

# フルビークルを用いたNVH解析技術の構築

Noise, Vibration, and Harshness Analysis Technique Using Full Vehicle

西仲 秀人\*  
Hidetō Nishinaka

松岡 智毅  
Noritaka Matsuoka

近年、自動車メーカー各社は、環境に配慮する低燃費車を開発し市場に投入している。燃費対策として少気筒化やロックアップ\*1範囲の拡大が図られることがあるが、特に3気筒CVT\*2搭載車においては、ロックアップ開始時にサスペンション共振の影響で、車体振動が悪化する。この振動の改善が図れる防振製品を提案するには、従来のエンジン懸架系に加え、駆動系、サスペンション系を含む解析評価技術が必要となるため、筆者らは車両全体を評価対象としたフルビークル解析技術を構築した。また、この解析技術を用いて、ストラットマウント\*3の液封化によるロックアップ時振動の低減を検討し、実車評価においても、その効果を確認した。この取り組みを通して構築したフルビークル解析技術は、今後の弊社における製品開発の基盤技術の一つになると考えている。

Automakers have launched environment-friendly and fuel-efficient cars into the market. In such cars, decreased number of cylinders and expanded lockup range are used to improve fuel efficiency. However, particularly in a vehicle with a 3-cylinder continuously variable transmission, vehicle body vibration is aggravated by the influence of suspension resonance at the start of lockup. To propose anti-vibration products that reduce the vibration, an analysis technique that covers drivelines and suspension systems is essential. Therefore, we have built a full vehicle analysis technique for evaluating a whole vehicle. With this technique, the reduction of vibration at the time of lockup was examined using hydraulic strut mounts and the effects were confirmed in the actual vehicle evaluation. This full vehicle analysis technique will be one of the fundamental technologies for our future product development.

キーワード：防振製品、フルビークル解析、NVH、液封ストラットマウント

## 1. 緒言

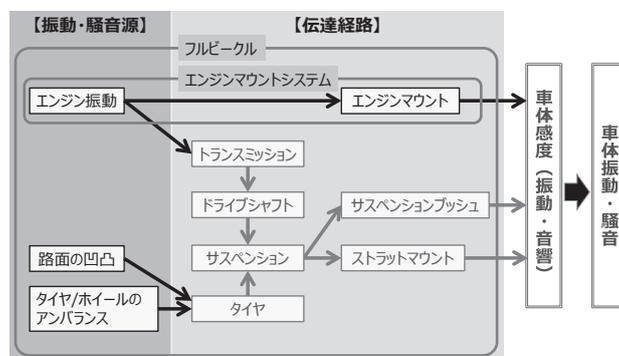
近年、自動車メーカー各社は、環境に配慮し、様々な改良を施した低燃費車を開発し市場に投入している。低燃費を実現させる手段として、少気筒化を始めとするエンジンのダウンサイジングやCVTのロックアップ範囲を拡大させる方法がとられているが、例えば、3気筒CVT搭載車におけるロックアップ範囲の拡大においては、サスペンションの共振が発生する低回転域からCVTをロックアップさせるため、車体振動の悪化につながっている<sup>(1)</sup>。

一方、従来弊社で取り組んでいた車両NVH\*4現象に対する解析は、エンジンを支持するエンジンマウントに関係したシステムを対象とし、エンジンマウントを介して伝達していく振動の評価に限られていた。前述の3気筒CVT搭載車のNVH現象を評価し、振動を改善するためには、解析対象領域を拡げ、駆動系、サスペンション系を含む車両全体を対象とした車両NVH現象評価が必要となる<sup>(2)</sup>。

本論文では、従来のシステム解析では考慮していなかった振動伝達経路をモデル化したフルビークル解析技術を構築し、この技術構築により、サスペンション系の振動が顕著となる3気筒CVT搭載車の低周波域でのロックアップ時振動をストラットマウントの液封化により改善した事例を示す。

## 2. フルビークル解析用モデル概要

一般的に振動騒音の要因としては、エンジン音や排気音がボディの隙間やボディパネルを透過して聞こえる空気伝播によるものと、振動騒音源がパワープラント、排気系、サスペンション系などの伝達経路を伝播し車室内振動や騒音を発生させる固体伝播によるものに大別される。本論文で述べるフルビークルモデルは、固体伝播による振動伝達系を対象とした製品開発に活用される。図1にその固体伝播に関するメカニズム概要を示す<sup>(3),(4)</sup>。また、従来から実



※上記以外に排気系の伝達経路があるが、その経路については除いてある

図1 車体振動・騒音発生メカニズム概要

施しているエンジンマウントシステムに関する伝達経路の範囲を合わせて、同図に示す。

図1に示されるように、車体振動や騒音は、エンジンで発生した振動が、エンジンマウントを介して、車体に伝達するだけでなく、トランスミッション、ドライブシャフト、サスペンションを経由し、サスペンションブッシュ、ストラットマウントを介して車体に伝達し発生する。

これらの伝達経路を考慮した振動騒音を再現するため、筆者らは、図2に示したサブシステムを統合することでフルビークル解析技術を構築した。今回開発したフルビークルモデルは、3気筒エンジンCVT搭載車を基に作成し、評価できるNVH現象として、アイドリング振動、エンジンシェイク、ロックアップ時振動、クランキング時振動、ハーシュネス（突起乗り越し時振動）とした。なお、構築したフルビークルモデルは、定常・非定常を含むNVH現象を解析可能なマルチボディダイナミクス解析に対応させた。

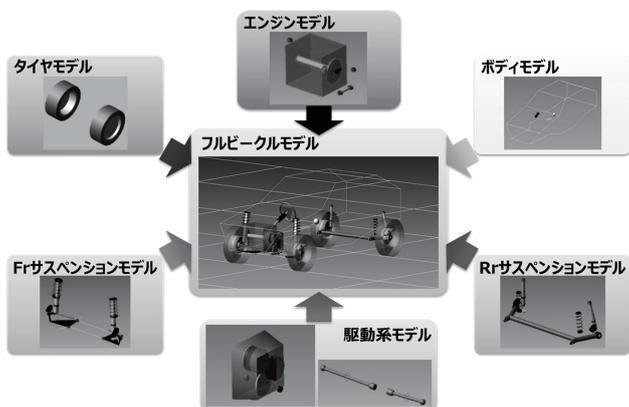


図2 フルビークル解析モデル概要

### 3. フルビークルモデル化技術詳細

本章では、2章で示したサブシステムの中で、特にフロント（以下Fr）サスペンションモデルと駆動系モデル、また周波数依存／振幅依存を考慮した液封マウントモデルについて詳細を示す。

#### 3-1 サスペンションモデル

路面の凹凸やタイヤ／ホイールのアンバランスによる振動、ドライブシャフトを通して伝わるエンジン振動は、振動伝達系であるサスペンションを介して車体に振動を伝える。この伝達系を精度よく表現するため、実車と同等の3次元ジオメトリと機構を有するサスペンションモデルを作成した。サスペンションモデルの各構成部品は、剛体とし、それらをバネや減衰で表現される要素で結合した。

また、構築されたサスペンションモデルの妥当性を確認するため、前輪接地面加振による右輪ナックル上下振動を

実測と解析で比較した。その結果を図3に示す。図3の実測結果において、28HzにFrサスペンション上下共振によるピークが生じているが、解析においてもこのピークを再現できており、解析モデルの妥当性を確認できる。

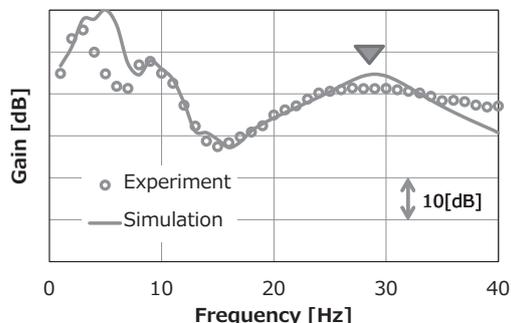


図3 前輪接地面加振による右輪ナックル上下振動

#### 3-2 駆動系モデル

エンジン振動がトランスミッション、ドライブシャフトを介してサスペンションに伝達していく現象を再現するため、駆動系モデルを作成した。作成した駆動系モデルは、ドライブシャフト、トランスミッション、トルクコンバータ、ロックアップダンパーで構成されており、ドライブシャフトのねじり剛性、トルクコンバータ特性、ロックアップダンパー特性を以下の方法で同定することで、モデルの精度を高めた。

まず、図4に示すねじり剛性測定試験によりホイールハブ回転角度とドライブシャフトトルクを測定し、静的なドライブシャフトのねじり剛性として解析モデルに反映した。図5にドライブシャフトねじり剛性の実測結果と解析結果を示す。実測と解析は概ね一致していることがわかる。

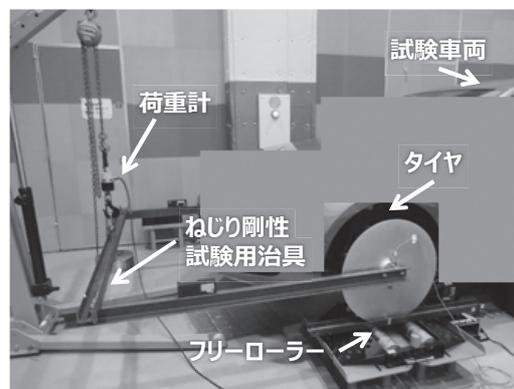


図4 駆動系ねじり剛性測定試験

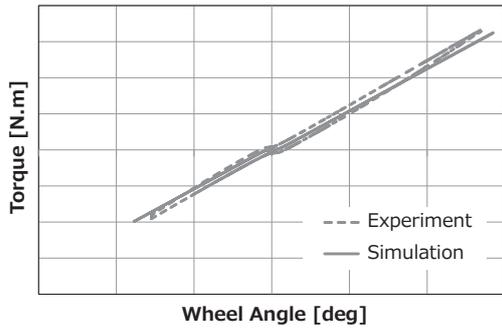


図5 ドライブシャフトねじり剛性

トルクコンバータ特性、ロックアップダンパー特性については、Dレンジ<sup>5</sup>時およびロックアップ時のドライブシャフトトルク変動を実測し、これらの実測結果を概ね再現できるよう、それぞれのパラメータ値を調整した。この結果を図6、図7に示す。図7においてロックアップ時の回転数1400rpm付近より低回転域で実測と解析の差が大きくなっている。これはスリップロックアップ制御を表現できていないことによるものと推定されるが、このスリップ特性を考慮しなくとも、相対的な比較により防振製品の検討は可能であるものと考えている。

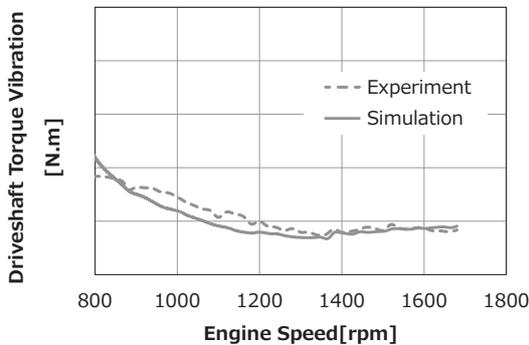


図6 Dレンジ-アイドル時ドライブシャフトトルク変動

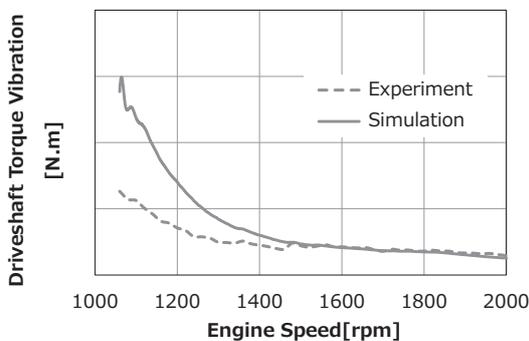


図7 ロックアップ時ドライブシャフトトルク変動

以上より本駆動系モデルのドライブシャフトのねじり剛性、トルクコンバータ特性、ロックアップダンパー特性は概ね適切に設定されており、駆動系のモデル化が妥当なものであると考える。

### 3-3 フルビークル解析用液封マウント周波数依存／振幅依存特性モデル

走行中のエンジン振動を抑え、乗心地を改善するために、エンジンマウントには大きな減衰が必要である。一方、アイドリング時の振動を抑えるため、エンジンマウントのバネ定数を低く抑える必要がある。これらの現象を両立させるためには、一般的に図8に示す周波数依存性、振幅依存性を持った液封マウントが用いられている<sup>(5)</sup>。

本フルビークルモデルでは、多様な車両NVH現象を高精度に再現する必要があるため、この周波数依存性および振幅依存性を再現できる液封マウントモデルを組込んだ。

液封マウントモデルは、マス、バネ、減衰要素<sup>6</sup>で構成されており、これらの各パラメータを、実測値を用いて同定した。このモデルから求められた特性と、実際の車両に搭載されている液封マウントの特性を図9に示す。この結果から、液封マウント特性を解析モデルで精度よく表現できていることがわかり、モデルのパラメータ推定は妥当であるものとする。

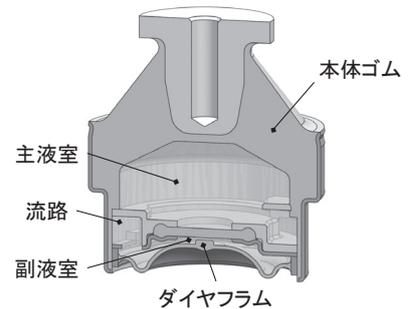


図8 一般的な液封マウント構造

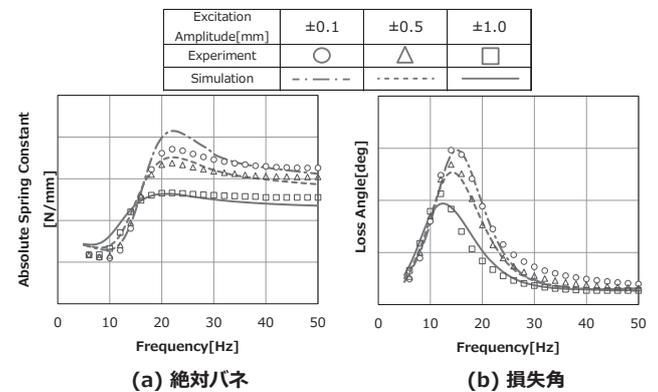


図9 液封マウント特性

#### 4. ロックアップ時振動低減検討

本フルビークルモデル作成で基にした3気筒CVT搭載車において、ロックアップ開始回転数付近にサスペンション共振が存在するため、エンジン起振力がドライブシャフトを介してサスペンションに伝達されることで、その共振が励起され、車体振動の悪化につながっている。本章では、開発したフルビークル解析を用いて、前述の低回転域ロックアップ時に発生する振動の低減検討を実施した。

##### 4-1 ロックアップ時振動TPA<sup>\*7</sup>分析

本フルビークルモデルを用いてロックアップ時振動の解析を行い、ロックアップ開始回転数付近で問題となるフロア振動1.5次成分の分析を行った。本解析結果のフロア振動応答と、エンジンマウント、サスペンションブッシュ、ストラットマウントのTPA分析結果をそれぞれ図10と図11に示す。図10のフロア振動をみると、1200rpm~1300rpm付近でレベルが高くなっているのがわかる。また図11のTPA分析より、この回転数域でサスペンション上端を車体に連結している左右ストラットマウントの寄与が高いことから、3-1節でも述べたように、この付近にはサスペン

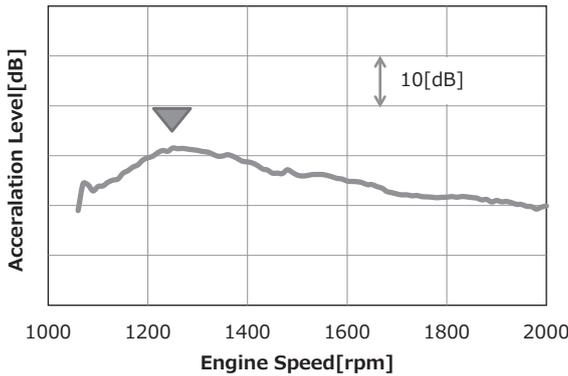
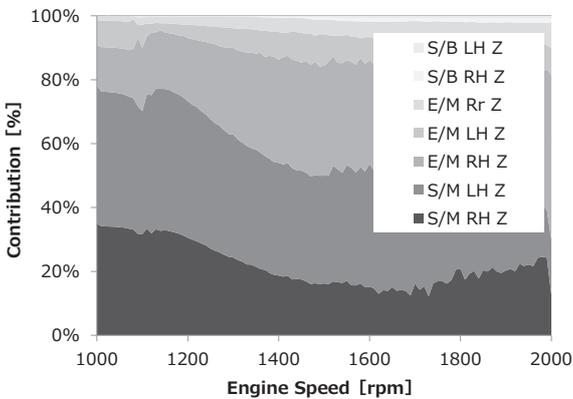


図10 ロックアップ時フロア上下振動



\*S/B: サスペンションブッシュ, S/M: ストラットマウント, E/M: エンジンマウント, Fr: フロント, Rr: リヤ, RH: 右側, LH: 左側

図11 ロックアップ時フロア上下振動TPA分析

ションの上下共振が存在しており、この共振の影響で振動レベルが悪化しているものと考えられる。

##### 4-2 ロックアップ時振動低減防振製品提案

TPA分析結果より、寄与の高いサスペンション上下共振の動きを抑えることで、フロア振動低減が可能と考え、この振動低減を実現できる防振製品として、大きな減衰力を得られる液封ストラットマウントを検討した。

具体的には、液封ストラットマウントの損失角ピーク周波数をサスペンション共振の28Hzに一致させる方法をとった。これらの検討を元に設計した液封ストラットマウント形状<sup>(6)</sup>を図12に、実際に試作して測定した液封ストラットマウントの特性を図13に示す。

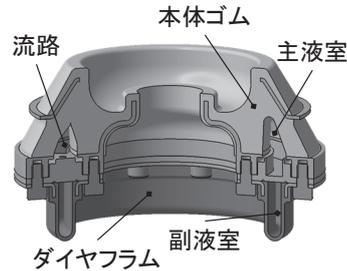


図12 液封ストラットマウント形状

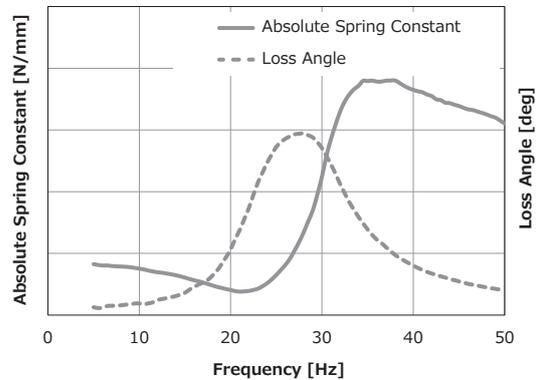


図13 液封ストラットマウント特性 (絶対バネと損失角)

##### 4-3 フルビークル解析と実機検証

液封構造を持たないマウントと今回提案する液封マウントを搭載した場合のロックアップ時振動について、ストラットマウントのサスペンション側振動の解析結果および実車評価結果をそれぞれ、図14 (a)、(b) に示す。図14より解析で予想されたサスペンションの振動低減効果が、実車評価でも得られていることが証明された。また、図15に示すように、車体のフロア振動に関しても実車評価で最大6dBの振動低減効果が確認された。

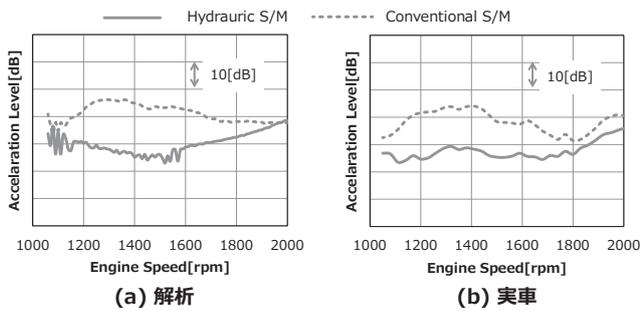


図14 ストラットマウントサスペンション側上下振動

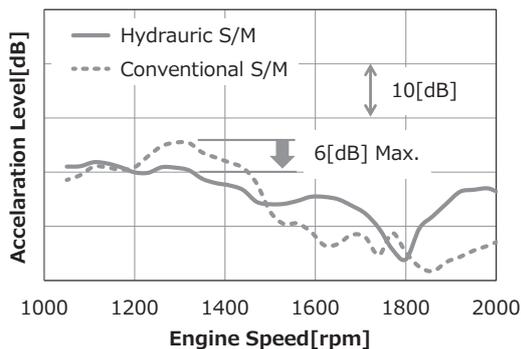


図15 ロックアップ時フロア上下振動 (実車)

## 5. 結 言

フルビークル解析技術を構築したことで、車両全体を対象としたNVH性能の解析による検討が可能となった。この解析技術を用いて、液封ストラットマウントの特性を検討することで、ロックアップ時の振動を低減、その振動低減効果を実車評価でも確認することができた。

本取組みを通して構築したフルビークル解析技術は、エンジンマウントだけでなく、車両の他部位の新しい防振製品開発に適用できる、今後の弊社における新製品創出において活躍する技術であると考えている。

## 6. 謝 辞

フルビークル解析技術の構築にあたり、ご協力をいただいた(株)電通国際情報サービス、(株)エステックに謝意を表します。

### 用語集

#### ※1 ロックアップ

トルクコンバータを直結するロックアップクラッチが作動している状態。

#### ※2 CVT

Continuously Variable Transmissionの略。変速が有段でないものの総称。

#### ※3 ストラットマウント

ストラット式サスペンションの上端をボディに連結するマウントのこと。

#### ※4 NVH

Noise (騒音)、Vibration (振動)、Harshness (ハーシュネス) の略。

#### ※5 Dレンジ

AT (オートマチックトランスミッション) 車やCVT車におけるシフトが「D」の状態のこと。

#### ※6 マス、バネ、減衰要素

力学モデルのマス(質量)、バネ、減衰のこと。

#### ※7 TPA

Transfer Path Analysis (伝達経路解析) のこと。

### 参 考 文 献

- (1) 辻宏実智 他、「CVTロックアップ時のエンジンマウントとドライブシャフトの実車入力寄与分析手法の開発」、自動車技術会学術講演会講演予稿集、20156083 (2015年)
- (2) 佐藤裕介 他、「エンジンマウントに関わる音振・運転性・乗り心地性能のトータル設計技術の構築」、自動車技術会学術講演会講演予稿集、20156087 (2015年)
- (3) 社団法人自動車技術会、「自動車技術ハンドブック 第1分冊 基礎・理論編」、社団法人自動車技術会 (1990年)
- (4) 社団法人自動車技術会、「自動車技術ハンドブック 第3分冊 試験・評価編」、社団法人自動車技術会 (1991年)
- (5) 社団法人自動車技術会、「自動車技術シリーズ11 自動車の振動騒音低減技術」、朝倉書店 (1996年)
- (6) 特開2018-001797、「ストラットマウントとそれを用いたサスペンション機構」

### 執 筆 者

西仲 秀人\* :住友理工(株)



松岡 智毅 :住友理工(株) 課長



\*主執筆者