

計測データを基にした変速時の車両前後挙動のモデル化手法提案

〔研究代表者〕 日比野良一（工学部機械学科）

〔共同研究者〕 吉田正博（株式会社マックシステムズ）

研究成果の概要

本研究では、ドライビングシミュレータの構築で必要となる車両のモデル化が狙いである。モデルには対象車両の挙動の再現性が求められるが容易ではない。その原因の一つは、車両が様々な要素から構成されており、どの要素を対象にモデル化すべきか不明なことである。もし全ての要素を考慮すると、作成に多くの労力が必要となり、またリアルタイムにモデルを計算することが難しくなる。そこで我々は、実験をベースに必要な要素を抽出し、最小限の要素で構成する手法を提案している。これまで一つの入力時（アクセル or ブレーキ）のモデル化を行ってきたが、今回はクラッチとアクセル操作の二つの入力がある場合を対象に、車両前後挙動のモデル化を試みた。5MT の軽自動車を使い 1→2 変速時を対象とした。

主な課題は、大学や共同研究先では、自動車や部品メーカーの環境とは異なり正確な車両諸元が入手できないことと、今回は二つの入力があるため一つの入力の場合より複雑な現象となることである。これら課題に対し、今回得られた成果を以下に示す。

(1) 入手が難しい車両諸元は、各質量や重心位置、エンジン軸の慣性モーメントである。今回は取り外し可能な部品は質量を計測した上で、 $\tau = \sum r \times m_i \times a_i$ の関係を利用して修正する手法を検討した（ τ ：ドライブシャフトトルク、 r ：タイヤ半径、 m ：質量、 a ：重心位置の加速度、 i ：各要素）。すなわち、本式が成立するように質量 m や重心位置の値を修正するのである。精度の検証はできないが、物理的に妥当と考えられる推定値が得られた。

(2) エンジンブロックほか各要素の加速度や角加速度の計測データに基づき、モデル化する要素としてエンジンブロックのピッチや前後方向などを選定し全 7 自由度とした。またモデルパラメータは、推定したエンジンとクラッチ伝達トルクに基づき同定を行った。今回クラッチ操作のモデルを新たに導入し、定常から約 20Hz までの車両フロアの前後加速度が再現可能なことを確認した。

研究分野：車両のモデル化

キーワード：モデリング、ドライビングシミュレータ、フロア前後加速度

1. 研究開始当初の背景

近年自動車開発の現場では、効率の観点からモデルを積極的に利用した開発が進められつつある。共同研究先では、このような背景から車両挙動を表すモデルやその挙動を再現するシミュレータを開発し、自動車や部品メーカーに対し開発環境やソリューションを提供している。しかし、対象車両の挙動を精度良く表すモデルを作るには幾つかの問題がある。車両は様々な要素から構成されており、どの要素を対象にモデル化すべきか判断するのは難しいためである。全ての要素を考慮する方法もある

が、作成に多くの労力が必要で、またモデルをリアルタイムに計算することは難しい。

2. 研究の目的

本研究では、共同研究先のシミュレータでの使用を前提として、低次元でも精度の高い車両挙動モデルの構築を目指す。これまで実験をベースに車両の必要な要素を抽出し、これら要素からモデルを構成する手法を提案している。この提案に基づいて、一入力（アクセルまたはブレーキ）の現象に対しては既に検討を行ってきたため、

今回はよりモデル化がより難しいクラッチとアクセル操作の二つの入力がある場合を対象に、車両前後挙動（フロア加速度）のモデル化を行う。

3. 研究の方法

5MT の軽自動車（図 1）を使い、1→2 変速時を対象とする。提案するモデル化手法を図 2 に示す。本手法の特徴は、実験をベースに必要な要素を絞りこみ最小限の要素でモデル化をすることである。走行中に計測データの取得が可能で、またドライブシャフトトルクを除き、力・トルクの計測が不要である特長がある。モデル化の基本的な流れは、計測した挙動データ（加速度・角加速度）をもとにモデル化に必要な要素・自由度の選定を行い、さらに選定した挙動データから力・トルクを推定し、最後にモデルパラメータの同定を行うものである。



図1 対象車両(5MT軽自動車)

特に今回の検討では、自動車や部品メーカーの環境と異なり、大学や共同研究先では正確な車両諸元（各質量や重心位置、エンジン軸の慣性モーメント）が入手できない問題がある。これら諸元は図 2 のステップ 2 以降で必要となる。このため、今回新たに力学の関係式に着目し諸元を推定する手法を検討する。

1. 車両各要素の加速度・角加速度のデータ計測

2. 計測データを基にモデル化すべき要素の選定

3. 影響の大きい自由度の抽出・選定

4. エンジントルク・伝達力・伝達トルクの推定

5. モデルのパラメータ同定

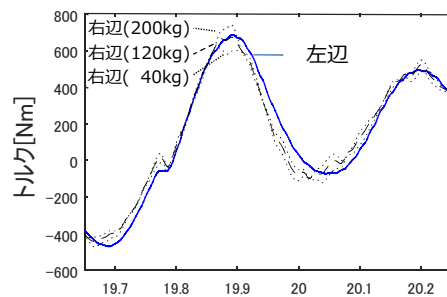
図2 提案するモデル化の流れ

4. 研究成果

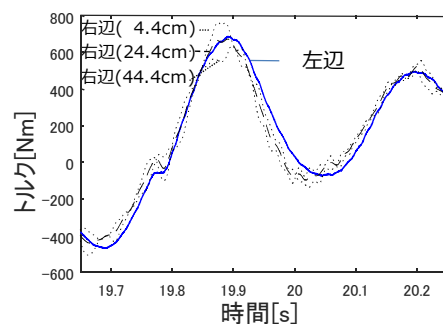
入手が難しい車両諸元のうち、ばね下の質量は、計測可能な構成部品（タイヤ、ブレーキキャリパなど）の質量からおおよその値を把握し、またエンジンプロックはその 3 次元形状からおおよその質量と重心位置を把握した。これらばね下の質量およびエンジンプロックの質量と重心位置の値を、式(1)の関係を利用して修正した。

$$\tau(t) = \sum_{i=1}^n r \times m_i \times a_i(t) \quad (1)$$

ここで、 τ ：ドライブシャフトトルク（計測値）、 t ：時間、 r ：タイヤ半径、 m ：質量、 a ：重心位置の加速度（計測値）、 i ：各要素、 n ：全要素数を表す。同式は車体に入力されるドライブシャフトトルク τ が、車体の各要素の慣性トルク（＝タイヤ半径×各質量×加速度）の和に等しいという力学の関係式である。質量や重心位置が正しくないと式(1)は成立しないので、逆にこれを利用するのである。エンジンプロックの質量と重心を修正した結果を図 3 に示す。同図では、式(1)の左辺と右辺の値を比較している。同図に示すように、エンジンプロックは両辺の一致度が最も高くなる質量 120kg、重心位置 24.4cm（z 軸、高さ方向）とした。



(a) 質量の修正



(b) 重心位置の修正(z軸)

図3 式(1)：エンジンプロックの修正

次に、図 2 にそって結果を示す。ステップ 2 では車体モデルの簡素化を狙いに、式(2)の評価関数（式(1)の左

辺と右辺の差を評価)を使い、同式をできるだけ小さくし、かつ要素数 n も小さくなるよう要素の絞り込みを行った。結果を図4に示す。モデル化する車体の要素として、車体、タイヤ、エンジンブロック、ばね下(前輪)を選定した。

$$J(n) = \int_0^T \left| \tau(t) - \sum_{i=1}^n r \times m_i \times a_i(t) \right| dt \quad (2)$$

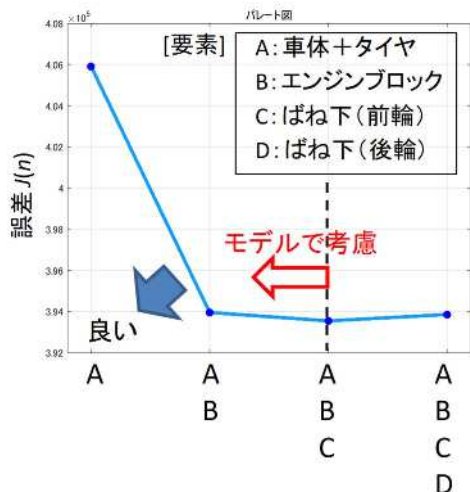


図4 考慮する要素の決定

ステップ3では、エンジンブロックほか各要素の加速度や角加速度の計測データを使って感度解析を行い、モデル化する要素としてエンジンブロックのピッチや前後方向、ばね下の前後方向などを選定し、全7自由度のモデルとした(図5)。車両の全ての要素とその挙動を考慮すると百自由度以上となるので、大きく低次元化されたことになる。ステップ4で、図6(a)に示すエンジントルクやクラッチ伝達トルクなど力・トルクの推定を行い、これらトルクを用いてステップ5で伝達要素のモデルパラメータの同定を行った。ここで、各伝達要素のモデルは基本的には線形のばね・ダンパーを仮定しているが、新たにクラッチの伝達トルクモデルとして、スリップ速度を入力とする飽和関数(tanh)を導入した。同定結果を図6(b)に示す。定常から約20Hzまでの車両フロアの前後加速度を再現していることが確認できる。

5. 本研究に関する発表

(1) 古宮直人、「計測データを基にした変速時の車両前後挙動のモデル化手法提案」、自動車技術会2024年春季大会 第7回学生ポスターセッション、2024年5月22日～24日(パシフィコ横浜ノース)

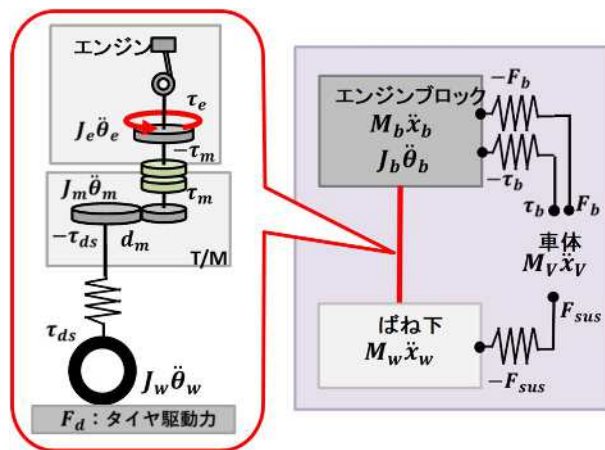
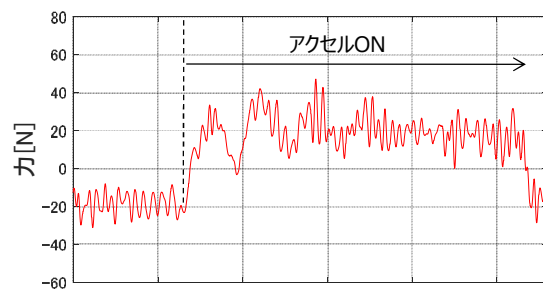
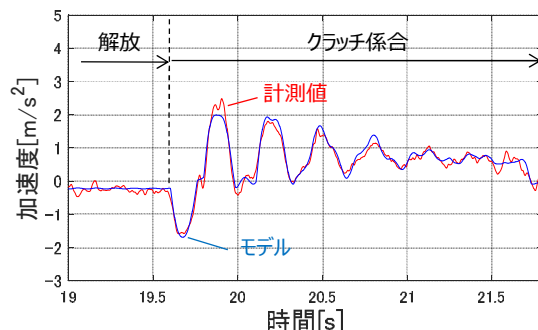


図5 7自由度のモデル



(a) 推定されたエンジントルク



(b) フロア前後加速度：モデルと計測値の比較

図6 トルク推定とモデル化の結果