

様々な情報提示に対する運転者の注意散漫度を測定する枠組みの検討

A Framework to Measure Driver's Distraction Caused by Several Information Presentation Methods

山部 和章*¹
Kazuaki Yamabe

武田 龍*¹
Ryu Takeda

翠 輝久*²
Teruhisa Misu

駒谷 和範*¹
Kazunori Komatani

*¹ 大阪大学産業科学研究所

The Institute of Scientific and Industrial Research (ISIR),
Osaka University

*² Honda Research Institute USA

An information presentation method that does not distract driver's attention in a car is indispensable for realizing a safe traffic society. However, there is a possibility that a driver's attention may be hindered depending on the content and amount of information presented. In this research, we have constructed a framework to measure a driver's distraction to various information presentations using a gaze measuring device. In the preliminary experiments, we measured the driver's distraction and the ease of understanding of the guide while changing the presence or absence of car navigation display and amount of voice guidance.

1. はじめに

近年、自動車にはカーナビゲーションシステム(カーナビ)が多く搭載されている。カーナビは画面表示と音声案内で運転者に情報を提示する。道路交通法では、カーナビを運転中に注視する行為は禁じられている。にもかかわらず、運転中に運転者がカーナビ画面を注視することによって前方への注意が散漫となることによる交通事故も少なからず報告されている [田久保 00]。そのため、カーナビ画面は、HDD (Head-Down Display) と呼ばれる。また、音声案内機能を有するカーナビも多くあるが、複雑な交差点が多く連続する市街地などでは、音声案内のみで情報を把握し続けることは困難である。

それらの問題を解決するため、AR-HUD (Augmented Reality Head-Up Display) をカーナビに用いることが検討されている [澤野 06]。AR-HUD とは、図 1 で示すように、自動車のフロントガ



図 1 AR-HUD による表示の仮想的な例

表 1 各情報提示手法のメリット・デメリット

	メリット	デメリット
HDD上の画面表示	・一度に提示できる情報の量や種類が多い	・視線を画面に向ける必要があり危険
音声案内	・視線を動かすことなく情報を得られる	・一度に得られる情報が少ない
ARによる表示	・視線を動かすことなく情報を得られる ・一度に複数の情報を得られる	・情報の量や内容によっては運転の邪魔になる

連絡先: yamabe@ei.sanken.osaka-u.ac.jp

ラスヘナビの経路や速度など、運転者に必要な情報を外界に重畳して見えるよう表示する装置である。AR-HUD により運転者は視線を前方から移動することなく情報を確認することができるため、従来のカーナビのような危険性が少ないとされる [Bark 14]。

安全運転を支援するための情報提示手法であっても、情報の内容や量によっては、運転者を混乱させる場合がある [Bolton 15]。そのような事態を避けるためには、情報提示手法を設計する場合において、その手法が運転者の注意を阻害することがないか評価する枠組みが必要である。

本論文では、視線計測装置を用いて情報提示手法を評価する枠組みを構築した。また、実際にさまざまな情報提示手法に対して枠組みを適用し、音声案内の頻度や AR 表示の有無によって運転者にどのような影響があるかを検証する予備実験を行った。

2. 自動車内における様々な情報提示

2.1 HDD ナビと音声案内

自動車内において、運転者に経路案内や渋滞情報など運転の手助けとなる情報を提示する装置としてカーナビが用いられている。経路や渋滞情報、次に曲がる交差点の情報、交差点までの距離などが画面に表示される。カーナビの画面は、情報を確認する際に視線を下に向ける必要があるため、HDD と呼ばれる [Liu 04]。画面表示のみでは、運転者が情報を確認する際に視線移動を要し、危険であるため、音声案内機能を搭載したものが一般的である。

しかし、HDD と音声案内だけでは、運転者が視線を動かすことなくナビの案内を理解し続けることは困難である。例えば、交差点の連続するような複雑なルート案内では、音声だけでどの交差点を曲がるよう指示されているか的確に判断することは難しく、ナビ画面に表示される地図を見なければ判断できない場面などがある。

2.2 AR-HUD

HDD ナビの問題を軽減するため、外界と重畳しているかのように情報を表示できる AR-HUD が開発されている [澤野 06]。現在、AR-HUD は自動車内において、ナビの案内情報や自車速度を表示するなどの用途に用いられることが検討されている。

AR-HUD を使ったナビによって、運転者は前方の視界から目を逸らすことなく情報を確認できる。なおかつ、図形や文字で

表現できるため、音声案内よりもより詳しく情報を提示することができる。そのため、従来の音声案内機能つき HDD ナビで問題となる、注意散漫による危険を防げると期待されている。しかしながら、AR 表示を用いても、表示内容によっては運転者を混乱させる場合もある。例えば、AR により示される情報量が多すぎて運転者が戸惑う場合である。表 1 に各情報提示手法のメリット・デメリットを示す。

3. 提示情報を評価するための実験設計

3.1 予備実験の目的と概要

予備実験の目的は、提示される情報の量や内容によって運転者の注意が散漫になるかどうかを検証することである。

予備実験では、疑似的にカーナビの指示を頼りに運転するシミュレータを構築し、音声案内の頻度や、AR 表示の有無を変化させ、運転者の視線位置やカーナビ指示による判断の早さや正確さを測定する。今回の実験では、以下のような仮説を検証する。

仮説 1 音声案内の頻度が少なすぎると、運転者は指示を把握するため、走行中にナビ画面を見る回数が増える。何度もナビ画面を確認する中で、疲労も増加し、案内がわかりにくく感じる。結果として、ナビ画面を見ていた時間、ナビ画面を見た回数が増加し、アンケートにおける疲労度に関する項目にも悪影響を及ぼす。

仮説 2 音声案内の頻度が多い場合、ナビがほぼ常に連続して音声案内を行うことになり、運転者が「うっとおしい」といった不快な感情を持つ。結果として、アンケートにおける「案内が邪魔をしなかったか?」といった項目に悪影響を及ぼす。

仮説 3 音声案内の頻度が同じで AR 表示の有無のみ変化した場合、AR 表示が有る場合に、より運転者が案内を早く正確に理解できる。また、フロントガラスへ直接的に案内情報が重畳されるほうが「案内がわかりやすい」と感じるため、被験者の好み(アンケートによる)も AR 表示が有る場合により結果となる。

表 2 実験条件の詳細

	ナビ画面	音声案内の頻度	AR-HUD表示
パターン1	あり	少ない	なし
パターン2	あり	普通	なし
パターン3	あり	多い	なし
パターン4	あり	少ない	あり

表 3 音声案内の頻度別での案内距離

音声案内の頻度	案内される距離
少ない	500m,120m
普通	500m,300m,120m,50m
多い	500m,450m,400m,350m,300m,250m,200m,150m,100m,50m

*1 <https://pupil-labs.com>

*2 Pupil のスペック World Camera: High resolution, Eye Camera: 30Hz (<https://pupil-labs.com/store/>)

3.2 実験条件

表 2 に示すように、実験条件を 4 パターン用意する。

まず、仮説 1, 2 を検証するため、音声案内の頻度のみを変化させた、パターン 1, 2, 3 (少ない, 普通, 多い)を用意する。これらのパターンでは、AR 表示を行わない。音声案内は、曲がるべき交差点への距離に応じて行う。具体的には、表 3 で示す距離の箇所で、「〇〇メートル先を右折(または左折)です」という音声案内を出力する。なお、音声案内の頻度“普通”は、一般的な市販のカーナビと同程度の頻度として設計している。

次に、仮説 3 を検証するため、音声案内の頻度は同じで、AR 表示の有無のみ異なるパターン 4 を用意する。ここでは、AR 表示の有無による影響を調べるため音声案内の頻度は表 3 に示す“少ない”を用いる。

3.3 評価指標

評価指標の一覧を表 4 に示す。項目 1 の「ナビを見ていた時間の割合」は、被験者がナビ画面と正面のディスプレイを見ていた時間の合計のうち、ナビ画面を見ていた時間の割合を示す。項目 2 の「ナビ画面に視線を向けた回数」は、走行中、ナビ画面に視線が移ってから一定時間以上経過した回数を示す。項目 1, 2 は、走行中の視線散逸度を測るのが目的である。項目 3 の「曲がるべき交差点を正しく判断できた割合」は、曲がるようカーナビに指示されたすべての交差点のうち、正しく判断できた交差点の数を割合で示す。項目 4 の「曲がるべき交差点を正しく判断できた瞬間の交差点までの距離」は、被験者が曲がるべき交差点を正しく判断した時点での、自車と交差点との距離を示す。項目 3, 4 は、走行中の判断の正確さを評価するための項目である。項目 5 の「疲労度等の 7 段階のアンケート」は、表 5 に示す項目のアンケートに 7 段階の数値で回答したものを示す。

3.4 実験手順

予備実験の手順を述べる。被験者は、運転環境を再現した装置の前に着席し、視線計測装置 Pupil^{*1*}2 を装着する。被験者のタスクは、カーナビ案内等を頼りに、正面の映像から曲がるべき交差点を見つけることである。被験者は、映像の中からカーナビに曲がるよう指示されたと思われる交差点を見つけ次第、キー入力により動画を一時停止させ、実験者へ伝える。この一連の作業を 1 タスクと定義する。各実験条件のパターンにつき

表 4 評価指標の一覧

1	ナビ画面を見ていた時間の割合
2	ナビ画面に視線を向けた回数
3	曲がるべき交差点を正しく判断できた割合
4	曲がるべき交差点を正しく判断できた瞬間の交差点までの距離
5	疲労度等の7段階アンケート

表 5 アンケートの内容

1	案内のわかりやすさ
2	不安なく曲がる角がわかりましたか?
3	案内が邪魔をしませんでしたか?
4	疲労の少なさ
5	案内は十分でしたか?

3 回タスクを行う。実験に用いられる動画は各タスクですべて異なる。各動画において、交差点の数や道幅など、ルートの複雑さが同じになるよう考慮した。

パターンの実験順序は、初めに音声案内の頻度が“普通”であるパターン 2 を 3 タスク行った。これは、最初に標準的な音声案内の頻度であるパターン 2 を行うことで、パターン 2 が基準となることを意図した。次に音声案内の頻度を増やしたパターン 3 を 3 タスク行った。その後、音声案内の頻度が同じで AR 表示の有無のみが異なる場合を比較するため、パターン 1, 4 を各タスク交互に行った。被験者は、各パターンが終了した時点でアンケートに回答した。実験者は、被験者が指し示した交差点が“カーナビによって曲がるよう指示された交差点”と一致していれば正解とし、交差点までの残りの距離を記録する。正解、不正解にかかわらず各タスクは 1 回のみ行い、タスク後に正解を教示しなかった。交差点までの残りの距離は、被験者が動画を一時停止させた時点でカーナビ画面に表示されていた距離とした。

3.5 評価のための実験装置

実験を行うため、簡易的な運転環境再現装置を構築した。装置は、外部視界を模した大型ディスプレイと、その左横に設置されるナビ画面を表示するための小型ディスプレイ、音声案内のためのスピーカーから構成される。実験装置の模式図を図 2 に示す。大型ディスプレイには、事前に収録した実際に走行している自動車の前方が録画された映像が流れる。それに同期して小型ディスプレイにはカーナビ案内が表示される。小型ディスプレイに流れるカーナビの映像は、走行映像を収録する際に、同時にカーナビ機器^{*3}より録画された映像を用いた。小型ディスプレイに表示される案内の内容の模式図を図 3 に示す。図 3 内の赤い三角形は、自車位置と自車の方向を示している。また、AR 表示を用いた映像も用意した。AR 表示を用いた場合の映像の例を図 4 に示す。AR 表示によって情報がフロントに重畳しているかのように表示される状況を再現するため、曲がるべき交差点の 100m 前までに近づく交差点を指し示す四角い図形がフロント映像内に表示されるよう設計した。その表示は、交差点を右左折する直前まで継続され、運転者の案内理解を支援する。また、被験者がタスク中に動画を一時停止させる際にはキーボード^{*4}を用いた。

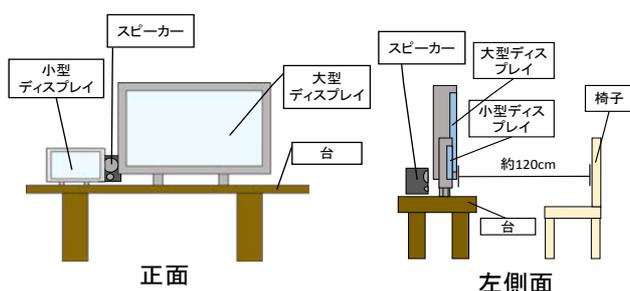


図 2 正面および左側面からみた実験装置の模式図

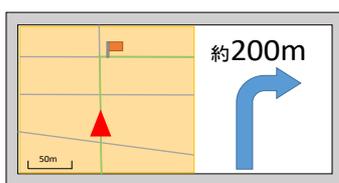


図 3 実験で用いた HDD ナビの表示内容の例(模式図)

*3 Pioneer 製 AVIC-HRV200

*4 Logicool 製 K270

また、視線位置に関するデータを収集するため、視線計測装置 Pupil (Pupil labs 製) を被験者の頭部に取り付け、タスク中の視線位置を記録した。Pupil には、外界撮影用のカメラと、眼球の動きを撮影するカメラの、計 2 個のカメラが取り付けられている。視線データの記録には、視線位置記録ソフトウェア Pupil_Capture (Pupil_labs 製) を用いた。今回の実験では、実験装置に含まれる大型ディスプレイと小型ディスプレイのそれぞれに、どの程度の時間視線を注視していたか、また何回ナビ画面を見る動作を行ったかを測定するため、Pupil 用視線位置分析ソフトウェア Pupil_Player (Pupil_labs 製) のプラグインの 1 つである、Surface Tracker を用いた。Surface Tracker の機能の 1 つに、外部カメラ画像中のマーカー位置を検出し、4 つのマーカーから決まる平面の中に視線位置があるかを検出する機能がある。マーカーは、各ディスプレイの四隅に設置する。なお、今回の実験では、画面に視線が移ってから 330 ミリ秒以上経過した場合を、その平面を“見た”と定義した。

4. 実験結果の考察と今後の展望

4.1 被験者

予備実験の被験者は、研究室内の学生 1 名、教員 2 名であった。3 名とも男性であり、普通運転免許を持つ。学生は 20 歳代、教員は 30 歳代 1 名、40 歳代 1 名であった。

4.2 実験結果

A) 指示理解度と理解の早さ

被験者がどの程度カーナビの指示によって正しく曲がるべき交差点を判断できたか、またその判断の早さについて述べる。表 6 に、被験者がカーナビに曲がるよう指示された交差点を判断し、動画を一時停止させた瞬間にカーナビ画面に表示されていた交差点までの距離を“残距離”として示す。被験者平均の残距離算出において、不正解であったタスクは 0 メートルとして評価している。表 6 には被験者 3 名のデータをパターンごとに平均した値を示す。

音声案内の頻度のみが異なるパターン 1, 2, 3 に関して、平均残距離を比較すると、音声案内の頻度を多くしたパターン 3 では平均残距離が伸びている、つまり早い段階で曲がるべき交

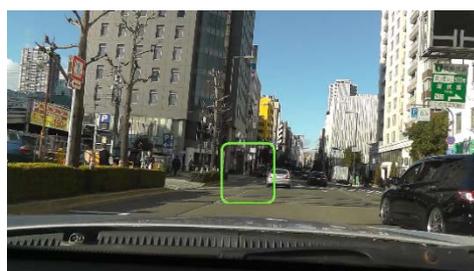


図 4 AR を用いて曲がるべき交差点をフロントガラスへ図示している例

表 6 パターン毎の平均残距離と正解率

	回答時における交差点までの平均残距離[m]	曲がるべき角を正しく答えられた割合
パターン 1	38.9	78%(7/9)
パターン 2	38.9	67%(6/9)
パターン 3	75.6	100%(9/9)
パターン 4	72.2	100%(9/9)

差点を見つけることができているとわかる。一方で、パターン 1, 2 では、残距離に関して大きな変化は見られない。次に、パターン 1, 2, 3 で正解率(曲がるべき交差点を正しく理解できていた割合)を比較する。これも、パターン 1, 2 では大きな変化が見られないが、パターン 3 では正解率が 100%になっており、頻度の多い音声案内が運転者に良い影響をもたらしていると言える。

次にパターン 1 とパターン 4 を比較する。両者は音声案内の頻度は同じであるが、パターン 4 には AR 表示が付与されている。パターン 1 では正解率が 80%程度であり、曲がるべき交差点を理解できていない場合もあるが、パターン 4 ではより早く正確に交差点を認識できていることがわかる。これより、AR 表示は運転者のナビ案内の理解において、早さと正確性に良い影響を与えていることがわかる。

B) アンケート

次に、アンケートについて結果を考察する。各被験者の結果を平均したものを図 5 に示す。各項目の結果において、1 が最も悪い場合、7 が最も良い場合を示している。例えば、項目 1 「案内のわかりやすさ」では、1 を選んだ場合が「もっともわかりにくい」、7 を選んだ場合は「最もわかりやすい」を意味する。また項目 2 「不安なく曲がる角がわかりましたか?」では、1 が「最も不安だった」、7 が「まったく不安なく曲がれた」を意味している。

項目 1, 2, 4 では、どれも音声案内の頻度が多い場合や、同じ音声案内の頻度であっても AR 表示がある場合にスコアがよくなっていることがわかる。項目 3 に関しては、大きな差は見られなかった。今回の条件における案内の頻度では、どれも運転者が「邪魔をされた」とは思わなかったと言える。この項目に関しては、運転者が実際にハンドルやアクセル、ブレーキを操作しているような状況であると、頻度の多い案内が悪影響を与えると考えている。

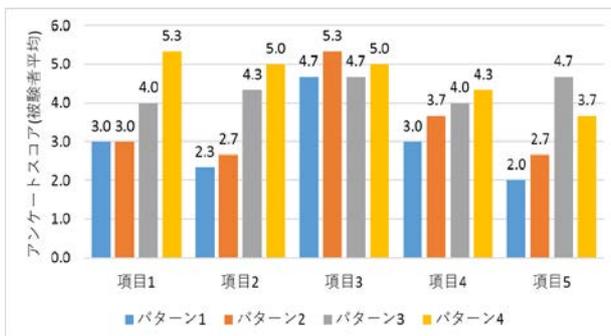


図 5 パターン別のアンケートスコア(被験者平均)

表 7 ナビ画面を見ていた時間の平均割合と見た回数

	ナビを見ていた時間の割合の平均	ナビを注視した回数の平均
パターン1	12.6%	5.3
パターン2	14.7%	6.6
パターン3	9.2%	4.8
パターン4	10.3%	5.2

*5 1 タスクごとに被験者の視線座標を、ナビ画面の視線ヒートマップがナビ画面中央に最も視線を向けた状態になるよう、視線位置を水平垂直方向に一定量ずらした。

C) 視線移動

次に視線測定装置より得られた結果を示す。視線測定装置によって得られたデータは被験者 2 名分のみである。視線計測装置によって得られた視線座標データは、データ収集後にズレが見られたため、分析時に再キャリブレーション^{*5}を行った。

表 7 に、ナビ画面を見ていた時間の平均の割合と、ナビ画面を注視した回数の平均を示す。ナビ画面を見ていた平均の時間とは、ナビ画面を見ていた時間とフロント画面を見ていた時間の合計のうち、どの程度ナビ画面を見ていたかを割合で表した値である。

ナビ画面を見ていた時間の割合を比較すると、音声案内の頻度が比較的多くないパターン 1, 2 では 13~14%程度と、ナビ画面を見ていた時間が長くなっているが、パターン 3 では 9%程度まで下がっている。これは、音声案内の頻度が多いパターン 3 では、音声案内を頼りにタスクを行う場合が多かったからと思われる。また、音声案内の頻度が同じだが AR 表示の有無が異なるパターン 1,4 を比較する。ナビを注視した回数に大きな変化はないが、ナビを見ていた時間の平均の割合が減少していることがわかる。これは、AR 表示があるため、被験者がナビを見る必要が減少したからであると思われる。

D) まとめ

仮説 1 の「音声案内の頻度が少なすぎると、運転者は指示を把握するために走行中のナビ画面への視線移動が増える。また、疲労・心理的負荷も増加し、「案内がわかりにくい」と感じる。」は先述の A), B), C), の結果により正しかったと言える。

仮説 2 の「音声案内の頻度が多すぎると、運転者が不快に感じる」は、今回の実験では示されなかった。今回のタスクは、運転動作を伴わないため、多少、音声案内の頻度が多かった場合でも、被験者はそれほど気にならなかったからと思われる。

仮説 3 の「音声案内の頻度が同じで AR 表示の有無のみ変化した場合、AR 表示が有る場合に、より運転者が案内を早く正確に理解できる。また、被験者の好み(アンケートによる)も AR 表示が有る場合により結果となる」に関しては、先述の結果より示されたと言える。

4.3 今後の展望

本研究は、自動車内において適応的に情報を提示し、運転者の注意を阻害しないシステムの構築に向けた研究の一部として行ったものである。実験の結果より、運転者に提示する情報の量や内容によって運転者のナビ案内の理解しやすさが変わることがわかった。

参考文献

- [田久保 00] 田久保 宣晃: 車載情報機器と交通事故, 人間工学 第 36 巻 特別号, 日本人間工学会, 2000.
- [澤野 06] 澤野 弘明: 車載カメラによる実時間画像処理とその AR 技術に基づく表示方式によるカーナビへの応用, 芸術科学会論文誌, Vol.5, No.2, pp.57-68, 2006.
- [Bark 14] Karlin Bark: Personal Navi: Benefits of an Augmented Reality Navigational Aid Using a See-Thru 3D Volumetric HUD, Automotive UI, pp.1-8, 2014.
- [Liu 04] Yung-Ching Liu: Comparison of head-up display (HUD) vs. head-down display (HDD): driving performance of commercial vehicle operators in Taiwan, International Journal of Human-Computer Studies, pp.679-697, 2004.
- [Bolton 15] Adam Bolton: An Investigation of Augmented Reality Presentations of Landmark-Based Navigation using a Head-Up Display, Automotive UI, pp.56-63, 2015.