

燃費競技車両外装における機能性部品の設計開発

古矢和希* 万治志** 山崎義久** 岡大志** 小笠原雄一** 橋本淳**

Development of Functional Components Implemented in Cowl of Mileage Competition Vehicle

Kazuki FURUYA, Nozomi MANJI, Yoshihisa YAMASAKI, Taishi OKA, Yuichi OGASAWARA
and Jun HASHIMOTO

To reduce the aerodynamic drag and the rolling resistance working on a mileage competition vehicle, functional components having a simple aerodynamic effect are installed in rear section of vehicle cowl, in single and multiple. In this paper, effects of those devices are investigated by Computational Fluid Dynamics (CFD). Diffuser, Vortex Generator (VG), Flap and Gentle Slope of Rear Section (GS) are chosen as a basic component. First of all, it is confirmed that each simple component affects the drag force and the lift force at the running condition of mileage competition. Diffuser, VG and GS shows an effect of reduction in the aerodynamic drag. Flap and GS generates the lift force, meanwhile, Diffuser shows a generation of down force. In the light of the reduction of the rolling resistance, generation of the lift force having a decreasing effect of vertical force is desirable. To complement and foster the each effect, some combined devices are proposed in this study. Type NDC consisting of Diffuser and GS aims to foster a decreasing effect of the aerodynamic drag. Another one, Type NCF5 consisting of GS and Flap aims to foster the lift force leading to a decreasing effect of the rolling resistance. As a result of CFD, Type NDC and NCF5 show the theoretical mileage improvement of 30 and 10 km/l respectively. These effects are smaller than that brought by improvements of the other items. However, development expense of producing functional components is inexpensive.

Key Words : Vehicle, Mileage, Drag Reduction, Aerodynamic Drag, Rolling resistance, Computational Fluid Dynamics

1. はじめに

世界規模でのエネルギー問題や環境問題が叫ばれる現代、自動車の燃費向上は非常に重要な課題とされ、各メーカーは改善に全力を注いでいる¹⁾。そのような背景の下、環境問題への意識を高めながら技術者を育成する試みの一つとして、自作自動車による燃費競技会が開催されている²⁾。燃費競技とは、“リッター何キロ”といった記録を競うものである。

燃費競技大会における競技車両の走行方法は、一般的な車両の走行パターンと比べて特徴的である。図1に競技車両の概観を、図2にその走行パターンの一例を示す。競技においては、走行路を規定数周回する間の燃料消費量から燃費記録(km/l)を算出する。その際、規則によって平均速度 25km/h での走行が定められている。各競技者はできるだけ吸排気損失の影響を小さくしながらこの規則を守るために、WOT (Wide Open Throttle) 加速－機関停止・惰

性走行－機関始動・WOT 加速・・・といったパターンを繰り返して走行する。このような運転条件を踏まえた上で、燃費競技記録向上のために技術面から用いられる主な手法を図3に、また、競技車両に作用する主な抵抗を図4に示す。従来、加速抵抗や路面抵抗の低減は積極的に試みられてきた。また、近年は予算的に厳しいチームにおいても、プラスチック

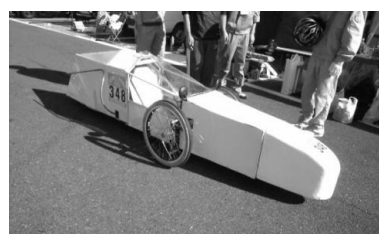


Fig. 1 Overview of the Mileage Competition Vehicle

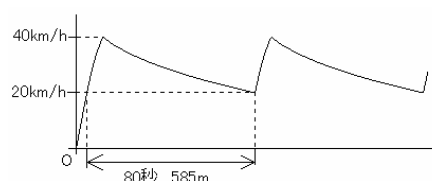


Fig. 2 Transient Running Pattern
of Mileage Competition Vehicle

原稿受付 平成 22 年 8 月 31 日

* 本田技研工業株式会社

** 津山工業高等専門学校 機械工学科

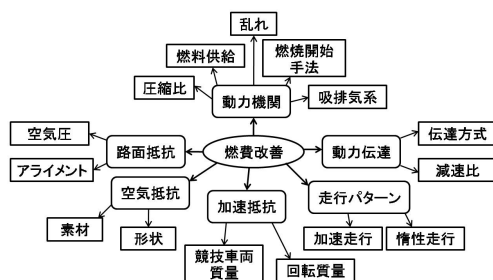


Fig. 3 Techniques to Improve the Mileage of Mileage Competition Vehicle

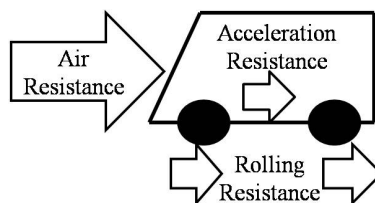


Fig. 4 Resistances Working on a Mileage Competition Vehicle

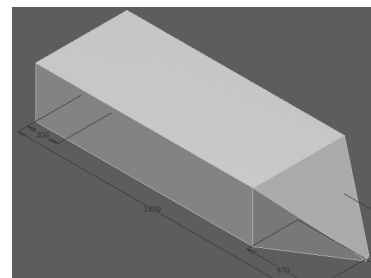


Fig. 5 Simple Model of Mileage Competition Vehicle

ク段ボールや塩ビ板を用いて外装を製作し、全体的な空気抵抗の軽減が行われるようになってきている。しかし、フォーミュラカーやエコカーで導入されているような、空気力学的な効果を有する機能性部品を活用し、空気抵抗の低減や揚力の制御を試みている例はあまり観られない。

そこで本研究では、空気力学的な機能性部品を競技車両外装後部に設置し、その単体、さらには複合効果によって、図4に示す各抵抗を低減することを目的とする。本論文ではまず、燃費競技の実施条件において、外装後部に設置した機能性部品の単体が与える空気力学的効果について明らかにする。さらにその結果を踏まえ、総合的な燃費向上効果を得るための複合型機能性部品の開発を試みる。

2. 計算および解析方法

予め行った実走試験³⁾および競技会での走行条件を熱流体解析ソフトウェア ANSYS CFX⁴⁾上で再現し、機能性部品の設置効果について検討した。1章で述べたように、燃費競技全国大会の規定⁵⁾によって、競技中の平均速度は 25km/h 以上と定められている。本研究では現象を簡単に扱うために、車両速度を 25km/h (6.94m/s) の一定値として解析を行う。主な計算条件を表1に示す。なお、評価結果の計算格子依存性については予備調査を行っており、機能性部品単体の効果を調べる際に用いた格子(四面体、空間格子サイズ 800mm 以下、インフレーション領域 100mm 以下、最大 5 層)より詳細な格子を用いた場合に対して、定性的には同様の傾向を示すことを確認してある。複合型機能性部品に関する検討においては、実走行に使用する外装モデルについて解析を行うため、より精度の高い格子(四面体、空間格子サイズ 200mm 以下、インフレーション領域 2.34mm 以下、最大 5 層)を用いて解析を行った。

3. 機能性部品の単体効果

本章ではまず、機能性部品単体での効果について

Table 1 Analysis Conditions

Domain	Atmospheric Pressure	1[atm]
	Fluid Temperature	308[K]
	Turbulence Model	Shear Stress Transport
	Inflow Fluid	Air
Inlet	Boundary Type	Inlet
	Fluid Speed	6.94[m/s]
	Option	Intensity and Length Scale
	Eddy Length Scale	0.1[m]
Outlet	Boundary Type	Outlet
	Option	Static Pressure
	Relative Pressure	0[Pa]
Freewalls	Boundary Type	Wall
	Option	Free Slip
Symp	Boundary Type	Symmetry
Body	Boundary Type	Wall
	Option	No Slip

検証する。基本となる機能性部品には、航空機や自動車の分野で用いられてきた要素を使用する。要素の名称および効果を表2に示す。計算は、図5に示す簡易外装モデルの後部に各部品を設置して行った。

表3に、各モデルに対して算出した空気抵抗 F_{air} 、揚力 L の値を示す。本論文ではN型は基準モデルを、ND型(図6)はディフューザの、NV型(図7)はボルテックスジェネレータ(以下、VG)の、NF型(図8)はフラップの、NC型(図9)は後方傾斜部の付加されたモデルを表す。各部品の詳細は後述する。全体的には、実際に製作する車体の寸法、機能性部品の取り付け可能空間を考慮しながら、車体後方30cm、上方10cm、下方9cmの領域の活用可能性を検討した。

まず、ディフューザの設置が与える効果について述べる。車両後方の流れは、空気抵抗に大きな影響を与えることが知られている⁶⁾。そこで、外装後部に設置したディフューザが気流を拡散し、後流を縮小することができれば、空気抵抗を低減できるものと考えた。ディフューザは、車体後方30cm領域の下部において、6度の跳上角に設定した。ディフューザ部で気流が拡散され、後流領域が縮小している様子を図10に示す。表3から、N型に比べてND型は空気抵抗が減少していることがわかる。

Table 2 Aerodynamic Effects

Functional Components	Aerodynamic Effects
Diffuser	Diffusion of Airflow
Vortex Generator (VG)	Reduction of Separation Flow Area
Flap	Occurrence of Lift
Gentle Slope of Rear Section (GS)	Reduction of Wake Flow Area

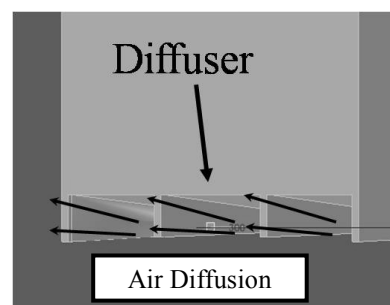


Fig. 6 Overview of ND Model

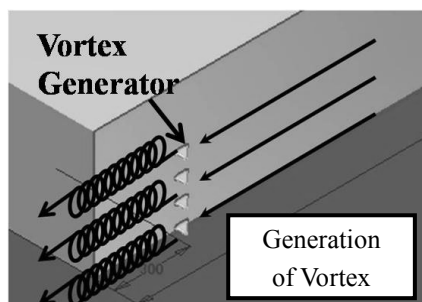


Fig. 7 Overview of NV Model

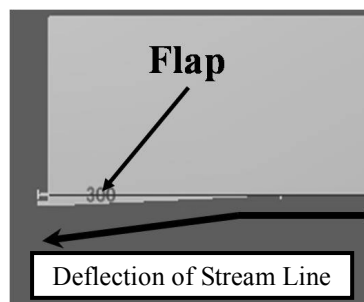


Fig. 8 Overview of NF Model

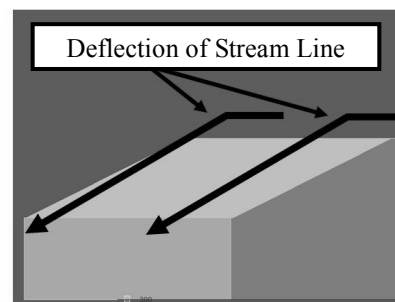


Fig. 9 Overview of NC Model

Table 3 Aerodynamic Force and Drag Coefficient

Type	F_{air} [N]	L [N]
N	10.1	-2.42
ND	8.98	-13.4
NV	9.20	-3.06
NF	9.70	2.52
NC	6.96	0.22

一方、垂直方向の力に着目すると、ND型ではN型に比べてダウンフォースが大きく増加していることがわかる。これは、ディフューザが気流拡散効果と同時に地面効果⁷⁾を生じているためと考えられる。ここで、揚力が減少した場合、車体に作用する下向きの力が大きくなり、車体重量が相対的に増大する。そのため、車体垂直方向の加重に依存する路面抵抗力が増加する可能性が考えられる。

次に、VGの設置が与える効果について述べる。流れの剥離は外装後部の絞り込み部分で発生しやすく、剥離流は空気抵抗を増大させる。そのため、一部の条件においては従来、実用車両後部にVGと呼ばれる突起物を設置することで剥離を遅延化し、空気抵抗力の低減が試みられてきた⁶⁾。本研究では競技車両外装後方にVGを設置し、競技条件におけるその効果について調査を行った。VGは5cmサイズの三角形形状、厚みは1cmとした。図11に、VGが剥離域を縮小する様子を示す。表3から、NV型はN型と比較して空気抵抗力を低減できることが確認できる。しかし、その効果はND型と比較すると小さい。これは、VGが従来、航空機の分野で応急策や

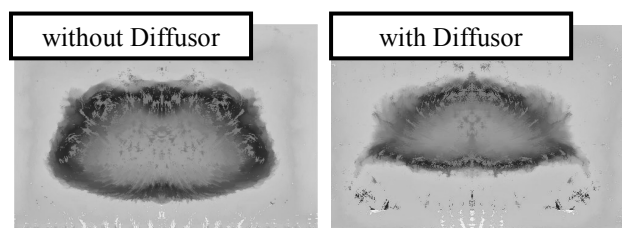


Fig. 10 Diffusion Effect of Airflow

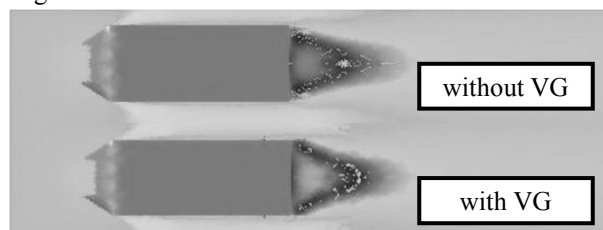


Fig. 11 Velocity Vector Maps of Wake Flow

微調整のために用いられてきた要素であることから、燃費競技の走行条件においては大きな効果が得られなかったものと考えられる。

車体に作用する抵抗力のうち、路面抵抗力は車体重量に依存する。そのため、適切な揚力を発生させることによって垂直加重を軽減できれば、燃費向上効果が期待できる。そこで、簡易なフラップを用いて揚力を発生させることによって、車体垂直加重の低減を試みた。フラップは車体の下部に、後方30cm領域において、車高を考慮した上で3度の傾斜となるように設置した。表3から、NF型を設置すると揚力が生じていることを確認できる。ここで、揚力が生じると車体に上向きの力が作用することとなり、車体重量を低減することにつながる。そのため、簡易フラップを設置することは路面抵抗力の低減に一

定の効果を有するものと推察される。

最後に、後方傾斜部の設置が与える効果を調査する。エコカーの外装後方は、後方へ向けてなだらかに傾斜していることが多い。これは、後流領域を縮小することによって、空気抵抗力を低減できるからである⁸⁾。本稿では、製作する競技車両の寸法を考慮しながら、車体後方 30cm の領域に 20 度の傾斜を持たせた上で評価を行った。表 3 から、NC 型は他の機能性部品に比べて空気抵抗力低減効果が大きく、後方傾斜部の設置が空気抵抗力低減に有効であることがわかる。

4. 複合型機能性部品の開発指針

本章では、外装後部に機能性部品を組み合わせることで、その単体効果を補完・強化し、総合的な燃費向上効果を達成できる複合型機能性部品の開発を行う。解析には図 12 に示すモデル (2009 年度実製作外装) を用いる。また、組み合わせる機能性部品は、3 章での解析後に寸法および個数についての最適化作業を行ってある。

まず、空気抵抗力低減を主目的とした部品複合化について検討する。以下に述べる 3 つのモデルを用いて解析を行い、N 型の解析結果と比較した。はじめに、ディフューザとフラップを組み合わせる (NDF5 型) ことにより、ディフューザの地面効果をフラップの設置によって生じる揚力が打ち消し、ディフューザの空気抵抗力低減効果のみを得る事ができると考えた。次に、ディフューザと VG の組み合わせ (NDV 型) およびディフューザと後方傾斜部の組

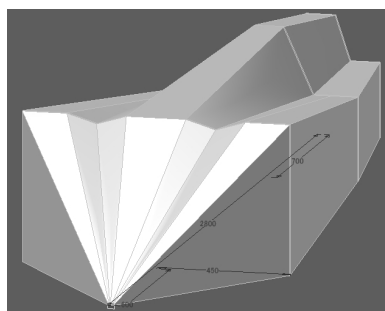


Fig. 12 Model of Mileage Competition Vehicle

Table 4 Aerodynamic Force

Type	F_{air} [N]	L [N]	Change Rate of F_{air} [%]	Change Rate of L [%]
N	3.84	-2.38	-	-
NDF5	3.84	-1.74	0.0	26.9
NDV	3.76	-2.60	2.1	-9.2
NDC	3.56	-2.22	7.3	6.7
NCF5	3.98	1.08	-3.6	145.5

み合わせ (NDC 型) を行うことにより、それぞれ双方の空気抵抗力低減効果を同時に得ることができる考えた。各モデルに対する空気抵抗力 F_{air} 、揚力 L の評価結果を表 4 に、外装後方流れ場の様子を図 13 に示す。

表 4 から、NDF5 型を外装後部に設置すると、空気抵抗力は N 型と概ね変わらず、揚力が 27% 程度増加することがわかる。これは、フラップの設置によって生じた空気抵抗力をディフューザの空気抵抗力低減効果が相殺する一方、フラップが生じた揚力が地面効果の影響を小さくしたためと考えられる。また、NDV 型は N 型に対して空気抵抗力を 2% 低減し、揚力を 9% 低下させることがわかる。しかし、揚力の低下による路面抵抗増加量としては概算で

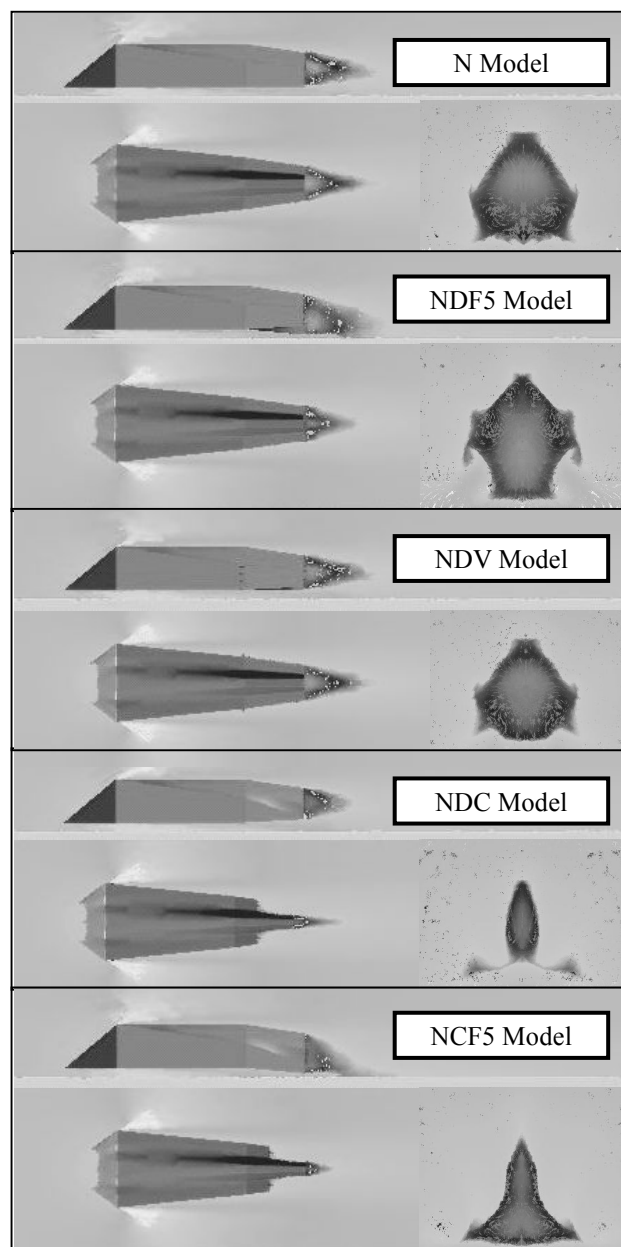
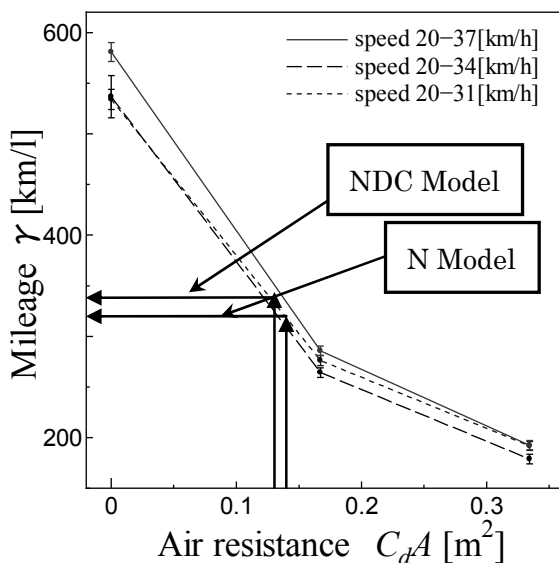


Fig. 13 Velocity Vector Maps of Wake Flow

Fig. 14 Effect of C_dA on Mileage

0.02%程度であることから、ディフューザが生じる地面効果の影響が、2009 年度モデルでは極めて小さいことがわかる。NDC 型については表 4 から、N 型に対して空気抵抗を約 7%低減し、揚力を 7%程度増加させている。このことから、他の複合型機能性部品と比較して空気抵抗低減効果が大きく、総合的な改善効果を有しているものと判断できる。これは、図 13 に示すように N 型と比較して後流が縮小されたことから確認できる。よって、最も優れた空気抵抗低減効果を有する複合型機能性部品は NDC 型である。ここでは、その燃費向上効果を既報^{9), 10)}の評価結果に基づいて試算する。まず、NDC 型を外装後部に設置したときの外装形状に対する空気抵抗係数を求める。空気抵抗係数を C_d 、流体密度を $\rho[\text{kg/m}^3]$ 、車両速度を $U[\text{m/s}]$ 、車両の前面投影面積を $A[\text{m}^2]$ とすると、空気抵抗 F_{air} は次式で表される。

$$F_{air} = \frac{1}{2} C_d \rho U^2 A \quad (1)$$

前面投影面積は 0.444m^2 であり、車両速度および流体密度は表 1 から 6.94m/s および 1.14kg/m^3 である。NDC 型に作用する空気抵抗は 3.56N であるので、これらを(1)式に代入して空気抵抗係数を求めると、 $C_d=0.29$ となる。その時、 C_dA 値は 0.13m^2 である。同様に、N 型の C_dA 値は 0.14m^2 と求められる。

ここで、 C_dA 値を変化させたときの燃費値推移を図 14 に示す^{9), 10)}。算出した C_dA 値から、NDC 型を外装後方に設置することによる理想的な燃費向上効果は、最大で 30km/l 程度であることがわかる。

次に、路面抵抗力の低減を主目的とした部品複合化について検討する。発生する揚力を増加させるために、車体後方の下降気流を大きくすることを目的としてフラップと後方傾斜部を組み合わせた(NCF5

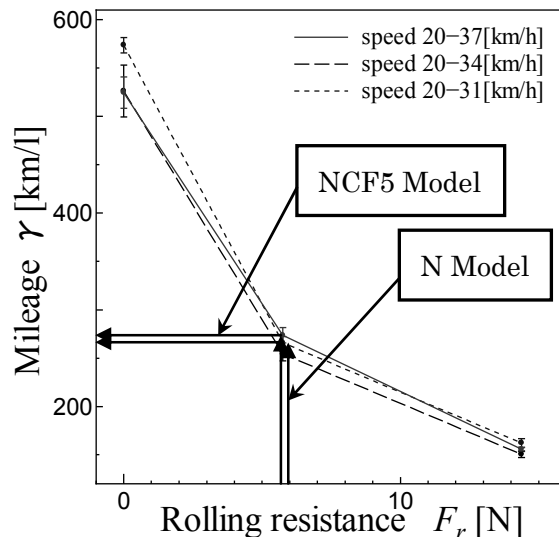


Fig. 15 Effect of Rolling Resistance on Mileage

型)。外装後方流れ場の様子を図 13 に、モデルに対する空気抵抗 F_{air} 、揚力 L の評価結果を表 4 に示す。表から、NCF5 型は N 型と比較して空気抵抗が 3.6%悪化するものの、揚力を 145%程度増加させることがわかる。これは図 13 から、下降気流が強化されることによって、その反作用による揚力が強化されたものと考えられる。生じた 3.5N 程度の揚力から試算すると、路面抵抗力を約 0.35%低減することができる。

その燃費向上効果を次のように試算する。まず、予め行った実走試験において、車体に作用する路面抵抗力が約 6N であることがわかっている。NCF5 型の設置による路面抵抗低減効果は 0.35%であるので、路面抵抗力を 0.021N 低減することとなる。したがって、NCF5 型を外装後方に設置したとき、車体に作用する路面抵抗力は約 5.97N である。ここで、路面抵抗 F_r の値を変化させたときの燃費値推移を図 15 に示す^{9), 10)}。算出した路面抵抗から、NCF5 型を外装後方に設置することによる理想的な燃費向上効果は最大で 10km/l 程度であることがわかる。

5. まとめ

以上、本稿では燃費競技車両の外装後部に空気力学的な機能性部品を付加することによって総合的な燃費の向上を試み、その効果とメカニズムについて流体解析を用いた検証を行った。本稿で明らかになった事項を以下に示す。

- (1) 燃費競技車両の走行条件において、ディフューザ、ボルテックスジェネレータ、フラップおよび外装後方傾斜部が持つ空気力学的効果

を明らかにした。

- (2) 機能性部品単体が有する利点および欠点を踏まえ、それらを組み合わせて設置することで効果を補完・強化し、総合的な燃費向上効果を得ることができる。
- (3) そのような複合型機能性部品を 2009 年度製作外装に設置した場合、本研究における試算に基づけば、最大 30km/l 程度の向上効果を得ることができる。

これらの改善効果は、動力機関等の改善による燃費向上効果に比べると比較的小さいものである¹¹⁾。しかし、外装後部の機能性部品は高価な FRP などでもなくとも、プラスチック段ボールや塩ビ板などで安価に製作することが可能であり、費用対効果としては、決して低くはないものとする。

謝辞

本研究の一部は、社団法人 発明協会および科学 Try アングル岡山のものづくり活動支援によって実施した。また、燃費競技車両の外装製作、実走試験、競技会参加の過程においては、津山工業高等専門学校 内燃機関同好会の部員諸君にご協力いただいた。最後に、津山工業高等専門学校 教育研究支援センターの先生方には、日頃から多大なご指導、ご助言をいただいている。ここに記し、謝意を表す。

参考文献

- 1) 畑村耕一：自動車エンジン技術が分かる本，ナツメ社，(2009)222-229
- 2) Honda エコノパワー燃費競技大会，<http://www.ecorun.info/>
- 3) 大原信哉，荒木佑介，藤井和樹，友野貴裕，橋本淳：燃費競技車両用小型火花点火機関の燃料消費量評価装置の製作，日本機械学会西日本エンジンシステム研究会 2008 年度夏季シンポジウム講演論文集，(2008)
- 4) アンシス・ジャパン株式会社，<http://ansys.jp/>
- 5) 第 29 回本田宗一郎杯 Honda エコノパワー燃費競技全国大会競技規則，(2009)5
- 6) 三菱自動車テクニカルレビュー，16，(2004)13-18
- 7) 週刊 AUTOSPORT GT FANBOOK，(2009)50-55
- 8) 小林敏雄，農沢隆秀：自動車のデザインと空力技術，朝倉書店，1998
- 9) 三浦寛史：燃費競技車両の記録向上に関する試み，津山工業高等専門学校 平成 20 年度 機械工学科卒業論文，(2008)9-35
- 10) 三浦寛史，藤井和樹，岡大志，小笠原雄一，大原信哉，橋本淳：燃費競技車両の競技記録向上に関する試み，計測自動制御学会 中国支部津山地区研究会講演論文集，(2009)
- 11) 伊藤宏一，中山紘一，塘春佳：数値シミュレーションによる省燃費エンジンの最適化に関する研究，東京都立航空工業高等専門学校 平成 12 年度 研究紀要，38，(2001)19-23