

お湯を熱源とする低温度差スターリングエンジンを 搭載した模型車「HW- γ One」の開発

竹内 誠一*

Development of Model Car "HW- γ One"
Operated by the Hot Water-Powered Gamma Type Stirling Engine

Seiichi TAKEUCHI*

Synopsis: The model car "HW- γ One" operated by the hot water-powered gamma type Stirling engine was developed. HW- γ One could drive 23.49 m in 200 seconds on a flat straight line by using a hot water. The average speed was 11.8 cm/s. Therefore, it could be said that I succeeded to use a hot water as a source of power. In addition, I carried out the race which supposed HW class in Stirling techno-rally and the driving performance of the HW- γ One was compared with HW-UnitTwo loaded with the low-temperature differential alpha type Stirling engine. As a result, HW- γ One drove without stopping for 3 minutes and succeeded to drive 3 rounds and 1 block. Moreover, both of the driving speed and the mileage were more excellent than HW-UnitTwo for HW- γ One.

(Received Sep. 10.2021)

Key words: hot water-powered gamma type Stirling engine, model car, Stirling techno-rally

1. 緒 言

スターリングエンジンは、理論上カルノーサイクルと同等の熱効率が得られる点や、外燃機関であることから熱源の種類を問わないので、太陽熱や地熱といった自然エネルギーや工場からの排熱などの使用が可能であるという点が注目されており、エネルギーの有効利用の観点から、再び見直されている状況にある¹⁻²⁾。

しかし、これらのエネルギーはエンジンにとっては非常に小さいものであるため、これら小さいエネルギーであっても作動できるエンジンの開発が必要不可欠である。そこで前報³⁾では、少ないエネルギーを動力利用することを目的に、お湯で作動する α 型低温度差スターリングエンジンを搭載した模型車

「HW-UnitOne」の開発を行った。Fig.1はHW-UnitOneの外観である。平地での走行試験では、直線で8mを110秒間で走行し、お湯を動力源として使用することに成功した。しかし、一方で走行試験を兼ねて出場した第23回スターリングテクノラリー HWクラスでは4位入賞を果たしたものの、走行できたのは最初のカーブに差し掛かるまでの直線わずか0.2ブロック分のみであり、他のチームがまともに走行できなかったことを受けての結果に過ぎなかった。

低温度差エンジンと言えば、そのエンジン型式はディスプレイサーーピストン型の γ 型であるのが一般的である⁴⁾。ただ、エンジンを搭載して模型車を走行させることを勘案すれば、軽量化を図りやすいピストンーピストン型の α 型の方が有利になるのではと考え、HW-UnitOneでは α 型のエンジン型式を採用した訳であるが、小型でスピードが出やすいと

*産業技術短期大学 教授 博士(工学) 機械工学科

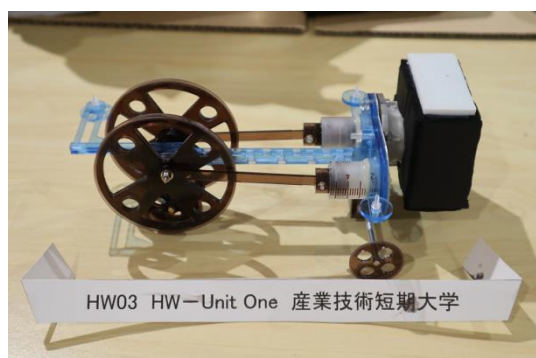


Fig. 1 Photograph of low temperature difference type Stirling engine car 「HW-UnitOne」.

思われる反面、伝熱面積が小さいので持続性に欠ける可能性がある。一方、 γ 型は α 型に比べて大型化する傾向にあるが、伝熱面積を大きくとれるのでお湯の少ない熱量を有効に利用できる可能性があり、持続性に優れるように思われる。どちらの型式もある種の利点・欠点を有している訳であるが、お湯で走行する模型車を製作するにあたっては、現状その優位性は明らかではない。

本研究では、HW-UnitOneを改良した模型車「HW-UnitTwo」の設計と開発を行ったが、それとは別に γ 型のエンジン型式を有する模型車「HW- γ One」の開発も行い、HW-UnitTwoと走行性能を比較してみた。HW-UnitTwoの詳細については別報³⁾を参照頂くとして、本報ではHW- γ Oneの仕様や性能特性、HW-UnitTwoとの比較などについて述べる。

2. HW- γ Oneについて

Fig.2は製作したHW- γ Oneの外観であり、Table1はその仕様である。フライホイールを回転させるのに単クランク機構を用いている点はHW-UnitTwoと同じであり、エンジンは重力のサイドスラストの影響を避けるため縦置き型とした。以下にエンジンならびに車両の詳細について説明する。

エンジンならびに車両本体はHW-UnitTwoと同様、基本軽くて、かつ、加工しやすいアクリルで製作している。HW- γ Oneでは、熱交換部を相当に大きくして受熱面積を増加させるとともに、空間容積の拡大によって圧縮比の低減を図る。加熱シリンダーは厚さ3 mmのアクリル板を外径95 mm、内径90 mmのドーナツ状に切断したものを5枚積層し、それに蓋とフランジを貼り合せて製作した。蓋は厚さ2 mm



Fig. 2 Photograph of HW- γ One.

Table 1 Specification of HW- γ One.

Heating cylinder	Inside diameter	90 mm
	Length	15 mm
Displacer piston	Bore×Stroke	86 mm×10 mm
Power piston	Bore×Stroke	15 mm×22 mm
Dead volume		78740 mm ³
Phase difference		90°
Compression ratio		1.049
Size	Full length	230 mm
	Car width	80 mm
	Vehicle height	205 mm
Weight	Without hot water	215.0 gf
	With hot water	302.0 gf

のアクリル板を上記のドーナツ状アクリル板と同形に切断したうえで溝を掘り、その溝に厚さ0.5 mmのアルミ板をはめ込んで製作しており、お湯の熱がなるべく加熱シリンダー内に伝わるように工夫してある。蓋となるアルミ板の上に市販のアイスクリーム容器の底を切断したものを接着固定してお湯タンクとした。エンジン作動時はなるべくお湯の温度が下がらないよう、お湯タンクを発泡スチロールで覆ったうえで同じく発泡スチロールの蓋をするという処置を施すようにしている。なお、エンジンを作動させる際にはタンク内に87.0 gのお湯を供給してお

り, HW-UnitTwo の 13.0 g と比較すると約 6.7 倍の量となっている。

この加熱シリンダーにゴムパッキンとエンジンの架台となるアクリル製プレートを取り付けた。架台にはディスプレイサーピストンのシリンダーとパワーピストンのシリンダーが取り付けられており、さらにこの架台に 2 本の支柱を取り付けて車両ベースと接続した。支柱は厚さ 3 mm のアクリル製プレートを 2 枚貼りあわせただけで、さらに上下に厚さ 2 mm のアクリル製プレートを 1 枚ずつ貼りあわせるようにして製作することで曲げに対する耐性を強化させた。

ディスプレイサーピストンおよびそのシリンダーには、1 mL ガラス製注射器を所定の長さに切断したものを用いた。それぞれ長さはシリンダーが 20 mm、ピストンは 45 mm である。そのピストンの先端に Fig.3 に示す厚さ 5 mm の発泡スチロールを直径 86 mm の円盤状に切断して作成したディスプレイサーを取り付けた。なお、ディスプレイサーピストンのストロークは 10 mm であり、ヘッドのクリアランスは 1 mm となっている。加熱シリンダー内の死容積は Table1 に示す通りである。

一方、パワーピストンおよびそのシリンダーには、10 mL ガラス製注射器を所定の長さに切断したものを用いた。それぞれ長さはシリンダーが 45 mm、ピストンは 20 mm である。ボアは 15 mm で、ピストンのストロークは 22 mm としたので、掃気容積は 3888 mm³ である。ディスプレイサーピストンおよびパワーピストンは、ナックルジョイント、コンロッドを介してクランクディスクに直結させており、そこで両ピストンに位相差を設けた。 α 型と違い、加熱シリンダー内の死容積が大きいので両ピストンの位相差は 90° である。これにより、本エンジンの圧縮比は 1.049 となる。フレームの中央に配置したフライホールは直径 30 mm、厚さ 5 mm のステンレス製円盤であり、軸受けにはミニチュアベアリングを用いて回転時の抵抗を軽減させた。

エンジンの動力はプーリーを介してゴムで後輪に伝えるようにした。このときのプーリー比は 1:6 であり、HW-UnitTwo と同じである。

この HW- γ One も HW-UnitTwo と同様にそのままではカーブを曲がることができない。そこで、HW-UnitTwo で施した前輪部の改良を HW- γ One に

も施した。前輪部の外観を Fig.3 に示す。前輪の向きを自由に変えることができるようにしたうえで、ガイドローラーは長さ 100 mm のアクリル製プレートの先端に取り付け、なるべく前方で壁に当てるようにした。なお、HW-UnitTwo はガイドローラーを外壁側の片方にのみ取り付けられていたが、HW- γ One の方は内側にも取り付けられた。

HW- γ One のサイズは全長 130 mm、車幅 80 mm、車高 205 mm となっている。車両の全重量は 215 gf (お湯を含めない場合) であり、お湯を含めると 302 gf である。HW-UnitTwo の重量が 129.0 gf (お湯を含めない場合、お湯を含めると 142.0 gf) であるので、お湯を含めると 2 倍を超える重量となっている。

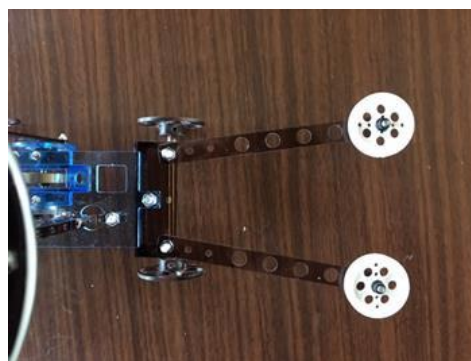


Fig. 3 Photograph of the driven front wheel part and guide roller.

3. HW- γ One の動作確認について

次に、HW- γ One の動作確認を行った。タンクにお湯を入れてフライホイールを回転させたところ、エンジンは自立回転を行い、無負荷状態でフライホイールの最高回転数 522 rpm (フライホールのみの場合である) が得られた。次に 3 号館 2 階の廊下 (屋内) にて、HW- γ One の走行試験を行ったところ、直線で 23.49 m を 200 秒間で走行した。平均走行速度は 11.8 cm/s であった。これにより γ 型のエンジン型式でもお湯を動力利用することに成功したといえる。なお、HW-UnitTwo は同条件の走行試験において、直線で 6.30 m を 60 秒間で走行し、平均走行速度は 10.5 cm/s であった。このことから、HW- γ One は HW-UnitTwo の 2 倍の重量があるが、走行距離も走行速度も HW-UnitTwo を上回る結果となった。ただし、前章で述べたように、HW- γ One が搭載し

ているお湯の量は HW-UnitTwo の 6.7 倍であり、お湯 1 g あたりの走行距離で比べると、HW-UnitTwo が 0.485 m であるのに対し、HW- γ One は 0.270 m となっており、半分程度の距離しか走行できていないことになる。このことから、重量がある分、効率の面では劣っていると言えないことはない。

4. 模擬レースの結果について

Fig.4 に示す市販のミニ四駆用走路を実験実習棟 燃焼工学実験室内に設置し、HW-UnitTwo と HW- γ One で模擬レースを実施した。なお、レースはスターリングテクノラリーHW クラスのレース規定⁶⁾に準拠して実施した。

レースの結果、HW-UnitTwo はスタートから 88 秒後に途中停車し、走行距離は 1 周と 0.5 ブロックであったのに対し、HW- γ One は 3 分間一度も止まることなく完走し、3 周と 0.1 ブロックを走行した。単純に 2 つの機体の優劣を比較するという観点では、HW- γ One の方に軍配があがったといえる。なお、第 24 回スターリングテクノラリーHW クラスに出場していたと仮定すると、HW- γ One の成績は 4 位入賞に該当するものであった。

レースを通じての所見として、HW- γ One はエンジンが大型であるためか予想以上にパワーがあり、お湯を搭載した車体重量はかなり重いにもかかわらず、コースを走行させるだけの十分な能力があることが分かった。走行可能であるとなれば搭載できるお湯の量が多いというのは利点でもあり、お湯が冷めにくくなる分、走行能力の持続性も高くなると考えられる。3 分間の走行距離を競うこのレースの特

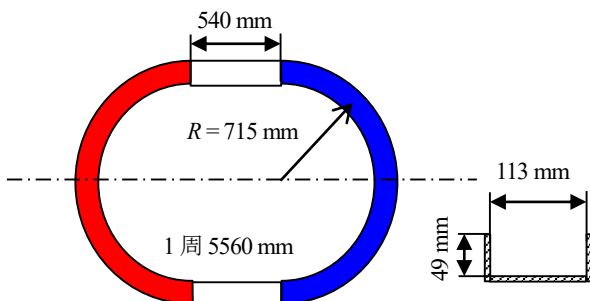


Fig. 4 The course of HW class in Stirling Techno-Rally.

性上、持続性が高いということは有利に働くと言えるだろう。一方で走行能力をより向上させるためには全体の軽量化が必要不可欠であるが、元々大型化しやすい傾向にあり、それに耐えるべく強度も必要となることから、大幅な軽量化を図りにくいところがある。それを如何にして軽量化できるかが課題であるといえる。

一方の HW-UnitTwo はエンジン出力が小さいのと搭載できるお湯の量があまりにも少ないという問題があった。このことから機体の走行性能自体は HW- γ One の方が優れていると言えるが、今回の比較だけでエンジン型式は γ 型の方が有利であると結論づけることはできないので、さらなる検討を行っていく必要がある。

5. 結 言

エンジンにとっては小さいエネルギーでもあるお湯を動力源として使用することを目的に、お湯で走行できる模型車「HW- γ One」の設計・開発を行った。その結果、以下の結言を得た。

1. HW- γ One は縦置き型のエンジンであり、フライホイールを単クランク機構で回転させるだけのシンプルな構造を持つ車両である。3 号館 2 階の廊下（屋内）にて行った走行試験では、直線 23.49 m を 200 秒間で走行した。平均速度は 11.8 cm/s であった。これにより γ 型のエンジン型式でも 100°C のお湯という低エネルギー源を動力利用することに成功した。
2. スターリングテクノラリー HW クラスを模擬した走行試験を行った結果、HW-UnitTwo はスタートから 88 秒後に途中停車し、走行距離は 1 周と 0.5 ブロックであったのに対し、HW- γ One は 3 分間一度も止まることなく完走し、3 周と 0.1 ブロックを走行した。このことから、機体の走行性能は HW- γ One の方が優れているといえる。

謝 辞

2020 年度卒業研修において、HW- γ One の設計・製作に取り組んでくれた竹内研究室グループの学生諸君に深甚の謝意を表します。

参考文献

- 1) 生方友和, 齊藤剛, 濱口和洋: 第 21 回スターリングサイクルシンポジウム講演論文集, **63**(2018) 7-12.
- 2) 関谷弘志, 君島悠斗, 松原光佑, 中原航, 宮田光: 第 22 回スターリングサイクルシンポジウム講演論文集, **319**(2019)14-20.
- 3) 竹内誠一: 産業技術短期大学誌, **54**(2021)89-94.
- 4) 竹内誠一, 堂原教義: 産業技術短期大学誌, **38**(2004)9-14.
- 5) 竹内誠一: 産業技術短期大学誌, **55**(2022) 投稿中.
- 6) スターリングテクノロジー公式サイト, <<http://www.stirling.jp/>>, (参照 2021-08-27).