

# V形スターリングエンジンカーの試作 (第7報, 第8回スターリングテクノラリー)

遠山 壽

## 1. はじめに

自作模型スターリングエンジンカーから発展した、人間が乗車できる同エンジンカーの製作は、知的好奇心を刺激する教材として高校、高専および大学の課題研究のテーマに活用されるようになってきた。しかし、人間が乗車できてもスピードは遅く、まだまだ課題が多い。筆者は、2000年に3気筒のスターリングエンジンカー、2003年にはV形6気筒のエンジンを搭載した車両(V6ベータ)を試作した。それらの性能を試す場として、“第4回～第7回スターリングテクノラリー”に出場した。それらの概要と大会結果は前報で報告した<sup>1)~3)</sup>。その後、前報での検討課題であったディスプレイサやクランクケースの改造など(後述)を行い、車両のタイム・アップを図った。

本稿では、V6ベータに施した改造の概要と“第8回スターリングテクノラリー”の競技結果について報告するとともに本学以外の参加車両の概要について述べる。

## 2. 改造の概要

今回改造したβ形エンジンのV形6気筒スターリングエンジンカーの外観を図1に、その諸元を表1に示す。

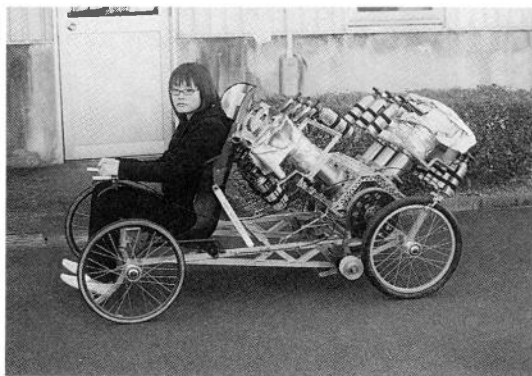


図1 V形スターリングエンジンカー

表1 試作車諸元

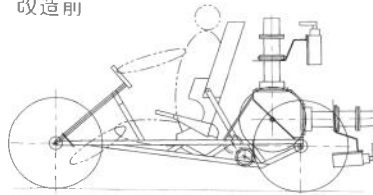
エンジンの形式	β形 V6気筒
ディスプレイサ	ボア×ストローク φ80×50
パワーピストン	ボア×ストローク φ82×40
位相差	75°
加熱源	ガスバーナー
最高回転数	350rpm
トレッド：前	840mm
：後	870mm
ホイールベース	1295mm
全長	1900mm
全高	980mm
車両重量	92kg
フレーム材質	アルミ合金

図2は、改造前と改造後の加熱カバーボックスを外した状態の車体試作図である。

エンジンは、図2の改造後の試作図に示すように、単体エンジンをV形(90度)に配置した6気筒エンジンである。各単体のエンジンは、 $\beta$ 形エンジン<sup>1)</sup>で、図3に示すようにパワーピストンとディスプレイサを同一シリンダに配置した構造である。スライドシャフトがパワーピストン中心部の穴を通して摺動し、スライドシャフトに合体したキャップとディスプレイサがシリンダ及び加熱器内を約1mmの隙間を保持して上下する。それによって作動空気を高温側、低温側に移動させる。この場合、パワーピストン中心部の穴の精度やスライドシャフトの剛性が不十分だと作動中に長いディスプレイサの先端部分が傾き、加熱器の内部壁面に当たって擦る状態になる。改造前の車両は、図2に示すようにV6エンジンの片側3気筒を水平方向とする(L形)状態に搭載したため、上記の原因でディスプレイサ先端部分が加熱器の内部壁面と擦りあい、摩擦抵抗を大きくしてしまった。改造後の車両は、V形の状態で作動させたため、長いディスプレイサ先端部分が傾きにくくなり擦りあう部分が緩和された。しかし、6気筒の内、2気筒は部品の加工精度が悪く改善しきれなかった。そこで、図3に示すように、スライドシャフトと合体しているディスプレイサ・キャップ中心の雌ネジ部分を旋盤の偏芯加工で上方にオフセットさせ、先端部分が作動中に擦らないようにした。

クランクケースは、図4に示すように補強のリブを出力軸のベアリング受け部だけでなく、シリンダ取付け板にも事前に組み立て溶接することで、クランクケース全体のねじりの度合いを少なくし剛性を高めた。また、シリンダ取付け板以外にも穴をあけ、軽量化と溶接によるひずみを吸収させた。前回の試作では、出力軸のベアリング受け部のみリブで補強し、中実丸棒を通した状態で溶接

改造前



改造後

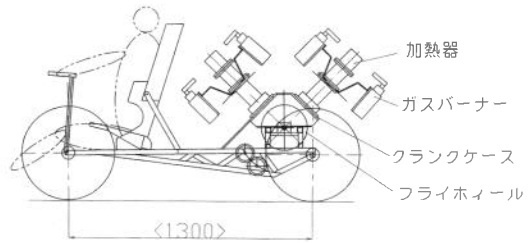


図2 車体試作図

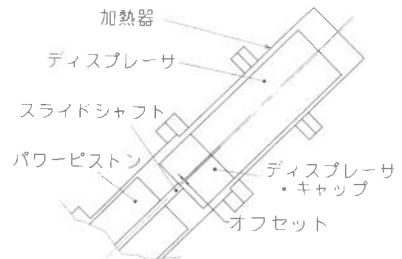


図3 キャップねじ部

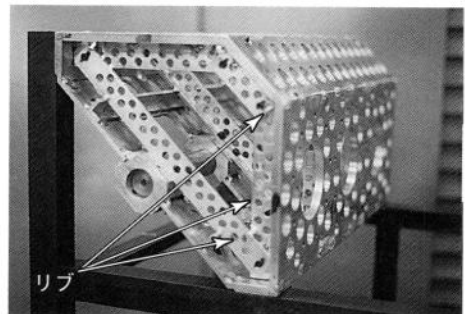


図4 クランクケース

を行ったが、クランクケース全体のねじりの度合いが大きかったため、出力軸とコンロッドの連結部分において抵抗が増し出力を妨げていた。

加熱方法は、図2の改造後の試作図に示すように、エンジンをV形の状態ですべての面に搭載したので、バーナーを追加して両サイドから加熱するようにした。改造前の加熱器内部の温度は、一方向からバーナーを当てても反対側が空冷され十分上昇しなかったためである。両サイドからバーナーを当てることで加熱器内部の温度上昇が早くなり、エンジンの回転数がスムーズに上昇し、最高回転数は前回の300rpmから350rpmに上がった。

### 3. 大会の概要と結果

今回の大会は、2004年11月8日、埼玉県南埼玉郡に所在する日本工業大学で行われた。

競技種目は、ノーマルサイズクラス（長さ600mm×幅280mm以内、高さ制限無し、加熱方法は、搭載した加熱源のみで行うものとし他の方法による加熱は不可）、ミニサイズクラス（長さ180mm×幅105mm×高さ90mm以内）、人間乗車クラス（ドライバーが安全に走行できるサイズで2輪、3輪、4輪可能）の3部門（以後N、M、Lクラスと称する）に分けられた。競技方法は、Nクラスは2コーナーを含む50m、Mクラスは9mの周回コースを一周、Lクラスは平坦な舗装路面100mの直線コースとし、2回の走行で速いタイムを公式記録とする。

表2～4に、N、M、Lクラスの出場台数と上位の公式記録、表5にアイデア賞、奨励賞のチームを示す。本学チームは、表4に示すようにLクラスでは優勝したが、Nクラスでは、エンジントラブルで走行できなかった。

今回の大会から、Lクラス出場車両のスタート方法が少し変わった。エンジンの動力を駆動輪に伝える前に、スタートライン手前で一人が一步分だけ弾みをつけて押すことになった。前回の大会までのスタート方法は、きびしい規定がなくチームによってはスタートラインの数メートル前から、数人で力いっぱい弾みをつけて押していた。自作エンジンによるこの大会の競技では、一般の自動車と異なり、停止状態からの走行はトルク不足で無理なので、始動時には後方から押すことで負荷を小さくしている。押した力の強さによって十数メートルも速く走ってしまうのは、本来のエンジンの性能と違った感じもあり、規定に対する非難も多かった。本学の車両は、スタート順が1番目になり、変更された上述の規定を守ってスタートさせた。車両はかなり重く、弾みを大きくつけるほど押せなかった。しかし、記録は38秒09で、スタートの規定が変更されたにもかかわらず、前回の大会の46秒20より8秒ほど速くなった。他チームは規定の変更に影響されたこともあり、出力不足で100m走行するのに一分以上も掛かっていた。本学の車両は、前節で述べたように、エンジンの搭載状態がLからV字形になり、バーナーを両側から当てることができ、エンジンの始動は滑らかで最高回転数到達も早く、エンジントラブルは無かった。

今回の大会では模型スターリングエンジンカーの参加車両は103台あり、興味深い車両も多かったため、その一部を紹介する。

表2 ノーマルサイズクラス

(一般, 大学, 高専)		出場台数34台	
順位	参加団体名	チーム名	公式記録(秒)
1	湘南EcoDrive	Tantalus	10 "43
2	大森工業高等学校	大森工業高等学校	13 "25
3	土浦工業高等学校	DoubleG-DA	17 "53
(高 校)		出場台数21台	
1	岡山県立岡山工業高等学校	岡工 2	13 "88
2	岡山県立岡山工業高等学校	岡工 4	14 "19
3	岡山県立倉敷工業高等学校	鳳凰	14 "34

表3 ミニサイズクラス

(一般, 大学, 高専)		出場台数29台	
順位	参加団体名	チーム名	公式記録(秒)
1	東京都立板橋技術専門学校	コスモ改L	2 "09
2	個人	大谷屋C改	2 "20
3	茨城県立取手第一高等学校	レガシー 3号	2 "26
(高 校)		出場台数19台	
1	岡山県立倉敷工業高等高校	風雅	1 "90
2	茨城県立取手第一高等学校	チーム取手一 課研 2号	1 "93
3	岡山県立倉敷工業高等高校	隼	1 "97

表4 人間乗車クラス

(総合)		出場台数11台	
順位	参加団体名	チーム名	公式記録(秒)
1	中日本自動車短期大学	NAC岐阜 1 (V6 ベータ)	38 "09
2	摂南大学	Team KSスターリング	85 "08
3	摂南大学	SI×3	94 "06

表5 特別表彰チーム

アイデア賞	個人・池戸勇二(ノーマル), 土浦工高職員(ミニ), 鳥羽商船高専, Team Route23三重大(人間乗車)
奨励賞	宇都宮大教育学部(人間乗車), 群馬県立渋川工高(ノーマル)

図5に示すのは、プロペラをついた車両で、Nクラス3位であった。この車両は斜板クランクを使用したエンジンカーである。高温側（スチールウールを使ったピストン）と低温側で一对のエンジンをダブルにし、コンロッドとなる4本の棒が斜板に取り付けられている。自在軸継手やピロボールを各部に設け、斜板自体は回転させないでピストンを往復運動させる。そして、出力軸先端にはフライホイールの役目も果たすプロペラがついている。また、冷却水の温度が上昇しエンジンの出力が下がれば、ホースの先端から冷水を押し入れて入れ替え、出力を回復させる。燃料はゼリー状のアルコールである。記録は17.53秒と1位の10.43秒より遅いが、プロペラがかなりの回転数で回り、燃料が激しく炎をあげて走行する姿は迫力満点で見物している学生たちの歓声があがった。

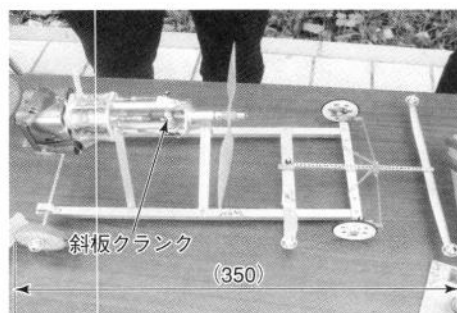


図5 プロペラをついた車両

図6には、アイデア賞を獲得した車両を示した。燃料を使わない熱源搭載タイプのエンジンカーである。爛番娘号と命名されたこの車両は、お爛機能付きカップ酒の容器をそのまま使用したエンジンで、興味深い。内部にセットされた生石灰50gの水和反応熱 ( $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2 + 15.2\text{Kcal}$ ) を熱源として走らせる。スタート時間に合わせることで約40℃の最高温度を保ったままコース50mを完走するには少し非力であったが、スターリングエンジンにおける熱源の多様性を示すものとして注目される。

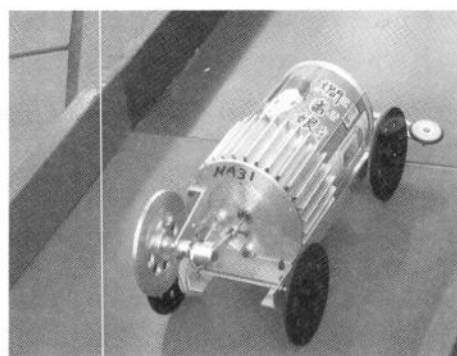


図6 水和反応熱を利用した車両

#### 4. ま と め

今回試作したV形スターリングエンジンカーの記録は、前大会出場の車両に比べ8秒速くなった。要因はクランク、クランクケース、ディスプレイサの改造、フライホイールを軽く小さくしたこと、そしてエンジンの据付け方により性能が上がったものと思われる。また図2に示したようにエンジンの据付け位置が改造前より200mm前方になったことで乗車位置が前に移り、エンジンも乗車位置も後方に重心が偏っていた前車両と比べると、車両全体のバランスが良くなったことも記録向上の要因と考えられる。

今後の検討課題は、(1)軽量化、(2)エンジン回転数の増加である。今回クランク、フライホイールなどを軽くしたが、それでも車両全体は92kgと重い。軽量化をもっと進めることが必要である。加熱器を追加したことや加熱カバーをアルミ製からスチール製に替えたため、3kg重くなってし

まった。もっと軽い加熱方式、軽いカバーはできないか検討する必要がある。特にエンジンの主要部分であるシリンダ、ディスプレイサおよび加熱器はステンレス製で重い。それぞれの肉厚の減少だけでなく代替品の考案も必要である。

エンジンの回転数を上げるためには、ピストン・ストロークを短くしなければならない。その場合、ストロークの減少した分ボアを大きくしないと出力が減少する。したがって、軽量化も考慮すると現状のボアで回転数の増加を考える必要がある。ディスプレイサの長さもバランス的に短くする必要がある。今回試作したエンジンでは、加熱部と冷却部の距離を大きくするためと作動流体の移動量を大きくするため、シリンダ径の約3倍の長さとしている。ディスプレイサは再生器(高温、低温側の作動空気の容積変化における熱の損失を少なくするためのもの)の役割も兼ねていると思われる<sup>4)</sup>。一般の大型エンジンでは、再生器がシリンダの外側に連結されるがその分エンジンが大きくなってしまう。そこで、再生器の役割を今まで以上に発揮できるディスプレイサ(例えば、内部に金網をいれて熱を蓄える)を考案したい。また、回転数が上がれば熱の移動も早いので、熱交換がうまくいかないと温度差が保てなくなる。ウォータージャケットによる冷却効果は十分あるのか、その点においても試作後の実験及び検討が必要になると考えている。

おわりに、本稿作成に際しご指導頂いた高行男教授に謝意を表します。また、走行試験などに協力頂いた2003年度生の日置雅紀と三浦愛佳さんに感謝致します。

#### 参 考 文 献

- 1) 遠山 壽：スターリングエンジンカーの試作(第4報, 第4回スターリングテクノラリー), 中日本自動車短期大学論叢, 第32号, 27-32 (2002)
- 2) 遠山 壽： $\beta$ 形エンジンのスターリングエンジンカーの試作, 全国自動車短期大学・自動車整備技術に関する研究報告誌, 第32号, 14-17 (2003)
- 3) 遠山 壽： $\beta$ 形エンジンのスターリングエンジンカーの試作(第6報, 第7回スターリングテクノラリー), 中日本自動車短期大学論叢, 第34号47-52 (2004)
- 4) 兵頭 努・米田 裕彦：スターリングエンジンの生い立ちと原理, パワー社, 64 (1990)