

競技用低燃費車両の開発 –エンジンシステム–

山口大造* 鳥取涼太** 桑原諒也** 岡田遥輝** 石川雄基** 見當 豊** 植月優衣**

河原みほ*** 川村純司*** 中島哲史*** 佐伯文浩****

Development of higher-mileage car – engine system –

Daizo YAMAGUCHI*, Ryota TOTTORI**, Ryoya KUWAHARA**, Haruki OKADA**, Yuki ISHIKAWA**,
Yutaka MIATARI**, Yui UETSUKI**, Miho KAWAHARA**, Junji KAWAMURA**,
Tetsushi NAKASHIMA**, Fumihiko SAEKI****

An internal combustion engine vehicle which has been invented for 120 years is absolutely imperative for our life. Green action and resource-saving are the key technologies for automobile engineering. Hybrid car, hybrid electric vehicle, electric vehicle, and clean diesel have been developed. New diesel and petrol cars and vans will be banned in the UK from 2040 in a bid to address air pollution, the government has announced in July 2017. However, an internal combustion engine vehicle will maintain holding a key position at least 20 years. The competition for gasoline mileage “Honda eco-mileage challenge” is held since 1981. Here we show the newly developed experimental production vehicle. Gasoline mileage has been optimized by response surface methodology.

Key Words: Higher-mileage car, Engine system, Response surface methodology

1. 緒 言

ガソリンエンジンを搭載した自動車が發明されて 120 年以上たった現在では、自動車は我々の生活に欠かせないものとなっている。自動車は、長い歴史の中で多くの研究がなされ、発展してきた。車に環境技術が求められるこの時代において環境対策と省資源化はこれからの自動車社会における基本問題といえる。解決策としてハイブリッド車や電気自動車の実用化やクリーンディーゼル搭載車が登場している。

一方、2017 年夏、仏国政府と英国政府が、内燃機関のみで動く自動車の販売を 2040 年までに禁止するとの方針を相次いで打ち出した。しかしながら、内燃機関は、燃費向上技術に重点を置きながら発展・進化を続け、少なくとも今後 20 数年は主要な地位を保ち続けるものと予想される。それらの進展には、燃料性状の改善を前提に、燃焼技術と後処理技術に関わる要素技術の組合せの複合・

最適化が不可欠である¹⁾。つまり内燃機関の重要性は、決して変わることはない。むしろ、これらのエンジン性能向上と低害化を図る事こそ社会的急務と言え。これと並行して、より良い燃焼効率の実現や電子制御装置を取り入れた運転性能の適性化、車体の安全性と剛性を考慮した上での軽量化が行われている。

このような背景のもと、自動車の基礎技術やモノづくり、さらには環境問題への意識を高めることを目的とし、燃費の限界に挑戦する燃費競技大会が国内外各地で開催されている²⁾。本田技研工業が主催する Honda エコマイレッジチャレンジは、1 リッターのガソリンで何 km 走行できるかをテーマとしている。実際の競技では、規定周回数を決められた時間の中で走行し、燃料消費量から燃費を算出し、その燃費性能の高さを競う。現在の最高記録は、2011 年の全国大会で記録された 3644.869 km/L である。参加者は、競技車両の設計や形状、走行方法等、ありとあらゆる要素の効率化を追求して、燃費性能の極限を目指している。Honda 製 50 cc 4 ストロークエンジンを使用した競技車両で競われる中学生から大学生、一般、2 人乗りクラスに加え、150 cc 以下の Honda 製 4 ストロークエンジンを使用するニューチャレンジクラス、二輪車クラスの計 7 クラスのレースが開催されて

原稿受付 平成 30 年 9 月 25 日

* 総合理工学科 先進科学系

** 機械工学科 平成 30 年 3 月卒業

*** 技術部

**** 総合理工学科 機械システム系

いる³⁾。我々は、鈴鹿サーキット東コースで行われた鈴鹿大会およびツインリンクもてぎスーパースピードウェイで行われる全国大会に出走した。大会規則では、競技中平均速度が 25 km/h 以上であることが定められており、鈴鹿大会では1周約 2.2 km のコースを周回数 8 周で 42 分 16 秒 70 以内⁴⁾、全国大会では、1周約 2.4 km のコースを周回数 7 周で 39 分 20 秒 11 以内にゴールする必要がある⁵⁾。燃費計測は、「公式距離 / (消費燃料質量 / 燃料密度) = 燃費」の関係式から、主催者側が算出する。燃料密度は大会当日に発表される。スタート前に燃料計測を行い、ゴール後に再度燃料計測を行うことにより燃料消費量を算出する³⁾。

本来、自動車の性能を左右するのは、エンジン性能である。しかし燃費競技車両は、競技規則で搭載するエンジンが決められているため、燃費向上は、その他の要因であることが多い。まず挙げられるのは、エンジンの制御システムである。燃費競技車両では、燃料噴射装置にキャブレターを用いられることが多いが、燃料噴射を電子制御化し、車両に合わせた最適化を行うことでエンジン本来の性能を引き出す必要がある⁶⁾。さらにエンジン補器類の最適化を行うことである。競技規則により過給機の取り付けは禁止されている。燃費と密接な関係を持つ空燃比において、吸排気管長は重要な因子であるため、吸気管長は燃費に大きく影響を及ぼす因子であると考えられる。さらに、走行時の抵抗も重要な因子である。転がり抵抗は、車両重量に比例するので、車体剛性を十分に考慮したフレームの製作と各部の軽量化が重要であるといえる⁷⁾。さらにタイヤの転がり抵抗係数は、燃費の 5% を占めると言われている⁸⁾。3 輪の車体とし、細い燃費競技用タイヤを使用することで、路面との接地面積を減らすことで低減させている。次に、空気抵抗は、燃費競技車両の車両質量が小さいため、影響が大きい。空気抵抗低減を目的としたカウルを装着することが多い⁹⁾。また燃費競技車両は、独自の走行方法で燃費を向上させている(以下、エコラン走法)。競技規則上、車両の平均速度を 25 km/h 以上に保たなければならないため、スロットル全開で 40 km/h まで一気に加速を行い、エンジンを停止する。そこから 20 km/h に落ちるまで惰性走行を行う走法を繰り返していくこととした。エコラン走法を行う理由は、スロットル開度が大きい程、機関の熱効率自体は高く保つことができる。また吸入抵抗を最小限にすることができるからである。このため、燃費を良くするには、エンジンをスロットル開度が大きい条件でのみで動かすようにすれば良いと考えた。しかし、そうした条件でエンジンを回し続けていると、必要以

上に速度が上昇してしまう。さらに高負荷がかかりオーバーヒートの可能性があるため、規定速度を考慮してこのような走法をとっている。さらにスロットル開度が大きいほど加速性に優れる。加速時間を短縮することで、エンジンの運転時間短縮となり、1 サイクルのエコラン走法のうち、惰性走行の割合が大きくなることにより、結果的にガソリンの消費量低下につながると思われた。こういった走行法の似たような例は、ハイブリッド車である。発進時や中速までの定常走行など、エンジン効率の悪い低回転領域ではエンジンを停止し、高出力化したモーターのみで走行している¹⁰⁾。

内燃機関部におけるものづくり活動の範囲は、これまで、学生の能力に依存・起因して車両製作のみに特化していた。平成 29 年度、ロボコン支援室が整備され、学生の物作りに関する環境整備が実施されたことに伴い、本校において約 30 年の歴史を有する「エコラン」競技大会出場用低燃費車両の開発においても、高度な技術水準で、競技用車両の開発・データの収集・改良・知見の公開を実施できる環境整備を実施する必要がある。こういった背景から、機械システム系・先進科学系・技術部の教職員が連携を図り、学生の高度なものづくり活動および研究開発活動を支援するプロジェクトを平成 29 年から開始した。学生の自主性、創造性を涵養しながら、学外の環境におけるエンジニア教育(競技大会)を通じて総合能力を涵養することを目的としている。

本研究では、燃料制御装置と空燃比計を搭載した競技用低燃費車両の製作を行い、燃費の最適化を行うことを目的とした。

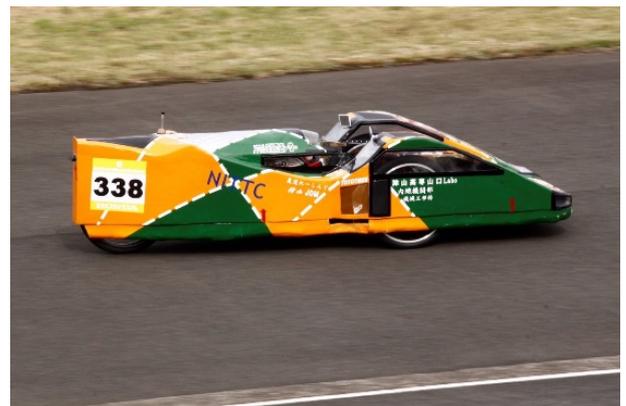


図 1 試作車両の概要

2. 競技車両および実験方法

2. 1 競技車両

試作車両を図 1 に示す。試作車両は、パイプラダーフレーム(STK400)にホンダ製 50 cc・4 ストロークエンジン(AA02E)を搭載し(図 2) FRP

表1 実験条件および実験結果

Expe No.	噴射時間 [msec]	吸気管長 [mm]	排気管長 [mm]	噴射時間 x_1	吸気管長 x_2	排気管長 x_3	燃費 [km/L]
1	10	150	920	0	0	0	208.3
2	10	150	920	0	0	0	196.8
3	5	150	1380	-	0	+	155.1
4	5	150	460	-	0	-	159.5
5	15	150	460	+	0	-	180.0
6	10	250	1380	0	+	+	137.4
7	15	150	1380	+	0	+	128.5
8	10	150	920	0	0	0	196.7
9	10	250	460	0	+	-	184.0
10	15	250	920	+	+	0	163.9
11	5	250	920	-	+	0	136.6
12	10	50	460	0	-	-	243.6
13	10	150	920	0	0	0	209.0
14	10	150	920	0	0	0	197.8
15	10	50	1380	0	-	+	244.6
16	5	50	920	-	-	0	191.3



図2 ホンダ製 50 cc・4 ストロークエンジン (AA02E)

製カウルを配した。燃料噴射制御装置は FCdesign 社製 Fi-M digital を、空燃比計は GRID 製 LM-2 デジタル空燃比ロガーを用いた。

2. 2 実験方法

特にコスト面で効率的な Box-Behnken 計画¹¹⁾により作成した実験計画(表1)に従い実験を行った。実験因子は噴射時間 [msec]、吸気管長[mm]、排気管長[mm] (それぞれ3水準) を採り上げた。その他の条件は一定とした。

適用した二次モデル関数¹¹⁾を次に示す。

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^3 \beta_i x_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1, j \neq i}^3 \beta_{ij} x_i x_j \quad (1)$$

ここで、 y : 燃費または空燃比、 x_i, x_j : コード化された実験因子、 $\beta_0, \beta_i, \beta_{ii}, \beta_{ij}$: それぞれ切片、一次項の回帰係数、二次項の回帰係数、交互作用項の係数である。コード化された実験条件を上式に当てはめることにより $\beta_0 = 0$ となり、各実験因子 x_i, x_j の y に与える影響の度合いが相対的に議論できる。コード化は、式(2)により行った。

$$x_n = \frac{2(x - \bar{x})}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (2)$$

ここで、 x_n : コード化後の実験因子、 x : コード化したい実験因子である。 \bar{x} : 因子における水準の平均値、 x_{\max} : 水準の最大値、 x_{\min} : 水準の最小値である(表2中においては、それぞれ、0、+、-で示す)。

燃料噴射装置の燃費における最適化を行うため、因子は燃料噴射装置の噴射時間、容易に変更が可能な吸気管長、排気管長とした。燃料噴射時間の水準は、前実験より試走の際に車両のエンジンが全開運転可能な領域の範囲内で等間隔に決定した。吸気管長は、搭載した動力機関 AA02E の純正吸気管長 50 mm を最低値として、伸長方向に最適値があると予測し、カウルを設置した際の最大吸気管

が 25 mm であったことから中間値を 15 mm とした。

排気管長は、AA02E 純正排気管長である 920 mm を中間値とし、最大値は搭載可能範囲で 1380 mm とした。実験は、室温を一定 (20°C) に保ちながらエンジン温度 50°C から測定を実施した。車両をシャーシローラ (FC-design 社製可搬式シャーシダイナモ (シャーシローラ動力計) 3PS 型 DA3HR) に載せ、時速 40 km/h まで加速しエンジンを停止、20 km/h まで惰性走行、20 km/h 到達と同時にエンジンをかけフルスロットルで 40 km/h まで加速を行うエコラン走法を、ツインリンクもてぎオーバルコース 1 周の距離 2.4 km 到達まで繰り返し、測定を実施した。燃費の測定は 2.4 km 到達時に測定し、空燃比は、スロットル全開時に毎回測定を行い走行終了後に平均値を算出した。



図3 燃費測定実験

測定においては、実際に車両を走行させた際の走行抵抗とシャーシローラを用いた場合の走行抵抗を近似させる必要がある。シャーシローラは、走行時の抵抗をボリューム調節することで可能である。つまり、実際に車両を走行させた際の加速時間と減速時間を再現できるようにシャーシローラの抵抗を調整した (加速時 (20 km/h から 40 km/h まで) : 3.23 sec、減速時 (40 km/h から 20 km/h まで) : 19.45 sec (5 回の平均値)) (図 3)。

3. 結果と考察

実験結果を表 1 に、また、表 2 に因子解析結果を示す。噴射時間 (1 次項・2 次項) および吸気管長 (1 次項) が燃費に大きな影響を与えることが分かる。図 4 に燃費に関するパフォーマンスマップを示す。この応答曲面モデルの決定係数は、 $R^2 = 0.9430$ (p 値 = 0.0043**) であった。この結果より、構築したモデルは実験結果をほぼ正確に再現している。燃費は噴射時間の増加とともに増大し、約 10.5 msec で最大に達し、そしてこれを超えてさらに噴射時間を長くすると燃費は低下した。吸気管長は、短いほど燃費が向上することが分かった。これらの結果は、因子解析結果と一致する。排気管長は、今回の車両の実験条件においては燃費に影響を与えない。吸気管長においては、50 mm 以下での検討を要する。

表2 因子解析結果

	regression coefficient ^a	β	p-value ^b
liner	β_1 (噴射時間)	-1.27353	0.0146*
liner	β_2 (吸気管長)	-0.87392	0.0365*
liner	β_3 (排気管長)	-0.38648	0.0783
interaction	β_{12} (噴射時間 × 吸気管長)	0.01128	0.9662
interaction	β_{13} (噴射時間 × 排気管長)	-0.30107	0.1248
interaction	β_{23} (吸気管長 × 排気管長)	-0.21515	0.1215
quadratic	β_{11} (噴射時間 × 噴射時間)	-1.52985	0.0027**
quadratic	β_{22} (吸気管長 × 吸気管長)	0.28244	0.1775
quadratic	β_{33} (排気管長 × 排気管長)	-0.15303	0.2017
coefficient of determination R^2 of the model ^a		0.9430	
p-value ^b		0.0043**	

^a See the equation (1) in experimental section 2.2.

^b Observed significance level of the test; significance levels of 5% (*), 1% (**) in two-side t test.

構築した関数モデルから迅速に最適条件を推定できる。実験を行った範囲においては、0.5 msec、吸気管長 50 mm、排気管長 874 を最大にするための最適条件であった。247.37±26.83 km/L の燃費を得ることが。今後実証試験を行う必要がある。

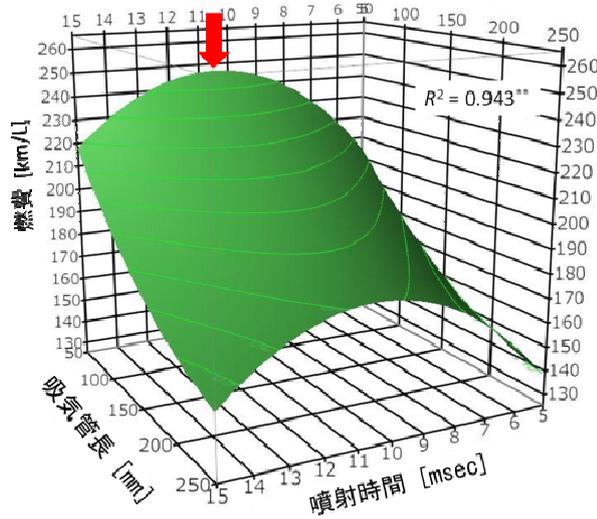


図4 パフォーマンスマップ (燃費)

燃費競技車両に搭載されている市販自動二輪車用小型ガソリンエンジンに対して、最低限の加工や部品の仕様変更で安定的な運転を可能にできれば、起こりえる様々な災害時活動などの観点からも社会に対して有益である¹²⁾。

謝辞

本研究の一部は、平成29年度校長裁量経費（ものづくり活動経費「低燃費競争車両の開発（内燃

機関部）」・プロジェクト経費「エコラン支援プロジェクト」により実施した。

参考文献

- 1) 大聖泰弘：自動車の環境・エネルギー技術に関わる将来展望 ～従来車の技術改善から電動化へ～，NTN TECHNICAL REVIEW 79, (2011) 1-6.
- 2) 津田勇：エコラン競技車両の製作，山形県立産業技術短期大学校庄内校紀要 11, (2015) 3-6.
- 3) Honda エコ マイレージ チャレンジ 2017：
<http://www.honda.co.jp/Racing/emc/>（参照 2015-09-25）。
- 4) Honda エコ マイレージ チャレンジ 2017 第31回 鈴鹿大会 競技規則：
http://www.suzukacircuit.jp/emc_s/pdf/2017regulation.pdf（参照 2015-09-25）。
- 5) 本田宗一郎杯 Honda エコ マイレージ チャレンジ 2017 第37回 全国大会 競技規則：
<http://www.honda.co.jp/Racing/emc/pdf/37th-kyougikisoku.pdf>（参照 2015-09-25）。
- 6) 大久保義雄：燃料噴射装置入門，山海堂，(1979) 27-29.
- 7) 自動車工学全書編集委員会：自動車工学全書 13 乗用車の車体，山海堂，(1980) 48-78.
- 8) 酒井秀男：走りをささえる タイヤの秘密，装華房，(2000) 98.
- 9) 古矢和希：燃費競技車両外装における機能性部品の設計開発，2009年度津山工業高等専門学校卒業論文集，(2009).
- 10) 松本康平：自動車の環境対応技術入門，グランプリ出版，(2002) 145-232.
- 11) Box GEP, Behnken DW, : Some new three level designs for the study of quantitative variables. Technometrics, 2, (1960) 455-475.
- 12) 有芳拓也 他：小型予混合燃焼機関の希薄運転領域拡大手法，2012年度津山工業高等専門学校卒業論文集，(2013).