

競技用車両の燃費向上に関する研究 — 走行時の最適速度解析 —

高橋 洋一*, 岩田 弘*, 小島 隆史*

Study on Gas Mileage Improvement of the Mileage Competition Vehicle — Optimum Speed Analysis in the Driving Situation —

Yoichi TAKAHASHI, Hiromu IWATA and Takafumi KOJIMA

Abstract

This study aims at further gas mileage improvement of the vehicles developed for mileage competitions. The proposed model seeks a theoretically optimum driving speed. First, the maximum speed after acceleration and the minimum speed after coasting are determined. Then the effect of the driving speed on gas mileage is investigated by an actual driving test at the computed driving speed. The obtained maximum speed after acceleration of 36.1 km/h and minimum speed after coasting of 15.0 km/h yield excellent gas mileage of 1,152.375 km/L, which verifies the validity of the proposed model. The proposed model enables us to find optimal driving conditions without difficulty.

Keywords : Mileage Competition Vehicle, Gas Mileage, Fuel Saving, Driving speed

1. はじめに

近年の原油価格の高騰や地球環境問題への対応から自動車には、燃費向上と排出物の低減が強く求められている。燃費を向上させる取り組みとして、モーターとエンジンとを組み合わせたハイブリット自動車や高効率なエンジンを搭載した自動車が開発されている。一方、自動車重量を 100 kg 低減することで燃費が 1 km/L 向上することが知られており、自動車重量を低減させることは最も重要である¹⁾。しかし、自動車の安全性に対する要求が年々高まっていることから重量は増加傾向にある²⁾。そのため、自動車用部品の軽量化は急務であり、自動車メーカーや素材メーカーなどによって自動車部品の軽量化がなされている。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おり、多数のチームが燃費競

技用車両を開発して出場している^{3), 4)}。2004 年には、6 サイクルエンジンを搭載した車両で 2400 km/L を超える燃費の記録もある⁵⁾。本校でも卒業研究の一環として、高橋⁶⁾⁻⁸⁾によって燃費競技用車両（以後、エコカーと呼ぶ）が開発され、これまでに燃費に及ぼす総減速比の影響や搭載するエンジンの性能を明らかにしている。

本研究では、開発されたエコカーのさらなる燃費向上を目指すことを目的としている。そこで、最適走行速度を理論的に求めるモデルを提案し、実際の走行試験結果と比較することで、提案モデルの妥当性を評価したので報告する。

2. 燃費競技大会の概要

開発したエコカーの性能を評価するために本田技研工業株式会社が主催する燃費競技大会に出場してきた。表 1 および表 2 にこれまでの結果を示す。また、図 1 に 2015 年に出場した際の集合写真を示す。出場クラスは、いずれもグループ III（大学・短大・高専・専門学校生クラ

* 香川高等専門学校 機械工学科

表1 九州大会 於 HSR 九州

年	燃費 km/L	順位	年	燃費 km/L	順位
1993	675	優勝	1997	737	優勝
1994	625	優勝	1998	765	優勝
1995	655	優勝	1999	730	優勝
1996	771	優勝	2001	1013	優勝

表2 全国大会 於ツインリンクもてぎ

年	燃費 km/L	順位	年	燃費 km/L	順位
2008	675	20	2012	1027	9
2009	1129	10	2013	1152	9
2010	記録無	—	2014	1113	10
2011	901	10	2015	記録無	—



図1 大会時の集合写真

ス)である。表1に示すように、1993年から2001年までは、九州大会(地区大会)に出場しており、通算8回優勝するなど、優秀な成績であった。また、2008年からは、全国大会に出場し、最高で1152 km/L(9位/87台中)の好成績を収めている。

ここで、本研究でも出場する「Honda エコマイレージチャレンジ全国大会」の概要について説明する。本大会は、毎年9月または10月にツインリンクもてぎ(栃木県)スーパースピードウェイで開催されている。競技内容は、規定走行距離である16.38968 kmを規定時間の39分20秒110以内に走行するものである。すなわち、車両の走行速度は、平均25 km/h以上でなければならない。そして、走行前と走行後の燃料重量を計測して、その重量差から消費量を計算し、最も燃費が良かったチームから順

$$\text{燃費} = \frac{L\rho}{1000(g_b - g_a)} \quad (1)$$

位が決定される。なお、燃費は、式(1)によって算出される。

ここで、規定走行距離 L 、燃料密度 ρ 、走行前燃料重量 g_b 、走行後燃料重量 g_a と定義している。2011年の本大会では、3644.869 km/L(一般クラス:チームファイアボール)の最高燃費が記録されている。

3. 走行解析モデル

最適走行速度を理論的に求めるモデルを提案し、走行時の最低速度と最高速度を求める。図2に全走行パターンの解析モデルを示す。ここで、諸変数は、エンジン稼働回数 N 、エンジン稼働時の加速度 a 、惰性走行時の加速度 a' 、走行時の最低速度 v_l 、走行時の最高速度 v_h 、ゴール速度 v_e 、走行距離 L 、スタートから最低走行速度までのエンジン稼働時間 t_0 、加速時間 t_1 、惰性走行時間 t_2 、最低走行速度からゴールまでの惰性走行時間 t_3 、全走行時間 T と定義している。図2に示すように、走行モデルは、エンジンを稼働させ v_h に達するまでの加速走行とエンジンを停止させ v_l までの惰性走行を N 回繰り返すようになっている。また、加速および惰性走行時の加速度 a, a' とそれぞれの時間 t_1, t_2 は一定であると仮定している。なお、本モデルは、走行コースの起伏は考慮していない。

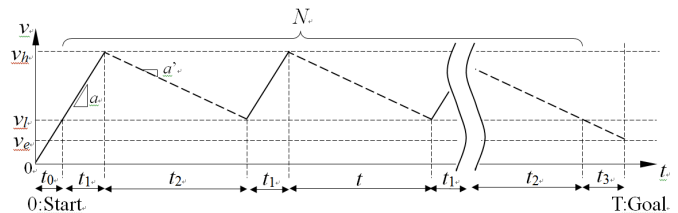


図2 全走行パターンの解析モデル

上記に示した仮定のもと、 v_l, v_h は、式(2)、式(3)によって求めることができる。

$$v_l = -B - \sqrt{B^2 - C} \quad (2)$$

$$B = -\left(\frac{aa'}{a-a'}\right)\left(\frac{v_e}{a'} - T\right)$$

$$C = \frac{1}{(N-1)}\left(\frac{aa'}{a-a'}\right)\left\{N\left(\frac{v_e^2}{a'} - 2L\right) - \left(\frac{aa'}{a-a'}\right)\left(\frac{v_e}{a'} - T\right)^2\right\}$$

$$v_h = \frac{1}{N}\left\{(N-1)v_l - \left(T - \frac{v_e}{a'}\right)\left(\frac{aa'}{a-a'}\right)\right\} \quad (3)$$

ここで、実際のレースである「Honda エコマイレージチャレンジ全国大会」を想定し、 v_l, v_h を式(2)、式(3)

から求める。計算に必要な変数の値は、 $N=28$ 回、 $T=2310$ s、 $L=16389.68$ m、 $a=0.377$ m/s²、 $a'=-0.087$ m/s²、 $v_e=6.94$ m/s とした。 N は、1周あたり4回エンジンを稼働して7周走行すると仮定し、合計28回としている。 T は、1周あたり5分30秒で7周走行すると仮定した全走行時間である。 L は、競技規則から決定される全走行距離である。 a および a' は、本研究で使用するエコカーの性能から得られた値を使用している。 a' は、減速となるため負値となる。 v_e は、大会の規定平均速度25 km/h (6.94 m/s)を便宜的に用いた。以上より、理論的に求まる最適な最低速度 v_l は、4.16 m/s (15.0 km/h)、最高速度 v_h は、10.03 m/s (36.1 km/h)となった。図3に理論的に求めた走行パターンを示す。図に示すように、スタート後は、36 km/hまで加速した後エンジンを停止させ、15 km/hになるまで惰性走行を行う。そして、再びエンジンを稼働させ加速を行う。これを最後まで繰り返す走行パターンとなっている。これまでのレースでは、経験的に最低速度を20 km/h、最高速度を35 km/hとして走行していたが、本提案モデルから計算される値も概ね近い値となっている。

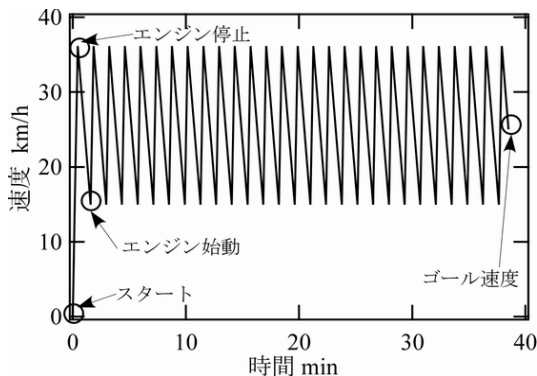


図3 理論走行速度のパターン

4. 走行試験

4.1 試験方法

走行試験で使用するエコカーの外観写真を図4、主要諸元を表3に示す。エコカーは、アルミニウム合金製のフレームで作製しており、Honda ボーカルのエンジンを搭載している。カウルは、繊維強化プラスチック (FRP) で作製している。エンジンの燃料供給方式は、キャブレターである。また、惰性走行時に車体の振動で燃料が流入するのを防ぐために独自に開発した燃料カットシステムを備えている。

走行試験は、「Honda エコマイレージチャレンジ全国大会」のレースで行った。本レースの走行コースを図5に示す。また、図5中の番号の位置におけるコース高低差

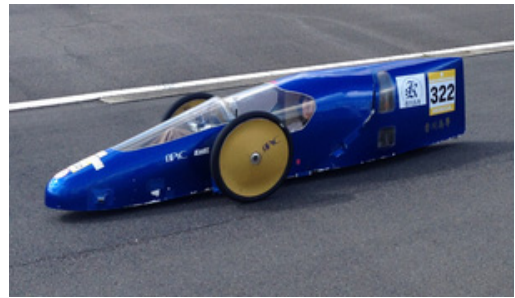


図4 エコカーの外観写真

表3 エコカーの主要諸元

寸法	
全長	2765 mm
前幅	413 mm
全高	560 mm
ホイールベース	1421 mm
最低地上高	50 mm
重量	
車両重量	34.1 kg
諸装置	
クラッチ型式	自動遠心式多板 コイルスプリング
減速機歯車型式	スプロケット
ブレーキ	2系列自転車用
エンジン	
型式	OHC 単気筒
排気量	49 cc
圧縮比	10.0
燃料供給方式	キャブレター

を図6に示す。本コースは、ツインリンクもてぎのスーパースピードウェイであり、1周約2.4 km (1.5 mile) のオーバルコースである。コーナー半径は、それぞれ160 mと220 mであり、それを繋ぐ直線長は600 mとなっている

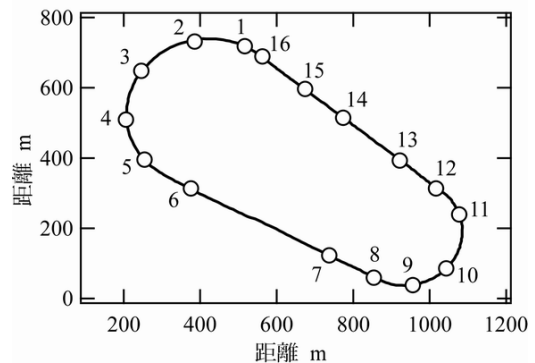


図5 走行コース

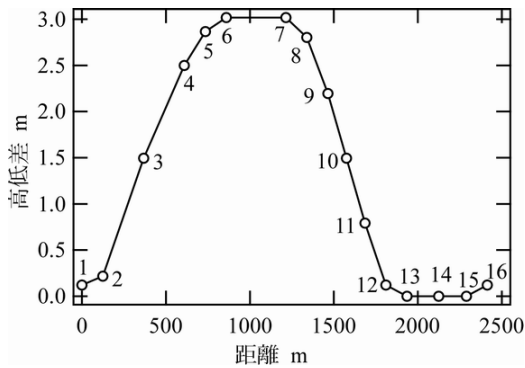


図6 コース高低差

る。また、高低差は、約3mと比較的小さい。走行方法は、平均速度が25.5km/hになるように、1周あたりの走行時間を5分30秒、エンジン稼働回数を4回として、7周走行する。走行パターンは、図2に示したとおりである。なお、走行中の速度は、GPS・3軸加速度データ記録計((株)アイ・ティ・リサーチ社製:Car-BCALs1000)により測定した。

4.2 結果および考察

結果は、走行時間38分24秒、平均速度25.6km/hであり、燃費は1152.375km/Lであった。燃費は、走行前燃料重量 $g_b = 282.25 \times 10^3$ kg, 走行後燃料重量 $g_a = 271.64 \times 10^3$, 当日の燃料密度 $\rho = 0.746$ Mg/m³および規定走行距離 $L = 16389.68$ mを式(1)に代入して求めた。走行時間および平均速度はほぼ設定した値になっていた。燃費は、過去最も良好な結果であった。

次にGPSによって得られた走行速度を詳細に考察する。図7に測定された走行速度の変化を示す。図中の1~7はそれぞれの周回数であり、区切りを縦の破線で示した。また、走行時の設定最高速度 v_h と最低速度 v_l のラインを横の破線で示している。図7に示すように、設定した最高速度36km/hまで加速できているのは、28回のエンジン稼働中12回であり、平均の最高速度は34.1km/h

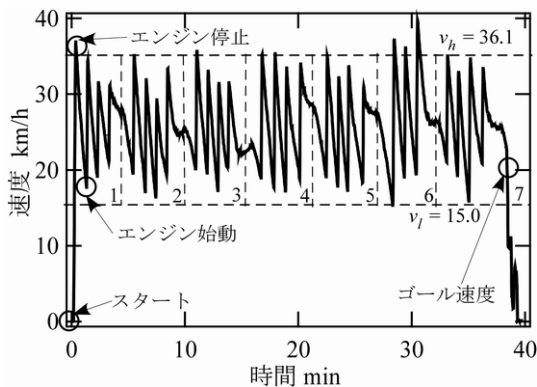


図7 走行速度の変化

であった。特に、6周目では、ドライバーの判断で、エンジン稼働回数を1周あたり3回に減らしたために、設定した最高速度より高い40km/hまで加速している箇所もある。6周目以外では、1周あたり4回のエンジン稼働回数で走行できていた。一方、最低速度については、ほとんどの周回数で設定した最低速度である15km/hまで減速しないままエンジンを稼働しており、平均の最低速度は、16.8km/hであった。設定した最高および最低速度に対する誤差は、それぞれ-5.5%と12.0%である。レース中は、かなりの台数が同時に走行しているため、予期せぬ場所でのブレーキングも発生する。また、提案モデルでは、図6に示したコースの高低差を考慮していないことも踏まえ、今回の誤差範囲であれば設定速度に対して妥当な走行結果であったと考えられる。また、使用するエンジンの性能試験結果から、最低速度が低くなりすぎると、最高速度に達するまでに多くの燃料を消費することが分かっている。そのため、今回設定した最低速度が燃費に及ぼす影響をさらに検討することが今後の課題である。

以上より、提案モデルから求められた走行パターンで走行試験を行った結果、良好な燃費を得ることができた。したがって、提案モデルの妥当性が確認できた。

5. まとめ

本研究では、最適走行速度を理論的に求めるモデルを提案し、実際の走行試験結果と比較することで、提案モデルの妥当性を評価した。その結果、以下に示す結論を得た。

- (1) 走行解析モデルから走行時の最高速度および最低速度を容易に見出すことができる。
- (2) 最適走行速度は、最高速度36.1km/h、最低速度15.0km/hであった。
- (3) 走行試験を行った結果、走行速度は、求めた走行パターンに近い値であり、1152.375km/Lの良好な燃費が得られた。

謝辞

本研究の一部は、一般財団法人百十四銀行学術文化振興財団の平成26年度産業・学術部門助成金によって行われた。ここに付記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 森謙一郎, ホットスタンピング入門 自動車軽量化に向けた超高強度鋼部材成形法, 日刊工業新聞社, 8-12, 2015.
- 2) 佐藤章仁, 西村信吾, 自動車車体の軽量化とその課

- 題, 塑性と加工, 44-506, 202-206, 2003.
- 3) 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, 3-6, 2015.
 - 4) 本多将和, 福島志斗, 小吹健志, エコラン活動を通じた"ものづくり"教育, 設計工学 48-9, 410-417, 2013.
 - 5) 小寺金蔵, 1 リットルのガソリンでどこまで走れるか 6 サイクルエンジンへの取組み, 自動車技術, 58-10, 26-29, 2004.
 - 6) 高橋義一, エコノカーの設計・製作, 高松工業高等専門学校研究紀要, 28, 47-51, 1993.
 - 7) 高橋義一, エコノカーの設計・製作 (燃費に及ぼす総減速比の影響), 高松工業高等専門学校研究紀要, 30, 23-25, 1995.
 - 8) 高橋義一, 4 サイクル 50cc スーパーカブのエンジンの性能試験 (気化器の影響), 高松工業高等専門学校研究紀要, 31, 43-47, 1995.