

ノイズリデュースングホイールの開発

Development of Noise-reducing Wheel

神 山 洋 一*

Youichi KAMIYAMA

高 木 久 光*

Hisamitsu TAKAGI

石 井 克 史*

Katsushi ISHII

柏 井 幹 雄**

Mikio KASHIWAI

要 旨

タイヤ気柱共鳴音とは、路面凹凸により励起されるタイヤ内部の空洞共鳴による車室内騒音のことであり、ロードノイズ発生原因の一つである。

タイヤ気柱共鳴音の低減デバイスとしてノイズリデュースングホイールを開発した。構造上の特徴は、薄肉軽量の樹脂製ヘルムホルツ型レゾネータをホイールに新設した溝に嵌合固定することで、遠心力強度と組付け性を両立させている。また効果としてタイヤ気柱共鳴音を聴感上認知できないレベルまで低減が可能である。

この新開発のノイズリデュースングホイールは、量販車である 2011 年モデル HONDA レジェンド/ACURA-RL に搭載をしている。

ABSTRACT

Tire cavity noise is a noise produced in the cabin by resonance in the hollow cavity inside the tire when it is excited by unevenness on the road surface, and this phenomenon is one factor of road noise.

A noise-reducing wheel was developed as a means of reducing tire cavity noise. In the proposed configuration, a thin, lightweight plastic Helmholtz resonator is fitted into grooves newly cut in the wheel well, balancing strength in relation to centrifugal force with fittability. The noise-reducing wheels have had the effect of reducing tire cavity noise to an inaudible level.

The newly developed noise-reducing wheels are used on the 2011 model HONDA LEGEND / ACURA-RL, mass-market vehicles.

1. まえがき

タイヤ気柱共鳴音は路面凹凸により励起されたタイヤ内部の円環空洞の共鳴がホイールを加振して、振動としてサスペンションを介して車体に伝達され室内に発生する騒音である。共鳴周波数はタイヤ内部の円環空洞の周長で決まり、普通乗用車用タイヤの場合、通常 200 Hz から 250 Hz に存在する。その他ロードノイズ成分に比べ音圧レベルも大きく、聴感上も純音に近い音色かつ残響感を伴い乗員にとって耳障りな音として古くからロードノイズ主要課題の一つとなっている。

タイヤ気柱共鳴音の主要因は、空気充填タイヤの場合避

けることはできないタイヤ内部空洞の 1 次共鳴現象であることから、共鳴そのものを対処しない限り根本的な解決は困難である。従来の対策手法を例にとると、タイヤ構造振動低減による対策の場合、その他タイヤ機能との両立を考慮すると対策自由度が低く大きな改善は望めない。またタイヤから下流側でのサスペンション伝達経路対策や車体防音対策の場合、対策対象部品が広域に広がり、重量増加を伴う場合が多い。

今後一層強まる環境問題対応の流れから車体の軽量化は必須であり、従来のような重量増加を伴う下流側での対策はますます困難になることが想定される。またパワープラントが内燃機関からモータへ切り替わることによるパワー

* 四輪 R&D センター

** 二輪 R&D センター

プラント系騒音の低下から、ますますタイヤ入力系騒音の寄与が高まることを考慮すると、重量効率が良く根本解決が可能なタイヤ入力源流側での対策技術のニーズはより一層高まることが予想される。

タイヤ気柱共鳴音の低減デバイスは過去 30 年前から、100 件以上ものアイデアが特許や技術発表⁽¹⁾を通して提案されてきたが、商品化にあたっては市場での要求を満たすことが難しく、吸音スポンジをタイヤのインナーライナに接着した構造⁽²⁾が商品化されるにとどまっている。

ノイズリデュースホイールの開発では、機能性と量産化に必要な生産性とコストを満足させるヘルムホルツ型レゾネータをホイールに装着する手法を構築し、タイヤを限定することなくタイヤ気柱共鳴音を聴感上認知できないレベルまで低減できることを確認した。

2. 開発のねらい

タイヤ気柱共鳴音低減デバイスのねらいは以下のとおりである。

- (1) タイヤを限定することなくタイヤ気柱共鳴音を聴感上認知できないレベルとするため、完成車走行時 10 dB の低減量を達成すること
- (2) 最高速走行時の遠心力や悪路走行および縁石乗り越しなどの大入力に対するデバイスの強度耐久性が従来のタイヤホイールと同等であること
- (3) 車両の快適性（乗心地や振動）を両立させるため、デバイスは軽量かつホイールバランスに影響を与えないこと
- (4) タイヤ着脱等の整備性が従来のタイヤホイールと同等であること
- (5) 従来のタイヤホイールの製造工程に影響を与えず、生産技術難易度や量産性が考慮された低コストのデバイス構造であること

3. 基本コンセプト

デバイス形態としてホイールウェル部に別体構造の扁平軽量の樹脂製レゾネータを組付けするホイールアセンブリとした。

基本構造図を Fig. 1 に示し、以下にその特徴を示す。

- (1) 軽量高剛性の薄肉樹脂による扁平断面レゾネータ構造
- (2) 周方向溝を設けたホイールへの「返し」による外れ止め嵌合組み付け構造
- (3) ホイール型割り構造を生かした連通孔横だし回り止め構造

上記基本構造により遠心力作用時にレゾネータ保持力が増加することを設計の基本コンセプトとした (Fig. 2)。

また樹脂製レゾネータの材料を選定するにあたり、バネ下重量増を抑え、遠心力強度が得られる高剛性ポリプロピレンを選定した。

成型方法としては、成型自由度が高く低コストで生産性が良いブロー成型を選定した。これによりレゾネータ本体

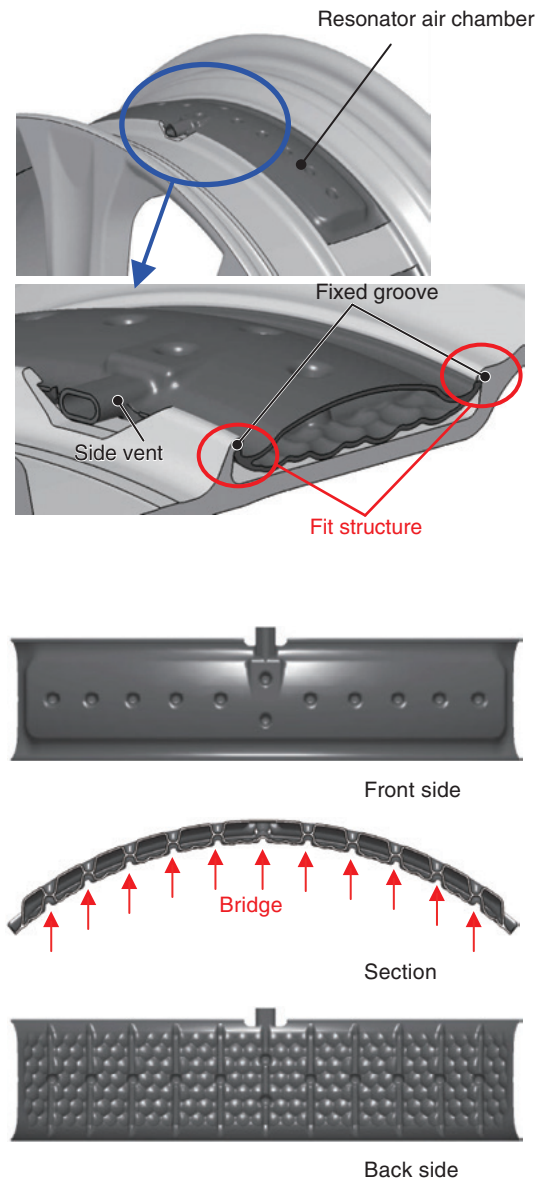


Fig. 1 Structure of noise-reducing wheel

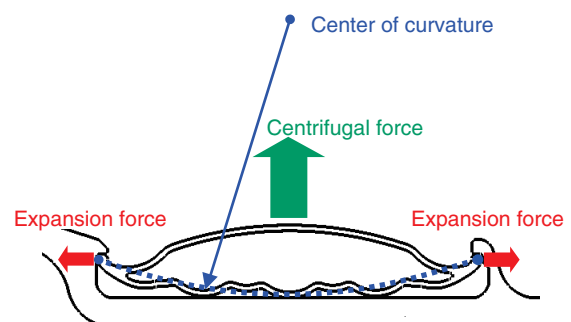


Fig. 2 Concept of structure under centrifugal force

を気密性に有利な継ぎ目の無いシームレス構造で成型することをねらいとした。

レゾネータの消音量を十分に発揮させるためには、気密性の確保とレイアウト制約内でのレゾネータ容量と連通孔断面積の確保が重要である。Fig. 3 にレゾネータ容量と消音量の関係、および連通孔断面積と消音量の関係を示す。上記パラメータ影響の把握から必要なレゾネータの基本諸元を決定した。

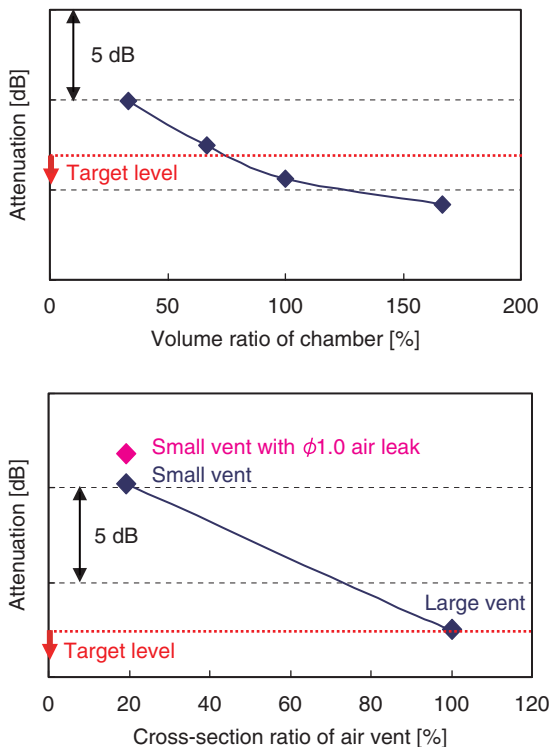


Fig. 3 Attenuation parameters of resonators

4. 主要開発内容

想定されるあらゆる走行条件で十分な消音効果と強度耐久性を兼ね備えた軽量かつ低コストで生産性の高いレゾネータ構造を具現化する上での技術課題と対策内容を以下に示す。

4.1. 薄肉軽量構造と消音性能確保

300 km/h 走行時のホイールリムに作用する遠心力は約 1500G に達する。この最大遠心力に耐えるにはレゾネータ自重を最小限に抑える必要がある。一方レゾネータとして消音性能を機能させるには、レゾネータ自体の面剛性の確保が必要である。

樹脂レゾネータの肉厚はエンジン吸気系のレゾネータを例にとると、ポリプロピレン材の場合 2.5 mm から 3.0 mm が一般的であるが、高い遠心力が作用するホイール装着用の肉厚としては重量が大きくなり適さない。よって

薄肉軽量を前提とした樹脂レゾネータ構造の構築が必要である。

目標消音性能を達成する面剛性を見極めるため、単純な中空構造をベースに肉厚を変化させた試験をおこない、消音性能と必要肉厚の関係を把握した。

Fig. 4 に示すようにブロー成型上の下限最小肉厚を 100% とした場合、消音器としてはほとんど機能せず、肉厚 1.5 倍で消音量は若干向上するものの、逆に肉厚 2.0 倍ではレゾネータ容量の減少が大きく消音量は減少する結果となった。

よって単純な中空構造を基本断面構造とした場合の肉厚対応のみでは目標の消音性能を満足させることが困難であることが判明し、薄肉でも消音性能を確保可能な構造の検討が必要であることがわかった。

そこで CAE 計算を用いて Fig. 1 に示すような中空断面内に上面と底面を連結させるブリッジを必要本数追加し、さらに面剛性の低い底面の外面側にブランプル（ハニカム配列の球面形状突起）を追加することで面剛性向上を図った。タイヤ加振による消音量を計測した結果、上記最小肉厚中空構造に対し、重量増なしに目標の -10dB 以上の消音性能を達成することが確認できた (Fig. 5)。

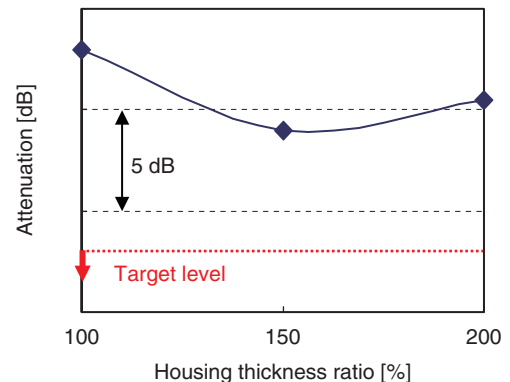


Fig. 4 Attenuation of resonator when thickness of housing is varied

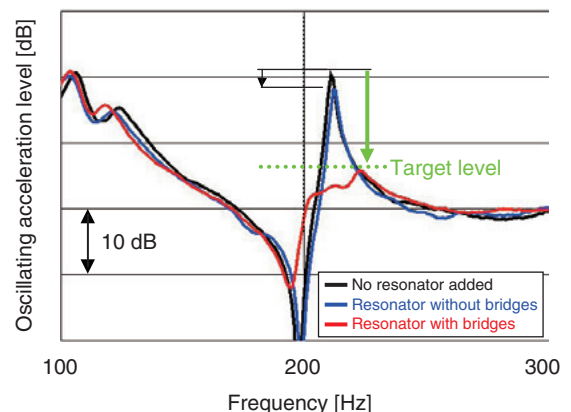


Fig. 5 Noise reduction results for tire tread hammering test on wheel rim

4.2. 遠心力強度と組付け性の両立構造

最大遠心力に耐えられるレゾネータ強度を保証するには、あらゆる走行状況下でのホイール装着レゾネータが置かれる荷重条件、頻度、環境条件等を把握し、構造を最適化する必要がある。その反面、組付け性を考慮すると低荷重で組付け可能な構造が望ましく、両者のバランスを取った設計が必要となる。

強度と組付け性に最も影響を与えるレゾネータ本体の曲げ剛性は、樹脂材料を適用した場合レゾネータが置かれる環境温度により大きく変化する。実際にレゾネータ表面の最高温度を計測したところ、過酷条件下でのホイールリム部の上限温度に近い数値を示しており、該当温度での樹脂材料の弾性率が Fig. 6 に示すように常温時の約 20% まで低下することが判明した。

温度に依存する弾性率変化を材料特性の見直しのみで大幅に改善することは困難なため、上限温度時の低い弾性率でも強度上必要な曲げ剛性を確保できるようにレゾネータ本体形状による曲げ剛性向上を図ることにした。なお組付け性については、手組み可能な低荷重嵌合から工具による高荷重嵌合を前提とすることで両立させることにした。

Fig. 7 に示す CAE による遠心力解析を活用し、遠心力作用時にレゾネータが均一にたわむように腕部長さと中空部本体底面のブランプ面に横ビードを追加することで (Fig. 8)、消音性能に重要な面剛性を維持しつつ、遠心力曲げ剛性を向上させる仕様を検討した。

上記構造にて遠心力負荷試験をおこなった結果、タイヤとホイールアセンブリにおけるレゾネータの脱落や損傷、ホイールバランスの低下は見られず、目標の最大遠心力に耐えられる強度を確保できることが確認できた。

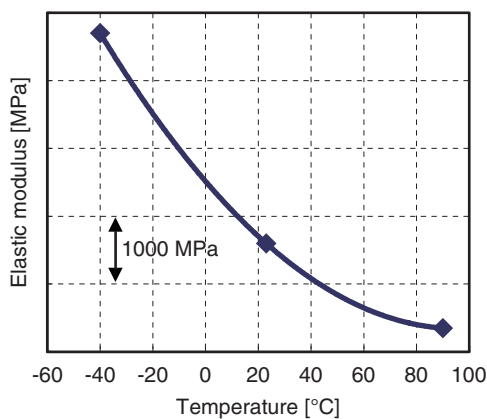


Fig. 6 Temperature-dependency of elastic modulus

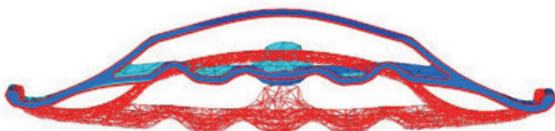


Fig. 7 CAE analysis result of centrifugal force

以上の検討内容により、遠心力強度と組付け性を両立させるレゾネータ構造を実現した。

4.3. 量産組付け手法

生産技術上、最も難易度が高いのがレゾネータとホイールのアセンブリ工程であり、TPMS センサ以外の部品のホイールへの組付けは世界的に前例が無い。

レゾネータ装着ホイールの量産を想定した場合、レゾネータのホイールへの組付け工程に要する時間はホイール製造工程やタイヤとホイールの組付け工程に要するライン流動時間により制約を受ける。制約時間内でレゾネータをホイールへ組付け可能な手法の構築が課題である。

さらに量産組付けには以下の製品寸法公差や環境温度のすべての組み合わせを想定する必要がある (Fig. 9)。

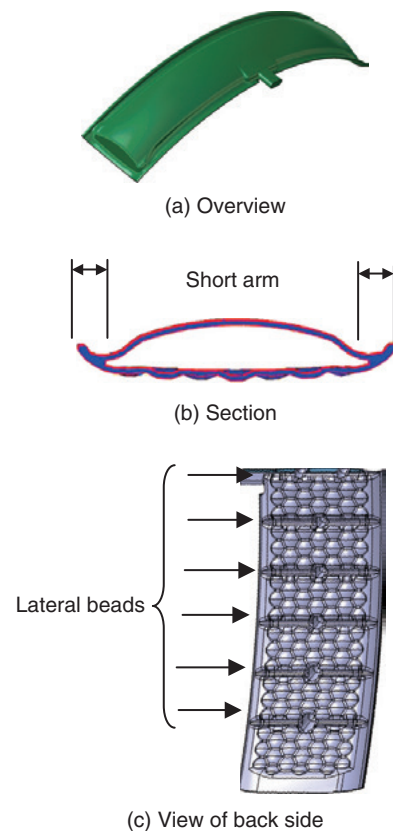


Fig. 8 Structure for resistance to centrifugal force

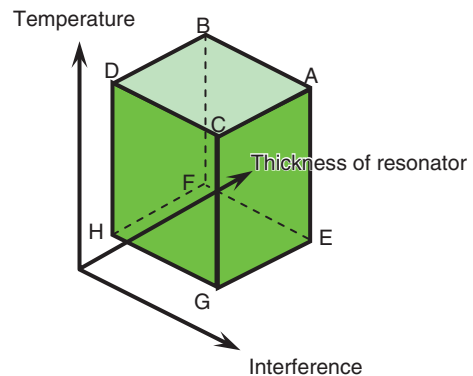


Fig. 9 Parameters for fitting

- (1) レゾネータ, ホイールの締め代
- (2) レゾネータ剛性 (ブロー成形の肉厚)
- (3) 組付け環境温度

特に樹脂は温度による剛性の変化が大きく, 低温時は組付け荷重を上げる必要があり (Fig. 9 条件 E), 高温下ではレゾネータがたわみ過ぎて組付けストロークが不足し組付けができなくなる (Fig. 9 条件 C) など, 想定されるすべての組付け環境温度条件下での組付け性を保証する条件パラメータの設定が課題である。

前述のように遠心力強度向上でレゾネータの剛性を上げたため, 試作品の組付けは専用工具 (Fig. 10) でレゾネータ 1 個あたり何度も押し込む作業が必要となっていた。

しかしながら, 上記組付け手法では量産工程を考えると非効率で現実的ではない。

そこで, エアシリンダを用いた組付け機による組付けを検討した。この組付け機はレゾネータを押し込むプッシャーと呼ばれる部分の形状をレゾネータの腕部に沿った円弧状にすることで, レゾネータ 1 個あたり 1 回の押し込みで組付けることをねらいとした。

装置を試作し組付け検証をおこなった結果, 組付け時間が 1/5 に短縮され量産化の目処が立った。

また Fig. 11 に示す以下の項目を調整することにより, 量産を想定した幅広い温度域での組付けを可能とした。



Fig. 10 Tool for fitting (prototype)

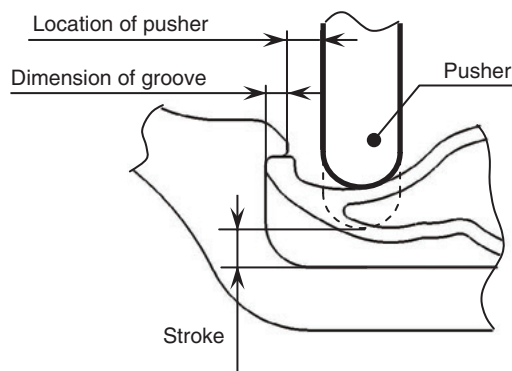


Fig. 11 Groove shape, pusher location and stroke optimization of resonator and wheel assembly machine

- (a) ホイール溝形状のレゾネータ腕部かかり代
- (b) 組付け機のプッシャー位置とストローク
- (c) 組付け機のプッシャー押し付け荷重

上記 3 項目の最適化により, 最終的には -5°C から 40°C の環境下での量産組付けが可能となった。

5. 実機効果

ノイズリデュースホイール装着車でラフ路面を走行した時の室内音とナックル振動を Fig. 12 に示す。10 dB の消音効果を示しており, また聴感上もタイヤ気柱共鳴音を認知できないレベルまで低減できていることが確認できた。

次に路面粗さや車速条件に対するロバスト性の検証をおこなった。路面の粗さが異なる各種ラフ路面にて車速を変えて走行した時の室内音効果を Fig. 13 に示す。小入力, 大入力, 低車速, 高車速のどの条件においても 10 dB の消音効果を示しており, ノイズリデュースホイールが路面の粗さや車速変化に対するロバスト性を有することを実証した。

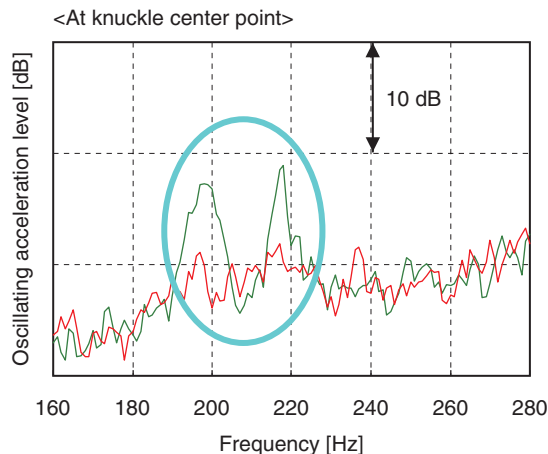
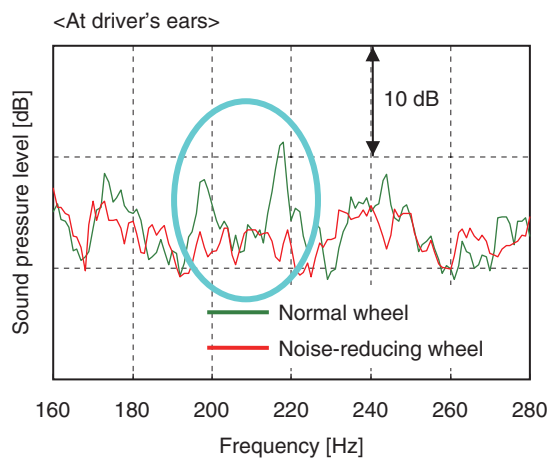


Fig. 12 Noise reduction effect when driving on rough road at 80 km/h

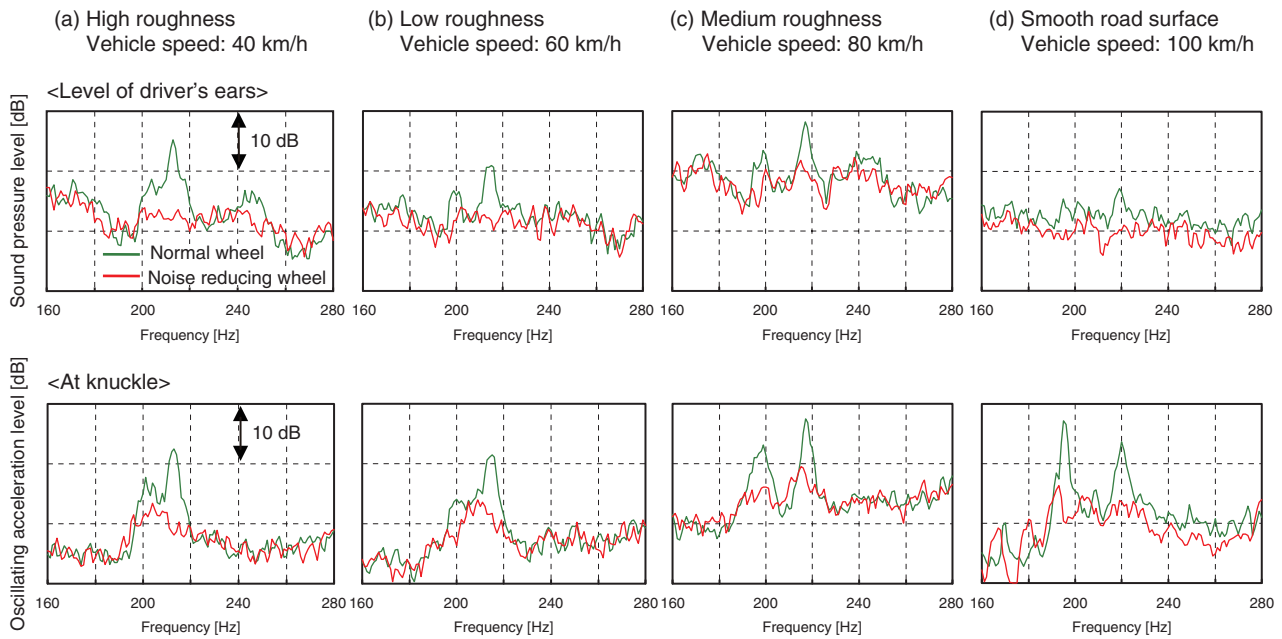


Fig. 13 Robustness of noise reduction in relation to road roughness and vehicle speed

6. まとめ

以下の内容を満足する樹脂製レゾネータを装備する消音ホイール構造を発案, 世界初の量産化を実現した。

- (1) プロー成型下限最小肉厚で消音性能 10 dB を満足する軽量薄肉樹脂レゾネータ構造
- (2) 最大遠心力 1500G に耐えられるレゾネータ本体構造とホイール嵌合構造
- (3) 組付け性の高いレゾネータ嵌合設定と量産組付け手法

参考文献

- (1) 山内祐司, 秋好靖二: タイヤ空洞共鳴音に関する理論解析と走行中の改良手法の提案, 自動車技術会論文集, Vol.32, No.2, p.79-84(2001)
- (2) 湯川直樹: 特殊吸音スポンジ技術, 日本機械学会誌 2009.5, Vol.112, No.1086, p.426(2009)

■著 者■



神山 洋一



石井 克史



高木 久光



柏井 幹雄