

# 実験業務へのMBD活用による開発品質向上 ～CVT開発におけるVRS適用～

山形 大輔\*

## 抄 録

近年、自動車に求められる要求の多様化高機能化により、開発コストが増大傾向にある。特に実車を用いた実験の負担が大きく、品質を確保した上での効率化が求められている。

本稿では、CVT開発において、従来実車でしか評価できなかった実験を、MBD技術によるバーチャル部分と実機を使うリアル部分を適材適所で使い分けるVRSシステムを用いて台上化し、効率的に先行評価することで、開発コストを抑えながら盤石な品質を作り上げた事例を紹介する。

## 1. はじめに

近年、自動車に求められる要求の多様化高機能化により、開発にかかる時間や費用が大幅に増大傾向にある。特に開発後期のリアルワールドの路面での実車評価にて発生する課題が大きな手戻り要因となり、開発コストを圧迫している。

上記課題を解決する為、JATCOはMBD (Model Based Development) 技術を用いて、実車実験の台上実験化／机上実験化を推進した。机上化／台上化により下記効果が期待できる。

- (1) シミュレーション機能を用いたリアルワールド路面を模擬した条件の先行評価
- (2) 自動実験機能による膨大な条件の効率的評価

本稿では、実際のCVT開発において、MBD技術を導入したVRS (Virtual and Real Simulator) システムを用いて実車実験を台上化することで、開発コストを抑えながら盤石な品質を作り上げた事例を紹介する。

## 2. 課題

CVTは、ベルト・プーリを用いて無段変速可能なバリエータ機構を持ち、各プーリへの緻密な油圧制御により、変速の安定性を確保し、トルク伝達を可能としている (Fig. 1)。

加えて、高地や勾配路等の様々なリアルワールドの路

面にて、想定されるあらゆる運転操作において、常に変速の安定性を確保し、車両としての運転性を満足することが求められる。

上記の確認の為、テストコースやリアルワールドの路面での多くの実車実験が必要となるが、要求の多様化高機能化により、その全てを実車で確認することが困難になりつつある。

その解決策として、JATCOはMBD技術を用いた実車実験の机上化／台上化を推進し、開発コストと品質の両立を目指した。

ただし机上化／台上化の際、課題となるのが実車挙動の再現精度である。特に評価対象であるCVTまで含めて全てをモデルで代用する机上化の場合、CVTの特徴であるバリエータ機構+油圧制御機構を、運転性評価が

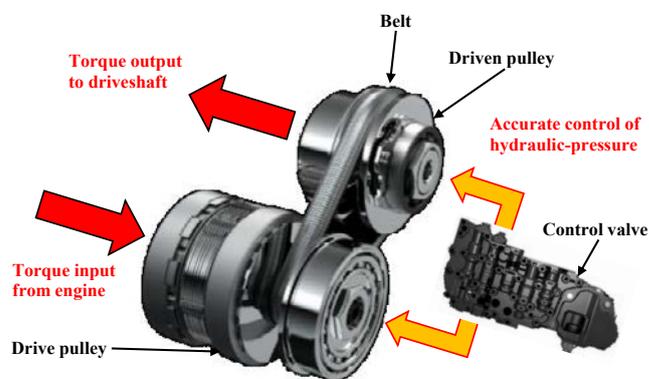


Fig. 1 Variator system of CVT

\* ユニットシステム開発部

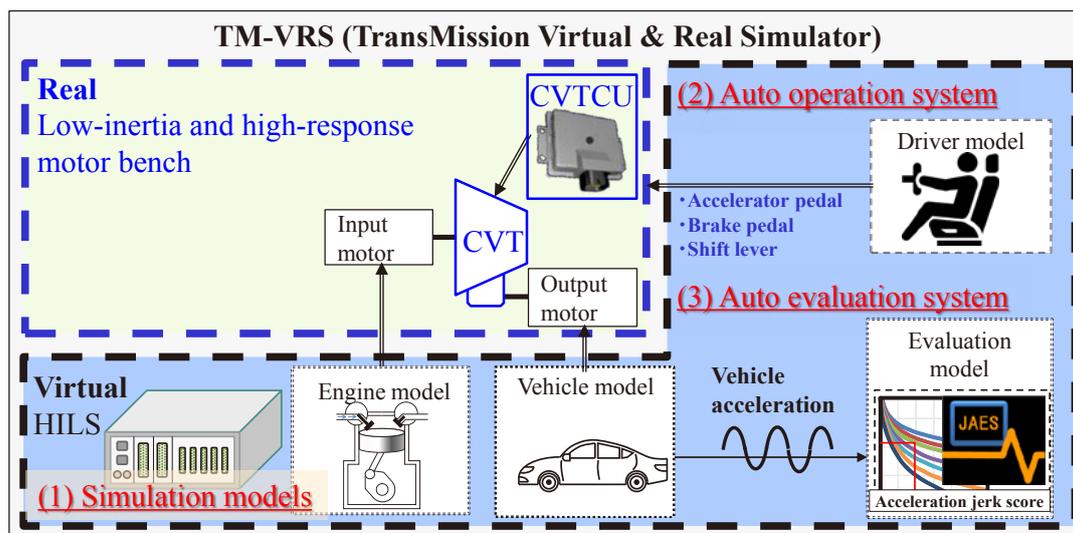


Fig. 2 TM-VRS System

可能なレベルまで求めると、極めて計算時間が長くなる高精度モデルが必要となり、机上化のメリットである多くの実験条件の効率的評価が困難になる課題があった。

### 3. 解決手法

上記の精度と効率のトレードオフ課題に対する現実的な方策として、モデル化困難で精度が求められる部分に実機、それ以外の部分をMBD技術によるシミュレーションモデルに置き換える、つまり、リアルとバーチャルを適材適所で使い分けるVRSシステムを活用して実車実験の台上げに取り組んだ。

なお本稿はJTR No.17の「バーチャルエンジンを使ったトランスミッションの運転性の検証が可能なVRSテストベンチの開発」（以下前稿）を、実際のCVT開発に適用した事例である。

### 4. TM-VRSシステム

Fig. 2にTM-VRSのシステム図を示す。低慣性で高応答なモーターベンチに、HILSによるモデルシミュレーション (Fig. 2(1))、自動操作システム (Fig. 2(2))、自動評価システム (Fig. 2(3))を追加した設備である。

高応答モータ+モデルシミュレーションにより実車挙動を再現させ、自動操作システムと自動評価システムからなる自動実験機能を活用することで膨大な条件の効率的な

評価が可能となる。

#### 4.1 エンジンモデル

エンジンモデルは、前稿やステップATのようにエンジンコントローラ実機を用いたバーチャルエンジンシステムではなく、CVT評価に必要な特性を絞って再現した簡易エンジンモデルを採用した。

上記はエンジン同時開発等でバーチャルエンジンシステムをタイムリに構築できないという実運用上の課題に対する対策として用意したものであり、CVTは、変速時に遊星ギヤのクラッチ架け換え用エンジン協調制御が必要なステップATに比べ、必要なエンジン協調制御に限られる為、簡易モデルでの置き換えが可能となった。

#### 4.2 車両モデル

車両モデルは、走行抵抗のみの簡易モデルだった前稿に比べ、ステップAT同様、日産自動車との協業の下、サスペンションやエンジンマウント等の振動特性を持つ車両モデルを導入することで、運転性評価に重要な車両Gの再現精度を向上させた。

#### 4.3 自動評価システム

自動評価システムで用いる評価モデルは、前稿およびステップAT同様のものを導入した。これにより自動操作システムで取得した膨大なデータを効率的に判断可能である。

## 5. TM-VRSによる実車再現精度

システムのパート毎の実車再現度を確認する為、Fig. 3～5に分けて、実車とTM-VRSの時系列の挙動を比較した。実験条件はアクセル全開発進とし、黒線が実車実験データ、赤線がVRS実験データを示す。

Fig. 3にエンジンモデルが影響するアクセル操作とエン

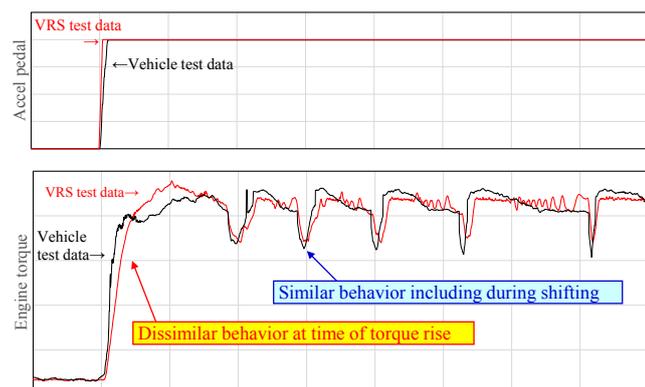


Fig. 3 Engine torque behavior comparison

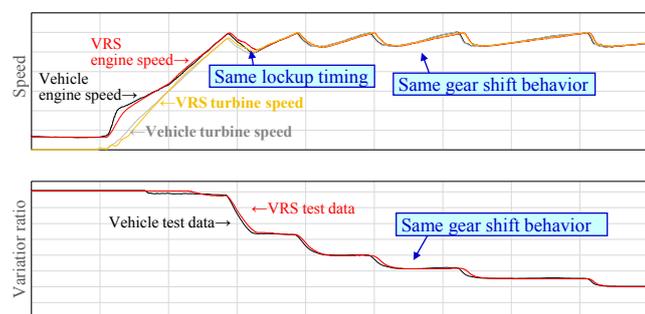


Fig. 4 CVT internal behavior comparison

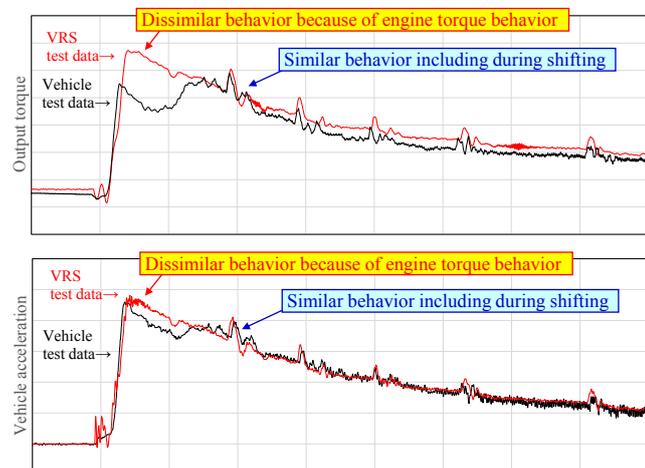


Fig. 5 Vehicle acceleration behavior comparison

ジントルクの時系列比較波形を示す。立上り時を除き、定常時や変速時のエンジントルク挙動が再現できた。

Fig. 4にエンジンモデル、CVT実機が影響するエンジン回転数、タービン回転数と変速比の時系列比較波形を示す。いずれも実車と同等の挙動を再現できた。

Fig. 5に最終的な出力である出力軸トルクと車両Gの時系列比較波形を示す。エンジントルク立上り時の挙動を除き、車両Gを再現できた。

## 6. 開発課題の発見と解決

Fig. 6にCVT開発時に実車に先駆けて台上実験で発見した開発課題の事例を紹介する。

本現象は、低車速のマニュアル変速時にバリエータ機構が不安定になり、車両振動が発生する現象であり(Fig. 6左波形)、実機CVTと高精度な車両モデルを用いたTM-VRSだからこそ発見できた現象と言える。

この現象を実車に先駆けて発見し、解決することができた(Fig. 6右波形)。

## 7. 現時点の課題と運用の効果

現時点の課題として、実車実験を完全に台上実験に置換できているわけではない。しかし、下記に示すそれぞれの特長に合わせて使い分けることで、盤石な品質確認と効率化を両立させている。

台上実験は、多くの条件を広く見るのに適する。具体的には、モデルシミュレーション機能によりリアルワールド路面を模擬した様々な環境条件の評価が、実車実験に比べて早い段階で可能になる。また週末を含む昼夜稼働可能な自動実験機能にて、膨大な条件を効率的に評価することが可能になる。事実としてリアルワールドで3ヵ月かかる実車実験が1週間で可能になった。その結果、開発課題が懸念される条件を早期に抽出することが可能となった。加えて環境条件や運転操作の再現性の高さを活かし、制御定数等のソフト変更や部品バラツキ等のハード変更の影響をダイレクトに評価可能である。

実車実験は、限られた条件を深く見るのに適する。具体的には、台上実験で発見された不具合が懸念される条件の確認や、人間による最終的な判断を下す等で使い分けている。

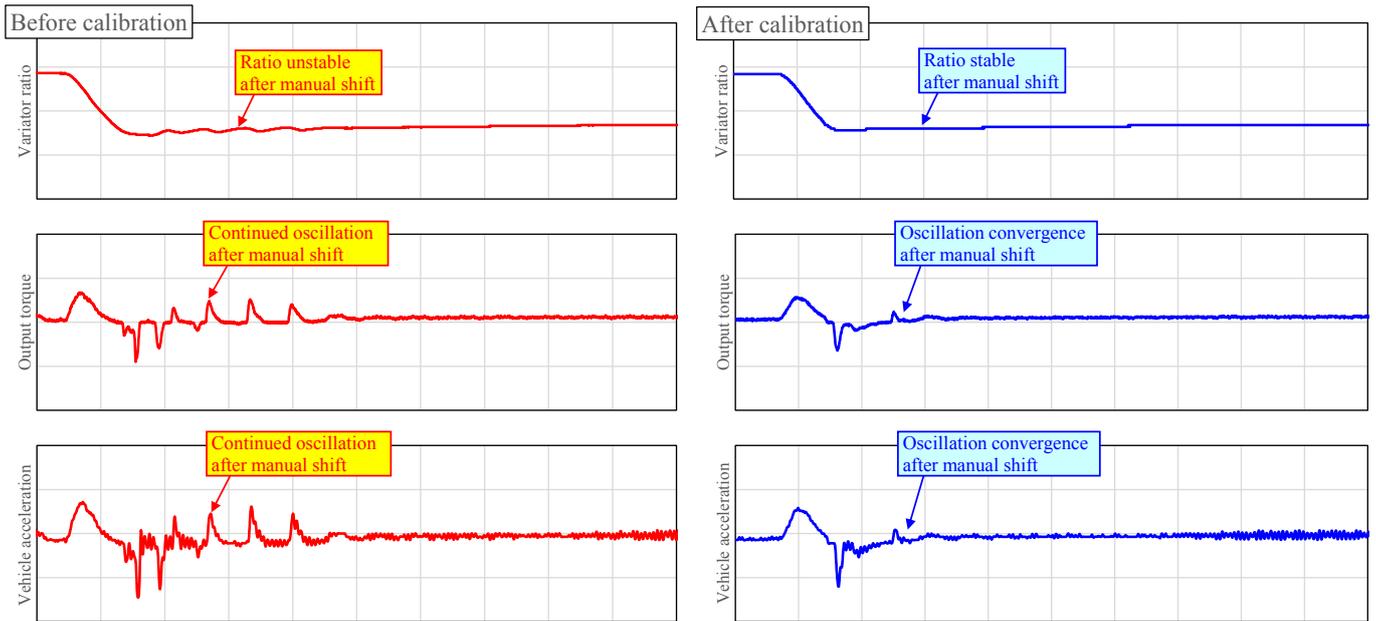


Fig. 6 Problem solution before in-vehicle validation

## 8. まとめ

自動車の多様化高機能化による開発コストの高騰という課題に対し、TM-VRSシステムを用いた実車実験の台上化というアプローチを実際のCVT開発に適用し、下記成果を得た。

- (1)最適なエンジンモデル選択と、車両モデルの精度向上により、実車実験の台上置換が可能になった。
- (2)自動操作／自動評価機能により、膨大な条件の評価が効率的に可能となった。
- (3)実車に先駆けたリアルワールド路面模擬条件の評価による、開発課題の早期発見および解決が可能になった。

今後のCVT開発において、TM-VRSを用いた台上実験を標準的なプロセスとして採用し、開発品質の更なる向上を目指す。

■ 著者 ■



山形 大輔