

機械振動のエネルギー伝達特性に基づくエンジンシェイクの低減

山崎 徹* 栗原 海** 岩田 和朗***

Design for low engine shake based on energy transmissibility of mechanical vibration

Toru YAMAZAKI*

Kai KURIHARA**

Kazuro IWATA***

1. はじめに

自動車業界は 100 年に一度の大変革期にあり、著者らは次世代のモノづくりに向けた活動として「形で考えない設計」、すなわち、性能などを数式で記述し、多性能を適正化する技術開発を行っている。「形で考えないモデル」は、設計初期に、設計空間の拡大、新発想の創出も意図し、機能を数式などで記述されるものである。これまでに、ロードノイズなどの広帯域の問題に有効な高周波用のエネルギー伝達モデルを報告した[1,2]。また、低周波用のエネルギー伝達モデルも報告した[3]。

そこで本報では、低周波用のモデルを用いて、自動車のエンジンシェイクの低減設計に活用できる可能性を示した事例を報告する。

2. 低周波用のエネルギー伝達モデル

式(1)の運動方程式のエネルギー伝達特性は式(2)で表される。

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 & 0 \\ 0 & c_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_c & -k_c \\ -k_c & k_2 + k_c \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{Bmatrix} \quad (1)$$

$$\eta_{1,2} = \frac{1}{\omega} \frac{\kappa_{1,2}(\Delta_1 + \Delta_2)}{(\omega_1^2 - \omega^2)^2 + (\Delta_1 + \Delta_2)(\omega_1^2 \Delta_2 + \omega_2^2 \Delta_1)} \quad (2)$$

ただし、

$$\omega_i = \sqrt{\frac{k_i + k_c}{m_i}}, \quad \Delta_i = \frac{c_i}{m_i}, \quad \kappa_{1,2} = \frac{k_c}{\sqrt{m_1 m_2}} \quad (3,4,5)$$

ここで、 m_i 、 k_i 、 c_i はそれぞれ質点 i ($i=1,2$)の質量、ばね定数、粘性減衰係数で、 k_c は質点 1 と 2 の連結ばねのばね定数、 ω は ω_1 と ω_2 の中心周波数で、 ω_1 と ω_2 は各質点の非連成固有角周波数、 Δ_1 と Δ_2 は減衰特性、 $\kappa_{1,2}$ は質点間の結合特性である。これを図 1(b)に示す系に適用する。

3. エンジンシェイク低減のための設計適用事例

エンジンシェイクの低減には、エンジンの重心をずらすことで、車体振動に影響を及ぼすエンジンの上下振動を回転運動に分配する動吸振器の考えが用いられてきた。図 1(a)は上下振動のみを考慮し

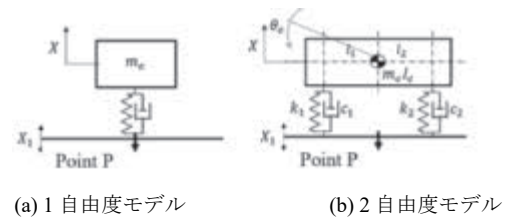


図 1 エンジン単体モデル

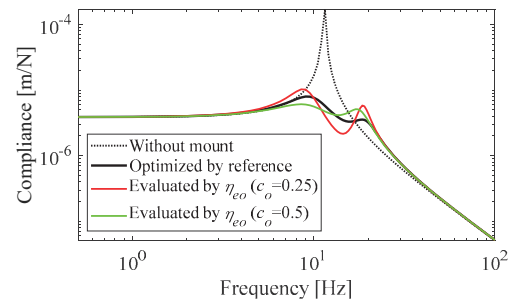


図 2 従来手法と本手法の最適化結果の比較

たモデルであり、同図(b)は回転振動も考慮したものである。従来の重心移動量などの設計には、定点理論が利用されてきた。そこで著者らは、2 章のエネルギー伝達特性を用いたモデルを用いて、エネルギー伝達特性 η_{eo} が最大となる設計を実施した。図 2 に、車体振動の比較結果を示す。図 1(a)の上下のみの場合（凡例 Without mount）に比べ、定点理論に基づく従来手法の文献の結果（Optimized by reference）、伝達特性による結果（Evaluated by $\eta_{eo}(c_o = 0.5)$ ）はいずれもコンプライアンス応答が小さくなっている。また、伝達特性による結果の低減度合いの方が大きいこともわかる。なお、参考に伝達特性による別の結果($c_o = 0.25$)も示している。さらに、エネルギー伝達特性を用いることで、上下振動のエネルギーを回転エネルギーに効果的に伝えるという「エネルギー伝達」視点での解釈も容易となった。

現在は、エネルギー伝達特性を車両の運動性能、衝突性能、インバータやモータなどの電磁気性能の問題に拡張を行っており、多性能適正化の事例創出を行っているところである。

参考文献

- [1] 山崎徹他, 神奈川大学工学研究, No.3, 7-5, 2020
- [2] 山崎徹他, 神奈川大学工学研究, No.4, 6-5, 2021
- [3] 山崎徹他, 神奈川大学工学研究, No.6, 5-5, 2023

*教授 機械工学科

Professor, Dept. of Mechanical Engineering

**助教 機械工学科

Assistant Professor, Dept. of Mechanical Engineering

***特別研究員 工学研究所

Researcher, Research Institute for Engineering