

トランスミッションケース放射音特性 予測評価法の開発

Development of Prediction Method for Evaluation of Transmission Case
Noise Radiation Characteristics

坂口 和 貴* 斉 藤 和 弘*
Kazutaka SAKAGUCHI Kazuhiro SAITOU

要 旨

トランスミッションから放射されるギヤ音を低減するために、トランスミッションケースの放射音特性予測評価法を開発した。放射音特性の予測は、ケース FEM モデルの周波数応答解析から求めたケース表面振動法線方向成分を用いる。放射音特性予測値の妥当性を検証するため、実稼動時のトランスミッション放射音とケース表面振動、およびケース放射音特性予測値との相関解析をおこなった。その結果、三つの値の間には十分な相関があり、トランスミッションの種類によらない一定の相関式が得られた。これにより、放射音特性予測値は、設計段階で仕様決定できる精度を有することが確認できた。

本手法により、ギヤ音に対する要求性能を反映したケースの設計がケース単独で可能となり、2004 年モデル LIFE AT の開発より適用している。

ABSTRACT

A method has been developed for predicting the sound radiation characteristics of transmission cases in order to reduce gear whine noise radiating from transmissions. Normal components of frequency response vectors on the transmission case surface calculated using an FE -model of the case are used to predict sound radiation characteristics. To study the validity of the method, the correlation between sound pressure level and the level of vibration of the case surface during operation and the predicted sound radiation characteristics was investigated. Results showed a good correlation between the figures and enabled equations of correlation between them unaffected by shape or type of transmission to be obtained, indicating that this method is sufficiently accurate for studying case specifications at the design stage.

This method enables the design of transmission cases fulfilling performance requirements for gear whine noise using only an FE -model of the case. The employment of the method in the development process commenced with the development of 2004 model year LIFE AT.

1. まえがき

自動車室内のギヤ音において、1 kHz以上のいわゆる高周波領域はトランスミッションの放射音が支配的である。この高周波放射音領域においては、ケース表面の振動モードが問題となる場合があり、リブの追加や肉厚アップ等対策を実施してきた。また、リブの削除や薄肉化等の軽量化について放射音に対する影響を検討することもある。このような場合、ケースの放射音特性を予測検討するために、従来は、起振力、内部構造、ケース、音場といった入力から出力までのフルモデルを構築する手法が検討されてきた^{(1), (2)}。

しかし、高周波領域の放射音では、ケース表面の局所的な共振モードが原因となって発生するピークが多く、その場合、放射音レベルはケースの周波数応答特性の影響が支配的であることが考えられる。また、ケースで独立した放射音特性の予測評価が可能であれば、ケースのみで仕様を決定することができ、設計検討の期間短縮に有効であると考えられる。

そこで、本開発は、ケース FEM モデルを用いて、放射音目標値に対し設計段階で必要十分なリブや形状の配置を可能にするケース放射音特性予測評価法を確立することを目的とする。

*栃木研究所

Table 1 Size of FE -model

Number of nodes	Number of elements
544,571	301,433

※ Element type : Isotropic tetrahedral element with midside nodes.
(consisting of 10 nodes for a element)

2. FEM モデルと放射音特性予測

トランスミッションケースのFEMモデルは、CATIA-3Dモデルからオートメッシュ機能を用いて生成した。メッシュサイズは、実験モーダル解析結果による精度検証結果から、単位体積あたりのメッシュ数とメッシュ品質について指標を設けた。トランスミッションケースアセンブリモデルの構成例を Fig. 1 に、そのモデルサイズを Table 1 に示す。

各部の結合面境界条件については、非適合メッシュ間を補間要素で結合し、実験モーダル解析結果との検証から最適となる結合条件を設定した。

加振力は、歯車のかみ合い伝達誤差の概念から変位振幅一定の周波数スペクトルとし、ケースのベアリング支持部に、その噛み合い反力に対する分担荷重の比に応じて入力した。また、あらかじめ固有モードを解析しておき、そのモードシェイプを網羅できるよう、ケース表面を微小な放射面に区切り、その代表点として評価点を設定した。各加振力に対する周波数応答を足し合せた結果から、ケース表面各評価点の法線方向振動レベルを求め、それを放射音特性予測値とした。

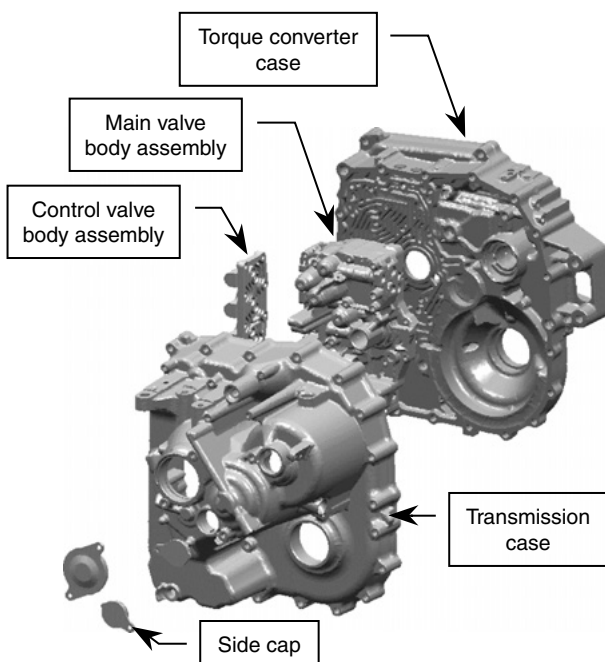


Fig. 1 Components of case model for analysis

3. 実稼動時の放射音およびケース表面振動と、放射音特性予測値の相関検証

設計段階で放射音特性予測値を用いて仕様を決定するためには、放射音特性予測値が実稼動時の放射音レベルと相関がとれていることが必要である。その相関を確認するため、実稼動時の放射音とケース表面振動の相関について解析をおこなった。Fig. 2は、4種類のトランスミッションで測定した放射音ピーク値とケース表面法線方向振動最大値の相関解析結果である。放射音とケース表面振動は、そのピーク値においてトランスミッションのタイプによらず一つの相関式で表現できることが確認できた。

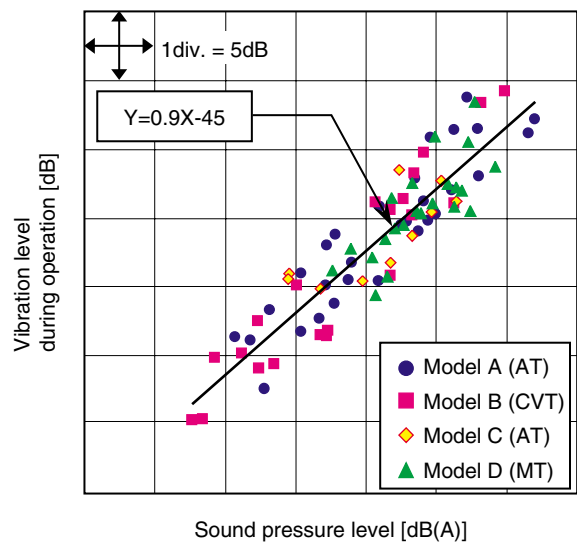


Fig. 2 Correlation between sound pressure level and vibration level

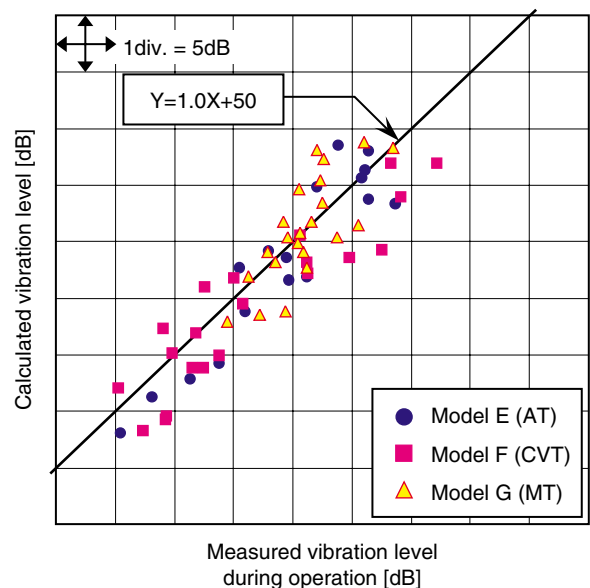


Fig. 3 Correlation of vibration level (measured vs. calculated)

次に、実稼動時のケース表面振動と、その振動モードに適合したケース固有モードにおける放射音特性予測値の相関解析をおこなった。相関解析に用いた値は、各モードにおける最大値であり、ケース表面上の評価点は一致している。その結果を Fig. 3 に示す。三つのことなるタイプのトランスミッションにおいて、その相関は、同一の線形相関式で表現できることが確認できた。

以上の結果から、放射音特性予測値は、実稼動時の放射音に対し、トランスミッションのタイプに影響されない十分な線形相関を有しており、設計段階で仕様決定できる指標として用いることができると考えられる。

4. 放射音特性予測値の目標値設定

既知である実稼動時放射音測定値の目標値に対し、Fig. 2, Fig. 3 に示した二つの相関式をかけることにより、放射音特性予測値の目標値を設定する (Fig. 4)。実稼動時放射音測定値の目標値は、完成車の静粛性目標やギヤ音の周波数特性など仕様を反映した値を設定できるので、放射音特性予測値の目標値も仕様に応じた要求性能を反映できる。

5. 適用事例

本手法を 2004 年モデル LIFE AT のケースに適用した結果を Fig. 5 に示す。横軸は周波数、縦軸はケース振動評価点を部位ごとにまとめて並べている。色は放射音特性予測

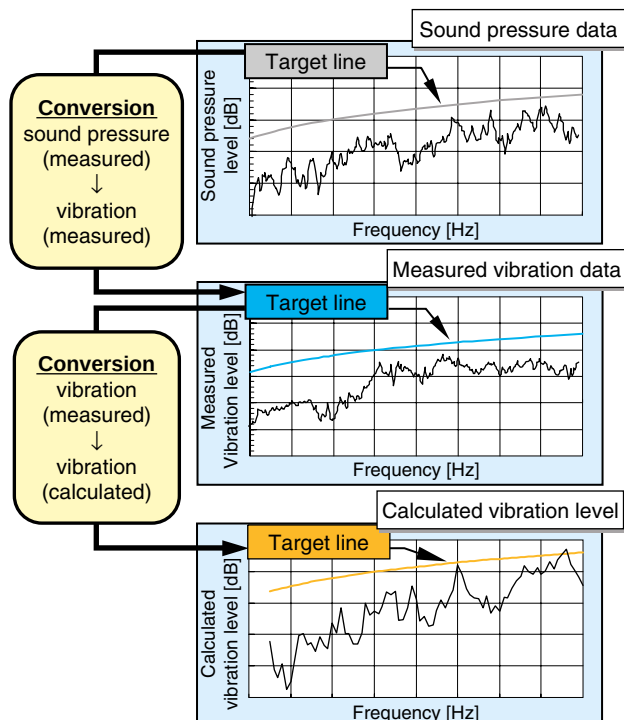


Fig. 4 Conversion of target line

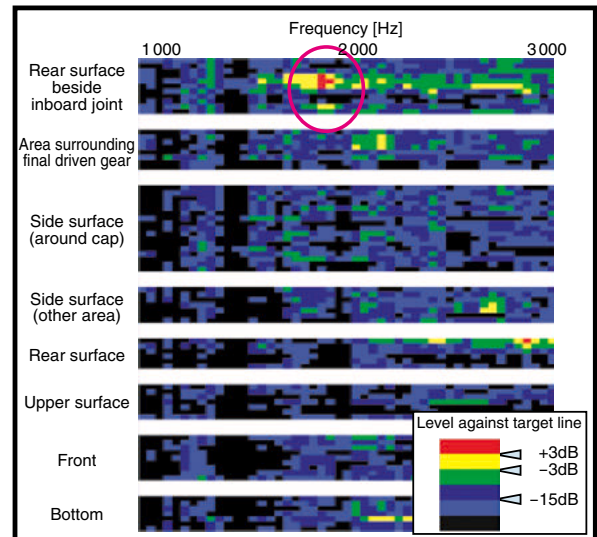


Fig. 5 Evaluation map for vibration level of original structure (calculated)

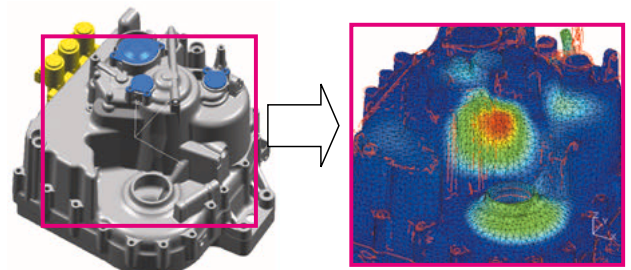


Fig. 6 Target mode shape

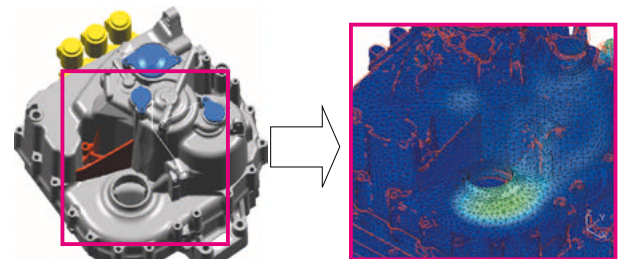


Fig. 7 Modified mode shape

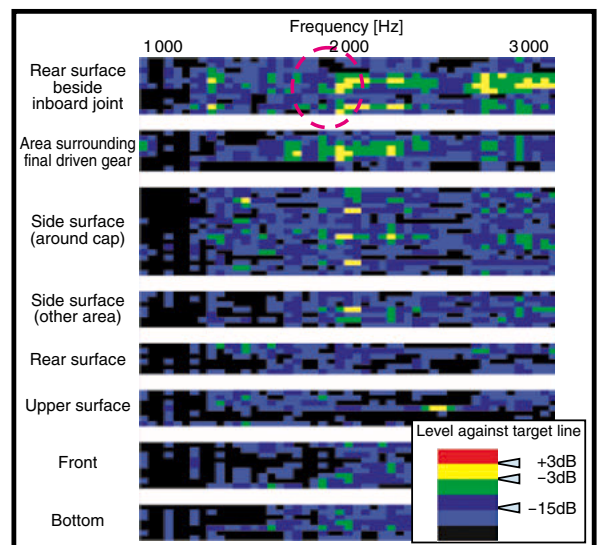


Fig. 8 Evaluation map for vibration level of modified structure (calculated)

参考文献

- (1) Sumi, K., Yamamoto, K., Gielen, L. : Development of Hybrid Model for Powerplant Vibration, SAE 1999-01-1656 (1999)
- (2) 狩野正樹, 初鹿智昭: トランスミッションの実用的な放射音解析, 自動車技術会学術講演会前刷集 No.66-03, 20035523

値の判定基準値との差を示している。このケースでは、1900 から 2000 Hz の範囲でケース後面ドライブシャフトインボード近傍に基準値を超える部位があることが検出されたので、その部位の対策を検討した。Fig. 6に、対策の対象となった振動モードを示す。

本手法を用いると、リブのような付加物による対策は、1日で1から2仕様の解析が可能である。数種の対策形状について、重量増加と放射音低減効果の比較検討をおこなった結果、採用した形状とその振動モードを Fig. 7 に示す。対策対象のモードは、非常に良く抑制されていることがわかる。また、その放射音特性予測評価結果を Fig. 8 に示す。対策仕様は、150 g の重量増で、対象モードで 6 dB の低減効果があり、他の領域で悪化がないことも予測できた。本仕様を実機に反映し効果を確認した結果を Fig. 9 に示す。実機でも放射音で 6 から 8 dB の低減効果があり、放射音特性の予測と一致していることが確認できた。

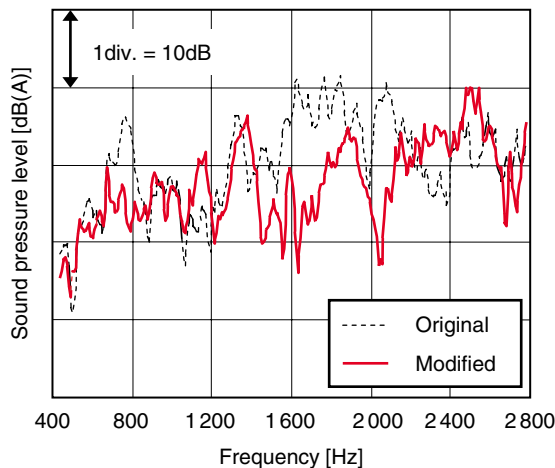


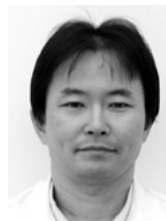
Fig. 9 Comparison of sound pressure level (original vs. modified structure)

6. まとめ

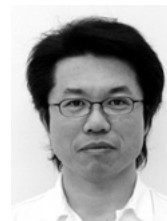
高周波領域のギヤ音を低減するため、トランスミッション放射音特性予測評価法について検討をおこない、以下の成果を得た。

- (1) ケース FEM モデル周波数応答特性から求めたケース表面振動法線方向成分を用いた本評価法は、トランスミッションの種類によらず、実稼動時の放射音レベルと十分な線形相関を持っていることが確認できた。
- (2) 上記の結果から得られた相関式を用いることにより、実稼動時放射音目標値をケース放射音特性予測目標値に変換でき、ギヤ音に対する要求品質を反映したケース仕様の設計がケース単独で可能となった。
- (3) 本手法を 2004 年モデル LIFE AT の開発に適用し、その有効性を証明した。

■ 著 者 ■



坂口 和 貴



斉藤 和 弘