

低ヒートマス 4 in 1 集合エキゾーストマニホールドの騒音低減手法の研究

Research of Low Heat-mass 4 in 1 Exhaust Manifold Noise Reduction Technology

大内 斎*
Hitoshi OOUCHI

阿黒雅樹*
Masaki AGURO

久永 徹**
Toru HISANAGA

要 旨

薄肉二重構造の 4 in 1 集合エキゾーストマニホールド(4 in 1 exhaust manifold : 以下 4-1 エキマニ)から発生する減速時の高周波断続音, 負荷時の高周波音に対し, 数値流体力学(Computational Fluid Dynamics : 以下 CFD)と実機エキマニ管内の圧力変動解析より音が発生するメカニズムの概略を解明した。CFDでエキマニ管内の流れを改善することで放射音の加振力である実機のエキマニ管内における圧力変動が抑制され, 放射音が低減できることがわかった。

ABSTRACT

A noise generation mechanism of intermittent high-frequency noise during deceleration and high-frequency noise under load in a dual-thin-wall 4-in-1 exhaust manifold (hereinafter referred to as 4-1 manifold) have been investigated by using Computational Fluid Dynamics (CFD) and actual measurement of exhaust gas pressure fluctuation in the exhaust manifold. Modified gas flow in the exhaust manifold by CFD enabled a reduction actual exhaust gas pressure fluctuation, which is the excitation force, and actual radiated noise has been reduced.

1. はじめに

自動車のエミッション性能向上⁽¹⁾の要求はますます高くなり, キャタライザの昇温性能向上^{(2), (3)}のための一手法としてエキマニの 4-1 集合化および低ヒートマス構造化⁽⁴⁾が進められてきた。

しかしながらエキマニの 4-1 集合化及び低ヒートマス構造化(薄肉化)は従来構造の 4 in 2 in 1 集合エキマニ(以下 4-2-1 エキマニ)に対し, 高周波音が増大し, 完成車における室内音を悪化させる一因となっていた。既存のエキマニ放射音を低減させる手法は, 板厚増等により構造応答の低減を狙ったものと, 集合部のセパレータ追加(簡易 4-2-1 化)等の加振力側低減の手法が挙げられるが, どちらの場合もヒートマス増に直結し, エミッション性能との両立が困難であった。本研究の目的は, 異音の発生メカニズムの概略を明らかにし, 低ヒートマス構造を維持した上で, 加振力側で音を低減させる技術を確立し, 4-2-1 エキマニ同等の放射音レベルとすることである。

なお, 本研究で確立したエキマニ放射音の低減手法は, 次期大衆車に技術適用し, 負荷時の高周波音の大幅低減を可能にした。

* 栃木研究所

** (株)ユタカ技研

2. 減速時発生高周波断続音

2.1. 減速時における高周波断続音の特徴

Fig. 1 は, エンジン減速時に発生する高周波断続音とエキマニポート出口で測定した管内圧力, エキマニ近接音(9k-12k [Hz] B.P.F.), TDC パルス(2 [Pls./Rev.])を時系列で表示したものである。

高周波断続音はエンジン 2 回転当たり 4 回発生し, 同じタイミングで No.1-4 番エキマニポート内部に負圧の圧力波(以下負圧波)が発生していることがわかった。またポート内で発生している負圧波の発生タイミングは, 本供試エンジンの点火タイミングと一致していることがわかった。

Fig. 3 は Fig. 2 に示すエンジン各部の圧力を実機稼動状態にて測定し, クランク角度で表記したものである。

Fig. 3(a) に示した, 加速運転時は, 排気バルブの開弁タイミングで, 燃焼室圧力がポート圧力より高圧であり, エキマニポート出口圧力に, Fig. 1 に示した負圧波は確認できなかった。しかしながら, Fig. 3(b) に示した, 減速運転時は燃料カット制御により, 燃焼休止状態であるため, 排気バルブが開弁するタイミングで, 燃焼室圧力がエキマニポート出口圧力よりも低圧なために逆流現象が発生し, エキマニ

ポート出口圧力が急激に下がり、Fig. 1に示す負圧波が発生していることがわかった。

この圧力変化が、減速時の高周波断続音の加振力であると考え、CFDをもちいて逆流状態におけるガス流れの解析をおこなう。

2.2. CFD解析による発生メカニズム推定

集合部からポート内部へのガスの逆流現象を解析するため、Fig. 4に示す解析モデルをもちいて定常流のCFDをおこなう。

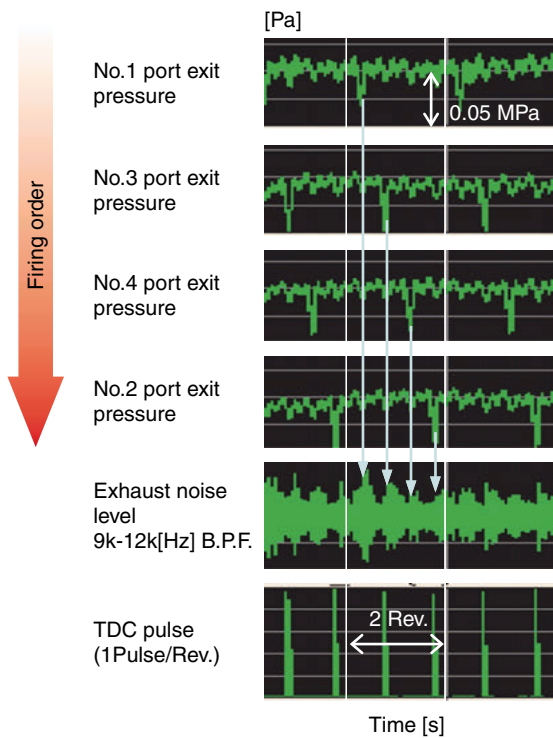


Fig. 1 Generating timing of high-frequency intermittent noises at deceleration

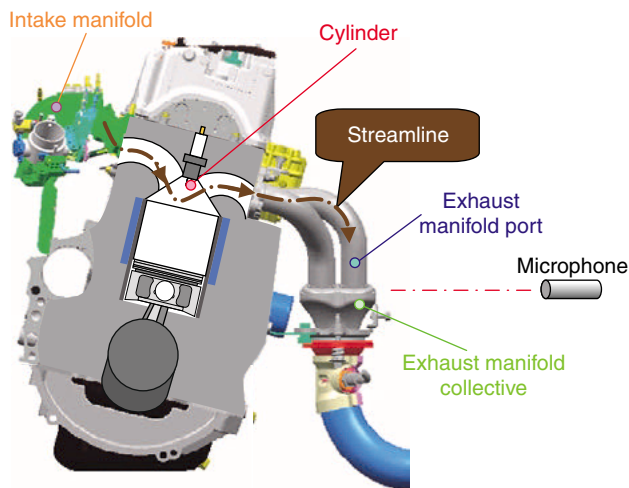


Fig. 2 Measurement position of engine and exhaust manifold pressure

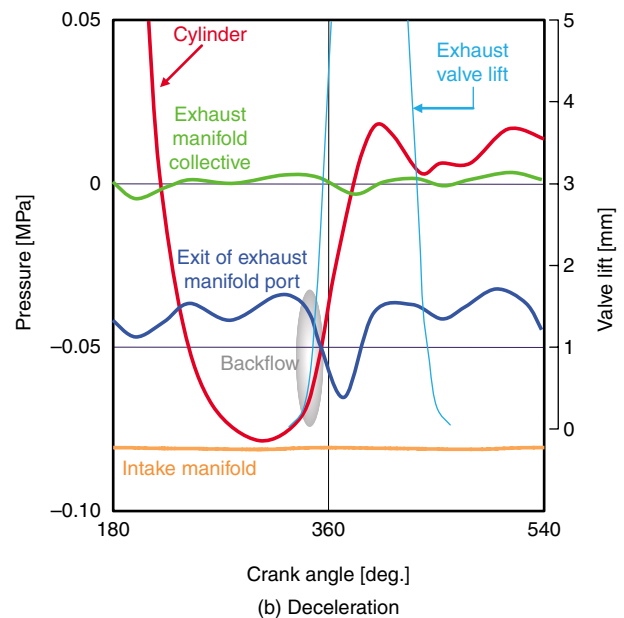
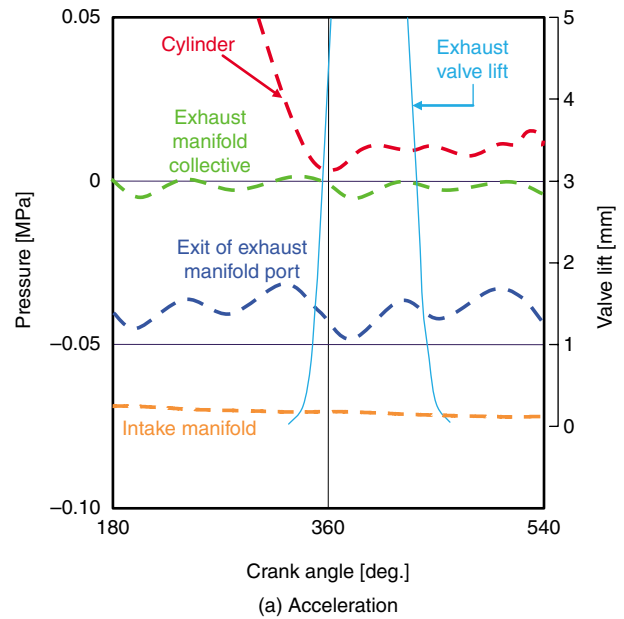


Fig. 3 Pressure relationships of engine and exhaust manifold

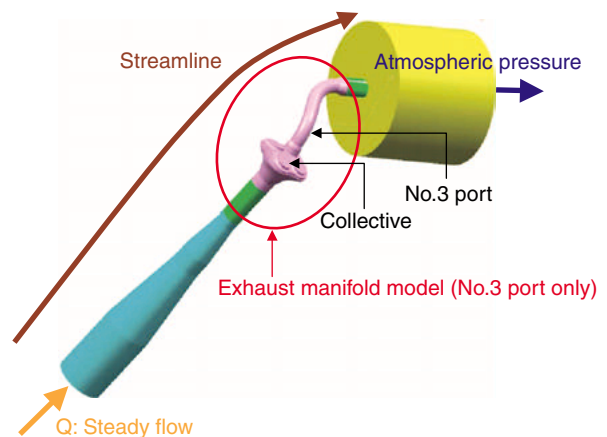


Fig. 4 CFD model for reversed flow analysis

Fig. 5 に CFD で解析したポート集合部付近の流線を示す。Fig. 6に示すように、従来の薄肉二重管のポート端部はバルジ拡管によるスライド構造となっており、端部に隙間が存在している。排気ガスが逆流する際、隙間が逆流を妨げていることがわかり、これが加振力となり負圧波の増大に繋がっていると考えられる。隙間を埋めた計算結果では、集合部内部の逆流が改善される。

2.3. ポート端部形状の変更による効果

Fig. 7 は 2.2 節に記した CFD 結果をもとに、エキマニ

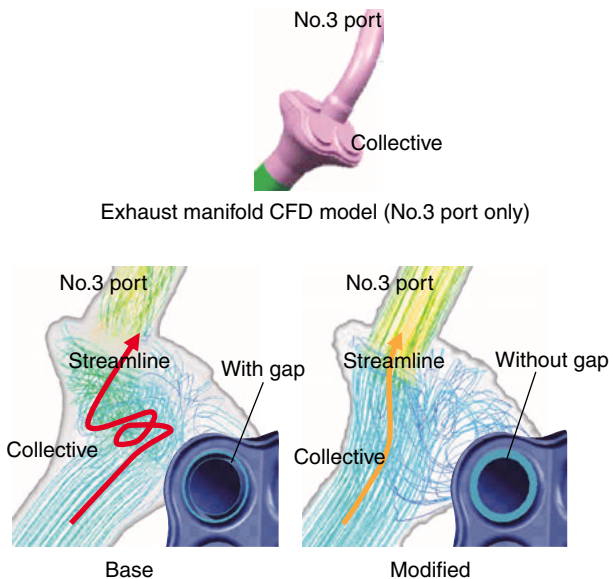


Fig. 5 Result of reversed flow streamline analysis by CFD

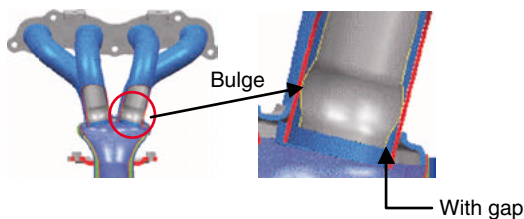


Fig. 6 Edge shape of exhaust manifold port

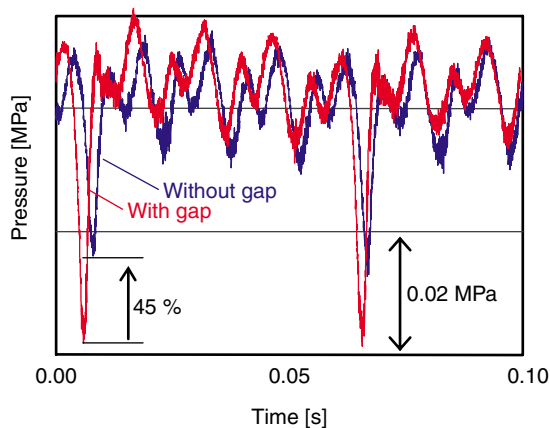


Fig. 7 Port exit pressure of effective edge shape

ポート出口の端部に存在する隙間有無について、ポート内の負圧波を実機にて測定した結果を示す。隙間が無いものは隙間があるものに対し負圧波のレベルが約45%低いことが確認された。

Fig. 8 はポート出口の端部に存在する隙間をなくすことによって、減速時の高周波断続音に与える影響を確認したものである。断続音として認識される 9k-12k Hz の周波数帯域で最大 8 dB の低減効果を得ることができた。

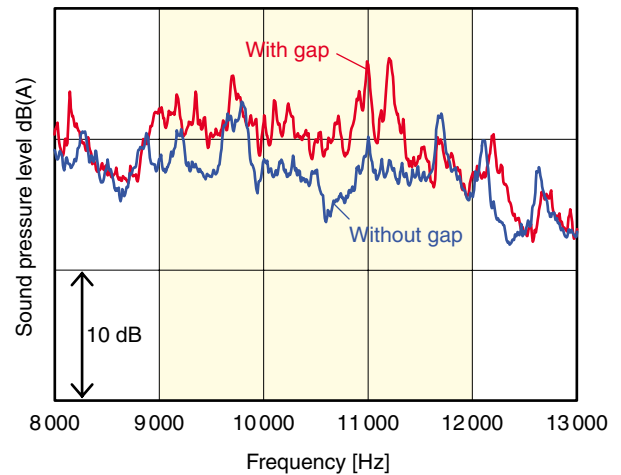


Fig. 8 Level of high-frequency intermittent radiation noises of exhaust manifold

3. エンジン負荷時高周波騒音

3.1. エンジン負荷時における高周波騒音の特徴

Fig. 9 にエキマニ近接で測定した負荷時における高周波騒音のレベルを示す。4-1低ヒートマス構造のエキマニは従来構造の4-2-1集合エキマニに対し、4k Hz 以上の帯域が約 8 dB 高いことがわかる。

さらに、Fig. 10 に示すように、4-1 低ヒートマス構造のエキマニは、ポート集合部の圧力が従来構造4-2-1エキマニと比べ 4k Hz 以上の帯域で約 7 dB 高い。

3.2. 排圧高周波成分の発生メカニズム推定

ポート集合部の圧力に違いが生じる要因を特定するため、CFD により流線ベクトルと圧力分布の計算をおこなう。

Fig. 11については、4-1低ヒートマス構造のエキマニポート出口の端部について拡大したものである。バルジ拡管によって断面積が変化する箇所、ガスの流速が変化し、圧力が高くなっていることがわかる。

Fig. 12 は定常流で CFD をもちいて、(a) エキマニ管内壁面の圧力分布と、(b) 流線ベクトルについて、計算した結果である。

Fig. 12(a)に示した、ポート集合部の壁面圧力を比較すると、4-1 集合エキマニの方が高く、さらに Fig. 12(b) に示

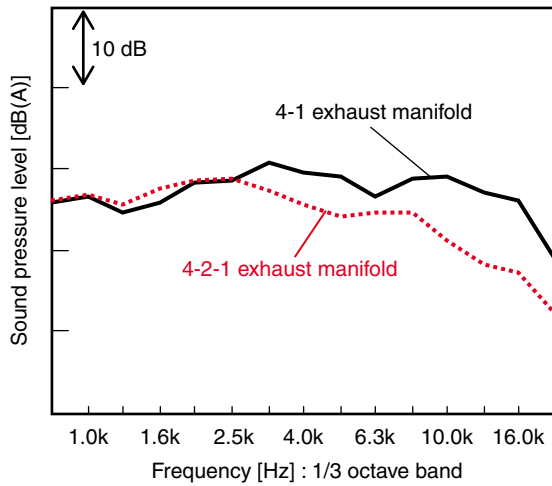


Fig. 9 Sound pressure level close to exhaust manifold

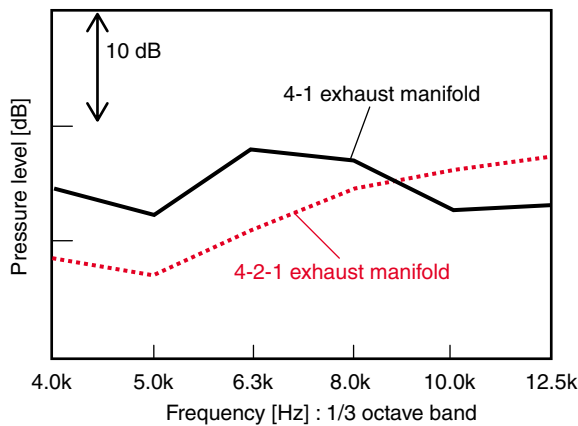


Fig. 10 Pressure at collective of exhaust manifold

した流線ベクトルについて注目すると、ポートから集合部へガスが流れ込む際に、集合部壁面に衝突し流路が絞られていることがわかる。

41低ヒートマス構造のエキマニにおいて高周波圧力が高い要因は、ポート端部の断面積変化による集合部流入ガスの流速増加と集合部壁面へのガスの衝突が考えられる。

3.3. 負荷時高周波音改善検討

高周波排圧を低減するため、ガス流れを改善するエキマニ形状の検討をおこなう。

(1) ポート出口端部での流速変化対応

Fig. 13に示すように、ポート出口形状について、バルジ拡管を廃止しストレート形状とした。

またアウトパイプとインナパイプの支持方法はSUSメッシュ支持とした。

(2) 集合部壁面へのガス当たり対応

ポートパイプ入射角を20°に設定し、集合部もこれに合わせ形状変更した(Fig. 14)。

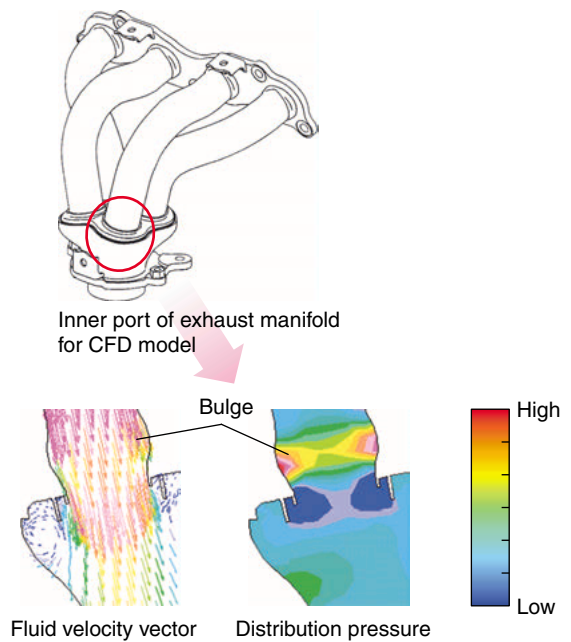
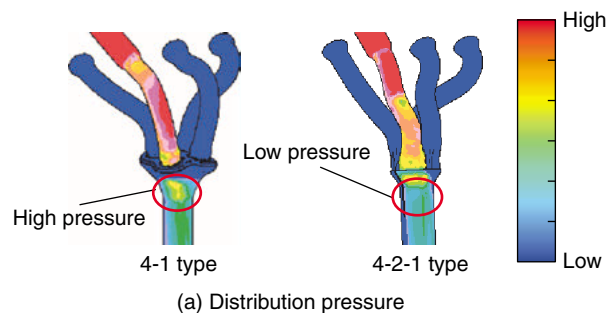
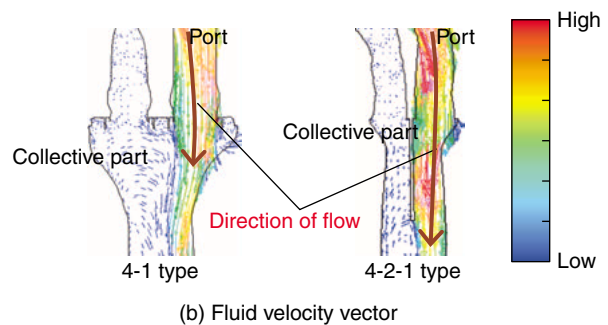


Fig. 11 CFD result for bulge effects



(a) Distribution pressure



(b) Fluid velocity vector

Fig. 12 CFD result for steady flow

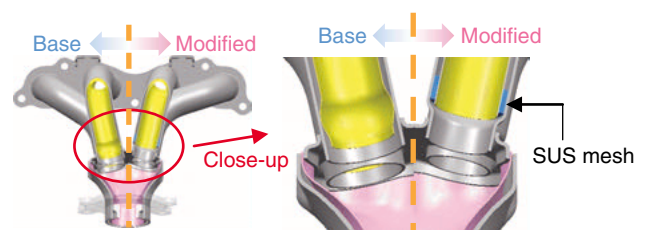


Fig. 13 Enhancement of edge shape of exhaust manifold port

Fig. 15 に、Fig. 13, 14 で示した二つのエキマニについて CFD の結果を示す。

ガス流れを改善したエキマニは、バルジ拡管部をストレート形状としたことでポート出口部の圧力が低減し、かつポート入射角と集合部形状の変更により、集合部壁面のガス当りにより発生していた昇圧が低減している。

3.4. ガス流れ改善エキマニの実機検証結果

流れ改善前後のエキマニについて Fig. 16 はポート端部圧力、Fig. 17 はポート集合部圧力について比較する。

ガス流れの改善によって負荷時の高周波音の加振力である高周波排圧が約 6 dB 低減することが確認された。

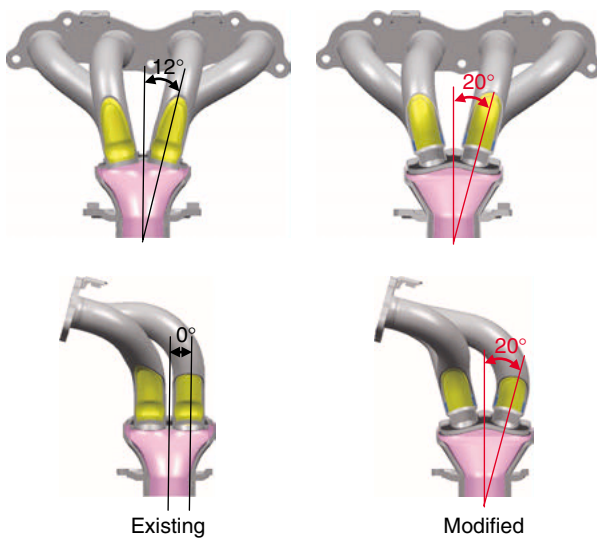


Fig. 14 Enhancement of angle of incidence of exhaust manifold port

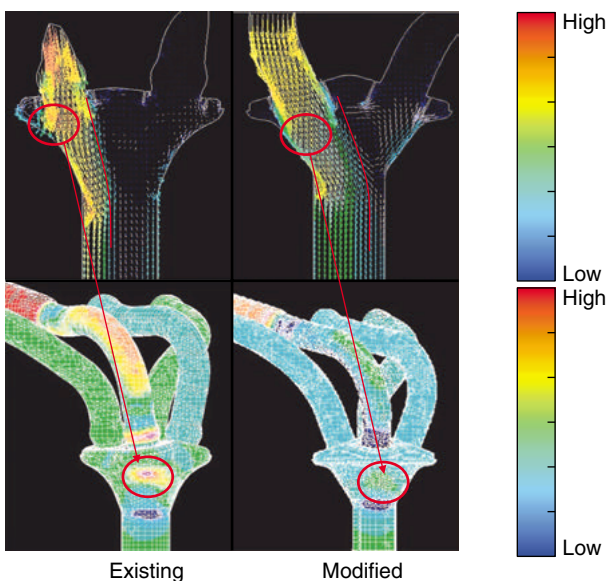


Fig. 15 CFD result for fluid velocity vector and pressure

3.5. インナポート支持構造変更による効果

Fig. 13に示す流れ改善エキマニについてインナポートの支持構造をSUSメッシュ支持に変更したことによる効果検証をおこなう。Fig. 18はアウトポートの振動レベルを、加振力である管内排圧で除し、単位加振力に対するアウトポート振動の比で表したものである。SUSメッシュ支持とした方が、高周波帯域の感度が6 dB 低いことがわかった。

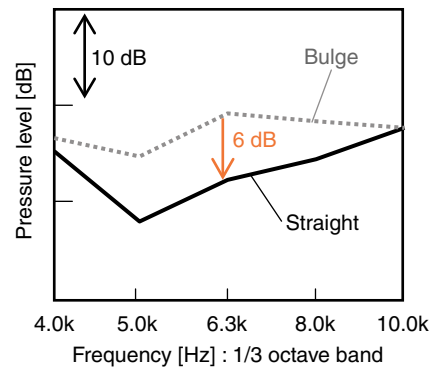


Fig. 16 Effect of edge shape on pressure level

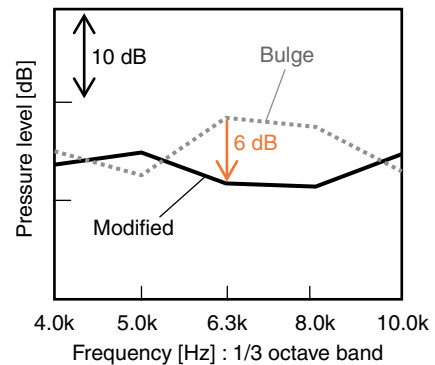


Fig. 17 Effect of enhancement of angle of port

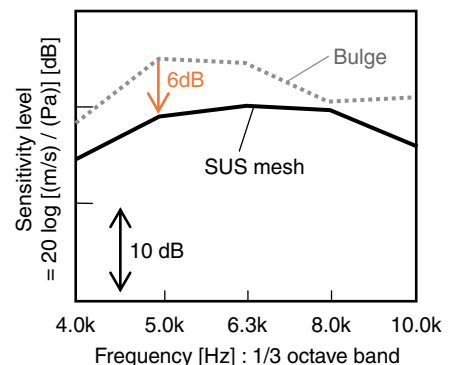


Fig. 18 Estimate of sensitivity to vibration/pressure of exhaust manifold

3.6. 実機放射音低減効果

Fig. 19は、低ヒートマス構造である従来エキマニと流れ改善品、さらに目標とした4-2-1エキマニのレベルを比較したものである。

エキマニ管内の流れを改善することにより、負荷時の高周波音は当初の目標である4-2-1エキマニのレベルを達成することができた。

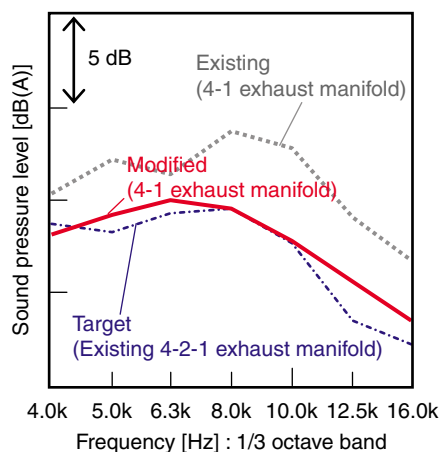


Fig. 19 Radiation exhaust manifold noise

4. まとめ

薄肉二重構造の 4-1 集合エキマニから発生する減速時の高周波断続音、負荷時の高周波音について発生メカニズムの概略を明らかにした。また低ヒートマス構造を維持し加振力側の対策により4-2-1集合のエキマニと同等の音レベルとするための低減手法を確立した。

- (1) 減速時の高周波断続音は、エキマニ管内の逆流現象で発生しており、エキマニポートパイプの二重管端部の隙間を廃止することで加振力である負圧波が低減し音を抑制できることがわかった。
- (2) 負荷時の高周波音は、エキマニポート集合部の壁面に衝突するガス流れと相関があることがわかり、ポート出口の形状と集合部の形状(ポート入射角)変更によって、ガスの流れを改善することにより、排圧の高周波成分を低減できることがわかった。
- (3) 薄肉二重構造のインナパイプとアウトパイプ間を SUS メッシュによりフローティングする構造がエキマニの表面振動を低減するために、極めて有効であることがわかった。

5. 参考文献

- (1) 北川浩, 三部敏宏, 岡松和則, 安井裕司:「ACCORD SULEV」用極超低エミッションシステム, HONDA

R&D Technical Review, Vol.12, No.2, p.37-44

- (2) Kishi, N., et al: Development of the Ultra Low Heat Capacity and Highly Insulating (ULOC) Exhaust Manifold for ULEV, SAE Paper, SAE980937(1998)
- (3) 橋本宏, 石井和夫, 三部敏宏: 高出力エンジン用低熱容量 4-2 集合エキゾーストマニホールドの開発, HONDA R&D Technical Review, Vol.11, No.1, p.85-92
- (4) 石井和夫, 宗村岳, 吉田信行: SULEV 用低熱容量エキゾーストマニホールドの開発, Honda R&D Technical Review, Vol.14, No.2, p.69-76

■ 著 者 ■



大内 斎



阿黒 雅樹



久永 徹