

V形6気筒スターリングエンジンの改造 (第11報, 第12回スターリングテクノラリー)

遠山 壽

1. はじめに

今回12回目(2008年)となったスターリングテクノラリーは, “ものづくり”教育としてアイデアと競技において発展し, 年々レベルの高いものになってきた。第2回大会(1998年)¹⁾に人間乗車クラスが加えられ, 1位のチームは直線コース50 mを16.8秒(10.7km/h)で走った。筆者は, このクラスに第4回大会(2000年)より9回連続で参加し, 車両の試作, 改造を行ってきた²⁻⁶⁾。今では直線コースで15 km/h出せるようになった。しかし, 現在の競技規定である60分間走行(周回コース)を成功させていない。この規定をクリアするとともに, より一層安定した車両をめざし, ものづくりと競技の楽しさを若者にアピールしたい。また, 昨今, 実用化も進んでいるスターリングエンジン⁷⁾を知る機会を高めることもできると考えている。

本稿では, 2008年の第12回大会に参加したエンジンの概要と“第12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V形6気筒スターリングエンジンカーの諸言を表1に, その外観を図1に示す。前大会⁶⁾では, 我がチームは60分間の走行目標が達成できなかったため, 今回その原因究明を

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	75°
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	840mm
:後	870mm
ホイールベース	1295mm
全長	1900mm
全高	980mm
車両重量	130kg
フレーム材質	アルミ合金

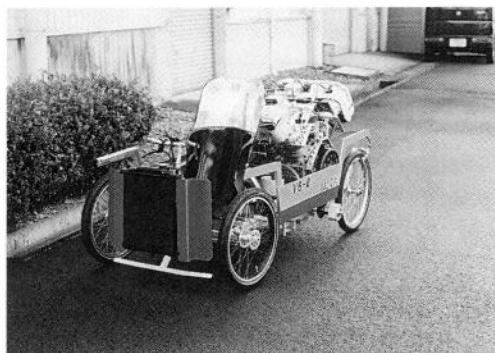


図1 ラジエータ付きV形6気筒スターリングエンジンカー

行い以下の改造を行った。

2・1 加熱用ガスの供給

前大会で火炎の消失が起きた原因は、走行中に座席カバー後部が負圧になり、バーナ部分に必要な空気が十分供給できなかつたためと考えていた。しかし、その後走行試験を行った結果、供給ガスの流量調整が不安定だつたことがわかつた。

一つの加熱器に2個,3気筒で合計6個の火口に1本のボンベから配管を使ってガスを供給する。市販ボンベに取り付けてあるレギュレータでは、ガス吐出量が限定され十分な火力が得られない。今回の改造では、図2に示すように配管途中に吐出量が限定されないコックを取付けた。これによって火炎の強さを自由に調整でき、火炎の消失もなく加熱できるようになった。

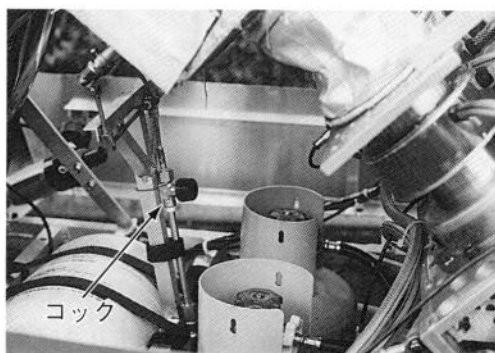


図2 ガス調整用コック

2・2 冷却機構

前回は、ウォーター・ジャケットの位置がシリンダの最下部にあつたため、シリンダ内の熱交換が十分働かない状態だつたと考えられる。そこで、冷却機構は、図3に示すように3気筒エンジン⁵⁾を改造し、運転中の温度上昇における回転数の変化を調べた。実験は冷却水が非循環の場合と、市販の簡易ポンプによってラジエータ（軽自動車用の中古ラジエータ）内を循環させる場合との比較を行った。図4に示すように、非循環の場合は、30分経たない内に冷却水の温度が40℃を超え、回転数が始めの250 rpmから105 rpmに低下している。一方、ラジエータを循環させた場合は温度上昇が遅く、40分経過後35℃になり、50分で徐々に回転数が低下し始め、60分経過後150 rpm なつた。この結果、冷却水の温度が50℃に上昇すると、循環させた状態でもエンジン性能に影響が出てくることわかつた。

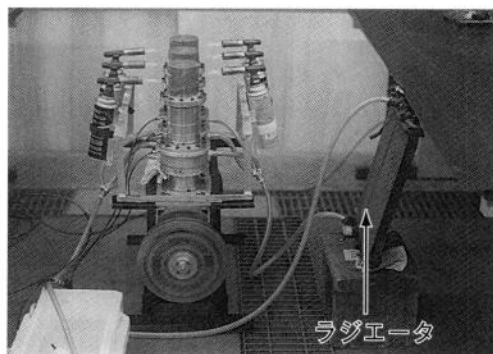


図3 3気筒エンジンでの温度上昇のテスト

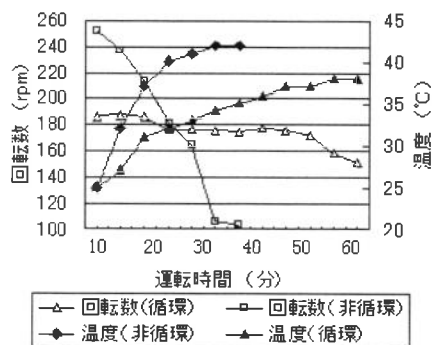


図4 冷却水の温度上昇と回転数

この実験の結果を考慮し、V 6 エンジンのシリンダ部分を改造し、図5に示すようなウオー

ター・ジャケットを取り付けた。実際の走行ではラジエータに冷却空気が当たるため、室内の実験より冷却効果は大きいと考えられるので、60分の持続走行は可能と思われる。

2・3 ピストン摺動面の潤滑剤

前大会が終ってエンジンを分解してみると、ピストン表面が図6のように黒く変化していた。作動流体（空気）の温度上昇によって潤滑剤が酸化し皮膜ができたものと考えられる。使用していた潤滑剤は、液体状のモリブデン潤滑剤である。摺動面の潤滑剤が固着することによって摩擦抵抗が大きくなり、回転数が低下してくる。前大会、他チームはペースト状二硫化モリブデンを使用し、60分間の持続運転に成功した。ペースト状の二硫化モリブデンは、摺動部のかじり（スカッフ現象）を防ぐ効果が大きく、耐荷重性能が大きい。温度上昇によって酸化し、三酸化モリブデンになるが、潤滑性能における悪影響はない。そこで今回、このペースト状の二硫化モリブデンをピストンとシリンダに塗布し実験を試みた。しばらく慣らし運転してもスムーズに回転数が上昇しない。従来の潤滑剤に比較し、ペースト状二硫化モリブデンの使用は摩擦が大きく、回転が重い感じである。乗車して運転を試みたが、回転数が下がってしまい走行不能になってしまった。今回は、ペーストをどれ程度塗付したらいいのか、更に慣らし運転の時間をどれ程行ったらいいのか、最適条件がつかめないため、従来の液体状モリブデン潤滑剤に戻すことにした。

2・4 外装カバー

スターリングテクノラリーの人間乗車クラスは、狭い周回コースでも平均時速10km/hの走行である。今後更に速度が上がってくれば、走行抵抗（空気抵抗）を考慮した外装カバーが必要になってくる。省エネカーなどでは、カウリングの製作が重要な製作部分になっている。まだ本大会の競技としての重要度は低いですが、今後はエンジンを製作すると同様に大切である。加熱される部分にはFRP樹脂など危険な材料は使用できないので、今回は、図1に示すようなアルミ製のカバーを、軽量アングルを外側に伸ばし安全な所に取付けてみた。



図5 V6用ウォーター・ジャケット

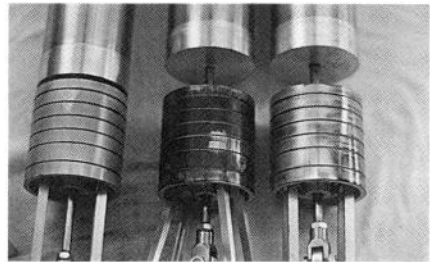


図6 ピストンに固着した酸化皮膜

3. 大会の概要と結果

今回の大会は、2008年11月15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、宙返り耐久ミニ、人間乗車(以後Lクラス)、RC(無線操縦)、3Vクーラ、100Vクーラの6クラスで行われた。

Lクラスの規定は、ドライバーが安全に走行できるサイズで2, 3, 4輪可能である。長さ14m × 34mの周回コースを60分間走行し、走行距離を競う。Lクラス以外の規定は前報⁴⁻⁵⁾に掲載した。

今大会6クラスの競技結果は、表2～7に示したが、チーム名、参加台数、そして上位3位までの記録である。今大会の特徴は、表からもわかるように、1位の記録が2位以下のチームと大きく離れていることである。Lクラスの参加車両は6台である。我がチームのV6ベータは、スタートから快調なスピードで走行した。前回と違ってヘリウムが注入がスムーズで加速の応答性も良かった。しかし、周回速度が速くコーナーを安全に回れないため、コーナーを回って上り始めの速度がやや低下する時に限って、数回だけヘリウムを注入した。(注入にはハンドルに注入用押しボタンを取り付けて行う) 走行時間33分、周回100回目を越えてアクシデントがおきた。ギャラリーから、ウォーター・ジャケットの冷却水が漏れ出していることを告げられた。車両は走行できる状態であったが、コースを汚すとルール違反となるので、やむなく停止した。走行記録は103周(6426m)、昨年の記録(4699m)を更新したが、大会記録(6499m)にはあと一歩だった。

他の参加者の多くが目にした車両は、図7の宙返り耐久クラスの車両ALKALI-AAである。図8に示すオリンピック5輪(高さ0.85m)のコースを、1回の走行中にループを何回通過できるかを競う。速度が5 m/s以下に低下すれば回れずに落下してしまう。昨年の大会では1位が12回であったが、今回は燃料切れまで落下せずに85回も通過した。見物していた高校生は、くるくるくる・・・で眼が回ってしまう“凄い”と驚嘆していた。一見、今までの車両とそんな

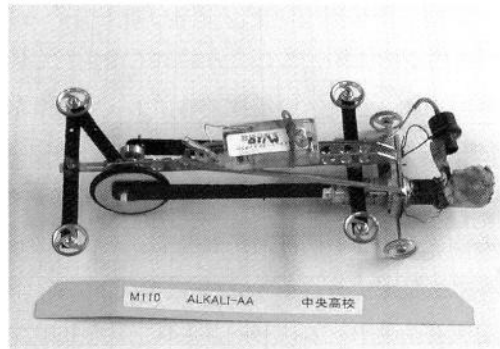


図7 85回ループを回った車両

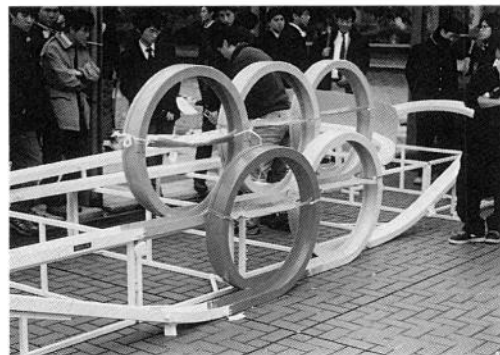


図8 五輪マークのループコース

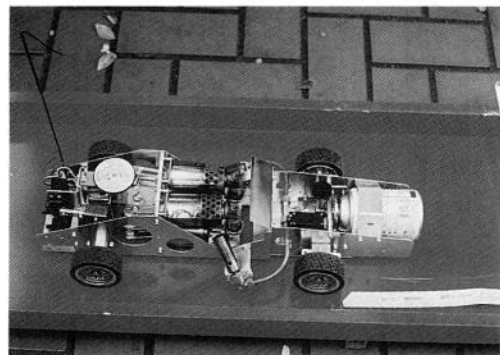


図9 RCクラス1位の車両

遠山 壽：V形6気筒スターリングエンジンの改造

表2 ノーマルサイズクラス 出場台数 57

順位	参加団体名	チーム名	公式記録
1	沖縄県立八重山商工高等学校	アジャマー	18.31秒
2	茨城県立取手第一高等学校	取手一課研3号	24.36
3	岡山県立水島工業高等学校	水工一ボルト	25.53

表3 宙返り耐久クラス 出場台数 49

1	中央高校	ALKALI-AA	85 周
2	都立北豊島工業高等学校	北豊島5号	32
3	都立杉並工業高等学校	スターリングエンジン	25.5

表4 RCクラス出場台数 20

1	湘南 EcoDrive	OCEAN GREEN	19.4 秒
2	中央高等学校	ALKALI	48.05
3	湘南工科大学	永田RC 2	93.9

表5 人間乗車クラス出場台数 6

1	中日本自動車短期大学	V6 ベータ	(33分) 6426 m
2	滋賀職業能力開発短期大学校	SPC-S2	(13分) 1310.5
3	——	——	——

表6 クーラ3V 出場台数 15

			(降下温度)
1	米子工業高等専門学校	MOSEI-C08-Wintry	29.8℃
2	摂南大学	正-KING	24.9
3	都立杉並工業高等学校	SK-KOOL 3	22.8

表7 クーラ100V 出場台数 5

			(5分間降下温度)
1	中央高等学校	Cold Wired	4788.8 J
2	沼津工業高等学校	沼津工業高校SC100B	6.8℃
3	北九州高専	KCT. New ()	5.1

アイデア賞・・・岡山県立水島工業高等学校水工マンキー

熱源賞・・・摂南大学・摂南燃焼中

熱源賞・・・日本大学・日大アベヌイ

に変らないが、エンジンの性能、車両のバランスが非常にすばらしい。また、ラジコン操縦によりタイムを競う RC クラスでは、図 9 に示す OCEAN GREEN (写真はノーマルコース上に展示したもの) が、2 位チーム (表 4) を大きく引き離しての優勝である。これまでノーマル及び M クラスで他を寄せ付けなかったこのチームは、1 回目の走行でギヤがずれてストップした。まさか失敗に終るかと思われたが、修理後 2 回目には、みごとに成功した。高性能エンジンの秘密は熱交換器にある。ステンレス製の積層プレート ($\phi 18 \times t0.2$) に対辺 0.7mm の穴が 311 個、それが 3 箇所 350 枚も使っている。すぐにコピーできるものではないが、このような高度の設計、製作の車両が出れば出るほど、それを参考にすることは新しいアイデアを生み、競技レベルの向上に繋がっていくと考えられる。

4. あ と が き

今回、改造の重点目標は、ラジエータ取り付けによる冷却機構である。それによってエンジン性能が良くなり、結果的に 60 分間の実走行ができるかであった。結果は、先回の大会より長い走行時間 33 分で走行距離は 4699m から 6426m に伸びた。しかし、目標の 60 分間の持続走行ができなかった。原因を再度チェックし、下記のこと留意し目標を達成したいと考えている。

① 加熱用ガスの供給

今回、配管途中にコックを取り付けた結果、安定した火炎の調整ができるようになった。今後は、実走 60 分でガス消費量がどの程度必要なのか、ボンベの重さを考慮して車両軽量化にも繋げたい。

② 冷却機構

ウォーター・ジャケット、タンクの製作、そしてラジエータ取り付けによって冷却水を循環させた。前回は、ヘリウム注入時にエンジン回転数が一旦低下し、走行が不安定になった。今回は低下することなくスムーズにスピードアップできた。1 周 63 m の狭いコースの割には、平均スピードが 12 km/h に上がった。しかし、落とし穴があった。ウォーター・ジャケットから冷却水が漏れたのは予想外だった。アクリル製ウォーター・ジャケットの接着剤が、冷却水の温度上昇に耐えられなかったのか、ジャケット内の圧力が何らかの影響で上昇し接着箇所から漏れ出したのか、今後究明しなければならない。

③ ピストン摺動面の潤滑剤

実験では、潤滑剤の固着防止にペースト状の二硫化モリブデンの使用を試みたが、回転数が上昇しなかった。今回、もとの液体状のモリブデン潤滑剤を使用し、エンジンはスムーズに回転した。心配した酸化反応による酸化皮膜は冷却機構の取り付けによって発生しにくくなったことが考えられる。

④ 外装カバーにおいては試験的なものであったが、大会では、アピール度が高く評判が良かった。今後は加熱部分を除いて、スターリングエンジンカー独自のカバーを考えていきたい。

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、ラジエータ取得

に協力して下さった本学の可知陽之朗氏，試験走行に協力頂いた2008度生の中村麻衣，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2報，第2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30号，31-35
- 2) 遠山 壽： β 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）
- 3) 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）
- 4) 遠山 壽：第9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36号，9-15（2006）
- 5) 遠山 壽：第10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37号，9-14（2007）
- 6) 遠山 壽：V形6気筒スターリングエンジンの改造（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）
- 7) 平田宏一，岸 武行，川田政國：スターリングエンジンを用いた排熱回収システムの開発（第2，3報），
日本機械学会第11回スターリングサイクルシンポジウム講演論文集，5-12，2008.
- 8) スターリングテクノラリー公式サイト：<http://members.jcom.home.ne.jp/stirling/>