

タイヤによる車両の空気抵抗低減とリフト低減に関する研究

A study on reduction of aerodynamic resistance and lift of a vehicle by tires

○ 児玉 勇司, 横浜ゴム(株), 神奈川県平塚市追分 2-1, E-mail: yuji.kodama@y-yokohama.com
Yuji Kodama, The Yokohama Rubber CO.,LTD., 2-1 Oiwake, Hiratsuka, Kanagawa

The aerodynamic resistance and lift of a vehicle were investigated by change the shapes of "fin" on the side wall of tires. The drag and lift coefficients of the vehicle were calculated by a lattice Boltzmann method software "PowerFLOW". The drag coefficients were changed from -11 counts to 8 counts by changing the fin shapes while lift coefficients were decreased by compared with the normal tire. Since the relative velocity between the tire side surface and air flows is different from upper and lower side of tire, the fins on the upper side of the tire generate small vortexes which reduce aerodynamic resistance of the vehicle while the fin on the lower side of the tire reduces lift of the vehicle.

1. はじめに

定常走行中の自動車における走行抵抗の主要因は、タイヤの転がり抵抗と空気抵抗である。特に、高速領域においては、空気抵抗が支配的になるため、自動車の低燃費化においては、この空気抵抗を低減することが重要となる⁽¹⁾。また、走行中の自動車では、空気抵抗とともにリフト(揚力)が作用し、一般的に自動車の安定性向上のためにはリフトを低減することが望ましい。

自動車の空気抵抗およびリフトは、ボディ形状に大きく依存する。しかし、タイヤ付近の空気の流れが自動車周りの空気の流れに影響を及ぼしていることもわかってきており⁽²⁾、また、車両に装着するタイヤ形状やホイール形状を変えると、空気抵抗やリフトが変化することも報告されている⁽³⁾⁽⁴⁾。

前報では、タイヤによる自動車の空気抵抗を低減する試みとして、車両装着時に内側となるサイド面にフィンを設置したタイヤでの数値計算を実施し、車両の空気抵抗が低減することを示した⁽⁵⁾。しかし、車両の安定性に寄与すると考えられるリフトの低減が課題であった。

本研究においては、車両装着時に外側となるタイヤサイド部にフィンを設置した場合の車両の空気抵抗とリフトを数値解析し、車両の空気抵抗の低減とともに、車両のリフトを低減するフィン形状について考察を行った。

2. 解析モデル・解析条件

本研究に用いた車両モデルを Fig.1 に示す。ボディの大きさは全長 4.5 [m]、幅 1.8 [m]、高さ 1.3 [m]であり、ほぼ実車の乗用車と同じスケールとしている。

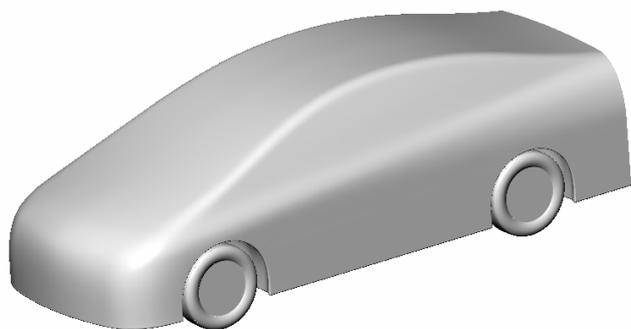


Fig. 1 The vehicle model.

基準となるノーマルタイヤモデルを Fig.2 (a) に示す。タイヤサイズは 195/65R15 であり、外径は 633[mm]である。ノーマルタイ

ヤに対し、車両装着時に外側となるタイヤサイド部にフィンを設置したタイヤをフィンタイヤモデルとした。フィンタイヤモデルの一例を Fig.2 (b) に示す。車両の空気抵抗とリフトに対するフィンの形状の影響を調べるために、Table.1 に示すパラメータにより作成した計 18 種類のフィン形状をもつフィンタイヤモデルを作成した。この際、Fig.3 に示すように、タイヤの回転方向に対するフィンの形状方向性があるため、18 種類のフィンそれぞれにおいて、前向きと後向きでの解析を行った。なお各解析においては、車両に装着するフィンタイヤモデルのフィン形状はすべて同一とした。

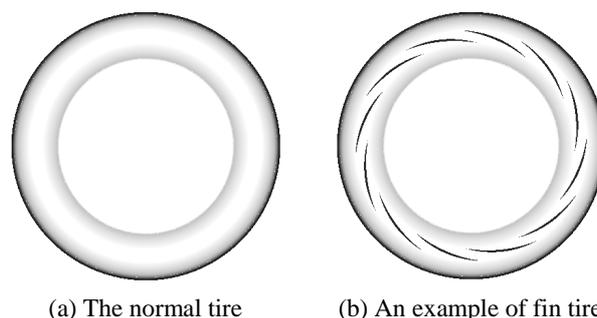


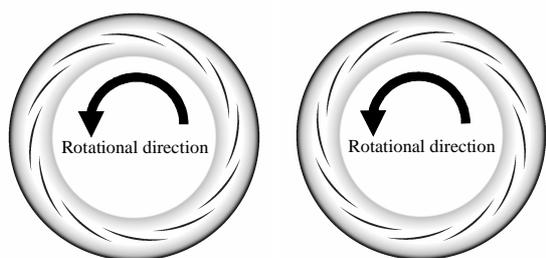
Fig. 2 Tire models.

Table 1 Parameters for fin shapes.

Parameters	Levels
Height [mm]	3, 6, 9
Number of fins	8, 10, 12
Tilted angle [°]	10, 20, 30
Position on the side wall	in-side, center, out-side

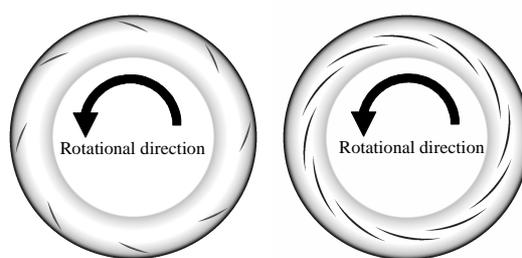
主流速度は 33.3 [m/s] とし、床面と車両表面は non-slip 条件とした。また、車両付近の床面には主流と同じ速度条件を与えた。タイヤ表面へは、タイヤ回転速度に相当する速度条件を与え、フィンが取り付けられているサイド部分にはスライディングメッシュを用いてフィンの形状的回転を考慮した。

数値解析には、汎用格子ボルツマン法ソフトウェア PowerFLOW5.0c を用いた。空気抵抗として Cd 値を、リフトとして Cl 値を算出し、流れ場が安定してからタイヤが約 10 回転する間の時間平均を評価した。



(a) A Forward fin shape (b) A Backward fin shape

Fig. 3 Definitions of tire rotational directions and fin shapes.



(a) Fin A tire (b) Fin B tire

Fig.5 Fin A tire (the lowest ΔC_d) and Fin B tire (the highest ΔC_d and a low ΔC_l).

Table 2 Parameters for fin A and B tires.

Parameters	Fin A tire	Fin B tire
Height [mm]	3	9
Numbers	8	12
Angle [°]	20	10
Position on the side wall	out-side	center

3. 解析結果・考察

(1) 車両全体の C_d 値と C_l 値について

フィンタイヤ装着時とノーマルタイヤ装着時との車両の C_d 値と C_l 値の差をそれぞれ ΔC_d と ΔC_l とし、それらの分布を Fig.4 に示した。ここで、 C_d 値又は C_l 値の差の 1/1000 を 1 カウントとしており、 ΔC_d または ΔC_l が負であれば、ノーマルタイヤよりもフィンタイヤにおいて C_d 値または C_l 値が低減していることを表す。タイヤに付けたフィン形状が異なると ΔC_d と ΔC_l が変わり、 ΔC_d においては、最小-11 カウントから最大 18 カウントまで変化している。

今回の試行したフィン形状においては、 ΔC_l はすべて負になっており、リフトがノーマルタイヤよりも低減している。また、フィンが前向きの方が、後向きよりもリフトが低減しているケースが多い。

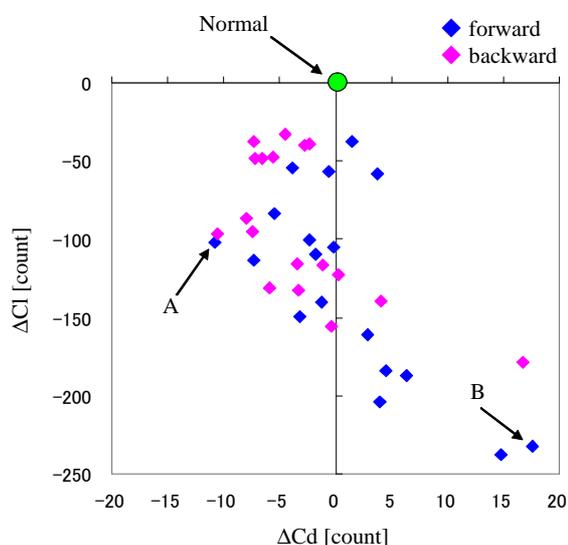


Fig. 4 ΔC_d and ΔC_l (differences between fin and normal tires)

C_d 値が最も低減しているフィン A タイヤ (Fig.4 中の A) と、 C_d 値が最も増加し、 C_l 値も大きく低減しているフィン B タイヤ (Fig.4 中の B) のフィン形状を Fig.5 に、また、それらの形状パラメータを Table. 2 に示した。 C_d 値が最も低減しているフィン A タイヤでは、タイヤサイド部中央より外径側にフィンがあり、またフィン高さが低く、フィン数が少ない形状となっている。一方、 C_d 値が最も増加し、 C_l 値が大きく低減しているフィン B タイヤでは、タイヤサイド部の中央にフィンがあり、フィン高さが高く、フィン数が多い形状となっている。

(2) フィン形状とタイヤ付近の空気の流れ

タイヤのサイド部に設置したフィン形状の違いにより、車両の C_d 値と C_l 値が変化する理由を、タイヤと車両側面における空気の流れから考察を行った。

Fig.6 にフロントタイヤ上部を通る水平断面における主流方向の速度分布を車両上面からの視点 (フェンダー上部からの視点) で示した。なお、図中の細線は、フェンダー内におけるタイヤとタイヤハウスの領域を示している。ノーマルタイヤでは、タイヤ前方付近から低速度の空気の流れが車両外側に広がっていることがわかる。一方、フィン A タイヤの場合、タイヤ前方付近からの低速度の空気の流れが存在するものの、車両外側への広がりが抑制されていることがわかる。この空気の流れの広がりの抑制により、フィン A タイヤでは車両の C_d 値が低減しているといえる。また、フィン B タイヤでは、フィン A タイヤと同様に、タイヤ前方付近からの空気の流れの広がりは抑制されているものの、タイヤ中央付近から低速度の空気の流れが車両外側に広がっていくことがわかる。この空気の流れの広がりによりフィン B タイヤでは、車両の C_d 値が増加しているといえる。

Fig.7 にフロントタイヤ下部を通る水平断面における主流方向の速度分布を Fig.6 と同様に車両上面からの視点で示した。ノーマルタイヤでは、タイヤと車両側面に沿って空気が流れているが、フィン A タイヤでは、タイヤ中央付近から低速度の空気の流れが車両外側に広がっている。またフィン B タイヤでは、低速度の空気の流れがフィン A タイヤよりも車両外側へ広がっている。これは、タイヤと主流との相対速度が小さいタイヤ下部のサイド部にフィンが存在する場合、フィンにより空気の流れの方向が車両外側方向へ変えられてしまうためと推測される。この車両外側方向へ変えられた空気の流れにより、車両床面を通過する空気流れの方向も車両外側に変更され、その結果、車両床面と路面間での圧力が減少し、 C_l 値が低減するといえる。

なお、リアタイヤ付近の流速分布も同様に確認したところ、それぞれのタイヤ形状において、フロントタイヤの速度分布と同様の傾向であった。

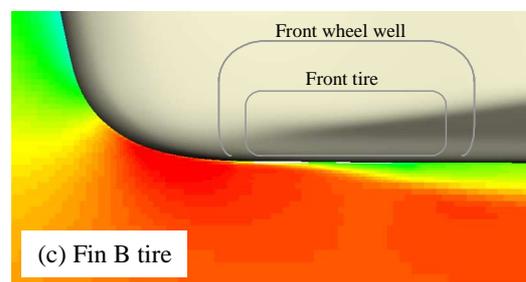
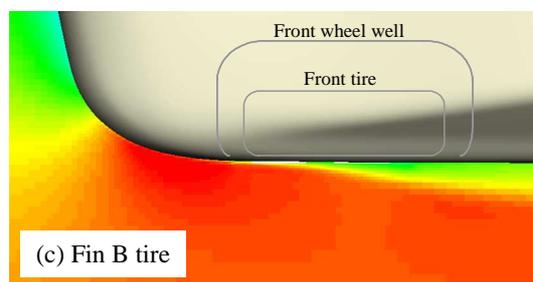
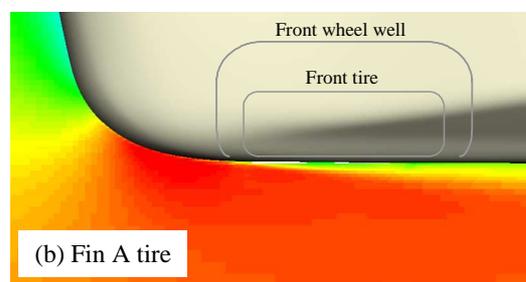
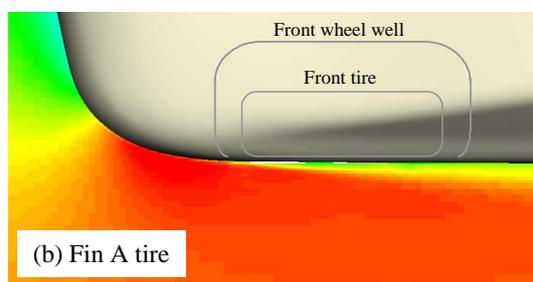
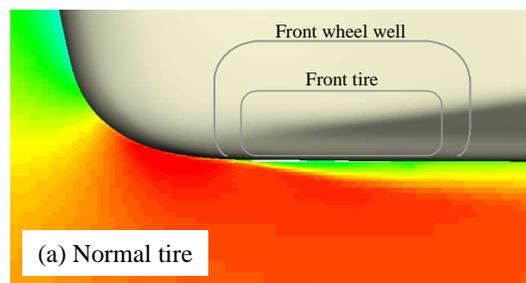
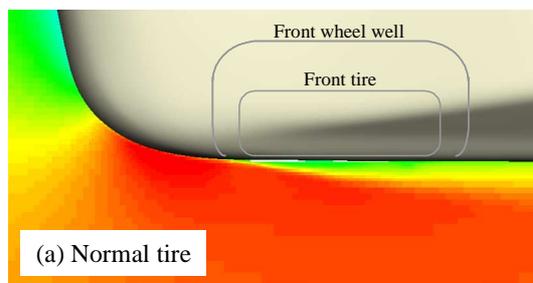
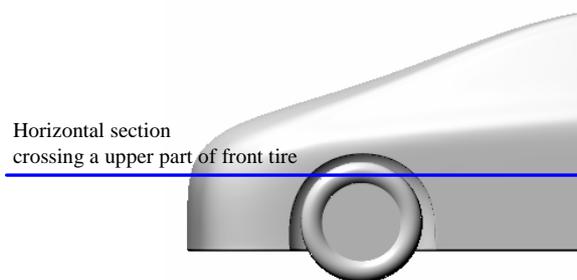
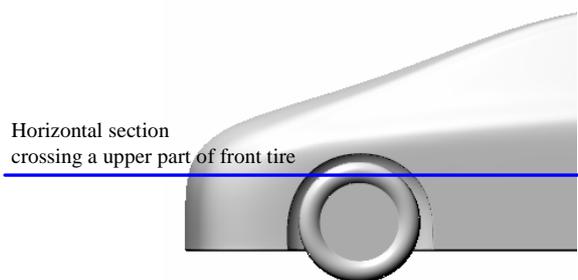


Fig.6 Velocity distributions on a horizontal section crossing a upper part of front tires

Fig.7 Velocity distributions on a horizontal section crossing a lower part of front tires

(3) フィンによる渦の生成

流れの中に突起が存在する場合、流れに対し擾乱が発生し、渦の生成や渦構造の変化が発生することが知られている。本研究のように、タイヤサイド部に設置したフィンにおいても、フィン近傍で、渦の生成または渦構造の変化が起きていると考えられる。

フィン形状の違いによるタイヤ付近での渦構造を比較するため、 λ_2 等値面の分布を調べた(Fig.8)。タイヤ上部における λ_2 分布に注目すると、ノーマルタイヤよりも、フィンAタイヤでは、渦が細分化されていることがわかる。これは、タイヤ上部では、タイヤとタイヤ側面を流れる空気との相対速度が大きく、フィンにより小さい渦が生成されやすくなっているためと考えられる。渦が細分化されることにより、タイヤ上部の空気の流れの広がりが増え、空気抵抗が低減しているといえる。

また、フィンAタイヤの下部においては、空気との相対速度が小さいため、タイヤ上部の渦より大きい渦が放出され、タイヤ後方での流れが車両横方向へ広がっていくと考えられる。

一方、フィンBタイヤでは、フィンAタイヤと同様にタイヤ上部前方からの小さな渦の放出とともに、タイヤ下部とタイヤ後方からの渦の放出が多くなっている。フィンBタイヤでは、タイヤサイド部の中央にフィンが設置されているために、タイヤ側面を流れる空気流れとフィンとの干渉が多く発生し、フィンによる渦の放出が多くなると考えられる。さらに、タイヤ後方でのサイド部のフィンにおいても渦が生成されるため、フィンAタイヤよりもタイヤ側面から車両横方向に広がる流れが生成され、空気抵抗が増大するといえる。しかし、タイヤ下部における渦の生成と放出がノーマルタイヤやフィンAタイヤよりも多いため、タイヤ下部後方での車両横方向への空気流れの広がりが大きくなり、その結果、車両のCI値が大きく低減すると推測される。

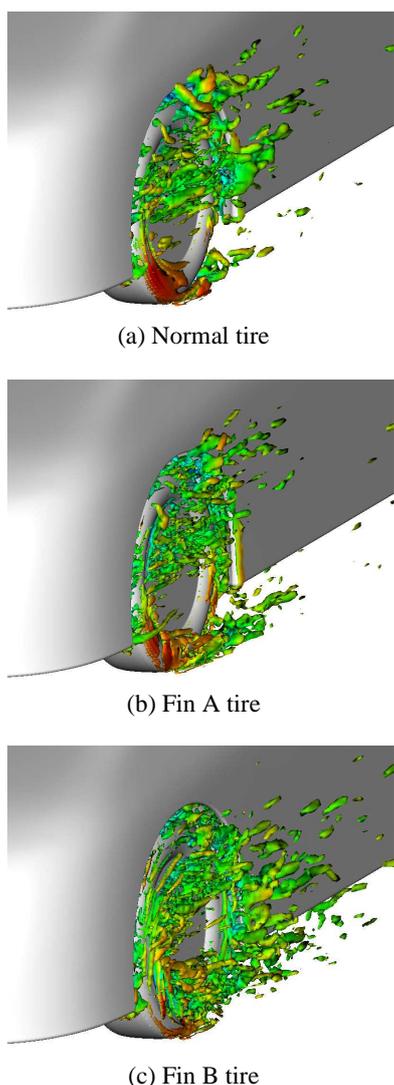


Fig.8 λ_2 distributions around tires.

4. まとめ

車両外側となるタイヤサイド部に設置したフィン形状を変えた場合の車両全体での Cd 値と Cl 値を、汎用格子ボルツマン法ソフトウェア PowerFLOW により解析し、以下の結果を得た。

- (1) フィンを設置したタイヤのフィンの形状を変えることにより、車両全体の Cd 値は、ノーマルタイヤと比較し、-11 カウントから+18 カウントまで変化した。
- (2) フィンを設置したタイヤでは、ノーマルタイヤと比較し、車両全体の Cl 値が低減した。
- (3) Cd 値が最も低減するフィン形状では、空気との相対速度が大きいタイヤ上部で小さな渦が生成される。これにより、車両横方向の空気流れの広がりが抑制され、空気抵抗が低減する。
- (4) フィンを設置したタイヤでは、空気との相対速度が小さいタイヤ下部で大きな渦が生成される。これにより、タイヤ後方の床下において車両横方向に広がる流れを生成し、Cl 値が低減する。

5. その他のフィン形状について

今回試行したフィン形状は、タイヤの回転に対して方向性をもつ形状となっている。しかし、実用上の汎用性を考慮した場合、タイヤの回転に対する方向性を無くした形状が望ましい。

Fig.9 のように、フィン A タイヤのフィン形状を向かい合わせて配置することにより、タイヤの回転に対する方向性を無くしたフィン形状が考えられる。このフィン形状をもつタイヤにおいても、フィン A タイヤと同等の Cd 値と Cl 値の低減効果があることを数値解析により確認している。

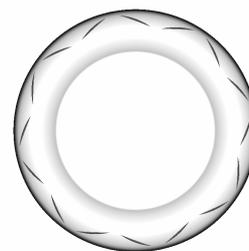


Fig.9 A combination of opposite direction of the fin A shapes.

参考文献

- (1) 炭谷, 前田, 一之瀬, ながれ, 23 (2004), pp.445-454
- (2) 農沢, 岡田, 太平, 岡本, 中村, 日本機械学会論文集(B 編), Vol.75, No.757 (2009), pp.1807-1813
- (3) 木村, 山内, 鈴木, 山本, 児玉, 小石, 第 38 回可視化シンポジウム講演論文集, A133 (2010), pp.1-6
- (4) Schnepf, B, Indinger, T, 自動車技術会春季大会学術講演前刷集, No.24-14 (2014), pp.13-20
- (5) 児玉, 小石, ながれ, 32 (2013), pp.123-126