

模型スターリングエンジンカーの設計・製作（第2報）

－スターリングテクノラリーに向けた取り組み－

生産技術科 奥田 展大

Design and Production of a Model Stirling Engine Car (Part 2)

－Initiatives for the Stirling Techno-Rally－

Nobuhiro OKUDA

概要 前報では、2017年度及び2018年度に取り組んだ模型スターリングエンジンカーについて報告した。本報は、2019年度において前報での課題であった走行できなかった原因を究明し、走行できるよう改善してきた内容と新たな見直しについて報告する。

1. はじめに

毎年11月に開催されているスターリングテクノラリー（以下、本競技会という）への参加を目標に2017年度から総合制作実習の一環として模型スターリングエンジンカー（以下、車両という）の設計・製作に取り組んでいる。

前報¹⁾で報告した通り、2018年度の車両はエンジンのみ稼働させることができたが、路面接地状態での走行は未達成であった。そこで、2019年度においては、まず走行させることができなかった原因を追究し、2018年度における問題点を洗い出しながら改善策を検討し、その考えに基づき新しい車両の設計・製作を行うことにした。

2. 問題点について²⁾

2018年度における問題点として以下の4点が挙げられる。

・問題点①

スターリングエンジンの出力は非常に小さく、重いものを動かすことはできない。2018年度の車両質量は約2300gであったが、その中でもフライホイールの質量は、760gもあり、車両全体の約3割を占めている。車両全体の軽量化を図るには、フライホイール自体を軽くする必要がある。

・問題点②

2018年度の車両では、図1に示すようにクランク軸を1個のベアリングで支えている。このため、フライホイール側に軸が傾いた状態でフライホイールを回転させたことにより振れが大きくなり、その結果、本来のエンジン出力が出ていないと考えられる。

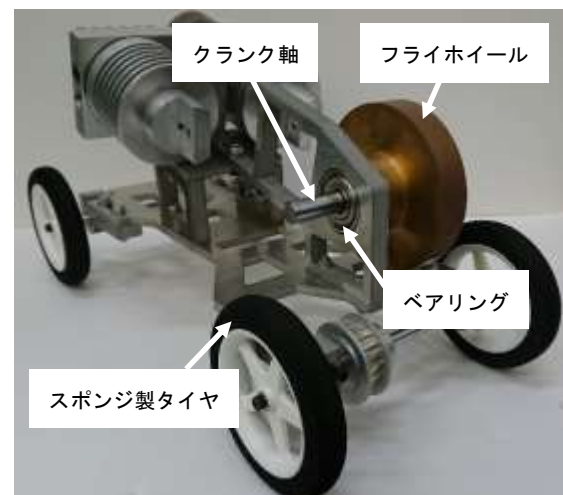


図1 一点支持

・問題点③

地面に接地したタイヤは車両自体の重みで変形する。2018年度の車両では、図1に示すようにラジコンで使用されているタイヤを採用していた。このタイヤはスポンジ製となっており、タイヤの変形を大きくしてしまう。

図2に示すように車両が動いているときの運動エネルギーの一部は、タイヤの変形エネルギーとして使用される。また、タイヤの変形が元に戻る際、運動エネルギーに再変換され、その過程で熱が生じ、熱エネルギーに変換されてしまうことでエネルギー損失となる³⁾。

このことから、走行できなかつた原因はタイヤの硬度によるものだと考えられる。

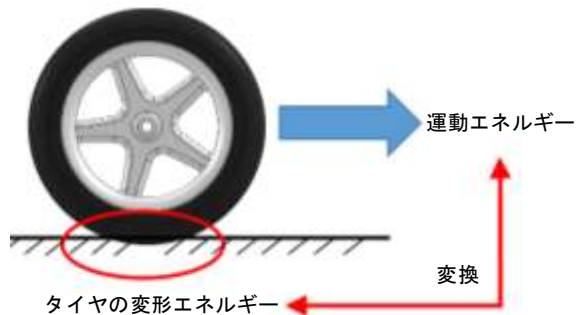


図2 タイヤの変形

・問題点④

2018年度の車両では、熱源（ガスバーナ）が搭載されていなかった。これまでの走行実験では人がガスバーナを持って加熱ヘッドを熱していたため、加熱する範囲にムラができ、熱量不足が生じたと考えられる。

3. 改善策について²⁾

問題点①を改善するため、真鍮のみで製作されていたフライホイールを図3に示すように内側の材質をアルミニウムに変更することにより軽量化を図った。また、フライホイールとしての機能を維持するため、外側の材質については真鍮のまま使用することとした。これにより、フライホイールの質量は215gとなった。



図3 フライホイール

問題点②を改善するため、図4に示すようにベアリングホルダを2個配置した。このことにより、クランク軸を2個のベアリングで支えることで、フライホイールの振れが小さくなり、機械的損失を抑えることができた。また、車両のバランスを考慮し、フライホイールを2個取り付けることにした。

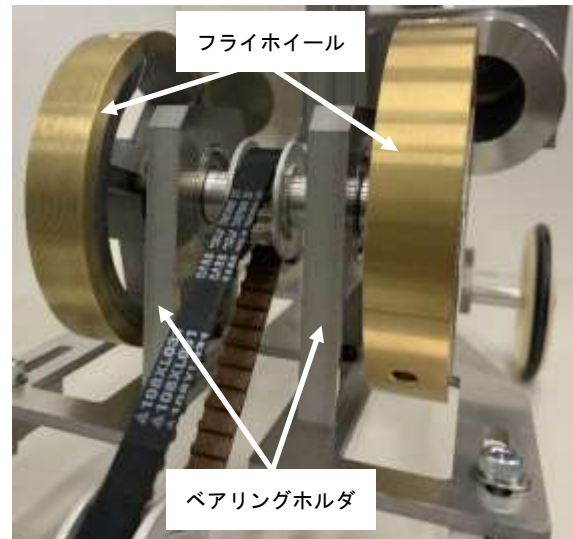


図4 二点支持

問題点③を改善するため、図5に示すようにOリングを用いて変形の少ないゴム製タイヤに変更した。また、スポンジ製タイヤと同じ質量となるよう3D-CADにより質量計算を行い、3Dプリンタを使用して樹脂製のホイールを製作した。

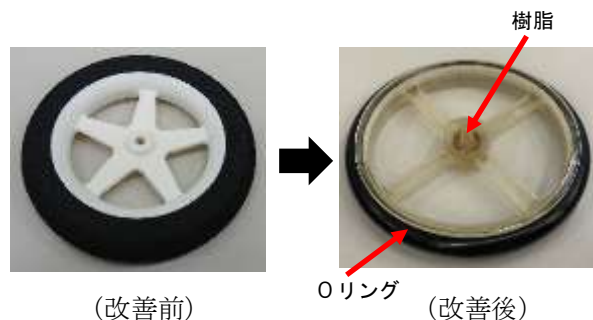


図5 タイヤ

問題点④を改善するため、雨どい固定金具を参考にワイヤ放電加工機を用いて、ガスバーナ取り付け用ホルダを製作した。また、エンジン稼働実

験から加熱ヘッドの上部を熱しているとき、最も回転数が高かったため、それを基にガストーチの傾き調整を行った。なお、図6にガスバーナを車体に取り付けた状態を示す。

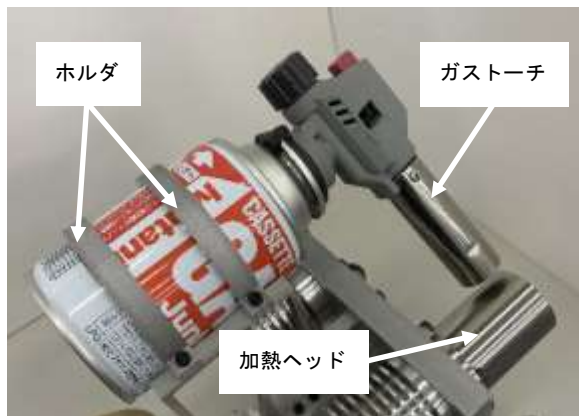


図6 ガスバーナの取り付け

4. 走行実験

先に述べた各改善策を施し、走行実験を試みた。この走行実験では、路面接地状態での走行が可能かどうか検証するため、前輪操舵部は組み付けず、直線走行のみで実施した。その結果、ゆっくりであるが、走行させることに成功した。なお、図7に2019年度に製作した車両の外観を示す。



図7 製作した車両の外観 (2019年度)

5. 前輪操舵部の見直し⁴⁾

2017年度から継承している前輪操舵部は、パラレルステアリング機構となっており、図8に示す

ように内側タイヤと外側タイヤが平行に動き、同じ切れ角となる。したがって、左右のタイヤが旋回する際、旋回中心が異なり、同心円とならないため、横滑りが生じ、その摩擦によってエネルギー損失が起こる。

そこで、この問題を改善するため、図9に示すアッカーマン・ジャントー理論に基づいたステアリング機構に変更した。アッカーマンステアリング機構とは、前輪の切れ角である内側タイヤと外側タイヤと後輪の旋回中心が同一点になるように切れ角を式(1)より求めたステアリング方式である。

$$\frac{1}{\tan \beta} - \frac{1}{\tan \alpha} = \frac{T}{W} \quad (1)$$

ここで、 α : 内側タイヤの切れ角[°]、 β : 外側タイヤの切れ角[°]、 W : ホイールベース[mm]、 T : トレッド[mm]である。

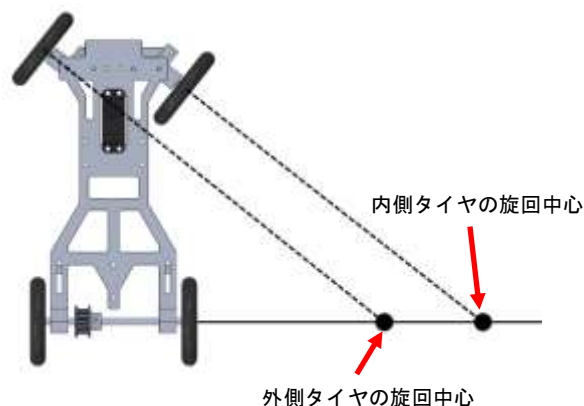


図8 2017・2018年度の前輪操舵部

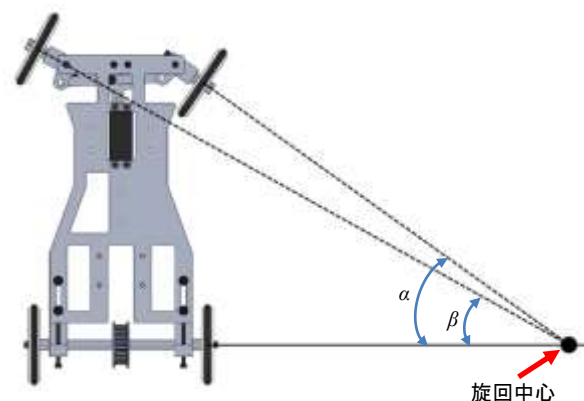


図9 2019年度の前輪操舵部

図 10 は、試作した前輪操舵部の外観を示しており、両タイヤはタイロッドと左右のナックルアームで形成される台形リンク機構に接続されている。サーボを操作するとタイロッドが左右に動き、それと繋がっている左右のナックルアームが連動して、両タイヤの向きが不均等に变化する。

図 9 のようにステアリングを右に切った場合、タイロッドが左に動き、左側のナックルアームが押されてタイヤは右を向き、右側のナックルアームは引っ張られて左に動く。このとき、リンク機構が台形のため、左右のナックルアームの動きに差が出て、内側タイヤの切れ角は外側タイヤの切れ角より大きくなる。なお、図 11 に 2019 年度に設計した車両モデルを示し、表 1 にその車両の主要諸元を示す。

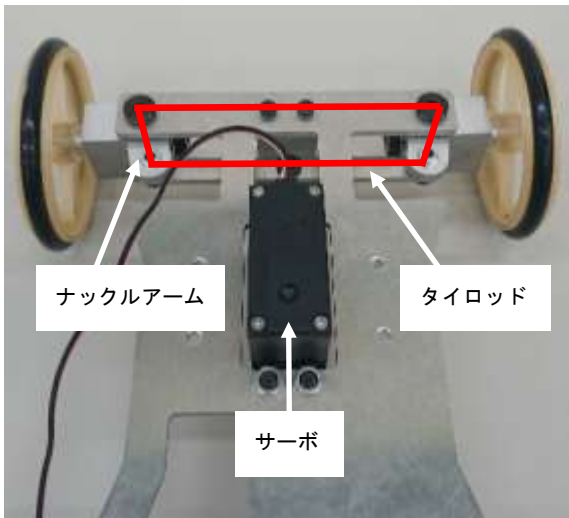


図 10 試作した前輪操舵部の外観

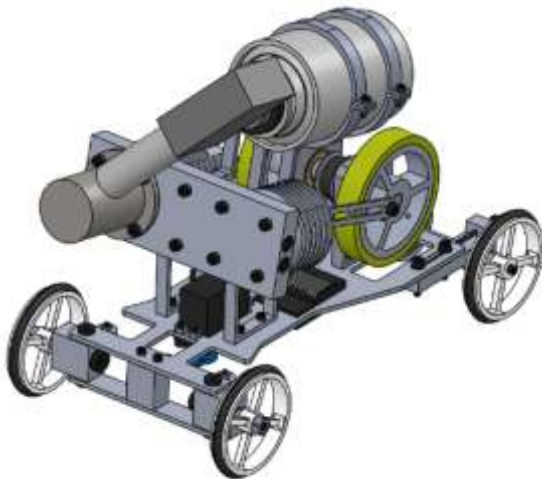


図 11 車両モデル (2019 年度)

表 1 車両の主要諸元 (2019 年度)

エンジン形式	α 形
ボア×ストローク	$\phi 30 \times 20\text{mm}$
出力/回転数	$5\text{W} / 1096\text{min}^{-1}$
加熱形式/冷却形式	ガスバーナ/空冷
車両質量	2000 g
全長×全幅×全高	$308.7 \times 169.2 \times 266\text{mm}$
ホイールベース	239.5mm
トレッド	149mm

6. おわりに

本報では、2019 年度に取り組んだ車両の設計・製作について報告した。

2017 年度からこのテーマで学生たちと共に取り組み始めて 3 年間の経過したが、ようやく車両を走行させるところまで来た。

しかしながら、本競技会での RC クラスにおける公式記録を見ると、周回路 2 周 (約 50m) の走行において 60 秒以内のタイムを出さなければ入賞できない⁵⁾。よって、現段階では本競技会へ参加できるレベルに達していない。

今後は、試作した前輪操舵部を取り付け、走行実験を繰り返しながら、60 秒以内のタイムを出せるよう改良を加えていき、本競技会へ出場できるよう頑張っていきたい。

文献

- 1) 奥田展大：模型スターリングエンジンカーの設計・製作-スターリングテクノラリーに向けた取り組み-。島根職業能力開発短期大学校紀要，第 4 号，pp. 6-10, 2019.
- 2) 那須壮希，松浦享平，屋城勇介：スターリングテクノラリー大会に向けた車両製作。ポリテクカレッジ島根 2019 年度総合制作発表会概要集，2020.
- 3) タイヤ熟考 Ver1「転がり抵抗」≠「タイヤと地面との摩擦による抵抗」
<http://morimotty.com/truth-of-tire-rolling-resistance/>
- 4) 自動車用語辞典：ステアリング「概説」
<https://news.nicovideo.jp/watch/nw5703162>
- 5) スターリングテクノラリー公式サイト
<http://www.stirling.jpn.org/>