

FR 車のエンジン冷却風による空気力学的悪影響の低減

田代 晃寿^{*1}, 澤口 拓人^{*2}, 高倉 葉子^{*3}

Reduction of Aerodynamically Undesirable Influences due to Engine Cooling Airflow of FR Car

by

Koju TASHIRO^{*1}, Takuto SAWAGUCHI^{*2} and Yoko TAKAKURA^{*3}

(Received on Apr. 3, 2019 and accepted on May 9, 2019)

Abstract

The purpose of this research is to clarify causes of the change of characteristics of aerodynamic drag and lift due to engine cooling flow in an FR car with the length placement engine as loading system by wind-tunnel experiments, and to propose methods to reduce the drag and lift. A simplified 1/5 scale car model was produced, in which the engine room was covered with transparent acrylic to allow smoke to be visualized, and the front plate could be changed to vary the opening area and position in the inlet system for engine cooling airflow. In the wind-tunnel experiments, a moving-belt ground board was adopted to capture ground effects. As a result, as the opening area was enlarged, the drag increased, the front lift increased, and the rear lift decreased. With flow visualization and measurements of underfloor velocity, its RMS and surface pressure on the car body and engine unit, it was concluded that as the air-inlet area is enlarged, the increase of the exhaust air from the engine room to the underfloor makes the underfloor flow disturbed and decelerating under the engine room; consequently, the pressure under the engine unit increases and the pressure within the engine room and on the front window remains high. These phenomena cause aerodynamic characteristics due to engine cooling flow. In addition, it was pointed out that the effect of the radiator is dominant in the FR car. Therefore, to reduce the drag and lift, it is important to reduce the underfloor disturbance due to the cooling flow. We tested upward evacuation, which reduced the drag.

Keywords: Drag, Lift, Air inlet system, Underfloor velocity, Multi-point pressure measurement

1. 序論

近年エネルギー問題の深刻化や地球温暖化の影響を受け自動車の低燃費化が重要な課題となっており、空気抵抗は自動車の燃費性能に大きな影響を及ぼす¹⁻³⁾。空気抵抗の基本分類は圧力抵抗と摩擦抵抗であるが、形状抵抗(主に圧力抵抗)、吹き抜け空気抵抗、誘導抵抗、干渉抵抗の種類にも分類される。自動車の空気抵抗の75%は車体の形状によるものであり、自動車の空力開発において最も重視されているのは車体形状の最適化であると考えられる⁴⁾。車体形状の最適化の歴史は1920年代にまでさかのぼり、当時の平均抗力係数(C_D)値は0.8前後であったが、現在では C_D 値0.3を下回る市販車が生産されており、約100年の間に大きく進化を遂げている。近年更なる空気抵抗の削減を実現するため形状抵抗だけでなく、吹き抜け空気抵抗削減にも注目が集まるようになった。エンジンルームに冷却風が取り込まれることによる吹き抜け空気抵抗は全空気抵抗の10%を占めており、車体の

形状改善が進んだ現代では冷却抵抗の削減に力が入られている⁵⁻⁷⁾。

著者らは、模型のエンジン冷却風取入口の開口面積を変化させて抗力、揚力への影響を調べ、エンジン冷却風取入口面積およびラジエータの有無などが空気抵抗、前揚力の大きさに影響を及ぼしていること^{8, 9)}、さらに冷却風の掃気が床下流速に影響を及ぼしていること¹⁰⁾を検証した。代表的な国産市販車であるFF車のエンジン搭載方式横置きにおいて¹¹⁾、さらに模型表面の多点同時圧力計測を行うことにより^{12, 13)}、エンジン掃気流、床下流速と表面圧力の間には相関が存在することを示した。

本論文では、国産市販車において広く採用されているもう一つの方式であるFR車のエンジン搭載方式縦置きに着目し、煙法による可視化、熱線流速計による床下流速およびRMS(乱流強度)の計測、車体周りエンジンルーム内部での多点同時圧力測定を行い、エンジン冷却風が抗力、揚力に及ぼす影響とその原因について考察し、空気力学特性への悪影響の低減の指針を提言する。特にFF車との相違が顕著に表れた部位に関し、実証実験によって効果を確認したので、併せて報告する。

*1 工学部動力機械工学科

*2 工学研究科機械工学専攻修士課程

*3 工学部動力機械工学科教授

2. 実験模型

2.1 実験模型

実験模型には Fig. 1 の 1/5 スケール模型を用いる。主要諸元は Table 1 に、詳細寸法は Fig. 2 に示すとおりである。エンジンルームの外装については煙法による可視化を行うため透明なアクリル板で作成した。エンジン部とトランスミッション部はそれぞれ直方体とし、Fig. 3 に両者の結合ユニット模型の寸法図を示す。車輛模型のエンジンルームには、エンジン・トランスミッション・ユニットを、国産量産車で代表的な駆動方式の 1 つである FR 方式の搭載方式縦置き (Length placement) で配置し、トランスミッション部をエンジンルームとキャビンとの間の仕切り板に固定した。空気取入のための開口部は Table 2 の寸法で縦幅を 0~100 [mm]の間で 6 段階変更できるようにし、Fig. 4 に示すように下方から大きくなる下方位置 (lower position) と上方から大きくなっていく上方位置 (upper position) の 12 種類を用意した。さらに、実車のラジエータの圧力係数(C_p)損失を計測して同等の C_p 損失を有するラジエータ模型を作成し、装着・非装着とも実験対象とした。また、本模型は外装を取り換えられる構造を有しており、車体周りの圧力測定では車体中央対称面上に圧力孔を設けた外装を別途作成し測定に使用した。エンジン・トランスミッション・ユニットは通常の実験用と別に、圧力測定用にユニット中心対称面上に圧力孔を設けたものを作成した。また、空気力学的悪影響の低減指針の実証実験に用いるために掃気口付ボンネットを作成し、Fig. 5 と Table 3 に示す。

2.2 実験装置及び方法

東海大学大型低速風洞¹⁴⁾(吹出口:高さ 1.0 [m]×幅 1.5 [m])の計測部に境界層吸い込み装置付きムービングベルトを設置し、供試モデルを金属棒とワイヤで固定してひずみゲージ式ロードセル TU-BR200N (ティアック(株))で抗力と揚力を測定する。ロードセルからの信号をストレインアンプ DPM-601A (株共和電業)、AD 変換器を経由してパソコンに送る。サンプリング周期を 10 [ms]、サンプリング数を 1024 とした。実験条件は、風速とムービングベルト送り速度を 20 [m/s]、ロードクリアランスを 30 [mm]とした。

エンジンルーム内部流れは JARI 式煙発生装置 F-235 (ツクバリカセイキ(株))を用い煙法で可視化し、車体床下の流速を熱線風速計 IHW-100 (日本カノマックス(株))を用い、サンプリング周期 1 [ms]、サンプリング数 1024 で測定し、表面圧力は多点同時圧力計測装置^{12,13)}(本研究室内製)により行った。使用した半導体圧力センサーは MS4515 (Measurement Specialties Inc.) でありサンプリング周期 2 [ms]、サンプリング数を 1024 とした。本装置は過去の研究¹⁵⁾において製作され車体模型まわりの圧力分布測定に使用され^{15,16)}、円柱まわりの非定常流れ特性を捕えるために検証されている^{12,13)}。



Fig. 1 Whole view of 1/5 scale model.

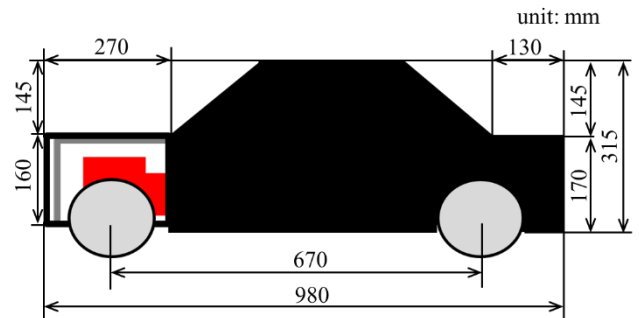
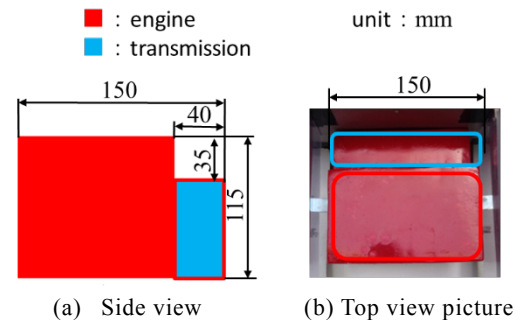
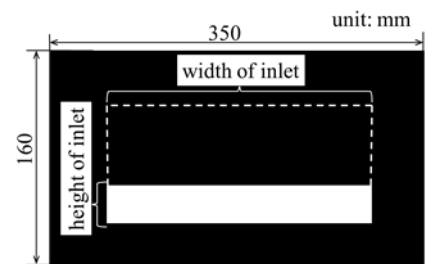


Fig. 2 Size of 1/5 scale model.



(a) Side view (b) Top view picture
Fig. 3 Size of engine-transmission unit
in length placement for FR car.



(a) Lower position



(b) Upper position

Fig. 4 Detail of air inlet.

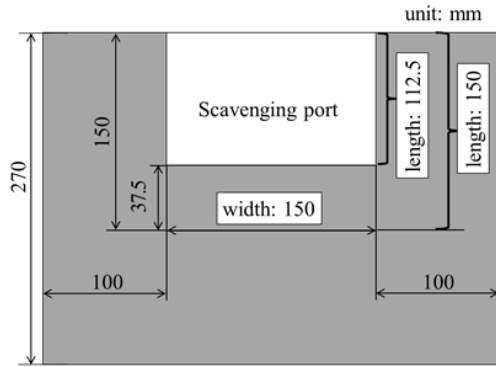


Fig. 5 Bonnet with scavenging port.

Table 1 Specification of 1/5 scale model.

full length	980 mm
full width	350 mm
full height	315 mm
wheel base	670 mm

Table 2 Size of air inlet opening.

width of air inlet	height of inlet
180 mm	0 mm
180 mm	20 mm
180 mm	40 mm
180 mm	60 mm
180 mm	80 mm
180 mm	100 mm

Table 3 Size of opening for bonnet scavenging.

width of port	length of port
150 mm	0 mm
150 mm	112.5 mm
150 mm	150 mm

3. 実験結果

3.1 節の力の測定においては、空気取入口の開口方式は下方位置と上方位置の両方を示すが、3.2 節以下の可視化、床下流速測定、表面圧力測定では、現在市販車で多く取り入れられている開口部下方位置のみを示す。

3.1 力の測定

Fig. 6, 7, 8 はそれぞれ空気取入口縦幅（横軸）に対する抗力係数、前揚力係数、後揚力係数を示している。開口部位置（下方・上方）によっても違いはあるが、開口部縦幅の増加に伴い、Fig. 6 より抗力は増加する傾向にあることがわかり、ラジエータ無においては開口部縦幅の増加に伴い抗力の増加が確認できたが、ラジエータ有において増加は若干となった。このことから、抗力に対

してはラジエータの有無が支配的要因の一つであると考えられる。Fig. 7 より前揚力は増加する傾向にあり、ラジエータの装着により開口部縦幅 0 [mm], 20 [mm]における前揚力の増加および 80 [mm], 100 [mm]における前揚力の減少が確認できた。Fig. 8 より開口部縦幅の増加に伴い後揚力が減少していくことが確認できる。また、ラジエータの装着により開口部縦幅、開口部位置による変化が緩和されることが確認できる。

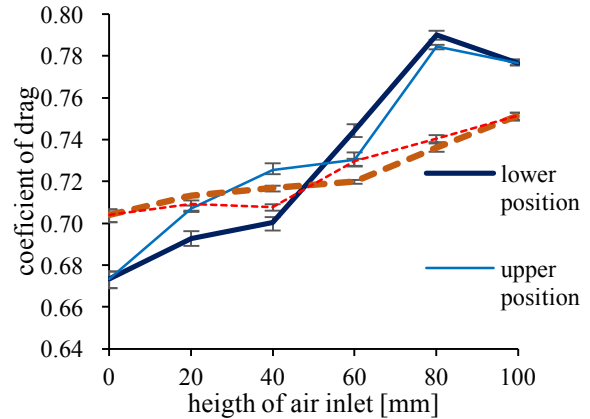


Fig. 6 Relation of height of air inlet and drag.

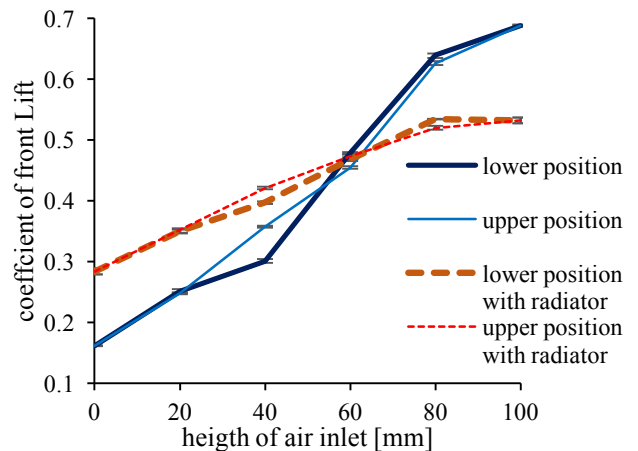


Fig. 7 Relation of height of air inlet and lift.

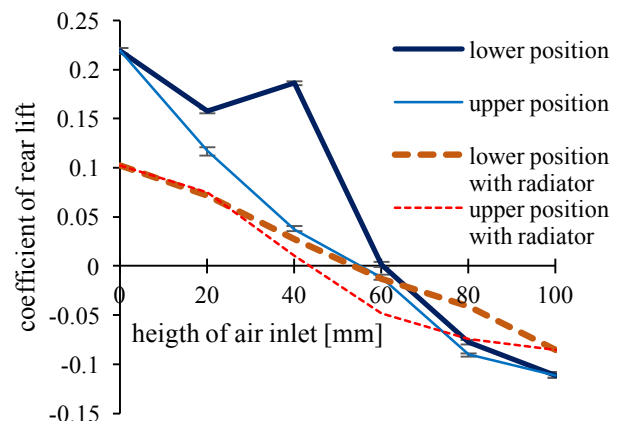
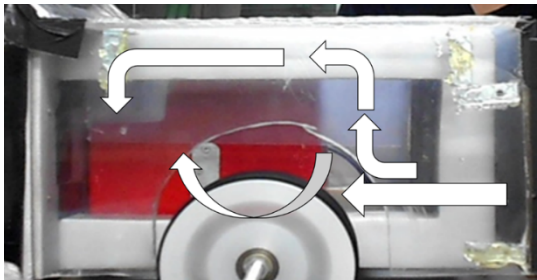


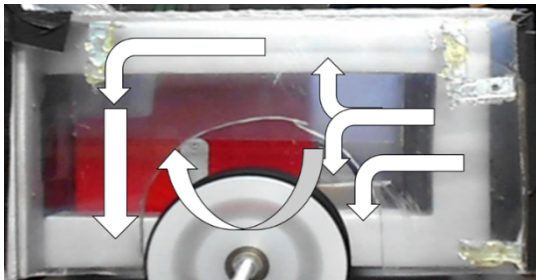
Fig. 8 Relation of height of air inlet and lift.

3.2 エンジンルーム内部の煙法による可視化

Fig. 9 は、空気取入口下方位置、開口部縦幅 20 [mm], 80 [mm]でラジエータ付きのエンジンルームに対する煙法の比較結果である。側面図(a)(b)の比較により空気取入口から流入した流れは開口部縦幅に関係なくエンジンルーム上方に流れ、ホイールハウスから流出していることがわかる。ただし、80 [mm]では空気取入口下方から流入した流れはエンジン手前で直接床下に排出され、他方エンジン上方を通過した流れは、トランスミッション側方から床下へ掃気されるとともに、ホイールハウスから側方へも流出していることが確認できる。なおラジエータ無しの場合も同様の流れパターンが観察された。



(a) Inlet height 20 [mm] with lower position



(b) Inlet height 80 [mm] with lower position

Fig. 9 Visualization of engine room with radiator by smoke method (side view).

3.3 床下流速及び乱流強度測定

Fig. 10 は床下流速の測定位置を示す。×印はムービングベルトに車体やタイヤを固定する装置に干渉するため測定不可能であった部分を示している。Fig. 11 (a)と(b)は床下水平方向流速測定結果と乱流強度としての RMS (Root Mean Square)を示しており、両者ともラジエータの有無で傾向が分かれることがわかる。

ラジエータ無しの場合、開口部面積が増加すると、Fig. 11(a) よりエンジンルーム床下における流速は低下し、Fig. 11(b)よりその RMS はエンジンルーム床下で上昇することが確認できる。また RMS は、開口部縦幅 80 [mm]ではエンジンルーム前端付近で急激に上昇しエンジンルーム後方に向かうほど低下していくのに対し、開口部縦幅 20 [mm]ではエンジンルーム前端から後方に向かってやや上昇する傾向となった。

ラジエータの装着により開口部縦幅の違いによる流速差が小さくなることが確認でき、また RMS も、ピーク値をとる位置の変化はあるが、その値に大差は見られない。

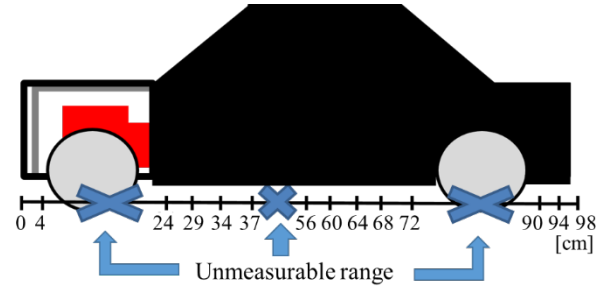
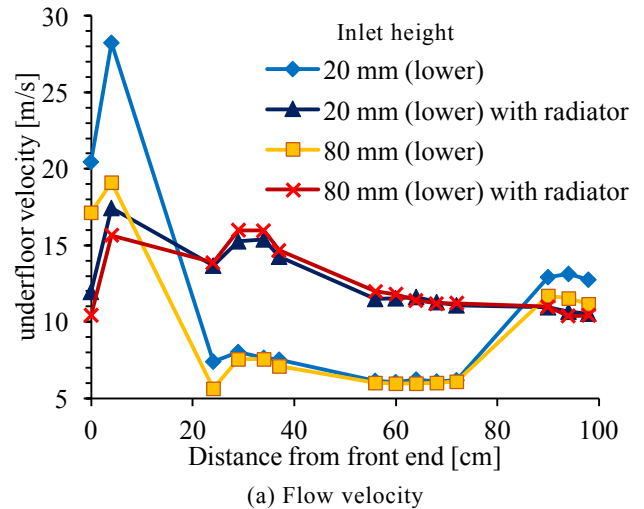
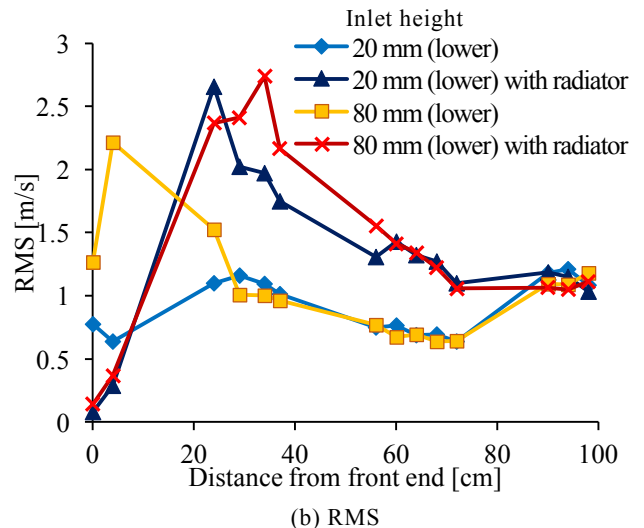


Fig. 10 Measurement position of flow velocity and RMS under floor.



(a) Flow velocity



(b) RMS

Fig. 11 Flow velocity and RMS under floor.

3.4 車体周りの表面圧力

Fig. 12 に車体中央対称面における圧力測定番号を示す(圧力孔は 20 [mm]間隔)。

Fig. 13 のエンジンルーム後方床下圧力分布において、空気取入口開口部縦幅の増加により床下の圧力が低下することが確認でき、ラジエータを装着すると縦幅 80 [mm]のみならず 20 [mm]でも圧力はやや上昇する。Fig. 14 の

キャビン圧力分布については、矩形車体前方からはく離流がフロントウィンドウ上で再付着するため、はく離が起こらない流れではやや高圧となるべき凹部のキャビン始点（測定点 61）の圧力は低くなっているものの、凸部であるルーフ始点（測定点 53）での急激な圧力降下は捕えられている。しかしながら、ラジエータの影響は少ない。また Fig. 15 の車体後部背面圧力分布では、圧力の変動幅は小さいものの、開口部縦幅増加により圧力は低下し、ラジエータ装着により圧力は回復傾向であることが確認された。

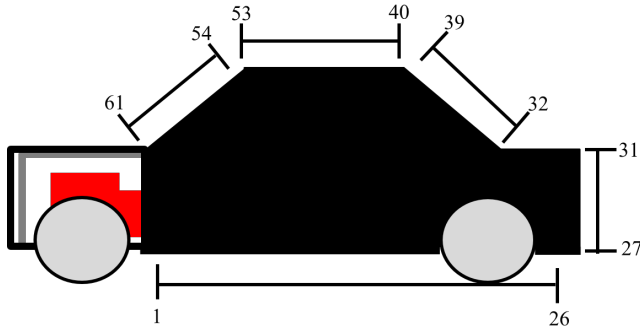


Fig. 12 Measurement points of pressure on car-body surface.

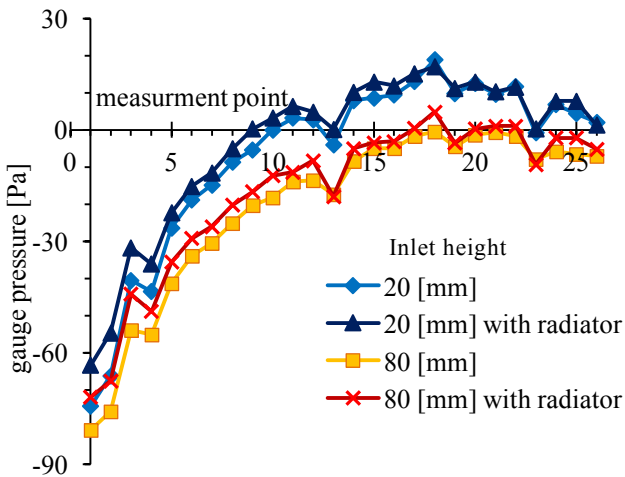


Fig. 13 Comparison of pressure on underfloor.

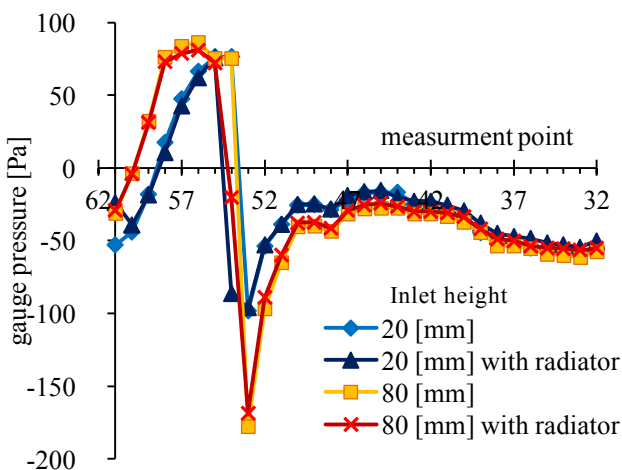


Fig. 14 Comparison of pressure on cabin.

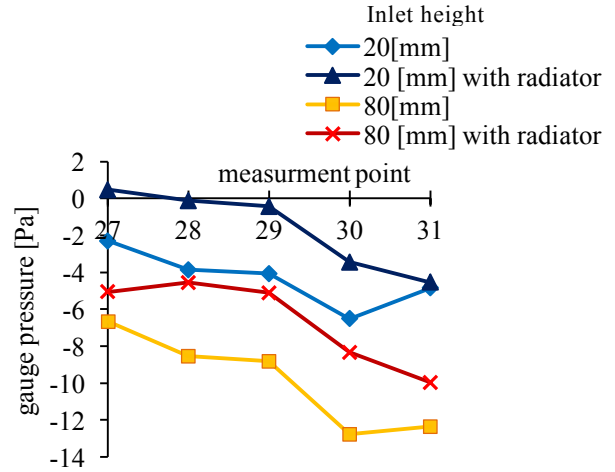


Fig. 15 Comparison of pressure on rear back end.

3.5 エンジン表面圧力測定

Fig. 16 はエンジン中央部における圧力測定点番号を示す（上面、下面の圧力孔は 30 [mm] 間隔，前面は 20 [mm] 間隔）。

Fig. 17 はエンジン上面の圧力分布を示しており，開口部縦幅の増加による圧力上昇が確認できた。また，ラジエータ装着により圧力は概して低下し，縦幅 80 [mm] ではラジエータの有無による圧力差が非常に大きくなることが確認できた。

Fig. 18 はエンジン前面の圧力分布を示しており，開口部縦幅の増加による高圧力化が確認できた。また，縦幅 80 [mm] ではラジエータの有無による圧力差が非常に大きくなった。

Fig. 19 はエンジンルーム床下での圧力分布を示しており，エンジン下面後方にいくほど圧力が上昇する傾向があり，開口部縦幅の増加による圧力上昇が確認できる。また，ラジエータの装着により圧力は概して減少するが，開口部縦幅 80 [mm] では大幅に低下し縦幅 20 [mm] よりも低くなることが確認できる。

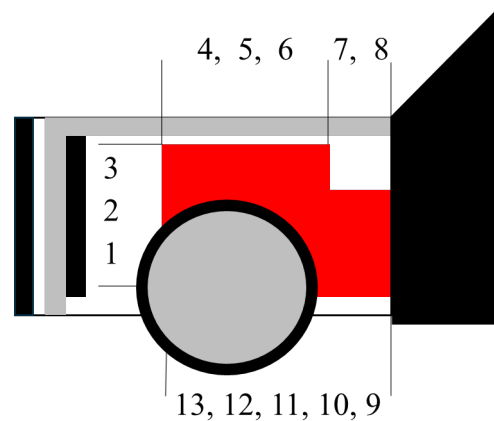


Fig. 16 Measurement points of pressure on engine-unit surface.

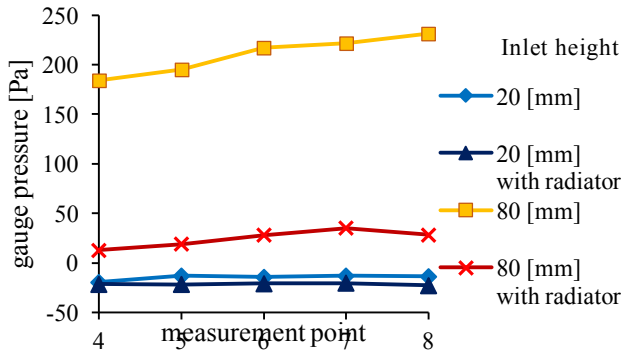


Fig. 17 Comparison of pressure on engine-unit top.

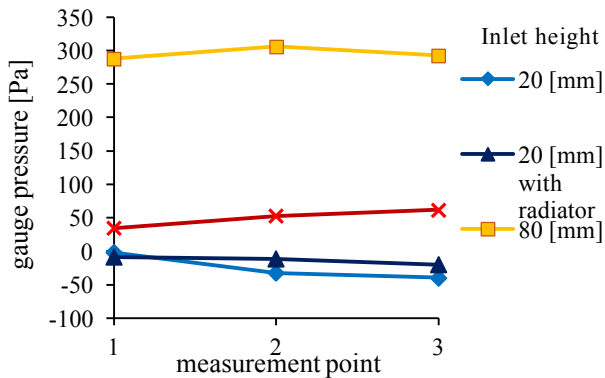


Fig. 18 Comparison of pressure on engine front.

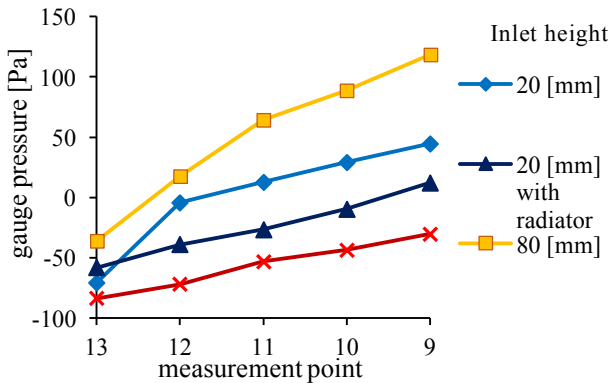


Fig. 19 Comparison of pressure on engine-unit bottom.

4. 考察

Fig. 6 より開口部縦幅の増加により抗力係数が増加していることが確認できる。ただしラジエータ無しについては抗力が増すが、ラジエータ付きについては大きな抗力上昇は見られなかった。このことや床下流速および RMS 分布 (Fig. 11(a)(b)), エンジン表面圧力分布 (Fig. 17, 18, 19) より、開口部縦幅 80 [mm] についてはラジエータの有無も抗力に大きな影響を及ぼしていると考えられる。

Fig. 17, 18 より開口部縦幅の増加によりエンジンルーム内部でのエンジン上面、エンジン前面でのような圧力

上昇が確認できる。また、開口部縦幅 80 [mm] ではラジエータ無しの圧力が非常に高くなっており、特にエンジン前面は高い値となっている。これはラジエータ無しの際の速い流れがエンジン前面に衝突して高圧が生じ、エンジン背後のトランスミッション上部空間はエンジンとボンネットでほぼ塞がれていることから、エンジンルーム内で高圧が維持されるためと考えられる。

Fig. 19 よりエンジンルーム床下圧力は、開口部縦幅による上昇よりも、ラジエータの有無による影響の方が大きいことが確認できる。

エンジンルーム床下流れについては、Fig. 11(a)(b) では床下流速と RMS ではラジエータの有無で傾向が分かれている。ラジエータ無しの場合、開口部面積が増加すると、床下流速は低下し、その RMS は上昇しているのに対し、ラジエータ付きでは開口部縦幅による大きな変化は確認されない。Fig. 9 のエンジンルーム内流れパターンはラジエータの有無にかかわらず観察され、開口部縦幅 20 [mm], 80 [mm] とともに流れがエンジンルームに流入後、乱れつつエンジン上面に向かい、開口部縦幅 80 [mm] では一部の流れがエンジン手前から床下に流出している。ラジエータ無しでは、有りよりもエンジンルームに流入する流れが速く、エンジン手前でエンジンルームから床下に流出する流れと車体前方からエンジンルーム床下を流れてきた流れが合流して乱れ、床下流れが通りにくくなることで流速が低下し、エンジンルーム床下での圧力が上昇していると考えられる。他方ラジエータ有りでは、無しよりも RMS は減少し床下流速は増加すると予想され、その結果エンジン床下圧力は減少する (Fig. 19) と考えられるものの、Fig. 11 の床下流速と RMS にはその傾向は明確には表われないのは、水平方向のみの一方向流速計測であるためと思われる。

Fig. 14 のキャビン圧力については、ラジエータの影響は少ない。キャビンの始点 (測定点 61) では凹状となっているため通常は圧力が上昇するが、本模型はエンジンルーム流れに着目した矩形ボンネットであるため車体前部角部からはく離し、フロントウィンドウ面 (測定点 54~61) で再付着している。そのためキャビン始点で圧力が降下しているものの、ルーフ始点凸部 (測定点 53) で通常起こる急激な圧力降下は捕えられている。Fig. 14 より開口部縦幅の増加によるフロントウィンドウ面での圧力上昇が確認でき、抗力増加の一要因となることがわかる。リアウィンドウ面 (測定点 32~39) では開口部縦幅による圧力差はごく僅かであるため、抗力、揚力には寄与していない。

これらの結果より開口部縦幅増加による抗力増加の原因は、エンジン上面でエンジン冷却風が淀んでエンジンルーム内部で圧力が上昇し、エンジン冷却風の床下掃気流が引き起こす乱れにより床下流れが通りにくくなることでエンジンルーム内高圧が維持されることにあると考察できる。それに伴うフロントウィンドウ部の圧力上昇も抗力増加の一因となっている。

開口部縦幅の増加による前揚力係数の上昇 (Fig. 7) については、全開口により、ラジエータ無しでは 0.5 程度、ラジエータ付きでも 0.2 程度の増加が確認できる。

ラジエータ無しでは、開口部縦幅増加によるエンジンルームの内部と床下での圧力上昇 (Fig. 17, 18, 19) が確認できており、前揚力上昇の原因であると考えられる。ラジエータ付きでは、エンジン床下の圧力は低い (Fig. 19) が、開口部 20 [mm] に比べると 80 [mm] ではエンジンルーム内部での圧力は上昇している (Fig. 17, 18) ことが前揚力上昇の原因であると考えられる。また、Fig. 14 よりラジエータの有無にかかわらず開口部縦幅増加によりルーフ前方で圧力低下が発生していることが確認でき、これも前揚力増加の一因となっている。

さらに、ラジエータの有無にかかわらず開口部縦幅の増加によりエンジン手前より床下に流出する流れが発生しており (Fig. 9)、流体が下向きの運動量を得た反作用として、車体が上向きの揚力を得ていると考えられる。

開口部縦幅増加により後揚力係数が減少する (Fig. 8) 原因として、Fig. 13 で確認された車体床下圧力の低下が挙げられる。これはエンジンルーム掃気流 (Fig. 9(b)) が引き起こす床下流れの乱れ (Fig. 11(b)) によりエネルギー損失が起こるためと考えられる。

以上の考察より抗力、揚力を同時に改善する方法として、エンジンルーム内部流をスムーズに掃気して床下の乱れを低減することが、エンジンルーム床下での圧力上昇を抑え、エンジンルーム内圧力および車体上面圧力の上昇を防ぐことにつながり、重要と考えられる。床下に掃気する場合は、エンジン冷却風と床下流れが干渉しないよう車体後方に向けて掃気することが有効であると考えられる。その一つの実例がエンジンアンダーカバーの取り付け⁹⁾であろう。床下掃気以外では、エンジンルームに流れ込む流れをボンネットからの上方掃気やフェンダーからの側方掃気を行うことが考えられる。

5. 空気力学的悪影響低減指針の実証実験

床下流の乱れを低減するためには、FR 車では FF 車¹¹⁾と比べてエンジンユニット近傍が高圧となるため、エンジン冷却風をボンネットから上方に掃気することが有効と考え、そのためボンネットを Fig. 5 に示す掃気口付きにとり替えた。

Fig. 20, 21, 22 は、横軸にボンネット掃気口の縦幅をとり、それぞれ抗力係数、前揚力係数、後揚力係数の変化を示したものである。

Fig. 20 における抗力係数では、開口部縦幅 20 [mm]、80 [mm] のどちらにおいても抗力の減少が確認できた。これはエンジン上面で発生していた高圧が抑制できたことで得られた効果と考えられる。

Fig. 21 の前揚力については、開口部縦幅 20 [mm] では低減効果は得られなかったものの、80 [mm] では減少しボンネット開口幅 11.25 [cm] で最も減少した。エンジン上面の圧力を低減させることにより、揚力の低下が起きる場合もあることが示された。

Fig. 22 の後揚力は全体としてやや上昇する傾向にあった。ボンネット開口部を設けることによりエンジンルームから床下に掃気される冷却風と床下流れの干渉が弱まって圧力損失が減少し、車体床下での圧力が回復傾向を

持つことで後揚力が増加したと考えられる。

本実証実験におけるボンネットからの上方掃気は、主に抗力低減において有効であった。抗力と揚力の双方の低減効果を生み出すためには、CFD を用いて掃気形態を探っていくことが重要となろう。

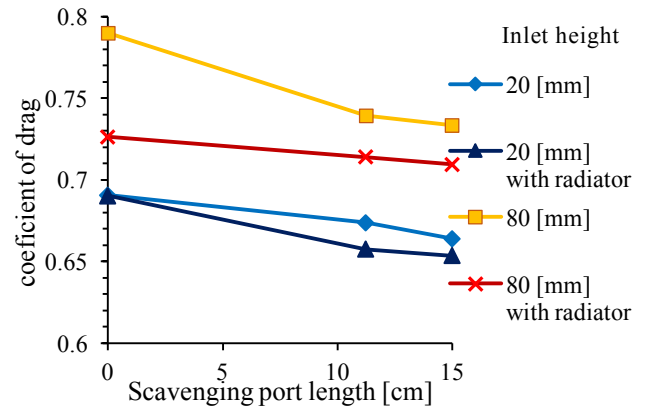


Fig. 20 Relation of scavenging port length and drag.

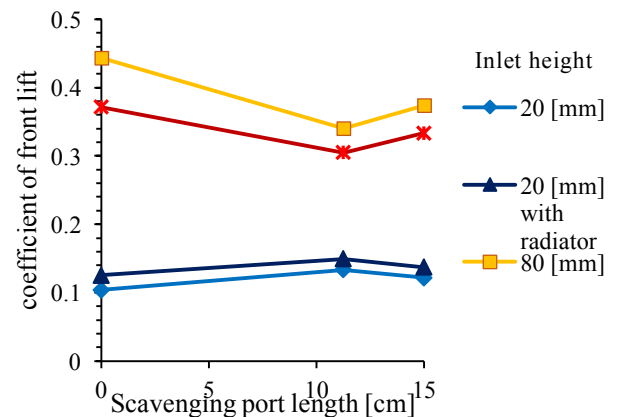


Fig. 21 Relation of scavenging port length and front lift.

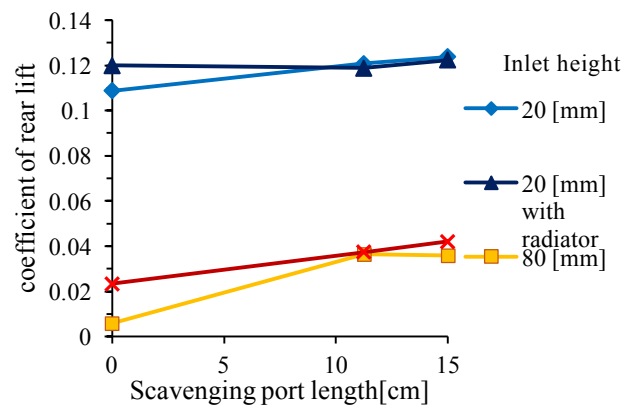


Fig. 22 Relation of scavenging port length and rear lift.

6. 結論

冷却風取入開口部縦幅が大きくなりエンジンに衝突する風量と風速が増加すると、エンジン表面圧力が上昇するとともにエンジンユニット近傍圧力が上昇する。さらに、エンジン冷却風の床下掃気流が床下流れと干渉して乱れが発生する。この乱れが掃気流と上流側の床下流れへのせき止め効果を持つため、エンジンユニット近傍の高圧が維持されるとともに、エンジン床下の圧力が上昇しフロントウィンドウ部の圧力も上昇する。これより車体前後の圧力差が生じ抵抗が増加すると考えられる。また、ラジエータの有無がエンジンユニット近傍圧力に大きく影響している。以上より、冷却風の空気力学的影響は以下のようにまとめられる。

1. エンジン冷却風による抗力は、エンジンルーム内部、フロントウィンドウでの圧力に依存し、エンジンルーム掃気流による床下流れの乱れが床下の圧力を経てエンジンルーム内部圧力などに影響を与えていると考えられる。
2. エンジン冷却風による前揚力は、エンジンルーム内部圧力と床下圧力およびキャビン上の圧力に依存する。また、エンジンルーム内部からの掃気の運動量にも影響を受けると考えられる。
3. エンジン冷却風による後揚力は、エンジンルーム後方床下圧力に依存する。
4. ラジエータの装着により、エンジン冷却風による空気力学的影響は緩和される。

これらの考察より、抗力と揚力を抑制するには、エンジンルーム内の掃気流れと床下の流れの干渉を避ける必要がある。そのため、ボンネットからの上方掃気やフェンダーからの側方掃気などで干渉を避けることが有効と考えられる。

FF 車との顕著な相違は FR 車ではエンジンユニット近傍で高圧となることであったため、実証実験によってボンネットからの上方掃気を行い、抗力低減に有効であることを確認した。抗力と揚力の双方の低減効果を生み出すためには、CFD を用いて掃気形態を探り、実験で確認していくことが必要であろう。

謝辞

本研究は航空宇宙学科の大型低速風洞を使用して行われたものであり、風洞設備環境を整えておられる稲田喜信教授および新井啓之講師のご尽力に対し、ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 小林敏雄, 農沢隆秀, (社)自動車技術会編集: 自動車のデザインと空力技術, 朝倉書店 (1998)。
- 2) 樋口健治, 横森求, 自動車工学編集委員会編: 自動車工学, 東京電機大学出版局 (2011)。
- 3) Wolf-Heinrich Hucho, ed., Aerodynamics of Road Vehicles, Society of Automotive Engineers, Inc. (1998)。
- 4) 炭谷佳二, 前田和宏, 一之瀬健一: 自動車と流体力学: 車体周り流れと空力特性, 日本流体力学会誌 ながれ, Vol. 23, pp.445-454 (2004)。
- 5) 田中章博, 伊川雄希, 川北正寿, 大平洋樹, 李曄, 岡田儀浩, 岡本哲, 田中松広: 新型デミオと CX-3 の空力性能開発, マツダ技法, No.32 (2115). http://www.mazda.com/contentassets/3864e61b84fc4c3197b2092657057631/files/2015_no015.pdf
- 6) 大島竜也, 濱谷克則, 二之湯正俊, 中川邦夫: 空力特性に及ぼす冷却排出手法の影響, 自動車技術会論文集, Vol. 29, No. 3 (1998)。
- 7) 農澤隆秀, 日浅一彦, 吉本勝: 空気抵抗に及ぼすエンジン冷却風の影響, 自動車技術会論文集, No. 40 (1989)。
- 8) 澤口拓人, 高倉葉子: 自動車のエンジンルーム冷却風による空気力学的影響, 2017 年度日本機械学会年次大会, G0500602 (2017)。
- 9) Takuto Sawaguchi, Yoko Takakura: Aerodynamic effects by cooling flows within engine room of car model, FULCOME2017, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol.249, 012012, IOP Publishing (2017)。
- 10) 澤口拓人, 高倉葉子: 自動車のエンジン冷却風による空気力学的悪影響の低減, 2018 年度日本機械学会年次大会, J0550204 (2018)。
- 11) 澤口拓人, 高倉葉子: 前輪駆動自動車のエンジン冷却風による空気力学的悪影響の低減, 東海大学紀要総合科学技術研究所 2017-2018, Vol. 38, pp.40-51 (2019)。
- 12) N. Watanabe, T. Furuta, Y. Takakura,: Unsteady Flow around a Circular Cylinder with Simultaneous Multipoint Measurements of pressure (2), FLUCOME2013, 0514-03-3 (2013)。
- 13) N. Watanabe, T. Furuta and Y. Takakura: Characteristics of Unsteady Flows around a Circular Cylinder with Simultaneous Multipoint Measurements of Pressure, Proceedings of the School of Engineering of Tokai University, Series E, Vol.39, pp.81-88 (2014)。
- 14) 亀岡和行, 高木通俊, 企画編集: 日本の低速風洞, 可視化情報学会誌, Vol.14, suppl. No.3, pp.102-103 (1994)。
- 15) 米満竜太: リアスポイラーによるノッチバック車の抵抗低減に関する研究, 2011 年度東海大学大学院工学研究科修士論文 (2012 年 2 月)。
- 16) 山口翔, 高倉葉子, 高木通俊: エアダムを用いた自動車の空気抵抗低減に関する実験的研究 (第 1 報), 自動車技術会 秋期学術講演会, 20125817 (2012)。