

論文・解説

24

数値解析を用いた通風改善による熱害低減への取り組み Numerical Analysis-based Activity to Reduce Heat Damage by Improving Air Flow through Engine Compartment

上田 健*¹ 西村 真人*² 藤元 清信*³
Takeshi Ueda Masato Nishimura Kiyonobu Fujimoto

要 約

エンジンルームの熱害改善の手法として、一般的な遮熱ではなく風速を上げて熱害を低減させることを試みた。エンジンルーム内流れを汎用数値シミュレーションソフトを用いて可視化し、熱害の厳しいエンジン後方の排気系近辺の風速を増加できる改善項目を見出した。加えて、実車試験を実施しエンジンルームの風速改善が部品温度低減につながることを確認した。

Summary

We tried to reduce thermal damage in engine compartment by increasing air speed rather than by using a conventional measure of adding heat protection. First we visualized air flow in engine compartment by using a general numerical simulation software program. This enabled us to identify air speed can be increased around exhaust system downstream from engine, the area most susceptible to heat. Then we conducted vehicle testing and confirmed the increased air speed can help reduce component temperatures.

1. はじめに

近年の車両のエンジンルームは、エンジンのハイパワー化や低燃費化による排気系温度の上昇や車両空力性能改善によるフロント開口部の面積減少に伴うエンジンルーム通過空気量の減少などの要因により、益々高温化する傾向にある。一方、エンジンルーム内には電子部品やゴム部品など高温環境に弱い部品等が多く配置されている。このような背景からエンジンルーム内の温度低減のニーズはこれまで以上に高くなっている。

耐熱性の低い部品を高温となる排気系の熱から保護するために、これまでは、①部品を熱源から遠ざける、②熱源と部品間に遮熱板を取り付ける、あるいは、③部品自体の耐熱性を向上させるという手法が一般的である。しかしながら、エンジンルーム内は、狭い空間に数多くの部品が配置され、すべての部品を熱源から遠ざけるには限界がある。また、遮熱板の追加や材質変更による対策は、一般的に重量増、コストアップにつながり、効率も悪い。

特に、排気系近傍にレイアウトされる部品は、走行条件

によっても異なるが、登坂走行等の高負荷条件化では、排気ガス温は約850～950 となり、排気系表面温度は約400～550 の高温となり、耐熱性を確保することが非常に厳しい環境にある。こうしたエンジンルーム内の各部品の耐熱性確保に当たり、エンジンルーム内の雰囲気温度低減も合わせ、各走行条件下でのエンジンルーム通過風の制御を行い、風速を増加させることで、放熱効率を改善し、排気系の表面温度や各部品の温度低減が期待できる。

本論文は、特に耐熱性に厳しい後方配置の排気系を採用しているエンジンに対して、汎用数値シミュレーションソフトを用いた数値解析により、エンジンルーム内の風の流れを可視化し、流れを制御することで、エンジンルーム通過風をより多く取り入れ、更に、エンジン後方に配置されている排気系近辺に風を導き、排気系及び近接部品の温度の低減に取り組んだ結果について述べる。

2. シミュレーション計算

2.1 計算手法

当解析は汎用流体解析ソフトSTAR-CD(CDAJ社)を使用。

*1～3 車両実研部
Vehicle Testing & Research Dept.

(1) 計算モデル

計算モデルの構成は、車室内部品を除くすべての部品を対象とし、メッシュサイズは細部の解析度を高めるために、1mmを最小サイズとしている (Fig.1)。

また、計算モデルの作成は、適時検討結果を取得するために専用モジュール「es-uhood」を用いて半自動で作成している。更に計算モデルの形状変更を非常に短時間でできるCADツールを当社で開発した。その結果、下記の通り、モデル形状の変更等、最も時間を要するモデル作成時間 (CAD) を80%短縮し、計算時間を含めたトータルの時間も65%削減し検討期間の効率化を可能にした (Fig.2)。

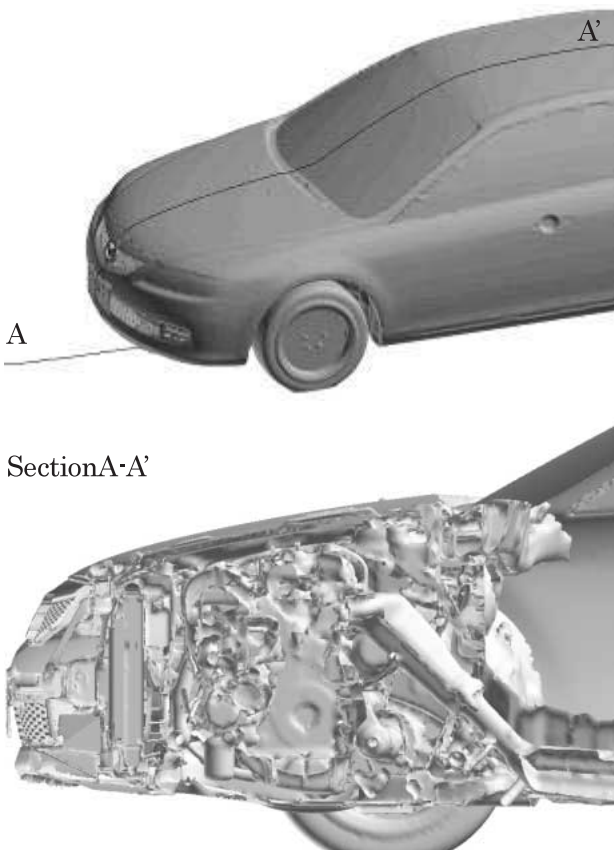


Fig.1 Simulation Model

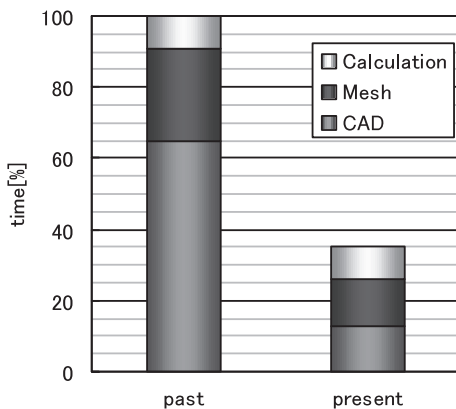


Fig.2 Simulation Time

なお、計算の前提条件としてラジエータ、コンデンサ、インタークーラなどの熱交換器は、個々の性能 (特性) を付与することで複雑な構造を簡易的にモデル化を行い性能を再現させている。電動ファンについては形状を3D計測器「OPTIGO」を用い1mm未満の精度で形状を再現した。その上でMRF法により実際にファンが作動している状態を模擬することで、ファンの回転方向のエンジンルーム内流れに対する影響を再現した。

(2) 計算設定

設定方法としては、乱流モデルをRANSk-ε法、計算精度はMARSとして、各部の境界条件は以下の通り設定した (Fig.3)。またクーリングの熱交換器の計算モデル形状を Fig.4に示す。

- ・風洞入口：車速 [m/s]
- ・風洞出口：仮想空間
- ・壁面：スリップ壁面
- ・車両表面：スリップ壁面
- ・ラジエータ：通気抵抗性能 (P-V性能)
- ・コンデンサー：通気抵抗性能 (P-V性能)
- ・冷却ファン：回転数 (MRF法)

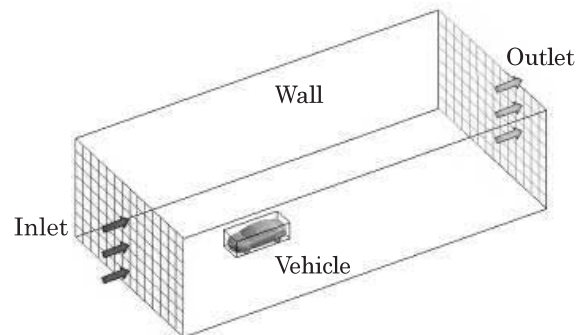


Fig.3 Boundary Condition

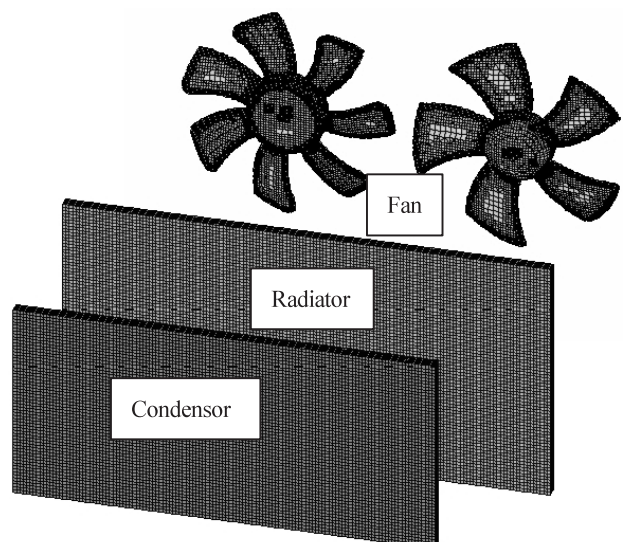


Fig.4 Cooling Model

2.2 計算結果

計算モデルは、当社の中型セダンをベースとした。

走行条件は、排気系温度が最も厳しい低速高負荷運転時を想定して登坂走行モードを設定し、冷却ファンの回転方向についてはFig.5に示す。

計算結果はFig.6に示す通り、フロントグリルから取り入れた冷却風を流入し、エンジンルームに流入した主流はエンジンブロックに当たり、エンジン上方部に向きを変え、エンジンヘッドカバー上部を通過する際に、クーリングファンの回転の影響を受け、エンジンルーム右側方向に流れている。また、エンジンルーム左側に関しては、エンジンブロックとバッテリーの間に主流が見られる。一方、バッテリー壁面に当たった流れは上方に向きを変え、バッテリー上部を通過している。

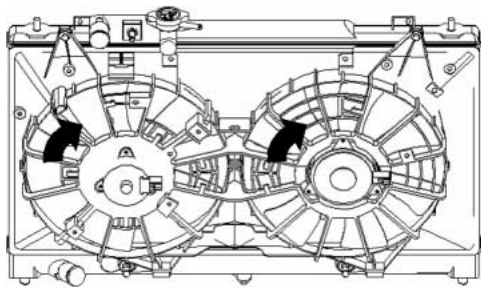


Fig.5 Cooling Fan Direction

2.3 実験結果

上記の計算結果の妥当性を検証するために、実車評価を実施し、計算結果との比較を実施した。

計算に用いたのと同じ機種の車両を用い、ボンネットを透明の亚克力材で加工し、エンジンルーム内各部にタフトを設定し、風の流れを可視化した。

計算結果と比較を容易にするために、上方から見たエンジンルームを格子上に10×4分割し、それぞれの格子のタフトの向きを読み取り計算結果と比較した。

その結果をFig.7に示す。一部の領域を除き、流れの方向性は定性的にも一致しており、エンジンルーム内各部の流れをほぼ再現していることを確認した。

加えて、エンジンルームのエンジンブロック後方の6ヶ所の風速を実測し、測定結果を計算結果と比較した。その結果をFig.8に示す。

各部の風速の絶対値には若干差が見られるが、全体の風速分布の傾向は一致している。これらの結果より、エンジンルームの流れは定性的に再現できており、CFDによる計算結果を用いて流れの机上検討及び熱害改善の検討が可能であると判断した。

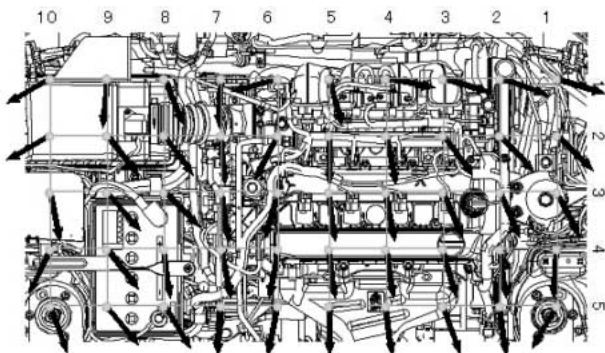


Fig.6 Result of Simulation

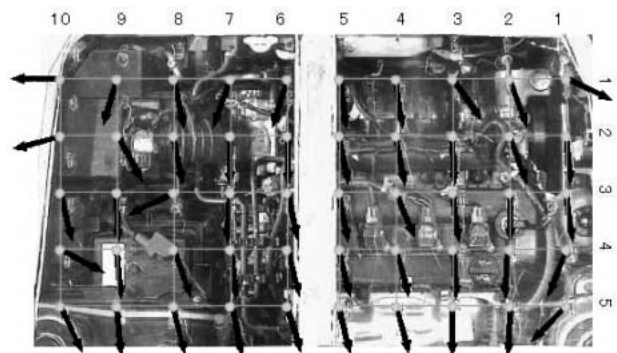


Fig.7 Result of Vehicle Test

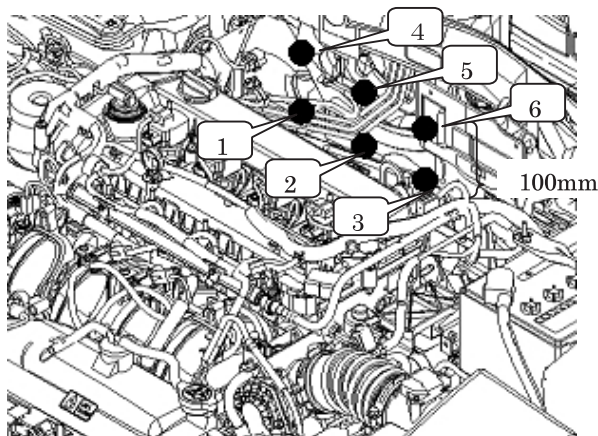
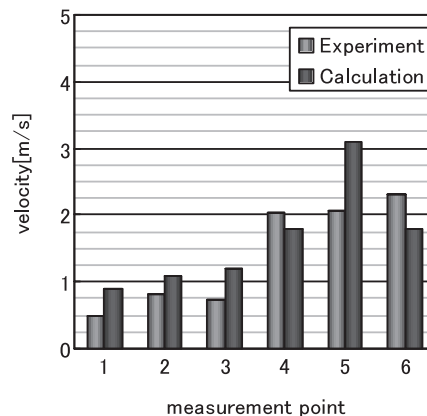


Fig.8 Comparison of Engine Room Wind Velocity



3. シミュレーションによる改善手法の検討

一般的に熱害面で厳しい領域は、高温となる排気系の近くにレイアウトされる部品である。従って、エキゾーストマニホールド周囲の風速を上げ、表面温度を低減することを目標とした。そのために、エンジンルームに流入した風をエンジンヘッド上方へ導き、後方部分の風速を上げることを考えた。ベースモデルはヘッドカバー上方への流れが少なく、エンジンサイドへの流れが多い。このことは相対的にヘッドカバー上方の通気抵抗が大きいことを示している。そこでエンジンルームの通風抵抗そのものを低減すること及びエンジンサイド部と上方の通気抵抗バランスを変え、エンジンサイド部の流れを上方へ導くことを試みた。

ラジエータ通過風を冷却ファンの回転に従い、スムーズにヘッドカバー上方へ導くよう冷却ファン後のヘッドカバーなどの部品形状を見直した。更に、通気断面の形状変更やヘッドカバー上方へ導いた風をスムーズにエンジンルーム下方へ流すためのエンジン後方部品の形状を見直した。

このようにして、エンジンルームへの導風空気量を増加させ、かつエンジンルーム内に導入した空気をエンジンヘッドカバー上部から、後方部にある温度の高い排気系周辺へと冷却風を導き、フロア下へスムーズに排出させるよう形状変更を実施した。

これらの検討から、エンジンルーム後方にある排気系周辺の冷却風の風量アップ効果の最も大きい以下の改善案を見出した。排気系周辺への冷却風の流れ改善効果を、ベース仕様と比較した結果をFig.9, 10に示す。

また、排気系の周囲の風速は、ベースに対して約10%増加している (Fig.11, 12)。

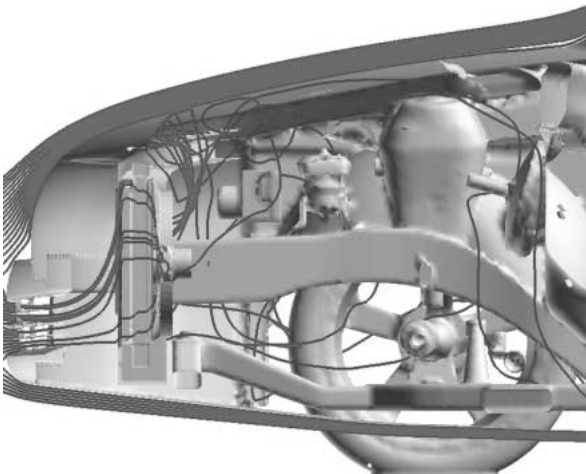


Fig.9 Simulation Result of Original Model in Side View (Powertrain is Hidden)

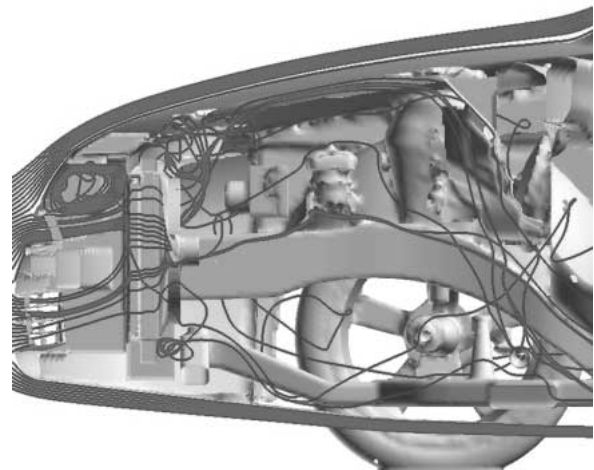


Fig.10 Simulation Result with Improvement Model in Side View (Powertrain is Hidden)

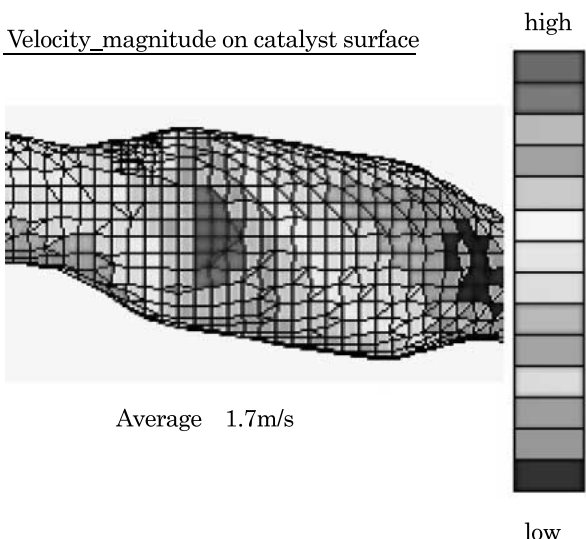


Fig.11 Analysis of Original Model

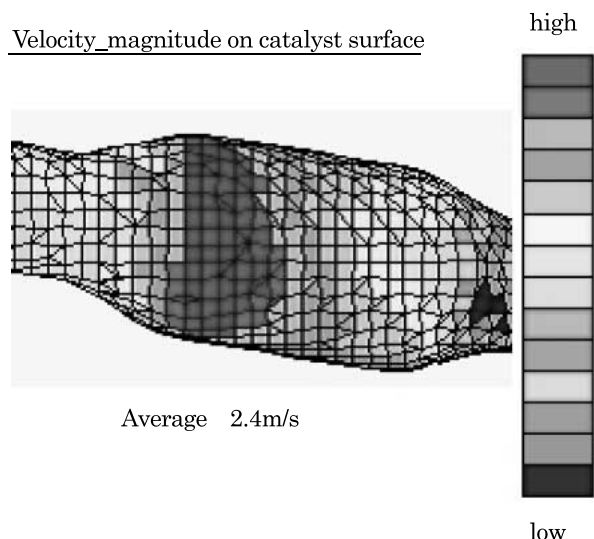


Fig.12 Analysis of Improvement Model

またFig.13, 14にエンジンプロック周囲の流線を示す。ベース仕様に対し、エンジンプロック横の流れは減少し、かつ、エンジン上方部の流れが増加しており、意図通りの流れとなっていることを確認した。

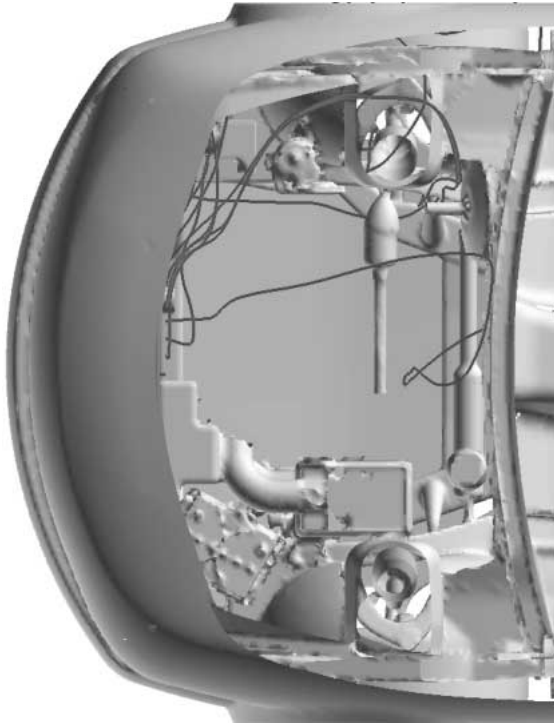


Fig.13 Simulation Result of Original Model in Top View (Powertrain is Hidden)

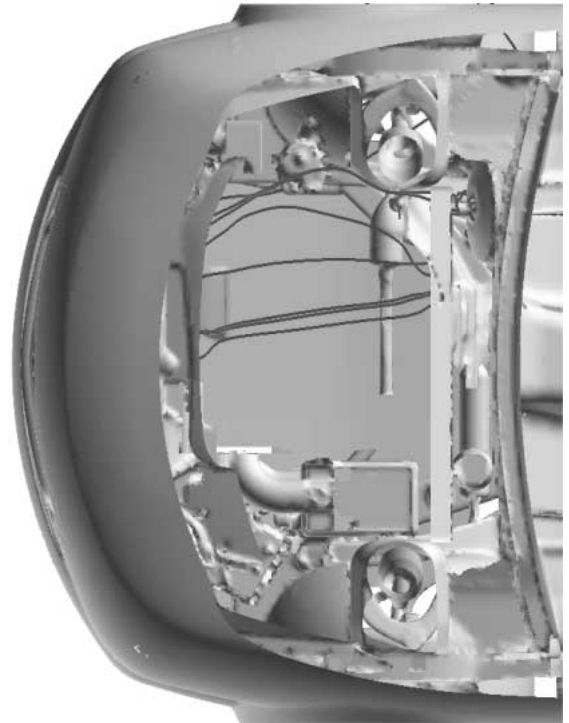


Fig.14 Simulation Result with Improvement Model in Top View (Powertrain is Hidden)

下記の通り、エンジンルーム内風速と温度の関係はFig.15に示すような関係がある。これらから、エンジンルーム内の風速改善代からエンジンルーム内の部品温度の低減代が推定できる。

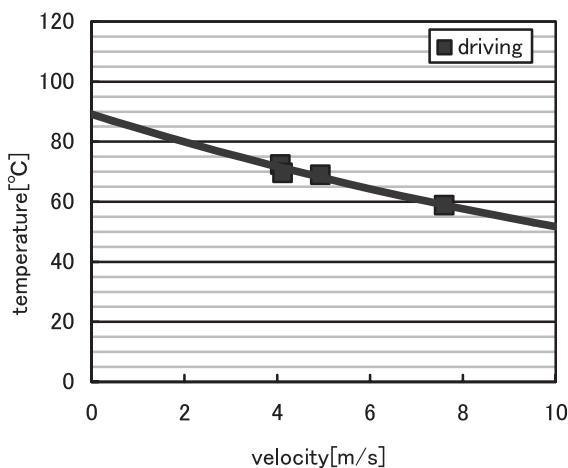


Fig.15 Relation between Temperature and Wind Velocity

4. 実車による効果の確認

4.1 風速測定結果

シミュレーションにより効果を見出したいくつかの構造を実車に織り込み、実車で検証を行った。実際に車両に織り込んだ構造は以下の5項目。

- ・ラジエータグリル追加
- ・ボンネットインシュレータ形状変更
- ・エンジンヘッドカバー形状変更
- ・カウル形状変更(ダッシュアッパー前方)
- ・熱害インシュレータ形状変更(ダッシュパネル前)

上記改善構造を織り込み、排気系周辺部品の風速を実車計測した結果をFig.16に示す。

ベース仕様に対して排気系周辺部品付近の風速は約56%程度増加していることを確認した。この結果はCFDともおおむね一致している。

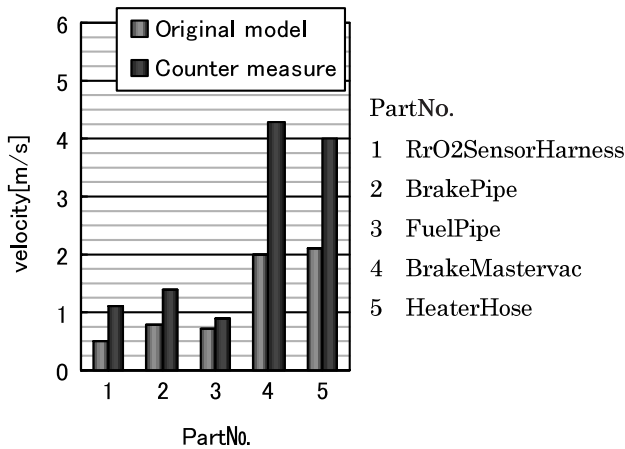


Fig.16 Improvement Effect of Ambient Velocity

4.2 温度測定結果

次に、同様に改善構造を織り込んだ車両での排気系周辺部品の温度低減効果を確認した。その結果をFig.17に示す。エンジンルームの通過風速の改善に伴い、各部品温度の低減が図られていることを確認した。

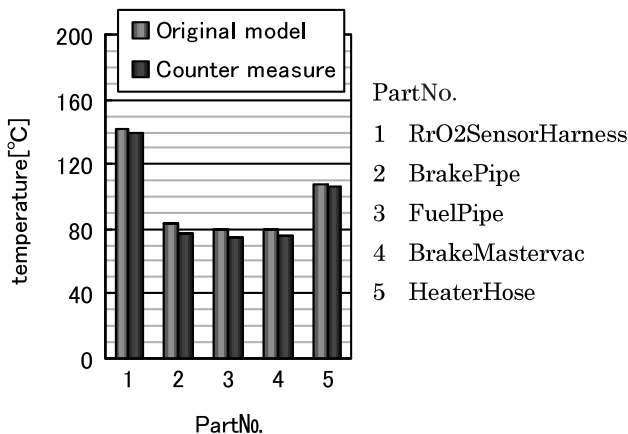


Fig.17 Improvement Effect of Wind Temperature

5. まとめ

- (1) クーリングファン回転状態を織り込んだエンジンルームの流れのシミュレーションを実施し、実車による実測結果と比較し定性的にエンジンルーム内の流れが再現できていることを確認した。
- (2) シミュレーションにて、後方排気エンジンの排気系近傍の風速をアップさせる構造を見出し、目標とする領域の風速アップ及び温度低減効果があることを確認した。
本論文では、汎用流体解析ソフト(CFD)を用い、エンジンルーム内の風の流れを可視化し、エンジンルーム各部の風速改善を行い、部品の温度低減へと結びつけた。
自動車の耐熱性を確保する上で、この度のような車両の基本構造/形状の検討段階で、冷却風を適切に制御す

ることによって、耐熱性のポテンシャルアップが図れ、更に、エンジンルーム内の通風抵抗低減により、冷却性能、冷房性能にも大きく貢献できるメリットが期待できる。
今回検討した改善案は、エンジンルーム内の各部形状や基本レイアウトの適正化によるものであり、低コストで質量悪化への影響を最小限に抑える効果的な開発手法と考えている。

参考文献

- (1) 上田ほか：エンジンルーム内流れの数値解析，マツダ技報，No.12，p.83-90（1994）
- (2) 上田ほか：マルチブロック法を用いたエンジン冷却，及び空力性能予測のための数値シミュレーション手法の開発，マツダ技報，No.14，p.81-87（1996）
- (3) 小野ほか：CFDを用いたエンジンルーム内温度解析手法の開発，自動車技術会学術講演会前刷集No.119-02，20025531（2002）
- (4) 小森谷ほか：エンジンルーム内の熱管理予測への取り組み，自動車技術会No.10-06，自動車空調技術，p.403-412（2006）

著者



上田 健



西村真人



藤元清信