M04 模型フリーピストンスターリングエンジン Model free piston Stirling engine

○ 吉原 正一, 正 星野 健 (JAXA)
Shoichi YOSHIHARA, Takeshi HOSHINO

Japan Aerospace Exploration Agency,
7-44-1, Jindaiji-Higashi, Chofu, Tokyo 182-8522
E-mail: yosihara@nal.go.jp

1. はじめに

(財) 科学技術振興事業団と全国の国公立研究所・独立行政法人は、科学技術体験学習プログラムであるサイエンスキャンプを春季と夏季の二回開催している。サイエンスキャンプの対象は高校生であり、体験的な学習を通じて科学技術の啓蒙を行うものである。また、高校の教育現場での科学技術教育の発展を期待して、現役の先生も引率者として参加している。

航空宇宙技術研究所（現：宇宙航空研究開発機構）では、これまで、夏季のサイエンスキャンプを毎年開催してきたが、本年度初めて、春季に行われるスプリングサイエンスキャンプを3月25、26日の二日間にわたって開催した。参加者は高校生10名と引率教員1名の計11名である。本コースは、「人類の宇宙活動の発展」というタイトルのもと、スペースデブリ（宇宙のごみ）問題や、有人宇宙活動などの基礎的な座学のほかに、実習として、望遠鏡での人工衛星観察、閉鎖生態系「ミクロゴズム」の製作、固体電解質を用いた水分解、そして、スターリングエンジンの製作を行った。

本報告は、この教材用として開発した模型フリーピストンスターリングエンジンの詳細と、サイエンスキャンプ実施時の様子を述べる。

2. 模型フリーピストンエンジン

2.1 エンジンの概要

模型スターリングエンジンは、市販されているものもあり一般的になりつつあるが、クランク機構を用いたピストンの直線運動を回転運動に変換する、いわゆるコンベンショナルタイプがほとんどである。しかし、著者らは宇宙用フリーピストンスターリングエンジンの研究開発を行ってきたことから、フリーピストン型の模型を製作することにした。開発に当たっては、教材用のため熱源としてお湯を用いることを前提とし、一般の給湯器で得ることが出来る60℃程度で動作可能なことを目標とした。

製作した模型フリーピストンスターリングエンジンを写真1に、断面図を図1に示す。構成はベータ型であり、ピストンの直線運動を直接利用するため構造が簡単で効率の良いスターリングエンジンとなっている。フリーピストンエンジンは可動子重量とスプリングのバネ定数が重要な動作パラメータとなる。そのため、これらを比較的自由に変更可能なように、可動子台を設けるとともに、スプリングをOHPシートを用いた板バネとした。これにより、バネ定数が比較的自由に変更可能となっており、このエンジンの大きな特徴となっている。

注意深く作成したものは、断熱性の良いマグカップ一杯のお湯で、2時間くらい（お湯の温度が45度くらいに下がるまで）運転することが可能である。

写真1 模型フリーピストンスターリングエンジン

図1 断面図

2.2 動作原理

フリーピストンエンジンは、一般的ではない。その上、本エンジンは通常のフリーピストンエンジンと多少異なる動作をするため、ここで、図2を用いて簡単にこの模型エンジンの動作を説明する。

- ① ディスプレーサの位置：中間
パワーピストンの位置：上
この状態で、ディスプレーサが重力によって下がる
- ② ディスプレーサの位置：下
パワーピストンの位置：中間
動作空間内の圧力低下によりパワーピストンが下がる
- ③ ディスプレーサの位置：中間
パワーピストンの位置：下
パワーピストンがさらに下がると、ピストンロッドが、ディスプレーサスプリングを押し、ディスプレーサ(再生器)を跳ね上げる。本エンジンは、この動作によりディスプレーサを駆動することを特徴としており、通常のフリーピストンエンジンと異なる。
- ④ ディスプレーサの位置：上
パワーピストンの位置：中間
ディスプレーサは、跳ね上げられた慣性によりさらに上昇し、動作空間内の圧力上昇によりパワーピストンが上がる。

このように、ディスプレーサとピストンが 90 度の位相差をもって運転されている。この位相差は、低温側キャップの位置を変えることによって調整可能となっている。また、このエンジンの場合、5～10Hz の運転周波数で運転可能である。ワーピストンスプリングと可動子の重量を変えることにより、運転周波数を変化させることが出来、同時に可動子の振幅も変化する。実際のエンジンと同様に、バネを弱くしたり可動子を重くしたりすると、運転周波数は低くなる。

3. 実施

模型エンジンに割り当てられた時間は 1 時間程度であったため、参加者が機械加工を一部でも行うことは不可能であった。そのため、20 台程度の部品を我々があらかじめ製作しておき、参加者は組立てと、試運転を行うこととした。

組立ては、パワーピストンとパワーピストンロッドが接着であるが、そのほかはネジとはめ合いである。時間のかかる作業は OHP シートからスプリングを切り出す作業のみである。スプリングは数種類を用意し、可動子の重量は紙粘土と消しゴムで調整可能とした。

サイエンスキャンプでの様子を写真2に示す。初めは、動かないエンジンもあったが、可動子重量を調整することにより 11 台すべてがお湯での運転に成功した。参加者は一様に、非常に簡単なメカニズムで熱エネルギーを動力に変換することが出来るスターリングエンジンに驚きを感じていたようであった。

4. まとめ

非常に短時間であったため、十分にスターリングエンジンの「おもしろさ」を学生に伝えることが出来ず多少残念であった。また、この模型エンジンは、剛性の低いテーブル上などで動かすと、動作が不安定となるが、これは、実際のフリーピストンエンジンと全く同じである。この模型を通じ我々が、学ぶことも多かった。

図2 動作

写真2 サイエンスキャンプでの様子