

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 21 日現在

機関番号：82723

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350491

研究課題名(和文) 自動回避・停車システム導入のためのドライバ操作による影響評価に関する研究

研究課題名(英文) Study on influence evaluation of driver steering model toward autonomous collision avoidance and stop system design

研究代表者

吉田 秀久 (Yoshida, Hidehisa)

防衛大学校(総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工・システム工学群・准教授)

研究者番号：00332635

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではドライバ操舵への影響について、その評価法の構築を目的とする。ドライバによる操舵トルクを再現するドライバモデルを構築した。ドライバパラメータの違いから物理的解釈が可能となるドライバモデルを提案した。高速走行時の車線変更による操舵、横風外乱による操舵状況をドライビング・シミュレータ実験で収集した。車線変更による操舵、横風外乱による操舵実験の結果から、ドライバパラメータの違いから影響を評価する手法について明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In this research, it is confirmed that the evaluation method for influence to driver steering. The driver model who reproduces the steering torque by the driver was made. The driver model that becomes possible to understand by physical interpretation in the difference of the driver parameters was proposed. The steering responses by a lane change and the crosswind disturbance when running at high speed, were collected by driving simulator experiments. The influence from the difference of the driver parameter as a result of the steering experiment by a lane change and crosswind disturbance were confirmed.

研究分野：機械運動

キーワード：システムと人との干渉問題 自動車の運転 ハンドル操舵 ドライビング・シミュレータ

1. 研究開始当初の背景

ドライバが突発的に意識を失ったり、正常な操作ができなかったりする事象での追突や歩道進入などの心痛める人身事故が後を絶たない。この場合、ドライバ自身による車両操縦は不能であることから、車両が自律操縦により安全に自動回避し、安全な場所に退避・停車システムを標準搭載し普及させることが、歩行者などの交通弱者の安全を確保するためには必要不可欠である。

自動車の安全性能評価では、新車アセスメント(NCAP)が存在する。欧州の新車アセスメント(EuroNCAP)では、従来までの乗員を保護する衝突安全機能での評価に加え、2014年以降から自動緊急ブレーキと車線逸脱警告の予防安全機能を評価項目に追加し公表すること、2016年から歩行者検知を含んだ自動緊急ブレーキの評価することとなった。歩行者保護機能の評価と公表の取り組みを含め、全世界的な予防安全技術の市場導入の流れは不動であり、現在これらの研究・開発が活発に行われている。

この自動回避し退避・停車するシステムの動作のうち、特に最初に安全の役目を果たすブレーキ動作は、ドライバによる操作では回避が間に合わない時間領域において、システム側が主権を持ち、ドライバによる操作を特には考慮せずとも、自動制動を実現する手法が実用化している。これはブレーキ機能がドライバとシステムとで、同方向への車両運動を行う1次元動作であるため実現している。

操舵機能では、操舵方向性によって特に安全を規定することは出来ず、ドライバとシステムとが逆方向を指向することが有り得る。そのため操舵機能では、システムに車両挙動を制御する権限が与えられている中、何らか回復もしくは混乱状況下でドライバがハンドル操作することで、回避性能に影響を及ぼすことが考えられる。

そこでドライバが握るハンドルと、システムが制御する操舵軸が物理的につながる車両の操舵系においては、この干渉による回避性能への影響を客観的に評価する手法の確立が求められる。

2. 研究の目的

物理的につながる操舵系において、システムとドライバとの操舵干渉による影響を客観的に評価する手法を確立することを本研究の目的とする。

3. 研究の方法

緊急時に作動する自動回避・停止システム導入に向けた、ドライバ介入による操舵の干渉による影響評価を行うために、まず実験条件を容易に統制可能な、ドライビング・シミュレータ(DS)による実験を準備する。

ドライバが意図する操舵の車両への入力、例えば交差点での右左折行動でもそうであるように、従来よりハンドルの回転角度で

あった。例えば高速道路走行時の車線変更では、ドライバはハンドルの角度を制御している感覚ではなく、ハンドルに加えるトルクもより操舵を行っていることは経験的に理解できる。またドライバによる機微な情報も取得できる可能性を秘めていると考える。

そこで本研究では操舵においてドライバが加えるトルクに焦点を絞り、これによるモデル化を検討した。モデル化に際しては特に物理的な理解が可能な制御工学的表現方法を採用し、運転状況の違いによるドライバの操舵挙動の差異を物理的な意味合いから解釈可能となるよう、物理パラメータの差異として表現できるよう構築を試みた。



図1 ドライビング・シミュレータ(DS)による実験

4. 研究成果

(1) ドライバモデルの提案

車両走行中のドライバは車両姿勢や振動の変化を体感する。加えて走行車線と、周辺車両と自車両との位置関係を視覚情報として得ている。また特にハンドル操舵においては両手でハンドルを把持し舵を決定することから、ハンドルを介した操舵軸のトルク情報を触覚情報として得ている。そこで本研究では、これら視覚情報と触覚情報を入力とするドライバモデルを提案する。

視覚情報においては、従来からの操舵角度をドライバからの入力とする多くの研究を踏襲し、ドライバ自身が思い描く目標軌道と、車両前方を注視する前方注視点での横位置情報を取得し、その偏差に基づき操舵を行うことを前提とする。車線変更動作や急な横風外乱での操舵動作では、直進走行が基本となることから、前方注視点を1次予測による偏差として取り扱う。

DS実験においては、前輪タイヤ横力によるセルフアライニングトルクを操舵軸上で再現する。そこで触覚情報としては操舵軸上の操舵反力トルクを取り扱う。

高速走行時の車線変更操舵動作では、その操作の目的から、車線変更開始直後の進路変更動作と、目的車線に追従させる車線維持動作とにより構成されると解釈することができる。進路変更動作では比較的大きな操舵が行われ、車体姿勢角が発生する。進路変更動作以降は、車体姿勢角が発生したままで目標コースを外れてしまうことが無いよう、目的車線に追従させ、車線を維持するための修正操舵が行われる。

そこで進路変更動作と車線維持動作との2つ動作を遷移重み関数 α で結合するドライバモデルを提案し、その妥当性をDSによる被験者実験により確認した。

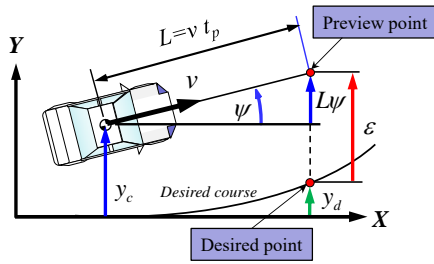


図2 前方注視点での横偏差モデル

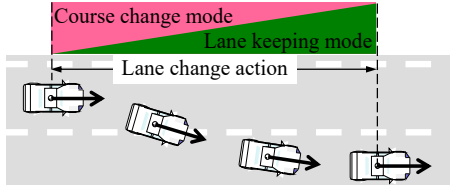


図3 車線変更操舵動作の遷移概要

前方注視点の横偏差 ϵ の状態によって変化する遷移重み関数 α と、これを用いたドライバの操舵トルクモデルを次式に示す。

$$\alpha = \frac{y_{ref}(t) + \epsilon(t)}{y_d}$$

$$T_d(s) = G_h \frac{\alpha \tau_1 s + 1}{(\tau_2 s + 1)(\tau_3 s + 1)} e^{-\tau_{L1} s} \epsilon(s) - G_r e^{-\tau_{L2} s} T_r(s)$$

遷移重み関数 α は分子に前方注視点での横偏差 ϵ と目標軌道 y_{ref} の和をとり、車線変更時のステップ高さに相当する横移動量 y_d により無次元化したパラメータである。操舵トルクは右辺第1項目に前方注視点の横偏差 ϵ による影響項、右辺第2項目に反力トルク T_r による影響項を表現している。

実験結果の一例を用いて操舵トルクモデルを計算した結果を図4に示す。(a)は目標軌道 y_{ref} 、車体重心の横変位 y_c 、(b)は遷移重み関数 α 、(c)は操舵トルクである。(c)における青線はドライビング・シミュレータから出力された操舵トルク T_d を表し、赤実線は提案するドライバモデルの操舵トルク T_{dD} を表している。ドライバモデルの操舵トルクの内訳として、赤破線は進路変更動作に要する操舵トルク T_{dDc} 、赤一点鎖線は車線維持動作に要する操舵トルク T_{dDk} 、赤点線は反力トルクに応じた操舵トルク T_{dDr} を表している。

進路変更動作に要する操舵トルク T_{dDc} は約 $t=5.5$ 秒以降ではほぼゼロになっていることが確認できる。この時点でドライバは進路変更動作の終了を意図していることが理解できる。一方、車線維持動作に要する操舵トルク T_{dDk} は $t=3$ 秒付近から進路変更動作のトルクとは逆方向に立ち上がり、 $t=6$ 秒付近で最大となっている。これは、車線変更の目標を越えて走行することを抑制しようと操舵トルクを発生していると理解することができる。更に反力トルクに応じた操舵トルクは、その発生により操舵トルク全般に影響を及ぼしていることが理解できる。

以上より、遷移重み関数 α を考慮した前方注視点での横偏差及び、反力トルクを考慮することにより、車線変更時の進路変更動作と、車線維持動作について、ドライバによる操舵トルクを再現できることを確認した。

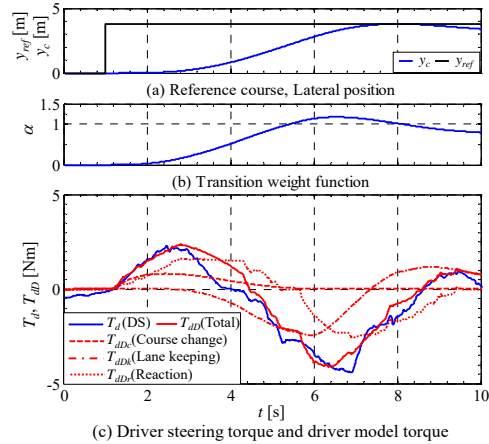


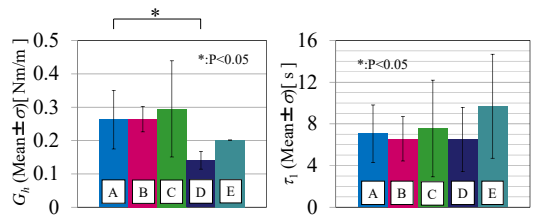
図4 車線変更操舵の時間応答の遷移例

(2) 車線変更操舵

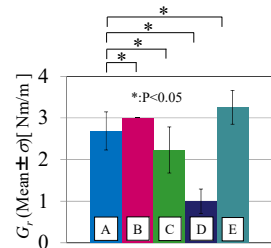
ドライバ自身が能動的に車線変更する際の操舵トルクの応答を複数の被験者によるDS実験により収集する。これらに対して、提案するドライバモデルへの同定を行い、その特徴を明らかにする。

20代後半から60代前半までの被験者5名による実験による操舵トルクに対して、得られたドライバパラメータを図5に示す。なお、前方注視点時間は $t_p=1.5$ (固定)とし、前述の前方注視点での横偏差に対するむだ時間 $\tau_{L1}=0.2$ (固定)、伝達特性のプロパー性を確保するため $\tau_3=0.1$ とした。

各被験者の平均値と標準偏差を示し、被験者Aを比較対象とした有意差5%の検定結果を併記する。



(a)横偏差のゲイン G_h (b)横偏差の位相進み時間 τ_{L1}



(c)反力トルクのゲイン G_r

図5 車線変更操舵動作のドライバパラメータ

前方注視点の横偏差に比例する G_h に関しては若干の有意差が見られるが、位相進み時間 τ_1 、反応遅れ時間 τ_2 については、おおよそ被験者による有意差は見られない。

操舵反力トルクに対する比例ゲイン G_r については、被験者による有意差が見られており、各被験者に応じた値を操舵トルクモデルに適用する必要があると理解できる。一方、これ以外のパラメータは、被験者に依らない特性と理解でき、一般性のあるドライバパラメータである可能性が高いとの知見を得た。

(3) 横風外乱後の車線維持動作

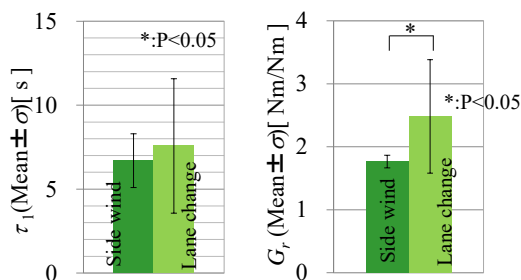
走行中の任意の時刻に風速一定 $w = 15$ [m/s]の横風外乱を時刻 $t=1\sim 4$ [s]の3秒間車体に直交する方向から印加し、車体を強制的に車線から逸脱させようとした際の、ドライバの操舵トルクについて検討する。なお、風速 $w = 15$ [m/s]は高速道路等で速度規制が始まる値である。

横風外乱に対するドライバの操舵動作はドライバにとって受動的な外乱に起因して発現される操舵行動であり、特に車線維持動作に特化される。そこで車線変更幅 $y_d = 0$ とする。また $y_d = 0$ から $\alpha = 1$ となる。これは提案した操舵トルクモデルにおいて、遷移することなく、車線維持動作のみで操舵動作を表現する形態での運転状況と整理される。

前方注視点の横偏差に比例する G_h 、反応遅れ時間 τ_2 、 τ_3 については、おおよそ被験者による有意差は見られなかったことから、前方注視点の横偏差に対する位相進み時間 τ_1 と反力トルクゲイン G_r について検討の対象とした。

前述の車線変更動作と、横風外乱による動作とでのドライバパラメータについて図6に示す。

有意差(5%)検定の結果、前方注視点の横偏差に対する位相進み時間 τ_1 と反力トルクゲイン G_r のドライバパラメータにおいて、操舵動作による差が確認された。



(a)横偏差の位相進み時間 τ_1 (b)反力トルクのゲイン G_r
図6 操舵動作の違いによるドライバパラメータ

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1件)

- ① 吉田 秀久, 小嶺 長芳, 山口 秀谷, 操舵

トルクによるドライバモデルの基礎的検討 (進路変更と車線維持の動作遷移モデル), 日本機械学会論文集, 査読有, Vol. 81, No. 826, 2015, 1-16

<http://doi.org/10.1299/transjsme.15-00116>

[学会発表] (計 4件)

- ① Hidehisa YOSHIDA, Toyoyuki HONJO and Jyunya YAMAKAWA, Driver's Steering Torque Modeling based on Lateral Deviation and Reaction Torque, 13th International Symposium on Advanced Vehicle Control (AVEC'16), (2016.9.12-16)
- ② Hidehisa YOSHIDA, Hideya YAMAGUCHI, Primitive Modeling of Driver's Steering Torque using Front Field of View and Reaction Torque, 3rd International Symposium on Future Active Safety Technology toward zero traffic accidents (FAST-zero'15), (2015.9.9-11)
- ③ 吉田 秀久, 山口 秀谷, 前方視界と反力トルクを受けるドライバ操舵の基礎実験, 日本機械学会 第23回交通・物流部門大会 (TRANSLOG2014), 3214, No. 14-65, (2014. 12. 1-3)
- ④ 吉田 秀久, 小嶺 長芳, 山口 秀谷, 高速走行時の操舵トルクによるドライバモデル, 日本機械学会 2014年度年次大会, G1810202, No. 14-1, (2014. 9. 7-10)

[図書] (計 0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0件)

○取得状況 (計 0件)

[その他]

ホームページ等
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉田 秀久 (YOSHIDA Hidehisa)
防衛大学校・システム工学群・准教授
研究者番号: 00332635

(2) 研究分担者

山川 淳也 (YAMAKAWA Jyunya)
防衛大学校・システム工学群・教授
研究者番号: 10546138

(3) 連携研究者

なし