

ドライバの取得情報に着目した加減速制御用ドライバモデルに関する研究

日大生産工(院) ○ 岩 城 亮 日大生産工 景 山 一 郎

1. はじめに

近年、自動車産業において種々の立場から人間-自動車系の検討について注目が集まっている。例えば、CO₂の排出に直接関連する燃費は原動機の特性的みに依存するだけでなく、ドライバの運転動作の違いによっても大幅に異なり、ドライバの制御動作に着目し、操縦動作解析を行うことが重要となる。また車両開発段階においても安定したシミュレーションや解析が求められ、ドライバの代わりにロボットを用いて操縦試験を行うといったことも検討されている。さらに疲労軽減などに代表されるITS技術においても、前後方向制御においてドライバへの不安感や不快感をなくすためにドライバの特性を考慮することがとても重要であると考えられている。そこで、本研究ではドライバの制御動作に着目し、実車実験結果からドライバの特性解析及びドライバのモデル化を行い、前後方向操縦動作の解明について検討を行う事を目的とした。特に本研究では疲労軽減や燃費向上が重要視されている大型車両を運転するドライバに着目し、そのアクセル操作について検討を行う。

2. ドライバの情報取得アルゴリズムの検討

ドライバの制御動作は種々の情報を取得し、判断することで行われていると考えられるため、ドライバの情報取得に着目して制御動作構造を推測する必要がある。通常ドライバが取得していると考えられる情報は、1)先行車両の情報、2)先行車両と自車両との相対位置情報、3)自車両の情報の3つであると考えられる。これらの情報についてドライバの取得方法を確認するため、先行研究で行った大型車両を用い

た実験結果(参考文献)を基に検討したり、実験は空車で12tの商用大型車両を用い、テストコースにてパターン走行を行う先行車両を実験車両がドライバの意志で追従する形で行った。

まず検討を行うため、直線路での追従走行環境において、アクセル操作を行うためにドライバが取得している3種類の情報についてそれぞれ列挙する。先行車両の情報においては、先行車両の速度、加速度があげられる。次ぎに先行車両と自車両との相対位置情報においては、車間距離、相対速度、希望車間距離との偏差、偏差の変化量、及び偏差の積分値があげられる。自車両の情報としては、基準加速度と実際の加速度との偏差があげられる。ここで基準加速度とはアクセル操作量と加速度を一次の最小二乗法で近似した値である(希望車間距離に関しては参考文献を参照)。図1は2速ギヤにおける加速度とアクセル開度の散布図である。図を見ると両者間の相関係数が高いことが分かる。これはアクセル操作により加速度が発生している車両系の相関である。この加速をドライバが予測してアクセル操作に還元していると推察し、本相関における分散情報を自車両の情報とした。

列挙した情報とアクセル操作との結びつきを調べるため、統計学的手法である重回帰分析を用いて検討を行った。重回帰分析による検討式を以下に示す。

$$y = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + \mathbf{L} + a_n \cdot x_n \quad (1)$$

ここで重回帰分析は、結果となる目的変数 y とその原因となる説明変数 x_n を結ぶ線形関係式を導きだし、因果関係を偏回帰係数 a_n によって分析する手法である。本検討では、目的変数にアクセル開度、説明変数に上記で列挙した情報とした。各偏回帰係数を相対的に比較するため、目的変数及び説明変数を標準化して検討を行った。検討結果を図2に示す。図は標準偏回帰係数の絶対値を情報別にまとめたものである。図を見ると先行車両の情報が全体の半分以上を占めていることが分かる。つまり、ドライバは自車両の動きとは独立に変動する先行車両の情報を主に用いてアクセル操作を行っている事となる。さらに先行車両と自車両との相対位置情報や自

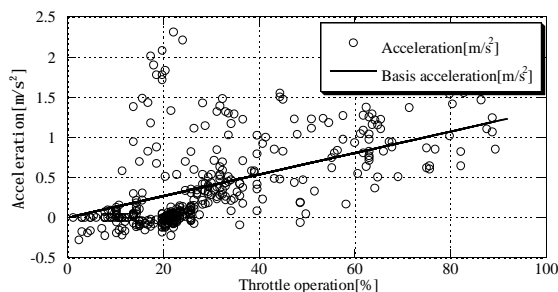


Fig.1 Base acceleration

Study on Driver Model for Longitudinal Control from viewpoint of Information Analysis

Ryo IWAKI and Ichiro KAGEYAMA

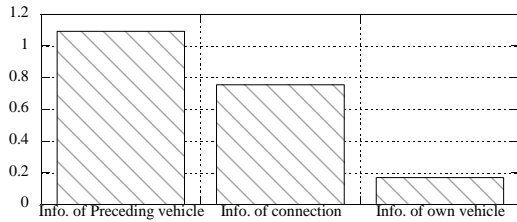


Fig.2 Analysis of factors in input information

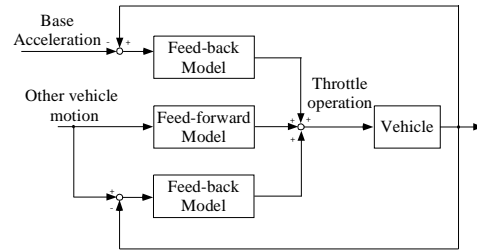


Fig.3 Construction of the driver's operation

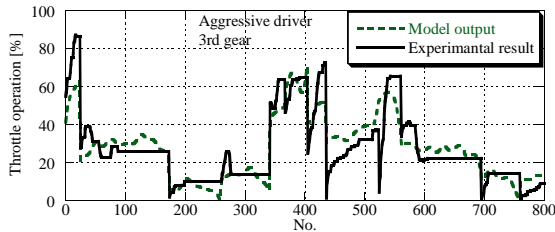


Fig.4 Result for FF model

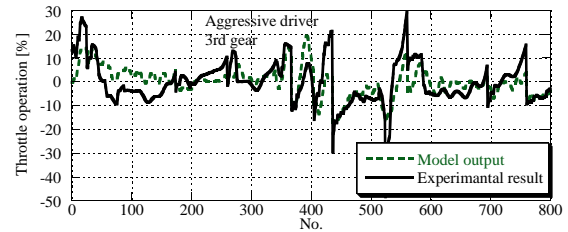


Fig.5 Result for FB model

車両の情報は、先行車両情報のみでは制御できない状況において補償動作の為に取得していると考えられる。

ドライバの情報取得方法をまとめると、アクセル操作において主に用いている先行車両情報は自車両の動きに依存しないためにフィードフォワード（以後**FF**）情報として取得しており、**FF**情報の補足情報としてそれ以外の情報を用い、これは自車両の動きに依存するためにフィードバック（以後**FB**）情報として取得していると考えられる。これらの結果から、ドライバの情報取得アルゴリズムを図3の様に規定した。

次章では実験データを元にドライバの情報取得アルゴリズムのモデル化を検討する。

3. ドライバモデル

図3を元にドライバのアクセル操作のモデル化を行う。モデル化に、実験データからまず**FF**情報を用いて**FF**モデルの同定を検討し、さらに**FF**情報のみでは表現できなかった操作量を**FB**情報を元に**FB**モデルとして同定を検討する。

3.1 フィードフォワードモデル

まず、ドライバの情報取得方法に着目する。先行車両の速度や加速度を直接的にドライバは取得せず、情報の遅れや予測を伴って取得していると考えられるため、実験データから解析を解析した。各ギアに分けて解析を行うため（本章では例として**3速ギア**）、実験データは部分的に時間領域で不連続なデータとなる。そこで、連続データとなっている部分を個別に抜き出して、時間をずらしながら相関係数を確認した。さらに時間遅れを考慮するため、各連続データ毎にずらし時間と相関係数との関係を解析した。

ここで、ドライバの遅れ時間を考慮したフィードフォワード部のモデル化を重回帰分析を用いて検討し

た。モデルの目的変数にアクセル開度、説明変数に遅れ時間（すすみ時間）を考慮した先行車両の速度と加速度を採用した。構築した結果、実験値とモデルの予測値との相関係数が**0.8**と高い値を示したが、モデルから出力される予測値にノイズの影響が大きく表れた。そこで周波数解析を用いてドライバの情報取得周波数を再検討したところ、比較的高い周波数に対して応答していないことを確認した。さらに移動平均を用いて入力に対する遮断周波数の影響を検討した。

上記の**2**つの情報取得方法を適用して、フィードフォワード部のモデルを構築した結果を図4に示す。データが時系列的に不連続となっているため、横軸はデータ番号である。構築結果は相関係数**0.85**と高い値を示し、**FF**情報を取得とアクセル操作との結びつきを示すことができた。これにより、ドライバはアクセル操作を行う際に**FF**情報を主に取得しながら走行しているものと判断される。

3.2 フィードバックモデル

前節のフィードフォワード部のみでは通常操縦できないため、先行車両と自車両との間の情報や自車両の情報といった**FB**情報を用いて補償制御しているものと考えられる。そこで、フィードフォワード部でのモデル結果と実験値との残差について重回帰分析を用いてモデル化を行った。重回帰モデルは目的変数に**FF**モデル作成時の残差、説明変数に車間距離、車間距離と希望車間距離との偏差、偏差の積分値、相対速度、加速度と基準加速度との偏差とした。これらの入力情報にも**FF**モデルと同様に遅れ時間（すすみ時間）と遮断周波数の検討を行い、両検討結果を適用した情報を入力情報として用いた。モデル構築結果を図5に示す。モデルの予測値と実験値との相関係数は**0.7**と高い値を示し、適切に表現できていることが分かる。

最後にフィードフォワード部とフィードバック部のモデルを重ね合わせたモデル結果を図6に示す。モデル出力値と実験値との相関係数が0.9と高い値を示し、フィードフォワード部とフィードバック部をあわせることでドライバの操縦動作を適切に表現することができた。

本概要では例として3速ギヤの結果を示したが、他のギヤにおいても同様に検討を行った。さらに本モデルで検討結果が種々のドライバに適用できるか確認を行うため、第一段階として異なる特性を示す2者のドライバにおいて適用を検討した。2者のドライバのアクセル操作量の分散比較を図7に示す。図を見ても明らかに2者の操作特性が異なることが分かる。モデル検討結果を図8及び9に示す。図8は比較的操縦性能を重視するドライバのモデル結果と実際のアクセル操作との比較、図9は燃費を重視するドライバの比較結果である。ここで、本モデルではブレーキ操作についての検討を行っていないため、現段階では時間的に不連続である。つまり図において、横軸はデータ番号を示している。両者のモデル構築結果を見てもほぼ適切にアクセル操作を表現できていることが分かる。両モデル共に実験値と予測値との相関係数は0.9以上を示し、各ギヤ及び各ドライバのアクセル操作を適切に表現が出来たと言える。

4. 因子解析

次に検討したドライバモデルの因子解析を行うことで、操作の異なるドライバ間における制御特性の違いを解析すると共に、本検討におけるドライバモデルの有用性を検討する。

まず、ドライバの遅れ時間（進み時間）について

比較する。図10は主に使用されている2速ギヤから5速ギヤまでの先行車両速度に対する遅れ時間比較を表したものである。グラフにおいて、プラス側が進み時間、マイナス側が遅れ時間を示している。両ドライバ共に5速ギヤにおいて、1~2秒の進み時間を示している。これは、5速ギヤは先行車両が一定速度で走行している状況で主に使用されているため、早い応答を必要されているためであると考えられる。このときは燃費のいいドライバの方が2秒とかなり大きな進み時間で操縦している。次ぎに発進に使われる2速ギヤを見ると、燃費のいいドライバは遅れ、操縦性能を重視するドライバは進み時間を示している。これは、操縦性能を重視するドライバが先行車両の動き出しに対して予測を伴って反応していると考えられる。さらに4速ギヤにおいては両者間で2速ギヤと反対の傾向を示している。4速ギヤはパターン走行における加速過程から一定速度過程への移行区間で主に使われており、操作として不安定になる為に燃費のいいドライバは予測を伴い操縦しているものと考えられる。次ぎに遮断周波数について検討する。遮断周波数の比較を図11に示す。図を見ると全体的に操縦性能を重視するドライバは低い周波数となっている。特に4速、5速ギヤでは低い周波数である。これは燃費のいいドライバは各状況において先行車両の速い挙動を認識している為である。

次ぎに構築したモデルにおけるFFモデル部及びFBモデル部の比率を比較する。図12に操縦性能を重視するドライバ、図13に燃費を重視するドライバの結果を抜粋したものを示す。図を見ると両ドライバ共にFF要素が大きな値を示している。特に燃費を重視するドライバはFF要素が大きな値となっている。つまり燃費を重視するドライバはFB要素による

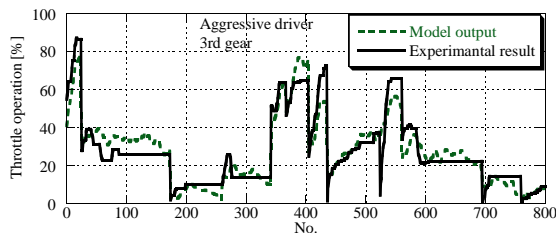


Fig.6 Result for combined model

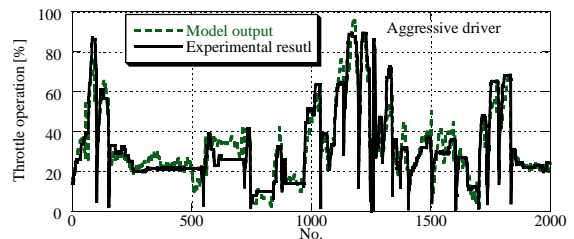


Fig.8 Result for model (Aggressive Driver)

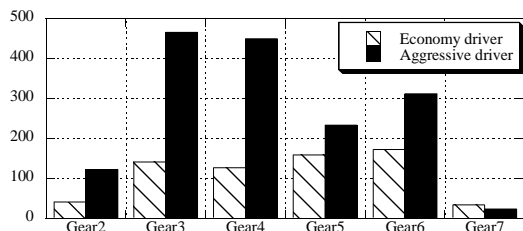


Fig.7 Values of variance of throttle operation

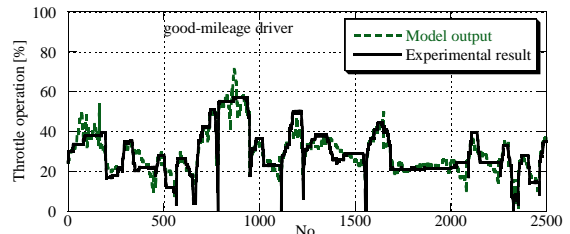


Fig.9 Result for model (good-mileage driver)

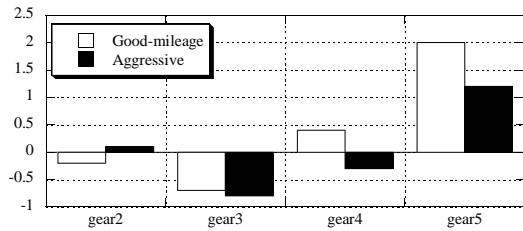


Fig. 10 Comparison of time-delay

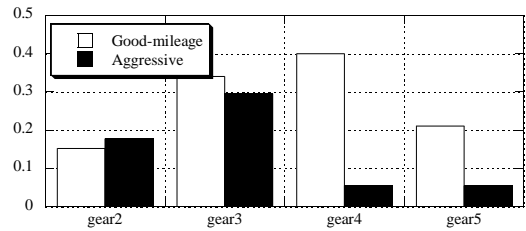


Fig. 11 Comparison of cut-off frequency

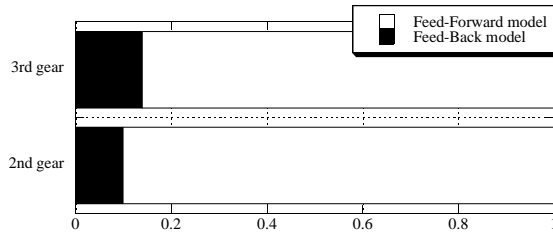


Fig. 12 Ratio map between FF and FB for good-mileage driver

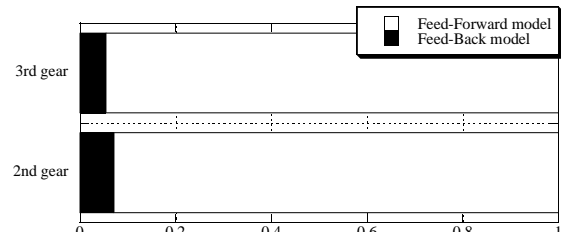


Fig. 13 Ratio map between FF and FB for aggressive driver

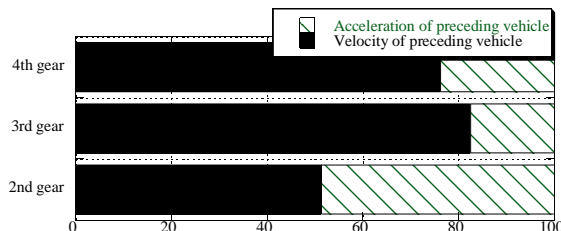


Fig. 14 Results for feed-forward model for aggressive driver

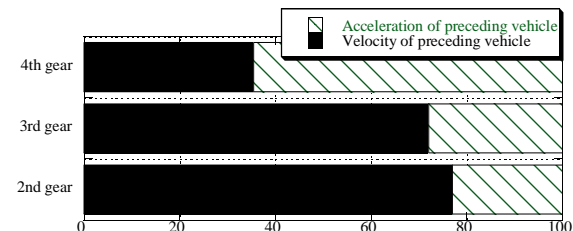


Fig. 15 Results for feed-forward model for good-mileage driver

補償制御が少なく、先行車両の挙動に合わせた的確な操作を行っていると考えられる。さらに、影響の大きい **FF** 要素をより詳しく図 14, 15 を用いて確認する。図 14 は操縦性能を重視するドライバーの先行車両速度と加速度の比率比較、図 15 は燃費を重視するドライバーの比率比較である。両グラフを比較すると、低いギヤから高いギヤとなるに従い両ドライバーの特性が逆転している。これはギヤがあがるに伴い追従過程（走行状態）で主に使用する為に、燃費を重視するドライバーは高次の情報である先行車両加速度の影響が強くなっていると考えられ、反対に操縦性能を重視するドライバーは発進時に高次の情報を使用している。これらの結果は先の遅れ時間比較とも対応を取ることができ、燃費を重視するドライバーは追従過程において高次情報を主に用いており、かつ速い予測動作となる。逆に操縦性能を重視するドライバーは発進時において予測動作になり、高次の情報を用いている。

これらの結果は推察する両ドライバーの特性と大差ない為に、本モデルの妥当性も示すことが出来たと考えられる。

5. まとめ

本概要ではドライバーの取得情報に着目して実車実験結果を用いてドライバーのアクセル操作の検討を行っ

てきた。まずドライバーの情報取得アルゴリズムを重回帰分析を用いて検討し、その構造を推察した。さらに推察した構造の確認に実験データを用いて実際にモデル化し、モデル適合度から構造の妥当性を示した。さらに構築したモデルを用いて特性の異なるドライバーの因子解析をすることで、本モデルの有用性及びドライバー間の違いを検討し、十分にドライバーの特性を検討できる事を確認した。今回検討した 2 者のドライバーの特性の違いは、因子解析結果から以下のように示された。

- ・ 入力情報に対して、操縦性能を重視するドライバーは比較的低い遮断周波数を用いている。
- ・ 操縦性能を重視するドライバーに比べ、燃費を重視するドライバーは比較的 **FF** 要素の影響が大きい。
- ・ 燃費を重視するドライバーは追従過程において高次の情報、さらに操縦性能を重視するドライバーは発進時において高次の情報の要因が大きい。

今後はより多くドライバーのモデル化を検討すると共に、今回検討を行わなかったドライバーの非線形性や動特性の検討をしていきたい。

参考文献

- 1) Ryo Iwaki et al: Study on Longitudinal Control Analysis of Driver of Heavy Duty vehicle following another vehicle. *IAVSD Symposium*, 2005