SM10 β 型模型スターリングエンジンカーの設計・製作

Designing and Producing of β Type Model Stirling Engine Car

正 龍 大光 (千葉職能短大)

Taikoh RYU, Chiba Polytechnic College, Tonyacho2-25, Chuo-ku, Chiba

1. はじめに

最近、電気自動車やハイブリッドカーなどガソリン以外をエネルギー源とする車の開発が盛んに行われている。外燃機関であるスターリングエンジンは静粛で、低NOxなどの低公害であると同時に、理論的に高熱効率を持っていることから省エネに向きであるといわれている。

さまざまな模型スターリングエンジンについて濱口ら¹⁾によって研究が行われた。スターリングエンジンの原理について多くの書籍が出版されている^{2) 3) 4)}。

本研究では方向制御の問題や軽量化の問題などを念頭に入れて、 β 型模型スターリングエンジンを設計・製作し、さらに走行車に搭載して車としての可能性について検討を行ったので、ここで報告する。

2. スターリングエンジンの設計

スターリングエンジンの設計条件として、ピストン直径(ボア)、ストロークなどが挙げられるが、それらはシュミットの式にもと付いて設計できる。

本研究では特に次のことについて考えてみた。

I. 位相差

パワーピストン(P・P)とディスプレーサ(D・P)の位相差は理論的に 90° が最も良いとされているが、以前の著者の研究結果⁵⁾から相互干渉や圧力変化などを考慮して今回は最小位相差 70° とした。

II. ストローク

スターリングエンジンのストロークは行程容積比によって決まる。 β 形スターリングエンジンの場合、P・PとD・Pとの行程容積比で、通常は1以下とする。行程容積は次の式で計算される。

$$V = D^2 / 4 * \pi * St \quad \text{①}$$

ここで、DはとD・Pのボア(直径)、Stはそれぞれのストローク、Vはそれぞれの行程容積である。

Table 1 β - Model Stirling Engine specifications

Engine		No1, 2,3	No.4
Displacement Volume		31.4cc	22.7cc
Power Piston (P・P)	Stroke	25mm	25mm
	Boa	ϕ 40mm	ϕ 34mm
	Volume	31400mm ³	22687mm ³
Displacer Piston (D・P)	Stroke	32mm	32mm
	Boa	ϕ 38mm	ϕ 32mm
	Volume	36273mm ³	25723mm ³
Phase Difference		70°	70°

まず、P・P側のボアを40mm、ストロークを25mmと仮定すれば、①式より行程容積が31.4cm³となり、目標値の30ccに近い。D・Pとシリンダとのクリアランスを1mm程度とすると、D・PのボアDは38mmとなり、ストロークStを32mmと仮定すると、①式から行程容積Vが約36.3ccと計算できる。このとき、行程容積比kは0.87となり、 $k \leq 1$ である条件に満たされる。

従って、仮定していたSt=32mmは適切とみることができ。一般的にストロークを短くすると高回転型、長くすればトルク型となるので、決定段階での相方のかねあいが必要となる。

本研究で製作した β 形エンジンの内部仕様をTable 1に示す。

3. 部品の加工

I. 機械加工

製作を念頭に入れて、ネジ類を除いて殆ど全ての部品を汎用旋盤、フライス盤、MC(マシニングセンター)、ワイヤカットなどを用いて加工した。Table 12に各部品の加工工程を示す。加工精度に関しては、シリンダ内径はシリンダ内部の作動ガス即ち空気を逃がさないために、 $\pm 0.01\text{mm}$ 以内の精度が要求される。

II. 硬質アルマイト処理

スターリングエンジンは基本的に無潤滑で作動するため、P・Pとシリンダ内径の接触面での摩擦抵抗や摩耗を極力抑える必要がある。今回は、P・Pは旋削後、表面に硬質アルマイト処理を施し、シリンダ内径の加工にはスパロールを用いた。

アルマイト処理は、Fig.1に示すように、加工物の表面に酸化膜アルマイト層を電氣的に作るために耐磨耗性に優れている。

Fig.1 Anodizing on Aluminum and Hardening test

Table 2 Manufacturing of each Parts

Lathe NC Lathe	Cylinder, Gap Tire, Crank, Piston Displacer Piston
Machining Center	Boring, Lightweight
Wire Cut	Crank Case Body Connection Rod

Ⅲ. スパロール。

Fig. 2 に示すように、スパロールは、円筒の内径をローラで広げながら押しつぶして精密に仕上げる工具である。加工面は鏡面に仕上がり耐久性に優れている。加工前の粗さ $Ra0.84\mu m$ に対して、加工後は $Ra0.21\mu m$ の良好な面となった。

Fig.2 Mechanism of the Superroll(Rolling)

Fig.3 Result of Hardening test

Fig. 3 に示すように、加工前の材料ジュラルミン (A2017s) に比べて、加工後の硬さが 2 倍以上に増えた。これは加工硬化と加工中に高熱が発生したことにより、熱処理されたと考えられる。実際に、一回の加工ができなくて、チップ(突切りバイト)を冷やしながらかつた。

アルマイト処理後の硬さが予想より低かったのは Fig. 1 に示すように、硬化層が薄く (約 $20\mu m$)、硬さ試験機の圧子が硬化層を破って加工硬化した下地を測定したと思われる。

4. スターリングエンジンカーの組立

Ⅰ. コーナリングの走行と軽量化

昨年のテクノラリーから、前輪を左右に駆動する変更の必要性が生じた。そこで、最前部にベアリングを横に取り付けて、前輪はキャスターに替えて製作したため、コーナリングをスムーズに走行できた。軽量化のために穴を大きく明けたり、肉抜きをしたりして、Fig.5 の 4 号機は 1 号機に比べ約 3kg の軽量化に成功した。

Fig. 4 に示すように、一号機に比べて、ボアが 40mm に対して、34mm にしただけで、重量が半分前後。軽量になった。加熱部も軽量化に大きな影響を与える。図示していないが、ボディに穴だらけに肉抜きしたにもかかわらず、それほど軽量化が実現できなかった。

Ⅱ. 空冷と水冷

スターリングエンジンを作動させるには、理論上、加熱部と冷却部との温度差が大きいほど熱効率がよい。1 号機では、冷却部を空冷していたが、熱効率が上がらな

Fig.4 Comparison between lightweights of each part

Fig.5 Comparison between engine car' lightweights

Fig.6 β・Model Stirling Engine Car

いので 2 号機では水冷式にした。更に、水の代わりに氷も入るように設計・変更し直して、スピードを上昇させることができた。

5. おわりに

模型β型スターリングエンジンカーを設計・製作した。今後は、人間乗車タイプを製作し、ガソリンエンジンの代わりになる乗物として開発することを目指している。

参考文献

- 1) 濱口和洋ら：模型スターリングエンジン、平成 9.4、山海堂
- 2) 一色尚次：スターリングエンジンの開発、1982.7、工業調査会
- 3) 兵働務・米田裕彦：スターリングエンジン、平成 2.1、パワー社
- 4) 山下巖ら：スターリングエンジンの理論と設計、平成 11.7、山海堂
- 5) 龍大光：スターリングエンジンの設計・製作、1999.3、高知職業能力開発短期大学校第 3 回研究発表会