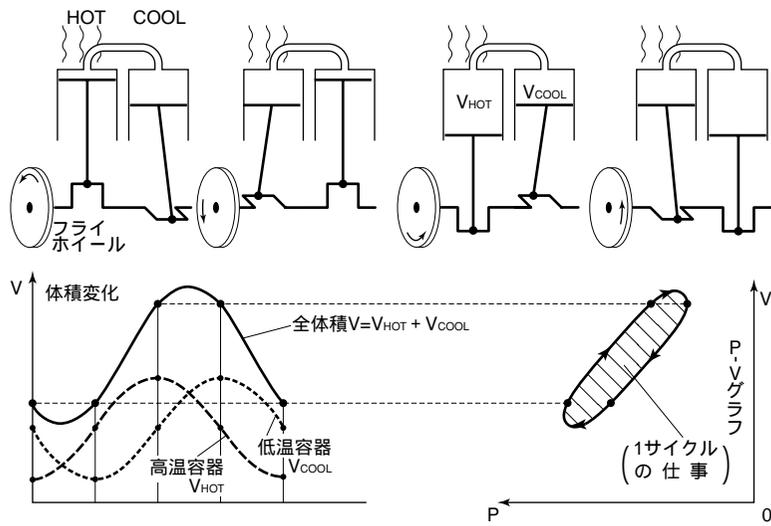


図1 型(2ピストン型)エンジンの概念図

すが、両者の間には通路(あるいはすき間)があるので、容器内の圧力は、どこも等しくなっています。ディスプレイサの往復運動により、気体が高温側と低温側の間を交互に移動するため、気体全体として平均温度が変動、それに伴う圧力変化により、パワーピストンを駆動します。ディスプレイサピストンとパワーピストンは、やはり位相差90°で連結されます。2つのピストンが、同軸上にあるものを型といい、過去に市販された実用エンジンには、このタイプが多いようです。型は、レイアウトの自由度

が大きく、模型エンジンにもよく用いられる形式です。ディスプレイサに、パルサ材や発泡スチロールを用いて大面積とすることで、比較的低温度差、低回転タイプのエンジンとすることもできます。

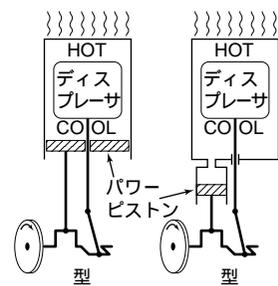


図2 ディスプレーサ型エンジンの構造

## 8 工作上的ポイント

スターリングエンジンの工作が普及した理由の一つに、ピストン・シリンダーにガラス製注射器が、利用されていることが挙げられます。この部分は、空気漏れ

がなく、しかも滑らかに動くことが重要ですが、その要求を満たす良い方法です。

ただどうしても、ガラスは割れやすいため、グラインダーによるカット作業や、研磨砂による削り作業の際には、微細なヒビ、カケを作らないよう注意が必要です。ほとんど目に見えないようなヒビも、運転中に広がって割れてしまうことが多いようです。また、ガラス部品と金属部品の結合には接着剤を用いますが、結合部分はあまりきっちりと作らずに、ある程度すき間をもたせた方が、温度変化による膨

張率の差で割れることが少なくなります。

市販の注射器は、ひとつひとつ摺り合わせにより製作されていますが、その動きの滑らかさにはどうしてもバラツキがあるようです。何本か用意してガタの少ない組み合わせを選ぶとうまくいく確率が増します。

最終的に、どうしてもピストンの動きがぎこちないとき、エンジンオイル添加剤の中で、テフロン系のもの(揮発油に溶かされていて乾いてしまうものがよい)を一滴つけたら、見違えるように回り出したこともあります。

ピストン・シリンダーを金属で自作することも可能で、一度チャレンジしてみましたが、摺り合わせ作業に、かなりの手間がかかってしまいました。いずれにしても、このピストン部分の滑らかさが、実験成功への最大のポイントといえます。

## 9 製作したエンジンの実例(全て生徒製作)

型エンジン(写真2右側)...教科書として用いた(「模型スターリングエンジン(第2版)」(監修:岩本昭一,山海堂)に設計図として公開されているもの。3ccの注射器使用。加工部品点数約20。加熱ヘッドをガスバーナーで30秒ほど加熱した後、フライホイールを回すと、徐々に回転数が増し、毎分1000回転以上で運転します。スターリングエンジンについても、金属工作についても、全くの初心者の状態



写真2 型エンジン(右)、型エンジンの発展形



写真3 型エンジンの発展形



写真4 型エンジンの発展形

でのスタートでしたが、設計図に忠実に製作したところ、本当に動き出してくれた記念すべきエンジンです。ただし、加熱ヘッド部分は、ステンレス指定のところを、ステンレス用切削工具が調達できなかったため、アルミで代用。そのため、あまり加熱することができません。

型エンジン発展形(写真2左側,写真3)...をパワーアップすることを目標に、体積を約3倍として再設計したエンジン。10ccの注射器使用。全ての工作が3倍の労力となり、本校にある工作機械の能力のほぼ限界と思われる。パワーアップの度合いは著しく、直流モーターで発電し、発光ダイオードを光らせる程度の電力とは言っても0.1w程度ですが)を得ることができました。運転中の様子は、実に迫力がありますが、振動もまた激しく、回転数を上げていくと、机の上で踊りだしてしまう程です。当初、サイズが大きいためか、各部からの空気漏れとガラスピストンの破損(割れ)に悩まされたエンジンです。

型エンジン(写真4)...と同じ教科書に載っていた、低温度差型エンジンの設計図を参考にして、工作可能なサイズに設計しなおし(外径10cm 8cm)また、複雑なネジ結合部分は、全て接着材結合に簡略化したもの。このエンジンは、加熱部(エンジン下部)を熱湯、冷却部(上部)を氷で冷やすことにより、毎分120回転程度でカラカラと回ります。熱湯を入れる容器を発泡スチロールで保温したことにより、1回のお湯の入れ替えで30分ほど回り続けます。パワーピストンは3cc、ディスプレイサピストンは0.25ccの注射器使用。加工部品点数約20。

## 10 おわりに

そもそも今回の実験は、「スターリングエンジンというエンジンがあるらしい。仕組みもよく分からないが、実際に作ってみたい」という生徒の声からスタートしました。文献やインターネットで調べるうちに、その単純な構造や、熱源は選ばないという魅力に惹かれ、公開されている設計図をもとに、少しでも発展させたエンジンの製作まで辿りついたところです。

実際に製作し、予想以上の回転数で、豪快に回り出すエンジンを目の当たりにすると、機械工作の楽しさを実感するとともに、具体的な熱機関のイメージが、確かなものになるのが分かります。

今回は、理数科の課題研究という枠の中での取り組みでしたが、自主的に、次の構想を温めている生徒もいます。物づくりの空洞化が叫ばれている昨今ですが、普通の高校生の中にも機械工作に興味を持っている生徒は、少なからずいることが分かります。

スターリングエンジン自体の改良、開発は、いろいろなか所でなされています。熱源やレイアウトの自由度の大きさから、自由な発想で、より高性能で実用的なエンジンが、産み出される日がくるかもしれません。

これらの工作を比較的低予算で可能にし、生徒・教員共永く楽しむことができる、小さな工作機械の導入を強く薦める次第です。

### 参考文献

- (1) ミニ旋盤を使いこなす本(基本編)久島謙造著,誠文堂新光社
- (2) 模型スターリングエンジン(第2版)岩本修一監修,山海堂