

車両挙動に着目したスマートフォンのカーナビゲーション使用の影響評価 An Estimation of Influence on Vehicle Behavior While Using Smart-Phone Navigation

木平 真[†] 萩田 賢司[‡] 横関 俊也[†] 鄭 仁成[§] 石河 宏光[§] 中野 公彦[¶]
Makoto Kihira Kenji Hagita Toshiya Yokozeki Rencheng Zheng Hiromitsu Ishiko Kimihiko Nakano

1. はじめに

カーナビゲーション（以下、カーナビと略す）装置は広く普及し、自動車を運転する際の電子的な経路誘導は当たり前のサービスとなっている。他方で、近年普及の進んでいるスマートフォンは、パソコンと同様にソフトウェアを導入することで様々な機能を実現できることから、カーナビのソフトウェアを導入したスマートフォンがあれば、カーナビ専用のハードウェア（以下、専用機型カーナビと略す）を用意しなくてもカーナビサービスが受けられるようになった。カーナビをこれまで以上に気軽に利用できる環境が整いつつあることが言える。

また、スマートフォンは本来手に持って使用するための装置であり、筐体がコンパクトに作られていることから、自動車の車中に持ち込んだ場合にも取り付け位置等の制約が少ない。このことは、専用機型カーナビよりも使用形態の自由度が高まり、特長と言える。しかし、情報を表示する画面が小さいことや、専用機型カーナビを想定した既存の研究では考慮されていない使われ方が可能であることについて、安全運転への影響が不明という側面もある。スマートフォンのカーナビ使用に対して推奨の使用方法などといった情報が特に見当たらないこともあり、専用機型カーナビで想定されない様々な使われ方をした場合や、小型画面に特有の注意事項があるならばそれを理解しないまま使われた場合の安全性が懸念される。

本研究では、経路誘導を受けながら乗用車を運転して公道における走行を行う実車実験を実施し、設置方法を 3 通りに変化させた 3 種類のスマートフォンをカーナビとして使用した場合と、専用機型カーナビを使用した場合とで、画面の視認が発生した直後の車両挙動の変動の違いに着目して、それぞれの条件で設置された画面に対して視認を行った場合の影響の程度を分析した。さらに、スマートフォンを模擬した小型画面で経路誘導を受けながらドライビングシミュレータ（以下 DS と略す）による仮想的な走行を行う DS 実験（設置方法 3 通り、画面サイズ 2 通り）を実施し、これら 2 種類の環境による実験を対照させることにより、カーナビの画面から情報を読み取る行為が運転にどのような影響を及ぼすかについて検討した。

2. スマートフォンのカーナビ使用の研究背景

自動車内の電子情報機器は、その使用が運転のディス

[†] 科学警察研究所 交通科学部 Department of Traffic Science, National Research Institute of Police Science

[‡] 科学警察研究所 交通科学部（現所属：自動車安全運転センター） Department of Traffic Science, National Research Institute of Police Science (Currently Japan Safe Driving Center)

[§] 東京大学 生産技術研究所 Institute of Industrial Science, the University of Tokyo

[¶] 東京大学大学院情報学環 Interfaculty Initiative in Information Studies, the University of Tokyo

ラクションとなる場合がある。例えば、使う際に運転姿勢が崩れる機器は正しい運転操作を阻害し、情報の提示を視覚的に行う機器は前方に対する不注意を誘発するなど、正しく使われなければ安全運転の妨げとなりうることについての危険性が問題視されている。

道路交通法第 71 条 5 の 5 では、その全部又は一部を手で保持しなければ送信及び受信のいずれをも行うことができない無線通信装置を使用することと、画像表示用装置に表示された画像を注視することを禁止している。また、運転中に電子情報機器を使用する際、運転者による情報を受け取ったり思考したりといった活動を伴うが、これが走行中という外界の状況がめまぐるしく変化するタイミングで行われることで、運転判断や操作に対してのディストラクションにどういった影響を及ぼすか、あるいはそういった影響を適切に抑えるための対策について、数多くの研究がなされている。カーナビの画面表示を題材としたものでは、画面に表示される文字や図形についての適切なサイズやデザイン、文字数など表示する情報の分量を検討する実験がなされてきた^{[1][2][3][4]}。また、画面の取り付け位置について、視認する際に前方から視線を外す角度が大きい場合、前方で発生した出来事に対する反応が遅延し、影響が大きいことが指摘されている^[5]。日本自動車工業会は、カーナビの表示内容や、設置使用に関するガイドラインを策定している^[6]。

ただし、既存のカーナビの研究はおおむねが専用機型カーナビを想定して行われたものであり、スマートフォンのカーナビ使用についてはその範疇にない。例えば、取り付け位置について、専用機型カーナビでは、車両出荷時に取り付けられている純正製品に多いセンターコンソールへの詰め込み方式、あるいはアフターマーケット製品に見られるダッシュボードの手前に取り付ける方式で車両への固定が行われる。また、専用機型カーナビには、画面とは別に地図データなどを蓄積する記録装置や情報処理の基板などを格納した筐体が存在し、それを車に取り付ける空間が必要となることも、取り付け位置がセンターコンソール付近に限られる要因となる。一方で、スマートフォンは携帯することを前提にサイズが小さく作られていることから、車両に取り付ける場合も設置場所の自由度が高く、専用機型カーナビでは考えられない場所に取り付けての使用も可能である。

画面の取り付け位置が顔の正面から離れると、情報の読み取りに負担がかかることが言われており、先行研究^[5]における検討対象の取り付け位置が専用機型カーナビで想定されるダッシュボードの高さまでの範囲であるため推測となるが、ダッシュボード上端よりもさらに高く持ち上げ、より顔の正面に近い位置に取り付けられれば、視認のしやすさなどの特性がより向上する可能性がある。ただし、フロントガラスに重なる位置への機器の設置は、車両保安基準による制限があり、注意が必要である。また、顔の正面に近

い位置に画面を設置すると、気になってしまい必要以上の視認を生じさせやすくなるなど、危険な方向の影響も想定される。

画面のサイズの違いによる影響についても検討すべき課題である。スマートフォンも最近の機種では画面の大型化が進んできているが、それでも専用機型カーナビと比較すれば小型なものが多い。画面が小さいということは、表示される文字や図形が小さくなって見づらくなったり、画面に表示可能な情報が減少したりといったことにつながり、視覚による情報提供に不利となる影響要因が考えられる。一方で、スマートフォンの画面は、画面を用いる機器の中で特に高精細化が進んでいるため、逆になめらかかつ鮮明で美しい表示で見やすい、小さな画面は大きなものよりも気になりにくいなど、有利な方向に作用する要因についても挙げることができる。

ところで、スマートフォンが登場する以前にも、小さな画面を顔の正面に近い位置に設置して経路誘導を行う機器は存在し、運転への影響について研究^[7]がなされた。しかし、当時の装置は、小型画面の画素数が少なく、細々とした図形を表現できなかったことから、地図は使わずに矢印などの簡略化された図形のみで進行方向の指示を行う turn-by-turn と呼ばれる表示方式が採用されていた。本研究で対象とするスマートフォンを使用したカーナビは専用機型カーナビと同じく地図を高精細に描画することから、画面表示が大きく異なっているため別種類の装置と考えるべきであり、改めて検討が必要である。

スマートフォンのカーナビ使用についての研究は最近始められ、先行研究では、DS で、取り付け位置と画面サイズの違いについて画面に対し視認を行った回数・視認時間、視認開始時の衝突余裕時間や官能評価などを比較した^[8]。官能評価は危険などの感じ方を訊いたもので、画面の視認についても通常は危険を感じない範囲で行われたものであるなど、こういった評価の多くは運転者の感じ方に左右されるが、DS で危険の感じ方などを実際の運転と同じにすることは不可能である。環境が統制できない実際の道路では、外乱要因が多く評価の困難の度合いが増すが、実車での評価が必要である。

3. 実験

本研究では、スマートフォンを用いてカーナビのサービスを使用した場合の運転への影響について、運転挙動を用いて検討することとし、実車および DS を用いて実際の道路 (DS を用いる場合は実際の道路を模擬した仮想現実空間のコース) を経路誘導されて運転を行う走行実験を実施した。

実験用車両あるいは DS 装置には、スマートフォン (DS を用いて走行する場合はスマートフォンを想定した小型の液晶画面) を取り付け、運転中の実験参加者が、カーナビの画面に呈示される経路情報を取得するため、画面に対して視認を行う行動と、その際の車両挙動の計測を行った。取り付け位置や画面の詳細は次項で述べる。比較のため、専用機型カーナビを使用した場合についても同様の走行を行わせ、視認行動と車両挙動を計測した。

実験参加者には、画面に表示される経路の指示に従って普段どおりの運転を行うよう教示して走行させた。

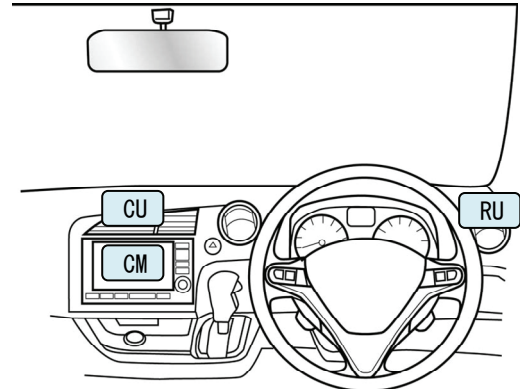


図1 経路誘導画面の取り付け位置

表1 スマートフォンの諸元

	機種 A	機種 B	機種 C
画面サイズ	4.0 インチ	4.7 インチ	5.2 インチ
解像度	1,136x640	1,280x720	1,920x1,080
OS	iOS 7	Android 4.1	Android 4.2



図2 ドライビングシミュレーター

なお、使用したカーナビのアプリケーションソフトの機能として発せられる音声による経路の案内は、経路情報を取得可能な画面に対する視認以外の手段となるため、視認と運転への影響との関係が複雑になることの懸念があったが、なるべく実際の使用時に近い状況とするため、十分に聞こえるボリュームに設定してそのまま聴かせる状態で実施した。

3.1 実験装置と画面の取り付け位置・サイズ条件

実車公道走行および DS 走行の実験装置と画面の取り付け位置などの条件設定は、それぞれ以下のとおりとした。

3.1.1 実車公道走行の実験装置と条件設定

センターコンソールに画面が埋め込まれた純正の専用機型カーナビ装置を備えた実験車両 (ホンダ ストリーム 2007 年式) を用い、その画面と同じ位置 (Center-Middle: 以下 CM と略す)、その垂直線上のダッシュボード上部の位置 (Center-Upper: 同 CU) および丁度 A ピラーの裏側にあたるダッシュボード上部の右端の位置 (Right-Upper: 同

RU) の 3 箇所スマートフォンをホルダーにより固定する取り付け位置を設定した(図 1)。スマートフォンは、実験実施時の人気機種から、画面サイズ等の異なる 3 種類を選定した。その諸元を表 1 に示した。また、カーナビ機能は、それぞれの OS に対応した MapFan (インクリメント・ピー社製) のアプリケーションソフトを用いた。専用機型カーナビは取り付け位置が CM 位置のみで、画面サイズは 7 インチであった。地図の縮尺は 50m スケールの表示で固定し、実験参加者に拡大・縮小やスクロールなどの操作は行わず、表示されている画面をそのまま見るだけの条件で実施した。表示される地図の範囲や細かさは、使用しているスマートフォンの画面のサイズと解像度による。

車両挙動の指標として CAN-BUS より速度、車両重心付近に取り付けた加速度計 CXL04LP3 (Crossbow 社製) により前後・左右方向の加速度、フロントグリルに取り付けたレーザー式距離計 LaserAce IM HR150 (Laser Technology 社製) により前方の車両との車間距離を計測し、それぞれ 10Hz で記録した。

運転者のカーナビ画面に対する視認は Smart Eye (Smart Eye 社製、代理店:東陽テクニカ) カメラ 3 台構成の非接触式システムにより視線計測を行った。画面に対する視認は、Smart Eye で計測された視線が画面の方向と重なるタイミングで検出した。視線の画面の方向との重なりは、視線の計測結果の二次元的な散布図に対しガウス分布でグループ化を行うことにより判定した^{[8] [9] [10]}。検出結果は、10Hz の車両挙動の計測データと統合した。

3.1.2 DS 走行の実験装置と条件設定

DS は東京大学生産技術研究所が所有する装置を用いた(図 2)。この装置は、外界の環境 CG 映像により再現するが、3 面のスクリーンで構成された前方 120° 以上の視界を有している。左右のドアミラーについても、相応する CG 映像を表示させる小型のディスプレイをドライバーから見て乗用車と同じ相対位置に配置し、再現している。また、6 軸の動揺装置で運転台を支持し、これを傾けることにより加速・減速時や右左折時に体感する力を重力の分力を利用して仮想的に運転者に感じさせ、実車に近い運転感覚を再現する機能を有する。

カーナビ機能の再現は、小型の液晶ディスプレイを接続したパソコンとアプリケーションソフト Mapfan Navii (インクリメント・ピー社製) で行った。DS は実際の位置が移動しないことから GPS による測位は用いることができないため、緯度・経度情報は DS にて生成し、その出力を上記のパソコンに配線して受信させることによりカーナビを機能させた。小型液晶ディスプレイは、画面サイズ 3.5 インチの HDM35EVF (サンコー社製) と画面サイズ 4.3 インチの DP4 (SmallHD 社製) を使用した。画面はともに解像度 800x480 のカラー表示であった。映像信号は HDMI ケーブルでデジタル接続した。画面に表示する地図の縮尺は 50m スケールで固定した。

運転者のカーナビ画面に対する視認の検出は、実車公道走行と同じ Smart Eye カメラ 3 台構成の非接触式視線計測システムと処理方法で実施し、得られた検出結果を DS 内部に有する車両モデルより 10Hz の実車公道走行のデータ形式に統一して作成した車両挙動データと統合した。

3.2 走行コース

走行コースを設定する地域として、実車公道走行には東京都新宿区の都庁周辺の道路が縦横に整然と並ぶ区画を中心としてその近傍を含むエリアを、DS 走行には東京都江東区の道路が縦横に整然と並ぶ区画を選定した。地域が異なる理由は、実車公道走行では DS との乗り換えをスムーズに行うため、東京大学生産技術研究所との距離が近いこと、DS 走行では仮想空間のモデルが作成しやすいよう、道路が縦横に整然と並んだ区画の中のみでコースが完結できるような広さを重視したことによる。選定地域内に、延長距離約 3km の区間中に 5 回程度 (DS 走行は 4 回) の右左折が含まれ、走行毎に異なる経路となるよう、実車公道走行 10 通り、DS 走行 7 通りのコースを設定した(図 3)。実験参加者により取り付け位置および画面サイズを組み合わせた条件とそれぞれのコースの割り振りが異なるように振り分けた。ただし、実験手続き上の理由によりコースの順序は全ての実験参加者で同一とした。

コースについて、実験参加者に事前に教えることはせず、カーナビによる誘導に従って、その場の判断で運転するよう教示した。各走行の所用時間は概ね 10 分程度であった。

3.3 実験参加者と実験方法

実験参加者は、乗用車の運転免許を取得してから 1 年以上経過し、実施日現在も有効な運転免許を有して平均して週 1 回程度以上運転をしていることを条件に、一般から募集した。応募のあった中から 33 名の実験参加者を採用し、インフォームドコンセントの取得とアンケートを行った後、公道において実車を走行させる実験と DS のバーチャル空間で走行を行う実験を実施した。

実験参加者の年齢構成は、20~39 歳が 10 名、40~59 歳が 11 名、60 歳以上が 12 名であった。性別は、男性が 21 名、女性が 12 名であった。運転経験の年数は、20~39 歳の実験参加者の 20%が 5 年以上 10 年未満、50%が 10 年以上 15 年未満、30%が 15 年以上 20 年未満であった。40 歳以上の実験参加者では全員が 20 年以上であった。

実験参加者のカーナビあるいはスマートフォンに対する事前の使用経験については、専用機型カーナビの使用割合は約 8 割で、スマートフォンをカーナビとして使用している割合は 2 割強であった。スマートフォンを通話やメールなど一般的な使い方を使用している割合は 7 割弱であった。年齢層別に見た場合には、それぞれ 40~59 歳がやや低かったものの無視できる程度で、ほとんど違いはなかった。

実車公道走行では、それぞれの実験参加者に、3 か所の取り付け位置と 3 種類のスマートフォンを組み合わせた 9 通りに専用機型カーナビを加えた、経路誘導デバイスの条件の異なる 10 回の走行を、ランダムな順序で行わせた。DS 走行では、3 か所の取り付け位置と 2 種類の小型液晶ディスプレイを組み合わせた 6 通りに専用機型カーナビを加えた、経路誘導デバイスの条件の異なる 7 回の走行を、ランダムな順序で行わせた。

実車公道走行と DS 走行の順序は、半数が実車公道走行を実施した後に DS 走行を実施し、残り半数が DS 走行を実施した後に実車公道走行を実施した。本稿では、そのうち実車公道走行については 10 走行全ての計測が行えた実

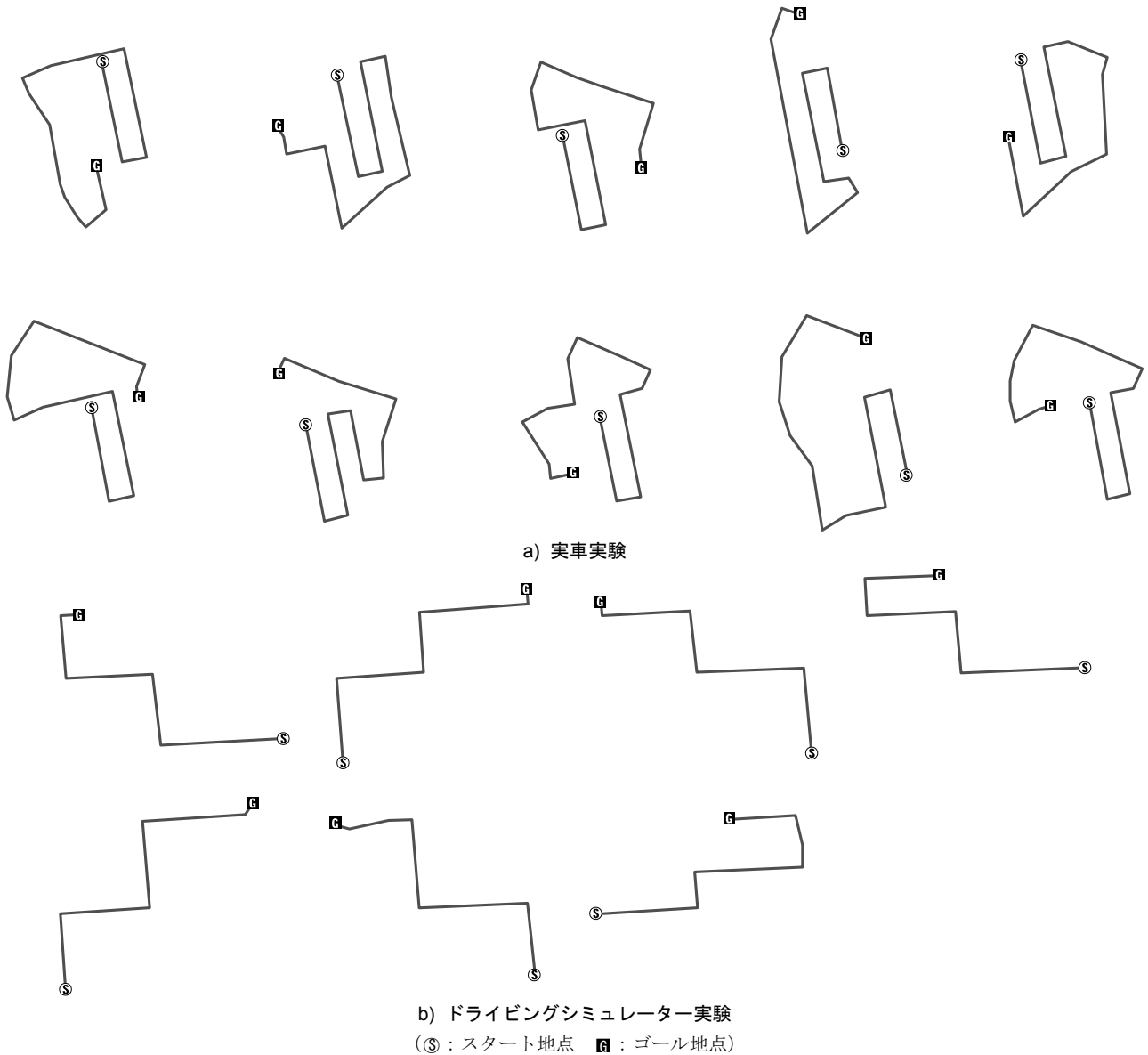


図3 走行コースの形状

験参加者 14 名のデータ、DS 走行については 7 走行全ての計測が行えた実験参加者 20 名のデータを用いて、それぞれ分析を行った。データの欠落の理由は、DS 酔いなど実験参加者の体調不良、および GPS 電波の受信不良と推測される現象が生じて実車公道走行において正常な経路誘導を行うことができなかったことによる。

4. 結果

経路誘導の情報を読み取るため画面を視認する影響として運転者の挙動や状態に変化が生じさせるならば、車両の挙動に視認行動をきっかけとした変化を及ぼすものと考えられる。つまり、車両挙動の変化から、画面を視認することによる影響の推定を試みる観点で分析を行った。運転者の状態と運転挙動への影響については、先行研究に車線内の横方向位置のブレやハンドル操舵角といった車両の左右方向の運動に関連する指標による検討事例が見られる^[11]。本研究では、簡便に使用することができる加速度センサー

により計測した横方向の加速度値を評価に用いた。計測値は正が右側、負が左側の方向である。

実車公道走行により収集した車両挙動と視点の統合データを、さらに時間軸について画面に対する視認行動を起点として、次に画面視認が行われるまでの車両挙動を整理した。その結果は、画面に対し視認を行った後の経過時間に対する車両挙動の変化を表しており、スマートフォンをカーナビとして使用した際に、どのような要件が運転に大きく影響を及ぼすと考えられるかについて、スマートフォンの機種や取り付け位置による違いに着目して検討を行った。

なお、加速度計には、道路の線形による遠心力や横断方向の傾き・車両自体の傾きによる重力の分力も、横方向の加速度成分に加わった値で計測される。これは地点により変化する外乱であり、外乱を差し引くために注視が完了したタイミングの値を基準とした差分を取った。

データを時間軸について画面に対する視認の直後からの 5 秒間を 0.5 秒ごとに区分し、視認終了後の直前の画面注

視時を基準とした横方向加速度の変動について、画面の取り付け位置別のグラフを、図 4-a) には全てのスマートフォンをまとめて、図 4-b)~d) にスマートフォンの機種別に分けて示した。縦軸の数値は、元データが 10Hz のサンプリングレートで記録されていることから、直前の画面視認時を基準とした横方向加速度の変化量の測定値 5 点の平均値を、さらに分析対象の全実験参加者で平均したものである。

なお、0.5 秒の区間に次の画面視認が行われたなどにより、その区間に該当するデータの個数が 4 点以下の場合、集計から除いた。この操作により、画面への視認と視認の合間に前方などに視線を戻していた時間が 0.5 秒未満であった場合の車両挙動は分析から除外される。情報量が多いなどのため、ひとつのまとまった情報の取得が複数回の視認に分けて行われた場合、最後に行われた視認後の車両挙動のみが分析の対象となる。

この結果から、画面の取り付け位置の違いにより加速度の変化の様子が大きく異なった。0.5 秒以降について CM 位置の場合は 0 付近で推移し、CU 位置の場合は負の方向、RU 位置は正の方向に外れる推移をした。一方で、スマートフォンの機種の違いについては違いがあまりなかったことが読み取れる。また、画面視認から 0.5 秒までの区間では、CM, CU, RU いずれの位置についても共通して正の方向に振れ、0.5 秒~1.0 秒の区間で一旦ゼロの方向に戻るグラフ形状をしていることが特徴的である。

ところで、車線内の横方向位置のブレについて、その発生方向が右の場合もあれば左の場合もあるが、いずれの方向に対しても意図した軌跡からの逸脱という意味で望ましくない状態であることは当てはまる。しかしながら、修正操舵などブレに対応させる車両挙動に伴って発生する横方向加速度もブレの方向に対応して正負の値となるため、平均値はブレが左右で相殺され実際よりも少なく見える結果となる。相殺を避けるため、計測値に対し絶対値をとった値で同じグラフを作成すると、結果は図 5 に示したとおりで、いずれかの取り付け位置が特に低いといったことはなくほぼ同様に変化している。このことから、図 4 に見られた取り付け位置による差について、特に CM 条件のグラフが 0 付近を推移している理由は、ブレ自体は他の取り付け位置の場合とほぼ同程度に発生しているが、発生が左右の方向に分散したものが平均値の演算過程で相殺されたものであると考えられる。すなわち、車両挙動への影響自体は低減しおらず、図 4 の結果をもって CM 位置が安全性に優れるとは言えないことが確認できる。

次に、DS 走行についても、同じ手続きによる直前の画面視認時を基準とした画面視認の直後から 5 秒間の横方向加速度の変化量についてのグラフを、画面の取り付け位置別に図 6 に示した。a), b) はそれぞれ測定値そのままのものと絶対値をとったものである。画面サイズの違いについて、グラフの特徴がほぼ同様であったことから、ここではまとめた結果のみを示した。これらのグラフは全体として実車公道走行の実験結果と似通っているが、細部については図 6-a) には図 4 に見られた画面視認から 0.5 秒までの区間に正の方向への振れが存在しないことが相違点として特徴的である。

次に、実車公道走行の実験結果グラフ (図 4) に特有の、画面に対する視認を行った直後から 0.5 秒間の区間にお

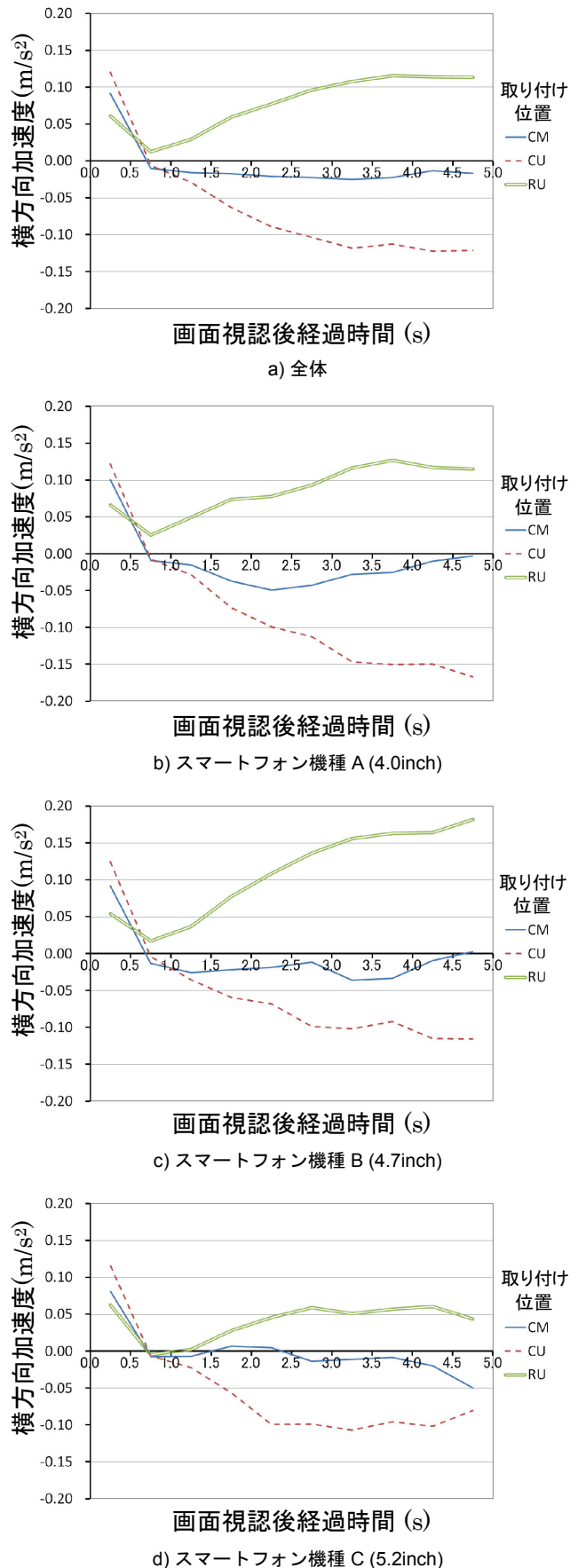


図4 横方向加速度の視認後変化 (実車実験)

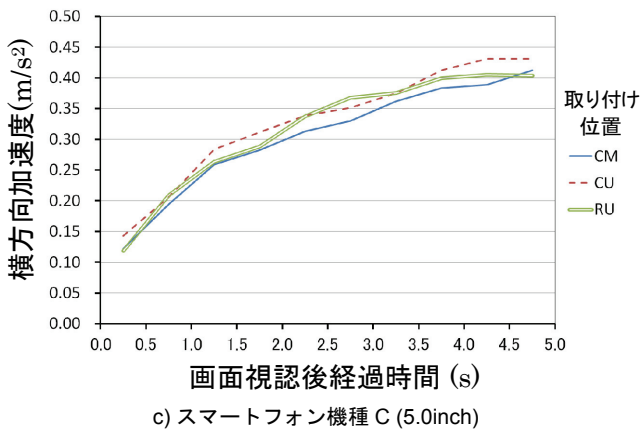
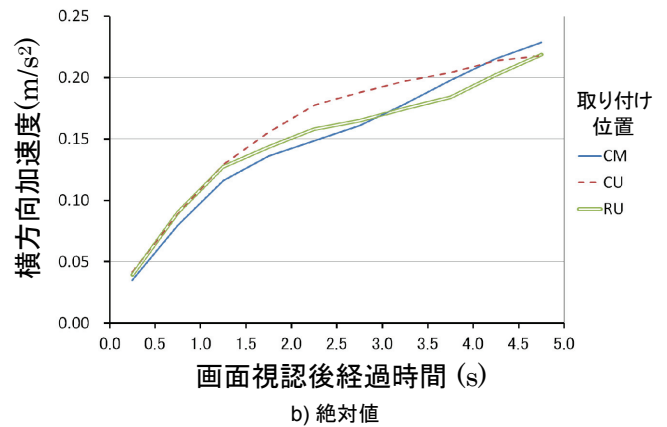
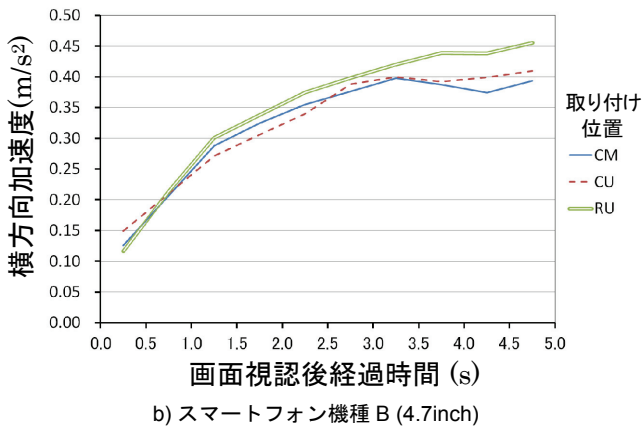
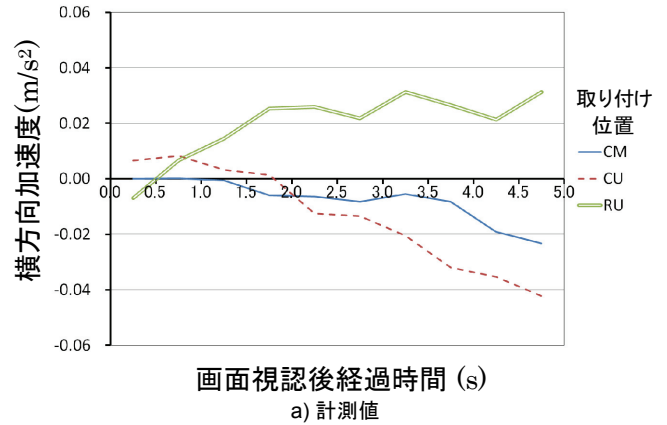
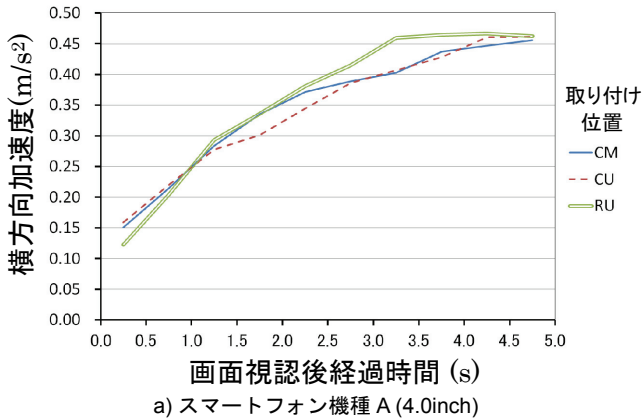


図6 横方向加速度の絶対値の視認後変化 (ドライビングシミュレーター実験)

図5 横方向加速度の絶対値の視認後変化 (実車実験)

る正方向(右側)への横方向加速度の発生に着目した検討を行った。方向による相殺を避け、加速度の変動の大きさを比較するため、絶対値を取った値について、取り付け位置とスマートフォンの機種および実験参加者を独立変数とした3水準×3水準の分散分析を行った。その結果、取り付け位置の違いについての主効果に有意差が見られた($F(2,3.38)=14.11, p<.05$)。一方、スマートフォンの機種の違いによる主効果は有意差が見られなかった($F(2,3.75)=4.11, p=.11$)。取り付け位置と機種の交互作用についても有意差は見られなかった($F(4,59.39)=1.03, p=.40$)。実験参加者の主効果に有意差が見られたことか

ら($F(13,11.45)=3.97, p<.05$)、運転の個人差が影響することも判明した。

取り付け位置とスマートフォンの機種別の平均値を図7に示した。一点鎖線の水平線は、比較のため専用機型カーナビの経路誘導で走行した場合の水準を記入したものである。スマートフォンをRU位置に取り付けた場合は、いずれの機種であっても影響が専用機型カーナビの水準を下回り、車両のブレの観点では専用機型カーナビよりも危険だとは言えない結果である。一方、CU位置の場合は、逆に全ての機種で影響が専用機型カーナビの水準を上回り、車両のブレの観点で専用機型カーナビよりも好ましくない可能性がある。CM位置の場合は影響が機種により分かれたが、取り付け位置と機種の交互作用に有意差が無いことから、はっきりとした結論のためにはサンプル数を増やすなど新たな検討が必要である。

5. 考察

実験環境が実車であるかDSであるかにかかわらず、またスマートフォンの機種の違いにかかわらず、画面の取り付け位置の違いにより、画面に対する視認を行った後の車両挙動が変化した(図4, 図6-a)。この結果について、画面を視認する際の体勢が運転挙動に影響を及ぼしたものと考えられる。

例えば、首の回転にともなって頭部以外の姿勢も変化するが、RU条件の画面に対して視認を行う場合、右に首を

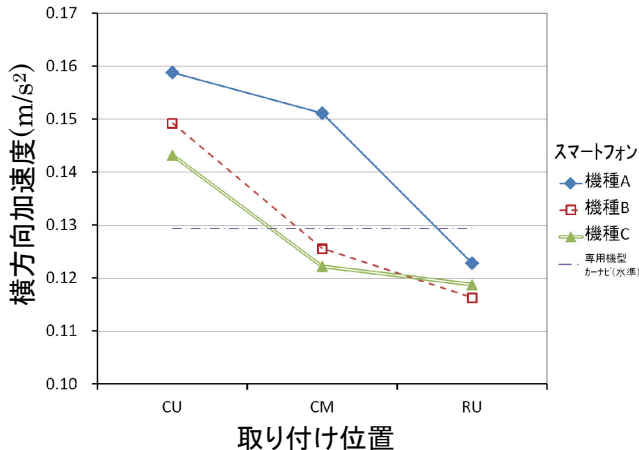


図7 視認直後の横方向加速度の絶対値比較 (実車実験)

捻る動作に伴って右肩が後ろ、左肩が前に引っ張られ、手からハンドルには時計まわりに回転させる運動に変換されて伝わるのがその要因と考えられる。画面視認の際、意図しないハンドルの回転により車両の車線内の位置が偏ったとすれば、視認が完了した後に位置を修正するため反対の方向に操舵し、その慣性力として首の回転方向と同じ方向に加速度が発生することとなる。RU条件の1.0秒以降のグラフが正の方向に推移したと合致する。

反対に、左に首を捻る動作では右肩が前、左肩が後ろに引っ張られ、手からハンドルには反時計まわりに回転させる運動に変換されて伝わることとなる。CU条件に関して、1.0秒以降のグラフが首の回転方向と同じ方向への加速度の発生を示す負の方向に推移し、横軸に対してRU条件のグラフとほぼ鏡像の形状であった。しかし、CM条件では、運転席の正面から見て水平位置がCU条件と同じであるはずにもかかわらず、グラフの形状が大きく異なり、首の回転方向への加速度の発生が見られなかった。その理由として、高い位置のCU条件では画面の方向に顔を向ける際の動作が主に首を軸とした回転運動となることに対し、低い位置のCM条件の場合この回転運動に顔を下に向ける運動が加わり、それぞれの筋肉を協調させて顔を向けさせれば良いので、その分肩につながる筋肉の負担が減り、腕、ハンドルへと伝わる影響も軽減することが考えられる。ただし、この影響について、絶対値を取った図5、図6-b)では取り付け位置の違いによる差が見られなかったことから、ブレは様々な要因で発生するものであり、首の捻りに関連してはブレの発生方向が確率的に変化したのみで、個々の挙動で見た場合のブレの大きさ自体に変化が生じたわけではないものと推測される。

図4および図6-a)のグラフにおける画面に対する視認の直後について、実車公道走行では全ての条件において右方向に加速度が跳ね上がるという、DS走行では見られない特徴的な車両挙動が発現することが判明した。これにより、視認の完了後すぐの行動として視認時の首の方向にかかわらず一旦ハンドルが左に切られやすかったことが示唆される。その直後の0.5秒~1.0秒の間では加速度が一旦ゼロの方向に戻っていることから、この行動は、脇見状態から視線を前方等に戻した際、一時的に発生した反射的なものであった可能性が考えられる。加速度の時間微分値は

躍度と定義されるが、この指標の絶対値が小さい場合に、その運動がなめらかで自然なものであることを意味する。例として、進路上の障害物を回避する際などのレーンチェンジの場面における車両挙動のモデルとして、躍度を最小とするような軌跡が提案され、実験の結果との対応がよいことが示されている^[12]。実車公道走行では、画面に対する視認の直後に躍度の大きな不自然な挙動をしていると言える。

実車とDSの最たる相違点として、衝突した際に怪我など身に被害が及ぶかどうかは挙げられるが、実車の運転とDSの運転では事故に対する危険の意識の違いが要因とすれば、実車のみに見られた画面視認の直後に右方向への加速度発生の変動の偏りについて、実車の危険を反映した現象である可能性が考えられる。対向車とすれ違ったり速い車に追い抜かれたりする右側は、相手が自分よりも遅かったり小さかったりする左側に比べ、重大な危険を感じさせる事象が発生しやすく、画面から視線を戻した際に反射的にハンドルを左に切る行動が取られる確率が高まると推測される。速度変化を無視したならば、等速円運動から運動軌跡を左に逸れさせると、右方向の遠心力ならば増加し、左方向の遠心力ならば減少する。

また、この反射的な横加速度の変動の大きさについて取り付け位置と機種で比較した図7によればRU条件が最も小さかった。一見、RU位置に取り付けられた画面を視認するため、顔を右に向けた際に車両の位置が右にずれたならば、危険感が増大しそうである。しかし、右Aピラーの裏のRU位置は、画面を視認すると同時に周辺視で右側の事象を確認できていた可能性があり、視認を完了した際の驚き自体が抑制されたことの反映とすれば、この結果を説明できる。

ここで、実車における画面の視認直後に短時間で横方向の加速度が変動する現象を、運動のなめらかさを表す躍度の観点で評価してきたが、これは、あくまで画面を見るところという行為が車両挙動に及ぼす影響のみに着目したもので、好ましいか、使いやすいかといった官能的な受け入れられやすさの要素も、安全性に影響する。また、本研究の実験は、募集された実験参加者が一時的に実験車両の運転を行ったものであり、また8割弱の実験参加者が普段スマートフォンをカーナビとして使わない者であった。自分の車との違いや、そのカーナビを使用し続けることによって発生する慣れの効果によっても結果が違ってくることが考えられる。

事故の発生に影響するかどうかの観点で考えた場合に、車両がごちない挙動をするということは当該車両や周囲の車両にとって衝突の危険を減らす作用は想定されないことから、少なくとも大きな横方向躍度の発生が好ましくない現象であることは言える。しかしながら、今回、横方向躍度の増加から評価したスマートフォンカーナビに対する画面視認の影響について、交通安全の立場で絶対量としてどこまで許容されるべきかについてはこの実験結果からは判断できない。ここでの評価は、既に普及が進み世の中に許容されているカーナビ専用機を基準とした相対的な比較にとどまる。

6. まとめ

今後の普及が予想されるスマートフォンを用いたカーナビゲーションについて、その使用が安全運転に及ぼす影響を、実車による公道での走行実験と DS による走行実験の、2 種類の実験環境を用いて検討した。

その結果、画面のサイズよりも取り付け位置が車両挙動に影響することが判明した。また、実車公道走行では画面に対する視認が完了した後に特徴的な車両の横方向の加速度の変動が見られた。この変動は、DS 走行では見られなかったことから、画面に対する視認の影響による危険に関連した現象である可能性が考えられたが、実車公道走行における画面視認直後の加速度の変動の大きさを、取り付け位置と機種による違いについて比較したところ、ダッシュボード上部中央に設置する場合は総じて影響が大きく、センターコンソールに設置した場合は機種によっては影響が大きいことが判明した。

ところで、実車公道走行と DS 走行で異なる挙動が観測されたことについては、DS のみによる評価では、実際に実車で公道を走行した際の特性が見落とされる可能性があることが示唆される結果であった。

なお、本研究で検討したスマートフォンの設置方法について、取り付け位置を 3 箇所に変化させたが、いずれもしっかりとしたホルダーに固定した使用状況であり、安価に販売されているような脆弱なホルダーの使用や、ホルダーを使用しない不安定な状態でのスマートフォンカーナビの使用は、危険の度合いがより増大するものと考えられる。そういった明らかに危険な使われ方がそもそもなされないよう周知浸透させる、使い方の啓蒙も重要である。

謝辞

本研究の実施にあたり、パイオニア株式会社の高柳 幹彦氏、矢野 健一郎氏に多大なるご協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 麻生 勤, 村木 俊彦, “車室内に呈示された文字情報に対する視認行動”, 自動車研究, 第 21 巻, 第 10 号, pp. 586-589 (1999).
- [2] 宇野 宏, 麻生 勤, 新谷 研二, “文字ならびに地図情報の取得時間に関する基礎的研究”, 自動車研究, 第 22 巻, 第 10 号, pp. 487-490 (2000).
- [3] 宇野 宏, “シンボル図形による情報伝達に関する検討”, 自動車研究, 第 24 巻, 第 3 号, pp. 103-106 (2002).
- [4] 麻生 勤, 宇野 宏, 野口 昌弘, 川崎 由美子, “運転中のカーナビ視認時間の許容限界の検討”, 自動車研究, 第 24 巻, 第 3 号, pp. 107-110 (2002).
- [5] 森田 和元, 益子 仁一, 岡田 竹雄, “自動車用画像表示装置の安全性に関する研究—表示装置注視時の反応時間の遅れ—”, 交通安全公害研究所報告, 第 26 号, pp. 1-11 (1998).
- [6] 日本自動車工業会, “画像表示装置の取り扱いについて 改訂第 3.0 版”, http://www.jama.or.jp/safe/guideline/pdf/jama_guidelines_v30_jp.pdf, pp.1-8 (2004).
- [7] Srinivasan, R., Jovanis, P., P., “Effect of selected in-vehicle route guidance systems on driver reaction times”, Human Factors, vol. 39, No. 2, pp. 200-215 (1997).
- [8] Zheng, R., Nakano, K., Ishiko, H., Hagita, K., Kihira M., and Yokozeki, T., “Eye-gaze Tracking Analysis of Driver Behavior While Interacting with Navigation Systems in an Urban Area, Human-Machine Systems”, IEEE Transactions on (Volume:PP, Issue: 99), pp. 1-11 (2015).
- [9] 山城 賢二, 高橋 友和, 井出 一郎, 村瀬 洋, 樋口 和則, 内藤 貴志, “ドライバの注視行動を利用した視線計測システムの自動校正”,

電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J92-D, No.8, pp. 1308-1316 (2009).

- [10] 小西 貞則, 越智 義道, 大森 裕浩, “計算統計学の方法—ブートストラップ・EM アルゴリズム・MCMC—”, 朝倉書店, pp. 69-78 (2008).
- [11] Thiffault, P., Bergeron, J., “Monotony of road environment and driver fatigue- a simulator study”, Accident Analysis and Prevention, Vol. 35, No. 3, pp. 381-391 (2003).
- [12] 天野 也寸志, 羽田 昌敏, 土居 俊一, “通常走行から緊急時に至るドライバの運転動作モデル”, 豊田中央研究所 R&D レビュー, Vol.33, No.1, pp. 23-30 (1998).