

大型車両のための加減速制御用ドライバモデル解析に関する研究

日大生産工（院）○岩 城 亮 日大生産工 景 山 一 郎
日大生産工 栗谷川 幸代

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で問題となっている燃費は原動機の特性の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、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っている。

2. ドライバの操縦動作

ドライバの操縦動作を列举すると、アクセル操作、ブレーキ操作、ギヤチェンジ操作、ステアリング操作の4操作である。これらは互いに干渉し合うが、本研究では燃費に影響を主に及ぼすと考えられ、またACCなどのITS技術への適用を考え、前後方向制御動作であるアクセル操作、ブレーキ操作、ギヤチェンジ操作に着目した。個々の制御動作について考慮すると、アクセル操作、ブレーキ操作はギヤ毎に異なる感覚で操作をしていると考えられる。またギヤチェンジ操作においてはギヤを維持する、上げる、下げるといった行動を常に選択していると考えられる。

本研究ではこれらの制御動作の検討を行うため、人間の制御動作を数学的に表現し、ドライバの情報処理過程を観測できるドライバモデルを構築することにより制御動作解析を行う。モデル化は、まず大局的にドライバの動作を押さえるため構造を規定せず、線形静的なモデルを重回帰分析を用いて構築し、回帰係数を用いた因子解析結果を

もとにドライバの平均的な特性を解析する。次にモデルを準動的に拡張し、ドライバの動特性を含めた解析を行う。さらに、モデル解析の精度向上のためモデル構造の検討を行っていく。線形静的なモデルについては、第36回日本大学生産工学部学術講演会機械部会にて発表を行ったため、本報告では準動的モデル及びモデル構造の検討について報告する。

3. ドライバモデルの構築

3.1. 車両実験

ドライバのモデル化を行うため、テストコースにて実験を行った。実験車両は表1に示す大型車両を用いた。実験条件は図1のように距離に応じた速度を規定したパターン走行を先行車両に行わせ、実験車両はその後ろからドライバの意志で追従させた。計測項目はドライバの制御動作として、ブレーキ、アクセル開度、リターダ、排気ブレーキ、車両状態量として、車速、操舵角、左右車輪速、エンジン回転数、ギヤ位置、環境情報として車間距離、以上12項目である。

3.2. 準動的ドライバモデル構築

ドライバの早い応答特性を考慮するため、重回帰分析を用いたドライバモデルを動的に発展させて準動的なモデルを構築した。モデル全体像を図2に示す。図は重回帰モデルにフィードバック結合を追加することにより、アクセル操作の動特性表現を可能としたものである。アクセル操作の動特性を表現するためには、アクセルを踏み足すか戻すかといった操縦動作を推定することになる。

ドライバモデルの構築にあたり、まず車両実験結果を用いて、モデルの入出力間において同定する必要がある。そのため、ドライバへの入出力項目を線形式で結び重回帰分析を用いて同定を行った。モデル式を以下に示す¹⁾。

$$\dot{q} = a_0 + a_q \cdot q + a_l \cdot x_l + L + a_n \cdot x_n \quad (1)$$

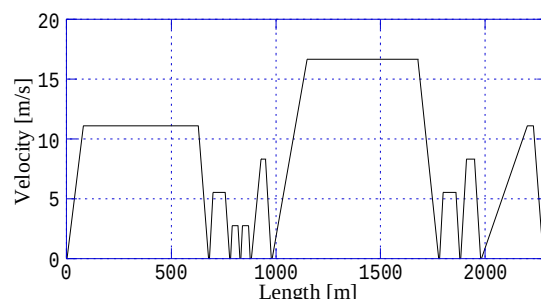


Fig.1 Field test pattern

Table 1 Vehicle specifications

Length	[mm]	11990
Width	[mm]	2490
Hight	[mm]	3775
Wheel Base	[mm]	7180
Weight	[kg]	12140
Displacement	[cc]	12882
Transmission		7M/T

Study on a Analysis of Driver Model for Longitudinal Control on Heavy Duty Vehicle

Ryo IWAKI ,Ichiro KAGEYAMA and Yukiyo Kuriyagawa

ここで、モデルからの出力項目（以下目的変数）はアクセル操作量の時間的微分値であるアクセル速度、モデルへの入力項目（以下説明変数）は車両状態量、アクセル操作量、および車間距離情報である。ここで車両状態量は、速度、加速度及びジャーク、車間距離情報は、目標車間距離との偏差に応じた項目を変数とした。目標車間距離は、ドライバが目標とする車間距離が速度に依存するものと仮定し、速度と車間距離が一定となる部分を抜き出し、その関係を2次の最小二乗法で近似して作成を行った。作成した目標車間距離を図3に示す。偏差項目は、目標車間距離との偏差、及び偏差の積分値、先行車両との相対速度とした。これは、車間距離偏差に応じたPID制御要素に相当する。

重回帰分析を用いてモデル構築を行う場合、説明変数間の多重共線性問題を考慮しなければならない。これは説明変数間に高い相関がある場合に、回帰係数の標準誤差が非常に大きくなるため、構築したモデルの信頼性が低下することである。そこで各説明変数間において変数増減法（ステップワイズ法）を適用し、多重共線性問題の確認を行った。その結果、すべての説明変数が選定され多重共線性は問題ないことがわかった。

上記の入出力情報を基に同定した結果を図4に示す。ここで、同定結果と実験結果との2変量相関係数を見ると

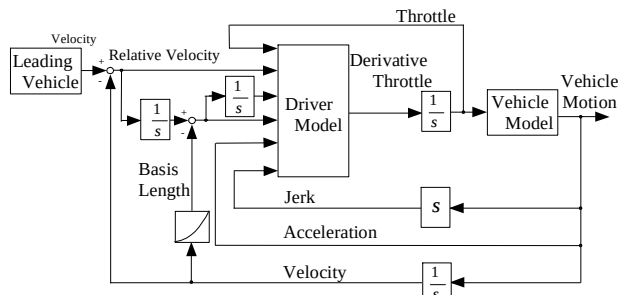


Fig.2 Structure of a model

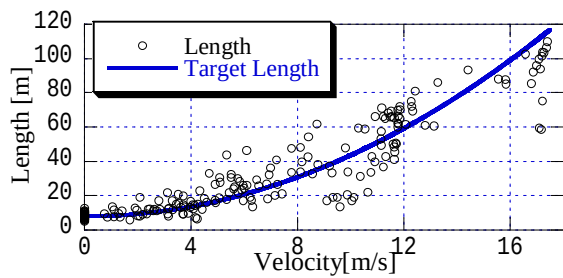


Fig.3 Target length

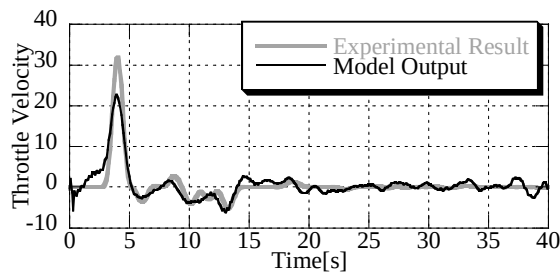


Fig.4 Result of model identification

0.94と高い値を示している。この結果、アクセル速度と種々の入力項目との結びつきを定量的に再現できたものと考えられる。

4. シミュレーション解析

研究の目的の一つとして、台上試験において使用する操縦アルゴリズムの構築が上げられる。また、構築したドライバモデルの動特性表現についての確認を行うため、ドライバモデルと車両モデルを用いてシミュレーションを行うことによりこの確認を行った。

4.1 車両モデル構築

シミュレーションに用いるための前後方向車両モデルを構築した。車両モデルの基本的な概念図を図5に示す。モデルはアクセル入力に対し、アクセルとエンジン回転数からエンジンの特性を用いてエンジン出力トルクを求め、各ギヤ比（1次減速および2次減速）を考慮してタイヤ周方向の駆動力とした。また、ブレーキに対しては、ブレーキストロークと制動力との関係を実験からデータベース化し、車両モデルへ組み込んだ。本車両モデルの結果を図6に示す。図においてa図はアクセル入力である。このアクセル入力に対する車両応答の比較を実車と車両モデル間で行った結果がb, c図である。これらより実験データとモデルの結果が定性的、定量的に一致していることが確認できる。

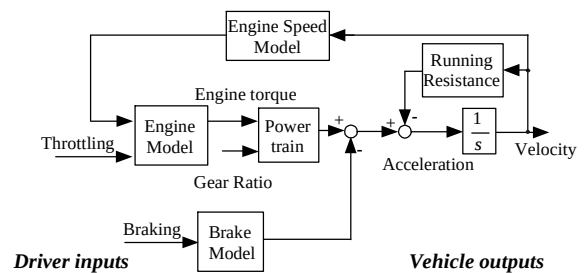


Fig.5 Vehicle model

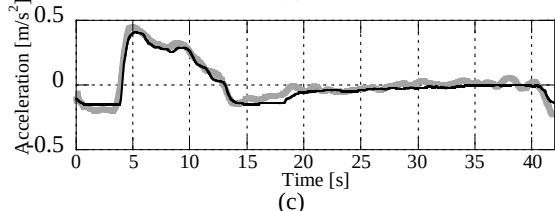
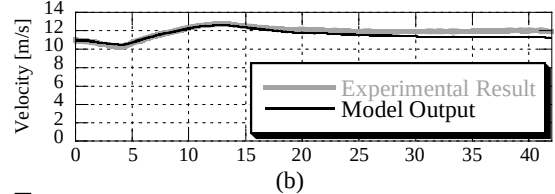
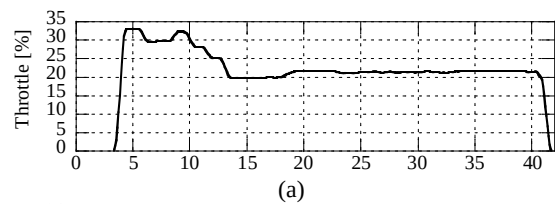


Fig.6 Result of vehicle model

4.2 シミュレーション

車両モデル及びドライバモデルに初期値を、またドライバモデルに先行車両の速度を与え、後はフィードフォワード及びフィードバック結合によって得られるアクセル操作量と車両状態量を入力とし、シミュレーションを行った（図2参照）。計算に用いた入力情報として、先行車両に速度約45[km/h]で走行している実験データを用いた。シミュレーション条件としてギヤ位置は5速一定、初期車間距離を60[m]、自車の初速度を47[km/h]とした。シミュレーション結果を図7に示す。a図はドライバモデルから出力されたアクセル開度、b図は車間距離、c図は先行車両の速度と自車速度との比較を示したものである。シミュレーション時の基準車間距離を算出すると約50[m]であり、基準車間距離より少し広めの車間距離で先行車両を追従していることがわかる。

本モデルにおいてドライバの操縦動作が的確に行われているか確認するため、フィードバック係数に時々刻々の各状態量をかけあわせ、時間で積分していくことでアクセル操作に対する各入力の時系列的な変動を検討した。この解析結果を図8に示す。本解析を明確に行うため、特徴的な部分を抜き出して解析を行った。そこで図を見ると20秒付近において車間距離が一時的に短くなっているため、この前後において、「車間距離が縮まるフェーズ」と「車間距離が広がるフェーズ」にわけ、時系列的な変動の平均値を求めた結果を図9に示す。a図が縮まるフェーズ、b図が広がるフェーズである。a図では車間距離偏差の値のみが大きく出ており、b図においては加速度や相対速度が大きく出ている。これは先行車両の一時的な減速に対して縮まっていくフェーズではドライバモデルが先行車両との

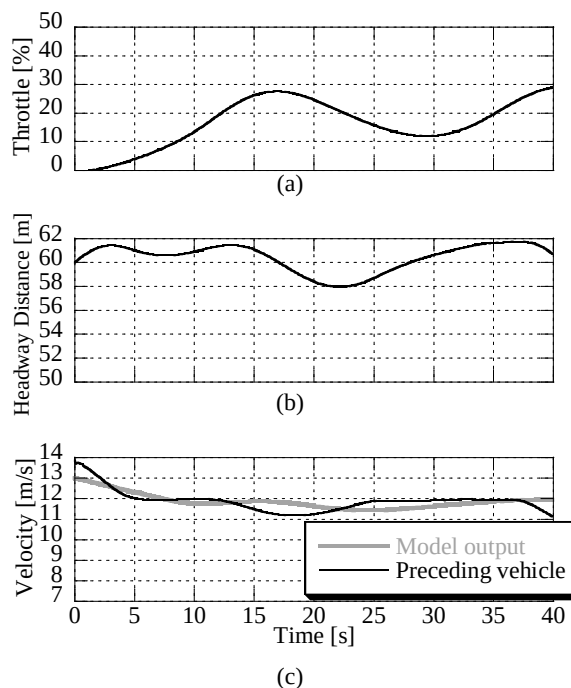


Fig.7 Result of simulation

距離のみを確認しており、広がっていくフェーズではドライバモデルが先行車両の動きに合わせた操作となるために予測に必要な要素が大きく出ていると考えられる。

このようなシミュレーション解析結果から本ドライバモデルが適正にドライバの制御動作を表現できていることが分かる。

5. モデル構造の検討

前章まで、大局的にドライバの制御動作を押さえることに主眼を置き、そのモデル化検討及びシミュレーション解析を行ってきた。しかし、より精度高くドライバをモデル化し、解析をしていくためにはドライバの制御動作特性の変化に着目していく必要があると考えられる。そこで本章では、車間距離保持特性の変化に着目し、前述の線形モデルを用いて解析を行う。

5.1 車間距離保持特性変化

まず車間距離の保持特性を確認するため、実際の実験データから確認を行った。走行開始から80秒間抜き出し、速度と車間距離変化のベクトル平面を図10に示す。図において、太線が走行開始直後の加速時、細線が一定速度走行時、点線が減速時である。図から、一定速度走行時では車間距離保持特性に変化が生じていることがわかる。より詳細にこの現象を確認するため、図11に先行車両との相対速度と車間距離の位相面を示す。図において発進時は先行車両に遅れて相対速度が上がり、その後広がった車間距離を縮めるために追いつこうとしている様子が確認できる。つまり、加速時では離れすぎず、近づきすぎずを繰り返している。これに対し、一定速度走行時では車間距離をあまり意識せずに走行している様子が確認できる。

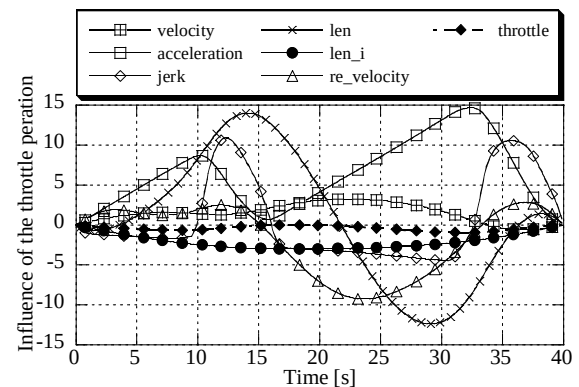


Fig.8 Influence of the throttle operation

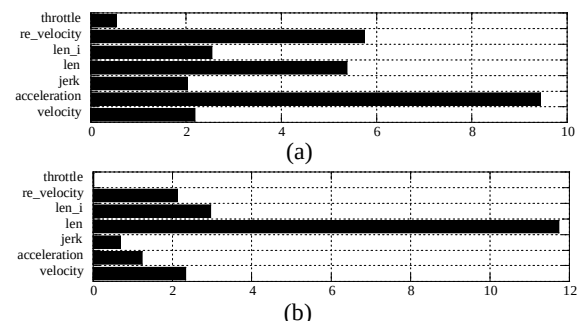


Fig.9 Influence of the throttle operation

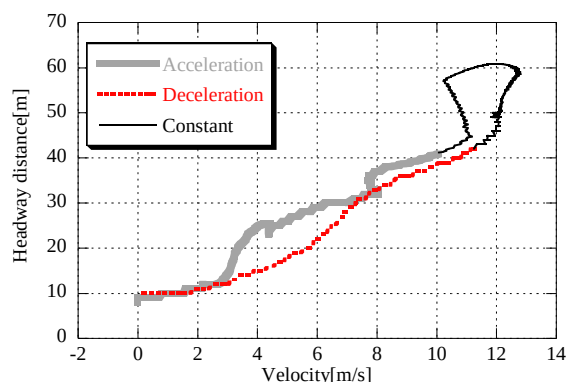


Fig.10 Relationship between velocity and headway distance

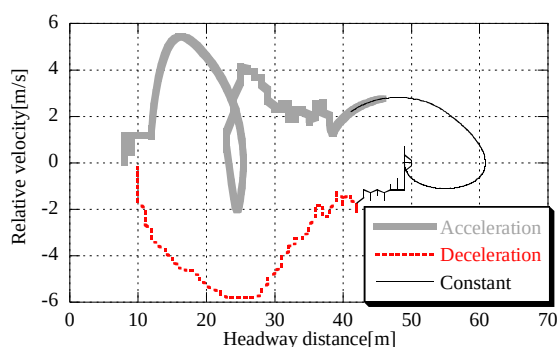
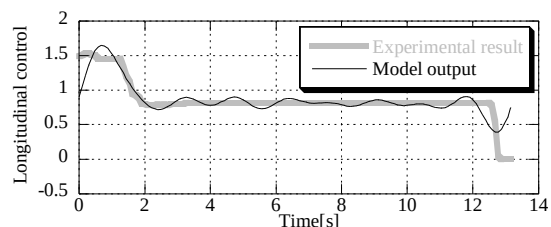
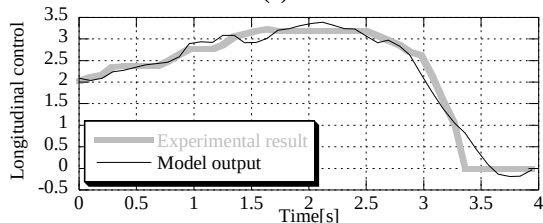


Fig.11 Relationship between relative velocity and headway distance

次にこの車間距離保持特性が同一ギヤ内においてどのようにドライバの操作(ここでは特にアクセル操作)に影響するのかを確認するため、同一ギヤで「加速時」と「一定速度走行時」の2つの部分を切り出して解析を行った。解析にはドライバの特性を明瞭に解析することができる重回帰分析を用いた線形静的モデルを構築し、モデルの因子解析を行うことで確認をする。目的変数はアクセルとブレーキを無次元化して重ね合わせた前後コントロール、説明変数は速度、加速度、ジャーク、車間距離、相対速度とした。モデル構築結果を図12に示す。a図が加速時の結果、b図が一定速度走行時の結果である。両モデルとも決定係数0.9と高い値を示し、モデルが実験値をよく表現できているため、標準偏回帰係数を用いた影響度解析を行った。標準偏回帰係数の比較グラフを図13に示す。図を見ると加速度の影響が大きい、両条件ともほぼ同じくらいである。これは、加速度とアクセル操作との関係が一定となっているためである。加速時と一定速度走行時との違いを見ていくと、加速時では一定速度走行時に比べ相対速度や車間距離が大きな影響を示している。さらに一定速度走行時は加速時に比べ、速度やジャークなどが大きな値を示している。つまり、加速時では先行車両に対し必ず離れずと意識して走行しているために、車間距離等の影響がおおきくなり、一定速度走行時では先行車両をあまり意識せずに走行を行うため、速度やジャークなど自車の挙動に関する因子が大きくなっていると考えられる。これらの結果はベクトル平面や位相面を用いて予測



(a)



(b)

Fig.12 Result of the model

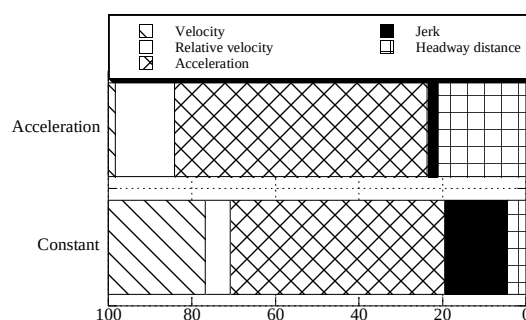


Fig.13 Standardized regression coefficient

したドライバの特性と合致しており、ドライバモデルを用いた解析結果から加速時と一定速度走行時ではドライバの車間距離保持特性が異なっていることが明らかとなった。

5. まとめ

本報告では、大型車両を運転するドライバの加減速制御動作をドライバモデルを用いて検討した。ドライバの動特性を考慮したモデルとして準動的なドライバモデルを構築し、車両モデルと合わせたシミュレーション解析を行うことで、モデルの妥当性を確認した。また、時系列変動比較による時系列的なアクセル操作量に対する影響因子の変動を見ていくことで、本モデルがドライバのアクセル操作とドライバが認知している種々の要素との関係をアクセル操作の動特性も含めて再現できることを確認した。さらにより精度よくドライバのモデル化を行っていくため、ドライバの車間距離保持特性の変化に着目し検討を行った。検討に、実験データの解析から特性変化点の抽出を行い、各状態での静的なドライバモデルを構築することで、特性変化を確認した。

今後一層の汎用性を求め、より詳細なモデルを構築していくため、ドライバ特性変化を考慮に入れたモデル構造へ展開していく必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 大西信太郎：多変量解析によるドライバモデルの構築とその操縦動作の因子解析に関する研究，自動車技術会学術講演会前刷集 No.92-00