

研究ノート

省エネ車の走行パターンと走行抵抗について

香川職業訓練短期大学校

上村友弘・田中康夫・高橋孝富士・榎本 実

Running Pattern and Traction Resistance of Mileage Marathon Car

Tomohiro Uemura, Yasuo Tanaka, Takatoshi Takahashi, Minoru Enomoto

要 約 1ℓあたりの走行距離の長短を競う省エネレースで、よりよい記録を出すには、走行抵抗が極力小さい省エネ車と、さらにこれを効率よく走らせることができる運転技術が必要である。そのためには、レース中の車両の状態をできるだけ詳細に把握する必要がある。

しかし、これまでの省エネレースの結果から、走行パターンを検討する方法は報告されていない。また、車両の性能の優劣を決める大きな要因である走行抵抗の測定についても、満足できるデータの採取までにはいたっていない。そこで新たに開発した速度解析装置を使用し、省エネレースでの車両の走行状態の解析を試みた。

その結果、車輪の回転信号からコース上における省エネ車の走行パターンを測定し、さらに惰行時の車速の変化から、車両の走行抵抗を算出することができた。この結果を用い、平地における1ℓで走行可能な距離、ならびに鈴鹿サーキットにおいて開催されるマイルレッジマラソンで要求される駆動力、総減速比などの概略を把握することができた。

I. はじめに

省エネレースは、1ℓあたりの走行距離の長短を競う競技である。省エネレースでよりよい記録を出すためには、効率の良いエンジンを搭載し、走行抵抗が極力小さい省エネ車と、その省エネ車を効率よく走らせることができる運転技術が必要である。そのためには、レース中の省エネ車の状態をできるだけ詳細に測定しておく必要がある。

また省エネ車のコース上での正確な走行抵抗が測定できれば、将来的には省エネレースのシミュレーションが可能となり、省エネレースにおける理想的な走行パターンを追求する上で非常に有効な手段となる。

しかし、これまでの省エネレースでは、コース上をどのように走行したかを知る方法としては、ドライバの感覚や記憶に頼るほかになく、走行パターンを検討する情報としては不十分であった。省エネ車の性能の優

劣を決める大きな要因である走行抵抗の測定については、過去に兼竹らによって試みられた⁽¹⁾が、満足できるデータの採取にまでにはいたっていない。

著者らは、すでにパーソナルコンピュータを使った省エネ車の速度解析装置を開発⁽²⁾している。今回その解析装置を用いて、鈴鹿サーキットにおいて省エネ車の車輪の回転信号を記録し、その解析を試みた。

その結果、コース上における省エネ車の速度変化やエンジンの使用状況、および加速の様子などの走行パターンを測定することができた。さらに惰行時の車速の変化から省エネ車の平地での走行抵抗を算出することが可能となった。算出した走行抵抗を回帰分析することにより、走行抵抗曲線を得ることができた。その結果を用いて、平地における1ℓで走行可能な距離、ならびに鈴鹿サーキットにおいて開催されるマイルレッジマラソンで要求される駆動力、総減速比の概略を把握することができたので、以下に報告する。

II. 実験装置および実験方法

図1に供試省エネ車の外観を、表1に主要諸元を示す。軽量化のため車体はアルミニウムフレーム、樹脂製カバーを使用した。エンジンには改造を施し、さらに可能な限り小型軽量とした。また車体形状は流線形を基調にして、極力空気抵抗が小さい形状としてある。

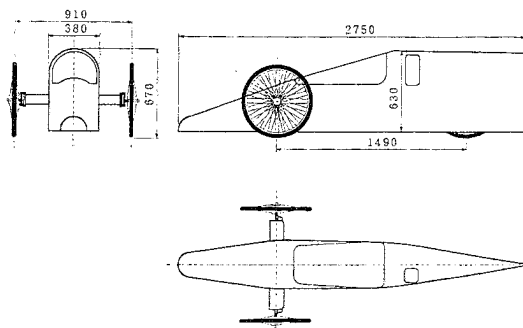


図1 供試省エネ車の外観

表1 供試省エネ車の主要諸元

全長	2750 mm
全幅	910 mm
全高	670 mm
車両総質量	82.7 kg
(車両質量+ドライバー質量)	30.0+52.7 kg
エンジン	ホンダ ΔF04E 49 cc(改造)
駆動装置	チェーン2段減速
総減速比	11.9
タイヤ	24インチ チューブラタイヤ
タイヤ空気圧	1.0 MPa
駆動輪有効周長	1.80 m
前面投影面積	0.31 m ²

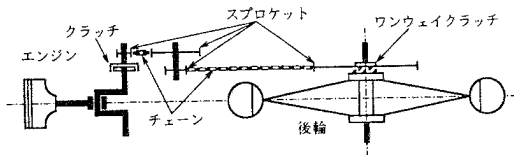


図2 駆動装置の概略

図2に駆動装置の概略を示す。動力は、エンジンからクラッチを介してチェーンで2段減速され、ワンウェイクラッチを介して後輪に伝達される。その結果省エ

ネ車の惰行時には、後輪はワンウェイクラッチより前の駆動装置とは切り離され、摩擦抵抗を低減できる。

図3に速度解析装置の概要を示す。速度解析装置は、省エネ車に搭載された回転信号記録部、およびパソコ

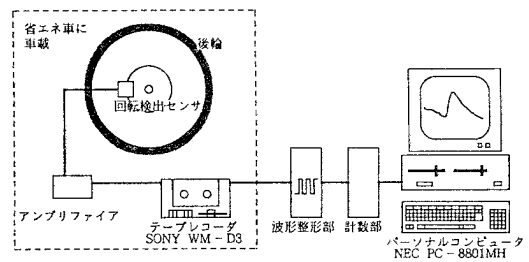


図3 速度解析装置の概要

ンを中心に構成される信号解析部により構成される。図4に赤外線センサの詳細を示す。発光素子の赤外線発光ダイオードと受光素子のフォトトランジスタは対向しており、後輪に取り付けた遮光板が赤外線を遮ることによって、後輪1回転につき1個のパルスが検出できる。そのパルス信号はアンプリファイアで増幅され、車載のテープレコーダによってカセットテープに記録される。カセットテープに磁氣的に記録された車輪の回転信号は、波形整形部で0-5Vのパルス信号に変換される。続いて計数部でパルス数および各パルスの時間間隔を計測し、その結果をパソコンに取り込

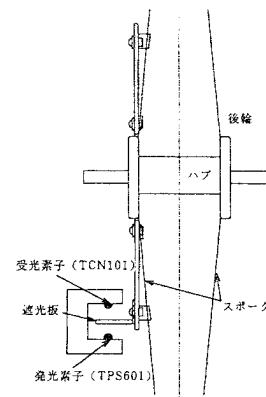


図4 赤外線センサーの詳細

III. 省エネ車の走行抵抗

自動車の走行抵抗 R は一般に下記の式で表される。

$$R = R_r + R_l + R_s + R_k \quad (1)$$

ここで、 R_r はころがり抵抗、 R_l は空気抵抗、 R_s は勾配抵抗、 R_k は加速抵抗である。ただし、以下の議論では加速状態を考慮に入れていないので、加速抵抗 R_k は省略する。それぞれの抵抗は以下の式で表される。

$$\left. \begin{aligned} R_r &= \mu_r Mg \\ R_l &= \frac{1}{2} \rho C_D A V_a^2 \\ R_s &= Mg \sin \theta \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ここで、 μ_r は車輪のころがり抵抗係数、 M は車両質量、 ρ は空気の密度、 C_D は空気抵抗係数、 A は前面投影面積、 V_a は対空気速度、 g は重力の加速度、 θ は水平面と路面のなす角である。

省エネ車の場合、ころがり抵抗にはつぎのような特徴がある。まず、図2に示したように、駆動装置がワンウェイクラッチの所から切り離せるようになってるので、惰行中は駆動系の摩擦損失を無視することができ、ころがり抵抗はタイヤと路面との摩擦力および車輪の軸受け部の摩擦力として取り扱うことができる。空気抵抗は本来対空気速度の2乗に比例するが、無風の場合は対空気速度は車速に等しい。

以上のことを考慮すれば、 a 、 b を実験定数として、走行抵抗を車速（対空気速度） V_a についてつぎのように書くことができる。

$$R = aV_a^2 + b \quad (3)$$

上記の実験定数 a および b を決定するためには、走行抵抗の測定が必要である。走行抵抗を測定する方法には、いくつかの方法がある。代表的な方法には、JISと、高速惰行試験⁽⁵⁾とがある。本実験では後者を採用した。高速惰行試験はつぎのように行う。高速走行から惰行を開始し、速度の低下に対する時間の関係を

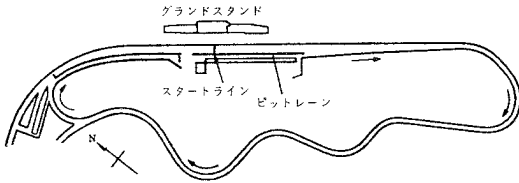


図5 鈴鹿サーキット東コース

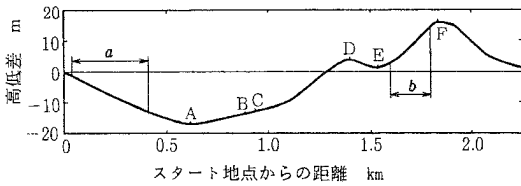


図6 鈴鹿サーキット東コースの高低差

んで必要な演算が行われる。時間計測用の基準クロックは10kHzである。

今回計測を実施した省エネレースは、1991年10月26、27の両日、鈴鹿サーキット（三重県鈴鹿市）で開催された『91昭和シェル石油・CAR GRAPHICマイレージマラソン』である。図5に今回レースに使用された鈴鹿サーキットの東コースの概略⁽³⁾を、図6に高低差⁽⁴⁾を示す。高低差はピット前のスタートラインを基準として1周分を示した。このコースは、1周2248.5mであり、最大勾配7.8%と起伏に富んだコースである。

実験走行は、26日の午後の公式練習で行った。表2に計測日の気象条件を示す。ピット前のスタート地点からエンジンを始動させないでスタンディングスタートを行い、2周連続の走行を2回行った。

表2 計測日の気象条件

1992年10月26日	14時	津気象台調べ
天気	くもり	
気圧	101.92	kPa
気温	18.5	°C
湿度	78	%
風向	南西	
風速	2.0	m/s

計測する。その結果から各速度間の平均減速度を求め、走行抵抗を算出する。これを速度と走行抵抗の関係に整理して、最小二乗法により a および b を決定する。

実験定数 a が決まれば、式(2)と(3)から空気抵抗係数 C_D は次式で求められる。

$$C_D = \frac{2a}{\rho A} \quad (4)$$

C_D の値から車体形状が空気抵抗に及ぼす影響を推測することができる。

IV 結果および考察

1 走行パターン

測定結果を図7に示す。図の縦軸は後輪が1回転に要した時間である。さらに、この図の縦軸を車速に変換すれば図8が得られる。図6と図8(a)とからわかるように、スタートからA地点までは下り坂のため、エンジンを使用しなくても車速が上昇する。このあと登り坂になり、車速が約20km/hまで低下したB地点でエンジンを始動して加速する。C地点でエンジンを停止し、ふたたび惰行運転に移る。この操作を数回繰り返して坂を登りきる。D地点からの短い下りの後、E地点から先はコース中最大の7.8%の勾配をもつ登り坂路である。エンジン使用時の加速が鈍いこと、および惰行走行時の速度の低下が急なことからも急勾配であることがわかる。F地点以降は下り坂になり、スタート地点を通過し、2周目に入っている。図からわかるように1周目の終わりでは約50km/hの速度でスタート地点に進入する。2周目の最高速度はA地点で約60km/hである。

以上のように、測定された走行データからはエンジンの使用状況や勾配による走行パターンの変化などを知ることができた。

2 走行抵抗

本実験で計測したデータから平坦路に相当する走行抵抗を計算した。計算には図6のaの区間(以後計測区間と呼ぶ)のデータを使用した。計測区間は比較的に長い直線で、勾配は3.2%でほぼ一定である。

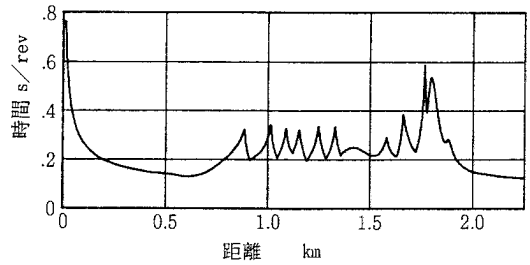
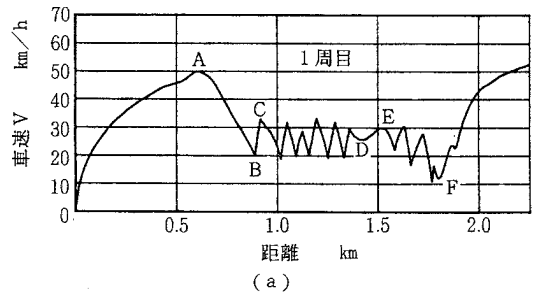
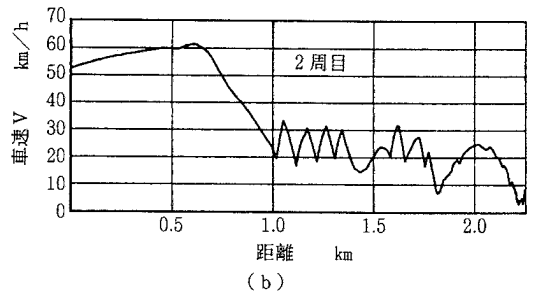


図7 後輪が1回転に要した時間(1周目)



(a)

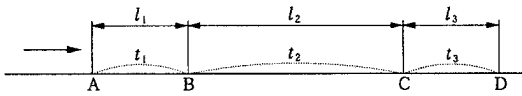


(b)

図8 省エネ車の走行パターン

計算方法は一般の惰行性能試験と基本的に同じである。しかし、本実験では車輪1回転の走行距離(1.8m)ごとにその所要時間を得られること、また路面に勾配がついていることを考慮して、次に示す計算方法を採用した。

図9に走行抵抗の計算方法を示す。 Δv はAB間とCD間の平均速度差、 Δt はその所用時間であり、 V と R が速度と走行抵抗の関係を表す。本実験では l_1 、 l_2 を9m(車輪5回転)、 l_2 を45m(同25回転)とした。



$$\Delta v = \frac{l_1}{t_1} - \frac{l_2}{t_2} \quad \Delta t = \frac{1}{2}t_1 + t_2 + \frac{1}{2}t_3$$

$$V = \frac{l_1 + l_2 + l_3}{t_1 + t_2 + t_3} \quad R = \left(\frac{\Delta v}{\Delta t} - \sin\theta \right) Mg$$

図9 走行抵抗の計算方法

上記の計算を計測区間内の7カ所で行い、図10を得た。

これらの計算点を用いて式(3)の係数を最小二乗法で求めた。計測時の風速は2.0m/sと小さく、風向は進行方向に対してほぼ直角であったため、風の影響を無視した。得られた走行抵抗曲線を図10の実線で示す。この曲線は次式で表される。

$$R = 4.83 \times 10^{-3} V + 7.61 \quad (\text{N}) \quad (5)$$

ここで、 V は車速で単位はkm/hである。

得られた走行抵抗曲線の妥当性を確認するために、計測区間における走行シミュレーションを行い、測定データと比較した。

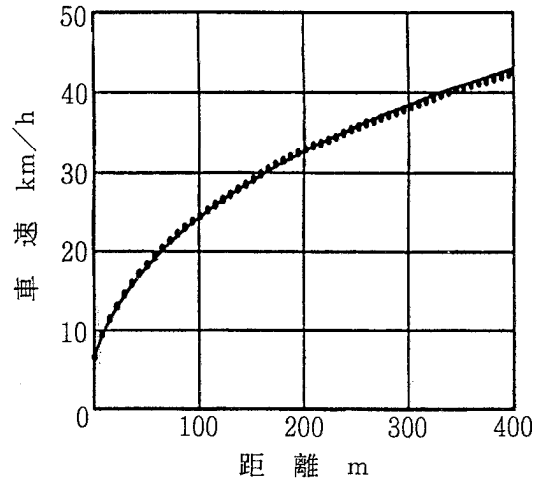


図11 実車速とシミュレーション値との比較

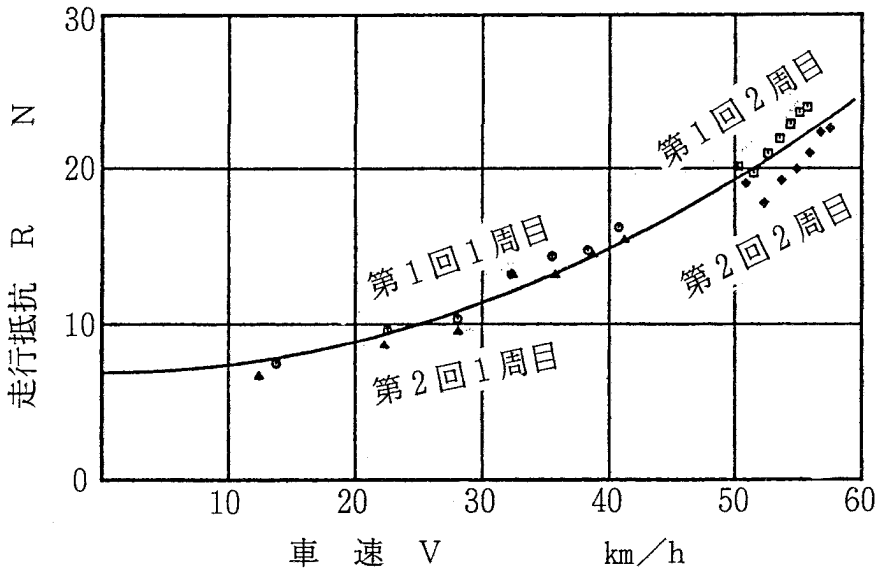


図10 省エネ車の走行抵抗および走行

初速が与えられれば、走行距離と速度の関係を知らることができる。シミュレーションにおける初速は、実走行で計測区間に進入したときの速度を与えた。図11の実線にシミュレーション結果を示す。黒丸点は1周目の測定データを示す。図から式(5)は実際の走行抵抗を良く表していることがわかる。

4 空気抵抗係数

空気抵抗係数の式(4)と走行抵抗曲線の係数から $C_d=0.32$ を得た。

式(2)から、走行時の空気抵抗に影響を与える車両形状の要素は、空気抵抗係数 C_d と前面投影面積である。対空気速度が同じ場合、空気抵抗の大きさは両者の積に比例する。

供試省エネ車の場合、外部にむき出しの前車輪やその支持アームが前面投影面積に占める割合が意外に大きいことや、カウルの継ぎ目などが流線形の車体による優位性を打ち消している可能性がある。

5 1ℓで走行可能な距離の試算

今回の測定データをもとに省エネ車が1ℓでどれだけ距離を走行できるかを試算してみる。無風の平坦な直線舗装路を、25km/hの一定速度で走行した場合を想定する。

駆動輪に出力されるガソリン1ℓあたりの仕事を W_r とすると

$$W_r = d \eta_e \eta_i H_u \quad (6)$$

ただし、 d : ガソリンの比重

η_e : エンジンの正味熱効率

η_i : エンジンから駆動輪までの機械効率

H_u : ガソリンの低位発熱量

となる。省エネ車を走行させたときの仕事を W_r とすると

$$W_r = RL \quad (7)$$

ただし、 R : 走行抵抗

L : 走行距離

となる。式(6)、(7)よりガソリン1ℓで走行できる距離 L は

$$L = \frac{W_r}{R} \quad (8)$$

で求めることができる。

表3に計算に用いた諸値を示す。また、省エネ車の走行抵抗は式(5)から求めた。

表3 走行距離の計算に用いた諸値

ガソリンノ低位発熱量	H_u	44000	kJ/kg
ガソリンノ比重	d	0.74	
エンジンの正味熱効率	η_e	0.3	
エンジンから			
駆動輪までの機械効率	η_i	0.9	

計算の結果は960km/ℓとなり、予想を下まわる数値となった。これは空気抵抗及びころがり抵抗、前面投影面積などが予想より大きい値であったことから、結果として期待できる試算値にはならなかったということになる。

実際の競技では、エンジンを停止させ惰行を繰り返したりしながら燃費の伸張に努めるが、スタートやゴール時などの加減速、コーナリング、他の競技車との干渉など燃費を悪化させる要因も数多くあり、今回の試算値よりも短い走行距離になることが考えられる。現在この省エネ車の公式記録が681.22km/ℓであることから、駆動系も含めた正味熱効率は30%近くの値になっていると推察でき、エンジン効率はほぼ妥当な値を示しているといえる。

今後の対策としては、むしろ走行抵抗の低減を積極的に推進していくことが急務であるということが判明した。

6 7.8%登坂路の走行抵抗と総減速比

鈴鹿サーキットの東コースで行われるマイルレージマラソンで、最も大きなエンジン出力が要求されるのは、スタートから1600m地点にある勾配が7.8%の登坂路である。

それゆえこの登坂路に合わせて、エンジンの大きさや減速比の決定を行うことが、効率の良い走行に大きな

影響を及ぼすことが容易に推察できる。現実に毎年この坂路を登れない競技車を数多く見ることができる。

エンジンのトルク特性がわかれば、この坂路を効率よく走行するための減速比の検討が可能となる。

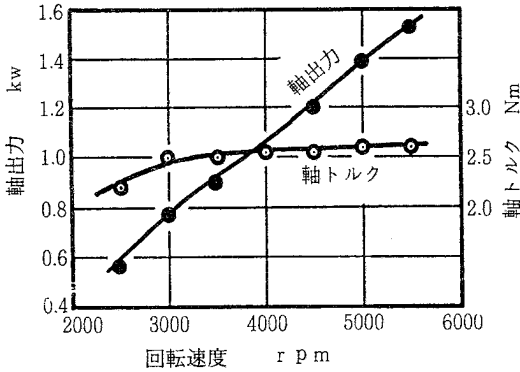


図12 ホンダ50ccスクータ用エンジンの動力性能

図12に著者らが行ったホンダ製50ccスクータ用エンジンの動力試験結果を示す。この結果は改造を行っていない市販状態における単体での試験結果である。このエンジンの軸トルクは2500rpmから5500rpmまでほぼ一定で、5500rpmのときに $2.65\text{N}\cdot\text{m}$ を示した。

図13は7.8%の登坂路を一定の速度で走行したときの走行抵抗ならびに減速比を変化させた場合の駆動力を縦軸に、車速を横軸にとって整理したものである。なお駆動系は、ローラチェーンの2段減速とし、その伝達効率 η は0.9と仮定して計算した。

7.8%の勾配による勾配抵抗は 63.1N となり、平坦路での走行抵抗にこの勾配抵抗を加えると、図に示すような右上がりの曲線となる。走行抵抗の値は、 20km/h で 71.3N 、 40km/h で 76.9N となる。実際の省エネレースでは登坂路を 40km/h 以上で走行する必要はない。したがって、この坂を登るために必要な駆動力は 80N もあれば十分なことがわかる。省エネ車が一定速度で登坂するためには、走行抵抗よりも大きな駆動力が必要である。この図から、総減速比が10のとき、 30km/h から 50km/h の速度での走行が可能であることがわかる。しかし、実際のレースにおける省エネ車の総減速比は、十分な余裕駆動力を見込んでおく必要があり、供試省エネ車の総減速比11.9は妥当な値であるといえよう。

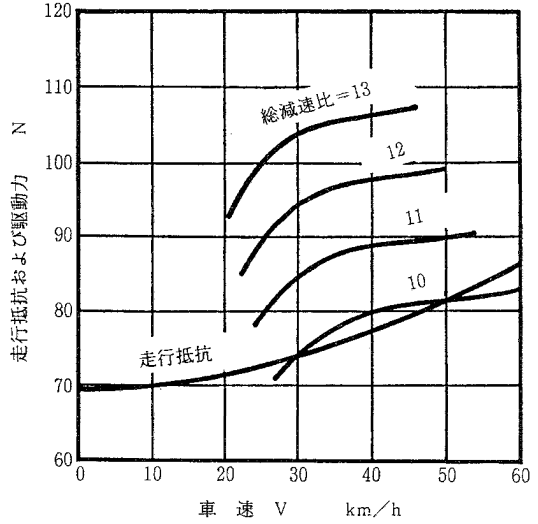


図13 7.8%坂路の走行抵抗および総減速比と駆動力の関係

V おわりに

パーソナルコンピュータを使用した速度解析装置を用い、実際のレースにおける省エネ車の走行解析を行った結果、つぎのことが明らかになった。

- (1) 測定された走行データからエンジンの使用状況や勾配による走行パターンへの影響などを知ることができる。
- (2) 測定された走行データを回帰分析することにより、ころがり抵抗係数および空気抵抗係数の算出が可能である。
- (3) 求めた走行抵抗を使って、平坦路での 1ℓ で走行可能な距離の試算ができる。
- (4) 求めた走行抵抗とコースの勾配を考慮することによって、コースを走行するのに必要な駆動力および総減速比の概略を知ることができる。

最後に、本研究を進めるにあたり省エネ車の製作から計測まで熱心に協力してくれた当校省エネ研究部の諸君および電子機械科3期生木村信之・三好賢一郎君に感謝いたします。また資料をご提供いただいたマイレージマラソン事務局野村氏に感謝いたします。そして、機械加工の面倒を快く引き受けてくださいました当校生産システム科藤沢則秋・堀家寛氏ならびに終始

適切なご指導をいただいた千葉徳男校長にお礼申し上げます。

参考文献

- (1) 兼竹、久保、高橋、宮城：省エネ車における燃費低減について、香川職業訓練短期大学校自動車科卒業研究発表会要旨集、1986年2月、p29-33
- (2) 田中、上村、高橋：省エネカーの速度解析装置、香川職業訓練短期大学校紀要第6号、1991年3月、p29-35
- (3) 91昭和シェル石油・CAR GRAPHICマイレッジマラソン大会規則書
- (4) 84昭和シェル石油・CAR GRAPHICマイレッジマラソン大会規則書
- (5) JIS D1015 自動車惰行試験方法
- (6) 樋口、長江、小口、渡部、永田、永井：わかる自動車工学全書、日新出版、1988年、p70