

没入型運転者危険予測教育システムの開発

須藤寛斗^{†1} 張興国^{†1} 陳国躍^{†1} 猿田和樹^{†1} 寺田裕樹^{†1}

概要：危険を認知してから回避行動に移るまでの反応時間の長さは、非予測時の状態が予測時の状態よりも約2倍の長さとなっている。したがって、運転者の危険予測能力を高めることにより、事故の防止が可能であると考えられており、この能力を高めるための教育システムが必要である。しかし、現存する教育システムでは、臨場感が低く、使用者の自主性も低い。本研究では、この問題を解決するために、全方位映像とヘッドマウントディスプレイ、入力用の小型端末を用いた新たな教育システムを提案する。このシステムでは、実際の運転時のような感覚で使用することができ、なおかつ自主的に危険場面を探索することが可能である。また、本システムを用いた訓練効果に対する検証実験を行ったところ、使用者の危険予測能力の向上が確認できた。本システムの活用で運転者の危険予測能力が向上し、交通事故の低減に繋がることが期待される。

キーワード：バーチャルリアリティ、インタラクション、危険予測

Development of Immersive Traffic Accident Risk Prediction Educational System for Drivers

HIROTO SUTO^{†1} XINGGUO ZHANG^{†1} GUOGUE CHEN^{†1}
KAZUKI SARUTA^{†1} YUKI TERATA^{†1}

Abstract: The length of reaction time from recognition of danger to transition to evasive action is that the state of non-prediction is about twice as long as the prediction. Therefore, it is considered that it is possible to prevent accidents by enhancing driver's traffic accident risk prediction ability, and an educational system for doing it. However, the presence and user's autonomy is low in the existing education system. In this research, we propose a new educational system with 360 degrees video, head mount display and small terminal for input to solve this problem. This system can be used in the sense such as actual driving, and it is possible to autonomously search for dangerous scenes. In addition, we made a verification experiment using this system on the training effect and confirmed that users improved their risk prediction ability. It is expected that this system improves user's risk prediction ability and lead to reduction of traffic accidents.

Keywords: Virtual Reality, Interaction, Traffic Accident Risk Prediction

1. はじめに

交通事故が起こる要因として、運転者の危険要因に対する認知ミスが最も多く、全体の約7割を占めている[1]。危険要因の認知ミスは主に安全不確認、脇見運転、動静不注意、漫然運転の4つの要因が含まれており、特に安全不確認と、車両や歩行者を認知していたものの動きを注視していなかったことが要因である動静不注意は、運転者の危険箇所を予測かつ把握する能力の欠如に起因している。また、危険を予測していない状態の危険に対する反応時間は約1.5秒かかり、危険をある程度予測している状態の反応時間に比べて、約2倍の時間がかかることが明らかになっている[2]。危険な運転行動の習慣化も交通事故のリスクを高めると考えられており[3]、この運転行動を改める必要があると考えられる。このことから、危険知覚の訓練を行うことによって運転者が危険を発見する能力が高められることが明らかになっており[4]、運転者の危険予測能力を高めることによって事故を防止することが可能であると考えられる。

運転者の危険予測能力を高めるためのシステムとして、(株)Honda による危険予測訓練システムがある[5]。これは危険が起こり得る交通場面を、ユーザが実際に選択することで危険予測に対する訓練を行うことのできるシステムである。これは、コンピュータの画面上に表示されるアニメーションの映像を見ながら動作を行い、危険箇所が存在する時点で映像が自動的に停止され、3つの箇所の中から使用者が危険箇所を選択し、適した箇所を選択するとアニメーションによる危険場面が提示されるものである。実際にユーザが危険箇所を探すことで危険予測に対する訓練を行うことのできるシステムであるが、モニター上のアニメーションの映像で訓練を行うため、実際の運転に必要な現実感に欠け、正しい訓練を行うことができない可能性が高い。

加えて、(有)サイビジョンは、ユーザが衝突対象の出現する可能性のある箇所をタッチする iPad 専用のアプリケーションの「Hazard Touch」[6]を開発した。また須藤らは、実写の車載カメラ映像を見ながら出現する歩行者を発見した際にタッチパネルをタッチすることで訓練を行う「タブレ

^{†1} 秋田県立大学
Akita Prefectural University.

ット PC を用いた運転者教育システム」[7]を開発した。これらは検証実験により一定の訓練効果が得られたことが確認されているが、平面のモニター上に映し出される映像を見ながら訓練を行うため、実際の運転時のような完全な臨場感を実現できていない。

また、(株)Honda の危険予測訓練システムや、自動車事故対策機構が提供しているドライブレコーダーを用いた教育教材[8]は、一時停止する場面が定められており、映像がシステム側で自動停止されてしまう。そのため、使用者の自主性が低くなってしまいう問題も挙げられる。

そこで本研究では、全方位映像とヘッドマウントディスプレイを用いて臨場感を高め、小型端末を用いてユーザの自主性がより高い訓練を行うことが出来る運転者教育システムを開発する。本システムは、運転者の視点に近い位置に取り付けた 360 度カメラから取得した全方位映像をヘッドマウントディスプレイを通して投影し、危険箇所が存在すると思われる場面で映像を小型端末によってユーザ自身に停止させてもらう。その後、その場面にある危険箇所を選択してもらい、危険であるか否かを判別した情報をユーザに提示するものである。加えて、危険に対する反応時間を同時に計測し、その結果をグラフ化してユーザに提示する機能も導入する。また本研究では、本システムを用いた際のユーザの認知能力の向上に対する効果の検証も行った。その結果、被験者の危険予測能力の向上を推移として評価することはできなかったが、本システム利用後に、被験者の危険予測能力が向上していることを確認できた。

2. 運転者危険予測教育システム

2.1 システムの動作手順

本システムは、運転者の危険予測能力を高める為に提供されている危険予測教育システムを、実写の全方位映像を用いて再現したものである。映像に全方位のものを用いる理由は、ヘッドマウントディスプレイ上で再生できる映像であり、かつ映像の中に完全に入り込める環境を与えることができるためである。以下に、本システムの動作手順を示す。

まず、多人数のデータを保存し、結果を表示してデータを比較するために必要となるユーザ名を入力する。その後、メニュー画面が表示され、3 つの交通場面が含まれるセットのうち、1 つのセットを選択する。セットを選択すると、1 つ目の映像が再生される。ユーザは、図 1 のように危険箇所が存在する場面であると思われるタイミングで端末のボタンを押し、動画を停止させる。危険箇所が存在しない場面であれば再度最初から動画が再生され、危険箇所が存在する場面であれば危険箇所をクリックする動作に移る。1 つの場面に危険箇所を 3 つ提示しており、1 つは最も危険である箇所、残り 2 つは実際の危険箇所よりも危険度が

低い箇所としている。危険度が低い箇所をクリックした場合には、再度最初から映像が再生されるようになっており、最も危険である箇所をクリックした場合には、図 2 のように危険な要因の対象物を映像として見せ、解説文を添えてユーザに提示し、次の交通場面に移る。この主な流れを、図 3 に示す。

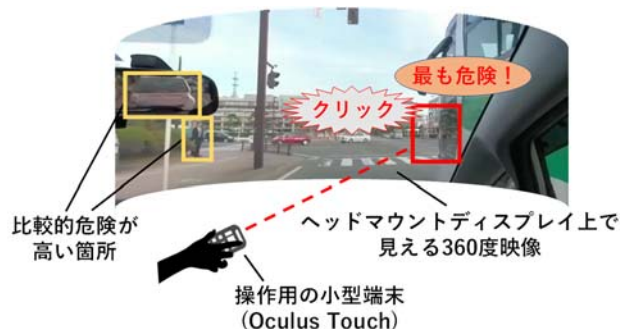


図 1 システムの操作例

Figure 1 Example of operating this system.



図 2 解説画面の例

Figure 2 Example of explanation screen.

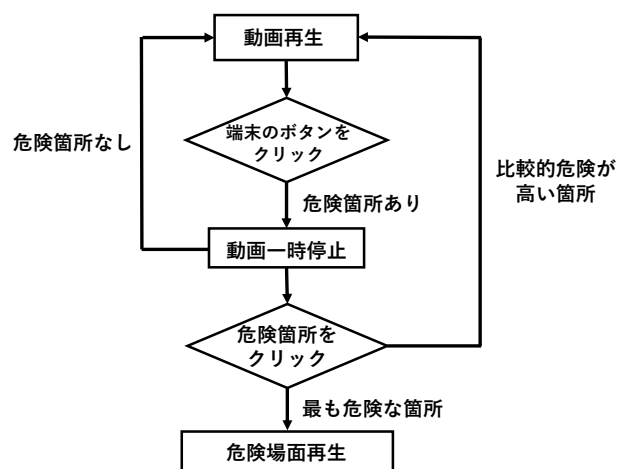


図 3 システムの操作の流れ

Figure 3 The operation process of this system.

また、本システムでは、危険箇所に対する反応時間を計測するシステムを実装しており、危険場面を発見して映像を一時停止させた際に、反応時間の計測も同時におこなっている。これにより、ユーザの訓練効果の把握と、ユーザ自身が危険に対する反応の評価が可能である。

2.2 システムに用いる機器

本システムには、全方位映像をユーザに提示する為に、Oculus Rift と呼ばれるヘッドマウントディスプレイを用いている。2次元映像としてディスプレイ上に表示していた映像を360度映像としてヘッドマウントディスプレイ上に表示させることで、アニメーションや平面のモニター上に表示される映像よりも没入感のある映像提示が可能である。また、ヘッドマウントディスプレイを用いることで上下左右に首を動かして危険箇所を探索することができるため、実際の運転時のような感覚で訓練を行うことができる。

提示する映像には、GoPro Fusion と呼ばれる360度カメラを運転席に設置して撮影した全方位映像を用いる。カメラの設置には、自動車内にモニターなどを設置する用途を目的に提供されているスタンドQBF19を用いた。図4のようにこのスタンドにカメラを取り付け、運転者の目線に等しく、かつ運転に支障がない程度に運転者の左目に近い位置にカメラを固定して撮影する。これをゲームエンジンソフトウェアのUnityを用いて再生させる。具体的には、図5のように作成した球状の物体の内側に動画を貼り付け、この球の内側の中心に仮想カメラを配置することで、ユーザがヘッドマウントディスプレイを通して360度映像を見ることができるようになる。また、他者の運転映像を見ることが自身の運転行動を改善できることが明らかにされており[9]、他者の視点からの運転映像を見ることが、ユーザ自身の運転行動も改善できると考えられる。

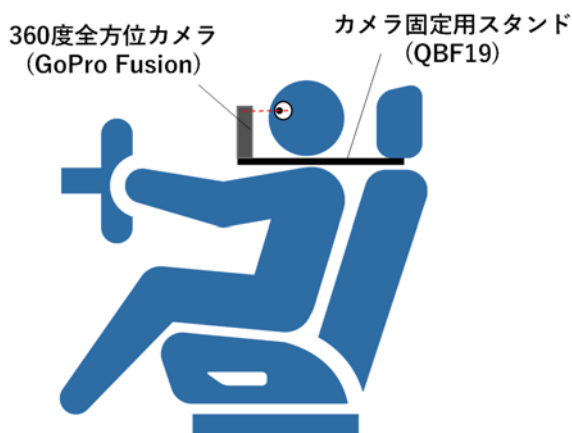


図4 交通場面映像の撮影環境
Figure 4 Shooting environment of traffic scene video.

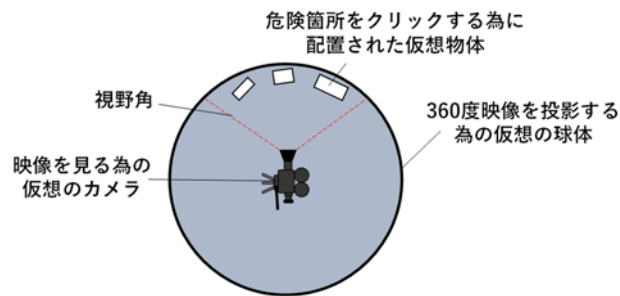


図5 全方位映像を投影する仮想環境
Figure 5 Virtual environment for projecting 360 degrees video.

また、本システムには、端末を用いてインタラクティブに訓練を行うことができる機能を実装している。小型端末には図6のOculus Touch と呼ばれるヘッドマウントディスプレイ専用のコントローラーを用いており、これによって、危険場面で映像を一時停止させたり、危険箇所をクリックさせたりすることができるようにになっている。危険箇所に対するユーザのクリック動作を判別させるためには、図5のようにクリックされた際の処理動作を組み込んでいる四角形の透明な仮想物体を作成し、映像を貼り付けている球の内側の危険箇所が投影されている適切な位置に配置することにより、危険箇所が端末によってクリックされたか否かを判別することが出来る。この機能により、ユーザの任意のタイミングで映像を停止させ、かつユーザ自身が危険箇所を探すことができる為、ユーザの自主性を高めた状態で訓練を行うことが可能となる。



図6 システムに使用する小型端末
Figure 6 Small terminal using this system.

3. 検証実験

3.1 評価手法

システムの有効性を検証する為に、本システムを用いて実験を行い、危険予測に対する訓練効果を検証する。本システムで訓練効果を検証する際に、複数の要因と、その総合的な評価を行う必要があると考えられる。そのため、危険に対する反応時間、危険箇所を探索する時間、最も危険である箇所を選択するまでにクリックした危険箇所の個数を、点数として換算し、それぞれの点数とその合計値で評価する。点数は各要因30点満点とし、3つの要因による合

計値を 90 点満点とする。

反応時間を計測する際には、交通場面ごとに危険箇所に対する予測可能時間が異なる。例えば、図 7 に示すように、場面 A と場面 B で危険箇所が映像上に出現し、危険予測が可能となるタイミングと、危険箇所を発見したタイミングが等しいため、時間としての反応時間は等しいにも関わらず、危険箇所所で事故が発生するタイミングがそれぞれ異なれば、反応時間を等しい時間として扱うことはできない。そのため、異なる交通場面でも反応時間を比較可能な数値として提示する計算して、危険予測可能時間に対する反応時間の割合として、反応時間を求める必要がある。具体的には、危険予測可能時間に対する反応時間の割合を T [%], 危険箇所が映像上に現れ、危険予測が可能となる時間を t_{start} [秒], 危険が回避不能である時間を t_{end} [秒], ユーザーが危険を発見し、映像を一時停止させる時点までの時間を t_{click} [秒] とすると、危険に対する反応時間の点数換算は、

$$T = 30 - \left(\frac{t_{click} - t_{start}}{t_{end} - t_{start}} \times 30 \right) \quad (1)$$

の式のように計算して求められ、比較可能な点数として扱うことができるようになる。反応時間に関しては、小数点第 2 位以下を四捨五入し、小数点第 1 位まで求めた値とする。

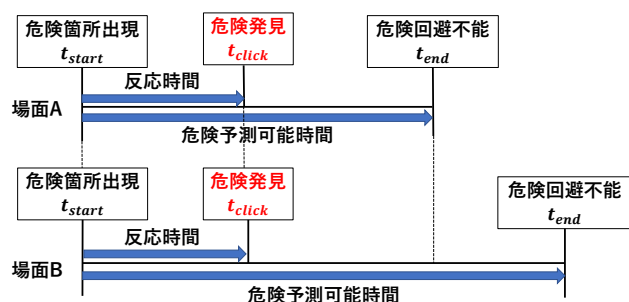


図 7 危険予測可能時間と反応時間の例

Figure 7 Example of accident risk predictable time and reaction time.

危険箇所を探索する時間の点数換算は、映像を一時停止させて危険箇所を選択する動作に移る段階から、危険箇所をクリックする動作までの時間を、一定の時間間隔で区切り、点数付けを行って求める。具体的には、表 1 の点数換算表のように、0 秒から 1 秒間隔で、満点である 30 点から 3 点ずつ点数を引いていき、時間を点数に換算していく。今回は、探索する時間を最長 10 秒と定め、探索に 10 秒以上かかった場合は、点数を 0 点とする設定とした。

また、クリックした危険箇所の個数の点数換算は、表 2 の点数換算表のように、提示している 3 つの危険箇所の中で、最も危険である箇所をクリックするまでにクリックした危険箇所の個数に基づいて点数換算を行う。1 回目に最も危険である箇所をクリックした場合には満点である 30

点とし、2 回目にクリックした場合は 20 点、3 回目にクリックした場合は 10 点と設定する。例えば、危険予測可能時間を 12.0 [秒] と設定してある場面において、反応時間が 4.0 [秒], 探索時間が 2.0 [秒], 2 回目に最も危険である箇所をクリックした場合、点数はそれぞれ 25.0 [点], 27.0 [点], 20.0 [点] となり、合計値は 72.0 [点] となる。

表 1 危険箇所を探索する時間の点数換算表

Table 1 Score conversion table of time to search the dangerous spot.

危険箇所を 探索する時間 [秒]	点数 [点]
0 ~ 1.0	30
1.1 ~ 2.0	27
2.1 ~ 3.0	24
3.1 ~ 4.0	21
4.1 ~ 5.0	18
5.1 ~ 6.0	15
6.1 ~ 7.0	12
7.1 ~ 8.0	9
8.1 ~ 9.0	6
9.1 ~ 10.0	3
10.1 ~	0

表 2 最も危険である箇所を選択するまでにクリックした危険箇所の個数の点数換算表

Table 2 Score conversion table of number of clicked dangerous spots by choosing the most one.

最も危険である箇所を選択するまでに クリックした危険箇所の個数 [個]	点数 [点]
0	30
1	20
2	10

3.2 実験手法

実験は、危険箇所をクリックするための 3 つの仮想物体を配置した異なる交通場面を 3 つ提示して行う。交通に関する危険予測は、運転者自身の判断に基づく運転行動と、他者の予想外の動作を結び付けて危険要因と定めている [10] ため、場面設定には、被験者にとって予想外となり得る危険の存在がある可能性の高い場面を設定する。今回は、動静不注意と安全不確認時の、人と自動車の接触による事

故が約半分を占める歩行者が横断道路を横断する場面から、その中の約4割を占める[1]横断歩道で歩行者が横断する場面を、交通場面として用いる。また、場面1と2は昼間の映像を使用し、場面3は夜間の映像とする。加えて、場面1と場面3は直進の映像を用いるが、場面2は自動車が右折する映像を用いる。これは、実際にシステムを使用する場合と同じように、周囲の環境が変化しても危険予測を正しく行うことができるか否かを検証するためである。

実験を行う前には、異なる映像で操作を練習してもらい、本システムの操作に慣れてもらう。加えて実験前に、反応時間と探索時間、クリックした危険箇所の個数を計測することと、1場面に危険箇所が3つ提示されていることを、予め被験者に説明しておく。一方で、実際のシステム使用時に近い状況となるように、交通場面の詳細な説明は事前には行わない。

今回の被験者は、運転免許証を取得しているが、日頃からあまり運転を行っていない男子大学生3名とする。これは、日頃から運転を行っている人に比べて、あまり運転を行っていない人の方がより大きな訓練効果が表れると考えたためである。

実験の手順に関しては、以下のように行う。まず被験者の名前を入力してもらい、被験者にヘッドマウントディスプレイを装着してもらう。続いて操作の小型端末を手に持ってもらい、メニュー画面から今回実験を行う交通場面のセットを選択してもらい、1つ目の交通場面の映像が再生される。通常のシステムの利用方法通り、危険箇所が存在すると思われる場で端末のボタンをクリックして動画を一時停止してもらい、最も危険であると思われる箇所を端末でクリックしてもらう。危険箇所が存在しない場面でボタンをクリックしてしまった場合や、クリックした箇所が最も危険な箇所でない場合には、再度初めから同場面の映像が再生され、同様の動作を行ってもらう。最も危険である箇所をクリックした場合には危険要因の対象物が映像や仮想物体として表示され、次の交通場面の映像に移行する。これを3つの交通場面に対して行ってもらい、全ての交通場面に対して動作が終了したら、3つの場面で計測した点数の値を csv ファイルに記録する。被験者全員の実験が終了した後に、記録した反応時間、探索時間、クリックした危険箇所の個数のそれぞれの要因ごとに点数換算した値と、3つの要因の点数の合計値からそれぞれの平均値を求め、比較と評価を行う。

なお、危険度が低い危険箇所をクリックした場合には、反応時間と探索時間の計測結果を保存せず、再度映像を最初から再生する。その後、ユーザが再び映像を一時停止する動作を行うように設定し、最も危険である箇所をクリックした際の反応時間と探索時間を使用するデータとして保存する。

3.3 実験結果

図8に、実験で得られた結果の平均値の場面ごとの推移をグラフとして示す。横軸は提示した交通場面の番号を示し、縦軸は換算した点数を示す。グラフには、危険に対する反応時間、危険箇所を探索する時間、最も危険である箇所を選択するまでにクリックした危険箇所の個数をそれぞれ点数として換算した値を平均値として表して、それぞれ分けて表した。合計の平均値は、場面ごとの積み上げグラフの全ての値である。

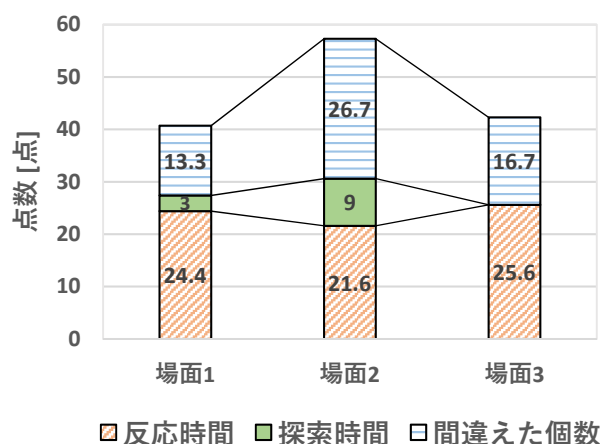


図8 3場面における計測結果の点数換算した平均値の推移

Figure 8 Transition of converted average score of a measurement result in 3 scenes.

この図より、探索時間、クリックした危険箇所の個数、合計値の3つは場面1から場面2において点数が高くなり、場面2から場面3において点数が低くなっていることが分かる。また、以上の3つの要因においては場面2における点数が最も高くなり、クリックした危険箇所の個数と合計値においては場面1よりも場面3の点数が高くなった。同じく反応時間においても、場面1よりも場面3の点数がわずかながら高い点数となったが、反応時間は場面1から場面2において点数が低くなり、場面2から場面3において点数が高くなった。

4. 考察

本システムを用いた評価実験から得られた結果から、危険に対する反応時間、最も危険である箇所を選択するまでにクリックした危険箇所の個数、合計値の3つの要因において、場面1よりも場面3の方が点数が高くなった。これは、本システムを使用することにより、被験者が危険である箇所を予測する能力が高まり、素早く的確に危険箇所を予測することができたためであると考えられる。一方で、

危険箇所を探索する時間においては、場面 1 よりも場面 3の方が点数が低くなった。この要因に関しては、点数換算の手法に問題があったと考えられる。今回の実験では探索時間の最大を 10 [秒]と設定し、表 1 のように 1 [秒]間隔で区切って点数を与えていったが、被験者のほぼ全員が全ての場面で探索時間に 10 [秒]以上の時間を要しており、点数が 0 [点]になってしまう場合が多く、10 [秒]以上の探索時間の各場面での点数を正確に比較することができなかった。そのため、点数として換算する時間を 10 [秒]よりも長く設定して点数の換算を行うことにより、より正確な訓練効果を見ることができると考えられる。

また、各場面での点数の推移に関しては、反応時間、クリックした危険箇所の個数、合計値の 3 つの要因において、場面 1 から場面 2 にかけて点数が高くなり、場面 2 から場面 3 にかけて点数が低くなる結果となった。このような結果となった要因として、今回用いた交通場面の種類が、詳細に統一されていなかったためであると考えられる。今回は交差点の横断歩道における歩行者を、危険対象とした場面で統一させて行ったが、場面 1 と場面 3 の映像は直進方向に進む映像であり、場面 2 の映像のみ右折時の映像であった。そのため、場面 2 における危険箇所の予測が、場面 1 と場面 3 に比べて容易になり、場面 2 のみ点数が高くなってしまったのだと考えられる。今回は実際のシステム利用時を想定した場面を設定したが、実験として効果を検証するには、より詳細に交通場面の種類を分割し、統一して提示した場合との比較も行う必要があると考えられる。

なお、今回はより実際の運転に近い状態を想定した被験者の訓練結果を得る為に、場面に対する説明は事前にほとんど行わなかった。しかし、場面 2 において映像上の自動車が右折するか左折するか分かりづらいという意見が 2 人の被験者から挙がった。場面 2 の反応時間の点数が場面 1 や場面 3 と比べて低くなってしまったのも、このことが要因であると考えられる。映像上では運転席に表示されているウインカーのランプが点灯することで把握できるよう配慮していたが、ウインカーの点灯前に映像を止めることも可能であり、被験者に正確に情報を提示できていなかったと考えられる。また、実際の運転では右左折の判断は運転者本人が行うものであり、映像上の情報を使用者が自身で把握する必要はない。(株)Honda の危険予測トレーニングシステムや、須藤らが開発したシステムよりも使用者の自主性を高めたシステムの開発を目的としているため、使用者に対してあまり情報を多く与えるべきではないと考えているが、右左折の情報など、危険箇所の予測に映像から読み取る必要のない情報は、あらかじめ情報を分かりやすく提示しておく方が良いと考えられる。

また、今回は危険を発見できなかった場合や、危険箇所のない場面で動画を一時停止させようとした場合の回数を特に計測しなかった。しかし、1 回の映像の再生で危険箇

所を発見した場合と、複数回映像を再生させてから危険箇所を発見した場合とでは、危険予測能力は異なると考えられるため、上記の場合も点数として評価指標に加え、総合的に判断していく必要がある。加えて、今回は 3 つの場面に対する訓練を行うことで効果を確認したが、より正確な検証を行うために、場面数を更に増やして評価する必要があると考えられる。

5. 結論

本研究では、臨場感と使用者の自主性を高めることを目的に、全方位映像とヘッドマウントディスプレイ、入力用の小型端末を用いた運転者に対する危険予測教育システムの開発を行った。また、本システムを使用した場合の訓練効果を確認する為に検証実験を行ったところ、危険予測能力の向上を推移として評価することはできなかったが、本システム利用後の危険予測能力の向上が確認できた。今後は、より詳細に場面の種類を統一し、多くの場面映像を用いて検証実験を行うことで、本システムの利用における訓練効果を明らかにしていく予定である。

謝辞 本研究は日本学術振興会の科学研究費補助金（若手研究 18K13237）の支援により実施された。

参考文献

- [1] 警察庁交通局. 平成 29 年中の交通事故の発生状況. 警察庁交通局統計資料. 2018.
- [2] “危険予知・事故回避トレーニング 危険予知の重要性”. <http://www.jaf.or.jp/eco-safety/safety/kyt/important.htm>, (参照 2018-12-03).
- [3] 小菅英恵. ヒヤリハット類型と日常運転行動 運転意識の関係-安全教育対策検討のためのヒューマンエラー分析-. 労働安全衛生研究 2018, vol.11, no.1, p. 25-37.
- [4] Frank P. Mckenna, Jeffrey Crick. Developments in Hazard Perception. Transport Research Laboratory. 1997.
- [5] 本田技研工業株式会社. 危険予測トレーニング(KYT)
- [6] 中村愛, 島崎敢, 伊藤輔, 三品誠, 石田敏郎. タブレット端末と事故映像を用いたハザード知覚訓練と運転行動の変化. 人間工学. 2013, vol.49, no.3, p. 126-131.
- [7] 須藤匠, 猿田和樹, 寺田裕樹, 陳国躍. タブレット PC を用いた運転者教育システムの開発と評価. 情報科学技術フォーラム論文集. 2014, vol.13, no.3, p. 49-54.
- [8] 独立行政法人 自動車事故対策機構. ドライブレコーダー映像を用いた危険予知トレーニング.
- [9] 太田博雄. 高齢ドライバーのためのミラーリング法によるメタ認知教育プログラム開発. タカタ財団助成研究論文集. 2011, p. 52
- [10] 広兼道幸, 白木渡, 大幡勝利. 安全教育における危険予知訓練について. 土木学会論文集. 2010, vol.66, no.1, p. 55-69.