

平成 21 年 6 月 12 日現在

研究種目： 若手研究(B)

研究期間： 2007～2008

課題番号： 19760150

研究課題名（和文） 道路環境の動的危険度推定に基づく超小型電気自動車の走行制御システム

研究課題名（英文） Driving Control System of Micro Electric Vehicle Based on Dynamic Hazard Estimation of Road Environment

研究代表者

ポンサトーン ラクシンチャラーンサク (PONGSATHORN RAKSINCHAROENSAK)

東京農工大学・大学院共生科学技術研究院・特任准教授

研究者番号： 30397012

研究成果の概要： 本研究では、道路環境が動的に変化する実路において、道路環境の動的危険度を算出し、その危険状況に基づき、自動車の予防安全性能向上のための運動制御システムおよび運転支援装置を開発することを目的とする。まず、超小型電気自動車を用いた走行実験データより、ドライバ個人の運転行動モデリングを行い、先行車衝突回避のための減速タイミングを分析した。次に、超小型電気自動車に画像処理とレーザレーダを取り付けて、センサフュージョンにより先行車のテールランプの点灯状態を認識し、その情報と現在の先行車接近度合いに応じて、ドライバに警告音を与えるシステムを開発した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,900,000	0	1,900,000
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	390,000	3,590,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・機械力学・制御

キーワード：交通機械制御、メカトロニクス

## 1. 研究開始当初の背景

近年、世界一安全・安心な交通社会の実現に向けて、交通事故死者数ゼロ化を目指すためには予防安全対策を中心とする新技術開発が益々重要になってくる。特に交通事故を引き起こす原因はドライバの運転ミスとされているため、ドライバの運転ミスを防ぐための運転支援システムの効果が強く期待されている。

近年の自動車事故において追突事故の発生件数が最も多く、追突事故発生メカニ

ムの解明と追突事故防止システムの研究・開発が盛んに行われている。これらの研究・開発において、先行車に対する追突リスクを示す評価指標が数多く提案されており、その追突リスクが高い場合に事故を未然に防ぐ安全システムが既に実用化されている。しかし、従来の追突防止装置の作動タイミングは自車と先行車の位置情報に基づいて設定されており、ドライバの減速行動に影響を与える先行車のテールランプ点灯状態は考慮されていない。そのため、ドライバの運転感覚に合わずシステムに対する信頼性の問題があ

る。

## 2. 研究の目的

本研究では、実路走行時のドライバ個人の運転行動のモデリングを行い、前方衝突防止システムの更なる高度化を目指し、車載カメラで取得した前方画像から先行車のテールランプの点灯状態を検出し、その情報と車間距離情報に基づいてドライバ個人の減速行動特性に適合した追突防止支援システムの開発を目的とする。

## 3. 研究の方法

### 実路走行データの収集

日常の運転行動及び走行環境を計測するシステムとして、4つのCCDカメラを用いた自車周辺・ドライバの画像情報、レーザレーダを用いた先行車との車間距離、GPSを用いた位置情報、自車速度、前後加速度等の車両挙動、ペダル、ハンドル操作等の運転操作の常時記録が可能であるドライブレコーダを使用する。このシステムを超小型電気自動車に搭載し、東京都郊外の片側一車線の市街地道路で走行実験を行い、運転行動データを収集した。なお、路面状態と視認性の変化に伴うドライバ行動の変化を除外するため、夜間、雨天時、交通渋滞時に収集したデータを外し、それ以外の条件で収集した運転行動データの解析を行った。

### 先行車のテールランプ点灯計測

レーザレーダから取得した車間距離を基に注目領域(Region of interest, 以下 ROI)を生成し、先行車テールランプの点灯判定を行うものとする。カラーカメラから取得した画像を作成されたテールランプ領域で切り抜く。その画像を、明度についてグレースケール化する。この画像で、明度が一定値以上となっている箇所を検出する。それが一定以上の面積を持つ場合、点灯領域として認識し、点灯領域が検出された場合、先行車のブレーキランプが点灯していると判断する。

## 4. 研究成果

### (1) 市街地走行データのモデリング

市街地走行実験によって得られた走行データに基づき、ドライバの加減速行動であるアクセル・ブレーキペダル操作のモデル化を行う。ここで、ドライバはいくつかの操作モードを走行状況によって切り替えてペダル操作を行っているとして仮定し、図1のようなドライバモデルを提案する。このモデルを用いることにより、ドライバの運転プロセスである、判断を操作モードの切り替え、操作を各操作モードの入出力関係とし

て表現することができる。この操作モードは、先行車追従時に加速行動、減速行動を行う操作モード、単独走行時に加速行動、減速行動を行う操作モードの4つとする。また、操作モード間の状態遷移は、蓄積した走行データベースに基づき、ある特徴量による識別条件で決定されるとする。このモデルを構築するため、市街地走行データから操作モード間の状態遷移条件と各操作モードにおける入出力モデルのパラメータを求める必要がある。

先行車追従走行と単独走行の識別条件として、走行実験によって取得した画像情報を観察し、追従走行と単独走行とを主観的に識別する。その結果、車間距離40mを閾値として追従走行と単独走行とを識別する。

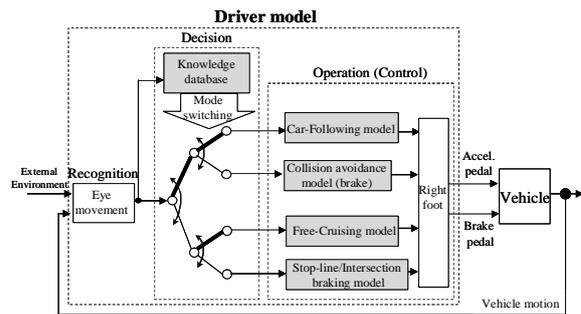


図1 ドライバの運転行動モデル

### (2) 先行車追従時の運転行動モデル

追従走行時において加速行動と減速行動を切り替える条件として、ブレーキペダルを踏み始めるときの車間距離と相対速度に着目する。相対速度・車間距離平面上に、ブレーキペダルを踏み始めたときの値をプロットしたグラフを図2に示す。図2よりブレーキ開始時の車間距離と相対速度には傾向が見られるため、その関係を線形近似し、式(1)に示す。

$$R_B(t) = -2.14\dot{R}(t) + 2.28 \quad \text{when } \dot{R}(t) < 0 \quad (1)$$

ただし、 $\dot{R}$ は先行車に対する相対速度である。この式(1)を識別線とし、現在の相対速度における $R_B$ の値よりも現在の車間距離の値のほうが大きい場合は加速行動を、小さい場合は減速行動を行うとする。

加速行動のモデルは、先行車との車間距離が重要な入力であると考え、さらに自車の走行速度を考慮した式(2)とする。

$$P_{a-F}(t) = K_1[R(t) - R^*(t)] + K_2\dot{R}(t) + K_3V(t) \quad (2)$$

ただし、 $P_{a\_F}$  はモデルより推定されるアクセルペダル踏み込み量、 $K_1, K_2, K_3$  は各入力に対するフィードバックゲイン、 $R$  は先行車との車間距離、 $V$  は自車の走行速度である。また、 $R^*$  は目標車間距離であり、以下の式と仮定する。

$$R^*(t) = T_{hw}^* V(t) + R_{stop} \quad (3)$$

ただし、 $T_{hw}^*$  は目標車間時間、 $R_{stop}$  は停止時車間距離である。

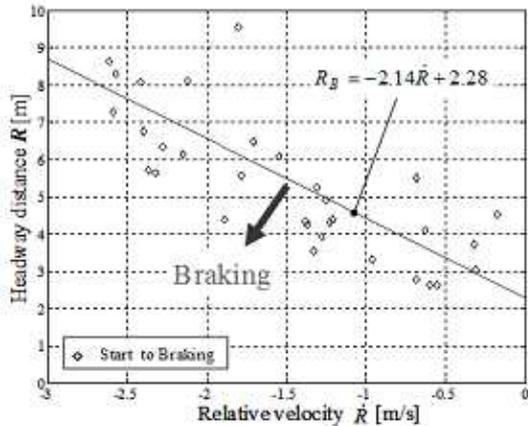


図2 先行車衝突回避のための減速タイミング

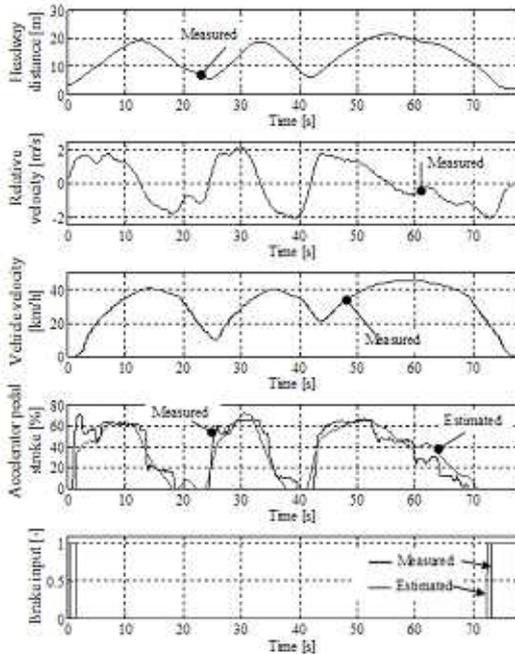


図3 先行車追従時の運転行動データとモデル

減速時のブレーキペダル信号は、式(4)に示すように、ブレーキペダルが踏まれている状態を1とし、ブレーキペダルを放す状態を0として表現する。

$$P_{b\_F}(t) = \begin{cases} 1 & \text{if } R < R_B \\ 0 & \text{if } R \geq R_B \end{cases} \quad (4)$$

ただし、 $P_{b\_F}$  はモデルより推定されるブレーキペダル入力である。

ドライバモデルと実際の運転データの比較を図3に示す。

### (3) 単独走行時の運転行動モデル

単独走行時において、先行車の制約がないため、車間距離や相対速度情報の代わりに道路区間の法定速度に合わせたドライバの目標速度が制御目標となる。使用する運転行動データベースは全て法定速度40km/hの道路である。この場合、ドライバは任意の速度から目標速度までの加速をアクセルペダル操作によって調整し、赤信号に直面した際に信号停止線に止まるようにブレーキペダル操作によって速度を制御するとする。まず、加速時においてアクセルペダル操作 $P_{a\_C}$ は以下の式によって表せる。

$$u(t) = C_1 V_{des}(t) + C_2 \int_0^t (V_{des}(t) - V(t)) dt \quad (5)$$

$$\tau_h \dot{P}_{a\_C}(t) + P_{a\_C}(t) = u(t) \quad (6)$$

ただし、 $u$ はペダル操作の指令値、 $V_{des}$ は目標速度、 $C_1$ は目標速度に対するフィードフォワードゲイン、 $C_2$ は速度誤差積分値に対するフィードバックゲイン、 $\tau_h$ はペダル操作の遅れを表す時定数である。式(5)において、右辺の第一項は目標速度に対するフィードフォワード補償であり、第二項はその目標値に対する速度誤差積分値のフィードバック補償である。なお、積分誤差の累積を防ぐため、擬似積分を用いてアクセルペダル操作をモデル化した。また、車体速度がドライバの目標速度より超える場合には、アクセルペダルのみで速度調整を行うと仮定する。

ブレーキ操作による減速時において、ドライバが信号停止線までの距離を認知し、通常の減速度で停止するようにアクセルペダルからブレーキペダルに踏みかえるタイミングを決定するものとする。ドライバモデルと実際の運転データの比較を図4に示す。

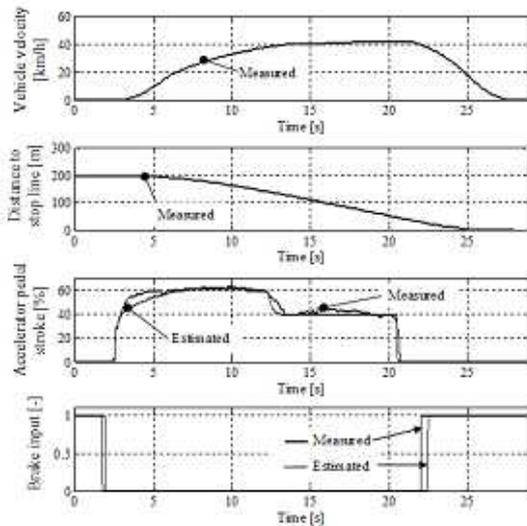


図4 単独走行時の運転行動データとモデル

#### (4) センサフュージョンに基づくテールランプ点灯判定

本節では、先行車との車間距離に基づいたテールランプ点灯判定アルゴリズムを述べる．先に述べた色相値に基づくテールランプ点灯判定方法の問題点を解消するため、ここではレーザレーダから取得した車間距離を基に注目領域(Region of interest, 以下 ROI)を生成し、先行車テールランプの点灯判定を行うものとする．車間距離に対応したテールランプ領域を求めるため、自車前方に先行車を配置し、5m 間隔で距離を測定していく．それを、車両に搭載した CCD カメラを用いて撮影し、取得した画像より、測定した距離データに対応した ROI 中心 y 座標  $Y$ , ROI 幅  $W$ , 及び ROI 高さ  $H$  を取得していく．

生成する ROI の例を図 5 に示す．また得られた 5m ごとの各パラメータの値から車間距離  $R$  に対する ROI の各パラメータを求めるための二次近似式を式(7)～(9)に示す．

$$Y = 1.43R^2 - 52.73R + 829.75 \quad (7)$$

$$W = 2.39R^2 - 89.65R + 1038.3 \quad (8)$$

$$H = 0.31R^2 - 10.37R + 105.75 \quad (9)$$

なお、先行車は自車正面にあるものとし、ROI 中心点は直線  $x=512$  上を動くものとする．作成した ROI 内の輝度の平均値を求める．テールランプ点灯情報  $L$  はカメラから得られる時系列画像に対してこれらの行程を繰り返し、直前のとの平均輝度の差を求める．するとテールランプの点灯情報  $L$  は、式(10)で表される．

$$L = \begin{cases} 1 & \text{if } \bar{G}_v \geq 10 \\ 0 & \text{if } \bar{G}_v \leq -10 \end{cases} \quad (10)$$

ただし、 $\bar{G}_v$  は平均輝度の差である．このアルゴリズムを用いて車間距離 10m でテールランプ点灯判定実験を行った結果を図 6 に示す．図 6 より、テールランプの点灯状態を本アルゴリズムによって判定できることが確認できた．

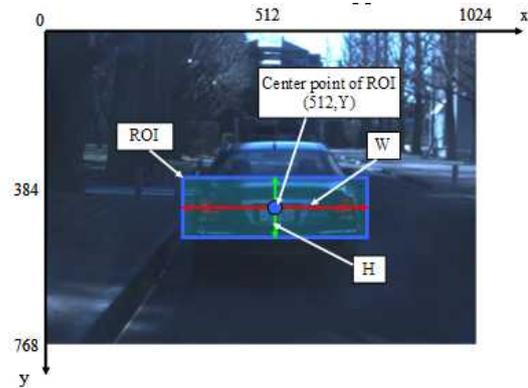


図5 テールランプ領域の抽出

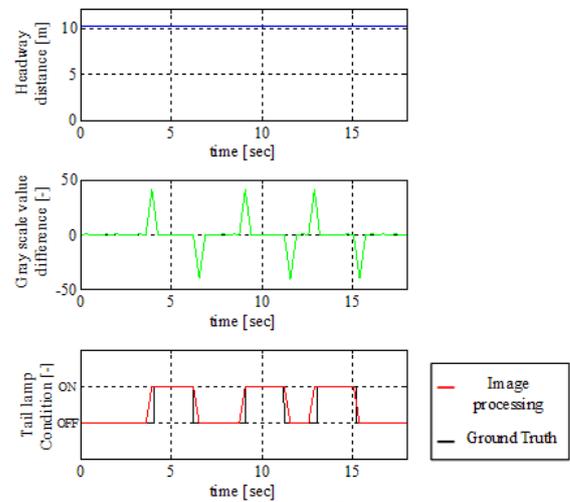


図6 テールランプ点灯状態認識結果

#### (5) テールランプを考慮した追突防止警報

次にテールランプ点灯判定アルゴリズムを用いた追突防止システムについて述べる．図 7 に提案するシステムの概要を示す．自車ドライバーに対して追突警報の作動条件を考える場合、テールランプ点灯状態のみでは警報作動の条件として不十分である．そこで追突リスク評価指標として提案されている車間時間(Time Headway, 以下  $T_{hw}$  とする)を用いる． $T_{hw}$  は以下の式(11)で表される．

$$T_{hw} = \frac{R}{V} \quad (11)$$

ただし、 $V$ は自車速度、 $R$ は先行車に対する車間距離とする。

追突防止警報を提供するための $T_{hw}$ を決定するにあたり、実路走行データから、先行車テールランプが点灯し、自車ドライバがアクセルペダルを離れた瞬間の車間距離の確率分布をもとめ、その20パーセンタイル値を採用し、追突警報作動条件の $T_{hw}$ を1.5秒以下と設定する。すると追突警報の作動条件 $w$ は式(12)で表される。

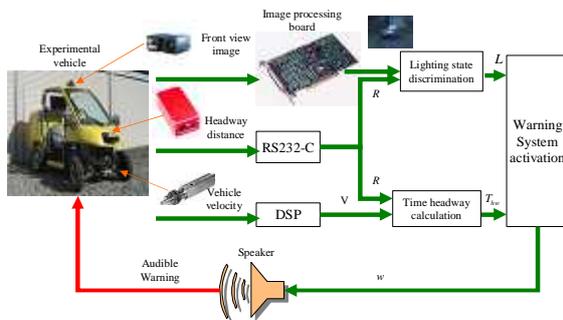


図7 テールランプ点灯状態に基づく追突防止装置

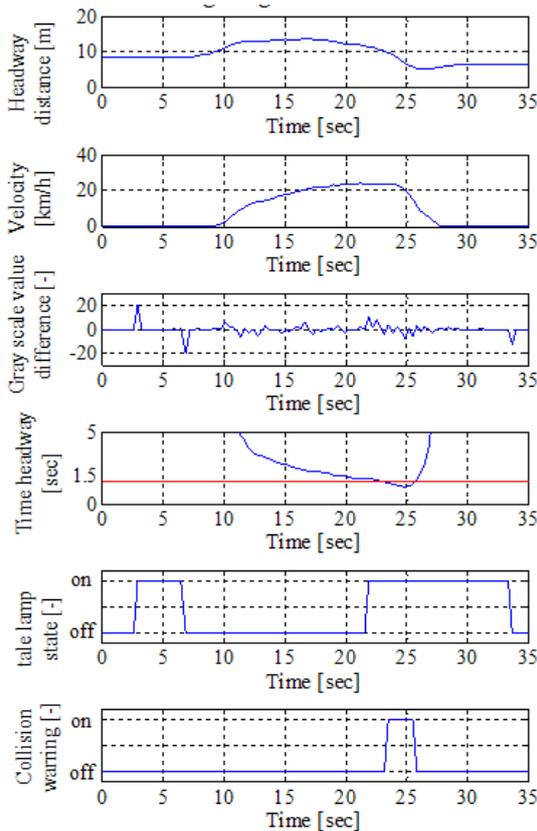


図8 先行車減速時の警報システムの効果

$$w = \begin{cases} 1 & \text{if } T_{hw} \leq 1.5 \text{ and } L=1 \\ 0 & \text{if } T_{hw} \geq 1.5 \text{ or } L=0 \end{cases}$$

(12)

ただし、 $w=1$ は警報作動、 $w=0$ は警報非作動状態を表す。

上述した追突防止システムを実験車両に搭載し、システムの有効性を実験的に検証する。実験は平坦な直線路で行い、先行車がブレーキを踏み、追突警報が作動した後、減速行動を行う。図8に実験結果を示す。先行車のテールランプ点灯状態を認識し、先行車のテールランプが点灯し、かつ $T_{hw}$ が1.5秒以下になった瞬間に警報音を確認した。その後ドライバ自身が減速行動を取り、安全な車間距離を確保することができた。よって本システムがテールランプ点灯状態を考慮した追突防止警報として機能しているといえる。

### 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 3 件)

Pongsathorn Raksincharoensak, Takuya Mizushima and Masao Nagai, Direct Yaw Moment Control System Based on Driver Behaviour Recognition, Vehicle System Dynamics, Vol.46, Supplement 1 (special issue), 2008, 911-921, 2008, 査読有  
ポンサートン・ラクシンチャローンサク, 水島卓也, 永井正夫, ドライバの運転行動認識に基づく直接ヨーモーメント制御, 自動車技術会論文集, Vol.38, No. 5, 37-42, 2007, 査読有。

Pongsathorn Raksincharoensak, Motoki Shino and Masao Nagai, Vehicle Motion Control Issues Using Micro Electric Vehicle "NOVEL", WEVA-Journal Vol.1 No.43, 1-6, 2007, 査読有。

〔学会発表〕(計 4 件)

Kazunari Inata, Pongsathorn Raksincharoensak and Masao Nagai, Driver Behavior Modeling Based on Database of Personal Mobility Driving in Urban Area, Proceedings of International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS), October 2008, Seoul, Korea, 2008.

ポンサートン・ラクシンチャローンサク, 稲田一成, 永井正夫, 超小型電気自動車の通常運転行動モデルに基づく個別適合運転支援システムの開発, 第26回日本ロボット学会学術講

演会前刷集, 神戸大学, 兵庫, 2008.  
稲田一成, ポンサトーン・ラクシンチャーンサク, 永井正夫, 超小型電気自動車の市街地走行データに基づく加減速行動モデルの構築、日本機械学会2008年度年次大会講演前刷集, 横浜国立大学, 神奈川, 2008.

Pongsathorn Raksincharoensak, Yuta Takimoto and Masao Nagai, Radar-Based Vehicle Following Control Algorithm of Micro-Scale Electric Vehicle, Proceedings of APAC07 (2007-01-3590), California, USA, 2007.

〔産業財産権〕

取得状況(計 1 件)

名称: 車線追従制御装置およびこれを搭載した車両

発明者: ポンサトーン・ラクシンチャーンサク、永井正夫

権利者: 国立大学法人東京農工大学

種類: 特開

番号: 2008-44561

取得年月日: 2008年2月28日

国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ

<http://www.tuat.ac.jp/~pong>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

ポンサトーン ラクシンチャーンサク

(PONGSATHORN RAKSINCHAROENSAK)

東京農工大学・大学院共生科学技術研究院・

特任准教授

研究者番号: 30397012

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし