

96モデル レジェンド エンジンの 振動騒音性能の向上について

Improvement in Noise and Vibration Performance for the 1996-Model "LEGEND" Engine

村 上 真 一* 篠 原 利 光*
Shinichi MURAKAMI Toshimitsu SHINOHARA

永 井 広 和* 亀 田 美 佐 子*
Hirokazu NAGAI Misako KAMEDA

要 旨

96モデル レジェンドに搭載するエンジンは、高級車にふさわしい静粛性と滑らかさを実現する狙いで従来型をベースに大幅な改良を加えた。

1 次慣性力の低減と燃焼の安定化によりアイドル振動を改善、ピストン打音とタイミングベルト音の低減によりアイドル時の静粛性を向上、エンジンマウント点振動とエンジン放射音の低減により加速時の静粛性を向上、スタータギヤ音の低減により始動時の騒音を向上し、その狙いを達成した。

ABSTRACT

To achieve quietness, smoothness suitable for high-quality luxury vehicle, the engine installed on the 1996-model "Legend" was drastically improved, based on the engine of the former Legend.

Vibration in idling was improved by reducing 1st order inertia force and stabilizing combustion. Quietness in idling was improved by reducing piston slap noise and timing belt noise. Quietness in acceleration was improved by reducing engine mounting points vibration and radiation noise. Noise in engine starting was improved by reducing starter gear noise.

1. まえがき

新型レジェンドのエンジンは、従来型の特徴である軽量コンパクト、最適な重量配分を踏襲するために基本骨格を90度V6、縦置きFFのままとし、定評のある走り感をさらに向上させ常用域で扱いやすいトルク特性とするために排気量を3.5リットルへ拡大した。

このエンジンの開発コンセプトは、高級車としての「常用域の気持ちよさ」であり、振動騒音はそのコンセプトに最も影響の大きい重要な因子である。振動騒音に関する「気持ちよさ」の指標として振動騒音の絶対値が小さいこと、時間的な変動が小さいこと、突出した周波数成分の無いこと、エンジンの運転状態の変化に伴う振動騒音の変化が直線的であることを取り出し、これを開発

の目標とした。エンジンの主要諸元をTable 1に従来型と比較した。

Table 1 Engine Specification

	'96 Model	'92 Model
Engine Type	C35A	C32A
Cylinder Layout	90deg V6	90deg V6
Bore x Stroke (mm)	90 x 91	90 x 84
Displacement (cm ³)	3473	3206
Compression Ratio	9.6 : 1	10.0 : 1
Max.Power (kW/rpm)	158 / 5200	158 / 5500
Max.Torque (N·m/rpm)	312 / 2800	299 / 4500
Max.Engine Speed (rpm)	5900	6300

* 栃木研究所

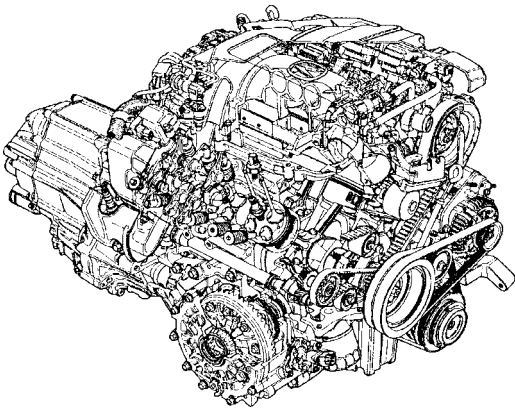


Fig. 1 1996-Model "LEGEND" Engine

従来型のエンジンに対しさらなる進化を求め熟成させるために、従来のレジェンドの弱点を分析し開発の重点課題としてアイドリング時のエンジン振動、アイドリング時のエンジン騒音、加速時のエンジン振動騒音、エンジン始動時の騒音の改善を計った。各課題に対する改善の狙いを Table 2 に示す。

2. アイドリング時のエンジン振動

アイドリング時に車室内にてシート、フロア、ステアリング等から感じる振動は、殆どの場合エンジンが発生源である。最終的に体感される振動はエンジンマウント、ボディ等の特性により左右されるが、起振力を下げるという点でエンジンの特性が重要である。

従来型の場合、シリンダレイアウトが90度V6であるため往復部質量による一次慣性偶力が残存し、その偶力をクランクシャフトのカウンタウエイトで完全には打ち消すことができない。そのため、一次振動に関して90度V8や60度V6に対して不利であった。また、高回転でエンジン出力を向上させるためにアイドリング時の燃焼状

態が若干犠牲になり、不整燃焼による振動が感じられる場合があった。以上の理由から新型レジェンドでは一次振動と不整燃焼で発生する振動の低減を行った。

2. 1. 一次振動の低減

従来のレジェンドではエンジンマウント取り付け点振動の車室内の振動に対する車体感度を考慮し、クランクシャフトのバランス率により一次慣性偶力を最適化しているが、エンジンの一次振動を低減させるには限界がある。

新型レジェンドでは、一次振動を打ち消すために一次偶力バランスを新たに採用し、その効果を最大限に発揮させるために質量のばらつきを往復部で80%、回転部で75%低減した。また、トランスミッション内部についてもメインシャフト上の変速クラッチピストンのアンバランス量を低減した。 balancerシャフトの採用、コンロッド、ピストンの質量ばらつきの低減、変速クラッチピストンのアンバランス量の低減によるエンジンマウント取り付け点の一次振動の低減効果をそれぞれ Fig. 2 に示す。以上の改良によりエンジンマウント取り付け点の一次振動は10dB以上低減した。

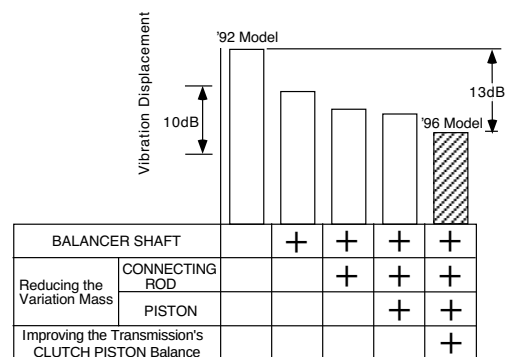


Fig. 2 Applied Technology and Reduction of 1st Order Vibration

Table 2 Aim of Improvement in Noise and Vibration for Engine

Operating Condition	Item	Overall Level Reduction	Fluctuation Reduction	Protrude Frequency Component Reduction	Linearly Changing Characteristic
Idling	Vibration	+	+	+	
	Noise	+	+	+	
Acceleration	Noise and Vibration	+	+		+
Engine Starting	Noise	+	+		

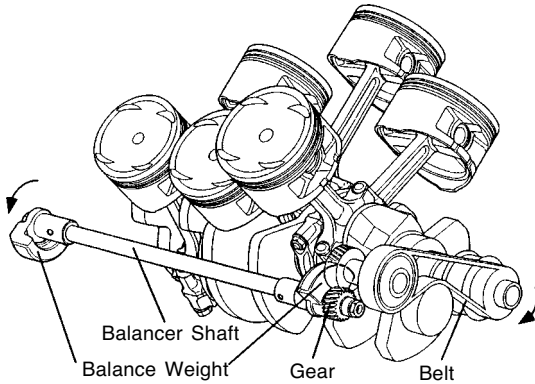


Fig. 3 Arrangement of Balancer Shaft

Fig. 3 に balan シャフトのレイアウトを示す。balan シャフトは一軸で、クランクシャフトと逆方向に同速度で回転している。クランクシャフトからベルトを介し、さらにギヤで回転方向を逆転させている。

Fig. 4 がコンロッド、ピストンの質量の精度向上による往復部質量、回転部質量のばらつき低減率である。ピストンの質量精度向上は高精度鋳造法によるものである。この製法の特徴は従来の鋳造に対し鋳造型を磨耗の少ない材料に変更したこと、型合わせの精度を向上し型ずれを防止したことである。またコンロッドの質量精度向上は Fig. 5 に示す複動閉塞鍛造により達成した。この製法は素材を加工することで鍛造の前段階で質量を管理し、従来から歯車等の単純な形状で使われている閉塞鍛造を複雑な形状をしたコンロッドに適用できるように 4 方向の摺動型を加え、完成品に対し素材材料の過不足が無く製造できることを特徴とする新製法である。

2. 2. 不整燃焼で発生する振動の低減

アイドリング時の燃焼が安定していない場合にエンジンの回転が不均一となりこれが原因で振動が発生する。アイドリング時の燃焼状態はバルブオーバーラップ量に大きな影響を受ける。一般的に燃焼室への混合気の流入、排気の流出の速度が大きい高回転ではバルブオーバーラップ量を大きくした方が出力を向上させることが出来るが、逆に流速の小さい低回転では混合気の吹き抜け、排気の吹き返しにより理想的な燃焼が得られず、特にアイドリング時には燃焼状態が不安定となり易い。

新型のエンジンは、従来型に対し排気量を 300cc 増したうえでバルブオーバーラップ面積を二分の一としバルブタイミングの最適化を行うことで、最高出力を維持したままでも低速トルクの向上とアイドリング時の燃焼の安定化を実現した。

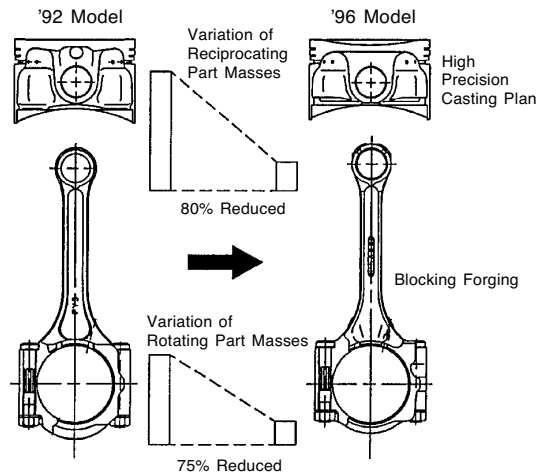


Fig. 4 Reducing the Variation in Piston and Connecting Rod Mass

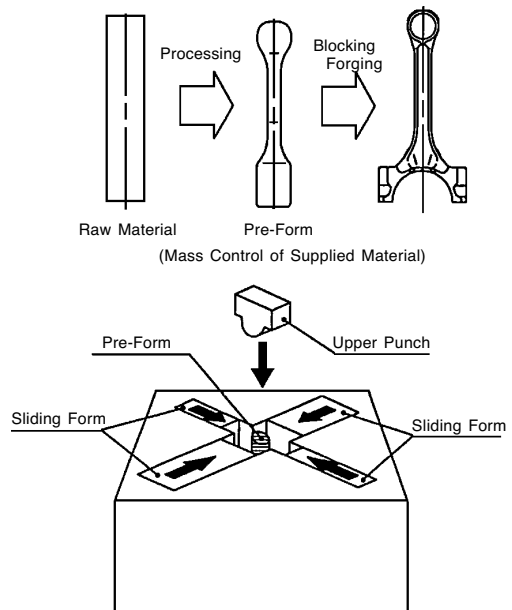


Fig. 5 New Manufacturing Method of Connecting Rod (Blocking Forging)

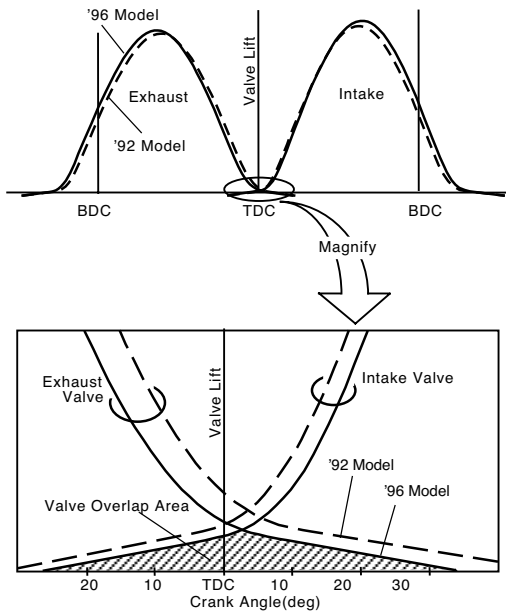


Fig. 6 Valve Lift Characteristics and Reduction of Valve Overlap Area

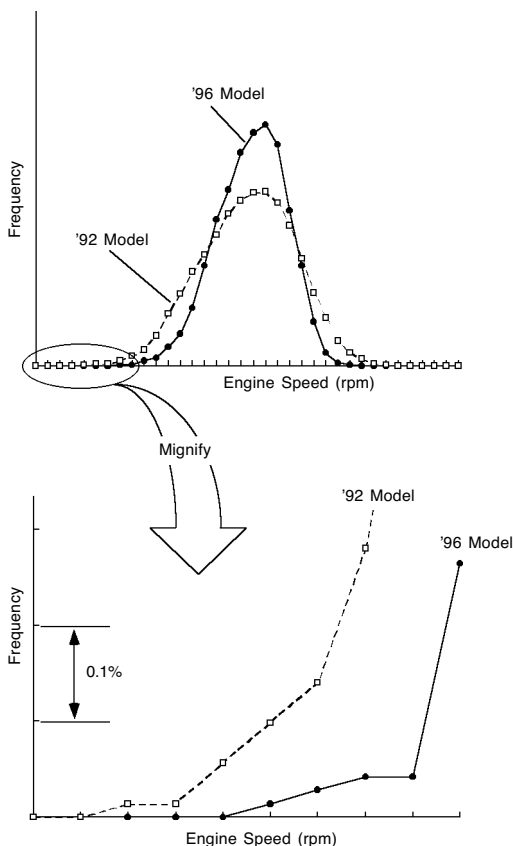


Fig. 7 Combustion Stability at Idling

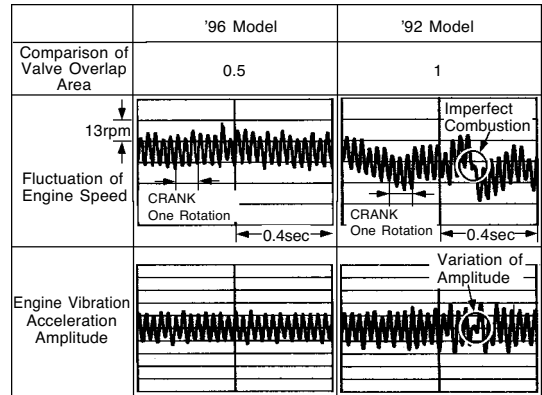


Fig. 8 Reduction of Idling Vibration by Stable Combustion

Fig. 6に従来型とオーバーラップ面積、バルブタイミングを比較しバルブリフト特性を示してある。

Fig. 7に燃焼状態を従来型と比較した。エンジンを一定の回転速度に設定しても実際には各気筒の爆発に同期して回転速度は上昇、下降を繰り返している。爆発による燃焼のエネルギーが毎回同じであればこの回転速度の変動量は一定であるが燃焼のエネルギーに差があれば回転速度の変動量の差として現れる。Fig. 7の横軸は一回の爆発で上昇したエンジン回転速度であり、右に行く程燃焼によるエネルギーが大きく、左に行く程小さいことを表わしている。縦軸は頻度である。新型は従来型に対し大幅に燃焼状態が安定し、極端に弱い燃焼の発生が防止できた。Fig. 8が燃焼のばらつきを低減したことによる効果である。エンジンの回転速度の変動とエンジンの振動が大幅に安定した。

3. アイドリング時および低速時のエンジン騒音

アイドリング時および極低速時はエンジンの回転数、負荷が共に小さいため、エンジン騒音の絶対値が小さく、ささいな音も耳につきやすい。突出した音の発生が無いようにすることが重要である。

従来型に対し静粛性を向上させるために、新型ではピストン打音とタイミングベルト音の低減を行った。

3. 1. ピストン打音の低減

従来型ではピストンクリアランスが設定公差の最大に

近い場合に、走行距離が数万 km 程度でピストン打音が大きくなり気になる場合があった。この音は低温始動後の暖機過程でアイドリング時に「ガラガラ」という音色、1000～1500rpm に「ジャラジャラ」という音色で発生していた。これを改善するために、ピストンとシリンダブロック外壁の剛性の見直し、ピストンピン支持方法をフルフローティング化、ピストンの天井部とスカート部の剛性を向上させショートスカートとする等を行った。ピストンの形状の従来型との比較を Fig. 9 に示す。Fig. 10 にピストンピンのフルフローティング構造を、Fig. 11 にシリンダブロックの剛性変更部位を、Fig. 12 にその効果を示す。Fig. 12 はスリーブとシリンダブロック外壁間の伝達関数を比較したものであり 2～3 kHz にて約 10dB の改善がみられる。Fig. 13 にシリンダブロック外壁面の振動の低減効果を示す。

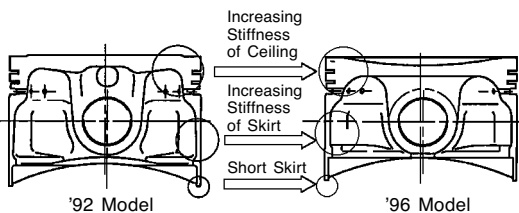


Fig. 9 Increasing Stiffness of Piston

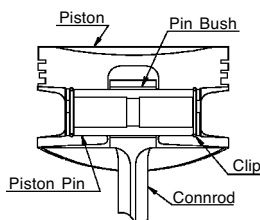


Fig. 10 Full Floating Piston Pin

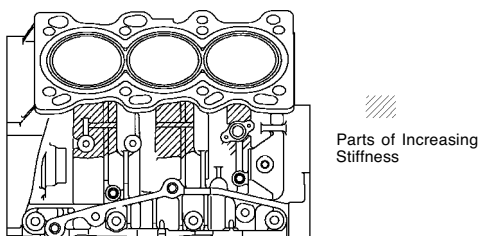


Fig. 11 Increasing Stiffness of Cylinder Block Outer Wall

3. 2. タイミングベルト音

タイミングベルト音はベルトとプーリの噛み合いが起振力となりプーリとテンシヨナの間でベルトが弦共振することで発生する。動弁系によるトルク変動の影響を受けることで変動を伴った音となる。

タイミングベルトのレイアウトを Fig. 14 に示す。タイミングベルト音はベルトの弦長、張力との相関が強く、ドライブプーリとテンシヨナの間の弦長を長くするかベルトの張力を小さくすることで低減できるが、ベルトの振れによる他部品との干渉とベルトの耐久性が厳しくなるため、騒音面からの要求のみでは決定できない。新型レジェンドではベルト幅を縮小し、ベルトの材料を変更することで弦共振の特性を変化させ騒音を低減した。

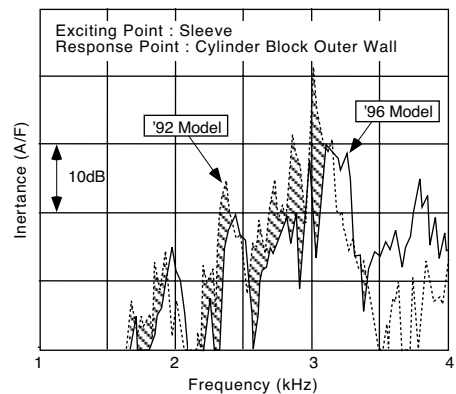


Fig. 12 Reduction of Inertance by Increasing Stiffness of Cylinder Block Outer Wall

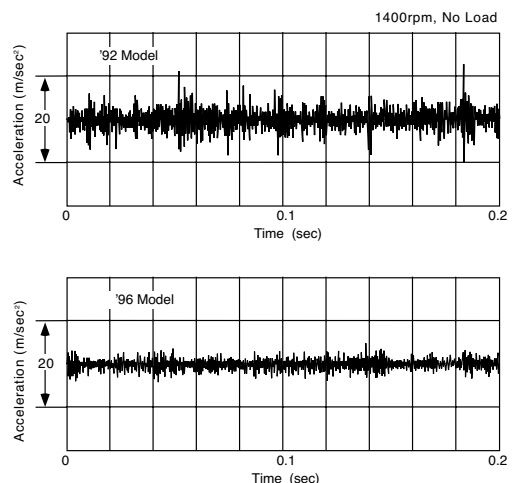


Fig. 13 Reduction of Vibration at Cylinder Block Outer Wall

Fig. 15にその効果を示す。横軸にベルトの張力をたわみ量で示してあり、たわみが大きくなる程騒音値が小さくなるため右下がりのグラフとなる。従来型に対し、ベルト幅を縮小することで約2 dB、ベルトの材料を変更することで約4 dB低減し、張力設定を変えないで合計6 dBの低減を達成した。

4. 加速時のエンジン騒音

加速時に室内に入ってくるエンジン音は、エンジンの振動がエンジンマウント、ドライブシャフト、配管等を伝達してくる成分と、エンジンの放射音がボディを透過してくる成分に分けることができる。前者は約1 kHz以下の成分が主であり後者は1 kHz以上の高周波が主である。したがって、加速時のエンジン音を低減するにはエンジンからの伝達振動の低減と放射音の低減を両面から実施する必要がある。

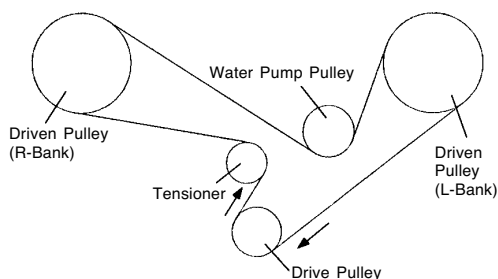


Fig. 14 Timing Belt Layout

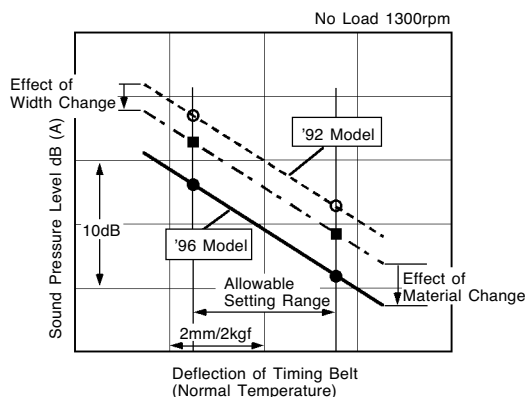


Fig. 15 Reduction of Timing Belt Noise

4. 1. 伝達振動

音圧が変動し濁りを伴って「ゴロゴロ」というように表現されるクランク打音に対しては200～800Hz帯の振動特性が重要である。エンジンの200～800Hz帯の振動の主要因は、燃焼圧によるクランクシャフトのベアリングキャップへの衝突である。エンジンマウント取り付け点の振動は、クランクシャフト、シリンダブロック、エンジンマウントブラケットなどの共振に影響される。

クランクシャフトの剛性という点でレジェンドのエンジンは60度V型エンジンに比べ有利である。これは各クランクジャーナルの間にある二つのクランクピンが60度V型エンジンの場合60度の位相差があるのに対し、90度V型の場合位相差が30度であり剛性が確保し易いレイアウトとなっているためである。新型ではクランクシャフト本体の構造は従来型を踏襲し、クランクプーリを約25%軽量化しクランクの曲げ振動を低減した。さらにシリンダブロックのクランクジャーナル近傍とエンジンマウントブラケット取付部およびエンジンマウントブラケット本体、トルクコンバータケース、オイルパンの剛性を向上させることにより、クランクジャーナル部からエンジンマウント取り付け点までの振動伝達特性を大幅に改善し、エンジンマウント取り付け点の振動を約2～4 dB低減できた。Fig. 16にシリンダブロックの剛性を向上させた部位を、Fig. 17に振動伝達特性の改善量を、Fig. 18にエンジンマウント取り付け点の振動の低減量を示す。

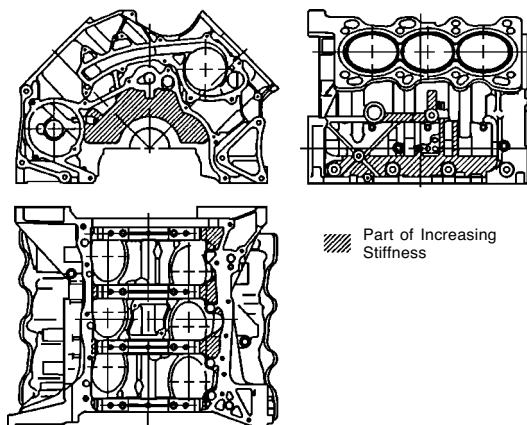


Fig. 16 Increasing Stiffness of Cylinder Block

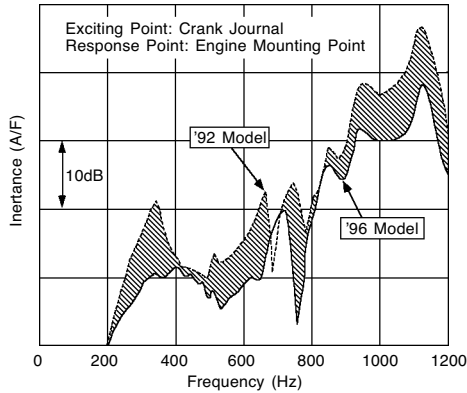


Fig. 17 Reduction of Inertance by Increasing Stiffness of Cylinder Block

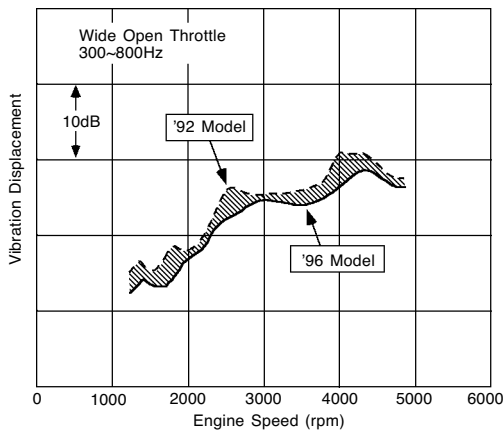


Fig. 18 Reduction of Vibration at Engine Mount

4. 2. エンジン放射音

伝達振動を低減するためのシリンダブロックの剛性向上およびピストン打音を低減するためのピストンの剛性向上、ピストンピンのフルフローティングはエンジンの全体放射音の低減にも大きく寄与している。それに加えエンジンカバー (Fig. 19) の装着、キャタライザーカバーの二重化、および排気系の振動を増幅し放射音を増大していたエキゾーストパイプカバーを廃止することで無負荷からスロットル全開まで約 1 ~ 4 dB の低減を達成し、かつエンジン回転に対し直線的に滑らかに変化する騒音特性とした。Fig. 20 にスロットル全開時と無負荷の空転時のエンジン放射音の従来型との比較を示す。

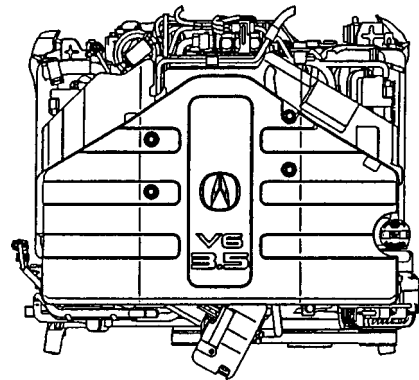


Fig. 19 Engine Cover

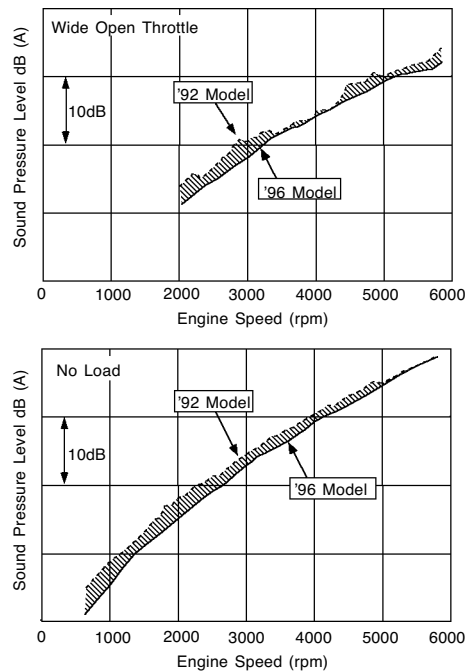


Fig. 20 Reduction of Engine Radiation Noise

5. エンジン始動時の騒音

エンジン始動時の騒音は車の第一印象を決定する重要な因子であり、スタータモータの音が支配している。

スタータモータの音はエンジンを始動させる時に、エンジンの圧縮圧力によるトルク変動の影響を受けて発生する衝撃的な歯車の噛み合い音である。

通常、大排気量車に使用するスタータモータはモータの回転を内部の歯車にて減速しトルクを増大させている

が、この内部の歯車による減速機構には従来型からプラネタリタイプを採用している。プラネタリタイプは歯車の噛み合い率を大きく取ることができるので歯車の噛み合い音に対して有利である。

新型では内部の歯車の歯丈を上げることで噛み合い率を更に向上し、エンジン側のリングギヤと噛み合うスタータピニオンギヤの歯形の最適化を行うことでクランキング時の騒音レベルを約4 dB低減し、大幅に音色を改善した。Fig. 21に内部の歯車の構造と改良点を、Fig. 22にクランキング時の騒音の低減効果を示す。

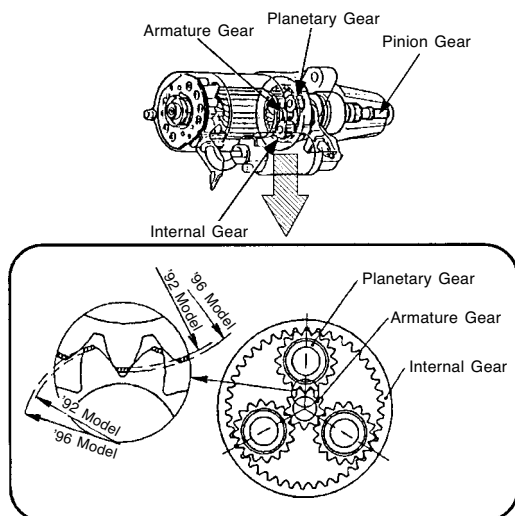


Fig. 21 Structure and Improvement of Starter Motor Gear

6. 振動騒音低減のまとめ

振動騒音低減のために仕様変更したエンジンの部位とその内容をTable 3に示す。Fig. 23はエンジン本体の①～⑪の位置を示したものである。

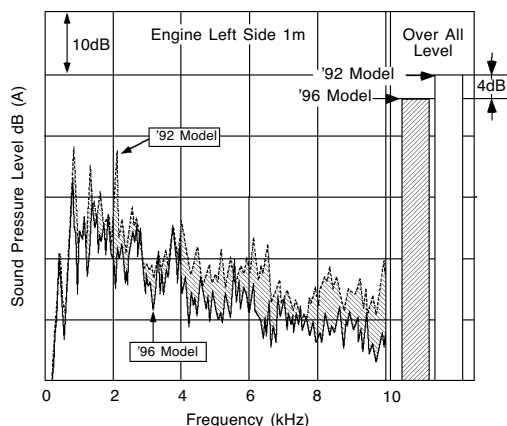


Fig. 22 Reduction of Starter Gear Noise

Table 3 Changed Parts and Improvements in Noise and Vibration

	Part	Improvement	Benefit			
			Idling Vibration	Idling Noise	Acceleration Noise	Stater Noise
①	Balancer	New	+			
②	Connecting Rod	Mass Variation Reduction	+			
③	Piston	Full Floating Piston Pin, Stiffness Increase, Mass Variation Reduction through High Precision Casting	+	+		
④	Cylinder Block	Improved Stiffness		+	+	
⑤	Oil Pan	↑			+	
⑥	Engine Mounting Bracket	↑			+	
⑦	Cam Shaft	Valve Overlap Optimization	+			
⑧	Crank Pulley	Weight Reduction			+	
⑨	Timing Belt	Material Change, Narrow Width		+		
⑩	Engine Cover	New		+	+	
⑪	Starter Motor	Improved Gear Tooth Profile				+
⑫	Catalyzer Cover	Damping Increase by Dual Sheet (Unequal Thickness)			+	
⑬	Exhaust Pipe Cover	No Cover			+	+
⑭	Torque Converter Casing	Stiffness Increase			+	
⑮	Transmission Clutch Piston	Mass Unbalance Reduction	+			

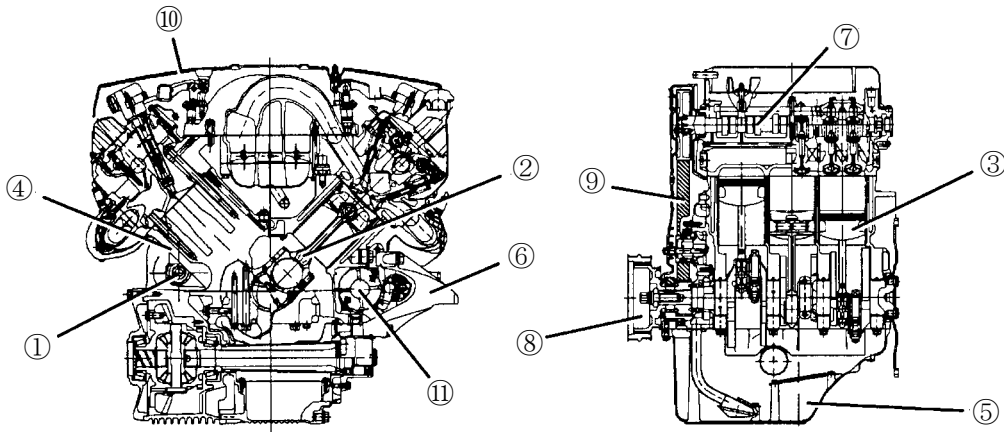


Fig. 23 Improvement Parts of Engine

7. 完成車での振動騒音低減効果

エンジンの振動騒音の低減にエンジンマウントおよび車体による低減効果を加えた完成車における振動騒音は従来型に対し大幅に改善された。

7. 1. アイドリング時の振動

アイドリング時の設定回転域にてシート振動が従来レジェンドに対し約 14dB 低減した。Fig. 24 がシート振動の低減効果である。

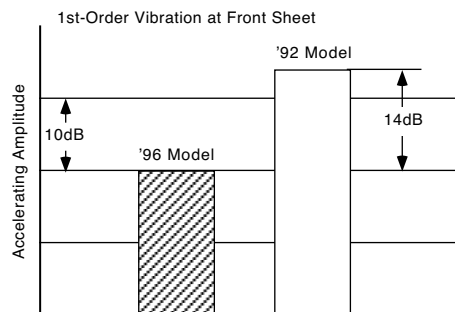


Fig. 24 Reduction of Vibration of Seat in Idling

7. 2. アイドリング時の騒音

アイドリング時の車室内での騒音は従来レジェンドに対しアイドリングの設定回転域にて約 5 dB 低減した。Fig. 25 が車室内での騒音の低減効果である。

7. 3. 加速時の騒音

加速時の車室内での騒音は従来レジェンドに対し低周波から高周波まで全域で低減した。Fig. 26 にエンジン回転速度に対する騒音の大きさと周波数の特性を示す。低減量はパーシャルオーバーオールで 250 ～ 500Hz が約 7 dB、500 ～ 1kHz が 1.5dB である。

7. 4. エンジン始動時の騒音

エンジン始動時の車室内の音は従来レジェンドに対し約 4 dB 低減した。Fig. 27 がエンジン始動時の車室内の騒音の波形である。

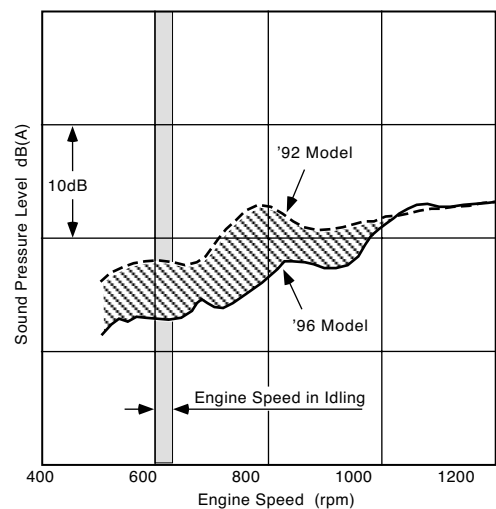


Fig. 25 Reduction of Noise in Idling at Cabin Centre

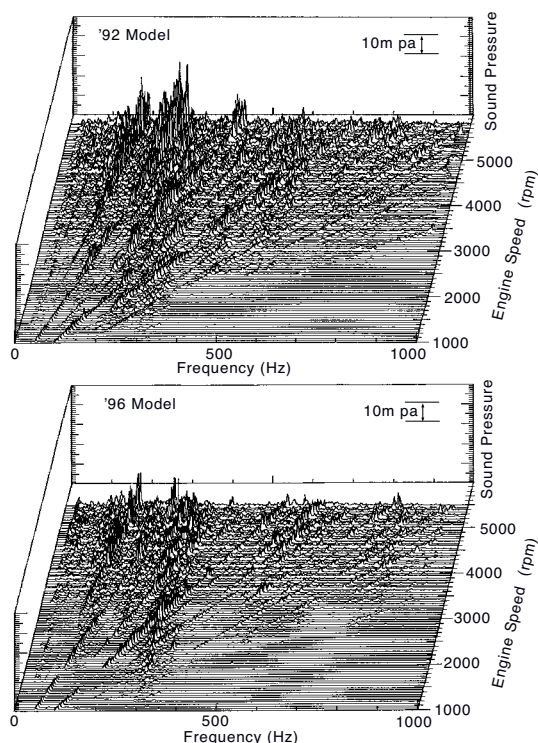


Fig. 26 Reduction of Noise in Acceleration at Cabin Centre

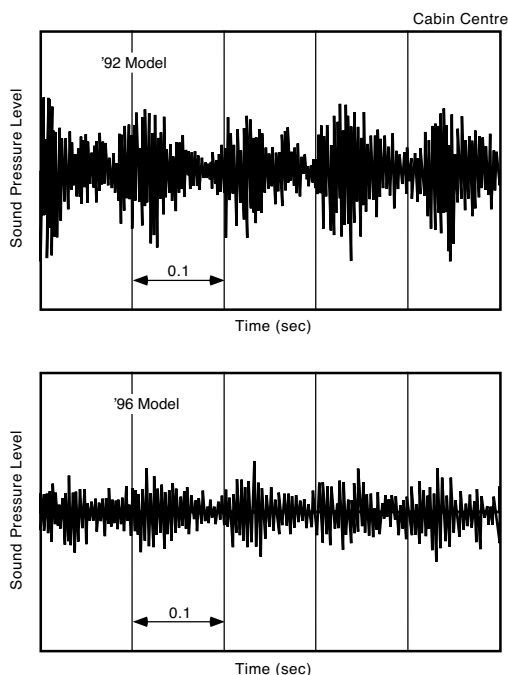


Fig. 27 Reduction of Engine Starting Noise in Cabin

8. まとめ

以下の(1)～(5)により96モデル レジェンド エンジンのNV性能は従来型に対し大幅に向上し、高級車にふさわしい静粛性と滑らかさを達成し開発コンセプトである「常用域の気持ちよさ」を実現した。

- (1) 一次偶力バランスの採用、往復部、回転部質量の精度向上、バルブオーバーラップ面積の最適化などによりアイドリング時の振動を低減した。
- (2) ピストンピンのフルフローティング化、ピストン、シリンダブロックの剛性変更およびタイミングベルト幅、材質の変更にてアイドリング時の騒音を低減した。
- (3) クランクプーリの軽量化とクランク支持剛性、エンジンマウントブラケットの剛性向上にて加速時のエンジンからの伝達振動を低減した。
- (4) 上記(2)、(3)の改良に加えエンジンカバーの装着、排気系カバーの改良によりエンジンの放射音を低減した。
- (5) スタータモータの内部減速ギヤ、ピニオンギヤの改良によりエンジン始動時の騒音を低減した。

参考文献

- 1) 曾我、木原：閉塞鍛造の事例、自動車技術会学術講演会前刷集 962、9633414、p.201～203

■著者■



村上 真一



篠原 利光



永井 広和



亀田 美佐子