

低μ路におけるドライバモデル構築

日大生産工(院) ○岡田 和幸 日大生産工 景山一郎
日大生産工 栗谷川幸代

1. まえがき

近年、交通事故低減および運転支援の観点から、レーンキープに代表される操舵支援システムが開発されている。操舵支援の設計開発をする上で重要なことの1つに、ドライバの操縦動作をどのように表現してシミュレートするかが挙げられる。これまでこのようなシステムは平均的なドライバの特性を基に設計が行われており、有効性は認められているがその一方で、平均的なシステムであるためにお節介感等の違和感がある場合がある。そのためその解決策として個人適応型のサポートシステムの開発が望まれる。また初心者ドライバに焦点を当てた場合、習熟度合いによって個人差が大きく、必要なサポートの量は時々刻々変化するものと考えてられる。特に雪氷路において、乾燥路とは異なりドライバが思ったよりハンドルが切れ過ぎてしまったといった状況が起こる。そこで本研究では、このような路面において走行に慣れていないドライバがどのように路面に適応していくかについて、その習熟過程を検討する。

2. 実験内容

路面におけるドライバの操舵特性を確認するため、日本大学理工学部交通総合試験路で、乾燥路のデータを、北海道士の別試験場で圧雪路のデータを取得した。実験は、パイロンで仕切られたレーンチェンジ路での走行試験を行った。実験コースは直線部

とレーンチェンジ部からなり、レーンチェンジ部は式(1)に示す。実験コースを図1に示す。また路面摩擦係数を表1に示す。実験車両は国産3000ccの普通乗用車を使用し、被験者は男性、年齢24歳、雪路での運転経験に乏しいドライバとした。実験はコース進入時に速度が40km/hになるように加速しコースに突入し、ハンドル操作を行いながらコース内を自由に通過するよう教示した。計測項目は自車の状態量、自車の位置とした。

$$y = \frac{a}{b}x - a \sin\left(\frac{2\pi x}{b}\right) / 2\pi \quad (1)$$

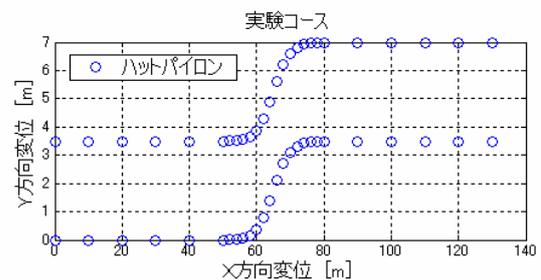


Fig.1 Target cause

Table.1 Friction Coefficient of road

| | Friction Coefficient |
|--------------|----------------------|
| Dry Surface | 0.875 |
| Snow Surface | 0.351 |

2.1 実験結果

雪路の走行において走行軌跡は直線的になりパイロンの脇を通り過ぎるような軌跡になることが分かる。また雪路、乾燥路における周波数解析を行った結果を図2に示す。各路面とも0.4Hz付近に周波数のピークがあることがわかる。雪路において多少の修正操舵を表すような振動は見られたが、大きくカウンタステアを切るといった運転動作は見られなかった。

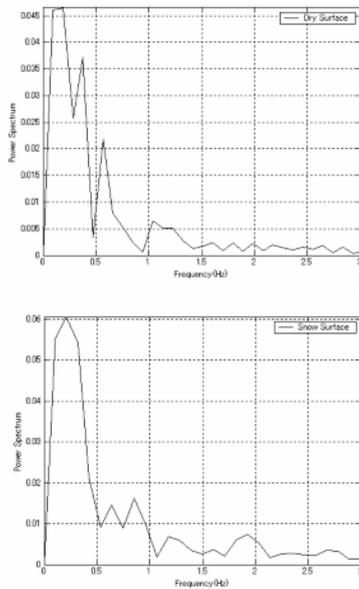


Fig.2 Frequency of Steer angle

3. ドライバモデルの構成

習熟過程におけるドライバの運転特性について検討するため、ドライバの操縦動作を実験データから走行毎にモデル同定を行った。まず走行時のドライバの取得情報について検討した。規定されたコースを走行する場合、ドライバが取得していると考えられる情報としては、コース形状とコースと自車との相対位置情報などが考えられる。ここで、コース形状は自車両の動きに依存しないため、ドライバはフィードフォワード (以下 **FF**) 情報として取得していると考えられる。またコースと自車との相対位置情報は自車両の動動に依存するため、フィードバック (以下 **FB**) 情報として取得しているものと考えられる。こ

れらを基に構築した概略図を図3に示す。ドライバはコース情報に応じたハンドル操作を行い、自車の姿勢角が意図しない角度であるとか、パイロンへ接近しすぎたと感じた時に修正を加えていると考えられる。つまり、**FF** 情報を主情報として操縦を行い、**FB** 情報で状況によって補正を行っていると考えられる。そこでモデル化に伴いまず **FF** 部分をモデル化し、**FF** のみでは表現できない修正操舵分を **FB** モデルとして構築することとした。

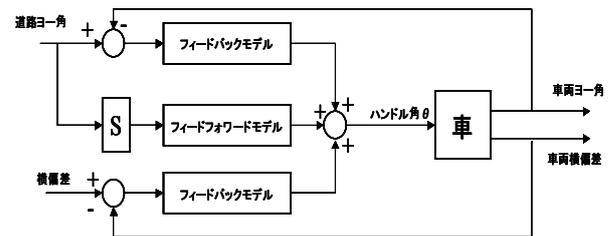


Fig.3 Construction of the driver's operation

3.1 フィードフォワードモデル

ドライバは、コース情報に対して遅れや進みを伴って操作を行っていると考えられる。この遅れ (進み) 時間を考慮するため、**FF** モデルにおける入力項目であるコース情報 (道路ヨーレート) と出力項目である操舵角において相互相関関数を用いて、そのピーク値における遅れ時間を求めた。さらにドライバは道路形状を認識する際に直接形状認識しているとは考えにくく、ローパスフィルタを用いて認識しているものと考えられる。そこで入力情報である道路ヨーレートにローパスフィルタを適用し、周波数毎のハンドル角との相関係数からドライバが用いている遮断周波数の検討を行った。

遮断周波数および遅れ時間を考慮した道路ヨーレートに対する操舵角のモデル化 (**FF** モデル) を行うために、回帰分析を行った。モデル出力である目的変数に操舵角、入力である説明変数には道路ヨーレートを採用し構築した。図4に構築結果を示す。モデルの相関係数は0.7以上の数値を示しドライバの操舵が

FF 情報を取得し運転している可能性を示唆できた。

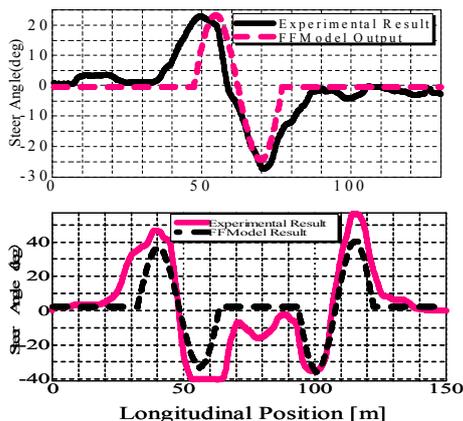


Fig.4 Result of FFmodel

3.2 フィードバックモデル

図4から明らかなように FF モデルのみでは通常自動車を運転できない。これは FB 情報を用いて補正を行っている部分であると考えられ、FF モデルの残差と FB 情報を用いてモデル化の検討を行った。モデル化には重回帰分析を用い、説明変数は FB 情報による操舵角との相関が高い相対横偏差, 相対ヨー角, 目的変数は FF モデルの残差とした。構築したモデル結果を図5に示す。図より明らかなように FB モデル結果は、乾燥路面に関して実験結果を良く表現しているものと考えられ、これによりドライバの修正操舵を表現できていると思われる。しかし雪路に関してのモデル結果は十分にドライバの操舵を表現できているとは言いにくい。そこで摩擦係数の低い路面においては乾燥路とは異なる運転動作をしていると考えられる。そこで、車両の安定性を確保する為のハンドル操作を行っていると考え、検討を行う。

はじめに、ドライバの操作であるハンドル角と車両状態量であるヨーレートに着目すると、この2つの波形（ピーク値含）に遅れはなかった。これはつまりドライバがハンドルを切つてすぐに車両は曲がり始めたことを意味しており、車両がスピンするほど大きな姿勢変化をさせていないものと考えられる。このこ

とは前述の周波数解析の結果からも明らかとなる。低摩擦路面ではカウンタステアほどの大きな動作ではないが、車両を安定化するための状態フィードバックを取り扱う。

なおカウンタステア成分に関しては操舵角, ヨーレート2つの波形の相関は高くずれがないこと、遅れがほとんど無くヨーレートが操舵角に追従していることなどから今回は無視する。この操舵に関してこれまでと同様に実験値の操舵角から FF+FB のモデル出力を差し引いた残差の値で検討を行う。

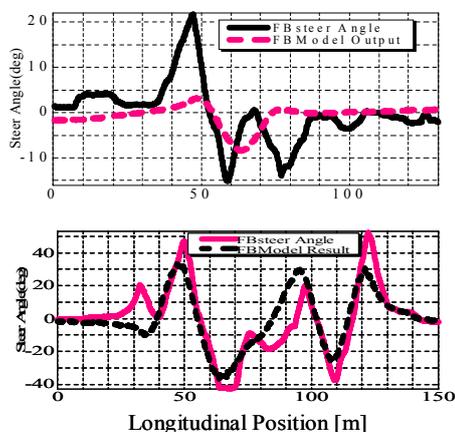


Fig.5 Result of FBmodel

3.3 安定化のための状態フィードバック

前項で述べたように車両の安定化の操舵を考えるに当たり操舵角から FF+FB のモデル出力を差し引いた残差の値を用いる。ドライバが車両を安定化、スピンしないように制御を加える際に用いる情報は、車両が自分の意図する進行方向や挙動を示しているか、つまり車両状態が有効である。このうちハンドル角との相関が高い、車両の向き(ヨーレート)及びその微分値(ヨー角加速度)を採用し、これらを説明変数、状態フィードバックによるハンドル角を目的変数として、前項まで同様に回帰分析を用いてモデル構築を行い、その結果を図6に示す。

またこれら FF 部, FB 部, 状態 FB 部, の3項目を足し合わせたモデルを図7に示す。

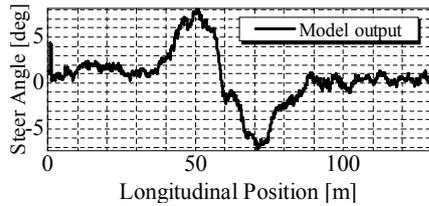


Fig.6 Model output

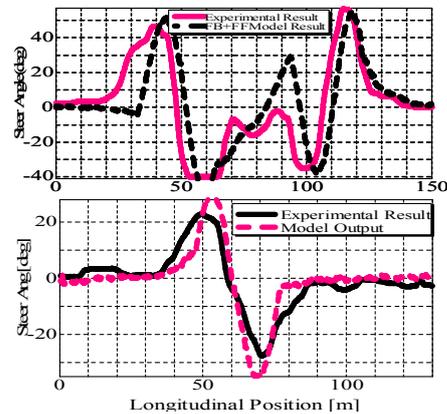


Fig.7 Model output

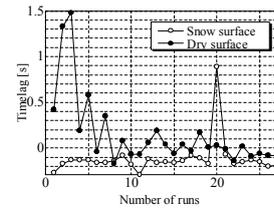


Fig.8 Lag time

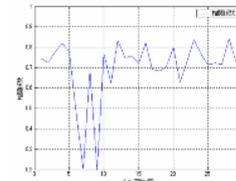


Fig.9 Coefficient of Correlation

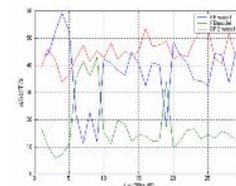


Fig.10 Element of model

4. モデルを用いた運転特性解析

ドライバの習熟過程を検討するため、3章にて構築したモデルの解析を行う。まずコース情報に対する遅れ（進み）時間の変化を検討するため、走行毎の結果を図8に示す。この図より乾燥路とは異なり、ハンドル操作は実験初期から実験終了までコースに対して進み要素になっている。これは被験者が完全な初心者ではなく路面も思ったより滑らないため道路形状に対して事前に予測するような操舵が行えていると考えられる。次にモデルの相関係数の推移を図9に示す。相関係数はほぼ0.7以上の相関を示している。これよりドライバの操舵をほぼ適切に表現できていると考える。またFFとFB要素以外の情報を取得して操舵しているとも考えられる。そこで実験で得られた操舵角からFF+FBモデルを引いた残差を状態安定するためのFBとし、3つの成分の比率を求めたものを図10に示す。結果より、フィードフォワード要素と状態を安定化するためのフィードバックの項が高くこの2つの情報を取得し運転していることがわかった。雪路のように摩擦係数が低い路面

を運転する際、ドライバが思ったより曲がらずにハンドルを切り増すといったような動作やハンドル角に対して車両のヨーレートが遅れて追従するといったような状況が考えられる。そのためドライバが乾燥路とは異なった修正動作を行っていることが確認できた。

5. あとがき

雪路においてドライバモデルの構築を行った。乾燥路とは異なりFF要素が回数を重ねるごとに高くなる傾向は見られなかった。雪路では車両を安定化させるための動作があることが分かった。

問題点として摩擦係数の低い圧雪路面であったが、試験速度があまり早くなかったことや試験路面に水分が少なく乾燥路のように運転できてしまったこと、被験者が乾燥路では運転に慣れていたため、初めから終わりまで大差のない運転になったことが挙げられる。

参考文献

- (1)景山：人間－自動車－環境系から見たドライバモデルについて，自動車研究，Vol.14,No4(1992)