



大阪公立大学高専 エネルギー機械コース体験入学

～スターリングエンジンの組立と動作実験～

1. スターリングエンジンとは

スターリングエンジンは、1816年にスコットランドの牧師ロバート・スターリングが発明した、シリンダー内の気体を加熱・冷却して仕事を得る外燃機関で、太陽熱、工場の廃熱等、熱源を選ばず動作することで知られます。図1に示すように、空気を加熱すると膨張し冷却すると圧縮する性質を利用しており、加熱を受ける膨張シリンダと冷却を受ける圧縮シリンダを持ちます。2つのシリンダは流路でつながっており、作動空気が行き来します。それぞれのシリンダ内ではピストンが往復運動し、その運動は接続棒を介してフライホイール(はずみ車)に伝えられます。

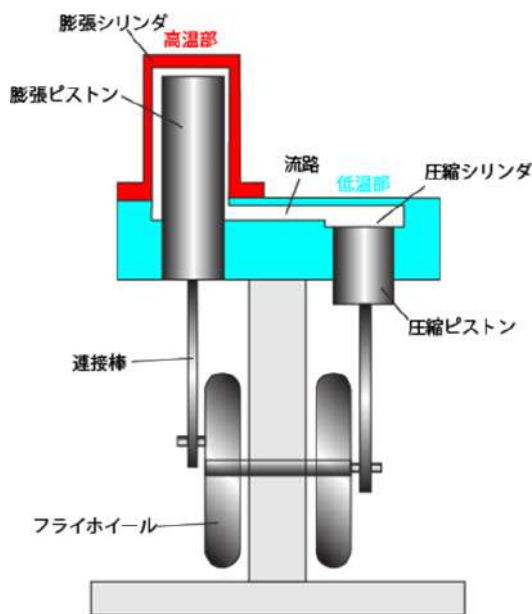
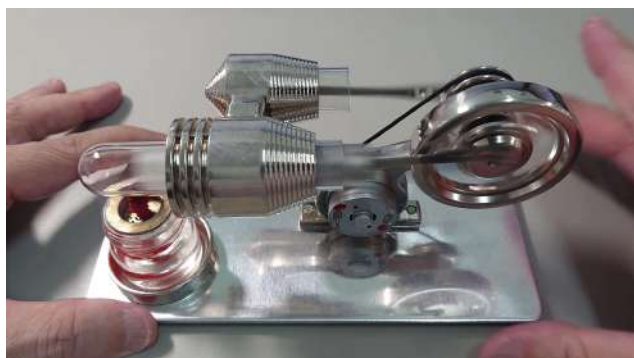


図1 スターリングエンジンの基本構造

スターリングエンジンには、大きく分けて3つのタイプ(α 型、 β 型および γ 型)があります。今回の体験入学で使用するエンジンは、図2に示す α 型と γ 型に基づいています。 α 型は加熱シリンダと冷却シリンダが2つに分かれており、高い圧縮比と出力を容易に得ることができます。 γ 型はディスプレイサとパワーピストンによって空気を加熱部と冷却部に移動させます。 γ 型は圧縮比と出力が低くなる傾向がありますが、構造の自由度が高いという特長があります。



α 型エンジン



γ 型エンジン

図2 スターリングエンジンの製品の例

2. α 型スターリングエンジンの構造と動作の仕組み

図3は、3次元CADソフトで作成した α 型スターリングエンジンのモデルデータと、3Dプリンタで製作した完成品の画像を示したものです。このキットは、CADモデルを3Dプリンタで造形し、市販部品と組み合わせて簡単に組み立てられるように設計されています。



図3 α 型スターリングエンジンキットの3Dモデル(左)と完成品(右)

加熱シリンダをアルコールランプで加熱し、1分間ほど待ってからフライホイールを回すと連続的に回転します。図4に動作の仕組みを示します(詳しい動画は[こちら](#))。



①加熱による膨張

②慣性による運動継続



③冷却による収縮

④慣性による運動継続

図4 α 型スターリングエンジンの動作の仕組み

以上の4つの行程を1サイクルとして、 α 型スターリングエンジンは動作します。動作させる条件として、運動部分の摩擦がないこと、フライホイールの慣性が適切であること、クランクの位相差が90度に設定されていること、2つのシリンダの温度差が十分であること、作動空気の気密が確保されていることが重要です。

3. γ 型スターリングエンジンの構造と動作の仕組み

γ 型スターリングエンジンにおいても、各部の摩擦の解消やシリンダの気密の確保が重要です。今回使用する γ 型スターリングエンジンでは、製作工程を容易にするため、磁石を使ってディスプレイサとピストンを相対運動させる構造を採用しています。図5に、3次元CADソフトで作成したモデルデータと、3Dプリンタで製作した完成品の画像を示します。

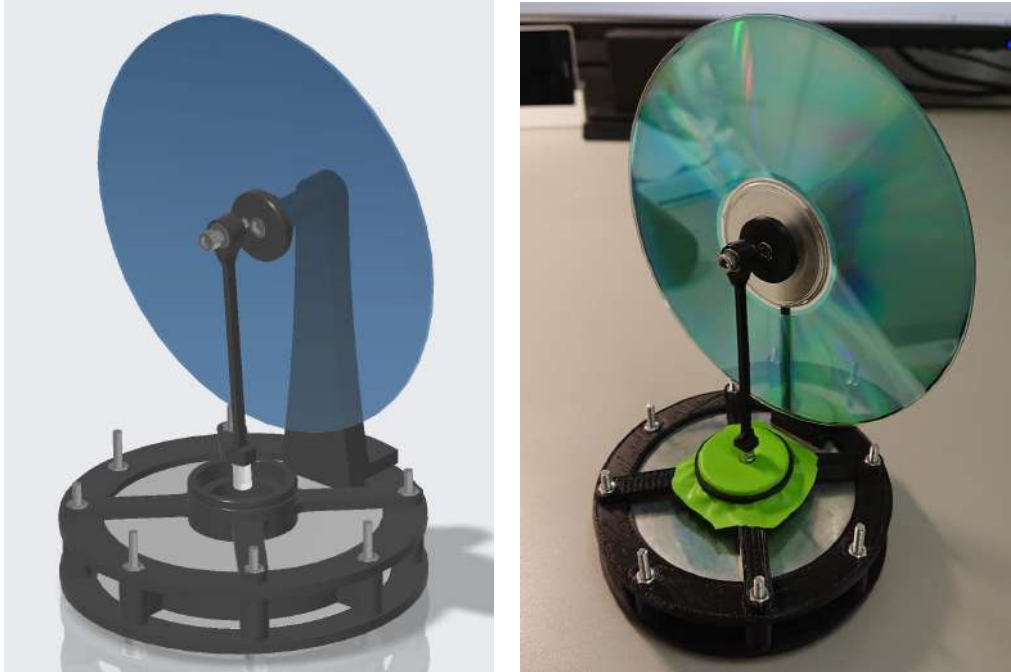


図5 γ 型スターリングエンジンキットの3Dモデル(左)と完成品(右)

図6に γ 型スターリングエンジンキットの動作の仕組みを示します(詳しい動画は[こちら](#))。

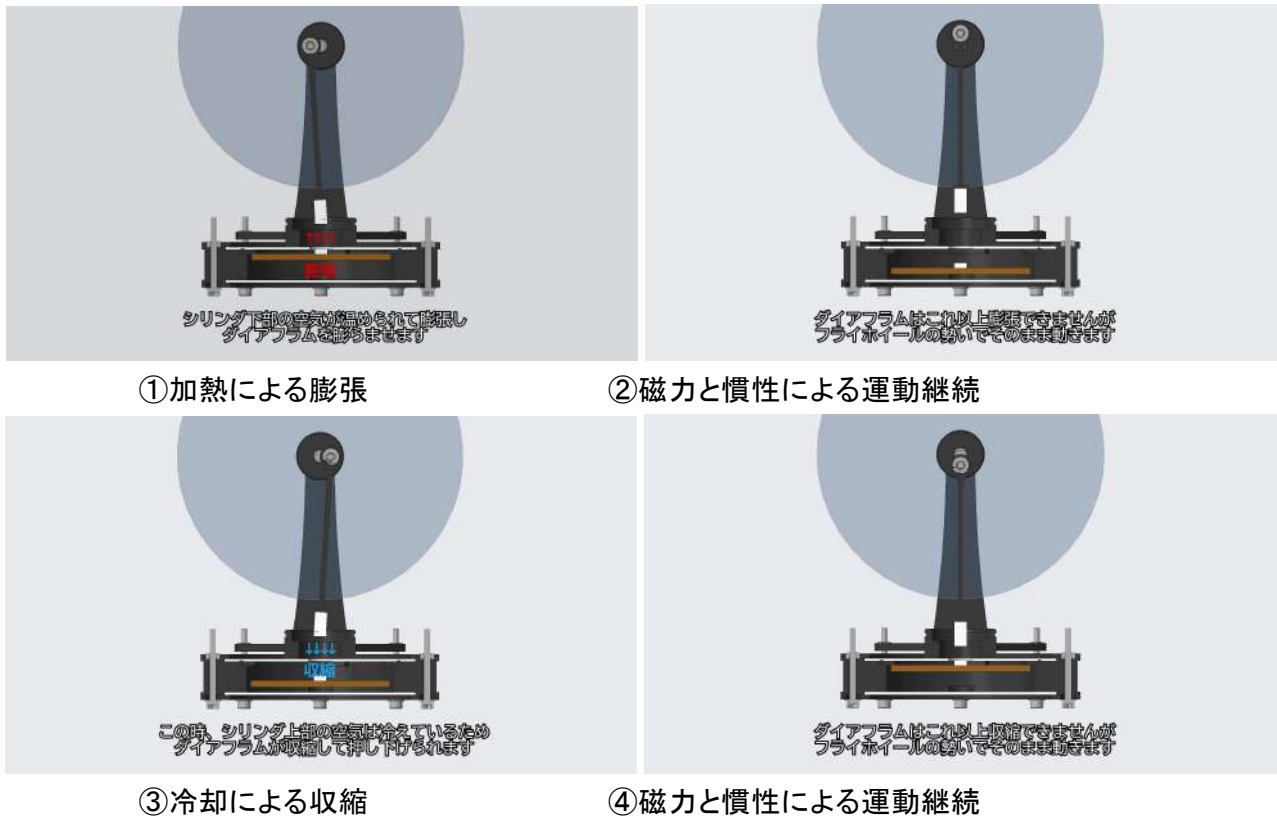
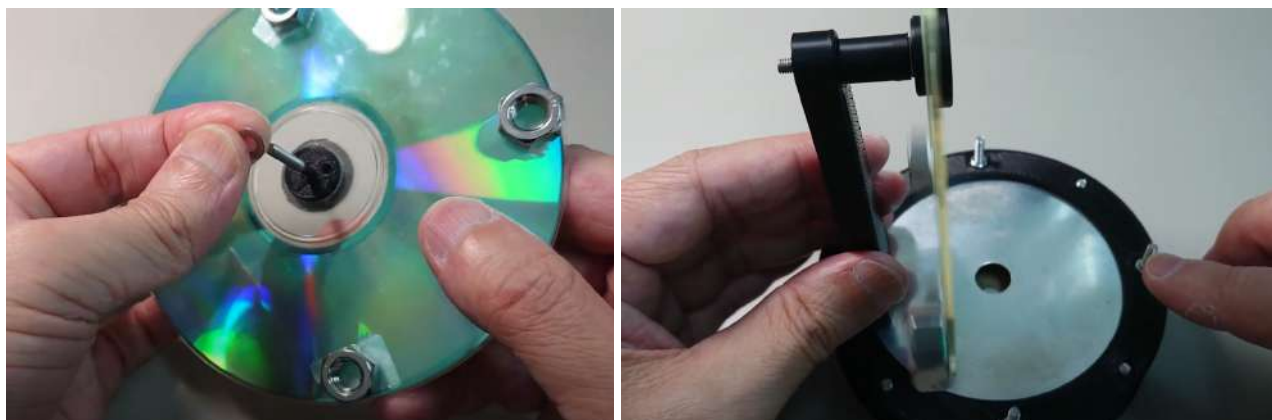


図6 γ 型スターリングエンジンの動作の仕組み

4. スターリングエンジンの組立と動作実験

今回は、 γ 型スターリングエンジンの組立の一部を体験してみましょう。まず、図7のようにナットのおもりを付けたフライホイール(廃棄CD)にボスを取り付け、その軸をワッシャとベアリングに通してスムーズに回転することを確認します。回転することを確認したら、反対側をセルフロックナットで固定します。

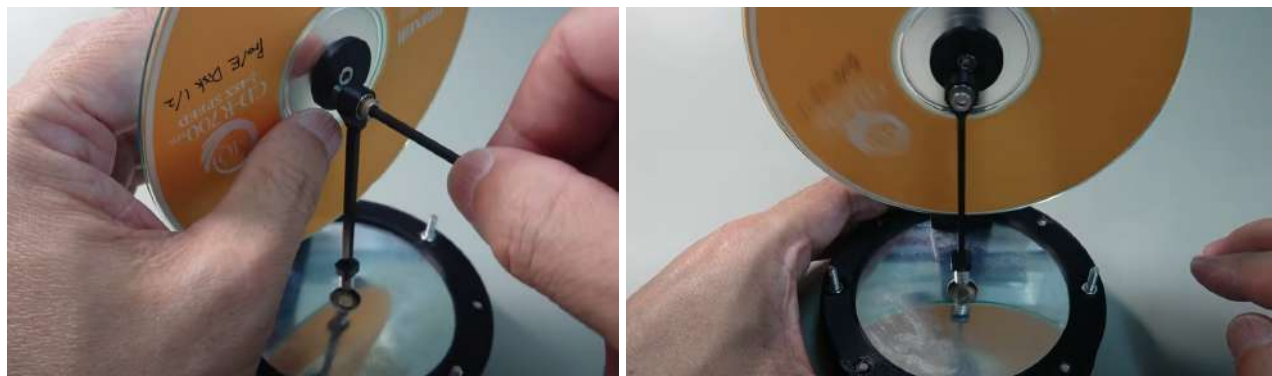


①ボスとワッシャの取付け

②フライホイールの回転の確認

図7 フライホイールの取付け(動画は[こちら](#))

次に、図8のようにコンロッドのベアリングにボルトを通し、ボスの偏心穴にねじ止めします。この時、コンロッド先端の磁石と本体内部の磁石が付かないように注意しましょう。コンロッドを取り付けたら、フライホイールを回します。フライホイールが回転するとコンロッド先端の磁石が上下し、それに反応して本体内部のディスプレイサが上下に動くことを確認します。ボスの偏心穴が時計の5時に相当する位置でディスプレイサが上がり、11時の位置でディスプレイサが下がるのが適正です。



①ボスの偏心穴への取付け

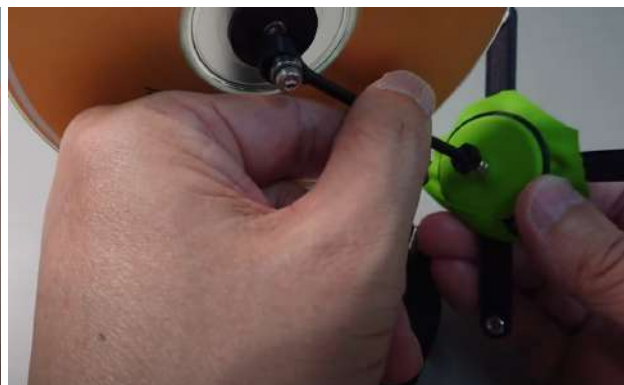
②ディスプレイサの動作確認

図8 コンロッドの取付け(動画は[こちら](#))

次に、図9に示すように、ダイヤフラムの気密確認を行います。ここで空気がもれていると、スターリングエンジンは動作しません。気密を確認したら、コンロッドの先端にダイヤフラムの磁石を取り付け、ダイヤフラムの4つのナットを本体の取付け位置に合わせます。本体の裏側からボルトとナットを通し、ダイヤフラムをしっかり固定します。この時、ダイヤフラムの4つのナットは対角順で締めるようにしましょう。



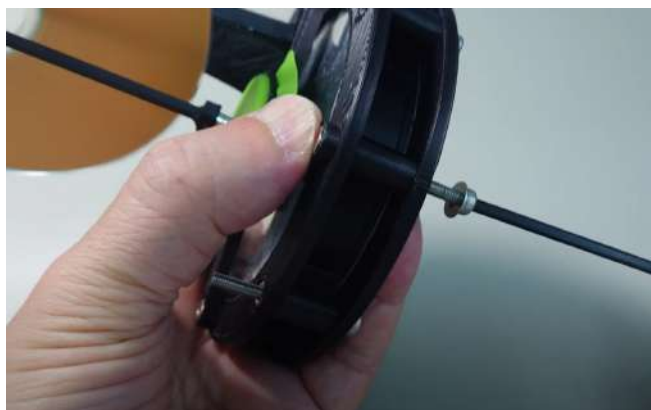
①ダイヤフラムの気密確認



②コンロッドへの取付け



③本体への位置合わせ



④ダイヤフラムのねじ止め



⑤対角順にねじ止め



⑥完成

図9 ダイヤフラムの取付け(動画は[こちら](#))

γ型スターリングエンジンが実際に動くかどうか確認してみましょう。シリンダの底面をお湯で加熱し、フライホイールを回すと連続的に回転を始めます。シリンダの上面を氷で冷却すると、さらに出力が上がります。このようにスターリングエンジンは熱源の温度差が高いほど回転出力が高くなります。図10と図11に示すように、加熱部と冷却部の温度と、フライホイールの回転数を計測してみましょう。



図10 デジタルマルチメータと温度センサの使用法



図11 デジタル回転計用の使用法