

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、おもちゃのようなものから、工場で使われる本格的なものまで、価格も数万円~数千万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^{しんちゅう}、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

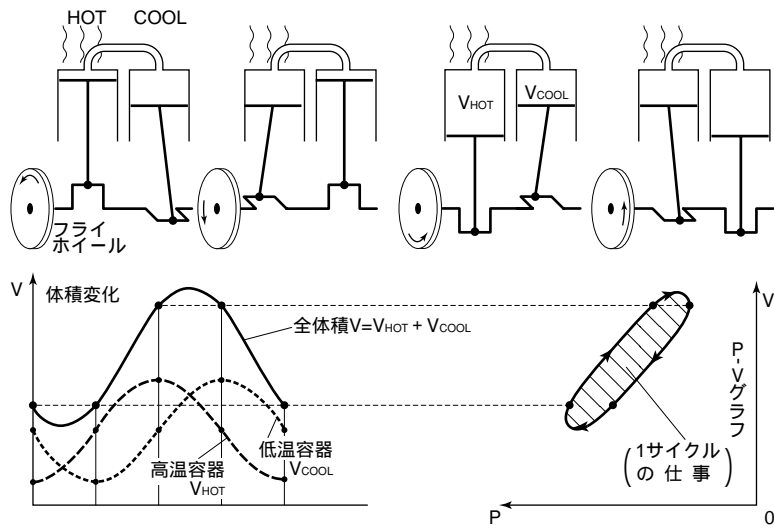


図1 型(2ピストン型)エンジンの概念図

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。

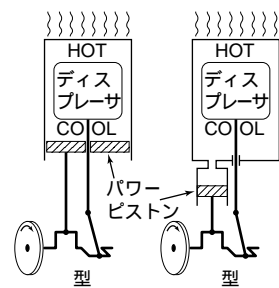


図2 ディスプレーサ型エンジンの構造

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予算で可能にし、生徒・教員共々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