

# CVT車のアクセル ON - OFF ショック現象解析

## Analysis of CVT vehicle body shock during sudden acceleration

塚田 泰樹      平野 芳則      三竿 善彦  
 Taiki Tsukada   Yoshinori Hirano   Yoshihiko Misao  
 三東 儀洋      関口 哲郎      菅野 博  
 Norihiro Santou   Tetsuo Sekiguchi   Hiroshi Kanno

### SUMMARY

Continuously Variable Transmission (CVT) vehicles are superior in terms of smooth driving and fuel economy to conventional automatic transmission vehicles, because the transmission ratio varies continuously and CVT has a torque converter with low speed lock-up system. However, countermeasures are needed for CVT vehicle body shock during sudden acceleration in the lock-up condition. We made a full vehicle simulation model to analyze low frequency vibration by MSC.ADAMS and used it to study the effect that continuous variations in the transmission ratio would have on the shock phenomena. Consequently, we were able to clarify the mechanism of CVT vehicle shock and to improve vehicle performance efficiently.

Key words : CVT(Continuously Variable Transmission), Vehicle shock, Powertrain vibration, CAE, MSC. ADAMS

### 1. はじめに

自動車を運転中、急なアクセル操作に伴って車両が前後方向に極低周波で振動する過渡的な現象をガクガク振動と呼ぶ。手動変速機(MT)車ばかりでなく、自動変速機(AT)車や無段変速機(CVT)車でも、ロックアップ機構によりエンジンのフライホイールと変速機の入力軸が直結していると、図-1 に示すような車両ショックと振動が発生する。その周波数は人体の固有値に近接しており、あるレベルを超えると乗員にとって不快な挙動と感知され、自動車の品質を損ねる。特に CVT 車はより滑らかな運転性が要求されるため、ガクガク振動の低減が課題となる。そこで無段変速機構を持つ FF 車両全系モデルを作成し CVT 車特有の振動メカニズムを解明した。本稿では、FF-CVT 車のガクガク振動のモデル化手法と、時間とともに連続的に変化する CVT の変速特性が現象にどのような影響を及ぼすかについて解析した結果について報告する。

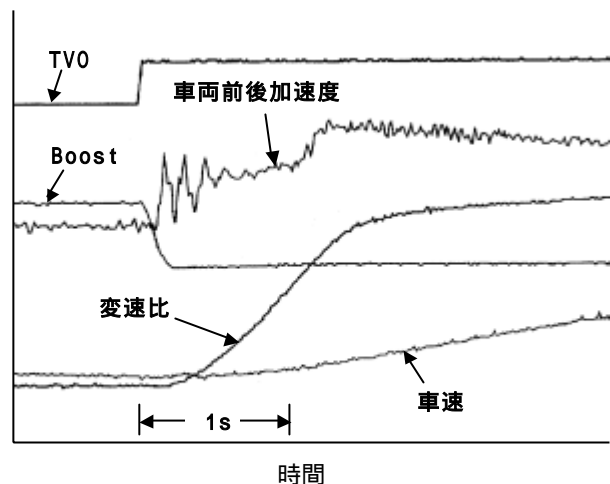


図-1 CVT車のガクガク振動波形  
 Fig.1 CVT vehicle body shock during sudden acceleration

### 2. ガクガク振動の発生メカニズム

#### 2.1 振動系

ガクガク振動はエンジンの過渡的なステップトルクによるパワートレイン系の振り振動に起因し、それがタイヤ、サスペンションを通じて車両を加振する。一方、パワープラントは駆動反力を受けて剛体振動し、エンジンマウントから車体へ力を伝達する。図-2 に振動系の模式図を示す。

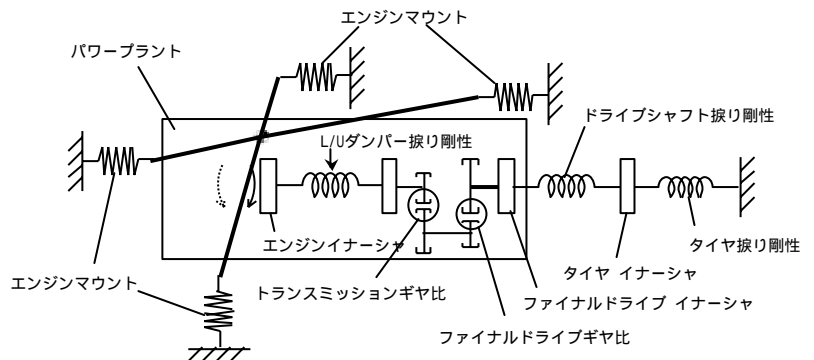


図-2 ガクガク振動のマス・バネ系  
 Fig.2 Vibration system of vehicle shock excited by transient torque

現象周波数はパワートレインの振り振動系で概略決定され、フライホイール系のイナーシャが主マスで、直列につながったドライブシャフトやタイヤ、ロックアップダンパーの振り剛性が主バネである。ここで、ドライブシャフトより下流側の振り剛性はロックアップダンパー軸上から見るとトータルの変速比(トランスミッション比×ファイナルドライブ比)の2乗に逆比例するので、CVT 変速比が大きいほど見かけの剛性が小さく(柔らかく)なる。したがって変速比が大きい、所謂ローギアードほど振り振動系の周波数は低くなり、FF 乗用車系では凡そ 3~8Hz 程度である。

### 2.2 加振力特性

ガクガク振動のような過渡現象は、加振力の変化時間が振動系の1周期より短いほど応答が大きくなる。図-3に、エンジントルクの変化時間と振動系の応答の関係を示す。すばやいアクセル操作を行うとエンジントルクは0.1s程度で立ち上がるため、5Hz前後のガクガク振動周波数帯では固有値が低いほど応答が大きくなる。変速比が大きいとトルクの増幅効果だけでなく加振力特性としても不利になる。

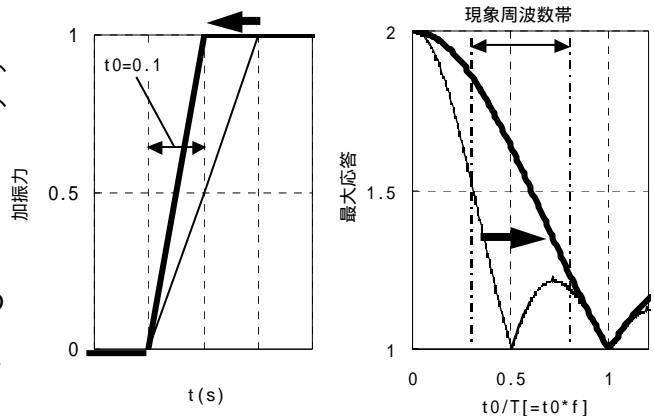


図-3 加振力(時間t)と最大応答(周期 $T=1/f$ )の関係  
Fig.3 Maximum response relation to transient torque

### 2.3 CVT 特有のポイント

FF 車用ベルト CVT のベルト・プーリー系のイナーシャはATのギアトレイン系より大きく、ロックアップ時のこもり音の原因であるドライブトレイン系の振り固有値が低い。そのためこもり音からは、CVTのほうがより低いエンジン回転までロックアップが可能となる。図-4にロックアップこもり音に対するパワートレインの振り振動系の模式図を示す。

さらに、減速中にロックアップしていればエンストの心配なく燃料噴射が休止できるので、図-5に示すようにアクセル全閉時にエンジン回転がほぼ一定のまま減速するような変速線とし、より低車速までロックアップを行うことによって燃費の向上を図っている。そのような変速線を持つために CVT 車は低速になるほど変速比が大きくなる。

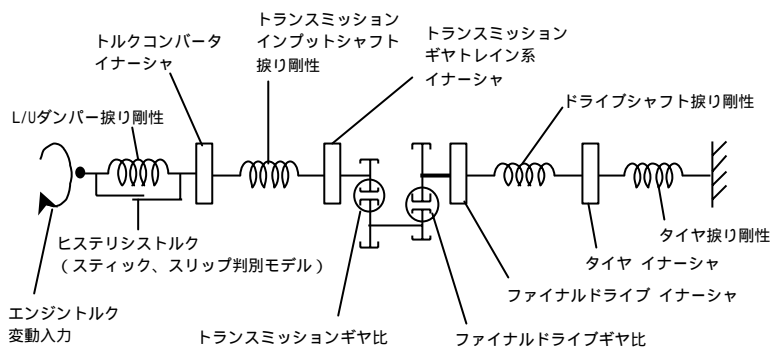


図-4 L/Uこもり音のマス・バネ系  
Fig.4 Vibration system of booming noise at lock-up

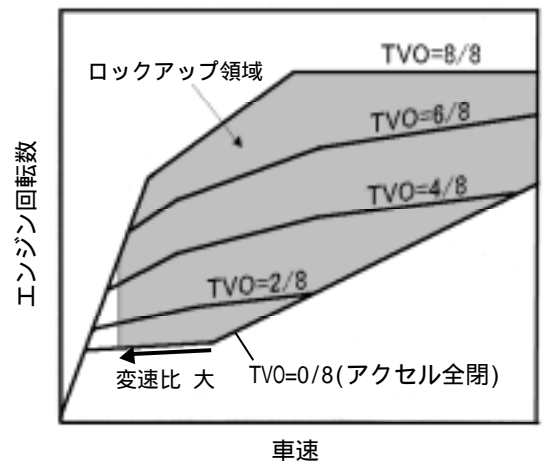


図-5 CVTの変速線とL/U領域  
Fig.5 CVT shift schedule and lock-up area

以上、CVT車のガクガク振動が不利な要因を整理すると、

- 変速比が大きい領域までロックアップするため、エンジントルクの増幅度が大きく、かつパワートレイン振り固有値が低いのでエンジン過渡トルクに対する応答が大きくなる。
- 燃費を向上するために減速ロックアップ中に燃料カットを行うことにより、加減速時のエンジントルク段差が大きく、かつドライブシャフトトルクが反転する際にドライブトレインのガタを過ぎる。
- MT車のクラッチと異なり、こもり音の要求からロックアップダンパーのヒステリシストルクは大きくできないため、ドライブトレイン系の減衰性能が小さい。

一方 CVT は、アクセル開度変化によって変速比が連続的に変化するという特有の機構がっており、それがガクガク振動に対してどのような影響を与えるのかを解明し、性能開発を効率的に実施することを目的に、変速比が時間とともに変化する無段変速機構を含むシミュレーションモデルを作成した。

### 3 . FF-CVT 車ガクガク振動シミュレーション

#### 3 . 1 車両全系モデル

機構解析ソフトウェア MSC.ADAMS を用いて、図-6 のような車両全系モデルを作成した。以下にモデル化手法のポイントを記す。

##### (1)パワートレイン系

フライホイール系のイナーシャにエンジントルクを時系列で Spline 入力するようにした。ロックアップクラッチは完全に締結した状態とし、ロックアップダンパーはヒステリシスを持つ非線形バネとして Spline で定義した。ギア比固定の場合は通常 Coupler を用いて定義するが、時間的に変化する特性を表現するために今回ユーザーサブルーチンを作成してプライマリーとセカンダリープーリー間の変速比を定義した。ファイナルドライブ部は質量特性と差動機構のみモデル化し、ドライブシャフトの捩り剛性はドライブトレイン系のトータルの回転ガタを含んだ特性とした。

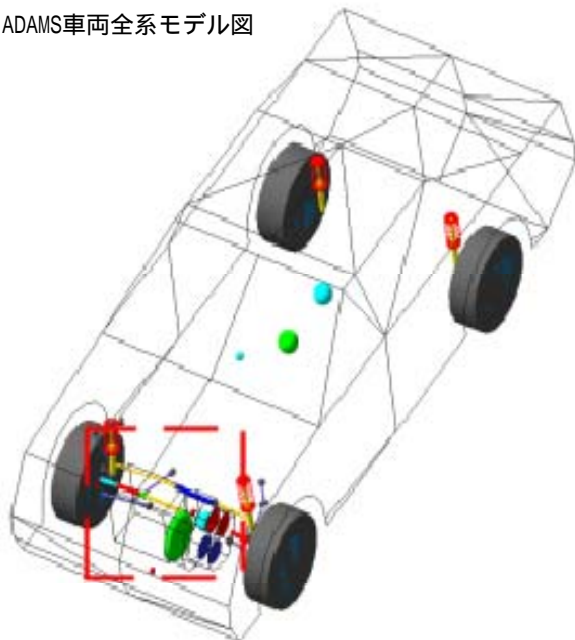
##### (2)エンジンマウント系

パワープラントは駆動トルク反力を受ける剛体とし、エンジンマウントを介して車体に結合した。各エンジンマウントのバネは、並進方向の動的な非線形(荷重タワミ)特性を Spline で定義し、ロスファクターを用いて減衰特性を考慮するようにした。

##### (3)車体、サスペンション系

車体は、重心位置に質量特性のみをもつ剛体とした。タイヤの前後力特性は、路面との間のスリップ率によって定義した。フロントサスペンションは各リンクやアームを剛体でモデル化し、ジオメトリに基づいてブッシュを介して車体に結合した。各ブッシュやコイルスプリングのバネ特性、およびショックアブソーバの減衰特性は非線形性を考慮できるように Spline で作成した。

ADAMS車両全系モデル図



パワートレイン部分の拡大図

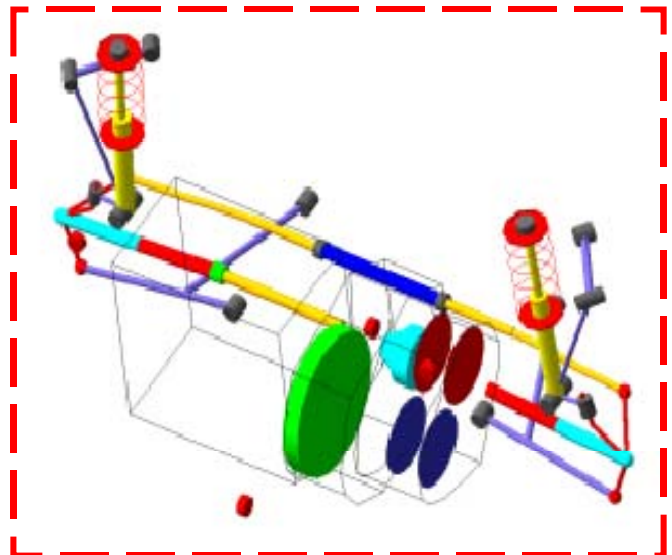


図-6 FF-CVT車のADAMS車両全系モデル  
Fig.6 ADAMS simulation model for FF-CVT vehicle

### 3.2 計算結果

アクセル OFF ON によってエンジントルクが負側から正側に立ち上がるとともに、変速比が時間的に変化しない場合と変化する場合の車両前後加速度を比較した結果を図-7 に示す。変速比が変化する場合、変速比が大きくなる側に変化し始めると前後加速度が低下し、変速比が変化しなくなるにつれて増加する。

その効果を確認するために、エンジントルクを一定のまま変速比の変化スピードのみを変えた計算を行い、ドライブシャフトトルクを比較した結果を図-8 に示す。変速比が変化するときの曲率が正のときにはトルクが減少し、負のときは逆に増幅する。さらに曲率の大きさが変化量に影響している。

再度図-7 と同じエンジントルクを使って、変速比が変化し始めるタイミングとスピード(変化率)を変えたときの結果を図-9 に示す。その結果から CVT の特徴である変速比の連続的な変化のし方がガクガク振動に影響を及ぼし、等価的な加振力要素として作用することが分かった。

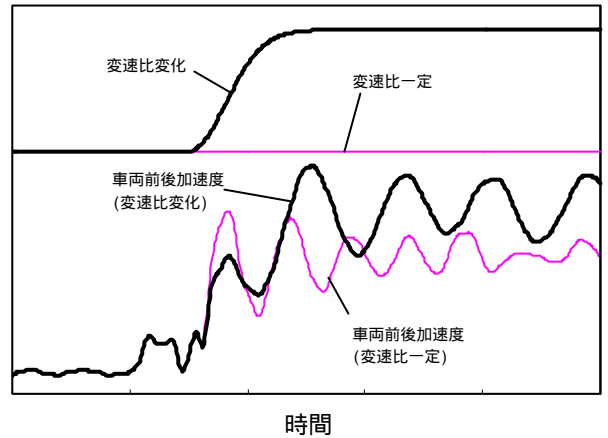


図-7 変速比が変化したときの車両前後加速度 (解析結果)  
Fig.7 Vehicle acceleration at CVT ratio varying (Simulation)

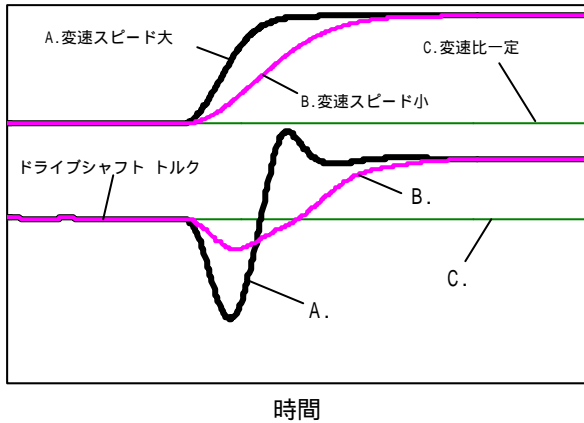


図-8 変速スピードとドライブシャフト トルクの関係 (解析結果)  
Fig.8 Drive shaft torque at CVT ratio varying (Simulation)

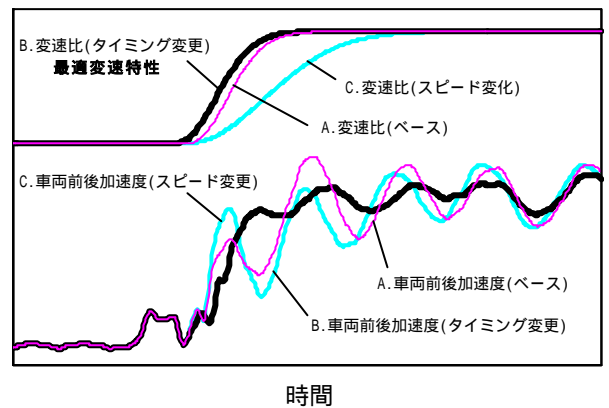


図-9 変速開始タイミングとスピードの影響 (解析結果)  
Fig.9 The effect of CVT ratio varying (Simulation)

## 4. パラメータスタディによる主相関要因の調査

### 4.1 変速開始タイミング

エンジントルクが立ち上がる時刻に対する変速開始タイミングをパラメータとして、車両前後加速度の一発目ショック(peak to peak)G1 レベルの推移を図-10 に示す。

車両前後加速度が変化し始めるタイミングで変速を開始することによって効果的に低減できるが、逆にタイミングがずれるとショックレベルが悪化する。その傾向はタイミングが早い側と遅い側でほぼ同等である。

### 4.2 変速スピード

つぎに、図-10 で得られた最適な変速開始タイミングに対して、変速スピードを変えたときの G1 レベルの推移を図-11 に示す。

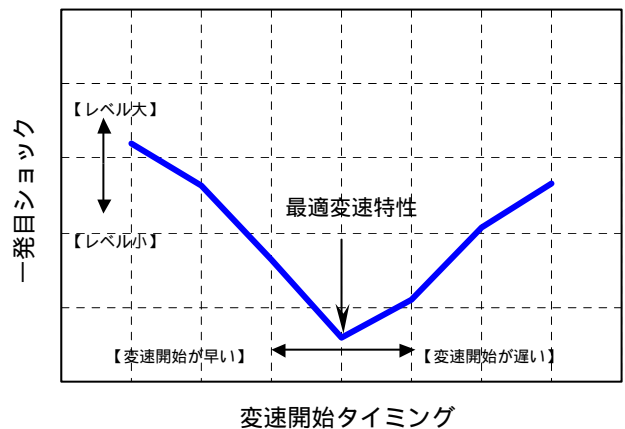


図-10 変速開始タイミングの寄与度  
Fig.10 Result of simulation (Time to vary CVT ratio)

最適な変速スピードより速くても遅くても G1 は悪化するが、スピードを速くするほうが悪化する度合いが大きい。変速スピードが速すぎると変速開始タイミングのずれに対するロバスト性が低いと推定できる。

エンジントルクの立ち上がり開始時刻に対する変速開始のタイミングと変速スピードはガクガク振動にとって重要であり、このシミュレーションを使って様々なパターンにおける変速性能の効果を詳細に調べることで、変速開始タイミングとスピードに対する許容範囲を明確にすることができた。

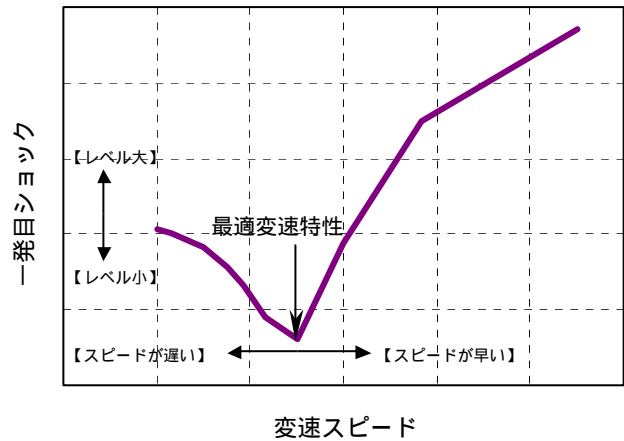


図-11 変速スピードの寄与度  
Fig.11 Result of simulation (CVT ratio varying speed)

## 5. まとめ

以上、CVT 車のアクセル ON、OFF ショックに対するシミュレーションモデルの概要と、時間とともに連続的な変化する変速特性を有するドライブトレイン系の振動メカニズムを解析した事例を説明した。MSC.ADAMS を使うことによって、車両の複雑なジオメトリとドライブトレイン系やエンジンマウント系、サスペンション系の非線形性を考慮できる車両全系モデルをシステムティックに構築でき、CVT 変速特性がガクガク振動性能に及ぼすメカニズムを明らかにすることができた。そして、そのモデルを活用して変速特性の影響を机上で予測することによって性能開発を効率よく実施することができた。またエンジントルクの過渡的な立ち上げ方をコントロールする技術開発にも、本シミュレーションを適用して効率的に進めることができた。

最後に、本開発にご協力いただいた関係者、および株式会社エステックの方々に深く御礼申し上げます。

## 6. 参考文献

1) 平野芳則 他：新型セフィーロ/マキシマにおけるロックアップ領域拡大のためのこもり音低減技術開発、日産技報第 35 号、p.58 ~ 63(1994)