

自動走行車両搭乗者のストレス軽減を目的とした 死角領域と車両制御情報の可視化

笹井 翔太^{*1} 亀田 能成^{*1} 大田 友一^{*1}
神原 誠之^{*2} 萩田 紀博^{*2} 北原 格^{*1}

**A Method to Relieve Stress of Passenger on an Autonomous Vehicle
Using See-Through Vision and Visualization of Vehicle Control Information**

Shota Sasai ^{*1} Yoshinari Kameda ^{*1} Yuichi Ohta ^{*1}
Masayuki Kanbara ^{*2} Norihiro Hagita ^{*2} and Itaru Kitahara ^{*1}

Abstract --- This research aims to reduce stress of passengers who get on autonomous vehicles. We developed an Augmented Reality (AR) display system on an experimental vehicle, which aims to reduce stress caused by two kinds of invisible factor. One is visual information of invisible region such as out of sight occluded by the vehicle. The other is instrument information to automatically control the vehicle. Our proposed system visualizes the occluded road surface by seeing-through the interior and exterior of the vehicle. Moreover, computer graphics model of the vehicle trail are overlaid on the displayed image using AR technique so that the passengers can easily confirm the auto driving control is working correctly. The displayed images enable passengers to comprehend the road condition and the expected vehicle route in occluded region. In order to confirm the effectiveness of our proposed method, we develop a prototype display system on a vehicle and investigate mental stress using instruments to measure physiological indices such as heart rate variability, sweat information and Electroencephalogram.

Keywords: Autonomous Vehicle, Augmented Reality, Stress Relieve, Physiological Indices

1 はじめに

本稿では、自動走行車両の搭乗者が視覚的な要因から感じるストレスを拡張現実 (AR) によって軽減することを目的とした映像提示システムについて述べる。死角領域である路面をシースルー提示し、その上に車両の制御情報を可視化する手法を提案し、生理指標を用いた計測実験によってその有効性を検証する。

米国運輸省道路交通安全局 (NHTSA)、自動運転標準化委員会 (SAE)、欧州 SMART64 プロジェクトなどでは、自動走行車両の実現に向けた活発な議論が交わされている[1]-[3]。自動走行システムは、搭乗者による介入の度合いによって、レベル0からレベル4の五段階に分類される[1]。レベル0では搭乗者自身が加速・操舵・制動の全てを行う。レベル1ではその内のいずれか一つを車両が自動で行い、レベル2ではその内の複数と同時に自動制御する。レベル3では、加速・操舵・制動の全処理が自動で行われるが、制御困難な環境や緊

急時には搭乗者が手動で操作する。レベル4では、搭乗者は一切運転に関与せず全処理が自動制御される。現在、自動車メーカーは2020年頃の実現を目指してレベル3の研究開発を盛んに行っているが、レベル3の搭乗者は、手動運転への切り替えに備えて周囲の情報を把握し続ける必要があり、強いストレス下に置かれることが懸念されている。例えば、幅員の狭い道路を走行中に、自車両近傍の死角情報が把握しにくいことによって感じる接触・脱輪への不安や、コーナー進入中に、車両制御情報(ハンドル操舵角やブレーキなど)が把握しにくいことによって感じる走行経路への不安が考えられる。自動車の役割の主な一つは人間の移動手段であるため、センシング情報に基づいた自動走行制御の高度化に加え、搭乗者の快適性向上も実用化に向けた重要な課題であろう。

我々は、コンピュータグラフィックス(CG)で生成される仮想世界を現実世界上にシームレスに重畳する拡張現実AR技術を用いて、自動走行車両搭乗者のストレスを軽減することを目的とした研究開発に取り組んでいる。具体的には、自車両によって遮られ搭乗者から観察困難な路面領域(死角領域)を車両前方のカメラで撮影し、その映像を車両の内装(ダッシュボード)上にビデオオブ

*1 筑波大学

*1 University of Tsukuba

*2 奈良先端科学技術大学院大学

*2 Nara Institute of Science and Technology

プロジェクトで投影することにより、自車シースルー提示を実現する[8]。搭乗者の自車両と路端との位置関係の把握を助けることで、幅員の狭い道路を走行中に感じる接触や脱輪への不安軽減が期待できる。さらに、自動走行システムから操舵角度の情報を取得し、車幅 CG として車両の進路軌道をシースルー映像上に AR 提示することで、走行進路の把握を助け不安を軽減する。

2 関連研究

自動走行レベル3の搭乗者を対象としたヒューマンマシンインタフェース(HMI)の研究が進められているが、そのほとんどは自動運転から手動運転への円滑な制御切り替えに関するものである[4]-[6]。Mok ら[7]は、安全な回避操作を行うためには、手動運転に切り替わる5秒前には搭乗者に切り替え予定を伝える必要があることを示している。搭乗者に車両情報を視覚的に提示することで、より円滑な切り替えを実現することが期待できる。

自動車の搭乗者を対象とした AR 提示に関する研究も活発に行われている [8]-[16]。Bark [12]はヘッドアップディスプレイ(HUP)を用いて運転車両の進路を前方視界に重畳することで、運転者が曲がるべき場所をより早く認識できるようになったことを報告している。Tonnis [13]は、運転車両前方の危険情報を HUD 上に提示することで認知に要する時間を短縮できることを、Victor [9]は自車両の進路や周囲の危険情報を AR 提示することで搭乗者の不安を軽減できることを述べている。

HMI の効果を体系的に検証する手段として、主観評価や身体的変化の観察に加え、生理指標を用いた心理変化計測の導入が進んでいる[17]-[20]。実験終了後にアンケートを実施する主観評価では、実験中に実験参加者がストレスを感じた瞬間を特定することが困難である。アンケートベースでストレスが生じる瞬間の実時間計測を試みた例はあるが [21]-[22]、詳細な心理変化を計測するには至っていない。生理指標は、実験参加者に装着した計測用センサによって時系列観測が可能であるため、ストレスを感じた瞬間を特定することができ、また身体的変化には表れない微小で潜在的な心理変化を観察することができる。このような利点を持つ心拍、発汗、脳波などの生理指標の計測は、自動車の運転者を対象とした研究でも用いられている[23]-[28]。

3 死角領域のシースルー提示と車両制御情報の可視化による搭乗者のストレス軽減

死角領域の様子や車両制御情報は、自車両の走行状況把握にとって有益であるが、直接視認することが困難な情報であるため、わからないことがかえって搭乗者のストレス要因となる一面も有する。例えば、幅員の狭い道路を走行する際に死角領域の情報が不足すると、

車両と路端との位置関係の把握が難しく、自動/手動運転の切り替え判断に対するストレス要因となることが予想される。車両制御情報が不足すると、自車両が道路状況に即した走行制御が行われているかの判断が難しくストレスが生じることが考えられる。本研究では、図1に示すように、AR 技術を用いて搭乗者が直接視認することが困難な死角領域情報と制御情報を直感的に提示することにより、搭乗者のストレス軽減を目指す。

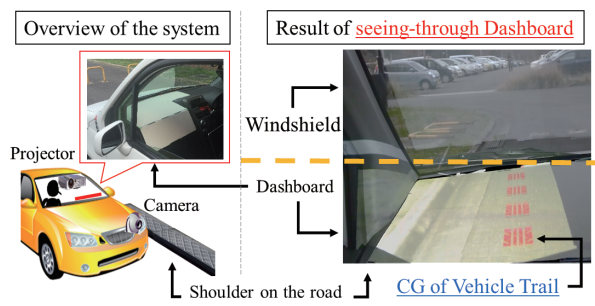


図 1: 死角領域のシースルー提示と制御情報の可視化

死角領域情報は、自動車の構造的に直接視認することが困難な自車両近傍の路面に着目する。死角領域を撮影した映像を車載ディスプレイに提示する方式が実用化されているが、幾何学的整合性が再現されていないため、車両周辺状況を瞬時に理解するためには一定の習熟が必要である。本システムでは、死角領域を撮影した映像に適切な幾何学的変換を施した後、死角を生じさせている車両の内装上に投影型 AR 提示によって車体のシースルー提示を実現し、フロントガラス越しに見える実風景と提示映像上の風景の幾何学的整合を再現し、車両周辺状況の直感的把握を可能とする。

自動走行制御の根拠となる情報を可視化することは搭乗者のストレス軽減に効果を有することが期待される一方で、自動走行制御は道路・車両・歩行者・交通制御など様々な状況に依存すること、根拠を提示する方法が多様であり定量的な評価が困難であることから、本稿では、車両制御情報の中でも特に可視化効果の期待できる車両の進行軌道に着目する。車体の大きさ、旋回性能、走行速度、操舵角度などの情報に基づいて進行軌道を予測し、自車の車幅 CG を生成する。自動走行車両の制御情報は、車両内部の処理系で閉じられた情報であり、一般的には搭乗者に提示されるものではないが、シースルー映像上で AR 提示することにより、車両走行状況の直感的な理解を助けると考えている。

4 死角領域のシースルー提示処理

図1に死角領域のシースルー提示処理の流れを示す。まず、車両前方に設置したカメラを用いて搭乗者から死角となる領域(車両前方の路面)を撮影する。同時に、車内に設置した RGB-D カメラを用いて搭乗者視点の3

次元位置を計測する。搭乗者の視点位置に基づいた射影変換をカメラ映像に施した後、車内天井から吊り下げたビデオプロジェクタを用いてダッシュボード上に投影することでシースルー映像提示を実現する。以下では、各処理について説明する。

4.1 搭乗者視点の3次元位置計測

フロントガラス越しの実風景と幾何学的に整合したシースルー映像を生成するために、搭乗者視点の3次元位置を計測し、ダッシュボードに遮られた死角領域映像に適切な射影変換を施す必要がある。本システムでは、RGB-D カメラで撮影したカラー画像とデプス画像を併用することで視点位置の3次元座標を実時間かつ高精度に計測する。まず、カラー画像を用いたフェイス-tracking処理によって目領域を検出し画像中の2次元座標を取得する。カラー画像とデプス画像間の対応関係を利用して搭乗者の目領域のデプスデータを獲得し3次元座標を算出する。

4.2 車両内装のシースルー処理による路面の可視化

死角領域を撮影した映像に2次元射影変換を適用した後、ダッシュボード上に投影することにより、搭乗者がダッシュボード越しに路面を観察しているかのような見え方を再現する。一般的な車両のダッシュボードは複数平面によって構成されるため、投影平面毎に異なる2次元射影変換が必要であるが、説明簡略化のため、単一の投影面に対するシースルー処理について述べる。

図2に、路面、死角撮影カメラ画像平面、プロジェクタ画像平面、投影面、搭乗者視点の位置関係を示す。各平面間の2次元射影変換行列を統合することにより、撮影映像からシースルー映像を生成するための2次元射影変換行列 H を算出する。ここで、搭乗者が観察しているシーンを撮影するカメラを視点カメラと呼ぶ。路面上の点 R_i と視点カメラ画像上での観測点 v_i の対応点が高々4組求まっていれば、路面上とカメラ画像面間の H の推定が可能であるが、路面と搭乗者視点の間には車体(ダッシュボード)が存在するため、視点カメラで死角領域の路面を直接撮影することが困難である。そこで図2に示すように、 H を三つの2次元射影変換行列 H_1, H_2, H_3 に分解し、それらの推定結果の積として H を算出する。 H_1 は路面と死角撮影カメラ画像面、 H_2 は死角撮影カメラ画像面とプロジェクタ画面、 H_3 はプロジェクタ画面と視点カメラ画像面との間の2次元射影変換行列である。 H_3 はさらにプロジェクタ画面とスクリーン面の間の H_{3a} と、視点カメラの射影変換行列 P_{3b} に分解できる。

H_1 は路面上に配置したランドマーク点の位置とそれらの点が死角撮影カメラ映像上で観測される位置に基づいて推定する[29]。 H_{3a} はプロジェクタ画面中の特定箇所の輝度値を高めた映像を投影し、その結果スクリー

ン面上で投影像が明るくなる位置との対応関係から推定する。 P_{3b} は搭乗者視点の初期位置に視点カメラを設置し、3次元位置が既知のランドマーク点群とそれらが視点カメラ映像で観測される位置との対応関係から推定する。式(1)にそれらの2次元射影変換行列を代入することで H_2 を求める。

$$H_2 = H_3^{-1} H H_1^{-1} \quad (1)$$

P_{3b} は、カメラの焦点距離や画像中心を表す内部パラメータ行列 A と回転移動行列 R 、平行移動ベクトル t で構成される。搭乗者が視点を動かした場合、前節で述べた手法を用いて視点の3次元位置を計測し、初期位置からの平行移動ベクトル t' を算出する。視点カメラの射影変換行列 P_{3b} に t' を適用することで、視点移動に対応した2次元射影変換行列 H'_3 を算出する。

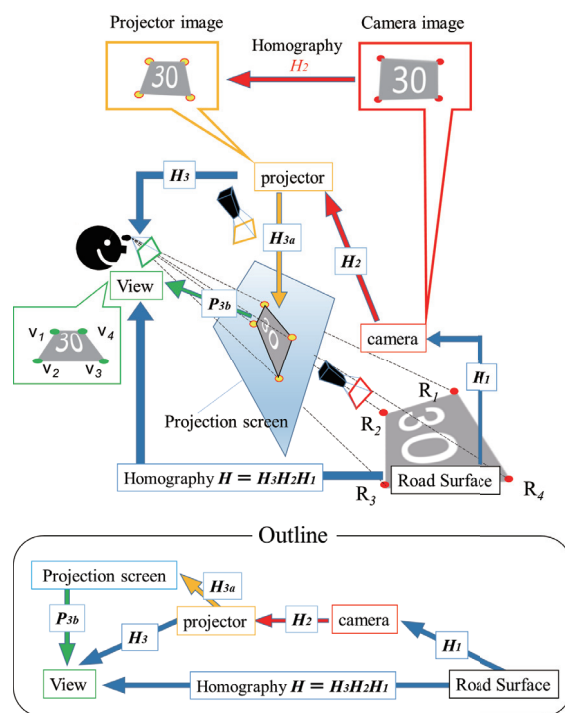


図 2: 死角領域シースルー映像の生成処理

図3に、上述したプロジェクタ-カメラのキャリブレーション処理結果を示す。路面上に並べたブロックに注目すると、算出した射影変換によってフロントガラス越しの風景中とダッシュボード上のシースルー映像中でブロックが連続的に観察され、幾何学的整合性が再現されていることが確認できる。実時間計測した搭乗者視点の3次元位置に基づいて2次元射影変換行列 H を適宜更新することにより、視点が移動した場合でも幾何学的整合性を維持する。

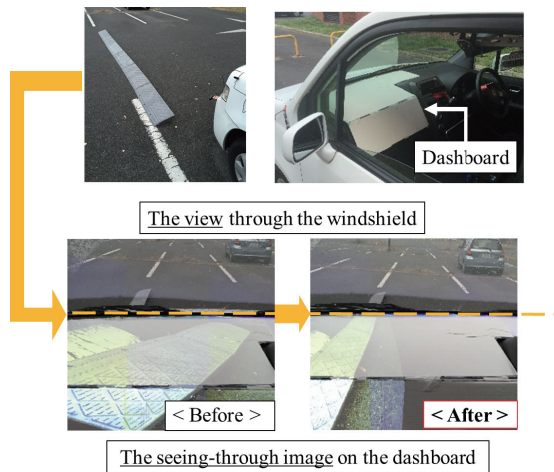


図 3: 車載プロカムシステムのキャリブレーション処理

5 車幅情報の拡張現実感提示

本稿では、車両制御情報として、車両進行予測を可能とするハンドル制御量の可視化に着目する。図4に示すように旋回時における外側と内側の車輪軌道を車幅としてAR提示することにより、車両が通過する領域を可視化する。旋回時の外側車輪の操舵角を θ 、前輪中心と後輪中心の距離を l_h 、左側車輪と右側車輪の中心の距離を l_t とすると、旋回時の外側車輪の旋回半径 r_1 、内側車輪の旋回半径 r_2 は各々式(2)、(3)を用いて算出される。车速の増加に伴い横滑りが発生し旋回半径が変化することが考えられるが、本システムが有効に機能するのは、狭いコーナー通過時などの低速走行時であるため、横滑りの影響は無視している。

$$r_1 = l_h \sin^{-1}(\theta) \quad (2)$$

$$r_2 = r_1 \cos(\theta) - l_t \quad (3)$$

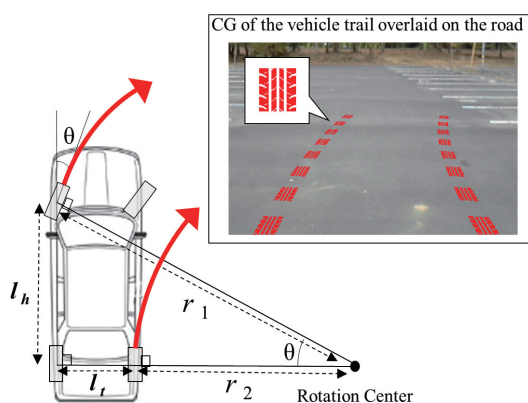


図 4: 車輪軌道 CG の生成

CG は、車輪の接地面に刻まれた溝で表される模様(トレッドパターン)を赤色で一定間隔、かつ、前方に流

れていくアニメーションを加えたものとしてデザインした。暖色である赤色は人の視線を誘導する性質を有するため、AR提示時にCGの視認性を高める効果がある。トレッドパターンを採用することにより、提示CGが自車両の車輪の軌道を表現したものであると、搭乗者が連想するのを助ける。塗りつぶしではなく一定間隔を開けながら描画することで、CGによって隠される路面領域を少なくする。半透明処理により隠れ領域を減らす方法も考えられるが、日中の屋外での利用時には、投影映像中のCGのコントラストを極力高める必要があるため採用していない。トレッドパターンが前方に流れていくアニメーションを加えることで自車両の進行方向を明示する。

生成したCGを車両前方の路面に存在するように配置した後、前節で述べた2次元射影変換行列 H_1 によって死角撮影カメラ画面上に投影(レンダリング)することにより、図4に示すようなAR提示が実現される。

6 生理指標を用いたストレス軽減の検証実験

6.1 生理指標を用いたストレス変化の計測

心拍情報は緊張度を推定する手がかりとなる。心拍センサを胸部に装着し、心拍のピーク間隔であるRR間隔を計測する。RR間隔を周波数領域解析することでLF/HF(Low Frequency / High Frequency)指標を、時間領域解析することでSDNN(Standard Deviation of the Normal to Normal Interval)指標を算出する。LFは交感神経と副交感神経に影響を受ける指標であり、HFは主に副交感神経の活動に影響を受ける指標である。リラックス時は副交感神経が活性化し、緊張を感じると交感神経が活性化するためLF/HFの値が増加する。SDNNは、測定区間におけるRR間隔の標準偏差である。リラックスした状態であれば心拍変動は揺らぐが、ストレスを感じていると心拍変動は一定に近づくことから、SDNNの値が小さいと緊張度が大きいと判断する。

発汗情報は、瞬間的で大きなストレス変化を推定する手がかりとなる。発汗センサを手の人差し指と中指の指先に装着し、Skin Conductance Response(SCR)と呼ばれる指標を求める。SCRは皮膚を流れる微弱電流の発汗に伴う変化を数値化したものである。SCRの値が減少もしくは横ばいの期間はストレス変化が小さく、値が大きく上昇したときはストレス変化が大きいと判断する。本実験では、コンダクタンスを $0.1(\mu S)$ として計測した。

脳波情報を用いた感性計測デバイスの開発が進んでいる。本実験では、電極を額に接触させるタイプの脳波計測装置を用いる。電極接触位置は国際10-20法[30]によって定められており、本実験では、感情や感性を司るFp1の位置に電極を配置する。脳波解析により不快感を計測する。心拍センサはPOLAR社製のソフトストラップを用いて実験参加者の胸部に装着する。Mindfield Bio-systems社製の発汗センサ(eSense Skin

Response)は実験参加者の手の指先に装着する。LF/HF, RR 間隔, SCR は毎秒 10 回計測する。脳波センサは, NeuroSky 社製の脳波計 (MindWave Mobile)を頭部に装着し, 電通サイエンスジャム社が開発した感性分析ツールを用いて毎秒1回計測する。

6.2 走行実験環境

死角領域の観測が困難で,かつ,車両制御情報が不足した状態で,自動走行車両が幅員の狭い道路を走行するとき,搭乗者は強いストレスを感じると仮定し,図6に示すように,全長 50.0m,全幅 3.0m,車幅に対して 0.5m 広い道幅 2.2m の緩く蛇行したコースにおいて走行実験を実施した。直線状のコース設定だと,フロントガラス越しの風景から死角領域の状況を把握できずため,コースを緩やかに蛇行させた。高さの低いブロックを用いて実験コースを設定することにより,死角領域のブロックが見えにくく,自車両と路端の位置関係の把握が困難となる。上述した AR 提示システムを用いて車両前方の死角領域と車両制御情報を可視化することにより,ブロックの位置や自車両が進行する軌道上の車幅を把握可能とする。

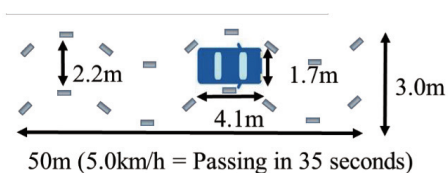


図 5: 走行実験コースと実験車両

6.3 実験用パイロットシステムの構築

映像の取り込みや射影変換処理によるシースルー映像を生成は Lenovo 社製 PC ThinkPad E420 (CPU: Intel Core i7 2.80GHz, メモリ: 8.00GB) 上で実行する。死角領域は Logicool 社製 USB カメラ c270 (1280 画素×720 画, 水平画角 60 度) で撮影する。シースルー映像は CASIO 社製ビデオプロジェクタ XJ-A256 (輝度:3000ルーメン, 表示解像度 1280 画素×800 画素)を用いて投影する。搭乗者視点の3次元位置は Creative 社製 RGB-D カメラ Senz3D を用いて計測する。ハンドル操舵角は富士通社製 Android 端末 F-10D (OS:Android

4.2.2, CPU:NVIDIA Tegra3 AP33 1.5GHz クアッドコア, メモリ 1GB)をハンドルに固定し加速度情報から推定する。

6.4 評価実験実施手順と心理指標分析手法

本実験では,実験者が運転する車両を自動走行車両とみなして実験参加するよう指示する。実験参加者は, 20代の男女 15名であり,助手席に座った状態で心拍,発汗,脳波センサを装着する。実験車両は上述した実験コースを時速5km で走行する。その際,図7に示すように,シースルー映像提示(死角情報の可視化)の有無と,車幅 CG 提示(車両制御情報の可視化)の有無の4種類の試行 (Trial①~④)を実施する。試行の順番は,順序効果を考慮して実験参加者毎に無作為に決定する。なお実験参加者には,実験中は車両前方を見続けるよう指示し,運転者の表情観測が評価結果に影響を及ぼさないよう配慮する。

SDNN, LF/HF, 不快感の各指標は,シースルー提示と車幅 CG の提示を二つの要因として,二元配置分散分析を行った。この場合,水準は,シースルー提示に関わる要因(提示の有無)と車幅 CG に関わる要因(提示の有無)による計4水準であり,各々,図6に示す4種類 (Trial①~④)の提示映像と対応している。

	CG of the vehicle trail : OFF	CG of the vehicle trail : ON
See-Through Image OFF		
See-Through Image ON		

図 6: 実験で用いた4種類の提示映像

6.5 実験結果と考察

表1は, SCR について各実験参加者内の試行毎に有意な反応があった回数を示している。表2と表3は SDNN, LF/HF, 不快感の各指標について,各水準の主効果と,要因の組み合わせによる交互作用の有無を示している。ここで主効果とは,注目する水準が指標値に与える効果を意味する。要因の自由度(df)に基づいた確率分布(F分布)から統計量(F値)を算出し,それを用いた仮説検定により効果の有無を判断する。各水準に対する主効果は分散分析を用いて検定し,主効果が有意水準 5%でストレス軽減に有意であるものを”R”,ス

トレス上昇に有意であるものを”I”, 有意差が確認できないものを”n.s.” で表している. また, Interaction の列が”+”の場合, 交互作用が有り, ”-“の場合, 交互作用が無いことを表す.

図7と図8は, それぞれ死角領域と車両制御情報の可視化が, SDNN, LF/HF, 脳波計測結果に与える影響を Trial①から Trial④の各指標の平均値 (15 名の実験参加者の計測結果から算出)として示したものである.

表 1:SCR 指標で有意な反応が観測された回数

	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 4	TOTAL
participant 1					0
participant 2	1			1	2
participant 3			1	1	2
participant 4					0
participant 5	2	3	2	2	9
participant 6					0
participant 7	5	1	1	1	8
participant 8					0
participant 9	1		1	3	5
participant 10	1	1	1		3
participant 11	2		2	2	6
participant 12					0
participant 13	2	2	4	1	9
participant 14	1		1	1	3
participant 15		1	5	1	7
TOTAL	14	8	18	13	

表 2:LF/HF, SDNN, 不快感における死角領域可視化の主効果. CG : OFF 列/Trial①と Trial③の比較. CG : ON 列/Trial②と Trial④の比較. 各水準に対する要因の主効果が有意水準 5%でストレス軽減に有意であるもの”R”, ストレス上昇に有意であるもの”I”, 有意差が確認できないもの”n.s.”.

Interaction 列/交互作用の有(+)-無(-).

SDNN			
Main effect of see-through			
	CG : OFF	CG : ON	Interaction
Mean	n.s.	n.s.	-
LF/HF			
Mean	I	R	+
Discomfort			
Mean	R (small)	R (large)	+

1)死角領域の可視化によるストレス変化

SCR の計測結果を示す表1に着目すると, シースルー映像を提示しない Trial①と Trial②の合計値に比べて, シースルー映像を提示する Trial③と Trial④の合計値の方が大きかった. つまり, Trial③と Trial④の方が瞬間的に大きなストレスを感じやすい傾向であったと言える. 特に車幅 CG を提示せずにシースルー映像だけを提示した Trial③では, SCR の有意な反応が最も多かった.

SDNN の結果からは, 表2と図7に示すように, シースルー提示による変化に有意差は見られなかった.

LF/HF の結果からは, 表2と図7に示した Trial①と Trial③の比較から分かるように, 車幅 CG を提示しない水準に対してシースルー提示が LF/HF の値を上昇させる, つまり緊張感を高める傾向が見られた ($F(1,21058)=33.307, p<.05$). しかしながら, 表2に示すようにシースルー提示の要因は, 車幅 CG の提示の要因に対して交互作用があり, 車幅 CG を提示した水準に対しては, シースルー提示によって LF/HF の値が減少し, 緊張感が緩和する傾向が見られた.

脳波計測(不快感)については, 表2と図7に示された Trial①と Trial③の比較, Trial②と Trial④の比較から分かるように, 車幅 CG を提示する水準と提示しない水準の両方において, シースルー提示が不快感を軽減する傾向が見られた (各々 $F(1,2158)=18.957, F(1,2158)=83.038, p<.05$). また, 各要因で交互作用が見られ, 車幅 CG を提示していた水準の方が, 車幅 CG を提示していなかった水準よりもシースルー提示による不快感の軽減効果が大きかった.

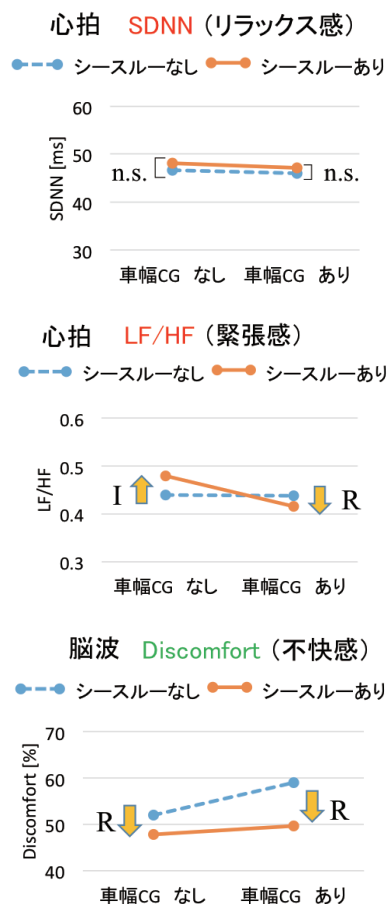


図 7:死角領域の可視化によるストレス変化 (SDNN(上), LF/HF(中), 不快感(下)の平均値)

以上の結果から, SDNN を用いた評価ではシースルー提示の有効性の有無を有意に確認するには至らなかった. また, LF/HF の結果からは, 車幅情報 CG を重畳せずにシースルー映像を提示した場合にストレス度上

昇が認められた。これは、シースルー提示により自車近傍のブロックが視認できるようになったものの、進路との位置関係把握に必要な情報が依然不足していたため、継続的に緊張を感じたためと考えられる。このことは、車幅 CG を重畳したシースルー提示をした場合に、ストレス度が軽減された結果によっても示されている。脳波計測結果からは、車幅 CG の有無に依らず、シースルー提示によるストレス度の軽減効果が見られた。より統合的な観測結果である脳波からストレス度の軽減を確認できたことから、シースルー提示によるストレス軽減の有効性があると考えられる。なお、SCR の反応回数が増加した理由は、シースルー映像提示により視認可能な路面情報が増加し、ブロックが自車両近傍に近づく度に瞬間的なストレスを感じる機会が増加したためと考えられる。

2) 車両制御情報の可視化によるストレス変化

SCR の結果では、表1において車幅 CG を提示した Trial②と Trial④のそれぞれの合計値は、車幅 CG を提示しなかった Trial①と Trial③の合計値よりも小さかった。SDNN の結果では、表3と図8の結果から車幅 CG の提示による変化に有意差は見られなかった。LF/HF の結果では、表3と図8に示す Trial①と Trial②の比較結果から、シースルー映像を提示しない水準に対しては、車幅 CG の提示による有意差は見られなかったが、シースルー映像を提示する水準に対しては車幅 CG の提示によって LF/HF の値が減少している。

脳波計測(不快感)については、表3と図8に示された Trial①と Trial②の比較から、シースルー映像を提示しない水準では、車幅 CG の提示は不快感を上昇させる効果があった。シースルー映像を提示する水準では、表3と図8に示した Trial③と Trial④の比較からストレス度の変化に有意差は見られなかった。

以上の結果から、SDNN を用いた評価では有意差が検出されなかったため、ストレス軽減に対する有効性を有意に確認するには至らなかったが、車幅 CG が提示されたことでブロックと自車両の進路の位置関係の把握が可能となり、SCR の反応回数が減少したことから、ストレス軽減効果があったと考えられる。LF/HF と不快感については、シースルー提示の有無によって車幅 CG の提示の主効果が異なっている。しかしながら、本研究の目的は AR によるストレス軽減であるため、シースルー提示を行わない、つまり幾何学的整合性が再現されていない水準に対する車幅 CG の主効果よりも、シースルー提示を行う水準に対する主効果の方が重要である。その点を考慮の上で図8の結果を分析すると、シースルー提示を行った水準に対して LF/HF の減少が確認できるため ($F(1,21058)=278.496, p<.05$)、車幅 CG の

AR 提示はストレス軽減に一定の効果を有すると考えられる。

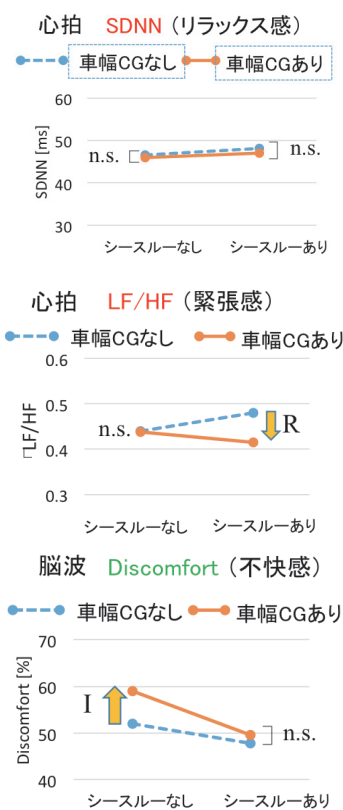


図 8: 車両制御情報の可視化によるストレス変化 (SDNN (上), LF/HF (中), 不快感(下)の平均値)

表 3: LF/HF, SDNN, 不快感における車幅 CG 提示を用いた制御情報可視化の主効果. See-through : OFF 列/Trial ①と Trial②の比較. See-through : ON 列/Trial③と Trial ④の比較. 各水準に対する要因の主効果が有意水準 5%でストレス軽減に有意であるもの”R”, ストレス上昇に有意であるもの”I”, 有意差が確認できないもの”n.s.”. Interaction 列/交互作用の有(+)/無(-).

SDNN			
Main effect of CG			
	See-through : OFF	See-through : ON	Interaction
Mean	n.s.	n.s.	-
LF/HF			
Mean	n.s.	R	+
Discomfort			
Mean	I	n.s.	+

7 まとめ

本稿では、自動走行車両の搭乗者が感じるストレスを軽減することを目的とした、死角領域と車両制御情報をAR提示するシステムを提案した。自車両のダッシュボードを透明化したシースルー映像をプロジェクタで投影し死角情報を可視化し、その上に車両操舵角から生成した進路軌道CGを重畳する。提案手法のパイロットシステムを実装し、死角領域と車両制御情報の可視化による搭乗者のストレス軽減の有効性について、心拍、発汗、脳波の三つの生理指標を用いて検証した。実験結果からストレス軽減に対する有効性が確認された。

謝辞

本稿で紹介した生理指標計測実験において協力いただいた奈良先端大学大学院環境知能学研究室の太田翔平氏に御礼申し上げる。本研究は、トヨタ自動車(株)特別共同研究事業「高度アクセシブル社会実現に向けた基盤研究」とJSPS 科研費 JP17H017728 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] National Highway Traffic Safety Administration NHTSA, “Preliminary Statement of Policy Concerning Automated Vehicles”, 2013.
- [2] SAE International, “Automated Driving Levels of Driving Automation are Defined in New SAE International Standard J3016”, 2015
- [3] SMART 64, “SMART 64 Definition of Necessary Vehicle and Infrastructure Systems for Automated Driving.”, 2015
- [4] Ariel Telpaz, Brian Rhindress, Ido Zelman, Omer Tsimhoni, “Haptic seat for automated driving: preparing the driver to take control effectively”, Proceedings of the 7th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AUI), pp 23-30 2015
- [5] Ioannis Politis, Stephen Brewster, Frank Pollick, “Language-Based Multimodal Displays for the Handover of Control in Autonomous Cars”, Proceedings of the 7th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AUI), pp 23-30 2015
- [6] Jeamin Koo, Jungsuk Kwac, Wendy Ju, Martin Steinert, Larry Leifer, Clifford Nass, “Why did my car just do that? Explaining semi-autonomous driving actions to improve driver understanding, trust, and performance.”, International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM), Volume 9, Issue 4, pp 269-275, 2015
- [7] Brian Mok, Mishel Johns, Key Jung Lee, David Miller, David Sirkin, Page Ive, Wendy Ju, “Emergency, Automation Off: Unstructured Transition Timing for

Distracted Drivers of Automated Vehicles”, IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), pp 2458-2464, 2015

[8] Shota Sasai, Itaru Kitahara, Yoshinari Kameda and Yuichi Ohta. “AR Visualization of Wheel Trajectories of Driving Vehicle by Seeing Through Dashboard”, The 7th Korea-Japan Workshop on Mixed Reality (KJMR 2014), 2014

[9] Victor Ng-Thow-Hing, Karlin Bark, Lee Beckwith, Cuong Tran, Rishabh Bhandari and Srinath Sridhar, “User-centered Perspectives for Automotive Augmented Reality”, In Proceedings of the IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality - Arts, Media, and Humanities (ISMAR-AMH 2013), pp.13-22, 2013.

[10] Hiroshi Yasuda and Yoshihiro Ohama. “Toward a practical wall see-through system for drivers: How simple can it be? ”, In Proceedings of the IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2012), pp.333-334. 2012.

[11] Takaya Kawamata, Itaru Kitahara, Yoshinari Kameda, and Yuichi Ohta. “Lifted Road Map View on Windshield Display”. In Proceedings of the IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI 2013), pp.139-140, 2013.

[12] Karlin Bark, Cuong Tran, Kikuo Fujimura, and Victor Ng-Thow-Hing. “Personal Navi: Benefits of an Augmented Reality Navigational Aid Using a See-Thru 3D Volumetric HUD”, In Proceedings of the 6th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AUI '14), pp.1-8, 2014.

[13] Marcus Tonnis and Gudrun Klinker. “Effective Control of a Car Driver? Attention for Visual and Acoustic Guidance towards the Direction of Imminent Dangers”, In Proceedings of the IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2006), pp.13-22, 2006.

[14] Qing Rao, Tobias Tropper, Christian Grünler, Markus Hammori and Samarjit Chakraborty. “AR-IVI – Implementation of In-Vehicle Augmented Reality”, In Proceedings of the IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, (ISMAR 2014), pp.3-8, 2014.

[15] Takumi Yoshida, Kensei Jo, Kouta Minamizawa, Hideaki Nii, Naoki Kawakami and Susumu Tachi, “Transparent Cockpit: Visual Assistance System for Vehicle Using Retro-reflective Projection Technology”, In Proceedings of the IEEE, Virtual Reality Conference (VR '08), pp.185-188,2008.

[16] Toru Miyamoto, Itaru Kitahara, Yoshinari Kameda and Yuichi Ohta, “Floating Virtual Mirrors: Visualization of the Scene Behind a Vehicle”, In Proceedings of 16th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT 2006), pp.302-313, 2006.

[17] Bruce Pomeranz, Robert J. B. Macaulay, Margaret A. Caudill, Ilan Kutz, Dan Adam, David Gordon, Kenneth M. Kilborn, A Clifford Barger, Daniel C Shannon, Richard J. Cohen, and Herbert Benson, “Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis”, The American journal of physiology, 248, H151-H153, 1985.

- [18] Michael E. Dawson, Anne M. Schell, and Diane L. Fillion. "The Electrodermal System. Handbook of Psychophysiology", Cambridge University Press, pp.159-181, 2007.
- [19] Wolfram Boucsein, "Electrodermal activity", New York: Plenum Press, 1992.
- [20] R. P. Sloan, P. A. Shapiro, E. Bagiella, S. M. Boni, M. Paik, J. T. Bigger Jr, R. C. Steinman, J. M. Gorman. "Effect of mental stress throughout the day on cardiac autonomic control", Biological Psychology, vol 37, pp.89-99, 1994.
- [21] Yoichi Morales, Jani Even, Nagasrikanth Kallakuri, Kazuhiro Shinozawa, Takahiro Miyashita and Norihiro Hagita, "Visibility Analysis for Autonomous Vehicle Comfortable Navigation", In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2014), pp.2197-2202, 2014
- [22] Yanchao Dong, Zhencheng Hu, Keiichi Uchimura, and Nobuki Murayama, "Driver Inattention Monitoring System for Intelligent Vehicles: A Review. Intelligent Vehicles Symposium", IEEE (IV 2009), pp.875-880, 2009.
- [23] Antonio Lanatà, Gaetano Valenza, Alberto Greco, Claudio Gentili, Riccardo Bartolozzi, Francesco Bucchi, Francesco Frenzo, and Enzo Pasquale Scilingo, "How the Autonomic Nervous System and Driving Style Change With Incremental Stressing Conditions During Simulated Driving", In Proceedings of the IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems (ITS 2014), pp.1-13, 2014
- [24] Erin T. Solovey, Marin Zec, Enrique Abdon Garcia Perez, Bryan Reimer, and Bruce Mehler. "Classifying driver workload using physiological and driving performance data: two field studies", In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '14), pp.4057-4066. 2014.
- [25] Jennifer A. Healey and Rosalind W. "Picard. Detecting stress during real-world driving tasks using physiological sensors", In Proceedings of the IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems (ITS 2005). Pp.156-166, 2005.
- [26] Udo Trutschel, Christian Heinze, Bill Sirois, Martin Golz, David Sommer and David Edwards, "Heart Rate Measures Reflect the Interaction of Low Mental Workload and Fatigue During Driving Simulation", In Proceedings of the 4th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AUI'12), pp.261-264. 2012.
- [27] Hyun Suk Kim, Yoonsook Hwang, Daesub Yoon, Wongeun Choi, Cheong Hee Park, "Driver Workload Characteristics Analysis Using EEG Data From an Urban Road", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol.15, Issue 4, pp.1844-1849, 2014.
- [28] J. Y. Kim, C. H. Jeong, M. J. Jung, J. H. Park, D. H. Jung, "Highly reliable driving workload analysis using driver electroencephalogram (EEG) activities during driving", International Journal of Automotive Technology, Vol.14, Issue 6, pp 965-970, 2013.
- [29] Zhengyou Zhang, "A Flexible New Technique for Camera Calibration", In Proceedings of the IEEE

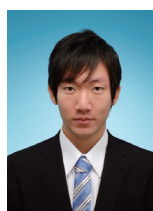
Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (TPAMI 2000), pp.1330-1334, 2000.

[30] J. Malmivuo, R. Plonsey, "Bioelectromagnetism: Principles and Applications of Bioelectric and Biomagnetic Fields", Oxford University Press, vol. 20, no. 6, 1995. G. O. Young, "Synthetic structure of industrial plastics," in Plastics, 2nd ed., vol. 3, J. Peters, Ed. New York: McGraw-Hill, 1964, pp. 15-64.

(2016年12月5日受付)

[著者紹介]

笹井 翔太



2016年筑波大学大学院システム情報工学研究科知能機能システム専攻博士前期課程修了。在学中は自動走行車両搭乗者のストレス軽減に関する研究に従事。

亀田 能成 (正会員)



1996 京都大学大学院博士後期課程研究指導認定退学。京都大学助手、筑波大学講師を経て、2016年より筑波大学計算科学研究センター教授。京都大学博士(工学)。複合現実感技術、知的映像処理等の研究に従事。

大田 友一 (正会員)



1977 京大大学院博士課程了。京都大学情報工学科助手、筑波大学電子・情報工学系講師、カーネギーメロン大学計算機科学科客員研究員を経て、1992 筑波大学電子・情報工学系教授。2013 同大学理事・副学長、2015 同大学名誉教授。2016より高エネルギー加速器研究機構監事。工博。2009年度本学会論文賞受賞。パターン認識国際連盟フェロー、電子情報通信学会フェロー、情報処理学会フェロー。

神原 誠之 (正会員)



2002年奈良先端科学技術大学院大学博士後期課程了。同年同大情報科学研究科助教、2010年同大准教授。コンピュータビジョン、複合/拡張現実感、環境知能、ヒューマンロボットインタラクションの研究に従事。博士(工学)、IEEE、電子情報通信学会、情報処理学会、日本バーチャルリアリティ学会各会員。

萩田 紀博 (正会員)



1978年 慶應義塾大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程了。同年日本電信電話公社(現 NTT) 武蔵野電気通信研究所に入所。2001年(株)国際電気通信基礎技術研究所(ATR)メディア情報科学研究所長などを経て、現在、ATR 知能ロボティクス研究所長。奈良先端科学技術大学院大学客員教授、工学博士。環境知能、クラウドネットワークロボット、自律型モビリティの研究に従事。IEEE, 電子情報通信学会、情報処理学会、人工知能学会会員。

北原 格 (正会員)



1996年筑波大学大学院理工学研究科了。同年シャープ(株)入社。筑波大学先端学際領域研究センター助手, ATR 研究員, 筑波大学大学院システム情報工学研究科講師, 准教授を経て、現在, 同大学計算科学研究センター准教授。自由視点映像, 複合現実感の研究に従事。2009年度本学会論文賞受賞。博士(工学)。