

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 7 日現在

機関番号：	12605
研究種目：	挑戦的萌芽研究
研究期間：	2011～2012
課題番号：	23656180
研究課題名（和文）	事故リスク変数抽出とその状態遷移確率に基づくヒューマンモデルの基盤創出
研究課題名（英文）	Fundamental Study on Human Model Synthesis Based on Extraction of Accident Risk Variable and Its State Transition Probability
研究代表者	
	永井 正夫 (NAGAI MASAO)
	東京農工大学・大学院工学研究院・教授
	研究者番号： 10111634

## 研究成果の概要（和文）：

本研究では、全国の交通事故の3割を占めている追突事故に焦点を絞って、運転中の居眠りや不注意を外乱変動とみなし、ドライバパラメータや操作量の分析にモデルベースのロバスト設計手法を導入して、人間機械系のドライバモデルを定量的に扱う手法の確立を目的として研究を実施した。

2年間の研究期間の具体的な実施内容は以下のとおりである。(1) シミュレータ及び実車による走行実験により、速度制御にかかわる運転行動パラメータを抽出し、(2) 調布と富士河口湖町間の高速道路における公道実験データを収集して、(3) 走行時の運転行動データとドライバモデルの出力との比較による眠気状態の分析を実施し、(4) 顔画像による居眠り状態の分析と比較することにより、ドライバの注意力低下を判断できることを示した。基本的に、前後運動の理想的な速度制御モデルは、リスクポテンシャル理論に基づいており、結果的にはバネマス系で構成されるドライバモデルとして構築をした。

この成果をさらに拡張して、アクセル・ブレーキペダルによる速度制御モデルだけではなく、ハンドル操作に基づく車線維持制御モデルと統合することにより、より精度よくドライバの居眠り状態や注意力低下状態を判断できるモデルを構築した。この成果は事故を未然に防ぐことを目的とした予防安全技術への応用として期待される。

## 研究成果の概要（英文）：

This research proposes a theoretical method of by driver-vehicle system model parameter analysis and driving operational behavior analysis especially in drowsiness driving state and inattention states. This research potentially contributes to the further reduction of rear-end collision accidents which accounts for 30% of all accidents in Japan. The following research issues were conducted during the research term:

- (1) The method to extract driving behavior parameters which relate to the velocity control based on experiments using Driving Simulator and a test car.
- (2) Public expressway driving data collection between Chofu city and Kawaguchiko town using a number of subject drivers.

- (3) Drowsiness driving behavior analysis by comparing the driving data with the driver model.
- (4) Verification of the effectiveness of the drowsiness detection method by comparing with the subjective evaluation results using driver face camera image.
- The velocity-control driver model used in this study is expressed as a spring-mass-damper system based on risk potential theory.

Furthermore, by including the lateral-control driver model, the higher accuracy of drowsiness driving detection can be obtained. The achievement from this research is expected to be applied to active safety systems to prevent accidents.

#### 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野： 工学

科研費の分科・細目： 機械工学、知能機械学・機械システム

キーワード： ドライバモデル、予防安全研究、個別適合、運転行動分析

#### 1. 研究開始当初の背景

人間が機械を操作する閉ループ系の制御特性は、機械の性能に係わらずある一定の特性を示すという McRuer のクロスオーバーモデル(1)がある。これは制御対象の機械の特性が向上すれば、一巡伝達関数の動特性を維持するように人間の制御特性が低下して、結果として負担が軽減するというものである。多くの実験結果から見出したもので、手動制御における適応能力を定量的に示した画期的なモデルと言える。一方、Gerald J. S. Wilde の提案するリスクホメオスタシス(2)は、安全装置の開発は人間の不安全行動を誘発するため事故削減に直結しないという仮説を唱えている。しかしながら、これはマクロ分析に基づいているだけで、顕在リスクと潜在リスクが常に変化する運転場面で、人間機械融合系での時系列的な動的リスクがまったく考慮されていない。

#### 2. 研究の目的

本研究の目的は、交通事故を未然に防止する予防安全装置の高度化のため、人間・自動車融合系における総合的な安全性能を定量的に評価するための画期的なドライバモデルの構築である。具体的には、通常運転行動データベースに基づいて作成する規範運転行動モデルに、ヒューマンエラーを表すリスク変数の確率的変動を加え、ドライバの確率的運転状態遷移モデルを提案する。特に追突防止装置に焦点を当て、装置による安全性の向上と、装置への依存度による安全性の低下を定量的に評価する技術の確立を目指す。

#### 3. 研究の方法

本研究課題は、**全国**の交通事故の3割を占めている「追突事故」に焦点を絞って、前後運動の速度制御とブレーキ支援装置の評価を主目的とし、リスク定量分析によるドライバモデルの構築を行う。研究計画としては以下の流れに沿って行う。

- (1). ドライビングシミュレータによる基礎パラメータ抽出
- (2). 環境危険度知識データベースの構築
- (3). リスクを考慮したドライバモデルの定式化
- (4). 閉ループ系における追突防止装置の安全性評価

以上を遂行するために、以下に示すように実路における追従運転時のデータ収集を行った。

注意力低下時における先行車追従および車線維持の運転特性を分析するため、常時記録型ドライブレコーダを搭載した普通乗用車を用いて、長期にわたる高速道路での走行データをした。本ドライブレコーダは、車両前方に取り付けられたミリ波レーダによる先行車との車間距離、走行速度や前後左右加速度、ヨーレート等の車両状態量、アクセルペダル変位、ブレーキ圧、ハンドル角等のドライバ操作量の情報、GPS による車両位置情報と 6 台の CCD カメラによる車両前方面、左前方、右前方、車両後方、ドライバの顔、足元の映像を同期して常時記録する装置である。なお、カメラ以外のセンサは既存の車載センサである。注意力低下状態の運転行動分析のため、中央自動車道調布 I. C. から河口湖 I. C. までの往路と復路の約 86 km のやや長距離を走行区間として設定した。運転者は本学の教員 1 名 (30 代前半, 以下ドライバ A) と院生 1 名 (20 代前半, 以下ドライバ B) の計 2 名とし、走行データを蓄積した。また、解析結果との比較検討のため、ドライバの眠気を NEDO 評定を用いてあらかじめ客観評価した。NEDO 評定はドライバの眠気を顔画像に基づき 5 段階に判定するものであり、本報告では毎 10 秒間の顔映像から眠気度を評価した。

#### 4. 研究成果

先行車追従特性に基づく注意力推定について、以下のような成果を得た。

##### (1) 先行車追従の運転操作モデル

先行車追従場面を図 1 に示すように、先行車に対して自車をばね・マス・ダンパ系と仮定する。この場合の自車の運動方程式を式①に示す。

$$a_m(t) = H_R(R_m(t) - R^*(V_m)) + H_V \dot{R}_m(t) \quad \text{①}$$

ただし、 $a_m$  は自車の加速度のモデル値、 $R_m$  は先行車と自車との車間距離のモデル値、 $R^*$  はドライバごとに異なる目標車間距離、 $H_R$ 、 $H_V$  はドライバ個人内の運転状態により異なる動的なパラメータであり、これらのパラメータが先行車追従運転パフォーマンスの低下に関係すると解釈できる。式①に示す車間距離制御則をブロック線図で表現したものを図 2 に示す。図中のパラメータはドライバごとに異なると考えられるため、これらを実路走行データから同定する。また、目標車間距離  $R^*$  は自車の速度に基づく一次関数で決定される値とする。この値はドライバごとには異なるが、ドライバ個人内では静的なパラメータとして作用し、その代表値は式②に示すように近似する。

$$R^* = R_0 + T_{hw}^* V_m \quad \text{②}$$

式②中の  $T_{hw}^*$  は通常的車間時間を意味する。

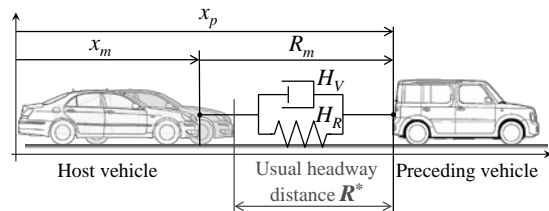


図 1 先行車追従時の運転操作モデル

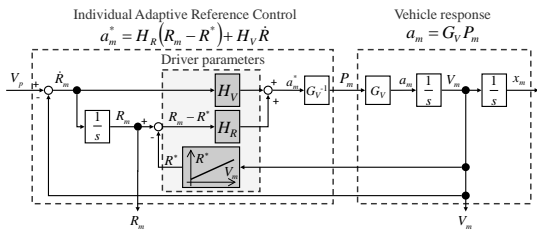


図2 車間距離制御則のブロック線図

(2) モデル偏差の時系列分析

構築した規範モデルと実際の運転を比較する。比較には、規範モデルと実際の運転との車間距離および速度の誤差を無次元化した、式③で定義される指標を用いる。

$$\varepsilon_V = \frac{V - V_m}{V_m}, \quad \varepsilon_R = \frac{R - R_m}{R_m} \quad (3)$$

ただし、 $V$  [m/s]は自車速度の実路走行データ、 $V_m$  [m/s]は規範運転モデルから推定した自車速度である。

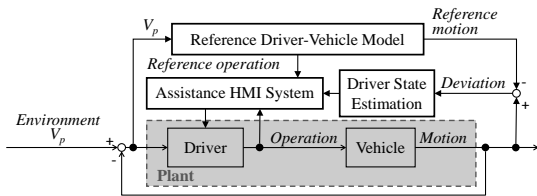


図3 規範モデルとのモデル誤差判定

図4中の実線（凡例：Model）は通常運転で発生する規範モデルからの誤差の分布である。これらの分布に対する誤差の大きさを用い、規範モデルから逸脱した運転状態の度合いを定量的に評価できる。本報告では、走行開始から終了までの誤差分布の変化について考察する。図4にドライバAの実際の車間距離と速度における60秒間の規範モデルとの誤差の分布の時間変化と、顔画像により評価した眠気度の時系列を示す。眠気度の横軸は走行開始からの経過時間を表し、誤差の分布の横軸が0であるときは規範モデルとほぼ同様の車両挙動をしていることを意味している。

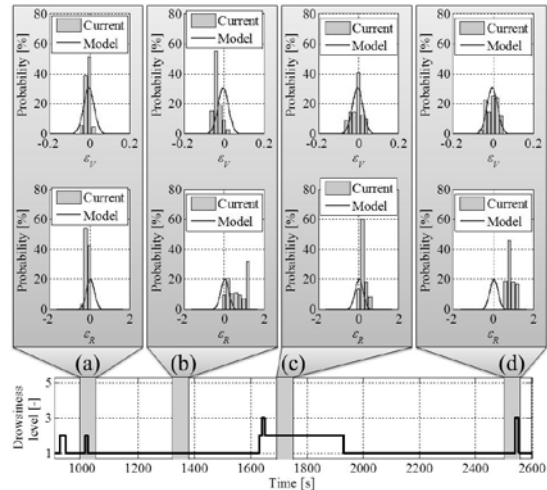
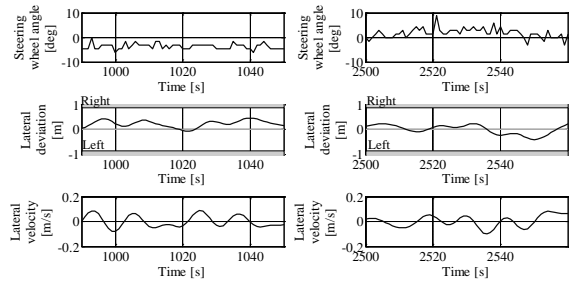


図4 ドライバAの規範モデルからの誤差分布



(a) at  $t=990$  s from start (b) at  $t=2500$  s from start

図5 ドライバAの操舵角と車線逸脱度の時系列

本研究では、前後方向の分析だけではなく、ハンドル操作に対する車線からの逸脱に関する分析も行っており、図5は操舵角の変動に対する横偏差の時系列を示している。この場合にも、規範となるドライバモデルの結果と実験データとが良く一致していることが分かる。

詳細の結果は、後述する学会発表論文に掲載しているが、本研究の最大の成果は、規範モデルの導出とその誤差分析により、ドライバの運転操作状態が推定できる見通しを得ることができた点である。具体的なハードウェア、診断ロジックの確立については今後の課題として明らかにできた。

## 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) 西郷慎太郎, ポンサトーン・ラクシンチャーンサク, 永井正夫, 「先行車追従時の規範ドライバモデルに基づく個別適合型運転状態診断システムの開発」として、自動車技術会論文集、(査読有)、42 - 3、2011、721-728

[学会発表] (計5件)

- (1) Shintaro Saigo, Raksincharoensak Pongsathorn, Masao Nagai, Estimation of Driving Performance Level Using Longitudinal and Lateral Driver Models, The 7th IFAC international symposium on advances in automotive control (AAC), (発表確定), 2013.09.04 ~ 2013.09.06, National Olympics Memorial Youth Center, Tokyo, Japan.
- (2) Masao Nagai, Autonomous Driving Intelligence System to Enhance Safe and Secured Traffic Society for Elderly Drivers, The 17th Asia Pacific Automotive Engineering Conference (APAC) (招待講演), 2013.04.01 ~ 2013.04.03, Bangkok, Thailand
- (3) Shintaro Saigo, Raksincharoensak Pongsathorn, Masao Nagai, Investigation of Inattentive Driving Estimation Method by Using Longitudinal and Lateral Driver Operational Models, The 17th Asia Pacific Automotive Engineering Conference (APAC), 2013.04.01 ~ 2013.04.03, Bangkok, Thailand

- (4) Shintaro Saigo, Raksincharoensak Pongsathorn, Masao Nagai, Model-Based Estimation Method of Driver Inattention State During Car-Following Situations, The 11th International Symposium on Advanced Vehicle Control (AVEC), 2012.09.10 ~ 2012.09.13, Seoul, Korea
- (5) 西郷慎太郎, ポンサトーン・ラクシンチャーンサク, 永井正夫, 先行車追従と車線維持の運転操作モデルに基づくドライバ状態推定手法の検討、自動車技術会学術講演会秋季大会、No.122-11、1-4、札幌コンベンションセンター、2011.10.13

## 6. 研究組織

- (1)研究代表者  
永井 正夫 (NAGAI MASAO)  
東京農工大学・大学院工学研究院・教授  
研究者番号： 10111634
- (2)研究分担者  
なし
- (3)連携研究者  
ポンサトーン ラクシンチャーンサク  
(Pongsathorn Raksincharoensak)  
東京農工大学・大学院工学研究院・准教授  
研究者番号： 30397012