

6. ドライバの個性に着目した社会共生型安全運転支援に関する研究

機械工学系 章 忠, 三宅 哲夫, 今村 孝

大都市と異なり地方都市にとって、自動車は重要な移動手段である。また、高齢者ドライバの急増、安全性や環境性など運転に求められる要素の多様化に伴い、自動車側の運転支援能力も高度化・多様化しつつある。そのため自動車の持つさまざまなリスクと社会生活との両立・共生が不可欠である。

本研究ではドライバの個性を情報・数値化する技術を通じ、社会や歩行者に対して安全な運転の実現、多様化するドライバの運転能力の平準化を目指した新たな運転支援のあり方について研究を行う。

本報告では、その基礎技術として、主にドライバ行動計測、ドライバの集中度評価に関する研究成果を報告する。ドライバ行動計測としては、6-1 ハンドルセンサを用いた把持圧力と乗車姿勢の関係解析、および、6-2 ドライバの運転中における反応速度の計測について研究を行った。また、ドライバの集中度評価としては、車外環境情報を考慮した集中度の定量評価を目指し、6-3 車両前方画像からの視覚特性を考慮した物体抽出について研究を行った。

6-1 ハンドルセンサを用いた把持圧力と乗車姿勢の関係解析

(1) はじめに

近年の自動車技術の発展に伴い、交通事故死者数は減少傾向にある。しかし、交通事故の発生件数は依然として高い状態にある⁽⁶⁻¹⁾。これら交通事故原因の大半が、漫然運転や脇見運転といった、安全運転義務違反と呼ばれるものである。特に、少子高齢化社会の到来により、ドライバは「十分な判断力・操作技能」を有し、歩行者は「運動・回避能力の低い幼児・高齢者」という交通社会構成が崩れ、高齢ドライバによる事故の増加も目立ってきている。そのため、交通事故を未然に防ぐために、ドライバの状態を計測・判断する予防安全運転支援システムの重要性が高まってきている。

このような背景より、ドライバの状態計測手法の開発例がいくつかみられる。それらは、ドライバの顔画像から覚醒状態を推定する方法⁽⁶⁻²⁾、心電や脈波からドライバの眠気を検出する方法⁽⁶⁻³⁾などである。一方、ドライバから迅速かつ正確に生体情報を測定するためには、ドライバの皮膚から直接検出する接触式センサを用いることが望ましいが、センサの接触や装着によるドライバへの負担は避けなければならない。

そこで、本研究室ではドライバの運転操作において、必ず触れる必然性を利用したハンドルセンサシステムを提案してきた。これにより、ハンドルの把持行動の定量評価が可能となれば、把持行動と居眠り、漫然運転等の運転時危険行動との関連付けや、把持の特徴を用いた個人識別などの実現可能性がある。

ハンドルセンサシステムは内外周部およびスポーク部の計 28 箇所圧力センサが埋め込まれ

たものである。その外観および圧力センサの配置を図 6-1-1 に示す。なお図中の番号は、計 28 点の圧力センサのうち、本報告にて述べる検証に用いた代表点 8 点の位置を示している。



図 6-1-1 ハンドルセンサシステムの外観と内部のセンサ配置

先行研究において、ドライバが眠気を催した際、ハンドルセンサシステムから得られる圧力データの平均値が低下し、標準偏差が上昇する傾向が実験的に得られており、把持圧力データと運転時危険行動との関連性が示唆されている。また、把持行動を定量化するにあたり、把持行動の定量化パラメータの分類・定義をおこなってきた⁽⁶⁻⁴⁾。これにより、ハンドル形状と手指の位置関係を「把持姿勢」、その姿勢で得られる各点の圧力データを「把持圧力」と定義し、把持圧力の分布比から把持姿勢を推定する方法が提案された。

しかし、これらの手法を一般化するにあたり、個人差の大きな把持圧力を評価する指標の確立が必要である。そのため、ハンドルの把持行動を定量化するにあたり、個々の基準となる把持圧力とその発生要因を明らかにし、把持圧力の定量評価指標の構築を目的とした。本報告では、その基礎実験として、ハンドルセンサシステムで得られる把持圧力に対する運転姿勢の寄与度を明らかにする。

（２）把持圧力の発生要因の考察

一般に、握力計で測定できる握力は、前腕屈伸筋群と呼ばれる筋肉群の伸縮による静的筋力である。そのため、握力は手首の姿勢によって変化することが既存研究で示されている⁽⁶⁻⁵⁾。また、ハンドル操作時の可操作性を評価した研究事例もあり、操作行動により生じる力が存在し、手指を通してハンドルへの圧力となることも予想される。そのため、ハンドルセンサが把持圧力として測定するデータにおける、上記の、姿勢変化による上肢や上半身の重さなどの力の存在の有無とその割合を調査することで、計測された把持圧力から個々の評価基準を推定できる可能性がある。特に、運転時の乗車姿勢や体格を考慮すると、乗車姿勢による把持圧力計測値の変動が大きいと予想した。そのため、特に上半身の姿勢変化に対する把持圧力の変動傾向を把握することを目的とし、以下に示す被験者実験を計画した。

（３）被験者実験による把持圧力計測

既存研究や関連事象による考察にもとづき、以下のような乗車姿勢と把持圧力の関連性を調査する実験を計画・実施した。なお、本実験は、本学「ヒトを対象とする研究規程」に準じ、十分な説明の上、インフォームドコンセントの得られた健康な成人被験者 5 名を対象として実施した。

本実験では、図 6-1-2 に示すように、被験者任意の乗車姿勢(a)、運転教則本で定める基準の乗車姿勢(b)⁽⁶⁻⁶⁾、前のめり（前傾）の乗車姿勢(c)、後ろに反り返った（後傾の）乗車姿勢(d)の 4 種類の乗車姿勢で実験を行った。各乗車姿勢で把持と解放を 5[s]おきに 10 セット 繰り返し、把持圧力を計測した。また、各乗車姿勢における腕のリーチ、肩から腰までの長さを測定した。



図 6-1-2 実験に適用した乗車姿勢

(4) 実験結果および考察

本実験では、計測データの安定化を図るために把持する位置を、図 6-1-1 における 4 番センサ（右下側正面）と 16 番センサ（右下側側面）、10 番センサ（左下側正面）と 18 番センサ（左下側側面）として指定し、以下の解析・考察を行った。本報告では 4 番センサを例に、結果から把持圧力の平均値を求めて図 6-1-3 に示すグラフにまとめた。グラフ縦軸は把持圧力、横軸は把持の試行回数である。

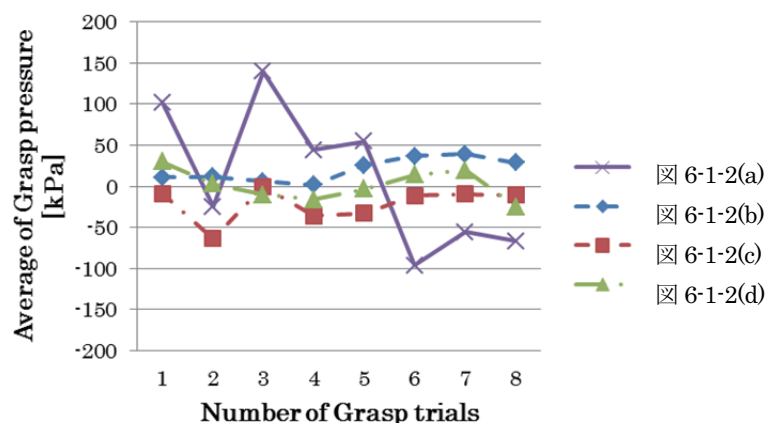


図 6-1-3 乗車姿勢別の把持圧力の変化

把持圧力としては、任意の乗車姿勢（a）を除いては、ほぼ一様な傾向を示している。基準の乗車姿勢（b）、後傾の乗車姿勢（d）、前傾の乗車姿勢（c）については、順に把持圧力の平均値が低下する傾向が一部被験者で確認できた。なお、把持圧力の一部で負の値をとることがあるが、これは握り方によってハンドルセンサの被覆皮革に緩みが生じ、圧力センサを剥離する力が生じたためと考えられる。

本実験前では、前傾の乗車姿勢（c）ではハンドルを前に押す方向の力が加わり、また、後傾の乗車姿勢（d）では反り返った上半身を支えるための力が加わり、いずれも基準の乗車姿勢（b）と比較して把持圧力が上昇すると予想していた。これに対し、前傾の乗車姿勢（c）の最大値では、基準の乗車姿勢（b）の把持圧力の最大値の 170%程度となった。しかし、後傾の乗車姿勢（d）

では、30%程度となった。これは後傾により腕が伸びきった状態になり、把持圧力のかけにくい把持姿勢となったためと考えられる。またこの状態は、腕の関節構造からみてもハンドルの操作性が低下する乗車姿勢である。本実験では、把持圧力変動の全体傾向を把握するため、前傾・後傾の両極端な乗車姿勢を取り入れた。結果として、把持圧力の増加する一部の乗車姿勢を確認した。加えて、把持圧力を発揮するのに有効な把持姿勢がとれない乗車姿勢においては、把持圧力の上昇が見られないことも確認した。

(5) おわりに

本研究では、把持行動のパラメータのひとつである把持圧力に対する、乗車姿勢の影響について調査をした。結果として、把持圧力の増加に寄与する一部の乗車姿勢を確認した。今後は、乗車姿勢のほか、個人差を有するパラメータと把持圧力との関係調査を行い、把持圧力の定量評価手法の構築を目指す。

(今村 孝, 章 忠, 三宅 哲夫, 岩本 拓馬)

6-2 ドライバの運転中における反応時間の計測

(1) はじめに

6-1 で示したように、交通事故の低減対策としてドライバの行動解析技術に関する研究開発が盛んに行われている。

本研究の従来研究として、ハンドルの操舵角・ペダル踏込量・車速から運転特性やドライバの個人性を評価する研究を行ってきた。これらの研究では、データの収集実験として、ドライバに一次タスクである運転行動とは関係のない二次タスク（看板の音読など）を課すことで人為的に注意力の低下した状態を作り出し、運転行動の異常の検出を試みている。これらは、検出はある程度可能な一方、ドライバによって正常に検出できない場合があり、さらなる改善が必要であった。検出ができない原因として挙げられているのは個人の反応特性の違いなどの影響であり、現在運転支援システムを開発している企業においても個人特性の解析・定量化手法は重要課題とされている。

そこで本研究では、ドライバの個人特性の一つとして運転中のイベントに対する反応時間にもとづく個人性解析手法を検討する。そのための手法として、ドライビングシミュレータ(以下DS)を運転しながら、二次タスクを処理することでドライバの運転への二次タスクの影響を調査する。またその二次タスクの影響を反応時間として定義し、個人差の有無を含む測定可能性を調査した。

(2) 反応時間計測の実験デザイン

本研究では、走行データの取得に DS を使用する。これは、実際の自動車の走行では環境の再現性が得られないため、また注意力が低下した状態で実際の運転を行うのは危険であるためである。今回使用する DS には、走行するコースや周囲を走る自動車などの環境を任意に作成し、目的に応じた環境設計が可能な、Forum8 社製 UC-win/Road を適用した。

一方、このシミュレータの適用にあたり問題となるのは、ドライバが実験に集中できる環境を

如何に構築するか、という点である。特に本実験は一次タスク（最も優先すべきタスク）として運転行動、二次タスクとしてそのほかの課題を与える必要がある。しかし「失敗してもシミュレータだから大丈夫」という安心感によって一次タスクではなく二次タスクに集中したり、別のことを考えたりするなどタスクの優先順位が変わる可能性がある。さらに実環境と異なり運転に関係のない注視対象の多い室内での実験では集中力が低下することもあり得る。そのため、前者の問題に対しては、ドライバに対して実験への集中を指示するのはもちろん、運転中の集中度が運転負荷に比例する⁽⁶⁻⁷⁾ことから、コースに曲率が一定でないカーブを多く配置し、常に運転を意識せざるを得ない状態にする。後者についても、外部環境の影響は様々な種類がある。特に、ランダムに動く物体が視界内にあると集中が削がれる⁽⁶⁻⁸⁾可能性が高いことから、DSの周囲を暗幕で覆い、注視対象をDS画面に限定する。以上の対策を施し本実験で用意した実験環境を図6-2-1(a)に示す。

今回の実験では次に挙げる二種類の反応時間の計測を行う。一つ目は静的な反応時間で、信号機が赤から青に変わる時のような待機状態での外乱に対する反応速度と定義する。二つ目は動的な反応時間で、他の車への追従や出現に対する反応のような時間的に変化する外乱に対する反応時間と定義する。以上の反応時間計測、および前述の運転環境整備を考慮し設計したコースの概略を図6-2-1(b)に示す。本コースには各反応時間を計測するため、信号機有りの交差点では「信号機を赤から青へと変化」させ、信号機無しの交差点では「横から車が飛び出す」という二種類のイベントを配置した。図中太線が実験時の走行ルートであり、○印が信号機有りの交差点である。また、交差点を多数配置しイベントの発生する交差点を実験試行ごとに変更することで、ドライバのイベント発生への予測を抑制するとともに、現在位置の把握を困難とするために、各交差点の外観はすべて同様のものとした。

以上の環境において被験者に適用するタスクとして、以下の二つとした。

・タスク1：音読タスク

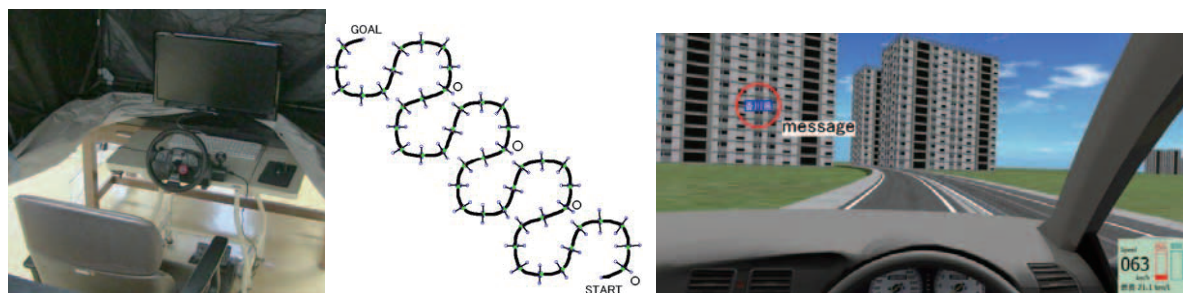
運転中に道路上の看板を読む行動をイメージし、ドライバの視線を前方からそらすためのタスクとして、画面上に表示されるメッセージを音読するタスクを設定した。メッセージの表示位置は道路標識と同様の画面左上と中央やや上の二カ所で、どちらか一方に表示することとした。図6-2-1(c)にその表示例を示す。また表示されるメッセージは、現実の看板と同様に一部分を見ただけで全体が予想できるよう、ある程度の一般的に知名度のある情報として、都道府県名をランダムに表示することとした。

・タスク2：復唱タスク

運転中に同乗者との会話に集中した状態をイメージし、運転以外に思考を割かせるためのタスクとしてドライバに4文字のランダムな英数字を聴取させ、それを復唱させるタスクを設定した。本実験では、課題提示の再現性を確保するために、英数字を読み上げはPCによる合成音声とし、イヤホンにより被験者へ提示することとした。

以上二つのタスクが「ある状態」と「ない状態」とで反応時間の比較を行う。なお、コースの

1/4 区間ごとに、タスク無し→タスク 1→タスク 2→タスク無しの順で条件を変化させて走行し、それを 10 分間の休憩をはさみながら 5 セット行うこととした。

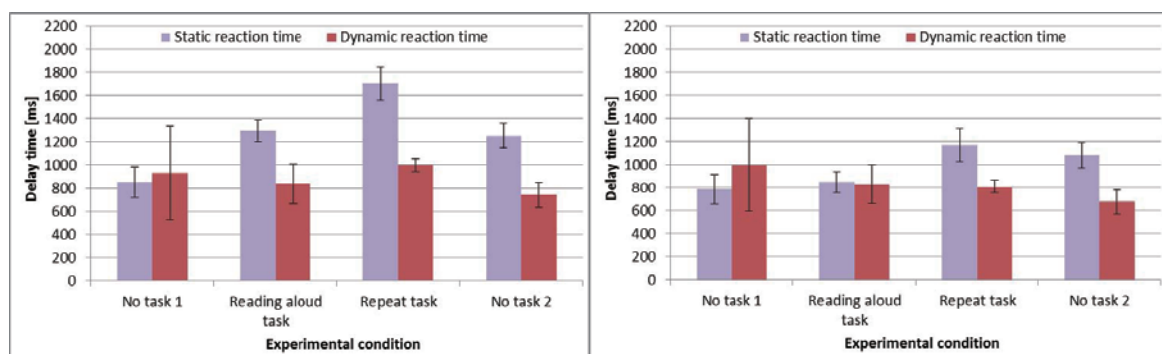


(a) 実験環境の外観 (b) 運転コースの外形 (c) 音読タスクの提示例

図 6-2-1 実験環境の概要

(3) 反応時間計測実験

本実験は、本学「ヒトを対象とする研究規程」に準じ、十分な説明の上、インフォームドコンセントの得られた健康な成人被験者 5 名を対象として実行した。実験結果のうち、二人の被験者 A, B の結果を例として図 6-2-2 に示す。このグラフは、イベント発生から被験者のペダル操作開始までに要した時間の平均値および標準偏差である。またコース中二カ所存在するタスクの無い区間をそれぞれタスク無し 1 およびタスク無し 2 と表記する。



(a) 被験者 A

(b) 被験者 B

図 6-2-2 反応時間の計測結果

まず、提案手法により被験者 5 名に対する実験・計測を行った結果、被験者間で同一の傾向が得られ、反応時間計測としての本提案手法の妥当性を確認した。次に、図 6-2-2 に示した二つのグラフを比較すると、反応時間の変化の仕方に大きな違いがみられる。また、動的反応時間だけに注目すると、タスク無し 1 の状態よりタスク有りの状態の方が、反応時間が早くなる傾向が確認できる。この結果は当初の予想とは異なるものである。一方、音読および復唱タスクとタスク無し 2 を比較すると、5 名中 4 名はタスク無し 2 の方が反応時間が早く、二次タスクの内容が反応時間に影響しているといえる。また、被験者への直接アンケートの結果では、音読タスクより復唱タスクが難しいと全員が回答したが、被験者 B の動的反応時間は音読タスクの方が、わずかに反応時間が遅くなっている。以上のことから、二次タスクによる反応時間の変化は個人特性に

関連するものと考えられる。

（４）おわりに

本研究では、二次タスクが運転行動に与える影響、及び反応時間からの個人特性の検出可能性を調査することを目的として、ドライビングシミュレータを用いた個人特性計測手法を提案した。そして被験者実験により、本計測手法の妥当性を確認するとともに、タスクの有無と反応時間との関連性・影響の有無を確認した。一方、反応時間の平均時間や標準偏差は被験者によって異なること、またタスク種別の影響の有無は個人特性に関係していることを計測結果の解析より明らかにした。

（章 忠，今村 孝，三宅 哲夫，浅川 祐樹）

6－3 車両前方画像からの視覚特性を考慮した物体抽出

（１）漫然運転検出システム

交通事故の発生件数は2000年まで増加傾向にあったが、2004年から減少傾向にある。しかし、2011年の交通事故発生件数は691,937件⁽⁶⁻¹⁾と依然として多く発生しているのも事実である。

その主な原因として、日常的な走行経路における車両前方不注意、脇見、ぼんやり運転などの、いわゆる漫然運転が多くを占めている。このことは重大な問題であるにも関わらず、現状では積極的な漫然運転の防止対策がなされていない。

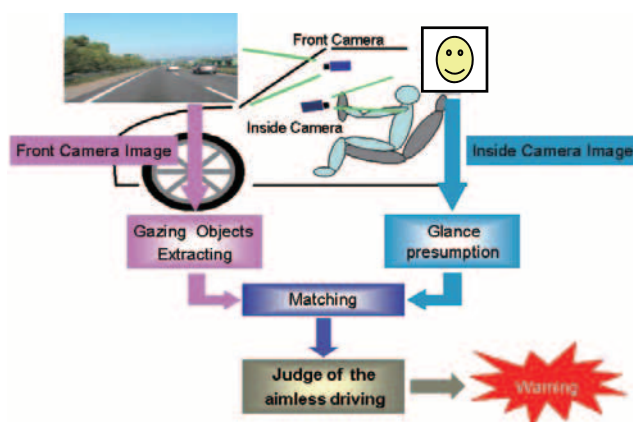


図 6-3-1 提案する漫然運転検出システムの概略

そこで、本研究では、ドライバーの運転状態を判断するシステムとして、図 6-3-1 に示すようなカメラシステムを提案し、これにもとづくドライバーの運転集中度評価法を提案している。このようなシステムを指標とすることでドライバーへの警告や注意喚起をし、交通事故を未然に防止することが可能であると考えられる。提案するシステムは、図 6-3-1 に示すように、車両に二台の単眼カメラを搭載し、ドライバー行動と車両外の環境情報を計測する。Front Camera は車両前方を撮影し、走行環境のうち前方方向に存在する注視すべき対象物を抽出する。一方、Inside Camera はドライバーの顔を撮影し、表情や視線方向の計測を行い、ドライバー行動の特徴量とする。これら二台のカメラから得られる情報にもとづき、相互の関連性や行動の妥当性を判断して、ドライバーの運転集中度の推定を行うのが本システムの概略である。

これまでに、運転集中度の定量化および評価手法について研究を進めてきた。一方で、車外の環境変化がドライバの運転集中に及ぼす影響も示唆されてきており、ドライバの注視行動の評価に加えて、画像解析による車外環境の定量評価法が必要となってきた。次節では、この車両前方面像の処理方法について述べる。

（２）画像取得および画像処理環境

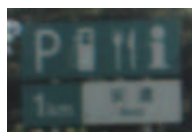
本研究のこれまでの研究では、映像の輝度を確保するために、撮像環境の光学的条件を晴天下の日中に限定し、車両前方面像の解析とドライバが運転中に注視すべき走行環境中の対象物の候補（以下、注視対象候補）の抽出を行っていた。これに対し、本研究では、注視対象候補を抽出するための最適な画像処理上の色空間の適用を試みるとともに、天候などの光学的な撮像環境変化に左右されない画像処理手法を導入する。これにより、対象物体の自車からの距離、相対速度を抽出するシステムの開発を目的とした。

一方、撮像環境の情報としては、道路の形状や車両・建造物などの自車両周辺の物体の情報も、走行とともに変化する。特に道路形状は一般道では多様な交差や分岐を含む上、看板などの道路以外の情報が多量に含まれる。そのため、本研究では道路環境の急激な変化が少なく、看板などの周辺設置物の色・形状が明確に規定された高速道路での走行を対象とした。

なお、抽出のための画像処理・画像認識システムの開発には、C 言語ライブラリである OpenCV を使用する。

（３）色空間での標識特性の検討

道路標識をはじめとする、車両前方面像からの環境情報の抽出には色の特徴を用いる。そのため撮像環境が変化してもパラメータの値が変化しにくい色空間を選択することで、光学的撮像環境の変化に対する頑健性の向上が見込める。そこで、代表的な 3 つの色空間、すなわち RGB 色空間、HSV 色空間、Lab 色空間について案内標識、警戒標識、指示標識それぞれを対象に検討を行った。図 6-3-2 に検証に使用した画像の一例を示す。



(a) 案内標識



(b) 警戒標識



(c) 指示標識

図 6-3-2 色空間の検証対象画像

まず、案内標識に関する撮像環境変化に伴う色分布の検証結果を図 6-3-3 に示す。この結果より、HSV 色空間で彩度が高いことと色相の変化が少ないことが分かる。しかし、HSV 色空間は色相が赤色を 0 とし緑色から青色そして赤色へと円周方向に変化する。そのため、案内標識を主に構成する緑色を抽出するためには、上限の値での閾値処理と下限の値での閾値処理をし、領域の論理積を計算する必要がある、処理時間の増加が予想される。また、Lab 色空間でも変化が少ないことが見て取れるが、上限、下限の閾値処理と論理積の計算を色差 a、色差 b のそれぞれで行う必要がある、色相と同様に処理時間の増加が予想される。したがって、1 回の閾値処理で分

類が可能な、RGB 色空間の R と HSV 色空間の S を用いて、案内標識の抽出を試みる。

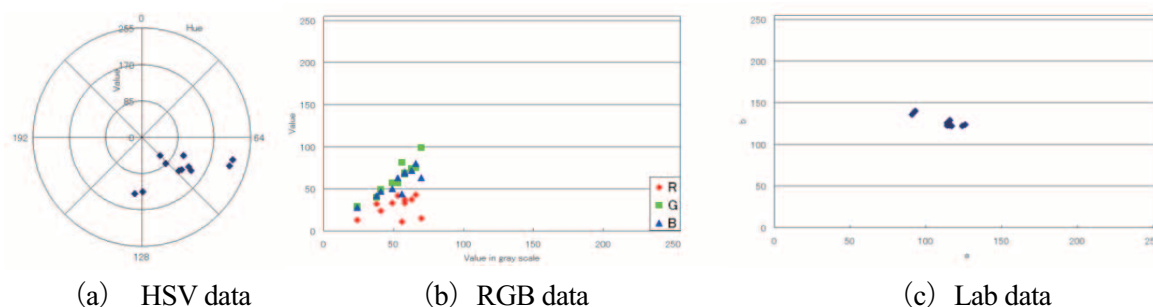


図 6-3-3 案内標識に関する色空間検証結果

次に、警戒標識に関する撮像環境変化に伴う色分布の検証結果を図 6-3-4 に示す。このうち HSV 色空間において彩度が高く色相の値の変化が小さいことが見て取れる。一方、RGB 色空間についてはばらつきが大きく、誤検出が多くなることが、また、Lab 色空間については、ばらつきは少ないものの、色差 a において閾値処理 2 回と論理積の計算を要することから処理時間の増加が、それぞれ予想される。よって、警戒標識の色特徴の抽出は HSV 色空間を用いる。

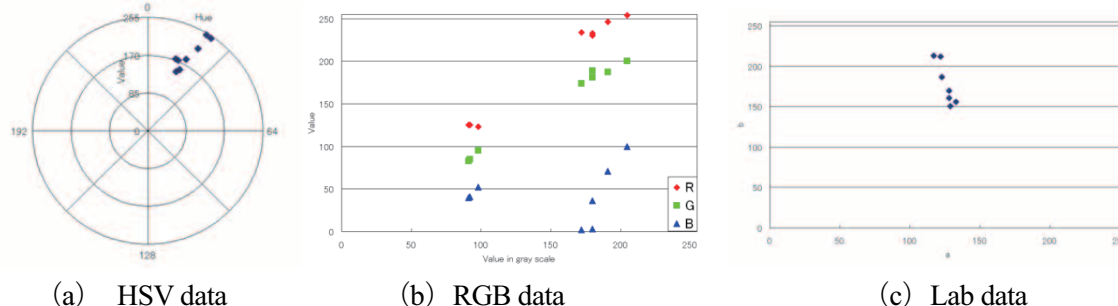


図 6-3-4 警戒標識に関する色空間検証結果

最後に、指示標識に関する撮像環境変化に伴う色分布の検証結果を図 6-3-5 に示す。このうち、Lab 色空間において値の変化が小さいことが見て取れる。一方、その他の色空間については、ばらつきが大きく天候の影響を多く受けることが予想される。よって、指示標識の色特徴の抽出には Lab 色空間を用いる。

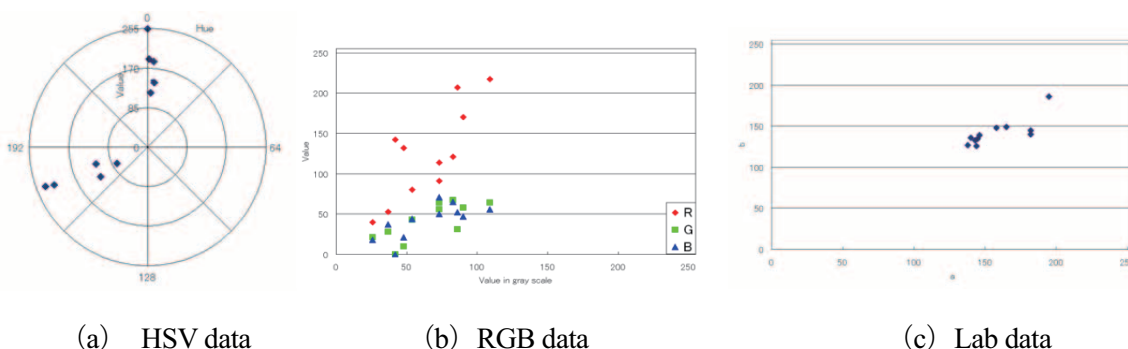


図 6-3-5 指示標識に関する色空間検証結果

(4) 注視対象の抽出

ドライバは、道路標識や自車両以外の車両といった安全や走行に関する物体情報に対して視線が移動しやすい。よって、今回抽出する対象は白線と道路標識、先行車両とする。ここで対象と

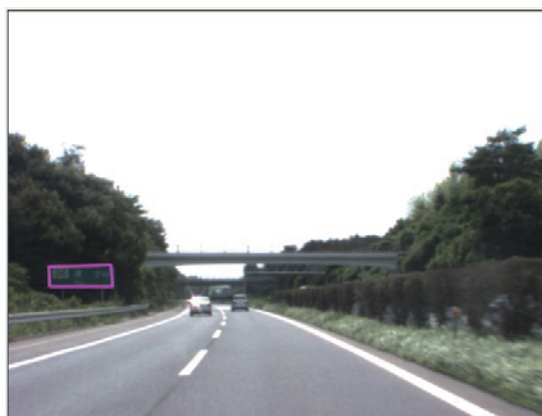
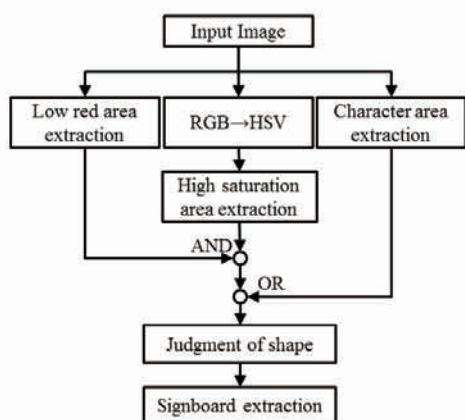
する標識については、形状や色といった規格が道路法や道路交通法により表 6-3-1 のように定められている⁽⁶⁻⁹⁾。これに加えて、前節で行った色空間の検討結果を踏まえ、車両前方画像からの抽出方法を以下の通り個々の標識や白線、先行車両などの注視対象物について検討していく。

表 6-3-1 各種標識の主な規格

	案内標識	警戒標識	指示標識
色	緑	黄	赤 または青
形状	四角形	ひし形	円形
その他	白文字	黒領域を含む	

① 案内標識

案内標識は表 6-3-1 に示した 3 つの特徴を用い、図 6-3-6 (a) に示すフローチャートにより処理を行う。まず、高速道路の案内標識は鮮やかな色であるため色相、彩度、明度の 3 つの成分からなる HSV 色空間に変換し、彩度の高い領域を抽出する。また、標識の背面に植物があった場合、標識とともに植物領域が抽出されることを避けるために、一旦、赤色成分が少ない領域を抽出してから緑色の領域を抽出する。ここで抽出された領域が道路標識であれば、白文字で情報が記載されていることを手掛かりに、抽出した緑色領域と同じ領域内で入力画像の 2 値化を行い、文字部を抽出する。最後に、抽出した緑色領域と文字部の論理和を算出する。論理和を求めて得られた領域より、その領域の輪郭を直線で近似し、コーナーの角度から案内標識の形状と判断した領域を道路領域として抽出する。図 6-3-6 (b) にその抽出結果を示す。



(a) 案内標識抽出のフローチャート

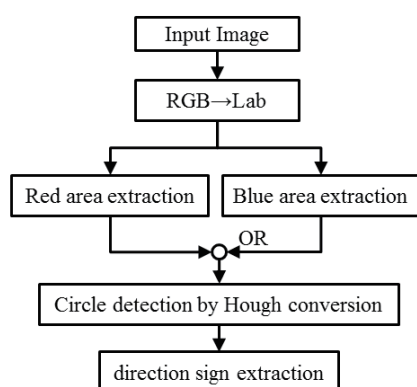
(b) 案内標識の抽出結果

図 6-3-6 案内標識に関する抽出処理とその結果

② 指示標識

指示標識は表 6-3-1 に示した 3 つの特徴を用い、図 6-3-7 (a) に示すフローチャートにより処理を行う。まず、指示標識の特徴である色を抽出するために、入力画像を RGB 色空間から明度と 2 つの色差からなる Lab 色空間に変換する。その後、2 つの色差を用いて赤色と青色の領域を

抽出し、その2つの領域を合成する。その後、標識の形状特徴である円形をもとに、デジタル画像処理で用いられる特徴抽出法である Hough 変換を用いて円を抽出する。図 6-3-7 (b) に指示標識の抽出結果を示す。



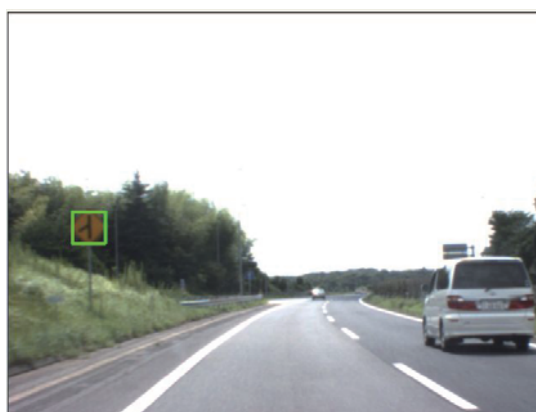
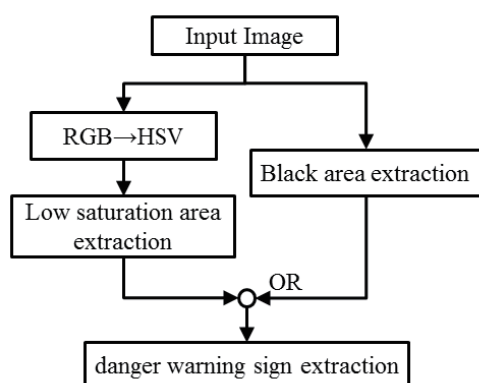
(a) 指示標識抽出のフローチャート

(b) 指示標識の抽出結果

図 6-3-7 指示標識に関する抽出処理とその結果

③ 警戒標識

警戒標識は表 6-3-1 に示した 3 つの特徴を用い、図 6-3-8 (a) に示すフローチャートにより処理を行う。まず、警戒標識の特徴である、彩度が高い黄色を抽出するために RGB 色空間から HSV 色空間に変換し、色相が低い領域と彩度が高い領域を抽出する。次に、抽出した黄色領域を囲う矩形領域を作成し、この領域に着目して処理を行う。このとき矩形の四隅に余分な背景領域が含まれるため、該当する領域を 45[deg]回転させて除去する。その後、同領域中の黒色領域を探索することで、黄色・黒色の混在する警戒標識を抽出する。図 6-3-8 (b) に指示標識の抽出結果を示す。



(a) 警戒標識抽出のフローチャート

(b) 警戒標識の抽出結果

図 6-3-8 警戒標識に関する抽出処理とその結果

④ 白線の抽出

前方映像中において、道路上の白線・走行車線は、自車両の走行位置、前方車両との距離、先行車両の探索領域など、さまざまな物体の検出の基準として有用である。すでに実用化されたシステムでは、自車両の逸脱検出や道路形状の認識などにも応用されている。

この白線の検出についても、本手法では他の標識抽出と同様に色特徴に着目した抽出を試みる。道路の白線は gray スケール画像においては、グレー系の道路の色に対して、輝度が高く、また一定の幅を有して直線への近似が可能という特徴がある。まず、色の観点からは、RGB 色空間から gray スケール画像に変換し、白色の領域を抽出することで検出ができる。またその幅情報を利用し、水平方向にある程度の幅を有するものに対応するフィルタを適用することで、白線の候補が選出できる。ただし、道路上に自車両の走行車線以外に車両が存在する場合、この白線候補の情報が断片化され、誤検出の原因となりうる。そのためクラスタリングを行い、画像中心に最も近いものを抽出することにより白線を選出する。その後、RANdom SAmple Consensus（以下、RANSAC）による直線近似を行うことで、走行車線の両側の白線を抽出し、射影変換行列を求める。さらに、自車両の走行車線以外の車線を抽出するために、先に近似した直線に沿った輝度の分散を求める。最終的には、走行車線の区分線である車線境界線（破線）と、走行車線と路側帯の区分線である車道外側線（直線）とを分類し、車線境界線の場合には隣接する車線があると判断し、射影変換行列をもとに白線の追加を行うことで、車両前方画像中の白線の抽出を完了する。図 6-3-9 に白線抽出結果を示す。前述のように自車両の走行進路を中心に、車線境界線から順に、緑、黄色、赤、青と車道外側線まで抽出ができていくことがわかる。



図 6-3-9 車両前方画像中の白線抽出処理の結果

⑤ 車両の抽出

同様に道路上の移動物体として、他車両の抽出方法についても以下の通り検討した。

まず、先に述べた白線の抽出結果をもとに車両前方画像中の道路面の領域（道路領域）を抽出し、道路領域上に存在する影を識別する。ただし、道路領域は気象条件によりその明度が異なる。そのため、車両前方の道路領域の明度を取得し平均値を算出し、その明度より低い値をとる領域を車両の影として抽出する。また、車両を識別する判断材料として、自車両との相対速度情報が有用である。そのため、これを取得するためにオプティカルフローによる車両抽出も併せて行う。以上の処理により、自車両の前方を走行する車両を抽出した結果を、図 6-3-10 に示す。



図 6-3-10 車両前方画像中の車両抽出処理の結果

(5) 注視対象の優先順位付け

前項までの処理により、車両前方画像に存在する注視対象物の抽出が可能となった。これを用いた運転支援システムとしてドライバの注視行動との整合性を解析するにあたり、各注視対象物について、ある基準にもとづく順位づけ等を行い、注視行動の定量評価へとつなげていく。

ある瞬間において、車両前方画像中には、ドライバの注視対象候補が複数個存在する。しかし、ドライバがその瞬間にどの物体を見て、どの物体を見ないのかは視覚の持つ生理的特性、ドライバの心理状態、過去からその瞬間に至るまでの行動の連続性や経過などに依存すると予想される。これらの真値の予測や推定は困難であるが、自動車の走行環境において、自車両の走行方向前方から後方へと視界のなかを対象物が移動していく状況を想定すると、より近距離の物体から順に処理をしていく過程が、一つの方策として考えられる。以下では、ヒトの視覚特性の分類をするとともに、注視対象候補に対する優先順位付けの方策を検討・実装していく。

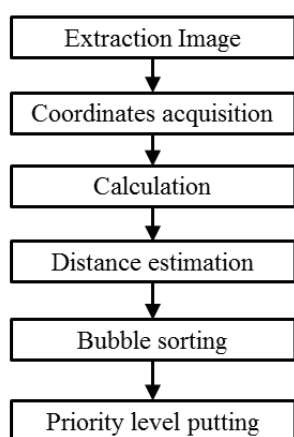
ヒトの視覚特性としては、主に次のようなものが挙げられる。まず、ヒトの網膜周辺部は、光の明滅や動いている物体など時間的に変化する刺激に対して敏感である。そのため周辺視によりそのような物体を発見した場合、その方向に中心窩を向けて光を得るために眼球運動が発生する。一方、自動車運転時のように自身の移動を伴う場合、ドライバは走行（移動）速度が上昇するほど遠方を見て運転するようになり、結果として視野範囲が狭くなる。また、走行速度が低い場合でも混雑時には視野範囲は狭くなり、反応時間も遅くなる⁽⁶⁻¹⁰⁾。しかし、車線変更中などは視線速度が増加し、広い範囲を認識するようになる⁽⁶⁻¹¹⁾。他にも走行に必要な情報の認知をするために、道路のカーブや傾斜などの認知、標識や車等の物体の検知や動きの知覚、自車両の走行状態の認知がなされたり、カーブ部分では自車両の走行車線の位置や、カーブ区間内の位置や他車両の有無を認識したりするために、視線の動きが要求され複雑化していく⁽⁶⁻¹²⁾。これらのほかにも、運転上重要な視覚機能としてあげられる、視野、KVA 動体視力、DVA 動体視力、深視力の 4 つ⁽⁶⁻¹³⁾も運転中の視線の動きには視力の影響が考えられる。

他方、以上で述べたようなヒトの視覚特性をすべて網羅することは、非常に複雑で困難である。これに対し、従来研究においては、自車両と前方車両との幾何学的位置関係から、ドライバの網

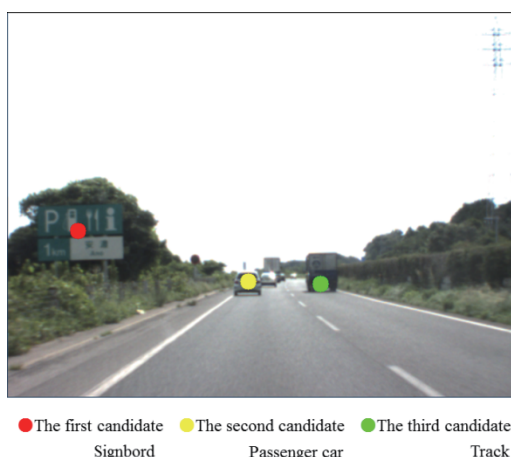
膜上での前方車両形状の専有面積変化をもとに、危険の感知度合を定量化する指標（KdB）などが提案されている。すなわち、車両間の距離情報は、上述の視覚特性と定量情報との接点になりうるといえる。そこで、本研究ではこれまでに述べた車両前方面像の分析結果から得られた、対象物と自車両との距離に着目し、これにもとづき注視対象物の順位付けを行う手法を提案する。その処理の流れを図 6-3-11（a）に示す。

まず、注視対象物のうち、標識については、移動ステレオ法を適用して距離を算出するために、前段階として自車両の移動速度の推定が必要となる。これには、道路上で検出した車線のうち、車線境界線の破線間隔（道路法や道路交通法により高速道路では線の部分が 8[m]、線と線の間隔が 12[m]と規定）を用いることで、自車両の移動量が測定でき、結果として速度の推定・計算を画像 1 フレームごとに行うことができる。また、自車両と先行車両の距離については、抽出した先行車両領域の下端の座標に着目する。この情報と白線抽出で求めた射影変換行列、白線の長さをもとに距離を求めることができる。

以上の処理により、自車両からの各注視対象物までの距離が算出され、それが近い対象物から順に優先順位を図 6-3-11（b）のように設定することができた。



（a）順位付け処理のフローチャート



（b）順位付け処理結果

図 6-3-11 注視対象物の順位付け処理

（6）まとめ

本研究では、道路標識および車両を抽出しドライバが注視すると予想される順番に優先順位を設定するシステムを作成した。これを実現するにあたり、色空間の選択において、撮像環境・対象物の規格を考慮し、対象物ごとの最適な色空間と閾値の選択を行い、従来のシステムでは抽出できなかった対象物の抽出を可能とした。このことにより、本システムの分類・抽出システムは、天候の影響を受けにくいものになったといえる。また、車両抽出においても車両前方の道路の明度の平均を取得して閾値を設定することで、同様に、天候の影響を受けにくいシステムを実現した。道路上の白線の抽出においても、クラスタリングを行うことによってノイズ除去を行い、さらにロバスト推定法である RANSAC による直線近似を行うことで、より安定した白線抽出が可能となった。また、射影変換を用いることにより走行車線以外の車線の抽出も可能とした。

一方、雨天時の検討はしておらず、現在は快晴、晴れ、うす曇、曇りの4つの天候にのみ対応しているが、その環境下においても、色空間の選択で天候の影響を低減できることを確認した。しかし、現在の車両抽出アルゴリズムは白線の抽出精度に依存している。そのため、白線の抽出精度が変動すれば、危険に対する認知として最も見るべきである車両の抽出精度も低くなると考えられる。また、現在1画像あたり約0.3[s]の処理時間を要している。特に、走行環境が変わり、新たな色空間の追加が必要になった場合、処理時間の増加は明らかであり、これをどう削減するかが今後の課題となる。併せて、処理速度の向上、車両検出精度の向上、視覚特性をより考慮した優先順位付のアルゴリズム開発が今後の課題である。

(三宅 哲夫, 今村 孝, 章 忠, 福山 育也)

6-4 研究発表実績、今後の課題

本研究テーマについては、平成24年度において、以下の研究発表を行った。

■学術論文投稿

1. T.Akiduki, Z.Zhang, T.Imamura and T.Miyake, Time-Series Analysis of Motion by Using Nonlinear Dynamical Systems, Innovative Computing, Information and Control ICIC Express letters, Vol. 6, Num. 4(April 2012), pp.1077-1082
2. Md R.Othman, Z.Zhang, T.Imamura, T.Miyake, Analysis and Evaluation of Driver Inattention Using Support Vector Machine, Innovative Computing, Information and Control ICIC Express letters, Vol. 6, Num. 6(June 2012), pp.1453-1458
3. Md Rizal Othman, Zhong Zhang, Takashi Imamura and Tetsuo Miyake, A Novel Method for driver Inattention Detection Using Driver Operation Signals, International Journal of Innovative Computing, Information and Control, Vol.8, No.4(April 2012), pp.2625-2636
4. 秋月 拓磨, 章 忠, 今村 孝, 三宅 哲夫, アトラクタを用いた時系列データからの動作特徴の抽出, 電気学会論文誌 C, Vol.132, No.6(2012.6), pp.975-982.

■国際学会論文発表

1. Tetsuo Miyake, Elvin Tiong Chew Lun, Ikuya Fukuyama, Takashi Imamura, Zhong Zhang, Evaluation of Driving Attentiveness through Usage of Fuzzy Inference, Proc. of the 2012 International Conference on System, Man and Cybernetics(SMC2012, Seoul, 14-17 Oct, 2012), pp.518-523
2. Takashi Imamura, Yuto Takeuchi, Zhong Zhang and Tetsuo Miyake, Estimation for Grasp Behavior of Vehicle Driver by using Steering Wheel Sensor System, Proc. of the 2012 International Conference on System, Man and Cybernetics(SMC2012, Seoul, 14-17 Oct, 2012), pp.1515-1519

■国内学会発表

1. 秋月拓磨, 章 忠, 今村孝, 三宅哲夫, 力学系を用いた時系列データからの動作特徴の抽出, ”センシングアーキテクト”による発表会 最先端インテリジェントセンシング研究開発事例集(2012), pp.62(2012.03.06)

2. 鈴木創, 章 忠, 今村孝, 三宅哲夫, 動的関係ネットワークを用いた漫然運転検出法に関する研究, 日本機械学会東海支部第 61 期総会講演会, pp.63-64(2012.03.15-16)
3. 荻智成, 高橋忠相, 今村孝, 章 忠, 三宅哲夫, ドライビングシミュレータを用いた 運転行動意図の付与とその推定に関する研究, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス部門講演会 (ROBOMECH2012) , pp.2P1-C11(1)-(4)(2012.05.27-29)
4. 内田皓, 章 忠, 今村孝, 三宅哲夫, 秋月拓磨, 加速度センサを用いたドライバの運転動作計測, 計測自動制御学会中部支部オープンラボ・学生発表会(2012.11.22)
5. 佐藤駿佑, 三宅哲夫, 今村孝, 章 忠, パルス光による角膜反射像を用いたサッケード検出法, 計測自動制御学会中部支部オープンラボ・学生発表会(2012.11.22)
6. 福山育也, 三宅哲夫, 今村孝, 章 忠, 車両前方面像からの視覚特性を考慮した物体抽出, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2012) , pp.1898-1903(2012.12.18-20)

本報告に示したように, ドライバ計測に関する基礎技術の構築とその実験・実証を進めている。また, 昨年度より導入したドライビングシミュレータについて, 運転プラットフォームを追加導入し, より本格的な運転環境を実現できる環境を整備してきている。さらに, 今年度より地元バス会社とともに, 走行中の車両前方映像およびドライバ行動を計測し, 運転改善へ展開するための共同実験に向けた準備を開始した。今後, 本報告で示した各基礎技術について, ドライビングシミュレータへの実装や実車両運転の改善方策の実現へと発展させ, 早期に実証システムとして構築させることを当面の課題として, 更なる研究に取り組みたい。

参考文献

- (6-1) 政府統計の総合窓口,
<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/eStatTopPortal.do>, 独立行政法人 統計センター, (2012)
- (6-2) 石田ほか, 顔画像の観察分析に基づいた眠気表情の特徴を表す因子に関する研究, 自動車技術会論文集 39(3), pp.251-256(2008)
- (6-3) 柳平ほか, 車両における複合情報計測による安全運転支援技術, 計測と制御 44(3), (2005)
- (6-4) Takashi Imamura, Yuto Takeuchi, Zhong Zhang and Tetsuo Miyake, Estimation for Grasp Behavior of Vehicle Driver by using Steering Wheel Sensor System, Proc. of the 2012 International Conference on System, Man and Cybernetics(SMC2012, Seoul, 14-17 Oct, 2012), pp.1515-1519(2012)
- (6-5) 鈴木ほか, 手関節肢位と握力の関係について, 理学療法学会論文集 13(6), pp.409-413(1986)
- (6-6) Honda の交通安全 運転アドバイス(四輪編) ,
<http://www.honda.co.jp/safetyinfo/kyt/master/master01.html>, 本田技研工業株式会社(2012)
- (6-7) 梶原 ほか, 脳波計測を用いたドライビングシミュレータによるドライバの負荷推定, 近畿大学理工学部研究報告 (45), pp.25-28 (2009)

- (6-8) 橘 ほか，注意領域への集中力向上を目的とした領域外における視覚刺激，第 16 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集(2011)
- (6-9) 道路標識，区画線及び道路指示に関する命令 別表第 2，
<http://www.mlit.go.jp/road/sign/kijyun/kukaku/bpkukaku02.html>，国土交通省(1980)
- (6-10) 三浦利章，運転時の視覚的注意と安全性，映像情報メディア学会誌 Vol61 No.12, pp.1689-1692(2007)
- (6-11) 藤森充，上迫宏計，川村幹也，高速道路運転における頭部運動と視線挙動，計測自動制御学会論文集 Vol.31 No.1, pp.36-43 (2001)
- (6-12) 門間健，岩崎征人，古市朋輝：都市高速道路曲線部における車両の走行特性と運転者の眼球運動，第 27 回土木計画学研究発表会・講演集(2003)
- (6-13) 足立委昭，山本裕，山田宗男，川澄未来子，山本修身，中野倫明，山本新，高齢ドライバーの視覚機能測定と運転視力測定システム，自動車技術会論文集 Vol.39 No.1, pp.157-162(2008)