

○ フェロー 景山 一郎 (日本大学) 正 栗谷川 幸代 (日本大学)

Ichiro KAGEYAMA · Yukiyo KURIYAGAWA
Nihon University, 1-2-1 Izumi-cho, Narashino-shi, Chiba

Key Words: Driver Model, Driving Support, Control Behavior, Feedback Control, Feed-forward Control

1. まえがき

現在、自動車の安全性、快適性、利便性等の観点から、自動車における知能化、情報化がキーテクノロジーとなっている。特に車両を中心においた場合、運転支援システムをどのように構築するかが重要な課題の一つとなっている。これらの開発にはいくつかの課題があるが、特にドライバとの関係からは次のような問題点を解決する必要がある。

- ①どのような状況がドライバにとって高負荷となるのか。
- ②どのような運転支援を行うとドライバの負担軽減につながるのか。
- ③構築するシステムとドライバとのインターフェイスはどのように設計すべきか。

このような観点から検討を行う場合、ドライバの運転動作を解析する必要があるが、この取り扱い手法が確立されていないのが実情である。

通常、このようなシステムの評価を行うためには、ドライバの主観評価、生体反応を用いた評価、等価制御動作モデル(以下ドライバモデル)を用いたパラメータ評価等々が考えられる。特にドライバの負荷状況や情報処理等を検討する場合、ドライバモデルを用いると、その評価が数値的に取り扱えるメリットがあり、比較検討が行いやすい。そこで、本研究では運転支援システム構築のための前段階として、ドライバの運転動作を解析することによりドライバモデル構築を行い、この制御パラメータを用いてドライバの運転動作解析の可能性を検討する。

2. ドライバモデルの基本構成

ドライバが通常行う操舵を考えると、次のように分類することができる。

- (1) 道路環境に合わせて車両の位置を規定する。
- (2) 車両の安定性を確保する。
- (3) 外乱に対する修正や不随意に行う操舵外乱。

この中でドライバが行う第一のタスクは(1)の内容になる。また(2)の内容は車両の挙動変化に対するものであり、雪道等におけるスリップ時のカウンターステアがこの代表的な操舵となる。そこで、これらのタスクを全て含むドライバモデル検討を行う必要がある。そこで、ドライビングシミュレータを用い運転動作計測を行い、これを用いドライバの基本操舵特性検討を行った。なお、本実験のコースは自動車専用道路走行時のものであり、片側1車線の道路を約4.0 km 区間運転したものである。

ドライバへの各種入力情報と出力である操舵角について相関を取ったものを図1に示す。ここで採用した入力情報は、検討に用いた入力位置規定情報と考えられる路面形状(カーブ曲率、センターラインのヨー角、センターラインのヨー角速度)および相対変位(センターラインからの横位置、センターラインとの相対角、相対角速度、一次予測偏差、二次予測偏差)である。図中の上段3つは道路情報であり、フィード

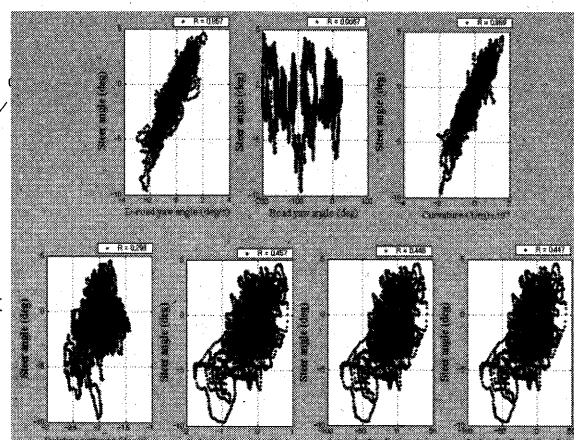


図1 道路および車両位置情報と操舵角との関係

ードフォワード情報となり、下段4つは相対位置および予測を含む相対位置情報である。この結果より、道路の曲率に相関する項目の相関が非常に高いが、相対位置等に係わるフィードバック項の相関が比較的低いことが分かる。

以上の結果より車両を道路に対して走行させるためには、主成分としてフィードフォワードが大きいことが分かった。しかし、この値だけでは安定した操縦は行えない。つまり、位置決めのためのフィードバックを必要とする。そこで、実験で得られた舵角より、前述のフィードフォワードによる成分を差し引くことにより、それ以外の操縦についての検討を行った。採用した情報は、道路との相対ヨー角、相対横変位、一次予測偏差、二次予測偏差である。操舵角との比較を行った結果、これらの値の相関は比較的低いことが分かり、これらをフィードバック要素として採用できないことが明らかとなった。そこで、相対ヨー角およびヨー角速度、横変位と横速度、これに相対横変位の積分値を加えた5項目について重回帰分析を行ったところ、図2に示すように、高い重相関

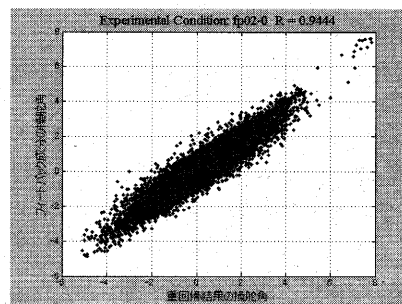


図2 フィードバック情報と操舵角の比較

係数を得ることができた。そこで、これらをフィードバック情報として取り扱うこととした。この解析には、この他フィードバック情報に対するローパスフィルタの効果、応答遅れの影響等が考えられ、これらを考慮した。これらをまとめて表示すると、図3に示すフローチャートとして表すことができる。

図中のドライバを示すブロックには、フィードフォワード情報に対するフィルタ要素、各制御動作に対する遅れ時間を考慮している。また、フィードバックに関しては、角度に対しPD制御、横変位に対してはPID制御となっており、ともに遅れ時間を考慮している。

次にこれらのモデルがどの程度実際のシステムを表現しているかが問題となるので、図4にWレーンチェンジ時の実験結果とこのモデルの出力の比較を行う。上図はこのモデルによる操舵角と実験時の操舵角の比較であり、中間の図はモデルの出力のうち、フィードフォワード項のみと実験時操舵角の比較である。この図よりフィードフォワードが操舵の主成分を表現していることがわかる。また最後の図は、実験時の操舵角からフィードフォワード成分を差し引いたものと、フィードバック操舵の比較を行ったものである。この結果より、本モデルによりドライバの特性を十分に表現できていることが分かる。そこで、このモデルを用いてドライバの特性解析に適用を試みる。

3. 制御パラメータを用いたドライバ特性評価の可能性
図3で示したモデルにおいて、フィードフォワード成分は情報に対する時定数 T 、フィードフォワードゲイン K_0 、および遅れ時間 τ_0 により表現されている。そこで、これらについて4名の被験者のパラメータ検討を行い、特性評価の可能性について検討を行う。

図5にフィードフォワードのカットオフ周波数および遅れ時間の結果を示す。カットオフ周波数は各被験者の操舵の

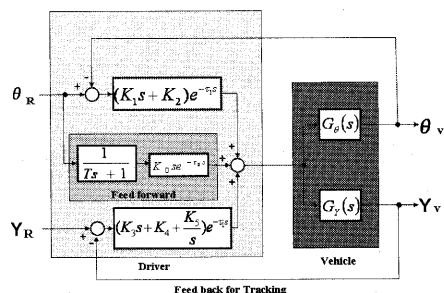


図3 ドライバモデル

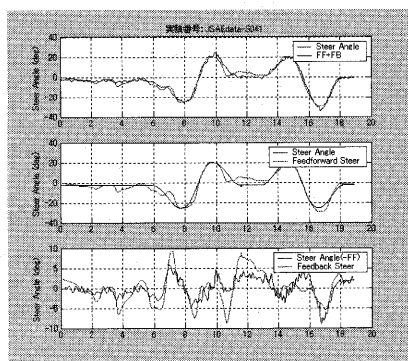


図4 モデルの出力と実験結果の比較

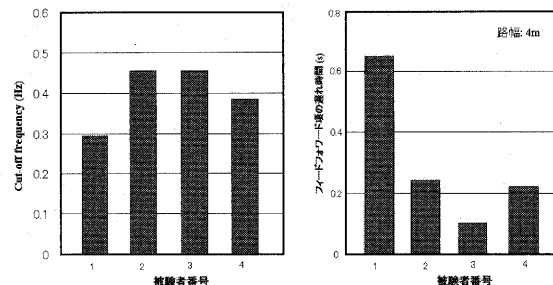


図5 フィードフォワードパラメータ

主成分であるフィードフォワード項がなめらかな操舵になるか（低周波数要素）、コース追従性を重視した早い操舵になるか（高周波数までの要素）を決定する要素であるが、各被験者によりだいぶ異なることが分かる。

同様に情報を操舵に反映する遅れ時間 τ_0 に注目する。図に示すように、この値は被験者により相当大きく変化することがわかる。この遅れ時間は、道路形状により変化するが、概ね遅れが増加することにより、道路形状に若干遅れ気味にフィードフォワード情報を操舵に反映させるため、その波形の立ち上がりを確保する必要がある。逆にこれを早くした場合（特に位相進み）、他の要素との関連からアウト・イン・アウトと称されるコース取りを可能とする。これにより、カットオフ周波数およびゲインと強い関連をもつことになる。

次に各フィードバック情報の比率について検討する。図6に重回帰分析における標準偏回帰係数を示す。図より被験者により、フィードバック情報のどの値を重視しているかが異なることがわかる。しかし、全体的な特徴をつかむと、横方向の相対速度の影響が小さく、逆に横変位の積分値を重視していることが分かる。

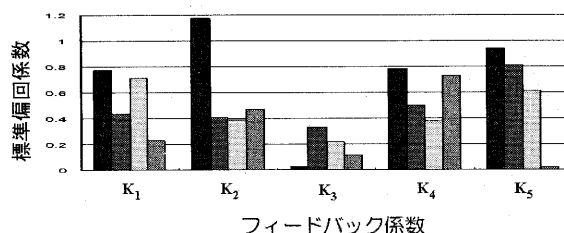


図6 フィードバック係数の重みの違い

4. 結論

本研究では、ドライバの特性解析手法確立の観点から、種々の情報と操舵角の相関について検討を行った。結果としてドライバモデル構築を行い、これらをもとに各制御パラメータを用いたドライバ特性評価の可能性について示すことができた。本研究では被験者数を限定して実施したが、今後さらに多くの被験者について検討を行う必要がある。

なお、本研究はNEDO研究プロジェクトの一環として行ったものであり、関係各位に感謝の意を表する。

参考文献

- (1) I. Kageyama, Analysis for Control Action of Driver's Steer, 自動車技術会春季学術講演会前刷り, 2005
- (2) I. Kageyama, et al, Construction of Driver Model to Analyze Driver Behaviour - Application of analysis for alcoholic driver -, Proc. of HCI2005, 2005