

自作スターリングエンジンカーにおける60分完走 (第12報, 第13回スターリングテクノラリー)

遠山 壽

1. はじめに

“ものづくり”教育の題材とした自作スターリングエンジンは、1997年より始められたスターリングテクノラリーを契機に発展してきたと考えられる。各競技種目から数々のアイデアが生まれ、商品化されたものもある。筆者は、第1回大会に3台の自作模型スターリングエンジンカーを製作し出場した¹⁾。その内の1台が奨励賞を獲得し、以来元気づけられ毎回参加してきた。

人間乗車用の自作スターリングエンジンカーは、第2回大会(1998年)において非公式にデモ走行した車両を契機に、第3回大会(1999年)より正式種目となった。大きな出力が必要であり、自力で動くことすらできないチームが多かった。筆者は、2000年に1号車を製作し第4回大会(2000年11月)に初出場でいきなり金賞を獲得した²⁾。以来2号車、3号車を製作し改造を重ねてきた。

今回の第13回大会(2009年)では、エンジン性能の目安となる熱交換の維持と、車両の耐久性において目標としていた60分間の持続走行に成功した。本稿では、人間乗車用の自作スターリングエンジンカーの製作・改造による60分走行成功に至る経緯と、“第13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。

2. 製作・改造の経緯

今回改造したV6- β (β とは1つのシリンダにディスプレイサとパワーピストンがある形式)²⁾の諸言を表1に、その外観を図1に示す。



図1 第13回大会出場V6- β

表1 試作車諸言

エンジンの形式	β 形 V形6気筒
ディスプレイサ	ボア×ストローク $\phi 80 \times 50$
パワーピストン	ボア×ストローク $\phi 82 \times 40$
位相差, 作動ガス	75°, 空気, ヘリウム
加熱源	市販ガスバーナ, プロパンガス
無負荷・最高回転数	600rpm
トレッド: 前 後	840mm, 870mm
ホイールベース	1295mm
全長, 全高	1900mm, 980mm
車両重量 フレーム材質	140kg アルミ合金

2. 1 過去の大会における車両の概要

第4回大会(2000年)では、図2に示す3気筒 β 形エンジンカーを製作し出場した。総重量70kgの軽量な車両である。ステアリングにアッカーマン方式を採用するなど、エコカー製作のノウハウを生かしている。

第6回大会(2001年)では、V2, V4- β ・模型エンジンカーを製作し出場した³⁾。図3に示すV4- β は、単体エンジンをV形90度のクランクケースに取り付け、さらにV形同士を連結したものである。加熱用ガスは、一つのボンベから銅パイプによって配管し、4気筒に供給している。

第7回大会(2003年)では、上記のV2, V4- β と1号車を参考にV形6気筒エンジンカー2号車を製作し出場した⁴⁾。図4に示す2号車のエンジンは、エンジンの安定感を考慮してV形のクランクケースをL型に配置している。しかし、多気筒の割には出力が思ったように出なかった。そこで、第8回大会(2004年)では、図5に示すように2号車のエンジンをV型に据え付け、座席位置を前方に変更した⁵⁾。それによって、改造前のエンジンのディスプレイサと加熱器内部の壁面とが作動中に接触する不具合が改善された。また、乗車時にリヤ側にあった重心がフロント側に移動し、車両のバランスが良くなった。第9回大会(2005年)から、図5に示すように大会規定が直線走行から周回コースに変更された。前大会までは、どのチームも歩くほどのスピードであったが、この車両は、8.9km/hのスピードでクルクルと実にスムーズに走行した。ギャラリーの驚き以上に筆者も興奮した。

第10回大会(2006年)では、図6に示すような3号車を製作し出場した⁶⁾。ディスプレイサは $\phi 82 \times 45$ 、パワーピストンは $\phi 84 \times 35$ で2号車のエンジンよりボアで2mm大きく、ストロークを5mm短くして回転数を上げ、出力の上昇を狙った。直列3気筒エンジンをV形に連結し、互いにV形同士の角度を自由に調

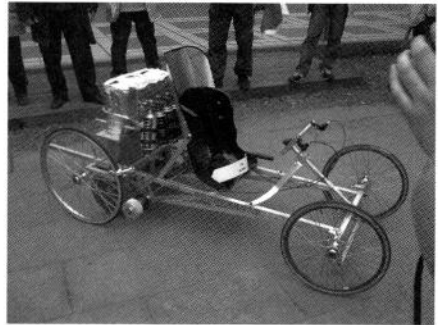


図2 第4回大会 1号車3気筒 β

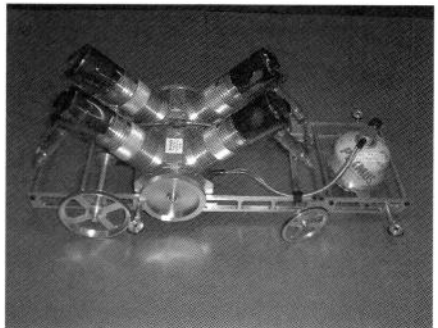


図3 第6回大会 模型V4- β



図4 第7回大会 2号車製作L形に配置



図5 第9回大会 V形に配置の2号車

整できる構造としてチェーンで連結した。加熱用ガスは、ブタンガス270gのカートリッジ12本に5kgのプロパンガス1本を加え、配管によって加熱器の両サイドから加熱した。また、加熱用に炭を風防・保温用ボックスに入れ温度上昇を試みた。しかし、この3号車は、チェーンで連結したエンジンの角度調整がうまく行かなかった上に、クランクケースとベアリング・ホルダ部分の溶接が悪く剥がれてしまった。さらに、加熱温度が高すぎて風防・保温用ボックスが部分的に溶解し壊れてしまった。この大会は、筆者の体調不良により、エンジン作動テストを十分できなかった状態での出場したため、苦い思い出である。

第11回大会（2007年）では、図7に示すように2号車を再度改造し出場した⁷⁾。自作スターリングエンジンでは内燃機関エンジンに使用されているようなピストンリングは摩擦抵抗が大きすぎて使用できない。そのため、抵抗の小さいテフロン・カーボン製のリングを特注して取り付けた。加熱用ガスは、5kgプロパンガスボンベ2本を搭載して、60分の長時間走行に備えた。また、作動ガスにヘリウムを追加することで、回転数の上昇を試みた。その結果、回転数は600rpmにも達した。

第12回大会（2008年）では、図8にその概要を示すが、2号車を更に改造し出場した⁸⁾。前大回、走行中に加熱用火炎が消失した失敗を考慮して、バルブの改良を行いガスが安定して供給できるようにした。ウォーター・ジャケットの冷却水は、市販の簡易ポンプでラジエータ内を循環させる装置に変更し、冷却効果を高めた。また、初めて外装カバーを取り付けドレス・アップした。しかし、これで完璧と思われた車両だったが、走行中にウォーター・ジャケット上部から冷却水が漏れ出した。走路を汚してはいけない規定によりリタイヤとなり、60分間の持続走行に失敗した。

2. 2 今大会における車両改造と性能評価

昨年の12回大会（2008年）後に漏れたウォーター・ジャケット上部を補修して作動運転を行った。しかし、30分近くするとレース時と同じ場所から冷却水が漏れ出した。原因として以下のことが考えられた。

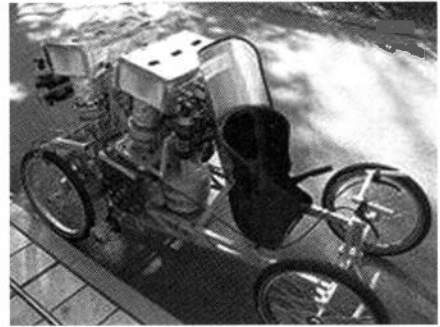


図6 第10回大会 チェーンで連結の3号車

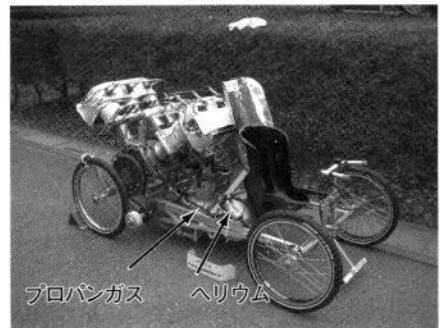


図7 第11回大会 ヘリウムを搭載



図8 第12回大会 ラジエータを搭載

- ① 冷却水の温度が上昇するために、接着剤の耐熱温度以上になり接着効果が減少する。
- ② 冷却水の不足で温度上昇が起り沸騰する。
- ③ ラジエータの機能が十分に働いていない。
- ④ ウォーター・ジャケット内の圧力が、②以外の何らかの原因で上昇する。

以上のことを考慮して改造を順次以下のように行った。

- ① 市販の接着剤を探したが耐熱温度が100度以上のものはない。そこで、再度接着剤を塗り直した。
- ② 冷却水量を多くするためウォーター・ジャケットの排水口を上方にした。
- ③ ラジエータの機能を高めるために、図9に示すように、自動車の冷却用ファンを取り付け、走行中に手動で回すようにして冷却効果を高めた。
- ④ ウォーター・ジャケットの吸水口を排水口より低くして空気抜きができるように改善した。

改造後、60分間の無負荷エンジンテストを行った結果、やっと冷却水の漏れがなくなった。

今回、上記のエンジンテストで冷却水の漏れが無くなり出力測定を行うことができた。図10には、取り付け用ジグを製作後、車両に搭載したままのエンジンに直接測定機を取り付けた状態を示す。

図11は、測定したトルクと回転数の結果から出力を求めたグラフである。2回行った測定結果では、図に

示すように、回転数が約150rpmで出力が最大となり75Wを記録した。回転数は、ヘリウム注入次第で600rpm以上にも上げることができたが、エンジンの振動が激しくなり、これ以上回転数を上げるのは測定機の故障に繋がる危険性があると考え中断した。また、スターリングエンジンの性能評価の目安となるシュミット・モデル⁹⁾を用いた計算と測定結果の比較検討を行ったかったが、温度測定などの設定が不十分で今回はできなかった。

3. 大会の概要と結果

今回の大会は、2009年11月14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、ミニ（走行タイムの部、宙返り耐久の部）、人間乗車（以後Lクラス）、無線操縦、3V（ボ

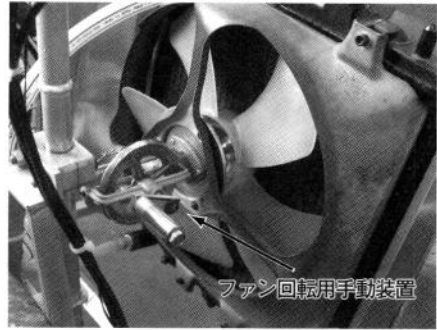


図9 第13回大会 手動冷却用ファン

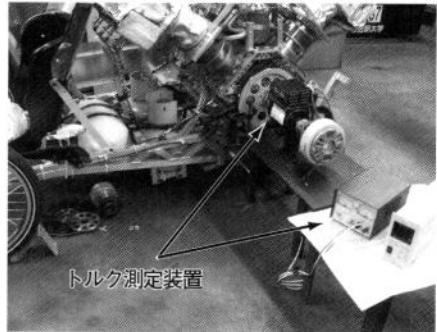


図10 出力測定

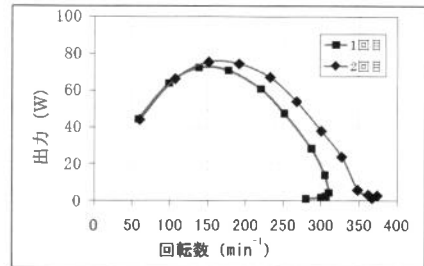


図11 出力測定結果

ルト）クーラ，100V（ボルト）クーラの5クラスで行われた。各クラスの競技結果は表2～7に示した。チーム名、参加台数、そして上位3位までの記録である。今大会は、アイデア賞を獲得した車両がなく、少し寂しい大会ではあったが、遠方から参加したチームが特別に表彰された。



図12 Lクラス変更コース

大会当日は、雨となり各種目で走行コースの変更があった。Lクラスの走行コースは、図12に示す雨防止用に渡り道となっている屋根の下で行われ、走行距離は75mである。競技結果は、表5に示したように、優勝することができた。しかし、今回の最大目標が60分の持続走行だったので、完走できなくて落胆した。しかし、競技が終了してまもなく天気が回復したので、コースがまだ少し濡れているが、競技とは関係なくデモ走行が許可された。この機会を逃さないように早速エンジンの点検を行い、走行した。どの部門の競技も雨のため急いで行ったため、早く終了しており、我がチームのみ周回するデモ走行となった。走行時間が30分を過ぎても前大会で漏れた冷却水の漏れもなく快調に走行した。心配なのはタイル張りのコースが雨上がりで濡れていたため滑りやすく、コーナーでの運転に注意しなければならなかった。図5に示した1周103mの四角いコースを135回周回して60分となった。しかし、停止しようとした時、60分間走行できた嬉しさと運転疲れのせいか、駆動レバーを解除するのを忘れて停止したために、簡素なブレーキでは止めることができなくて、コース外のポールに衝突してやっと停止した。幸い人に当たることなくほっとした。

4. あとがき

今大会に出場したV6-βの最大の目標は、大会規定の60分間を走破することだった。上述したように、1号車、2号車、3号車まで製作・改造を行ってきた結果、平均時速13.9km/hのスピードで遂に60分間走破でき満足のいく結果を出すことができた。今回の成功は、直列3気筒からV形6気筒エンジンにできたことが最大のポイントである。V形にするために、矩形の特別なコンロッドを考案した。しかし、コンロッドの製作をはじめ、多くの溶接部品の溶接歪が出て摩擦抵抗が生じ、製作当初のエンジンは全く低い出力であった。しかし、V形のクランクケースをLからV型配置に改造できたことでバランスが良くなり、溶接部分に掛かる力が減少され、今回の結果になったと考えられる。以上の改良によって、60分間走行してもエンジンの調子に変化がなく、スピードと耐久性のあるスターリングエンジンカーとなった。

次の目標は、4号車の新たな製作である。いままでの製作部品を見直して、性能を高めるとともに、誰でも自作可能な楽しいスターリングエンジンカーを製作しようと考えている。また、上述したエンジンの性能評価の目安となるシュミット・モデルを用いた計算と測定結果の比較検討

表2 MDクラス出場台数 44

		周回
1	取手第一高校 A	茨城県立取手第一高等学校 27.5周
2	AP 2	都立杉並工業高等学校 17.5
3	SK2101	都立杉並工業高等学校 15.5

表3 MSクラス出場台数 52

		時間
1	おおみねちゃん	沖縄県八重山商工高等学校 1.45秒
2	取手第一高校 L	茨城県立取手第一高等学校 1.55
3	水工一オメガ1号	岡山県立水島工業高等学校 1.58

表4 RCクラス出場台数 14

		時間
1	ZUIHO	EcoDrive 0.29.57秒
2	Nara β	設開発部 (個人) 0.54.27
3	星輪組	一関工業高等専門学校 1.01.93

表5 人間乗車クラス出場台数 6

		時間
1	NAC岐阜1 (V6 - β)	中日本自動車短期大学 25.02秒
2	滋賀職業能力開発短期大学校	SPC-S 36.14
3	ナカジマ	宇都宮大教育学部 3.12.25
NAC岐阜1 (V6 - β) 中日本自動車短期大学		デモ走行60分完走 13905m

表6 クーラ3V 出場台数 10

		(5分間の温度降下)
1	桜花	Wooper-Rooper 28.7℃
2	MOSEY-RC09-Sleet	米子工業高等専門学校 22.9
3	TSUBAME-1	津山工業高等専門学校 18.5

表7 クーラ100V 出場台数 2

		(5分間以内に規定の対象物の温度を10℃ 降下させる。そのとき消費したエネルギー量[J])
1	Cold - Wired 2009	茨城県立中央高校 147J
2	沼津工業高等学校	沼津工業高等学校 300

特別賞・・ 沖縄県立八重山商工高等学校・大嶺 亨,
 沖縄県立八重山商工高等学校・知念 仁,
 台湾・大同大学・頼 光哲, 国立中興大学・THUN-MIN YANG

遠山 壽：自作スターリングエンジンカーにおける60分完走（第12報，第13回スターリングテクノラリー）

を行い，今後のエンジンの製作や改造に生かして行こうと考えている。

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2008年度生の山岡美月さんに感謝致します。

5. 参 考 文 献

- 1) 遠山 壽，模型スターリングエンジンカーの試作（第1報，第1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28号79-84（1998）
- 2) 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）
- 3) 遠山 壽，V形模型スターリングエンジンカーの試作（第5報，第6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33号43-48（2003）
- 4) 遠山 壽，ベータ形エンジンのV形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）
- 5) 遠山 壽，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）中日本自動車短期大学論叢，第35号，23-28（2005）
- 6) 遠山 壽，第10回スターリングテクノラリー（スターリングエンジンカー3号車の試作）中日本自動車短期大学論叢，第37号，9-14（2007）
- 7) 遠山 壽，V形6気筒スターリングエンジンカーの改造（第10報，第11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38号，35-40（2008）
- 8) 遠山 壽，V形6気筒スターリングエンジンカーの改造（第11報，第12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39号，37-43（2009）
- 9) 山下・浜口・香川・平田・百瀬，スターリングエンジンの理論と設計，山海堂 p.42（1999）