

「低サンプリングレート画像による 運転操作支援インタフェース」

新井 義和 (岩手県立大学ソフトウェア情報学部 准教授)、
 福原 和哉 (岩手県立大学いわてものづくり・ソフトウェア融合テクノロジーセンタープロジェクト研究員)、
 菊池 康弘 (アイシン・コムクルーズ株式会社盛岡開発センター 開発室室長)、
 菊池 弘信 (アイシン・コムクルーズ株式会社盛岡開発センター 主任)

＜要旨＞

本研究では、自動車の運転におけるペダルの踏み間違い事故を防止することを目的として、運転者の足元を含むペダル周辺をカメラで撮影し、その映像を運転者に提示することによって、踏み間違いの危険を運転者自身に認識することを促す運転操作支援インタフェースを検討した。特に、単調な映像提示によって発生する危険察知の意識の低下を防止するため、危険度に応じて提示映像の色味を変化させる映像提示方法を提案した。

1 研究の概要

停車した自動車を発車するため、あるいは駐車場などに停車するためにブレーキペダルとアクセルペダルを踏み替えながら操作する際に、ブレーキペダルと誤認してアクセルペダルを強く踏み込み、建物や周囲の自動車などに追突する「ペダル踏み間違い事故」が多発している。その他の形態の事故の件数は大きく減少傾向にあるのに対して、ペダル踏み間違い事故の件数は減少の幅が少なく、この10年間は年に約7,000件前後でほぼ横ばいである[1]。この種の事故は認知能力の低下が見られる75歳以上の高齢者に多い傾向があり、高齢者ドライバーの増加が指摘されている現在においては、近い将来により大きな問題として顕在化することが懸念される。

自動車の発明以来、ペダル操作はドライバーの足許の位置感覚のみに基づいて行われるのが事実上の標準となっている、一般に人間の感覚の中でより多くの情報をもたらすのは視覚であり、上記ペダル操作においても視覚がもたらす情報が認知能力の向上に寄与することが期待される。これらの考察から、岩手県立大学では図1に示すように、ドライバーの足許をカメラで撮影し、その映像をインパネなどのドライバーに見やすい位置に提示することによってドライバーがペダルに対する位置関係を視覚的に認識することを助

けるペダル可視化システムを開発してきた[2]。

ところが、このような映像を常時提示した場合、慣れによってそこに映像があるのが当たり前となり、それらの映像から何らかの危険を察知しようとする意識が低下する。結果として、いざ本当の危険が迫ったときに、それを見逃すおそれがある。これは本システムの存在意義を根底から覆すことに他ならない。したがって、この種のシステムにおいては、実際の危険が迫った際にこそ何らかの形で注意を喚起する仕組みを付加することが重要であると考えられる。

危険度を判断するためには、ペダルと足の位置関係を常に監視するのが有効だと考えられるが、それらの実現手段として、新たなセンサを導入することなく、ペダル周辺を撮影している



図1：ペダル可視化システム

カメラからの映像を画像処理することがシステムの簡略化の点から望ましい。しかし、画像処理には一般に大きな処理コストを要することから、導入コストの面から現実的な安価なシステムによって低いサンプリングレートの画像処理で効果的な提示を実現する工夫が期待される。

本研究ではペダル可視化システムにおいて、注視すべき状況を運転者に注意喚起することを目的として、撮影したペダル周辺の映像を画像処理することによってペダル踏み間違いの危険度を判定するとともに、得られた危険度に応じて提示映像の色味を変化させる手法の開発を目指す。

2 研究の内容

a) ペダル可視化システムの構成

低サンプリングレートの下では、今何が起きているのかを判断するために時系列データを扱うことが困難であるとともに、同様の目的で複雑な処理を行うことによって、更にサンプリングレートが低下することが懸念される。したがって、画像処理としては、後述するペダルと足の位置関係を検出する簡潔な処理のみを行うこととする。また、危険が検出された際に、音声やLEDの光などで警告することも可能であるが、散発的に「危険」であることを発するのみでは、何が危険であるのかを判断することが難しい。

これに対して、本研究では、低いサンプリングレートで運転者に効果的に危険を提示する手法として、映像の色味の変化に注目する。特にここでは、危険度に応じて映像の赤みを増大させることを想定している。赤は危険を想起する色として選択した。同システムでは、映像が赤くなることにより、運転者は直感的に危険を想起し、視線を移さずに映像から何が起きているのかを自ら判断することを促す効果が期待できる。すなわち、複雑な画像処理を行うことがそもそも不要となる。

以上の考察に基づいたペダル可視化装置の構成を図2に示す。まず、ペダル周辺の撮影を行うために、運転席の足元にカメラを設置する。ペダル踏み間違いの危険度を判定するための入

力情報の一つとして画像処理によってペダルと足の位置関係を取得する。また、後述するように、危険度の変化は単純にペダルと足の位置関係で定まるものではなく、車両がおかれた状況によって、その位置関係の意味合いは変化するものと想定される。したがって、車両がおかれた状況を加味するため、車両に搭載されているCAN内を流れている各種車両情報を加えて、危険度を判定する。最後に、判定された危険度に基づいて再び画像処理によって色味を調節したペダル周辺の映像を運転者に提示する。

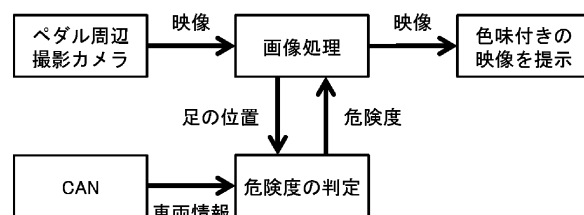


図2：提案システムのシステム構成

b) ペダル踏み間違いの危険

ペダルの踏み間違いに起因する事故は、その多くが駐車場で発生しているが、より危険なのは駐車枠付近であり、通路ではない。表1に場所の違いにおける危険度の変化の例を示す。表からもわかるように、ペダル踏み間違いの危険度は場所には依存せず、車両を取り巻く状況

表1：場所の違いにおける危険度

場 所		危険度
駐車場	道 路	低
	駐車枠	高
直線道路		低
交差点	侵 入	低
	退 出	高

によって変化すると考えられる。特に、危険度が高いとされている駐車場の駐車枠や交差点からの退出のシーンの特徴としては、ペダルの踏み替えが多いことが挙げられ、これを踏み間違いの原因の正体と考えることは理にかなっている。したがって、踏み替えの頻度を考慮すべきであり、そのためにペダルに対する足の位置関係を検出することが重要となる。

一方、ペダルの踏み間違い事故という、誤ってアクセルペダルを踏んだ暴走事故に注目が集まるが、逆に誤ってブレーキペダルを踏むと急ブレーキとなり、状況によってはこの踏み間違いも非常に危険である。表2に車両の状況と操作ペダルの関係における危険度の変化の例を示す。これは、車両の状況に応じて、同じペダル操作に対する危険度の判定基準を変える必要があることを示唆している。

表2：車両の状況と操作ペダルの関係における危険度

車両の状態		ペダル操作とその危険度	
		アクセル	ブレーキ
停車中		高	低
定速走行中		低	高
前方車間距離	長い	低	/
	短い	高	
後方車間距離	長い	/	低
	短い		高

以上から、ペダル踏み間違いの危険を次の3つの危険の合成として定義する。すなわち、踏み替えの頻度が多いときに発生する i) 踏み替え高頻度における危険、そして車両の状況にそぐわないペダル操作をしたときに発生する ii) アクセル操作における危険および iii) ブレーキ操作における危険である。

c) 危険度判定モデル

車両の状況を表現しうる指標は、車速度、操舵角、ペダル操作量などの内界情報にはじまり、近年のGPSの普及により取得が容易になってきた、地図上の現在位置、道路形状、渋滞情報などの外界情報など多数にのぼる。本研究では、それらの中でも特に、新たな装置を追加せずにCANを介して取得可能な内界情報に注目する。これらの情報に画像処理によって取得するペダルに対する足の位置情報を加えることによって、車両の状況とそれに対する操作ペダルを認識する。

CANから取得する具体的な情報としては、車速度 I_{spd} 、操舵角 I_{sta} 、シフト情報 I_{sfp} を選択した。

シフト情報としては、車両の移動に関係のあるドライブ(D)、リバース(R)のみを対象とし、式(1)のように数値化する。

$$I_{sfp} = \begin{cases} 1 & (\text{シフト情報がR}) \\ 0 & (\text{シフト情報がD}) \end{cases} \dots (1)$$

また、これらの情報を用いて次の各指標を算出する。加速度は、その符号に基づいて式(2)、(3)のように加速度(正) I_{acc} および加速度(負) I_{dec} の2つに分割する。

$$I_{acc} = \begin{cases} A_{cc} & (A_{cc} \geq 0) \\ 0 & (A_{cc} < 0) \end{cases} \dots (2)$$

$$I_{dec} = \begin{cases} 0 & (A_{cc} \geq 0) \\ |A_{cc}| & (A_{cc} < 0) \end{cases} \dots (3)$$

ただし、 A_{cc} は車速度の時系列から算出した加速度である。加速度変化頻度(正) I_{acc} は単位時間あたりの加速度(正)が発生した回数であり、加速度変化頻度(負) I_{dec} は同じく加速度(負)が発生した回数である。操舵角変化頻度 I_{sta} も同様に操舵角の変化が発生した回数である。

一方、足の位置 I_{ftp} は図3に示すように、画像の水平方向のアクセルペダルの中心位置座標 G_A およびブレーキペダルの中心位置座標 G_B とともに、足の重心位置座標 G_F を用いて式(4)に基づいて $-1 \leq I_{ftp} \leq 1$ の範囲に正規化する。

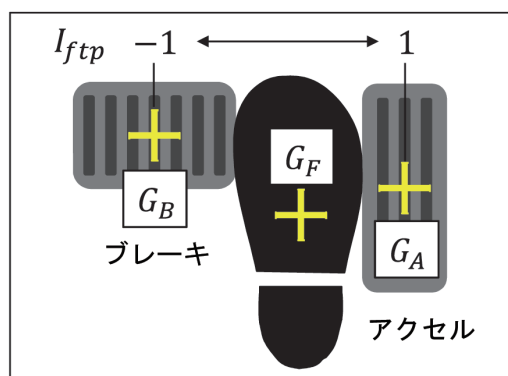


図3：足の位置算出のためのパラメータ

$$I_{ftp} = \begin{cases} 1 & (\text{シフト情報がR}) \\ 0 & (\text{シフト情報がD}) \end{cases} \dots (4)$$

踏み替えの頻度を表現するために、まず足の位置の時系列の差分を式(5)のように算出する。

$$\Delta I'_{fip} = I'_{fip} - I'^{t-1}_{fip} \quad \dots (5)$$

ただし、 I_{fip} は時刻 t における足の位置である。ここで、

$|\Delta I'_{fip}| > T_H$ かつ $\frac{\Delta I'_{fip}}{\Delta I'^{t-1}_{fip}} < 0$ であったとき、足の移動頻度 I_{epf} をカウントし、これを踏み替えの頻度に代える。 T_H は閾値である。これは、足が閾値よりも大きく、直前と逆の方向へ移動した回数をカウントすることを意味する。また、前述の加速度変化頻度および操舵角変化頻度も同様に求める。

先に示した3つの危険に対する危険度をモデル化するために、それらの危険が発生すると思われる様々な運転シーンを想定し、それらのシーンにおいて典型的に操作するペダルを対応付ける。ここで運転シーンの例としては、駐車上における後ろ向き駐車や交差点における右折からの退出などが挙げられる。これらの対応情報から、それぞれのペダル操作の危険の度合いに相関する指標を抽出し、モデルを作成する。

式(6)にアクセル操作における危険度 D_{acc} の定義を示す。

$$D_{acc} = f(I_{fip}) \left(W_{a1} \frac{I_{sta}}{I_{spd}} + W_{a2} I_{acf} I_{def} + W_{a3} I_{sfp} \right) \quad \dots (6)$$

D_{acc} は3つの項の加算として表現されている。第1項は操舵角が大きく、かつ車速度が小さいとき、すなわち駐車シーンなどで大きくなる。第2項は加速度変化頻度(正)および加速度変化頻度(負)が共に大きいとき、すなわち頻繁にアクセルをON/OFFするシーンで大きくなる。第3項は、シフトがRのとき、すなわち後進するシーンで大きくなる。ただし、 W_{a1} 、 W_{a2} 、 W_{a3} はそれぞれの項の影響を増減するための係数である。さらに、すべての項には $f(I_{fip})$ が影響をおよぼす。関数 $f(x)$ は式(7)に示す通り x が正のときのみ比例関係を表す。

$$f(x) = \begin{cases} x & (x \geq 0) \\ 0 & (x < 0) \end{cases} \quad \dots (7)$$

したがって、 $f(I_{fip})$ は足の位置がアクセルペダルよりであるときに、アクセルペダルに近い

ほど影響力が大きくなり、 D_{acc} がアクセル操作における危険度であることを決定づけている。

また、式(8)にブレーキ操作における危険度 D_{brk} の定義を示す。

$$D_{brk} = f(-I_{fip}) W_b \frac{I_{spd}}{I_{sta} I_{stf} I_{dec}} \quad \dots (8)$$

D_{brk} は、車速度が大きく、そして操舵角、操舵角変化頻度、加速度(負)がいずれも小さいとき、すなわち直線道路をスムーズに走行しているシーンなどで大きくなる。ただし、 W_b は影響を増減するための係数である。 $f(-I_{fip})$ は、式(7)より、足の位置がブレーキペダルよりであるときに、ブレーキペダルに近いほど影響力が大きくなり、 D_{brk} がブレーキ操作における危険度であることを決定づけている。

最後に、踏み替え高頻度における危険度 D_{epf} の定義を式(9)に示す。

$$D_{epf} = W_p I_{epf} \quad \dots (9)$$

D_{epf} は、単純に踏み替え頻度、言い換えれば足の移動頻度が大きいとき、すなわちアクセルペダルとブレーキペダルを頻繁に踏み替えるシーンで大きくなる。ただし、 W_p は影響を増減するための係数である。

個々の危険度はそれぞれ独立に変化する事象であり、それぞれの度合いに応じて正値が大きくなるような設計とした。したがって、それらの総和を求めることによって、式(10)のように総合的な危険度 D を定義する。

$$D = D_{acc} + D_{brk} + D_{epf} \quad \dots (10)$$

3 これまで得られた研究の成果

ペダル踏み間違い危険度の判定性能を検証するために、ドライビングシミュレータで駐車場内の駐車や交差点の右左折などの運転シーンを含む走行シナリオを作成し、その走行の際に変化する危険度のログを取得した。図4に作成した走行シナリオを示す。

同図中の①～⑩に示す場所では、次に示すような各種運転シーンを設定した。

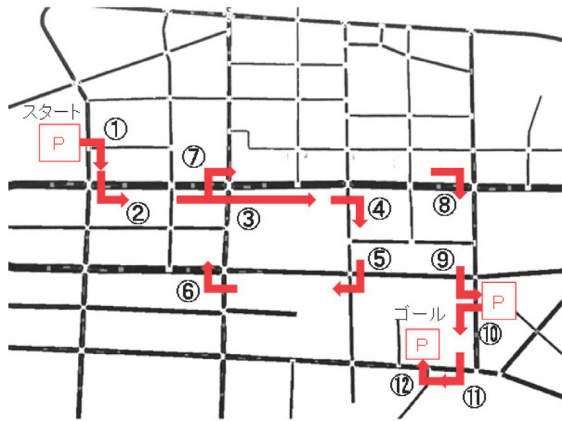


図4：走行シナリオ

- ① 駐車場から発車
- ② 交差点左折
- ③ 幹線道路直進（直進中に故意にブレーキペダルを操作）
- ④ 交差点右折
- ⑤ 交差点右折（横断歩道を渡る歩行者および遠方に対向車あり）
- ⑥ 交差点右折（対向車のトラックの影からのバイクあり）
- ⑦ 交差点右折（横断歩道を渡る歩行者あり）
- ⑧ 交差点右折
- ⑨ 駐車場へ前方駐車
- ⑩ 駐車場から道路へ
- ⑪ 丁字路右折
- ⑫ 駐車場へ後方駐車

特に③、⑤、⑥、⑦ではより危険なシーンにおける提案システムの性能を確認するために、各種イベントを配置した。このときの、各危険度の値のログを図5～8に示す。特に総合的な危険度（図8）には上記の各運転シーンを走行しているタイミングにそのシーンに応じた①～⑫の番号を対応付けて示している。

図5はアクセル操作における危険度のログを示す。本危険度は①、⑥、⑨、⑩、⑫のシーンで大きくなっていることが確認できる。その多くは駐車場の運転シーンである。駐車場では、低速で大きくハンドルをきることで、アクセルとブレーキを頻りに踏み替えるため、想定されたとおりに大きな危険度が検出されているこ

とが分かる。特に⑫では、後方に移動しながらの駐車であることから、より大きな値となったことが推察できる。⑥のシーンで大きくなったのは、対向車やその影に隠れていたバイクに対応するために、アクセルを頻りにON/OFFしたことが起因していると思われる。

図6はブレーキ操作における危険度のログを示す。本危険度はほとんどの運転シーンで大きな値をとっていることが確認できる。しかし、危険度がほとんど検出されなかった①、⑨、⑩、⑫はいずれも駐車シーンであることから、低速で走行していたため、ブレーキペダルを誤って踏んでも急ブレーキにはならず、危険はないと判断されたことが推察される。

図7は踏み替え高頻度における危険度のログを示す。本危険度は③、⑤、⑥、⑦のように、より危険なシーンとして各種イベントを配置したシーンでそれぞれ大きな値を示している。すなわち、イベントに対応するために、アクセルペダルとブレーキペダルを頻りに踏み替えたことが推察される。

図8は総合的なペダル踏み間違い危険度のログを示している。これは上記の3つの危険度の和であるが、総合的に各運転シーンに対して反応しており、結果として、設計意図通りに変化することが確認できる。

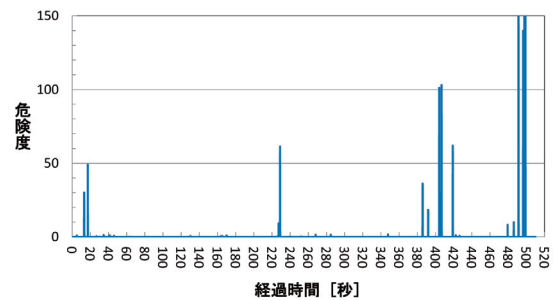


図5：アクセル操作における危険度

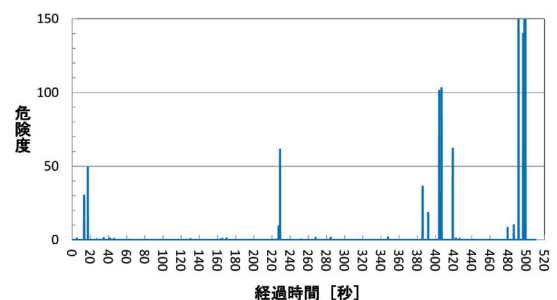


図6：ブレーキ操作における危険度

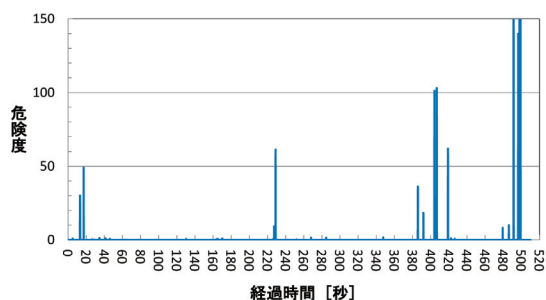


図7：踏み替え高頻度における危険度

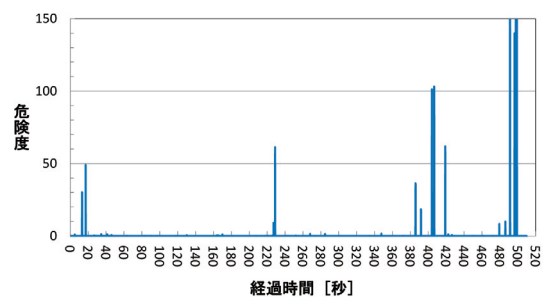
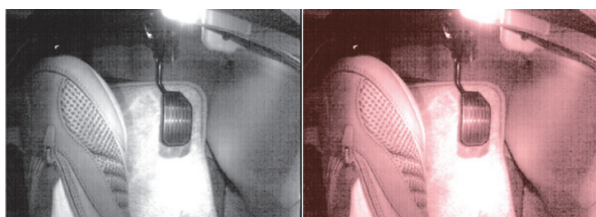


図8：総合的なペダル踏み間違い危険度

一方、色味による危険度の提示が運転者にとって有用であるかどうかを確認するために、同じくドライビングシミュレータ上のシナリオを複数の被験者に運転してもらい、事後にアンケート調査をすることで評価を行った。その際に提示していた色味による危険度の提示画像の一例を図9に示す。同図(a)がペダル周辺を撮影した原画像（グレースケール）、(b)が危険度に応じて赤味を強調した画像である。

アンケート調査の被験者は事故が多いとされる高齢者を想定して、64～75歳の20名とした。(1)一時停止等において停車する際、(2)停車から発車する際、(3)方向転換の切り返しの際のそれぞれについて色味の変更の有効性を問うた設問においては、それぞれ65%、55%、55%といずれも半数以上の被験者が有効であると答え、肯定的な反応が得られた。完全停止時には足許を



(a)原画像 (b)赤味強調画像

図9：色味による危険度の提示

目視することが可能であり、また今回は映像をインパネに提示したため後進時にはインパネは視野に入らないことから、(2)、(3)においては若干肯定意見が少なくなったことが推察される。さらには、赤味による危険度の表現が適切かどうかを問うた設問においては、「適切だった」、「おおよそ適切だった」をあわせて65%の被験者が肯定的な回答であった。

以上から、提案システムは状況による反応の変化もあるが、おおむね有効であることが確認できた。

4 今後の具体的な展開

本研究では、ペダル踏み間違いの危険度を判断するための危険度判定モデルを構築し、映像に色味を付与することによって危険度を運転者に提示する手法を提案した。今後の課題は、モデルの判定結果と実際の危険との相関を検証し、精度を高めていくことが挙げられる。

5 論文・学会発表等の実績

伊藤貴之、齋藤大貴、新井義和、曾我正和、今井信太郎、猪股俊光、ペダル可視化装置のためのペダル踏み間違い危険度の提示、電子情報通信学会2013年総合大会、ISS-P-109、2013。

6 受賞・特許

特になし

7 その他

- [1] 特集 運転操作の誤りを防ぐー駐車場、高齢者に多いペダル踏み間違い事故ー、ITARDA INFORMATION No.86、交通事故総合分析センター、2010。
- [2] 公立大学法人岩手県立大学、自動車用ペダル操作リアルタイム動画可視化システムおよび自動車用ペダル操作リアルタイム動画可視化方法、特開2012-66808。