

車載機ヒューマンマシンインタフェースの ユーザービリティ評価手法

若松正晴*
嶋田 淳*
沢田久美子*

Usability Measurement Method for HMI of Automotive Infotainment Systems

Masaharu Wakamatsu, Atsushi Shimada, Kumiko Sawada

要 旨

カーナビゲーション(以下“カーナビ”という。)など車載機のヒューマンマシンインタフェース(Human Machine Interface : HMI)開発では、音楽再生など、運転中に行う機器操作が、ドライバーに大きな負荷を与えないように配慮することが重要である。

しかし、この機器操作時のドライバーの負荷を定量的に測定することは容易ではない。そこで、機器操作における認知的負荷に焦点を絞り、運転中の機器操作状況を再現し、機器開発のプロセスの中で容易にかつ、正確に測定できる指標を得ることを目標とし、評価手法の研究を行ってきた。

提案する評価方法は、ドライビングシミュレータ(以下“DS”という。)を用い、運転操作中に車載機を操作させながら他の刺激を呈示し、その刺激に対する反応を計測することで、車載機HMIの操作負荷を推定する方法である。

実験では、被験者に、光点刺激、振動刺激、音刺激を呈示して、刺激を知覚すると同時に反応ボタンを押下させる。機器操作の負荷が高い場合、刺激の知覚と反応に影響があると推測される。実験結果からは、機器操作の難易度と刺激反応パフォーマンス(反応時間、エラー率)に明らかな関連があることが確認できた。

また、同時に検討した機器操作難易度と走行時車線逸脱指標との関連も確認した。

脳波など生理計測結果との明確な関連性は認められなかったものの、この結果は、提案する方法が、機器操作の認知的負荷の評価に有効であることを示している。

今回の成果を踏まえ、測定手法の充実化を図り、今後、安全運転を阻害しない、認知的負荷の低い有効な車載機HMIの開発に活用する予定である。



DSを利用した評価実験

写真は、被験者が、画面に表示されている前方走行車両に追従しながら、左手でカーナビのリモコンを操作し、楽曲の検索・再生課題を行っている様子を示している。この課題と同時に呈示される画面上の光点刺激(画面上下に見える4本のケーブルの先端が発光部)、首筋に貼り付けた振動子の振動刺激、足元のスピーカーからの音刺激を知覚したら、右手親指付近のステアリングホイール上に固定した反応ボタンを押下する。これらの刺激への反応から機器の認知的負荷を測定する。

1. ま え が き

自動車は、情報通信技術を導入しながら移動するマルチメディア空間として進化してきた。例えば、オーディオ、テレビ、ビデオ、電話、インターネット、ETC (Electric Toll Collection)、カーナビ等、様々な機能やサービスを車の中で利用することが可能となり、今後もそれらの高機能化、多機能化が加速していくものと思われる。

これらの機能やサービスを実現するための手段が車載機であり、特にドライバーがこれをHMIを介して利用する際には、高機能化や多機能化に伴う複雑な機器操作(人と機器とのインタラクション)が、メインタスクである運転操作に対して、マイナスの影響を及ぼさないように、十分に配慮することが必要不可欠である。

車載機HMIのユーザービリティを高めるためには、人間中心設計のアプローチ⁽¹⁾が重要であるが、特に、安全運転を阻害しないように、操作負担を低く抑えることが求められる。操作負担には、操作部の寸法、配置等に伴う身体的負担、及び操作方法、手順等に伴う認知的負担の二つが考えられる。今回は、後者の認知的負担の定量的評価手法について検討してきた研究について述べる。

2. 認知的負担の定量化

2.1 研究の目的

DS運転操作中に車載機(現行製品や開発中プロトタイプ)の機器操作を行った場合、どの程度の認知的負担がかかっているのかを定量的に示すことができれば、HMI開発の目標設定がしやすくなる。

この研究は、開発現場で効率的に活用できる操作負担定量化の評価指標を抽出することを目的とした。

2.2 注意資源

機器操作における認知的負担の程度は注意資源要求量としてとらえることができる。すなわち、機器操作に多くの注意資源を要する場合、認知的負担が高いと解釈できる。運転操作と機器操作に割かれる注意資源の量的関係を図1に示す。通常運転操作に必要な注意資源は一定量と考え、これに機器操作に必要な注意資源が加算される。注意資源総量には許容上限値が存在するが、機器操作が平易である

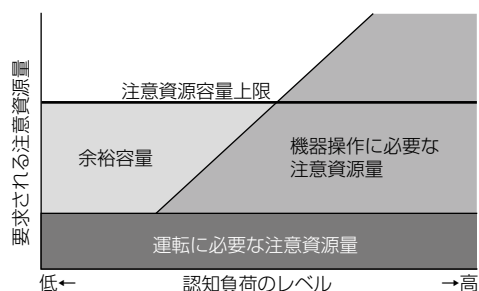


図1. 注意資源量の概念図

場合は、許容上限値までの余裕容量が十分に残っており、運転操作も機器操作も確実に実行できる。機器操作が複雑になってくると認知的負担が増え、注意資源要求量が増大して余裕容量が減少、不足し、運転操作や機器操作のパフォーマンスに影響を及ぼすことになる⁽²⁾。

2.3 先行研究

2.2節の注意資源の余裕容量を定量的に推定するために、先行研究では様々な手法が検討されてきた。

主な指標としては、運転パフォーマンスとしての車線横変異量⁽³⁾⁽⁴⁾、運転操作と機器操作の課題に付加した副次課題(ランダムな刺激への反応課題)の反応時間⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾や正答率⁽⁴⁾、機器操作パフォーマンスとしての操作回数や操作時間⁽³⁾、機器操作時の機器画面注視時間や注視回数⁽⁷⁾、機器操作時の事象関連電位P300(刺激呈示後300ms前後に出現する脳波)⁽⁴⁾⁽⁸⁾、運転操作と機器操作実施後の主観評価(NASA(National Aeronautics and Space Administration)-TLX(Task Load index))⁽⁶⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾等がある。

しかし、これらの手法には、運転パフォーマンスに影響が現われにくい低い認知的負担の評価が困難、特殊な機器が必要、多数の被験者が必要、等の問題があった。

3. 検討手法

3.1 指標

DSでの運転操作を前提として、次の指標を検討した。

3.1.1 刺激反応時間

認知的負担の程度は、視覚をはじめ様々な知覚反応のパフォーマンスに現れるであろうという仮説に基づき、次の6つの刺激(光点4、振動1、音1)の一つを、1~4sごとにランダムな順序で呈示する。なお、先行研究⁽⁵⁾では光点設置位置はダッシュボード左側の1か所であるが、この研究ではより自然な前方視野内4か所とした。被験者は、各刺激を知覚したら、ステアリングホイールに設置した反応ボタンをすみやかに押下する。刺激の呈示からボタン押下までの時間を反応時間として計測記録する。

(1) 光点刺激

DSの前方視野を模擬するディスプレイ画面(幅550mm、高さ320mm)上の4か所(画面中心から上下各110mmの水平線上、中心から左右180mm位置)に設置した赤色LED(Light Emitting Diode)(発光部直径5mm、発光輝度5cd/m²)を0.3s発光させる。なお、画面までの視距離は900mmである。

(2) 振動刺激

振動子(振動量1.0G、周波数50~60Hz)を被験者の右側首筋にテープで固定し、0.3s振動させる。

(3) 音刺激

ホワイトノイズを、DS走行音(A特性80dB、B特性65dB)下で十分識別知覚できる音量で、被験者前方足元のスピー

カーから0.3s出力する。

3.1.2 刺激反応エラー率

3.1.1項の(1)～(3)の刺激呈示について、全刺激数に対する無反応(ボタン押下のない)刺激数の比率をエラー率として求める。

3.1.3 生理計測

予備実験で、心拍(胸部、腹部の計3か所に電極を貼り付けて計測)、呼吸(腹部にベルト型センサを装着して計測)、皮膚電位(左手第2指、第3指の2か所に電極を貼り付けて計測)、脳波(P300の振幅を見るために計測)の各指標を検討した。

3.1.4 DS走行ログ

DS運転操作による仮想上の自転車走行ログ(速度、アクセル、ブレーキ、操舵(そうだ)角、車線位置等)を記録した。

3.1.5 主観評価

実験課題終了後に、被験者の主観的印象をNASA-TLXをベースとした質問紙で定量化し記録した。

3.2 実験方法

3.2.1 被験者

運転免許を持っている成人男女12名(予備実験は26名)で実施した。

3.2.2 実験設備

模擬的運転操作を行うために、三菱プレジジョン製のDSを使用した。

DSダッシュボード左側にはA社製(予備実験はB社製)カーナビ本体を設置し、DSのステアリングホイール左側にリモコンを取り付けた。

また、課題実施中の被験者の視線を記録するために、DSのダッシュボード手前にアイトラッカー(Tobii X50)を設置した。

3.2.3 実験課題

(1) 運転操作課題

被験者は、DSに着座し、ゆるやかなS字カーブを繰り返す高速道路の左側走行車線を時速100kmで走行する仮想車両に追従しながら模擬走行する。

(2) カーナビの機器操作課題

運転操作と同時に、カーナビのハードディスクに保存された音楽の中から、実験者から口頭でランダムに指示される楽曲を検索・再生する。カーナビ操作は、リモコン操作

と音声操作を指示された順番で実行する。

(3) 携帯電話の機器操作課題

運転操作と同時に、携帯電話を左手で保持し、実験者から短い文節ごとに順次口頭で指示される文章を、メール本文として入力する。

(4) 小銭数え課題(6名のみ実施)

DSの運転席左側に設置したトレイから実験者に指示された金額の小銭を選び、運転席右側のトレイに移す。

(5) 刺激反応課題(副次課題)

(1)に加えて、(2)～(4)のいずれかを同時に実行するとともに、ランダムに呈示される刺激を知覚したら反応ボタンをすみやかに押下する(3.1.1項参照)。各実験実施時間は、15分間とした(予備実験は30分間とし、(3)と(4)は未実施)。

3.3 実験結果

3.3.1 刺激反応課題の結果

視点がDS画面上にない場合は、光点刺激を知覚できないので、無反応となる。これについては、視点のずれによるパフォーマンス低下も負荷の指標にはなるという考えと、認知的負荷を調べるのであれば、物理的に見えない(視点が画面上にない)場合は排除し、本来、見えるはずの条件のみを負荷の指標とすべきとする考え方がある。

後者に基づき、視点ずれを除いて集計した結果が図2と図3である。DRはDS運転操作のみ、VOはDS運転+カーナビ音声操作、REはDS運転+カーナビリモコン操作、CEはDS運転+携帯電話操作、の各条件を示す。反応時間では、振動と音に比べ光点刺激が短い傾向にある。エラー率は、音声操作に比べリモコン操作と携帯電話操作が高い。

3.3.2 車線逸脱の結果

DS運転操作による走行ログから、実験条件ごとの車線逸脱時間(自車が車線中央位置から左右に25cm以上ずれていた時間)平均値を図4に示す。音声操作に比べリモコン操作は逸脱時間が明らかに増大する。

3.3.3 生理計測の結果

予備実験で計測した心拍、呼吸、皮膚電位の分析からは、カーナビ操作による覚醒水準上昇の傾向は認められたが、個人ごとのばらつきが大きい。

脳波は被験者6名のみで計測した。P300の分析では、データに含まれるノイズが多く、明確な結果は得られていないが、刺激反応時間に対応する傾向が認められた。

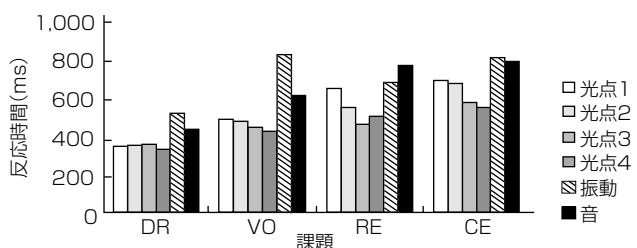


図2. 平均反応時間

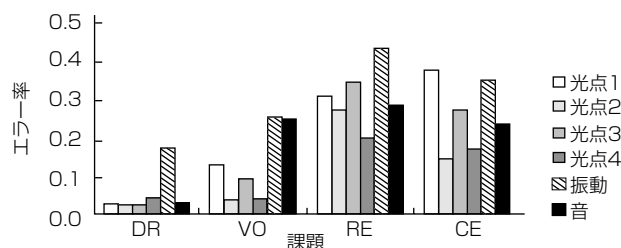


図3. エラー率

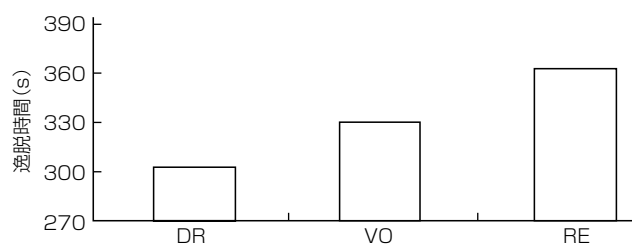


図 4. 車線逸脱時間

4. 考 察

刺激反応の時間及びエラー率は、運転のみの場合に比べ、カーナビ操作などの副次課題を加えた場合、明らかに増大傾向が認められた。すなわち、刺激反応課題の指標は、運転操作中の機器操作における認知的負荷を推定する尺度として有効であることが確認できた。

図 5 に、この実験(DR, VO (A=A社製カーナビ), RE (A), CE, MO=小銭数え課題)及び予備実験(RE (B=B社製カーナビ))のエラー率を重ね合わせたグラフを示す。なお、凡例のUSAは、北米で実施した追加実験(被験者 4 名)の結果である。A社製カーナビはリモコン操作時ナビゲーション画面視認が必要であるが、B社製はリモコン操作時に音声ガイドがあり画面視認は不要である。

小銭数え課題を基準に、法規上は禁止されている携帯電話文字入力操作など画面を視認しながら行う機器操作のエラー率を見ると、後者は明らかに率が高い。一方、カーナビ音声操作や画面視認の不要なリモコン操作では、小銭数え課題よりもエラー率は低い。小銭数え課題以外に、例えば、エアコン温度調節操作やラジオ選局操作等、運転中に通常行う操作の実験データを蓄積してエラー率の許容値を導出することも可能であろう。

DS走行ログについても、機器操作に伴う認知的負荷の増大に対して感度があり、尺度として有効であることが確認できた。今回着目した車線逸脱データと刺激反応データとの関係を更に検討していくことが課題である。

生理計測については、認知的負荷の指標としての明確な効果を確認することはできなかった。個人差が大きいこと、計測データにノイズが含まれること、計測時の被験者の負担が大きいこと等を解決することが課題である。

5. む す び

この研究では、認知的負荷を推定する指標として次のことを確認することができた。

- (1) 刺激反応時間、刺激反応エラー率は有効である。
- (2) DS走行の車線逸脱時間は有効である。
- (3) 生理計測は、可能性を確認したが、4章で述べた課題解決が必要である。

今後、これらを踏まえて、より良い製品開発に向けて評

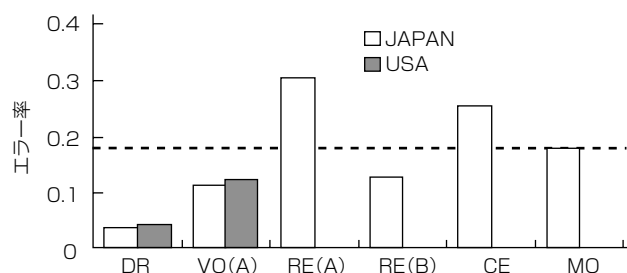


図 5. 刺激反応エラー率

価手法の改良に取り組んでいきたい。

今回の研究は、大阪大学人間科学研究科の篠原一光准教授、大阪工業大学工学研究科の大須賀美恵子教授それぞれの共同研究成果をまとめたものである。

参 考 文 献

- (1) 若松正晴：車載機器のインタフェースデザイン、自動車技術, **59**, No. 5, 96~101 (2005)
- (2) 篠原一光, ほか：マルチモーダル検出課題によるドライバの認知的負荷評価に関する研究, 自動車技術会学術講演会前刷集, 20105601 No. 104-10, 13~16 (2010)
- (3) 美記陽之介：音声操作が運転に及ぼす影響評価, シンポジウム ケータイ・カーナビの利用性と人間工学 2003, 59~60 (2003)
- (4) 江部和俊, ほか：ドライバの視聴覚認知に伴う負担度評価, 豊田中央研究所R&Dレビュー, **34**, No. 3, 55~62 (1999)
- (5) Merat, N., et al.: The Effect of Stimulus Modality on Signal Detection, Feb. 2008-Human Factors, 145~158 (2008)
- (6) 萩原 亨, ほか：携帯電話の操作と位置がドライバーのメンタルワークロードに与える影響について, シンポジウム モバイル2007, 41~44 (2007)
- (7) 田 容旭, ほか：外国人のモビリティ向上のための車内経路誘導情報に関する研究, シンポジウム モバイル2007, 37~40 (2007)
- (8) 鎌倉快之, ほか：眼球停留関連電位のP3潜時を用いた認知負荷評価に向けて-ICAによるアーティファクト除去の適用-, ヒューマンインタフェース学会論文誌, **10**, No. 2, 95~102 (2008)
- (9) 木村貴彦, ほか：運転時の心的負担課題としてのn-back課題の妥当性, シンポジウム モバイル2007, 121~122 (2007)
- (10) 三宅晋司, ほか：メンタルワークロードの主観的評価法-NASA-TLXとSWATの紹介および簡易法の提案, 人間工学, **29**, No. 6, 399~408 (1993)