

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560306

研究課題名(和文)自動車運転時の安全のための注意低下評価に関する研究

研究課題名(英文)Study on evaluation of attentiveness for a driver during driving

研究代表者

景山 一郎 (KAGEYAMA, Ichiro)

日本大学・生産工学部・教授

研究者番号：10120403

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：ドライバの注意低下や脇見運転に対し運転支援システムを考える場合、車両側からドライバの状態監視を行う必要があり、本研究はその可能性検討の立場から実施した。まず台上試験によりドライバの注意の深さおよび認識範囲等に関する検討を行い、動体に対する注意力の範囲低下および注視対象物からの情報獲得により、注意力低下が表れることを示した。次にドライビングシミュレータを用いた実験により、飛び出し等の注意力に対する実験を行った。最後に実車を用いた実験により、注意力低下による影響を同定ドライバモデルのフィードバックパラメータを用いて表現できることを示した。

研究成果の概要(英文)：This research deals with driver characteristics to effect of attentiveness during a running condition on an ordinary road. Three kinds of analytical methods have been done to analyze fundamental characteristics of drivers. For the first stage, it was considered to relation between the center view and the circumference view. And next stage, driver's attentiveness are checked using driving simulator. And finely, driver characteristics to change the attentiveness during driving were identified by driver model using experimental vehicle. It is possible to consider the analytical methods for this research discipline from now on as a result of these researches.

研究分野：自動車工学

キーワード：driver characteristics driver model attentiveness of driver System identification

1. 研究開始当初の背景

全世界の交通事故による死者数は、現在約127万人を数え、増加の傾向を辿っている。WHOの報告によると、この死者数は図1に示すように2004年の全死亡原因中9位となっており、これを年齢別状況で見ると、15～29才の年齢層では全死亡原因中1位となっており、同様に30～44才の年齢層では第3位となっている。

年齢層	死亡原因順位
0～4才	14位
5～14才	2位
15～29才	1位
30～44才	3位
45～69才	8位
70才以上	20位

2004年の死亡原因			2030年の死亡原因予測		
順位	原因	%	順位	原因	%
1	虚血性心疾患	12.2	1	虚血性心疾患	12.2
2	脳血管疾患	9.7	2	脳血管疾患	9.7
3	呼吸器感染症	7.0	3	慢性閉塞性肺疾患	7.0
4	慢性閉塞性肺疾患	5.1	4	呼吸器感染症	5.1
5	下痢性疾患	3.6	5	交通事故死	3.6
6	HIV/AIDS	3.5	6	気管・気管支・肺癌	3.5
7	結核	2.5	7	糖尿病	2.5
8	気管・気管支・肺癌	2.3	8	高血圧性心疾患	2.3
9	交通事故死	2.2	9	胃癌	2.2
10	早産および低出生体重	2.0	10	HIV/AIDS	2.0

図1WHOによる交通事故統計

このように、働き盛りの年齢層における主要死亡原因となっており、早急にその対策が必要となる。さらに、この値は年々増加傾向を示しており、WHOの将来予測によると、2030年には全死亡原因中5位となると予測されている。他方、我国の交通事故死者数は種々の対策の成果が表れ近年大幅に減少しており、平成4年には約11700名であった死者数が平成24年には年間4411名となっている。この事故死者数減少は、この間行われた交通事故対策に関連する最高速度違反および酒酔い運転による死者数減少に大きく依存したものと考えられる。これらの対策に伴い、平成16年以後の死亡事故の主原因は、漫然運転や脇見運転となっている。平成23年度のこれら2要因を加えると約800名となり、今後はこの2要因を減少させることが、交通事故死者数減少には最も効果的であることがわかる。このような状況から、安全ブレーキに代表される高度運転支援システムに関する提案も近年数々行われており、市場投入もおこなわれている。これらは、事故の主要原因であるドライバの判断ミスや不注意行動を支援する意味からは効果が期待できるものの、このドライバ自体の特性や状態把握が今後重要であると考えられる。

2. 研究の目的

現在交通事故死者の主要因が漫然運転や脇見運転等ではあるが、これらの原因による死

者数減少は少なく、これまで実施されてきた死者数減少に向けた対策では、今後大幅な効果を期待することができないものと思われる。特に、これらの要因は車外からの観察では確認しづらく、さらに脇見運転等は時間的にも短いためその効果的な減少方法はあまり期待できないのが実情である。これらを効果的に減少させるためには、ドライバが自ら状態を判断するか、車両側からドライバを直接監視する必要がある。ドライバ自らの判断による安全対策は現状でも可能であるものの、高覚醒度による運転状態を長時間維持すること自体難しく、運転者の自覚による事故死者数の減少は期待できない。そこで、安全性向上のためには車両側からドライバの状態監視を行う必要があり、次の3つの手法が考えられる。

- (1) ドライバの生体反応からの状態推定
- (2) ドライバの運転行動およびその状態からの状態推定
- (3) 車両の運動状態からの状態推定

そこで本研究ではこれらの3つの状態推定手法を検討する。ドライバの生体反応に関しては、そのメカニズムがかなり明確になっている心臓血管系と呼吸ならびに眼球運動および顔面温度分布について検討する。また、ドライバの運転行動およびその状態として、シート反力および反力中心、圧力分布、ハンドルに対する押しつけ力等を対象にする。さらに、これらと車両の運動状態との関連として、車両を操縦するドライバモデルを構築し、そのパラメータを用いた状態推定の可能性を検討する。最後にこれら3つの手法を組み合わせ、ドライバの状態推定の可能性を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、台上実験、シミュレータを用いた実験および実車両を用いた実験を計画した。この3種類の装置を用い上記(1)、(2)、(3)の検討を行った。個々の実験については下記となる。台上試験では、主にドライバの視覚特性について検討を行った。特に中心視における注意レベルが周辺視野に与える影響について図2の装置を構築し検討を行った。

(1) 台上試験

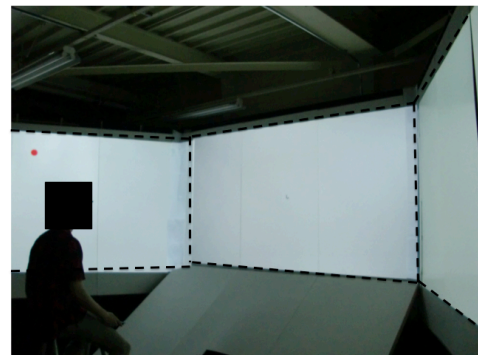


図2 視野解析用装置

ドライバの意図的に行う脇見には、一般的に脇見対象に取得すべき情報がある可能性がある。そこで、実験条件として情報獲得のしやすさを注意の深さと仮定した場合、その注意レベルを変化させた際の視野範囲の狭小の検討を行う。そのために、注意レベル変化を文字のサイズ、呈示されるタイミング、情報そのものが変化するように以下の3条件を設定し検討を行った。

- ①視対象サイズ変化
- ②視対象呈示タイミング変化
- ③情報処理負荷

これらを実施するために、まず単純反応について検討する。移動する視標を用いて視野計測を行う上で、視野の精度を補償するためには、実験参加者が指標を明視してからボタンを押すまでの反応時間を考慮する必要がある。そこで、各実験参加者の単純反応時間を計測する。中心視の視標サイズは 25×25 [pixel]である。

次に静的視野についての検討を行った。固視点を注視して、周辺視野に停止した視標を呈示した場合の周辺視野を計測した。中心視の視標サイズは各実験参加者が容易に認識できる 100×100 [pixel]のひらがなとして、確実に注視していることを確認するため、ひらがなを読み上げてもらった。同時に、周辺視野の 0 から 360 degの 15 deg ずつ、停止と移動を繰り返して視標を外側から中心に向かって移動させ、実験参加者には周辺視野の指標が見えた時点でボタンを押してもらうことで視野を計測した。なお、周辺視野の視標サイズは 25×25 [pixel]である。

次に動的視野の検討を行った。

静的視野計測と同様の方法で計測した。但し、周辺視野の視標は停止せずに中心に向かって 1.6 [pixel/msec]で移動させた。

これらをもとに中心視の注意レベル変化における視野の検討を行った。実験内容は動的視野計測と同様の方法であるが、中心視の視標サイズは動的視野計測と同様の 100×100 [pixel]であるが、中心視の指標をひらがな46文字の中からランダムに 500 [msec]で切り替えてその都度読み上げてもらった。また、注意レベルを変化させるため、中心視の視標サイズを 30×30 [pixel]の条件も設定した。これ以外の条件は、前述の指標サイズ 100×100 [pixel]の場合と同等である。

(2) シミュレータを用いた実験

事故減少の観点から、直線単路で片側一車線の道路を用いた実験を計画した。対向車線には複数の渋滞車両群を模擬し、渋滞車両群の車両間から歩行者が飛び出し横断をするという状況を再現し、ドライバに予測されないように歩行者の飛び出し位置をランダムに設定した。ここで歩行者の横断歩行速度は、ドライブレコーダのニアミス解析により、約 $4 \sim 9$ km/hの範囲での事故が多いことが報告されている。そこで本研究では、車道横断時の小走りを想定して歩行者の横断歩行速度は 5 km/hとした。ここを走行した場合

のドライバの特性を計測した。脇見を行っている状態では、脇見無しと比較して危険事象の予期はしにくいと、前方への危険予期状況の違いが注意喚起システムの在り方に関係すると考え、実験におけるドライバ状態として脇見の有無を設定した。ここで、ドライバの自然な脇見を実験で実現するためには、実験参加者毎の普段の脇見状況を把握した上で、実験参加者間で同じ交通シーン及びシナリオになるように配慮して脇見をさせる必要がある。そこで脇見開始を警報音と異なる短音で合図して、左側前方に設置した固視点の方へ脇見をさせることにした。実験には図3に示すドライビングシミュレータを用いた。実験参加者は実験内容を説明した後、インフォームドコンセントを得たドライビングシミュレータの運転に習熟した20代大学生2名である。



図3 ドライビングシミュレータ

(3) 実車実験

ドライバの運転行動において、人間は自動車を運転する際に、周辺環境を視覚情報や聴覚情報から取得し、それらの情報から目標コースの決定や制御行動を決定していると考えられる。しかし、運転行動においては、単に操縦動作のみを実施しているわけではない。注意の分散があるため、意識が高い場合であってもディストラクションが発生する。このため、覚醒度が高い場合であっても運転時に注意低下が発生する。このような状況について車両運動等を用い判断しうる可能性検討を行う。この実験解析には、図4の実車車両を用いて実験を行った。このデータを基にドライバモデル構築を行い、パラメータ同定より得られたドライバの制御パラメータを比較することにより、検討する。このパラメータ変化によりドライバの注意低下のレベルを判断できる可能性がある。運転する人間の操縦動作および種々の応答を計測することにより、ドライバの制御動作モデルを構築する。このモデルを用い人間の主な運転行動となる操舵動作は、前方の情報より予測したフィードフォワード動作と、目標コースと自車位置との偏差や外乱などから修正を行うフィードバック動作により構成されていると仮定する。これらの関係からドライバの予測操舵と修正操舵を表現したドライバモデルを構築した。図5に構築したドライバモデルを示す。本研究では同モデルを用いて、一般道を運転した際の運転行動よりドライバの特性推定

を行う。以上の結果をまとめ、自動車運転時の安全のための注意低下評価の可能性を検討した。



図4 実験車両

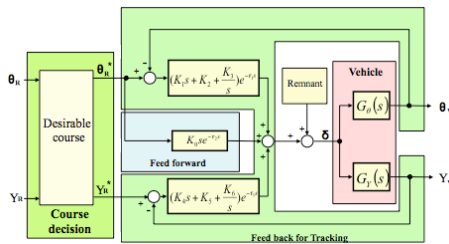


図5 解析用ドライバモデル

なお、実験コースは比較的ゆるやかなワインディング路であり、対向車・歩行者が少なく交差点がない一本道であることを条件とした。使用した道路は全長 1.4km, 幅員 5~6.5m, 最小曲率半径 65m のセンターラインの無い農道である。

4. 研究成果

研究方法に沿って、得られた成果を前述の項目ごとにまとめる。

(1) 台上試験による成果

移動する視標を用いて視野計測を行う上で、視野の精度を補償するためには、実験参加者が指標を明視してからボタンを押すまでの反応時間を考慮する必要がある。そこで、各実験参加者の単純反応時間を計測する。中心視の視標サイズは 25×25 [pixel] である。実験の説明を行いインフォームドコンセントを得られた 22 歳の健常男子大学生 5 名を用いた基礎実験を実施した。視野計測の練習後、視線計測のためのアイマークレコーダの着用を行ない、注視点抽出のためのキャリブレーションを行なった。後に、スクリーンの前に着座してもらい、視野計測実験を実施した。プロジェクタ 3 台とスクリーンを用いて、中心視を基準として水平方向 ± 103 [deg], 垂直方向 ± 22.25 [deg] の計測が可能な周辺視野計測の環境を用意した。視標の表示および実験参加者の回答を記録するため、VisualBasic2010 を用いてソフトを開発した。周辺視野を計測するためにこのプログラムでボタンを押した時点の視標の座標(X, Y)を計測した。また、実験参加者の視線を確認するため、アイマークレコーダ(EMR-8)を用いた。実験は静的視野検討実験(Condition1), 動的視野

検討実験(Condition2), 中心に文字を提示することによる中心視の注意レベル中(Condition3), 中心視の注意レベル大(Condition4)により実施した。この実験結果を図6に示す。この結果、先行研究と同様に静的視野に比べて動的視野の狭窄が確認されたが、他の実験参加者の実験結果も含めると、狭窄の様式には個人差が大きいことも明らかとなり、今後ドライバのグループ化を行い評価を明確にする必要がある。

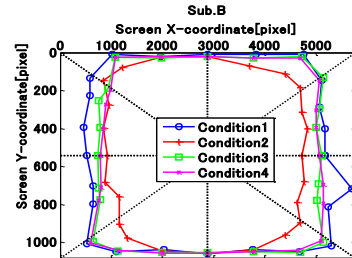


図6 台上による注意力確認実験結果例

次に中心視の注意レベルと視野の関係について示す。実験前、実験参加者には、中心視の指標サイズが小さくなることで中心視の視標に注意集中する必要が生じて、指標サイズの条件間で中心視に対する注意レベルが主観的に変化することを確認した。

次に動的視野と中心視の注意要求時の視野の関係について明らかにした。図中の Condition2 と Condition3 の比較より、動的条件の方が中心視の注意レベルが高い条件よりも視野が狭くなることがわかる。

(2) シミュレータを用いた実験

前述のドライビングシミュレータを用いた実験を実施した。注意喚起には、聴覚モダリティによる警報を用いた。過去の文献により得られたドライバに重大性及び緊急性を与えられる音圧レベルを参考に、86dB の「歩行者あり」という音声を用いた。また、警報の発動タイミングは衝突余裕時間(以下, TTC: Time To Collision)で変化させた。なお、本研究で用いる TTC は、自車前端から歩行者横断位置の相対距離を車速で除したものとした。警報タイミングは、「完全にみえている(TTC=2.4sec)」「次の瞬間にはみえている(TTC=3.4sec)」「全くみえていない(TTC=4.4sec)」を設定した。注意喚起の警報に対するドライバの状態を多面的に捉えるために、ドライバの主観評価、運転行動、生理指標を計測した。主観評価は、ドライバの直感的な評価を得るために Visual Analog Scale(VAS)を用いた。具体的な質問項目は、「警報のタイミング(Q1)」、「警報に対して直ちに対処行動ができた(Q5)」、「警報のおかげで回避行動を取ることができた(Q7)」等である。また、ドライバの運転操作及び車両挙動を捉えるため、アクセル及びブレーキ量、車速、車両位置等を計測した。更にドライバの状態推定を行うため、心拍、呼吸、皮膚電気活動、視線やドライバの様子をカメラで撮影し

た。

図7に解析例として実験参加者A,Bの結果を示す。図より実験参加者AではTTC増加と共に各項目の評価値が大きくなる傾向があるが、実験参加者Bでは、設定した実験条件差による評価値に一定の傾向は見られないことがわかる。

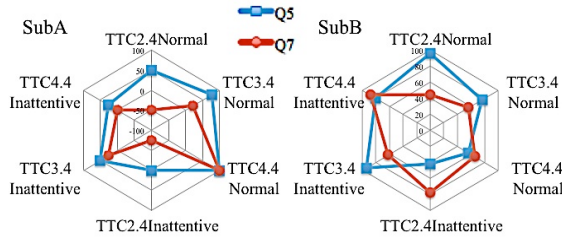
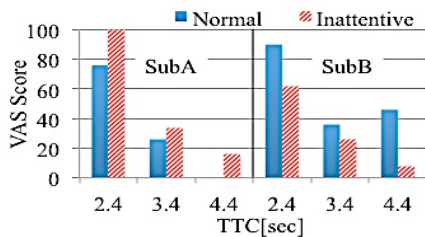


図7 Q5,Q7の結果

そこで、この実験参加者間の違いを検討するため、警報タイミングの善し悪し(図8)を見ると、実験参加者AはTTC増加と共に警報タイミングが良い回答であるのに対して、実験参加者Bは脇見有りで実験参加者Aと同傾向が同様だが、脇見無しはTTC3.4秒又は4.4秒で適当なタイミング



に近い値となった。

図8 警報タイミングの違い

注意喚起後の回避行動として図9に示すペダル踏替え時間を見ると、実験参加者A,Bともににおいて、警報タイミングが良いと回答した条件で瞬時に適切な操作が行えていることが分かる。また、TTC増加に伴い、ブレーキ踏込み量が減少し、停車時間が増加していることが分かる。

次に注意喚起時及び事象検知時のドライバ状態として、図10に心拍変化の検出結果の一例を示す。実験参加者Aは多くの条件において心拍変化は検出されなかった。皮膚電気抵抗で注意喚起後に適切なタイミングの際には変化の傾きが滑らかで最大振幅は小さくなった。一方実験参加者Bは実験参加者Aと同じ結果ではなかったが、TTC増加に伴う皮膚電気抵抗の振幅減少が見られた。

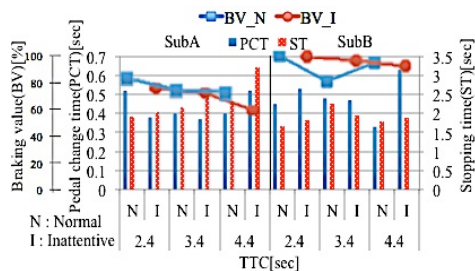


図9 ペダル踏替え時間の結果

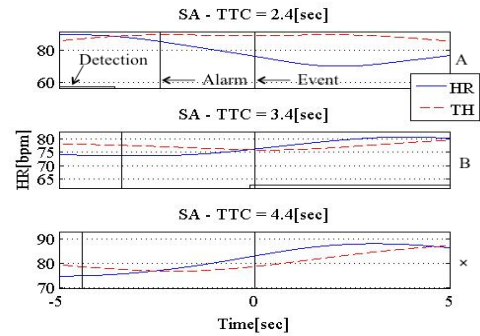


図10 心拍変化の検出結果例

以上、ドライバ支援を目的とした歩行者注意喚起システムの構築を行い、そのシステムがドライバにとって煩わしいものであるかどうかを複数の指標を用いて定量的評価を行った。これより、現状では警報タイミングの善し悪しは、主観評価との関係を見ることで評価する必要がある。また、ブレーキ踏込み時間の関係性を把握することで、ドライバの前方に対する余裕度合いや危険予期の大小関係が把握でき、注意喚起システムに対する煩わしさの評価手法となる可能性がある。

(3) 実車実験

本研究では22才~27才の比較的運転に慣れた2名と、普段あまり運転しない2名の実験参加者に実験内容を説明し、インフォームドコンセントを得て実験を実施した。実験結果を用い、図5に示したドライバモデルのパラメータ同定をおこなった結果、図11に示す結果を得た。この図より、このモデルにより、一般道走行中のドライバの制御動作を表現できることが分かる。そこで、このモデルのパラメータを用いて、ドライバの特性を表現できることを確認した。

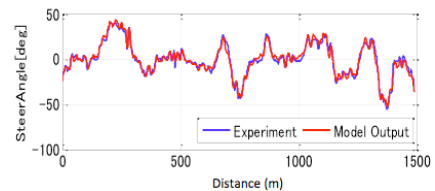


図11 実験結果とモデル同定結果の比較

なお、他の実験参加者の結果もほぼ同様な同定結果を得た。そこで、次にこれらのパラメータによる検証を行う。

図12にフィードバック係数を示す。この図で示されるように、運転スタイルが異なる4

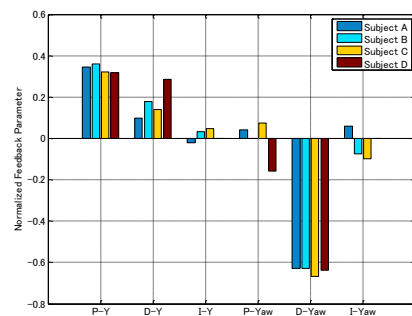


図12 フィードバック係数

名のフィードバック係数に注目すると、個人差はある程度見られるものの、概ね傾向が一致していることがわかる。そこで、大きな違いが表れているのは、横方向位置に対するフィードバック、およびヨー角に対するフィードバックであり、直接位置にかかわるものに違いが表れることが分かる。

次に装置等の操作に伴う注意低下について検討を行った。テストコースを用い、走行中にタッチパネル操作を行った場合のドライバモデルのパラメータ変化について検討を行った。この場合、通常走行状態とタッチパネル操作時のパラメータの変動結果を図13に示す。この結果は、実験内容を説明した後、インフォームドコンセントを取った被験者4名の結果である。各実験参加者間で各フィードバック係数比率に若干の差があるものの、通常走行に対しタッチパネル操作による注意力低下により、ヨーレイトの影響が増加し、反面ヨー角に対する比率が極端に減少していることがわかる。つまり、注意力低下により姿勢角の比例要素の影響が減少していることがわかる。また横変位の積分値にもこの影響が明確に現れていることがわかる。これにより、ドライバモデルを用いた解析により、注意力低下の影響を把握できる可能性を示した。

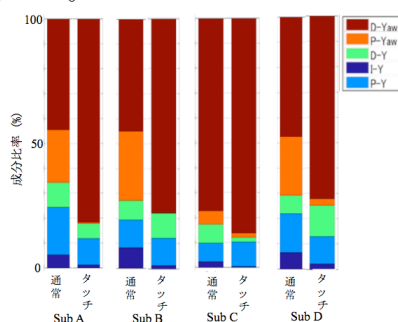


図13 注意力低下によるドライバ特性差

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0件)

〔学会発表〕(計 11件)

- ① 星野 隆允, 景山一郎: 長時間運転における人間の疲労評価に関する研究、自動車技術会 関東支部 学術研究講演会、2015/3/10 千葉大 (千葉県千葉市)
- ② 野澤 郁丸, 栗谷川幸代, 景山一郎: 両眼注視点間距離と有効視野の関係に関する基礎的研究、自動車技術会 関東支部 学術研究講演会、2015/3/10 千葉大 (千葉県千葉市)
- ③ 大塚 康平, 栗谷川 幸代, 景山 一郎: AHPを用いた高速道路合流部におけるドライバの意思決定モデルに関する研究、日本機械学会第23回交通・物流部門大会 2014/12/2 東大生研 (東京都渋谷区)
- ④ Ichiro Kageyama: Study on construction of driver model for advanced driver support system, The 17th International

Symposium on Technology for Next Generation Vehicle, 2014/11/14 光州市 (韓国)

- ⑤ 栗谷川 幸代, 景山 一郎: 運転時の表示操作系デバイス評価に関する研究、ヒューマンインターフェイス学会ヒューマンインタフェースシンポジウム 2014, 2014/9/10 京都工芸繊維大 (京都府京都市)
- ⑥ 島村 未菜, 栗谷川 幸代, 大須賀 美恵子, 景山 一郎: 自律神経指標・顔表情を用いたドライバの状態推定、ヒューマンインターフェイス学会ヒューマンインタフェースシンポジウム 2014, 2014/9/10 京都工芸繊維大 (京都)
- ⑦ 景山一郎: 自動車技術の現状と将来、第15回次世代自動車公開シンポジウム、2014/6/27 名古屋大 (愛知県名古屋市)
- ⑧ 棒谷李英法, 小林裕之, 大須賀美恵子, 飯田就, 栗谷川幸代, 景山一郎: 容量結合型電極を用いたドライバの心拍情報計測 (第2報)、自動車技術会秋季学術講演会 No94-12, pp1-4, 2013/10/22 名古屋国際会議場 (愛知県名古屋市)
- ⑨ 山中七皇海, 栗谷川幸代, 金子哲也, 靱山富士男, 景山一郎: 高速道路合流部の意志決定アルゴリズム構築に関する研究、自動車技術会春季学術講演会 No35-12, pp5-8, 2013/5/22 パシフィコ横浜 (神奈川県横浜市)
- ⑩ 安田翔太, 棒谷英法, 小林裕之, 大須賀美恵子, 飯田就, 栗谷川幸代, 景山一郎: 容量結合型電極を用いたドライバの心拍情報計測、自動車技術会春季学術講演会 No35-12, pp5-8, 2013/5/22 パシフィコ横浜 (神奈川県横浜市)
- ⑪ 飯田就, 栗谷川幸代, 景山一郎, 安田翔太, 小林裕之, 大須賀美恵子: 面圧センサを用いたドライバの呼吸計測、自動車技術会春季学術講演会前刷集 No35-12, pp1-4, 2013/5/23 パシフィコ横浜 (神奈川県横浜市)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0件)

○取得状況 (計 0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

景山一郎 (KAGEYAMA, Ichiro)

日本大学・生産工学部・教授

研究者番号: 10120403

(2) 連携研究者

栗谷川幸代 (KURIYAGAWA, Yukiyo)

日本大学・生産工学部・准教授

研究者番号: 90350032