

車載機器に関する感性の定量評価技術

指導教員 神宮 英夫 教授

システム設計工学専攻
坂田礼子

2015年2月

目次

第1章 はじめに

1-1 製品評価における主観評価の役割	2
1-2 主観評価項目の設定手法	3
1-3 主観評価と生理指標の対応	4
1-4 車載機器の評価手法	10
1-5 本論文の目的	11
1-6 本論文の構成	13
1-7 試験実施における倫理	14

第2章 視覚的側面

2-1 表示の視認性	15
2-2 危険性を伝える警告表示	20
2-3 機器操作の快適性	28

第3章 聴覚的側面

3-1 音声案内の分かり難さ	40
----------------------	----

第4章 総括

4-1 感性評価によるものづくり	53
4-2 感性の定量評価技術	60

引用文献・参考文献一覧	68
-------------------	----

第1章 はじめに

1-1 製品評価における主観評価の役割

一般に、製品デザインや製品開発では、人の感覚や感性による主観評価を実施し、製品の受容性や改善ポイントを探るなど、品質向上の取り組みがなされている。

主観評価によって、製品の品質に結びつく特徴（character）や特性（attribute, 定義づけされた特徴）に対する試験対象者の評価データが得られれば、これらの情報をマーケティングデータや機器分析データなど製品の品質パラメータと関連付けることにより、開発に重要な知見を導出することが可能となる（今村,2012、H. Stone & J. L Seidel, 2004）。

しかし、製品の特徴や特性を評価するためには、主観評価項目を試験実施者が定義する必要がある。そのため、評価項目が不十分であると、製品の品質設計において重要なポイントに抜けが出る可能性がある。また、主観評価の数値は試験対象者の経験と比較した相対値であり、客観性が担保されにくい。

本論文は、主観評価に加えて生理指標（および行動指標）を用いたユーザ試験を実施することで、この課題に対して言及するものである。生理指標は、試験対象者の製品使用時のリアルタイムな指標を得るものであり、意識の潜在的側面の把握を目的としている。また近年、機材の技術が発達し、使用者の日常的なシーンを再現した試験において、非侵襲でリアルタイムに生理指標の計測ができるようになったため、このような取り組みが可能となっている（図 1）。

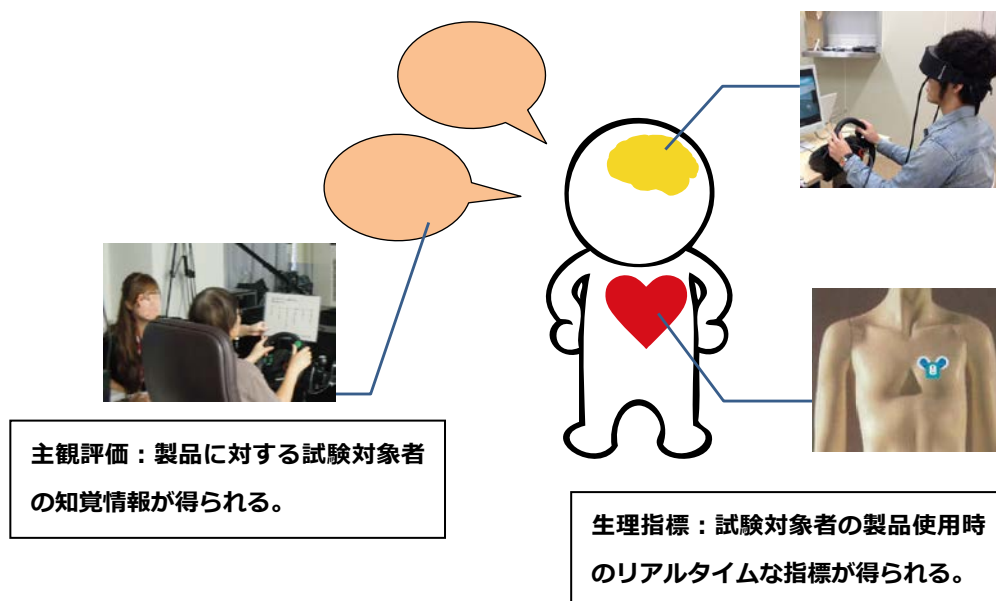


図 1 主観評価と生理指標

1-2 主観評価項目の設定手法

主観評価項目の設定は、製品から感じられる特徴や特性を網羅的に調べ、主観評価項目に結びつく言葉だしを行う。図 2 は、今村（2012）の報告資料から引用した記述型の代表的な官能評価手法の一例である。言葉だしを行う者の専門性によって手法は異なり、QDA（Quantitative Descriptive Analysis）法（1974）は専門性の高い者によって目的の製品を表現する項目を網羅的に列挙する手法であり、Repertory Grid method（1955）は、一般消費者に近い（高度に訓練されていない）者に対して対象を比較しつつインタビュー形式で聞き取り評価項目を決める手法である（飯塚ら,2002）。特に QDA 法は、JIS Z 9080（2004）の官能評価の定量的記述的試験法として定義され、企業での活用実績もある（マルハニチロ㈱）。

記述型の方法は、正確な情報を生み出す経験豊富な人でないと、適切な項目が設定できない場合が多い。また、あくまで話し合いで項目を決めていくため、その製品を使ったリアルな体験が欠如しているという問題がある。昨今、製品の企画・開発は機能や性能中心の考え方から、使用者の体験価値を重視した取り組みとなっており、新しい体験や心地よい体験を付加価値とする製品評価においては、記述型の方法では適切な項目設定ができない。また、製品を使うシーンが複雑な場合（たとえば車載機器のように運転と情報取得の多重課題の状況）においては、体験を通じた項目の設定が必要である。

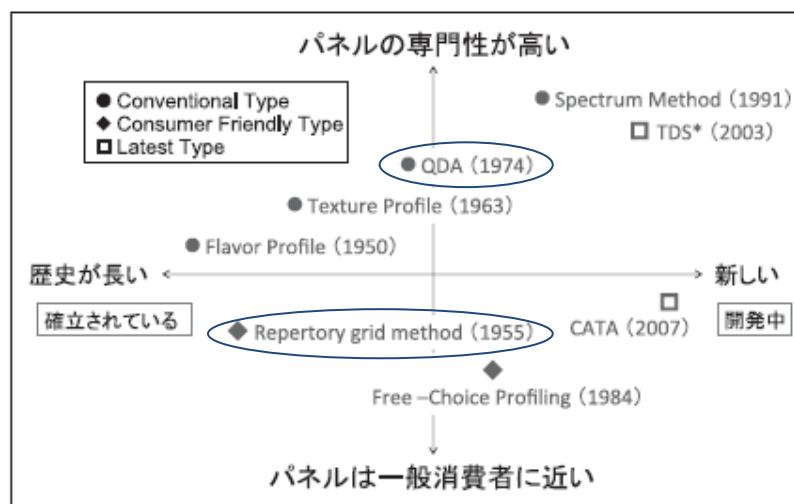


図 2 記述型の代表的な官能評価手法

引用元 今村美穂：記述型の官能評価／製品開発における QDA 法の活用,化学と生物 Vol. 50, No. 11, 2012,819

※1 「パネル」は、主観評価項目を決めるため製品の品質に結びつく言葉出しを行う者。通常は試験実施者。

※2 ここで意味する専門性は、サンプルに関する知識の豊富さや技術の高さではなく、

官能評価に携わる者としての専門性（検出力、表現力、強度評価能力、再現性など）を指す

1-3 主観評価と生理指標の対応

主観評価項目は、使用者のリアルな体験を通じて適切に設定する必要がある。著者らの研究で(2014a)、製品の機能・性能面から設定した主観評価項目では、主観評価と生理指標が対応しない場合があることが分かっている。これは、生理指標が製品の性能だけではない、使用者のリアルな体験を通じた総合的な定量値となるため、主観評価項目を製品の性能面から設定した場合、同一の製品性能・実験環境であっても、条件によっては主観評価と生理指標が対応しない場合がみられた事例である。本節では、本事例の概要を記す。

これは、風発生装置の送風に対して、主観評価（快適感、温冷感）と、生理指標（サーモグラフィによる顔面皮膚温度、心電計による副交感神経活動指標）の対応を検討したものである。

1-3-1 試験方法

寒がりな成人健常者 5 名（男 2 名、女 3 名）を試験対象者とし、以下の方法で試験を行った。寒がりかどうかは、季節問わず自身が寒がりだと感じている者をアンケートで選定した。

(1) 試験環境

試験環境は、室温約 28℃、湿度約 50%に設定し、自宅リビングにおける安静時を想定し、試験対象者に椅子座位姿勢をとらせた。身体活動強度としては、およそ 1.0~1.1Mets であった。試験対象者の着衣量は半袖シャツ、ハーフパンツ、スリッパ着用（靴下なし）とし、およそ 0.4clo の夏場の薄着を再現した。

試験室は、無風で温湿度の管理が可能な部屋であり、大きさはおよそ幅 4m×奥行き 8m×高さ 3m であった。試験対象者は前後左右の壁面から 2m 以上離れた位置に座ってもらった。これは、試験室の大きさとエアコン設置可能位置の制約の中で、試験対象者と壁面との距離をできるだけ長くしたものである。エアコンは高さ 2m に設置し、試験対象者の顔面はエアコンから 2m 離れた位置となるようにした。詳細は図 3 に示す。

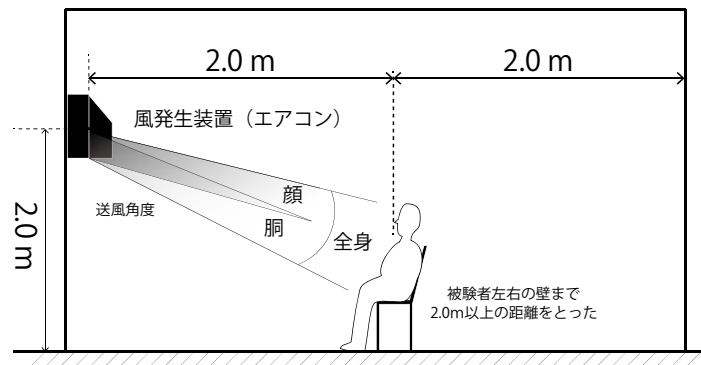


図 3 試験環境

(2) 動作および条件

送風の条件は6条件であり、2種類の風「一定風」「ゆらぎ風」を、3種類の身体部位全身、上半身、下半身に当てた。試験対象者は、それぞれの送風条件を25分間曝露し続けた。試験の開始前に、試験対象者が室内環境に慣れるために5分間の安静時間を設けた。試験は3日に分けて行い、一日に2種類の条件を実施した。

風の特徴は、風発生装置はエアコン（三菱電機製 MSZ-ZW223、および、ファン回転数変更品）を送風モードで使用し、ファン回転数にゆらぎを付与した吹き出し風（ゆらぎ風）と、ゆらぎを付与しない吹き出し風（一定風）の2種類の風を用いた。ゆらぎ風と一定風の物理的な特性として、全身に向けて風を当てた時の試験対象者胸元位置での風速を、風速計（株式会社ソニック製 WA-790）を用いて測定し、ゆらぎ風は25分間の平均風速 0.29 ± 0.23 m/s、一定風は25分間の平均風速 0.30 ± 0.12 m/s とした。両者は、風速の偏差（風速変動）には差があるものの、平均風速はほぼ同じである。一定風とゆらぎ風の2種類の風は同様の形状のエアコンから吹き出すものであり、試験対象者がエアコンを見ただけで送風の種類を判断することは出来ないようにした。送風を身体部位全身、上半身、下半身の3カ所に当てるため、風の方向を吹出口のルーバー角度及び開口度で調整した。

1-3-2 評価指標

(1) 主観評価

“爽快感”の構成要素として、主観評価による「温冷感」と「快適感」を聞いた。

温冷感の評価項目は7段階評価（+3：暑い、+2：暖かい、+1：やや暖かい、0：どちらともいえない、-1：やや涼しい、-2：涼しい、-3：寒い）とした。“爽快感”に対しては、0点が最も評価が高く、評定値が上下にかい離するほど、評価が低いものと想定される。

快適感の評価項目も7段階評価（+3：とても快適である、+2：快適である、+1：やや快適である、0：どちらともいえない、-1：やや不快である、-2：不快である、-3：とても不快である）とした。これは“爽快感”に対して直接的な評価であり、評定値が高いほど評価が高いと想定される。風を当て始めてから2分毎に計12回、評定値をつけてもらった。

(2) 副交感神経活動指標（生理指標）

心電計（株式会社マイクロ・メディカル・デバイス製 RF-ECG）を使用して204Hzで測定し、Bonaly Light（GMS社）を用いてLF成分領域（0.04～0.15 Hz）、HF成分領域（0.15～0.40 Hz）を2秒間隔で計算した（本多，2014）。これにより副交感神経の活動指標として、 $HF/(LF+HF)$ を求めた。この測定手法は、後述する2-2、2-3、3-1で用いるものと同一である。本研究では、送風に対して着目した感性がポジティブな“爽快感”であり、リラックス状態の指標として副交感神経活動指標に着目した。風あて開始前の安静時間（5分間）の副交感神経活動指

標を求めて基準とし、基準から値が高い場合はリラックス状態、値が低い場合はストレス状態とした。自宅リビングにおける安静時の設定であるため、リラックス状態の指標値が高いほど、“爽快感”が得られていると想定する。

(3) 顔面皮膚温度 (生理指標)

サーモグラフィー (NECAVIO 製 Thermo Shot F30) による体表面皮膚温度の測定を行い、顔面皮膚温度を 2~24 分の 2 分毎に計 12 回取得した。顔面皮膚温度の最高温度と平均温度の数値、温度分布の画像を得た。

1-3-3 結果と考察

(1) 顔面皮膚温度と主観評価の対応

図 4 に、送風 6 条件について 2 分毎の最高表面温度の平均と標準偏差 (Mean±SD) で示す。風当ての各部位ごとに一定風とゆらぎ風とを比較すると、いずれの部位でも統計的な有意差がみられなかった。2 分毎の温度分布画像を目視で確認しても顕著な違いはなかった。この理由は、2 種類の送風は風速変動に違いがあるものの平均風速がほぼ同じであったため、体表面皮膚温度では顕著な差が得られなかったと考えられる。また部位としては、上半身に風を当てる条件において若干温度が低いものの、統計上の有意差 (一要因分散分析と Tukey 法による多重比較) はなかった。

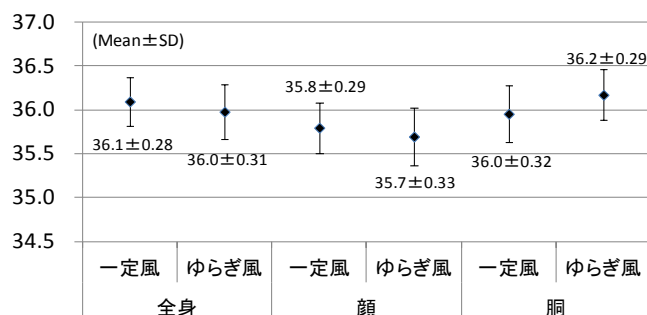


図 4 顔面皮膚温度

(2) 自律神経活動指標と主観評価の対応

送風の条件ごとに主観評価の温冷感、快適感と自律神経活動指標の時間変化の傾向を解析した。解析対象のデータは、風曝露による人体への影響のうち、突発的な変化ではなく、25 分間の傾向をみるために、始め (2~8 分)、中間 (10~16 分)、後半 (18~24 分) と分けた。測定時点間の相関を考慮して、時間変化が平行的であるかどうかを明らかにするため、プロファイル分析を用い、平行性と平行幅の検定を実施した。プロファイル分析が平行的であるということは、送風の種類と測定時点との間に交互作用が無いことを意味している (藤越, 2008)。グラフは、平均±標準偏差 (Mean±SD) で示した。

a) 全身（上半身と下半身）に風を当てた条件

図 5 に温冷感の結果、図 6 に快適感の結果、図 7 に副交感神経活動指標の結果を示す。

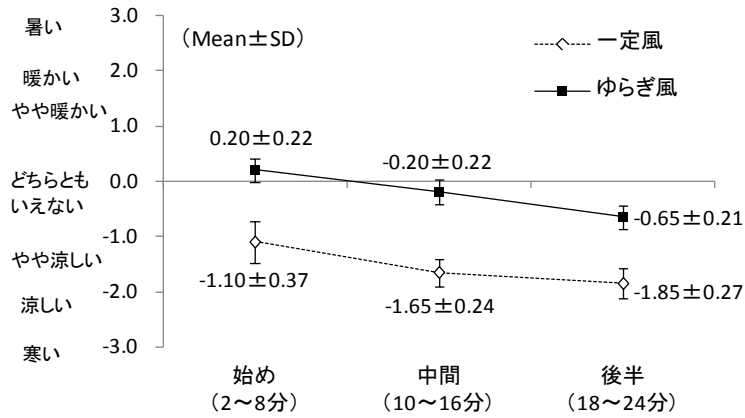


図 5 全身風当て時の温冷感の推移

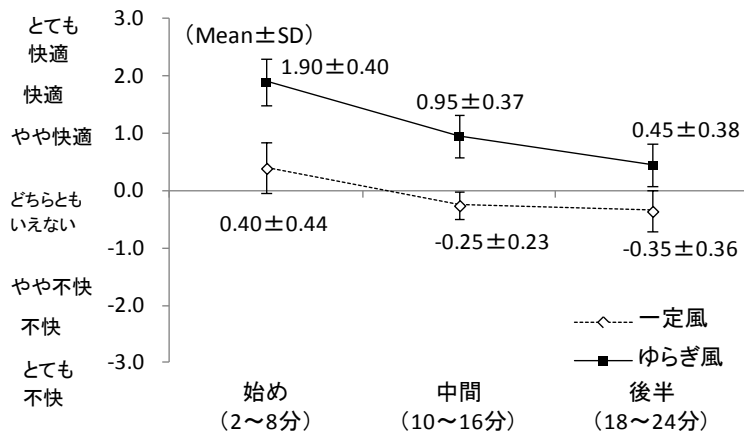


図 6 全身風当て時の快適感の推移

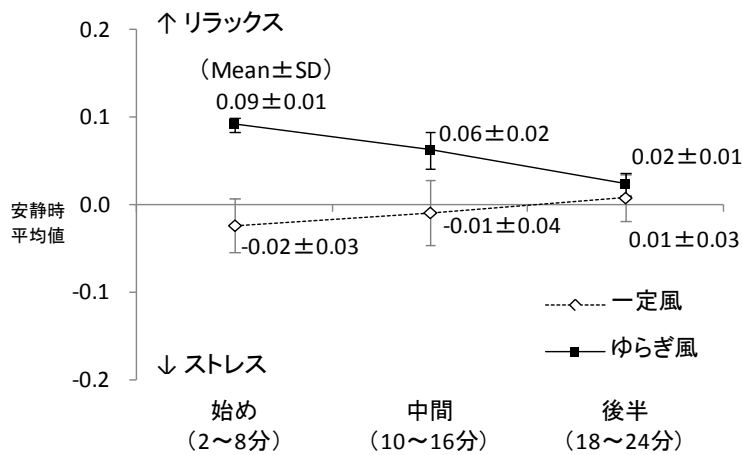


図 7 全身風当て時の副交感神経活動指標の推移

全身（上半身と下半身）にゆらぎ風を当てた条件では、時間経過に伴い、主観評価の温冷感が0点近傍で推移し（図5）、快適感が快適からやや快適の領域で右肩下がりの傾向を示す（図6）のに対応して、副交感神経活動指標がリラックス状態の領域内で右肩下がりの同一傾向を示しており（図7）、温冷感と快適感の主観評価を裏付けていることが分かった。

b) 上半身周辺に風を当てた条件

図8に温冷感の結果、図9に快適感の結果、図10に副交感神経活動指標の結果を示す。

上半身周辺にゆらぎ風を当てた条件では、主観評価の温冷感はやや涼しいから涼しい領域で推移し（図8）、快適感がやや不快の領域で推移している（図9）にも拘わらず、副交感神経活動指標がリラックス状態の領域内で推移しており（図10 実線）、一致していなかった。一定風を上半身に当てる場合の副交感神経活動指標がストレス状態の領域内で推移している（図10 破線）のと対照的である。顔のように外的刺激に敏感な部位に風を当てる場合の“爽快感”については、主観評価では顔に風が当たることの嫌悪感のような意識の顕在的側面が影響しやすく、潜在的な意識を表す生理指標とは対応しない可能性が考えられる。

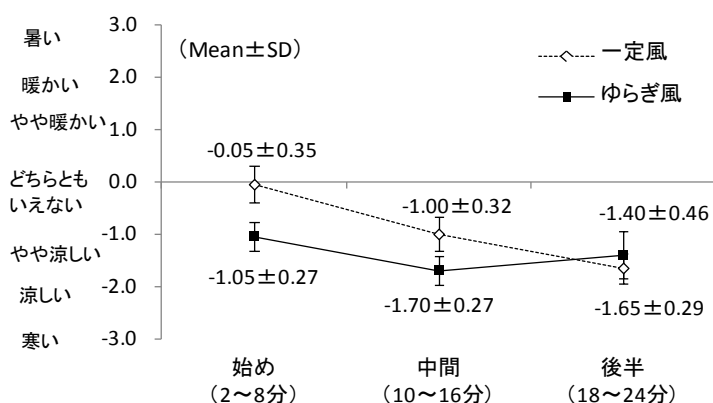


図8 上半身風当て時の温冷感の推移

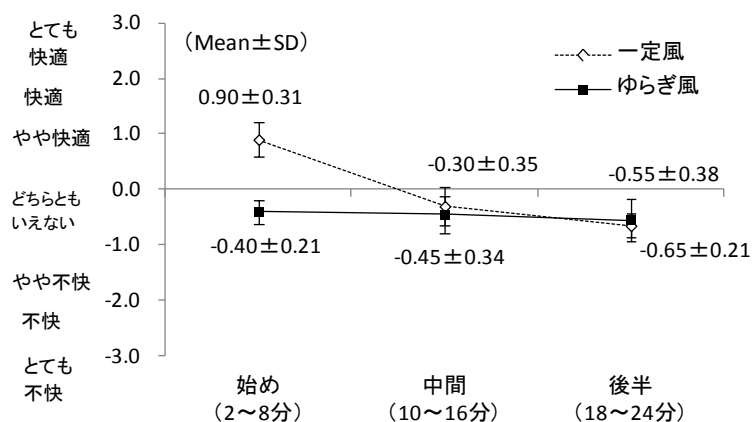


図9 上半身風当て時の快適感の推移

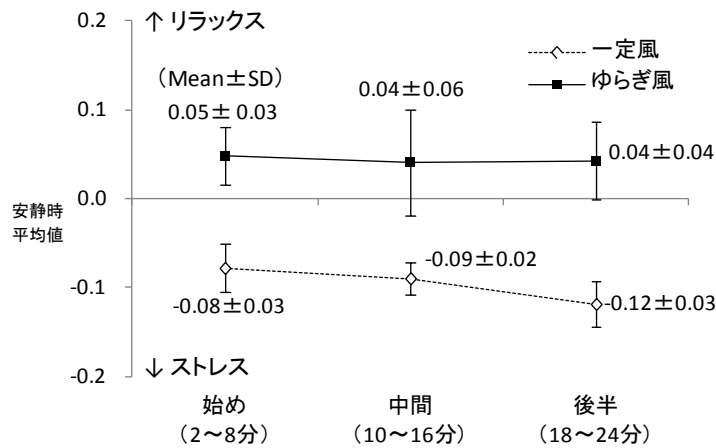


図 10 上半身風当て時の副交感神経活動指標の推移

以上をまとめると、主観評価と生理指標の対応について以下の知見を得た。

- ① 顔面皮膚温度は、送風のゆらぎの有無によって顕著な違いはなかった。2種類の送風は風速変動に違いがあるものの平均風速がほぼ同じであったため、体表面皮膚温度では顕著な差が得られなかったと考えられる。したがって主観評価の評価項目の妥当性を検証するための生理指標は、身体の生理的变化を的確にとらえるものを設定する必要がある。
- ② 副交感神経活動指標は、送風を当てる場所によって対応関係が異なった。ゆらぎ風を全身に当てた場合には主観評価と傾向が一致し、上半身に当てた場合には一致しなかった。顔のように外的刺激に敏感な部位に風を当てる場合は、主観評価では顔に風が当たることの嫌悪感のような意識の顕在的側面が影響しやすいため、潜在的側面を表している生理指標と対応しなかった。

以上より、主観評価項目が使用者のリアルな体験を通じて適切に設定されていない場合は、主観評価と生理指標が対応しないと考えられる。本節の場合は、主観評価項目を製品の性能・機能面から検討したため、寒がりな人が感じる風に対する嫌悪感の影響が考慮されていなかったと考えられる。また、主観評価の評価項目の妥当性を生理指標によって検証する場合には、試験条件の違いによって変化する可能性を考慮する必要がある。

1-4 車載機器の評価手法

近年、車載機器にはスマートフォン同様のアプリの搭載に伴い、表示・伝達する情報量が増加しており、ドライバは日常的に「運転」と「情報取得」に二重課題の状況におかれている。そのためドライバへの負担が運転に悪影響を与えることが懸念され、世界51ヶ国で運転阻害要因(ドライバディストラクション)の排除規定を強化する動きがある。以下に、主なガイドラインと工業標準を一覧する(表1)。

表1 主なガイドラインと工業標準

HARDIE ガイドライン	欧州	1996
UMTRI ガイドライン	ミシガン大学	1993
AAM ガイドライン	米国自動車工業会	2003
JAMA ガイドライン	日本自動車工業会	1990/1995/ 1999/2002/2004
AAA ガイドライン	AAA 財団 (ワシントン DC)	2013
NHTSA ガイドライン	米国国家道路交通安全局	2013
ISO (国際標準化機構)	基本原理と計測法 (基準の規定なし)	

アメリカ合衆国運輸省の国家道路交通安全局は、近年増加傾向にあるドライバディストラクションを問題視し、2013年に車載機器の評価をガイドライン化した(NHTSA,2013)。NHTSA ガイドラインに記載の評価手法は、運転シミュレータを使用した視線移動試験 Eye Glance Testing Using a Driving Simulator や、視界遮断試験 Occlusion といった、走行中のわき見時間や表示の視認時間といった行動指標を計測するためのパフォーマンステストが主である。しかし、これらは運転時のリアルな体験を再現せず、実験的な手法を用いられる場合が多い。また、行動指標の計測は試験自体が大掛かりになり、大人数・多条件での試験実施が困難な場合がある。

本論文は、ドライバにとってより使いやすく・分かりやすい車載機器開発の一助を目指すものであり、運転と情報取得の多重課題試験におけるリアルな体験を通じて、車載機器の評価手法について論じる。

1-5 本論文の目的

本論文の目的は、車載機器のような多重課題の状況で使用される製品において、人と機械のコミュニケーションシステムとしての特徴や特性に関する評価手法を明らかにすることである。

そのため、主観評価に加えて、定量指標である行動指標および生理指標を計測するユーザ試験を実施した（図 11）。これは、定量指標（行動指標や生理指標）の計測は試験自体が大掛かりになるため、対応する主観評価項目を設定することで製品開発の簡便化を図れると考えたためである。また 1-3 で述べたとおり、主観評価項目が使用者のリアルな体験を通じて適切に設定されていない場合は主観評価と生理指標が対応しないと考えられる。そのため、主観評価と定量指標の対応をみることで、適切な主観評価項目を設定する手法について検討した。

本論文で述べる行動指標、生理指標、主観評価は、それぞれ次のように定義する。

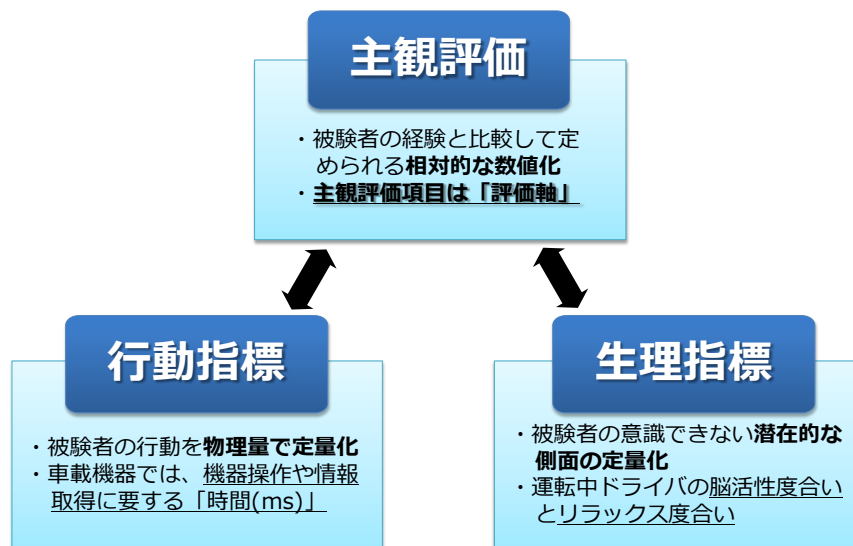


図 11 本論文のモデル

(1) 主観評価

試験実施者が設定した主観評価項目（製品の品質に結びつく特徴（character）や特性（attribute, 定義づけされた特徴）の違いを評価する手法。主観評価項目は、評価における着眼点であり、その製品に対する「評価軸」となる。試験実施者にとっては、製品の品質を反映した価値観であり、試験対象者にとっては価値観に意識を登らせるための言葉となる。

本論文の試験で用いた主観評価項目の設定は、QDA 法（1974）と同様に、記述型の方法によって、各試験で対象にした製品に関して専門家（感覚的・感性的な試験実施者として知識の豊富な者、および、製品に関する知識の豊富な者）が製品の特徴や特性についての言葉出しを行い、項目を設定した。

(2) 行動指標

行動指標は、視認時間・認識時間・操作時間(ms)のように、使用者のパフォーマンスの定量指標を指す。本論文では、車載機器に関するガイドラインや工業規格を参考に、時間に関する指標を用いている。

(3) 生理指標

生理指標は、心電計測 (RF-ECG)、光イメージング脳機能計測 (NIRS) といった生体計測機器を用いた。これは、心電計測により得られる自律神経活動指標が対象者のストレス状態を反映し、NIRSにより得られる酸素化ヘモグロビン変化量は情報処理 (思考) 負担を反映すると考えたためである。

心電計測 (RF-ECG) により得られる心拍変動は、周波数分析することで自律神経活動指標 (交感神経活動指標および副交感神経活動指標) を得ることができるとされている (林,1999)。山口 (2010) は、30分間の安静時間と45分間の自動車運転時における心拍変動を記録し、運転時は全体的に副交感神経活動の優位なリラックス状態であることを報告している。なお、心拍変動の解析ソフトにBonaly Light (GMS社) を用いることで、リアルタイムな心拍変動の測定・解析により解析時間を短縮することが可能となる (株式会社 疲労科学研究所,2014) (本多, 2014)。以上より、心電計測によって得られる自律神経活動指標は、運転中の心的緊張の計測に有効であり、ドライバのストレス状態を反映する指標であると考えられる。

NIRSは、脳の組織内の酸素化ヘモグロビン変化と非酸素化ヘモグロビン変化を算出することを目的とし、近赤外光を用いて体表から無侵襲に脳の血液状態を計測できる計測装置である (江田,2009)。田村 (1997) は、思考や感情の動きが要求されるときに、脳の前頭部の血流変動 (酸素化ヘモグロビン変化量) が活性化されるとしている。小島ら(2007)は、列車運転シミュレータを用いた試験の結果、運転による脳 (前頭部) の活性化をNIRSによってとらえることができたと報告している。また、吉野ら (2013) では、高速道路を自動車で走行しているときの脳活動をNIRSによって計測し、スピードが変化する減速時の方が前頭視野で酸素消費が起きることを発見し、スピードが変化しない一定走行時には脳があまり活動しなくなり覚醒が下がる可能性を報告している。以上より、NIRSによって得られる酸素化ヘモグロビン変化量は、運転中の脳活性度合いの計測に有効であり、ドライバの情報処理 (思考) 負担を反映する指標であると考えられる。

本研究は、これらによって、多重課題試験におけるドライバの意識の潜在的側面を把握することを目的としている。本論文で用いた生体計測機器は、日常的な製品の使用シーンを再現した試験において、リアルタイムかつ非侵襲に計測が可能なものを選定している。

1-6 本論文の構成

本論文は、第1章(はじめに)、第2章・第3章(本論)、第4章(総括)から構成されており、第2章は視覚的側面、第3章は聴覚的側面からのアプローチである。

表2に、本論文で目指した評価手法に関する主要な成果を示し、

表3に、本論文で対応関係を検討した車載機器に関する評価指標を一覧する。

表2 各章に対応する既発表論文一覧

第1章 はじめに

1-3. 主観評価と生理指標	坂田, 石川, 古橋, 代田, 松本, 神宮: 風発生装置の送風に対する“爽快感”の測定 日本官能評価学会誌,18(2), 2014
----------------	--

第2章 視覚的側面

2-1. 表示の視認性	SAKATA, KIDO, MORIMOTO: Study of Visual Recognition Ability of Content on Automobile Head-Up Displays in Elderly Subjects Proceedings of the UD2014 of the International Association for Universal Design, Tokyo, Japan, 2014 (国際ユニヴァーサルデザイン協議会 国際UD会議論文集,2014)
2-2. 危険性を伝える警告表示	SAKATA, MORIMOTO, KIDO, JINGU: Measurement on the feeling of “Bikkuri” at danger warnings Proceedings of the AVEC'14 of 12th International Symposium on Advanced Vehicle Control, Tokyo, Japan, 51, 2014
2-3. 機器操作の快適性	坂田, 神宮: 生理計測を用いた感性の定量評価技術に関する研究-機器操作時のサクサク感について- 日本感性工学会論文誌,13(1), 49-54, 2014

第3章 聴覚的側面

3-1. 音声案内の分かり易さ	坂田, 太田, 澤田, 平井, 神宮: カーナビゲーションシステムの音声案内に関する分かり易さ評価 人間生活工学研究センター機関紙「人間生活工学」(査読中) SAKATA, OTA, SAWADA, HIRAI, JINGU: Study on Understanding of the Car navigation's Voice Guidance Proceedings of the ISASE2015 of the International Symposium on Affective Science and Engineering, Tokyo, Japan, 2015 (印刷中)
-----------------	--

第4章 総括

4-1. 感性評価によるものづくり	八重樫, 吉田, 青柳, 加藤, 表, 沢田, 坂田, 伊福部, 上田: 車両接近報知音の評価手法の開発 日本機械学会学術誌(和文誌),80(812), TRANS0071, 2014
-------------------	--

表 3 本論で用いた車載機器に関する評価指標一覧

第2章 視覚的側面

	主観評価	物理指標	生理指標
2-1. 表示の視認性	表示の「見やすさ」	表示の視認時間(ms)	
2-2. 危険性を伝える警告表示	危険警告の「危険感」「目立ち感」	表示の認識時間(ms)	心電計：交感神経活動量
2-3. 機器操作の快適性	カーナビ相当課題の「反応の良さ」「スピーディさ」「イライラ感の無さ」	カーナビ相当課題の操作時間(ms)	心電計：副交感神経活動量 NIRS：酸素化ヘモグロビン変化量

第3章 聴覚的側面

	主観評価	物理指標	生理指標
3-2. 音声案内の分かり易さ	音声案内の「分かり難さ」		心電計：交感神経活動量 NIRS：酸素化ヘモグロビン変化量

1-7 試験実施における倫理

本論文では、ヒトを対象とした人間工学試験を実施し、人間の身体や精神の状態を観察しデータを得ることで、製品開発において新たな知見を獲得するものである。試験の計画および実施にあたっては、人間工学会の人間工学研究のための倫理指針（2009年）やヒューマンインタフェース学会のヒューマンインタフェース研究開発のための倫理指針（2011年）を参考に、試験対象者の尊厳や人権保護、安全確保、個人情報保護等に十分配慮して、研究計画を行った。試験対象者に対しては、事前に実験内容の説明を行い、体調の不良を少しでも感じたら中断することを伝え、実験参加の同意を得て実施した。また、試験終了後翌日も試験対象者が心身共に健康であることを確認した。

第2章 視覚的側面

2-1 表示の視認性

本節ではまず、車載ヘッドアップディスプレイ（車載 HUD）を対象にして、車載表示装置の視認性評価指標について言及する。

車載用 HUD とは、近年の車載表示量の増加に伴い表示領域の拡大のために注目される新規表示デバイスであり、ダッシュボード上またはバックミラー部に設置した板ガラスやアクリル板、ウィンドシールドガラスの一部に対して、表示像を投影し、前方の景色の上に像を重ねさせる装置のことである（図 12）。

車載 HUD の視認性評価の事例として、岡林ら（2003）や安藤ら（2009）では、規定された呈示時間内での表示読み取りの正確さを計測する手法が報告されており、表示読み取りの時間に関わる行動指標が、車載 HUD の視認性評価指標となり得ると考えられる。したがって本研究では、行動指標（表示の視認に要した視認時間）と、主観評価（「表示の見やすさ」）の対応関係を見ることで、車載表示装置の視認性評価指標について論じる。

なお試験対象者は、一般ドライバの他に、65 歳以上の高齢ドライバも対象とした。これは、中高齢者の視覚特性として、加齢に伴い眼球の調節力が衰えるため、輻輳眼球運動や焦点調節応答が低下するなど、若年者に比べて中高齢者は運転中の車載表示機の視認に不利だと考えられるため、年齢による比較をするためである。また車載 HUD は、従来の表示装置とは全く異なる方法で表示を投影するため、ドライバの目線よりも高い位置に表示する方法も考えられるが、視野が下方範囲に下降すると考えられる高齢者※にとって、目線よりも高い表示位置は、一層視認に不利だと考えられる。

※ 福田(1990)は、高齢者の視認特性として、若年者に比べて眼球運動が可能な範囲が特に上方視において若干制限され、さらに姿勢が前かがみになることと上まぶたが若干下がるので、これらの相乗効果として視線の安静位方向は若年者よりも相当下降すると報告している。



図 12 三菱電機製 HUD 型カーナビ試作
(東京モーターショー2013 出展コンセプトカー“EMIRAI2 xDAS”)

2-1-1 試験方法

(1) 試験環境

試験の環境は、試験対象者の目線高さより上側と下側の2カ所に、焦点距離（眼球からHUD投影部までの「実距離」+ HUD投影部から表示増までの「焦点深度」）が同一のHUDを設置した。ダッシュボード上およびバックミラー部を想定した位置に高反射率の亚克力板を設置し、その亚克力板に対して液晶ディスプレイの表示を投影した。いずれのHUDも焦点距離が200cmとなるようにして、目線高さより上側のHUD（上HUD）は、試験対象者の眼球から亚克力板までの実距離を70cm、亚克力板から液晶ディスプレイまでの焦点深度を130cm、目線の水平から10°上位置とし、目線高さより下側のHUD（下HUD）は、実距離を130cm、焦点深度を70cm、目線の水平から10°下位置とした。前景は、7m前方の壁面に、試験対象者が目線の水平を注視するような走行映像を投影した。詳細は図13に図示する。

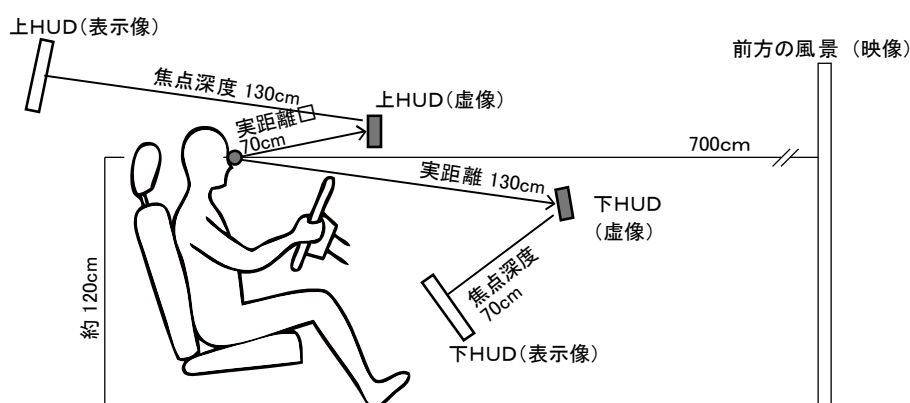


図13 試験環境

(2) 動作および条件

日常的に運転かつカーナビを使用する高齢ドライバ10名（65～75歳の男女半数ずつ）と一般ドライバ6名（20代～40代の各年代2名、男女半数ずつ）に対して、視認性評価テストを行った。試験対象者に運転中を想定してもらい、運転姿勢を取らせた上で前景の走行動画に集中させ、その上で突然、上・下いずれかのHUD中央に数字を呈示した。数字は「1」と「11」を用い、書体は細字と太字の計4種類のコンテンツとした。試験対象者は、表示を視認したらボタンを押下し、その後どのコンテンツが呈示されたかを口頭で回答してもらった（「太字の1」「細字の11」といった回答方法とした）。ボタンは、ハンドルに取りつけたスイッチであり、試験中手を添えられるように試験対象者毎に位置を調整した。また、試験対象者が口頭でコンテンツの種類を回答した後に、見やすさ主観評価を回答してもらった。試験対象者のまばたきによる視認時間の遅延を防ぐため、数字刺激呈示の0.5～1.0秒前に一度、注意喚起音（「ポーン」という効果音）を出して準備を促した。試行回数は各条件について4回試行し、各試験対象者は計32回試行した。

2-1-2 評価指標

(1) 主観評価

各条件の試験時に、見やすさ主観評価を6段階で回答してもらった(1点:見えない、2点:やっと見える、3点:多少見難いが、見える、4点:苦勞せずに見える、5点:見やすい、6点:非常に見やすい)。これにより、各条件の見やすさ主観評価を計測した。

(2) 行動指標(視認時間)

コンテンツが呈示されてから、試験対象者がボタンを押下するまでの時間を計測し、HUD表示の視認に要した視認時間の指標とした。なお、試験手順の間違いやボタン誤操作などがあった場合には、そのデータははずれ値とした。

2-1-3 結果および考察

視認性評価テストの結果として、上・下 HUD に対する高齢ドライバーと一般ドライバーの視認時間、見え方主観評価の比較結果を示す。解析は、表示像の数字コンテンツの違いも比較因子に含んだ分散分析を行ったが、数字コンテンツによる有意差は見られなかった。

a) 上 HUD の視認性

図 14 に、上 HUD の視認時間の結果を示す。試験対象者の属性間で差を調べるために母平均の差の検定を行った。結果、有意傾向が見られた($t=1.70, df=14, p<0.10$)。図 15 に、上 HUD の見え方主観評価の結果を示す。試験対象者の属性間で差を調べるために差の検定を行った。結果、有意傾向が見られた($t=1.38, df=14, p<0.10$)。

以上の結果よりは、一般ドライバーよりも上 HUD の読み取りに時間が掛かり、見難さを感じていたことが分かった。これは高齢者の視認特性として、加齢に伴い視線の安静位方向が(一般ドライバーよりも)下降したためと考えられる。

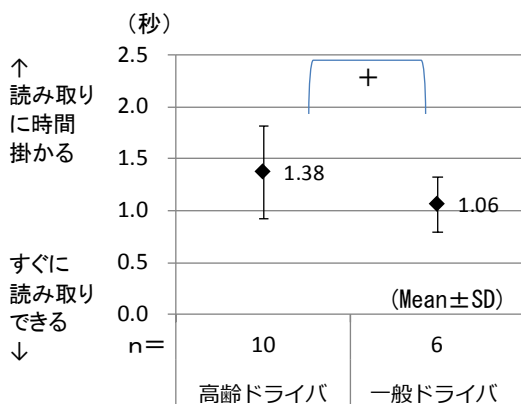


図 14 上 HUD の視認時間

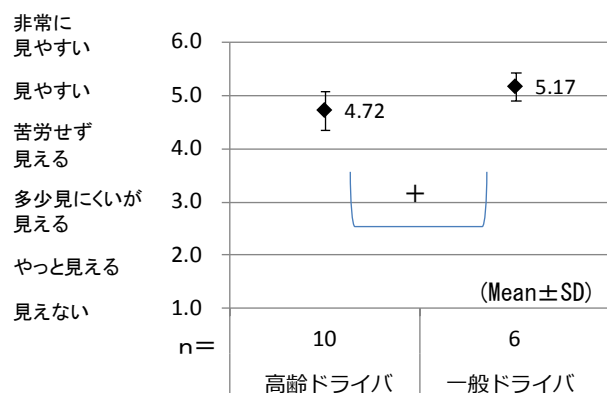


図 15 上 HUD の見やすさ主観評価

b) 下 HUD の視認性

図 16 に、下 HUD の視認時間の結果を示す。試験対象者の属性間で差を調べるために差の検定を行った。結果、有意差はみられなかった ($t=0.79, df=14, n.s.$)。図 17 に、下 HUD の見え方主観評価の結果を示す。試験対象者の属性間で差を調べるために差の検定を行った結果、有意差はみられなかった ($t=0.55, df=14, n.s.$)。

以上の結果より下 HUD は、高齢ドライバーも一般ドライバーと同程度の視認時間で表示像を見ることができ、主観的にも幅広い年代から見やすく感じられる表示位置であると考えられた。

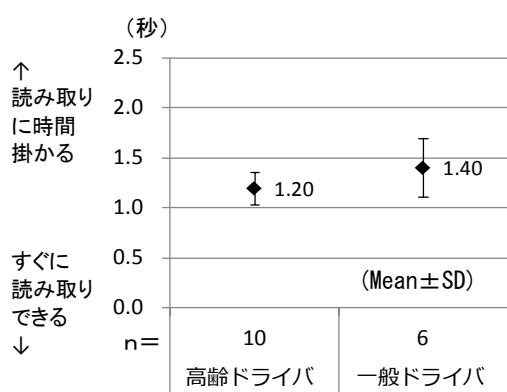


図 16 下 HUD の視認時間

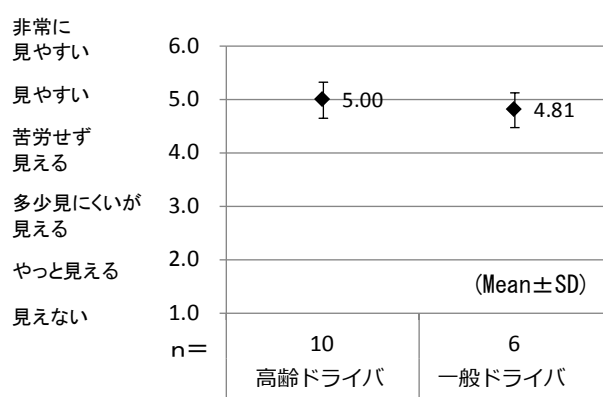


図 17 下 HUD の見やすさ主観評価

C) 行動指標と主観評価の対応

図 18 に、視認時間と見やすさ主観評価の対応の結果を示す。ふたつの指標間での対応を調べるために回帰分析を行った。結果、1%水準以下の有意な対応が見られた。

$$(R^2=0.52, F(1,27)=30.16, p<0.01)$$

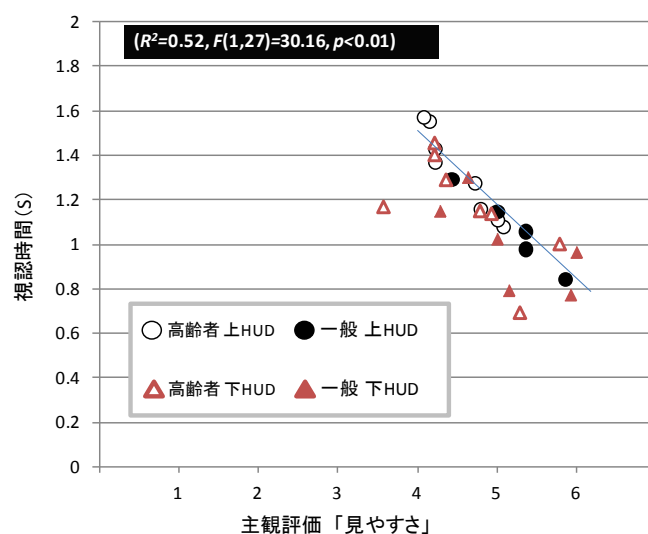


図 18 視認時間と主観評価「見やすさ」の対応

2-1-3 本節のまとめ

本節では、高齢ドライバーと一般ドライバーを試験対象者として、車載 HUD の表示位置による視認性を比較した。試験対象者の年代（高齢ドライバー、一般ドライバー）と車載 HUD の表示位置（目線より上位置の HUD、下位置の HUD）の条件ごとに、主観評価（見やすさ）と行動指標（表示の視認時間）を比較したところ、主観評価と行動指標の傾向が一致した。

・主観評価と行動指標が対応する場合

高齢ドライバーは、一般ドライバーよりも上 HUD の読み取りに時間が掛かり、見難さを感じていたことが分かった。これは高齢者の視認特性として、加齢に伴い視線の安静位方向が（一般ドライバーよりも）下降したためと考えられる。一方で、下 HUD は、高齢ドライバーも一般ドライバーと同程度の視認時間で表示像を見ることができ、主観的にも幅広い年代から見やすく感じられる表示位置であると考えられた。

また、表示の視認時間は、主観評価（見やすさ）と傾向が一致し、車載 HUD という新規の表示デバイスであっても、また、高齢者を対象とした評価においても、見やすさを定量化する指標として有効であった。

2-2 危険性を伝える警告表示

本節では、運転中の前方障害物に対する警告表示を再現した試験において、表示の認識時間と心電計による交感神経活動指標を用いて、警告の主観評価項目について検討する。運転中に突然、警告表示がなされる状況において、主観評価（警告の危険感・目立ち感）と、行動指標（警告に対する認識時間）と生理指標（心電計測による交感神経活動指標）を計測する試験を行った。

警告は、安全運転支援を目的とした前方障害物に対する心構えを促すためのものである（危険に対して即座に対応させるための警告ではない）。しかし、運転中に突然表示されるため、表示位置や表現によって運転阻害要因（ドライバディストラクション）となる可能性があると考えられる。従来はナビ画面に警告アイコンを表示したり、インパネ部の警告ランプ点灯といった方法であったが、近年、インパネの液晶化に伴いインパネ中央に警告アイコンが表示されるようになったため、よりドライバの目線に近い位置に大きく警告が表示される傾向にある。また、車載HUDが将来的にウィンドシールド全面表示となれば、その表現は一層多様なものになるであろう。そのため、ガイドラインで規定される範囲で表示内容・表現を検討するだけでなく、意識の潜在的側面も考慮した評価指標が必要と考えられる。

運転中の警告表示の定量指標として、川瀬ら（2013）は、自動車走行中の危険感を心拍数と瞬き間隔の変化により定量化できると報告しており、生理指標と行動指標の両指標に着目する必要が考えられた。したがって本研究では、主観評価（警告の危険感・目立ち感）と、行動指標（警告に対する認識時間）と生理指標（心電計測による交感神経活動指標）を用いて、警告表示を比較する評価指標について検討した。

2-2-1 試験方法

（1）試験環境

試験環境は車運転時を想定し、試験対象者は眼球高さが床から 120cm となるように自動車用椅子に着座した。警告を呈示する表示領域は 3 種あり、ハンドル奥のインスツルメント画面（インパネ）、ダッシュボード上 HUD（近景下 HUD）、前景と重畳する遠焦点 HUD（遠景上 HUD）、であった。眼球位置と画面までの距離について、インパネまで 75 cm、近景下 HUD まで 135 cm、遠景上 HUD まで 950 cm とした。遠景上 HUD には危険警告と共に運転者目線動画も表示した。詳細は図 19 に図示する。

（2）動作および条件

20 代の健常者 5 名に対して、運転相当課題時に、自車の前方に 4 種の危険因子（子供の飛び出し、バイクの車線変更、交差点へ車の飛び出し）を再現し、危険と同時に警告を呈示した。主観評価としては「警告の危険感」「目立ち感」の聴取、生理指標としては心電計測、警告表示へ

の認識時間計測をおこなった。また、20～60代の試験対象者25名に「警告が運転に及ぼす影響の有無」についての主観評価も聴取した。

試験対象者前方に、自動車の運転を模擬する運転映像として、車両走行時の運転者目線動画を再生した。運転者目線動画は、直線道路の走行を60km/時で道路を走行する映像であり、途中に警告の対象となる危険因子が自車両の前方に飛び出すものとした。試験対象者は動画に合わせた運転姿勢をとるようにした。警告は、危険因子が車線に割り込んだ時に1回、3秒間呈示した。危険因子は4種とし、左方向から子供、左方向から車、右方向から車、右方向からバイク、が飛び出すものであった。各警告につき5回ずつ計測し、計120試行であった。

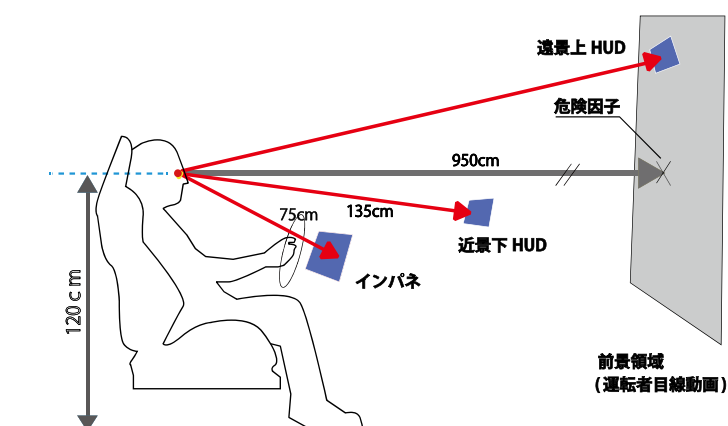


図 19 試験環境

2-2-2 警告

次の6種の警告を呈示した。表4に警告を一覧し、警告の呈示イメージを図20に示す。

警告は2つのグループに分けられ、危険因子に枠を表示するグループ1は、四角い枠表示、縁取り枠表示、点滅する縁取り枠表示、の3種とした。警告アイコンの表示位置を比較するグループ2は、インパネ、近景下HUD、遠景上HUDの3か所とした。警告アイコンの表示サイズは、試験対象者の視野角による大きさが同一となるように設定した。

表 4 警告一覧

グループ1: 危険対象に枠表示	グループ2: 警告アイコン
四角枠表示	インパネ
縁取り枠表示	近景下HUD
点滅する縁取り枠表示	遠景上HUD



図 20 警告呈示イメージ

2-2-3 評価指標

(1) 主観評価

“ビックリ感”を構成する主観評価として、「警告の危険感」と「目立ち感」を聞いた。試験対象者は、警告表示を一通り見た後に個別に見直して、警告ごとに7段階評価（+3：非常にそう思う、+2：そう思う、+1：ややそう思う、0：どちらともいえない、-1：ややそう思わない、-2：そう思わない、-3：まったくそう思わない）をつけた。また、“運転への影響の有無”については、悪い影響がある、影響は無い、良い影響がある、のいずれかに回答させ理由を聴取した。

(2) 交感神経活動指標（生理指標）

1-3-2 評価指標 (2) 副交感神経活動指標（生理指標）と同様に、心電計（株式会社マイクロ・メディカル・デバイス製のRF-ECG）およびBonaly Light（GMS社）を用いた計測手法で、LF成分領域（0.04～0.15 Hz）、HF成分領域（0.15～0.40 Hz）を2秒間隔で計算した。これにより交感神経の活動指標として、LF/HFを求めた。表示開始から終了までの平均値を求め、開始前の安静時間（2分間）の平均値を基準とし、これに対する変化量を条件別の計測値とした。基準から値が高い場合はストレス状態、値が低い場合はその逆と考えられる。本研究で交感神経活動指標を用いたのは、警告表示に対する“ビックリ感”というネガティブな感性を対象としたためである。

(3) 警告に対する認識時間 (行動指標)

認識時間計測を行った。試験対象者に対して、警告表示を認識したらスイッチを押させた。また、スイッチはハンドルに取り付け、試験対象者は常にボタン押しを構えた状態で統一した。これにより、試験対象者の瞬きによる遅延およびスイッチ探索動作による遅延のリスクを抑えた計測とした。各警告につき5回ずつ計測し、平均値を各試験対象者のデータとした。

2-2-4 結果と考察

結果は、同一の警告呈示領域で表現が異なる場合 (グループ1) と、警告アイコンの呈示領域が異なる場合 (グループ2) に分けて解析を行った。

(1) 主観評価

主観評価「危険感」と「目立ち感」を平均した評定値を図21に警告別に示す。同一の領域で表現が異なる場合 (グループ1) と警告アイコンの呈示領域が異なる場合 (グループ2) それぞれで分散分析を行ったところ、グループ1では有意差が見られたため ($F(2,8)=33.5, p<0.01$)、個別に多重比較を行った。

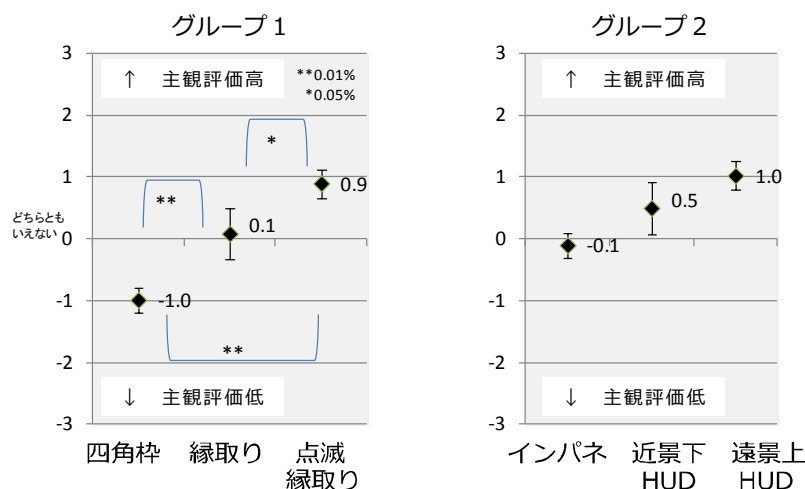


図21 主観評価 (危険感・目立ち感平均) の評定値

同一の警告呈示領域で表現が異なる場合 (グループ1) は、「点滅する縁取り枠」の輪郭を点滅させて追従する表現は評定値が高く、「四角枠」の表現は評定値が低かった。対して、警告アイコンの呈示領域が異なる場合 (グループ2) は、「遠景上 HUD」に警告アイコンを呈示するのが最も評定値が高い傾向があるものの、分散分析での有意差は無かった。これは、警告アイコンは危険を示唆する意味性があるため、それを見るだけで「ビックリ感」を感じるため、表示領域による差が表れにくかったと考えられる。

(2) 主観評価と交感神経活動指標

a) グループ 1 : 同一の領域で表現が異なる場合

図 22 は、交感神経活動指標（単位：正規化数値）を横軸、警告の“ビックリ感”の主観評価値を縦軸とし、各試験対象者についてプロットしたものである。交感神経活動指標と主観評価は対応が見られた($R^2=0.52, F=14.8, df=13, p<0.01$)。主観評価の評定値が高いほど交感神経活動指標が高く、交感神経が活性化する傾向を示した($t= 3.51, p < 0.01$)。

警告の種類別に見ると、「点滅する縁取り枠」が最も“ビックリ感”が高く、交感神経も活性化している。それに対して、「四角枠」は“ビックリ感”がマイナス、交感神経活動指標が安静化の領域にあり、警告表示によって逆に安心感を得ていると考えられる。警告表現に点滅が付与されると、主観的な危険感・目立ち感が高まり心的緊張感が高まると考えられる。

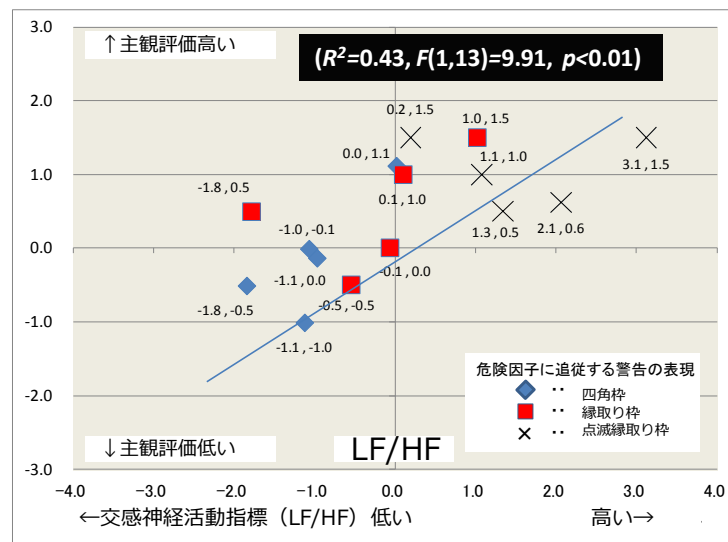


図 22 主観評価と交感神経活動指標の対応

b) グループ 2 : 警告アイコンの呈示領域が異なる場合

図 23 は、交感神経活動指標（単位：正規化数値）を横軸、警告の“ビックリ感”の主観評価値を縦軸とし、各試験対象者についてプロットしたものである。交感神経活動指標と主観評価は対応が見られなかった($R^2=0.29, F= 0.77, df=13, n.s.$)。

警告の種類別にみると、警告アイコンを遠景上 HUD に呈示すると主観的な“ビックリ感”が高く、交感神経活動指標は安静となり、対して、インパネに呈示すると“ビックリ感”が低く交感神経活動指標は活性化した。これは、警告アイコンを呈示する位置によって視認負担が異なったためと考えられ、インパネは、視認のために眼球を下に向ける必要があり、それが心的緊張感につながったと考えられる。

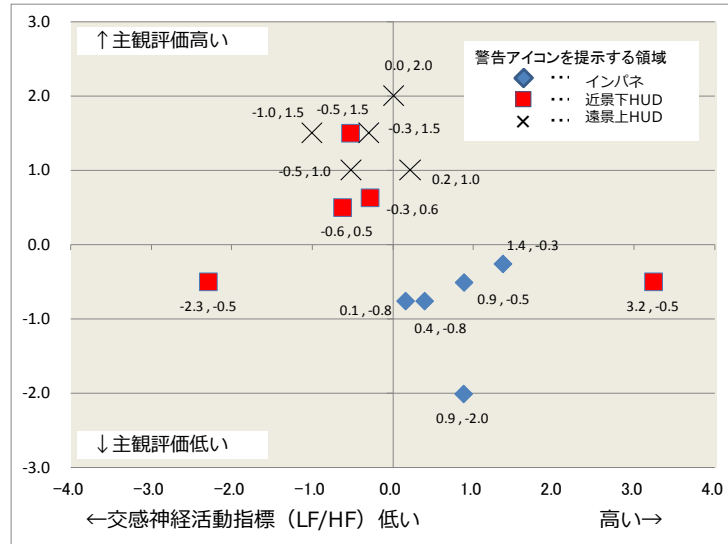


図 23 主観評価と交感神経活動指標の対応

(3) 主観評価と認識時間

a) グループ 1 : 同一の領域で表現が異なる場合

図 24 は、認識時間 (単位 : 秒) を横軸、警告の“ビックリ感”の主観評価の評定値を縦軸とし、各試験対象者についてプロットしたものである。認識時間と主観評価に対応が見られなかった ($R^2=0.14$, $F=2.13$, $df=13$, $n.s.$)。全体の傾向として、主観評価の評定値と認識時間による視認性の良し悪しに対応がみられなかった。警告の種類別に見ても、「四角枠」においては主観評価の評定値が高いほど視認性が良くなるという傾向がみられるものの、「縁取り枠」や「点滅する縁取り枠」は結果がばらついた。警告が同一の領域で表示される場合は表示視認性に違いがないため、認識時間は、主観的な“ビックリ感”の指標には不適當であった。

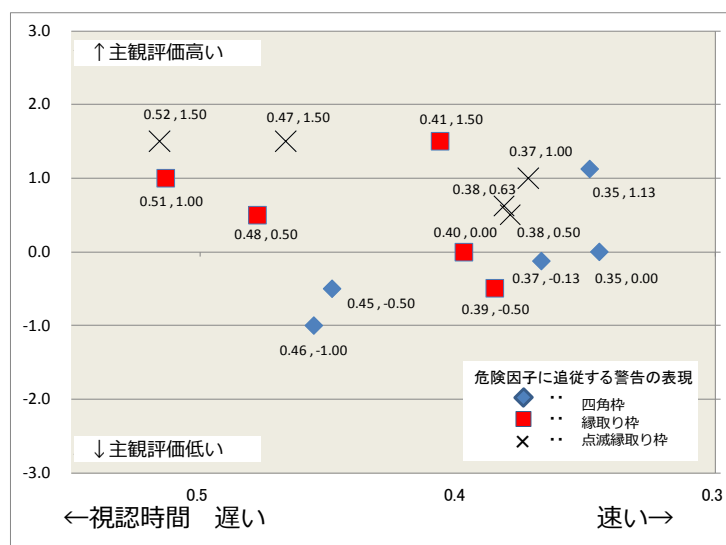


図 24 主観評価と認識時間の対応

b) グループ 2 : 警告アイコンの呈示領域が異なる場合

図 25 は、認識時間（単位：秒）を横軸、警告の“ビックリ感”の主観評価の評定値を縦軸とし、各試験対象者についてプロットしたものである。認識時間と主観評価に対応が見られた($R^2=0.53, F=17.1, df=13, p<0.01$)。主観評価の評定値が高いほど認識時間が短い傾向を示した($t= 4.13, p< 0.01$)。警告の種類別に見ても、全ての警告について同一の傾向であり、認識時間の早い試験対象者ほど“ビックリ感”を感じていることが分かる。したがって認識時間は、主観評価の定量指標として有効であった。これは、警告アイコンは危険を示唆する意味合いが強く、視認性が良いほど危険感・目立ち感が高まるためと考えられる。

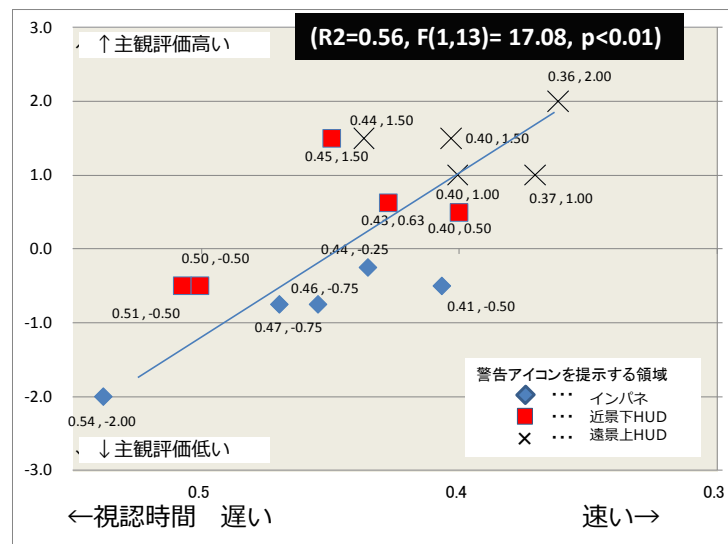


図 25 主観評価と認識時間の対応

2-2-5 本節のまとめ

本節では、運転中の前方障害物に対する警告表示を再現した試験において、表示の認識時間と心電計による交感神経活動指標を用いて、警告の主観評価項目について検討した。

試験で用いた警告は2つのグループに分類でき、グループ1は同一の警告呈示領域で表現が異なる場合（危険因子に四角枠、縁取り枠、点滅する縁取り枠）、グループ2は警告アイコンの呈示領域が異なる場合（インパネに警告アイコン、近景下 HUD に警告アイコン、遠景上 HUD に警告アイコン）であった。主観評価（危険感、目立ち感）と行動指標（表示の認識時間）、生理指標（交感神経活動指標）を比較したところ、主観評価と行動指標・生理指標が対応する場合とそうでない場合があり、そこから主観評価項目を検討すると、次のことが考えられる。

(1) グループ1：同一の領域で表現が異なる場合

交感神経活動指標は、主観評価（危険感、目立ち感）と傾向が一致し、主観評価の定量指標として有効であった。警告表現に点滅が付与されると、主観的な危険感・目立ち感が高まり心的緊張感が高まると考えられる。一方で、認識時間は、主観評価（危険感、目立ち感）と傾向が一致しなかった。

これにより、行動指標は人の動作と密接に関係する試験条件において有効であり、生理指標は内容自体が心的変化を引き起こす条件において有効であることが分かった（図 26）。

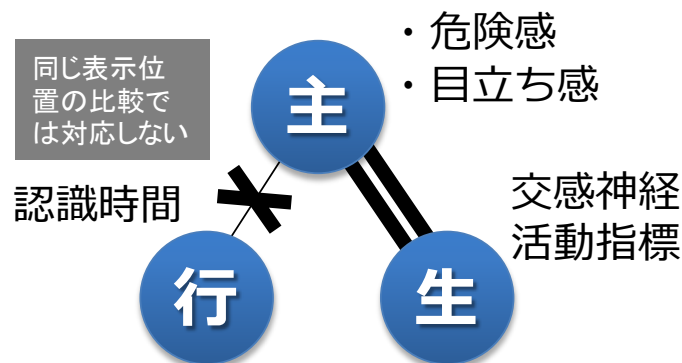


図 26 グループ2の対応関係モデル

(2) グループ2：警告アイコンの呈示領域が異なる場合

認識時間は、主観評価（危険感、目立ち感）と傾向が一致し、主観評価の定量指標として有効であった。これは、警告アイコンは危険を示唆する意味合いが強く、視認性が良いほど危険感・目立ち感が高まるためと考えられる。一方で、交感神経活動指標は、主観評価（危険感、目立ち感）と傾向が一致しなかった。これは、警告アイコンを呈示する位置によって視認負担が異なり、それが心的緊張感の原因となったため、主観評価で聞いた警告アイコンの印象は直接的な関係がなかったと考えられる（図 27）。これより、警告に関する評価項目として「表示を見るための負担」など人体の動作による負担に関する評価項目の必要性が考えられる。

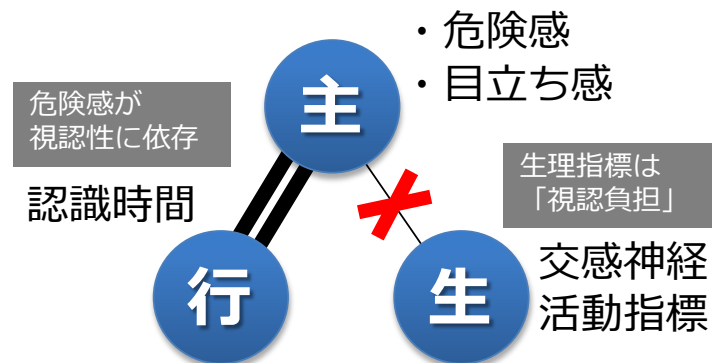


図 27 グループ1の対応関係モデル

2-3 機器操作の快適性

本節では、運転中のナビ操作相当の課題を再現した試験において、ナビの操作時間と、心電計測による副交感神経の活動、光イメージング脳機能計測装置による酸素化ヘモグロビン変化量を用いて、運転中の機器操作の主観評価項目について検討する。

ナビ操作の“サクサク感”に着目した。サクサクとは、使用者が機器操作した感覚を表現する擬音である。サクサクとすることは、機器操作が滑らかで、操作がしやすい感覚を指す。サクサクの対の擬音として“もっさり”などの表現も使用される場合がある。

使用者にとっての負担度、疲労度を生理指標で捉える試みとして以下の研究がなされている。江崎ら（2011）は、ドライバの疲労状態を推定するために、模擬運転課題を長時間行い、試験中に生理指標(心拍、脈波伝播時間、顔の表面温度、筋電)を測定し、疲労の蓄積と対応する指標を探索している。江部ら（1999）は、ドライバの視聴覚認知に伴う負担度の評価として、カーナビゲーションの地図検索タスクにおいて、光イメージング脳機能計測装置（NIRS法）を利用し、評価指標として、血中Hb酸素化状態および血流量の相対的变化を求め、記憶探索のような作業負担に伴う活動をNIRS法により意識の潜在的側面を定量的に評価できる可能性を示唆している。若松ら（2011）は、車載機のヒューマンインタフェースのユーザビリティの評価手法として、主観評価と生理指標（脳波）との対応を検討している。

本研究では、生理指標として、交感神経活動指標と脳活動の指標を用いた。仮説として、機器操作時に“サクサク感”があった場合、交感神経活動指標では、リラックス状態となり副交感神経の活動が活性化すると考える。また脳活動の指標については、仮説として、機器操作時に“サクサク感”がある場合には、操作に対して、多くの注意を向ける必要がなくなるため脳内での酸素化ヘモグロビン変化量が減少すると考える。本研究では、自動車の運転中（主作業課題）にカーナビゲーションを操作する（副次作業課題）という二重課題を設定した上で、カーナビゲーションの操作性について、“サクサク感”を表現する言語による主観評価と、自律神経機能計測による副交感神経の活動、および、脳機能計測による酸素化ヘモグロビン変化量の対応について検討した。

2-3-1 試験方法

(1) 試験環境

試験対象者は、日常的に自動車の運転をする大学生（21～23歳）6名について、以下の方法で試験を行った。試験の環境は、試験対象者の眼球位置から画面までの距離が一定となるようにし、眼球位置と運転映像画面（24インチ）との間隔が90cm、ナビ画面（17インチ）との間隔が50cmとなるようにした。詳細は図28に図示する。

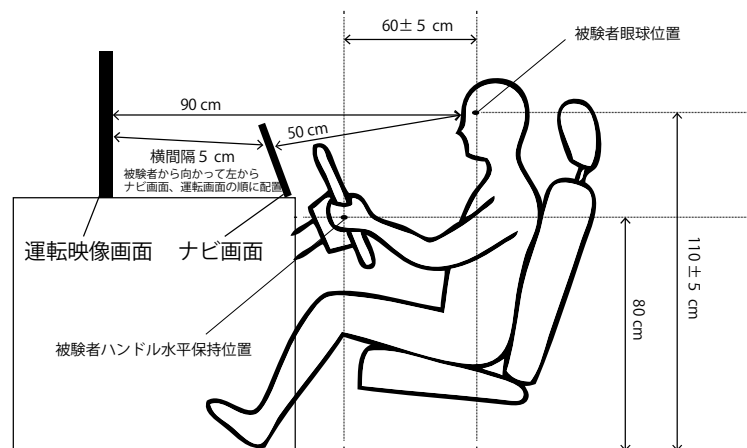


図 28 試験環境

(2) 動作および条件

自動車の運転を模擬する運転相当課題として、前方に車両走行時の運転者目線動画を再生した。運転相当課題のイベント量を各条件で出来るだけ統一するため、運転者目線動画は急ブレーキや急発進のないようにし、全動画を法定速度 40km/h 道路で走行する映像とし、試験対象者は動画に合わせた運転姿勢をとるようにする。動画中に評価刺激（たとえば道路標識）が不意に呈示され、これが次のカーナビ相当課題での目標刺激となる。評価刺激が呈示される間隔の平均時間は、17 秒/回とした。（350 秒の映像中に全 20 試行実施）

カーナビゲーションの操作を模擬するカーナビ相当課題は、カーナビゲーションの位置に設置した画面に、上述の目標刺激があるかどうかを判断させるものである。表示画面に、横 3 行と縦 3 列に等間隔に並べた 9 個の刺激（標識等）を表示し、目標刺激はその中に、1 個もしくは 0 個配置されている。試験対象者が上述の目標刺激を見つけたらスイッチを押下し、その中に目標刺激がない場合は、試験対象者は「ない」と発話する。試験対象者に、すぐに反応するように教示を与えた。この探索動作を、目標刺激を配置する位置を変えて、4 回刺激を呈示し、それぞれ 5 試行の計 20 試行であった。次の表示画面が呈示されるまでの時間（画面切替時間）を 300ms、500ms、1000ms、1500ms の 4 条件とし、この条件と“サクサク感”の対応を調べた。

2-3-2 評価指標

(1) 主観評価

“サクサク感”に関する評価項目として、一般通念からの類推で、「快適さ」、「反応の良さ」、「目標の探し易さ」、「イライラ感の無さ」、「スピーディさ」、「操作のし易さ」の 6 項目を設定した。試験対象者には、表示画面から目標刺激を探索する動作を 4 回行った後に、それぞれの項目ごとに 5 段階評価（まったくそう思わない、そう思わない、どちらともいえない、そう思う、非常にそう思う）をつけてもらった。

(2) 操作時間 (行動指標)

カーナビ相当課題について、試験対象者が機器操作に要した時間の指標である。ナビの画面が切り替わった時点から、操作 (スイッチ押下または「ない」と発話) が行われるまでの時間を計測した。仮説として、試験対象者は運転課題とカーナビ相当課題の二重課題であったため、画面切替時間が長いとカーナビ相当課題よりも運転課題に対して意識が向きすぎてしまって、操作時間が長くなると考えた。

(3) 副交感神経活動指標 (生理指標)

1-3-2 評価指標 (2) 副交感神経活動指標 (生理指標) と同様に、心電計 (株式会社マイクロ・メディカル・デバイス製の RF-ECG) および Bonaly Light (GMS 社) を用いた計測手法で、LF 成分領域 (0.04~0.15 Hz)、HF 成分領域 (0.15~0.40 Hz) を 2 秒間隔で計算した。これにより副交感神経の活動指標として、 $HF/(LF+HF)$ を求めた。カーナビ相当課題の表示から表示終了までの平均値を求め、開始前の安静時間 (2 分間) の平均値を基準とし、これに対する変化量を条件別の計測値とした。基準から値が高い場合はリラックス状態、値が低い場合はその逆と考えられる。本研究では、操作の“サクサク感”というポジティブな感性に着目したため、副交感神経活動指標を用いた。

(4) 酸素化ヘモグロビン変化量 (生理指標)

光イメージング脳機能計測装置 (スペクトラテック社製、OEG-16) を使用し、脳内の酸素化ヘモグロビン変化量を前頭部の 16 チャンネルで計測した。試験対象者ごとに毎回、原点補正のキャリブレーションを行った後、0.66 秒間隔で計測した。16 チャンネルの合計値について、各条件の平均値を求めて酸素化ヘモグロビン変化量の指標とした。

心電計および光イメージング脳機能計測装置の生理指標のデータについて、各条件において 20 回試行し、統計において他の値から大きく外れた値は分析対象に含まないように配慮した。しかし、今回採用した試験環境、試行回数 20 の試験ではすべての試験対象者並びに条件において、統計的に他の値から大きく外れた値はなかったため、全データを分析対象とした。

2-3-3 結果および考察

(2) 主観評価

“サクサク感”に関する主観評価の 6 項目 (快適さ、反応の良さ、目標の探し易さ、イライラ感の無さ、スピーディさ、操作のし易さ) について、画面切替時間が短いと評価が高く、長いと評価が低い傾向を示すグループ (3 人) と、明確な傾向を示さないグループ (3 人) に分かれたが、これら全てを平均して評定値を算出した結果を図 29 に示す。主観評価全体としては、画面切替時間が短くなるほど“サクサク感”が高くなっていた。

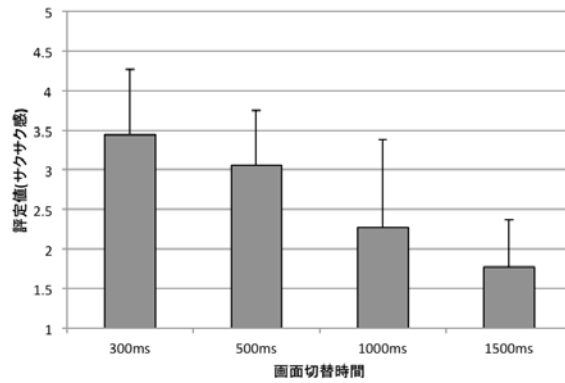


図 29 全試験対象者の“サクサク感”の条件別の評価値

評価項目の各々について、画面切替時間条件間での差を分散分析上の有意差を見ると、「快適さ」： $(F(3,5)=2.09, n.s.)$ 、「目標の探しやすさ」： $(F(3,5)=2.05, n.s.)$ 、「操作のしやすさ」： $(F(3,5)=1.45, n.s.)$ であり、これらについては有意差は見られなかった。一方で、「反応の良さ」： $(F(3,5)=5.47, p<.05)$ 、「イライラ感の無さ」： $(F(3,5)=4.66, p<.05)$ 、「スピーディさ」： $(F(3,5)=4.20, p<.05)$ では有意差が見られた。図 30 に「反応の良さ」、図 31 に「スピーディさ」、図 32 に「イライラ感の無さ」の評価値の結果を示す。

図 30～図 32 において、どの条件間で評価値に違いが見られるかを調べるために多重比較を行ったところ、図 30 の「反応の良さ」では 300ms と 1000ms の間と 300ms と 1500ms の間で有意な差が見られた (300ms・1000ms 間： $t(15)=3.35, p<.05$ 、300ms・1500ms 間： $t(15)=3.08, p<.05$)。 (図 30 中に対応を示した。以下、他の図でも同様。) 図 31 「スピーディさ」では 300ms と 1500ms の間で有意な差が見られた ($t(15)=3.11, p<.05$)。 図 32 「イライラ感の無さ」では 300ms と 1500ms の間で有意な差が見られ ($t(15)=3.53, p<.05$) だが、500ms と 1000ms のばらつき範囲が同程度になっており、前者と比べると傾向性が低かった。

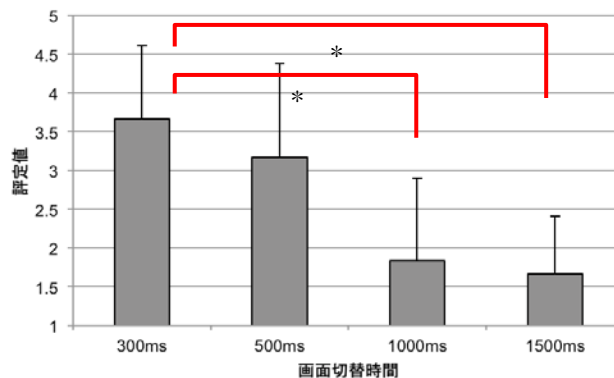


図 30 全試験対象者の「反応の良さ」の条件別の評価値 (* : $p<.05$, ** : $p<.01$)

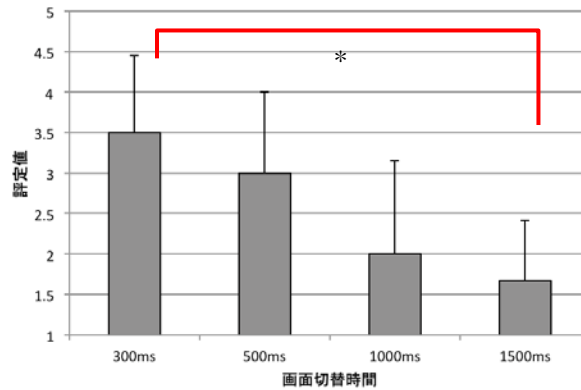


図 31 全試験対象者の「スピーディさ」の条件別の評価値 (* : $p < .05$, ** : $p < .01$)

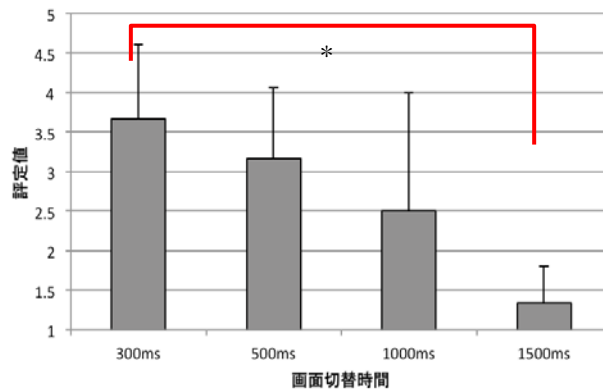


図 32 全試験対象者の「イライラ感の無さ」の条件別の評価値 (* : $p < .05$, ** : $p < .01$)

このことをまとめると、画面切替時間が 300ms~1500ms の範囲では、時間が短くなるほど主観評価全体として“サクサク感”が高くなること、また、主観評価の項目の中では「反応の良さ」、「スピーディさ」、「イライラ感の無さ」が画面切替時間という条件による差が出やすい評価項目であるが、その中でも「反応の良さ」が最も差が出やすく、次いで「スピーディさ」が良い。ユーザーインターフェースとしての表示装置には、操作に対して反応が良いこと、スピード感のあることが、“サクサク感”を高める要素であると考えられる。

(2) 操作時間

図 33 に条件別の操作時間の結果を示す。平均値では 500ms の時最も反応時間が短かった。しかし、条件間で分散分析を行ったところ、有意な差は見られなかった ($F(2,3)=1.48, n. s.$)。カーナビの画面切替時間を比較する条件では、主観的な“サクサク感”に違いがあっても、操作パフォーマンスには影響しないと考えられる。

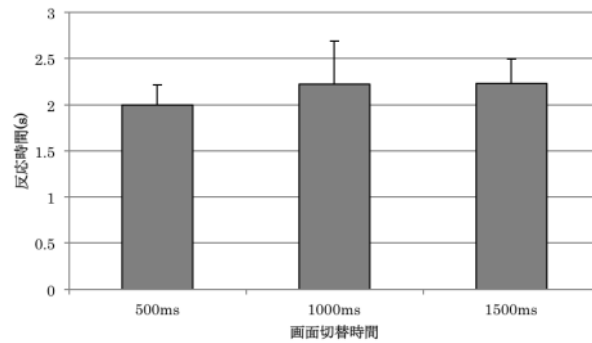


図 33 全試験対象者のカーナビ相当課題の操作時間の条件別の評定値

(3) 副交感神経活動指標

図 34 に、心電計測による副交感神経活動指標 ($HF/(LF+HF)$) の結果を示す。条件間の差を調べるために分散分析を行ったところ有意差が見られた ($F(3,5)=3.49, p<.05$)。さらに多重比較を行ったところ、300ms と 500ms の間に有意な差が見られた ($t(15)= 3.26, p<.05$)。

図 34 において副交感神経活動指標は、300ms のとき最も高く、一旦 500ms で最も低くなり、1000ms、1500ms で上昇する傾向を示している。副交感神経活動指標が高いほど、リラックス状態にあり、ストレスを感じていないことを示している。

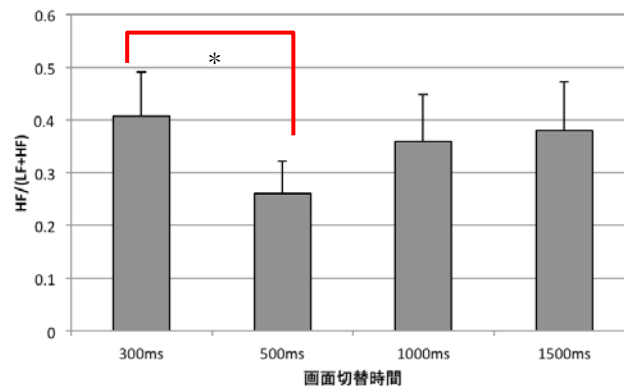


図 34 全試験対象者の二重課題時における条件別の $HF/(LF+HF)$

(* : $p<.05$, ** : $p<.01$)

今回の評価は、運転姿勢をとりつつ、カーナビ表示画面の中から目標刺激を探す二重課題であったことから、試験対象者の意識は前方の運転者目線動画とカーナビ表示画面とを行ったり来たりする。そういった状況において、300ms の画面切替時間の条件は、カーナビ課題のパフォーマンスを損なうことが少なかったため、リラックス状態となったものと推測される。

反対に 500ms の画面切替時間の条件は、運転者目線動画とカーナビ表示画面のどちらにも集

中し難く、試験対象者にストレスがかかっていたと推測される。

一方で 1000ms、1500ms で副交感神経活動指標が増えるのは、カーナビ課題への視線の移行が減って、運転課題に集中できるためにストレスを感じていないためと考えられる。主観評価において、画面切替時間の長さに対して単調減少の傾向を示していた（図 29）のと対照的である。主観評価はカーナビ課題の評価についての設問であり、試験対象者はそれに対して正直に回答しているが、この副交感神経活動指標の結果は、二重課題全体としてのストレスの総量について、意識の潜在的側面を配慮すべきであることを示唆している。

(3) 酸素化ヘモグロビン変化量

a) 画面切替時間条件との対応

図 35 に、光イメージング脳機能計測装置による酸素化ヘモグロビン変化量の全試験対象者のデータを示す。分散分析を行ったところ、画面切替時間条件間に有意差が見られなかった ($F(3,5)=0.04, n.s.$)。

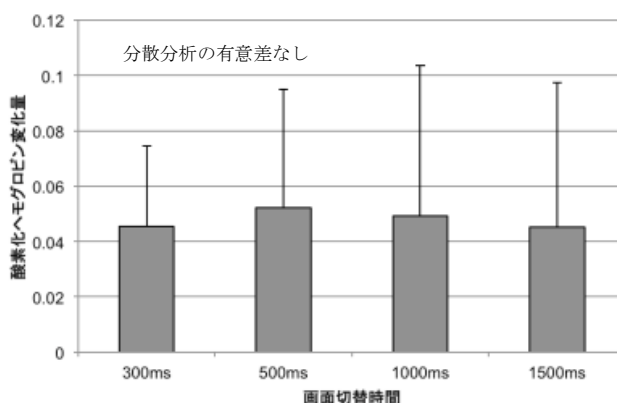


図 35 全試験対象者の二重課題時における条件別の酸素化ヘモグロビン変化量
(* : $p < .05$, ** : $p < .01$)

図 35 における酸素化ヘモグロビン変化量のデータには個人差によるばらつきが大きいため、主観評価において画面切替時間の増加に対して負の傾向を示した 3 人（対応関係があるグループ）と、そうでなかった 3 人（対応関係が無いグループ）で別々に分析をおこなった。

図 36 に、対応関係があるグループの酸素化ヘモグロビン変化量を示す。300ms から 1500ms に向かって全体的に正の傾きとなっている。

画面切替時間条件間で分散分析を行ったところ、有意な差が見られた ($F(3,2)=5.10, p < .05$)。このグループでは、主観的な“サクサク感”と酸素化ヘモグロビン変化量に相関関係があり、機器操作時に“サクサク感”がある場合には、操作に対して多くの注意を向ける必要がなくなり、光イメージング脳機能計測装置での酸素化ヘモグロビン変化量が減少することが分かった。

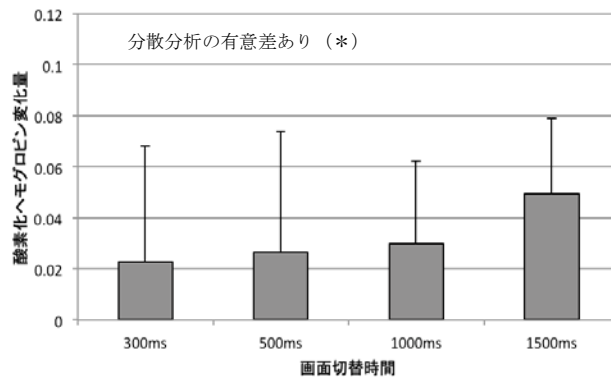


図 36 対応関係があるグループの条件別の酸素化ヘモグロビン変化量
(* : $p < .05$, ** : $p < .01$)

図 37 に、対応関係の無いグループの酸素化ヘモグロビン変化量を示す。1000ms のとき酸素化ヘモグロビン変化量は最も高く、1500ms のとき最も低く、また 1000ms のときのデータのばらつきが大きい。全体として傾向がなく、分散分析でも有意差が見られなかった ($F(3,2)=0.34, n.s.$)。主観評価で画面切替時間条件との対応関係が無い場合には、酸素化ヘモグロビン変化量にも対応関係が無い。

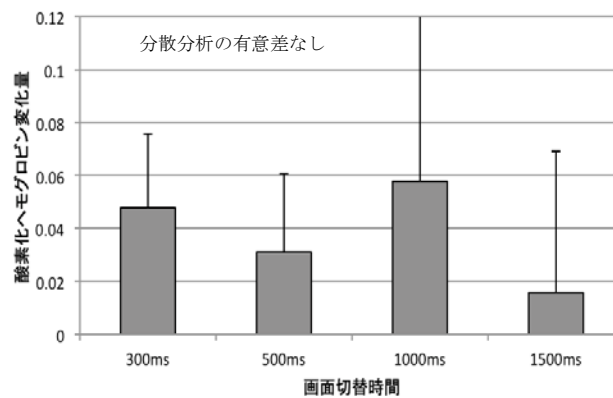


図 37 対応関係が無いグループの条件別の酸素化ヘモグロビン変化量
(* : $p < .05$, ** : $p < .01$)

b) 主観評価との偏相関関係

酸素化ヘモグロビン変化量と主観評価の評定値について、グラフィカルモデリングによる評価構造解析を行った。主観評価データとして、画面切替時間に対して強い傾向を示した 2 項目(「反応の良さ」、「スピーディさ」)を用いた。図 38~図 41 に、それぞれ 300ms、500ms、1000ms、1500ms の画面切替時間条件ごとに、酸素化ヘモグロビン変化量と主観評価データの対応を、

無向独立グラフとしたグラフィカルモデルを示す。

図 38、300ms の条件では、酸素化ヘモグロビン変化量は「反応の良さ」に負の相関（偏相関係数-0.25）をしている。図 39、500ms の条件では、「反応の良さ」に負の相関（偏相関係数-0.52）をし、「スピーディさ」に正の相関（偏相関係数+0.39）をしている。図 40、1000ms の条件では、「反応の良さ」に負の相関（偏相関係数-0.68）をし、「スピーディさ」に正の相関（偏相関係数+0.50）をしている。図 41、1500ms の条件では、「反応の良さ」に負の相関（偏相関係数-0.61）をしている。

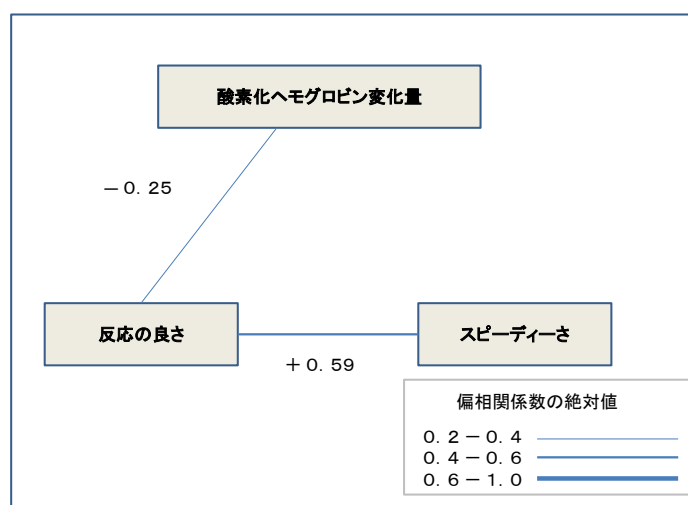


図 38 画面切替時間 300ms : グラフィカルモデル

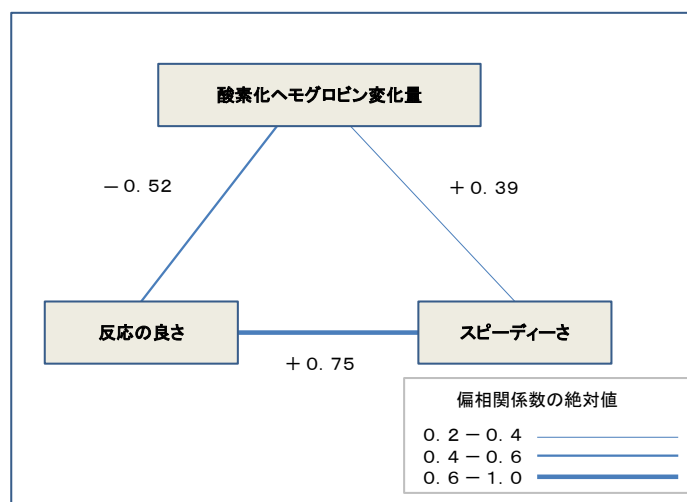


図 39 画面切替時間 500ms : グラフィカルモデル

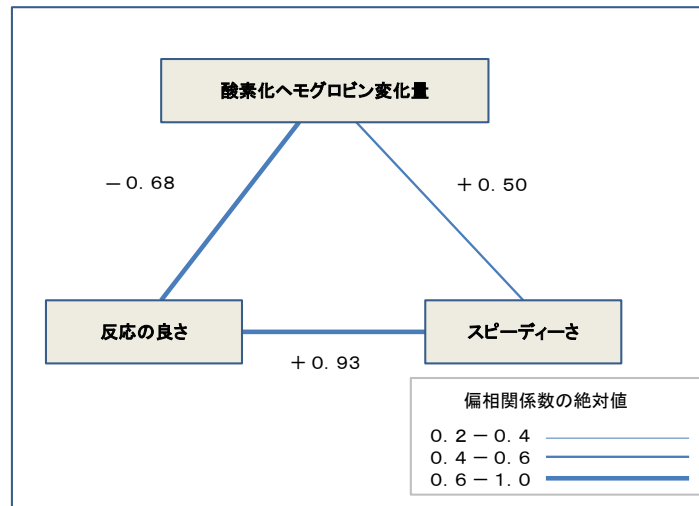


図 40 画面切替時間 100ms : グラフィカルモデル

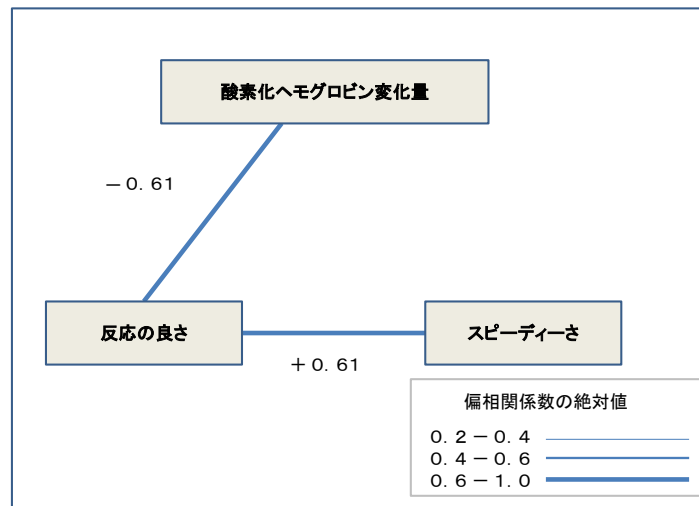


図 41 画面切替時間 150ms : グラフィカルモデル

これを主観評価の項目別に見ると以下のようなになる。

「反応の良さ」と酸化ヘモグロビン変化量は、全ての画面切替時間の条件で、偏相関係数が負の値となっていた。これは、試験対象者が機器操作に反応の良さを感じていると、課題に注意を向ける必要がなく、酸化ヘモグロビン変化量が低くなったためと考えられる。

「反応の良さ」は、主観評価における6個の評価項目の中で画面切替時間条件による差が最も出やすい項目であり（図 30）、操作に対して反応が良いことが、“サクサク感”を高める要素であると考えられたが、酸化ヘモグロビン変化量の結果もその考えを裏付けている。

一方、「反応の良さ」と「スピーディーさ」は、全ての画面切替時間の条件で、偏相関係数が正の値となっている。これは、両者の語感がともに共通しており、主観評価では等価な項目になっていることを示している。

ところが、「スピーディさ」と酸素化ヘモグロビン変化量は、300ms と 1500ms では相関がなく、500ms と 1000ms の条件において相関がみられ、偏相関係数はいずれも正の値となっている。「反応の良さ」が全ての画面切替時間の条件で、偏相関係数が負の値となっているのと同対照的である。500ms と 1000ms の条件で、試験対象者がスピーディさを感じていると、課題に注意を向ける頻度が多く、酸素化ヘモグロビン変化量が増加したものと考えられる。

これは、この時間条件ではスピーディさがある意味ストレス要因になっていると考えられる。心電計測による副交感神経活動指標 (HF/(LF+HF)) が 500ms で最も少なく、1000ms がそれに次いで少ない (図 34) ことに対応しているとも考えられ、感性的側面について、意識の潜在的側面を配慮すべきであることを示唆している。

2-3-4 本節のまとめ

本節では、運転中のナビ操作相当の課題を再現した試験において、ナビの操作時間と、心電計測による副交感神経の活動、光イメージング脳機能計測装置による酸素化ヘモグロビン変化量を用いて、警告の主観評価項目について検討した。

ナビ相当課題の画面切り替え時間の条件 (300,500,1000,1500ms) ごとに、主観評価 (「快適さ」、「反応の良さ」、「目標の探し易さ」、「イライラ感の無さ」、「スピーディさ」、「操作のし易さ」) の 6 項目と行動指標 (操作時間)、生理指標 (副交感神経活動指標、酸素化ヘモグロビン変化量) を比較した。これより考えられる各指標の対応関係を図 42 に示す。

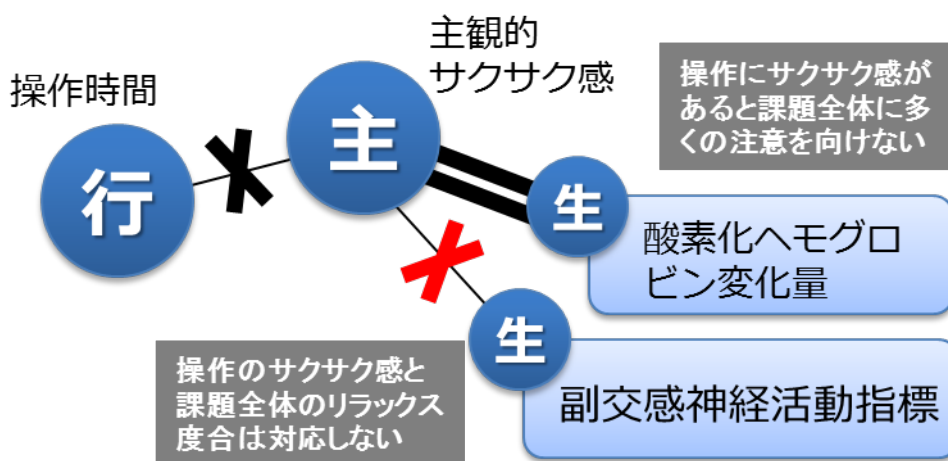


図 42 運転中のナビ操作における各指標の対応関係モデル

まず、カーナビの画面切替時間を比較する条件では、操作時間に差が見られなかった。主観的な“サクサク感”に違いがあっても、操作パフォーマンスには影響しないと考えられた。

次に、主観評価は、試験実施者が設定した 6 項目の中で、「反応の良さ」と「スピーディさ」が顕著な差が得られ、ユーザーインタフェースとしての表示装置には、操作に対して反応が良い

こと、スピード感のあることが、“サクサク感”を高める要素であると考えられた。

更に、主観評価の6項目と、酸素化ヘモグロビン変化量に相関関係があり、機器操作時に“サクサク感”がある場合には、操作に対して多くの注意を向ける必要がなくなり、光イメージング脳機能計測装置での酸素化ヘモグロビン変化量が減少することが分かった。特に、主観評価「反応の良さ」と酸素化ヘモグロビン変化量は、全ての画面切替時間の条件で、偏相関係数が負の値となっている。これは、試験対象者が機器操作に反応の良さを感じていると、課題に注意を向ける必要がなく、酸素化ヘモグロビン変化量が低くなったためと考えられる。「反応の良さ」は、主観評価における6個の評価項目の中で画面切替時間条件による差が最も出やすい項目であり（図30）、操作に対して反応が良いことが、“サクサク感”を高める要素であると考えられたが、酸素化ヘモグロビン変化量もその考えを裏付けている。

最後に、副交感神経活動指標は、カーナビ課題に関する主観評価とは一致しない傾向を示し、運転課題を含めた二重課題全体としてのストレスの総量については、意識の潜在的側面を配慮すべきであることが分かった。

また、主観評価「スピーディさ」と酸素化ヘモグロビン変化量は、画面切替時間300msと1500msでは相関がなく、500msと1000msの条件において相関がみられ、偏相関係数はいずれも正の値となっている。500msと1000msの条件で、試験対象者がスピーディさを感じていると、課題に注意を向ける頻度が多く、酸素化ヘモグロビン変化量が増加したのと考えられる。これは、この時間条件ではスピーディさがある意味ストレス要因になっていると考えられる。心電計測による副交感神経活動指標（HF/(LF+HF)）が500msで最も少なく、1000msがそれに次いで少ないことに対応しているとも考えられる。

これまで、使用者の操作時間や回数などの物理的に規定されてきたパフォーマンスとしての操作性（スピーディに操作できること）だけでは、使用者の感性や感覚に合わせた製品性能の設定が実現できないこともしばしばあった。今後、生理指標を用いて意識の潜在的側面に配慮することで、真に使用者が求める製品の仕様やパラメータを決定することが可能になると考えられる。

第3章 聴覚的側面

3-1 音声案内の分かり難さ

本節では、運転中のカーナビの道案内で次の曲がり角を判断させる状況を再現した試験において、心電計による交感神経活動指標と NIRS による酸素化ヘモグロビン変化量を用いて、主観評価項目について検討する。

カーナビの音声案内の場合は、音声案内が出た後に右左折地点を判断するドライバーにとっては、運転しながら、音声案内の内容を瞬時に理解し、案内地点を判断するという、複数の課題を行う必要があるため、案内のタイミングの良し悪しや文章の長さなどの違いにより分かり難さが異なる。このような状況下においては、主観的には“分かり難い”という明確にネガティブな状態として意識されず、情報処理（思考）の負担が決して高くはなくても、潜在的に何らかの精神的負担（生体内部の歪み）が生じている可能性がある。そのような“何となく”感じる潜在的な負担が長時間蓄積することで、スムーズな運転の障害になると考えられる。

3-1-1 試験方法

（1）試験対象者

試験対象者は、日常的に自動車の運転をする者であり、ドライビングシミュレータ（DS）の運転経験がなく DS 上の模擬走行地（みなとみらい地区）に土地勘がない大学生（21～23 歳）6 名とした。試験対象者の全員に、事前に実験内容の説明を行い、体調の不良を少しでも感じたら中断することを伝え、実験参加の同意を得て実施した。また、試験終了後日も心身共に健康であることを確認した。

（2）試験環境

試験の環境は、試験対象者の前方に車両走行時の運転者目線動画を再生し、試験対象者は動画に合わせた運転姿勢をとるように指示した。眼球位置から画面までの距離が一定となるようにし、眼球位置と運転映像画面（24 インチ）との間隔が 90 cm となるようにした（図 43）。模擬走行場面は、ドライビングシミュレータ（三菱プレジジョン製ドライビングシミュレータ D3sim）の映像を使用し、60km/h 等速で片側三車線の道路を走行において、模擬走行場面のイベント量を統一した。模擬走行中に音声案内を与え、案内が示す曲がり角を判断させた。

（3）動作および条件

音声案内は、「右折です」を基本形とし、目標物（「信号を」、「いちよう通り交差点を」、「ガソリンスタンドを」）、目標物修飾語（「(残距離に応じた数値) m 先の」、「次の」、「あの」）、方向補足情報（「国際会議場へ」）を組み合わせて、全部で 24 種類とした。これは、既に市販されているカーナビの音声案内を参考に、運転動画中の交差点案内図や信号の情報を使用して構成したものである。

試験の手順は、はじめに試験対象者の DS 運転の習熟試行として S 字の高速道路コースを 2 分間練習走行させ、次に試験内容の習熟試行として分析対象ではない 3 種類の音声案内を用いた試験練習を行った後、2 分間の安静時間を設けて、試験を開始した。試験内容は、200m 手前（11.2 秒前）において、「今から、四輪自動車を運転していると想定して、再生される音声案内に従って運転を行ってください。音声案内後、該当の交差点を曲がれるかどうか、口頭でお答えください」と教示し、曲がり角までの残距離が、100m 手前（5.6 秒前）、125m 手前（7 秒前）、150m 手前（8.4 秒前）のいずれかの時点で一度だけ音声案内を聞かせ、試験対象者に交差点を判断させた。交差点を判断した後に主観評価を口頭で聞いた。生理指標は、安静時間開始から試験終了まで連続で計測した。残距離の 3 条件ごとに、全 24 種類の音声案内を各 2 回試行し、音声案内を提示する順序は、試験対象者ごとにランダムマイゼーションした。

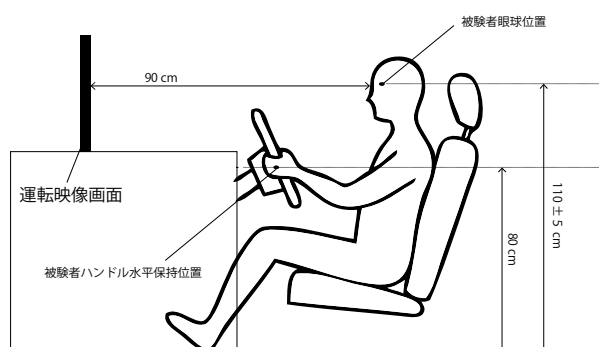


図 43 試験環境

3-1-2 評価指標

(1) 主観評価

分かり難さの評価項目は 5 段階評価（+ 2 : かなり分かり易い、+ 1 : 分かり易い、0 : どちらとも言えない、- 1 : 分かり難い、- 2 : かなり分かり難い）とした。試験対象者に評定値を口頭で回答させ、同時にその理由を聞いた。

(2) 交感神経活動指標（生理指標）

1-3-2 評価指標（2）副交感神経活動指標（生理指標）と同様に、心電計（株式会社マイクロ・メディカル・デバイス製の RF-ECG）および Bonaly Light（GMS 社）を用いた計測手法で、LF 成分領域（0.04~0.15 Hz）、HF 成分領域（0.15~0.40 Hz）を 2 秒間隔で計算した。これにより交感神経の活動指標として、LF / HF を求めた。各時点の音声案内から曲がり角までの平均値を求め、開始前の安静時間（2 分間）の平均値を基準とし、これに対する変化量を、音声案内のある運転時の計測値とした。基準から値が高い場合はストレス状態、値が低い場合はその逆と考えられる。

(3) 酸素化ヘモグロビン変化量（生理指標）

2-3-2. 評価指標（4）酸素化ヘモグロビン変化量（生理指標）と同様に、光イメージング脳機能計測装置（スペクトラテック社製、OEG-16）を使用し、脳内の酸素化ヘモグロビン変化量

を前頭部の 16 チャンネルで計測した。試験対象者ごとに毎回、原点補正のキャリブレーションを行った後、0.66 秒間隔で計測した。16 チャンネルの合計値について、各時点の音声案内から曲がり角までの平均値を求め、開始前の安静時間（2 分間）の平均値を基準とし、これに対する変化量を、音声案内のある運転時の計測値とした。基準から値が高い場合は脳が活性化している状態、値が低い場合はその逆と考えられる。

生理指標である交感神経活動指標と酸素化ヘモグロビン変化量は、各試験対象者の平均値と標準偏差で試験対象者毎に標準化し、絶対量の個人差を低減した。

3-1-3 分析手法

主観評価と生理指標のデータについて 3 種類の分析を行った。音声案内要因や距離条件の効果が有意であるか検定するための「一要因の分散分析」、要因間や条件間の違いを検定するための「Tukey 法による多重比較」、および要因毎や条件毎に主観評価に対する生理指標（交感神経活動指標と酸素化ヘモグロビン変化量）の影響度を算出するための「重回帰分析」であった。多重比較は分散分析で有意な効果がみられた場合に行い、重回帰分析は生理指標の分散分析で有意な効果が見られた場合に行った。重回帰分析は、主観評価を目的変数、生理指標を説明変数とした分析を行い、偏回帰係数の有意性によって各説明変数の影響度とした（末吉ら,2014）。すべての分析で有意水準は $\alpha=0.10$ に設定する。

3-1-4 結果および考察

(1) 目標物の呈示

a) 主観評価

図 44～図 46 は、それぞれ 100m 手前条件、125m 手前条件、150m 手前条件の主観評価を示す。各距離条件で音声案内要因による効果を検定するため分散分析を行った結果、全距離条件で有意だった（100m : $F(3,32)=8.13, p<0.01$ 、125m : $F(3,32)=15.4, p<0.01$ 、150m : $F(3,32)=17.8, p<0.01$ ）。

さらに、全距離条件で要因間の違いを調べるために多重比較を行った。図 44 の 100m 手前条件では「右折です」と「ガソリンスタンドを右折です」の間、「右折です」と「いちょう通り交差点を右折です」の間、および「信号を右折です」と「ガソリンスタンドを右折です」の間で有意差が見られた（図中に対応を示した。以下、他の図でも同様）。図 45 の 125m 手前条件では「右折です」と他の音声案内の間に有意差が見られた。図 46 の 150m 手前条件では「右折です」と他の音声案内との間、「信号を右折です」と「ガソリンスタンドを右折です」の間で有意差が見られた。

全ての条件において、単に「右折です」と案内するより、目標物を呈示する案内のほうが評価が高い。その中でも特に「ガソリンスタンドを右折です」の評価が高い。これは複数個あり得る

「信号」や、交差点名称を注視する必要のある「いちよう通り交差点」よりも具体的な目標が特定し易いからであると考えられる。

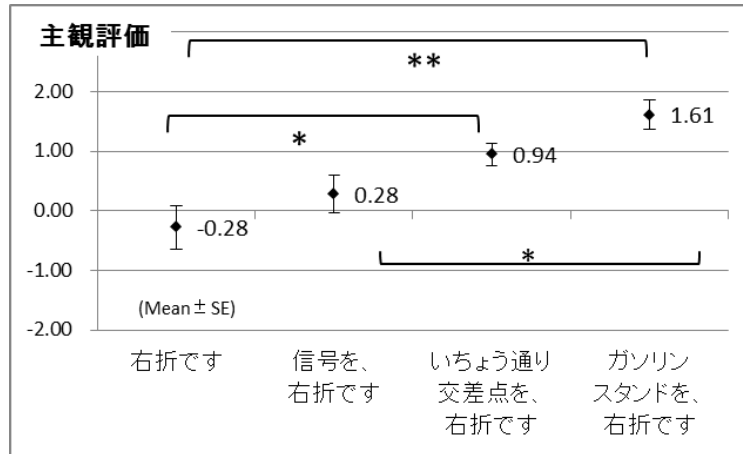


図 44 100m 手前条件の主観評価 (*: $p < 0.10$, **: $p < 0.01$)

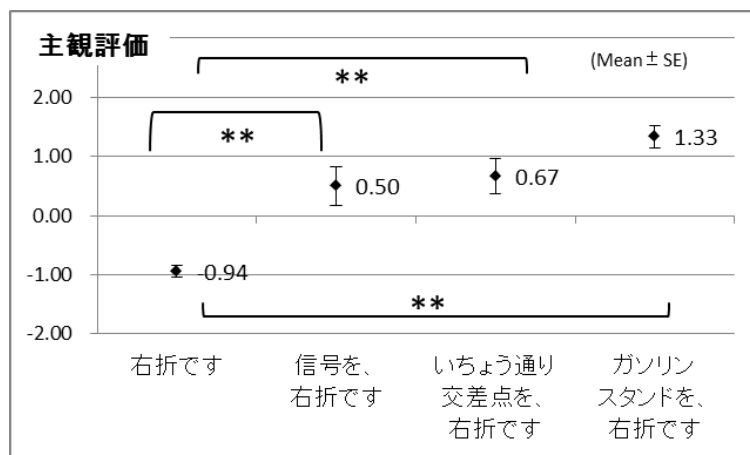


図 45 125m 手前条件の主観評価 (**: $p < 0.01$)

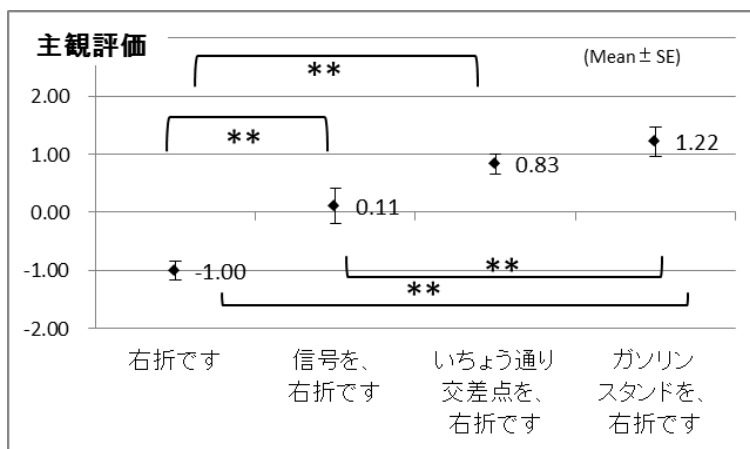


図 46 150m 手前条件の主観評価 (**: $p < 0.01$)

b) 主観評価と生理指標の対応

主観評価に対応する交感神経活動指標と酸素化ヘモグロビン変化量の結果を示す。図 47 と図 48 は 100m 手前、図 49 と図 50 は 125m 手前、図 51 と図 52 は 150m 手前の条件である。

まず、交感神経活動指標と酸素化ヘモグロビン変化量について、各距離条件で音声案内要因の効果を検定するため分散分析を行ったところ、100m と 125m 手前条件において有意であった。

(100m: 交感神経活動指標 $F(3,32)=5.97, p<0.01$ 、酸素化ヘモグロビン変化量 $F(3,32)=2.29, p<0.10$) (125m: 交感神経活動指標 $F(3,32)=3.53, p<0.05$ 、酸素化ヘモグロビン変化量 $F(3,32)=4.91, p<0.01$)。150m 手前条件では、音声案内要因による効果が見られず、これは、曲がり角まで十分な時間的余裕があったため、音声案内に関わらず、ある程度は目標物を探せたためと考えられる。

さらに、100m と 125m 手前条件について要因間の多重比較を行ったところ、100m 手前条件は図 47 交感神経活動指標において「右折です」と他の音声案内間で有意差が見られた。図 48 酸素化ヘモグロビン変化量において「右折です」と「いちよう通り交差点を右折です」の間で有

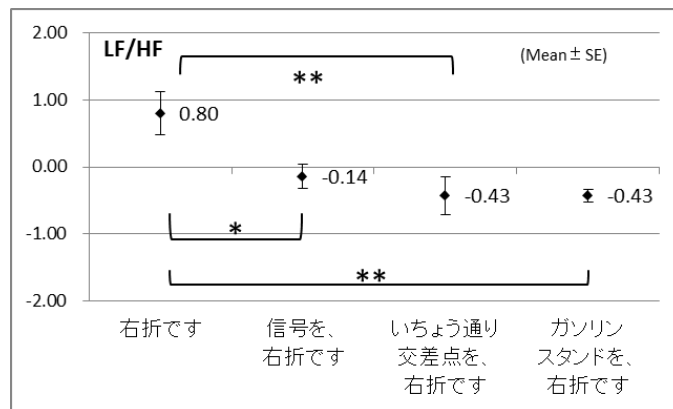


図 47 100m 手前条件の交感神経活動指標 (*: $p<0.10$,**: $p<0.01$)

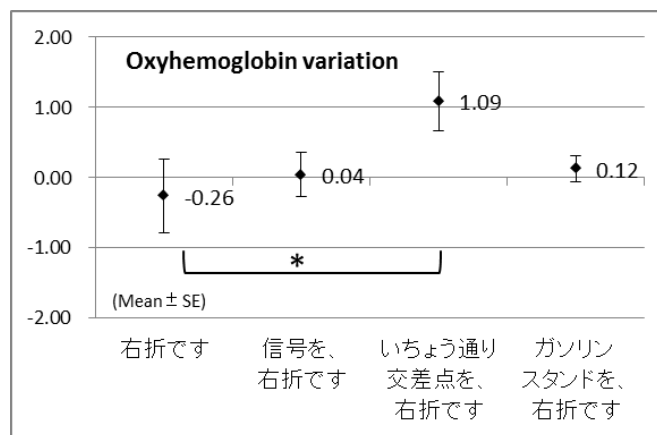


図 48 100m 手前条件の酸素化ヘモグロビン変化量 (*: $p<0.10$)

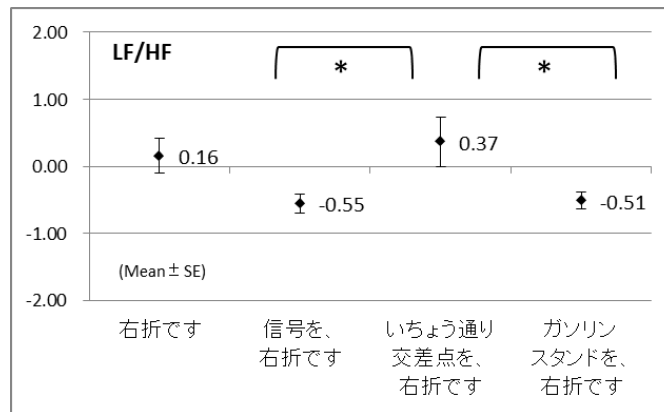


図 49 125m 手前条件の交感神経活動指標 (*: $p<0.10$)

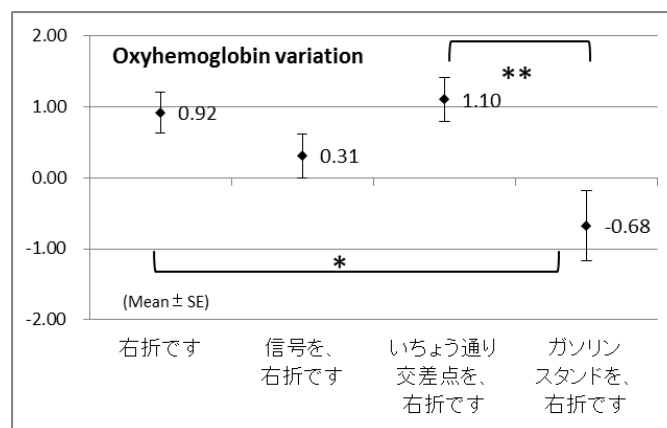


図 50 125m 手前条件の酸素化ヘモグロビン変化量 (*: $p<0.10$, **: $p<0.01$)

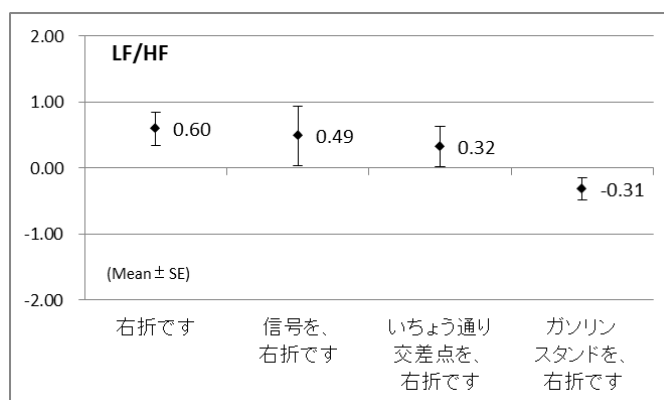


図 51 150m 手前条件の交感神経活動指標

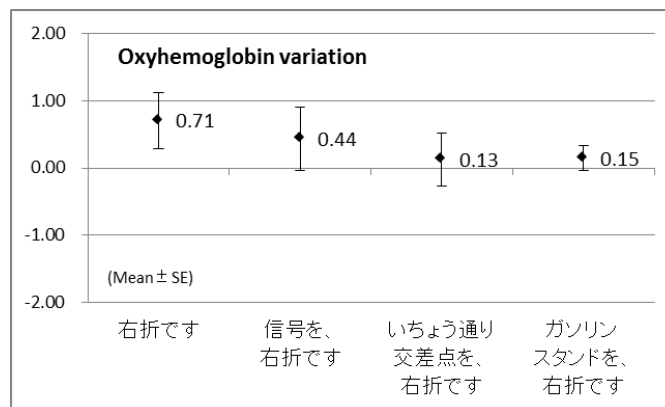


図 52 150m 手前条件の酸素化ヘモグロビン変化量

意差が見られた。125m 手前条件は図 49 交感神経活動指標において「いちよう通り交差点を右折です」と「信号を右折です」および「ガソリンスタンドを右折です」の間に有意差が見られた。図 50 酸素化ヘモグロビン変化量において、「ガソリンスタンドを右折です」と「右折です」および「いちよう通り交差点を右折です」の間に有意差が見られた。

次に、100m と 125m 手前条件について、音声案内要因毎に主観評価に対する生理指標（交感神経活動指標と酸素化ヘモグロビン変化量）の影響度を算出するために、主観評価を目的変数として生理指標とした重回帰分析を行った。結果は表 5 と表 6 にまとめた。LF/HF は、表 5 の 100m 手前条件で「右折です」と「ガソリンスタンドを右折です」、および表 2 の 125m 手前条件で「信号を右折です」と「ガソリンスタンドを右折です」で主観評価と対応がみられ、いずれもマイナスの係数となった。Oxy Hg 変化量は、表 5 と表 6 の「いちよう通り交差点を右折です」で主観評価と対応がみられ、プラスの係数となった。

「右折です」は、100m と 125m 手前条件において、主観評価と交感神経活動指標に対応がみられ（表 5）、主観評価が低いことと呼応してみると（図 44、図 45）、交感神経活動指標が基準値よりも高い値をとることはストレスを感じていると考えられる（図 47、図 49）。

「ガソリンスタンドを右折です」は、100m、125m 手前条件において主観評価と交感神経活動指標に対応がみられ（表 5、表 6）、交感神経活動指標が基準値よりも低い領域となり（図 47、図 49）、主観評価の評価が高いこと（図 44、図 45）から、目標物の分かり易さが安心感を与えたと考えられる。

「いちよう通り交差点を右折です」は、全ての条件において、交感神経活動指標に他の目標物呈示との差は明確ではなかった。しかし、100m と 125m 手前条件において、酸素化ヘモグロビン変化量が他より高い平均値となり脳が活性化しているものと考えられた（図 48、図 50）。また、試験対象者から「交差点の看板を探さなければと焦った」とコメントされたことから、具体的な目標物を案内されたことによってストレスは感じていないものの、交差点名称を見逃さないように課題に集中し、脳が活性化したと考えられる。

表 5 100m 手前条件の対応表 (N=9)

100m 手前条件	右折です	信号を 右折です	いちよう通り 交差点を 右折です	ガソリン スタンドを 右折です
LF/HF	-1.89 $t(7)=2.68,$ $p<0.05$	-	-1.24	-6.14 $t(7)=4.18,$ $p<0.01$
Oxy Hg 変化量	-0.20	-	1.01 $t(7)=2.10,$ $p<0.10$	-0.15
自由度調整済 決定係数R2	0.38	-	0.43	0.63
回帰式の 有意性	$F(2,7)=3.74$ $p<0.10$	$F(2,7)=0.22$ $n.s.$	$F(2,7)=4.40$ $p<0.10$	$F(2,7)=8.83$ $p<0.10$

表 6 125m 手前条件の対応表 (N=9)

125m 手前条件	右折です	信号を 右折です	いちよう通り 交差点を 右折です	ガソリン スタンドを 右折です
LF/HF	-	-2.50 $t(7)=2.34,$ $p<0.10$	-0.12	-4.30 $t(7)=2.61,$ $p<0.05$
Oxy Hg 変化量	-	0.52	1.42 $t(7)=2.37,$ $p<0.05$	0.20
自由度調整済 決定係数R2	-	0.38	0.43	0.43
回帰式の 有意性	$F(2,7)=0.37$ $n.s.$	$F(2,7)=3.70$ $p<0.10$	$F(2,7)=4.33$ $p<0.10$	$F(2,7)=4.46$ $p<0.10$

(2) 目標物修飾語の呈示

(1) 目標物の呈示条件で、主観評価が高い「ガソリンスタンドを右折です」について、「(残距離に応じた数値) m 先の」、「次の」、「あの」という目標物修飾語を検討する。

a) 主観評価

図 53~図 55 は、「ガソリンスタンドを右折です」について、それぞれ 100m 手前、125m 手前、150m 手前の条件における主観評価を示す。

まず、各距離条件で音声案内要因による効果を検定するため分散分析を行った結果、全距離条件で有意であった (100m : $F(3,32)=8.18, p<0.01$ 、125m : $F(3,32)=7.42, p<0.01$ 、150m : $F(3,32)=5.09, p<0.01$)。

さらに、全距離条件で要因間の違いを調べるために多重比較を行った。図 53 の 100m 手前条件では「あのガソリンスタンドを右折です」と他の音声案内の間で有意差が見られた。図 54 の 125m 手前条件でも「あのガソリンスタンドを右折です」と、「125m 先、ガソリンスタンドを右折です」および「次のガソリンスタンドを右折です」の間で有意差が見られた。図 55 の

150m 手前条件では「あのガソリンスタンドを右折です」と「次のガソリンスタンドを右折です」の間で有意差が見られた。

全距離条件において、「次の」ガソリンスタンドを右折です」の評価が高く、「あの」ガソリンスタンドを右折です」の評価が低かった。

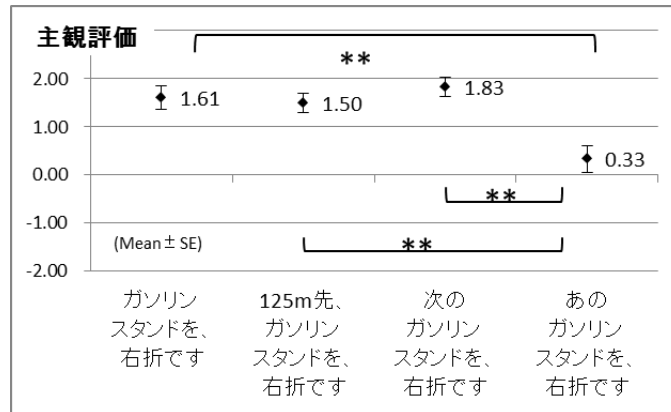


図 53 ガソリンスタンドに関する案内の主観評価 100m 手前条件 (**: $p<0.01$)

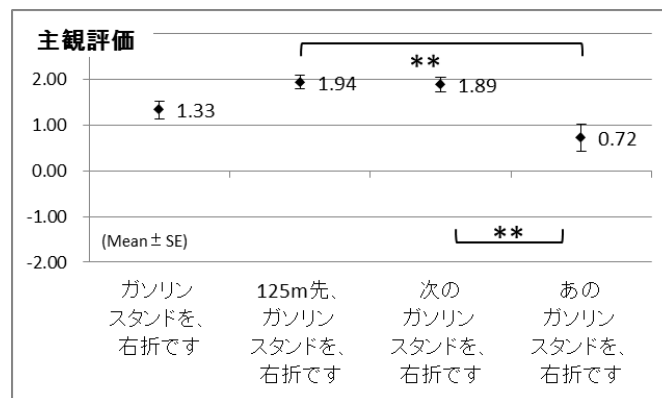


図 54 ガソリンスタンドに関する案内の主観評価 125m 手前条件 (**: $p<0.01$)

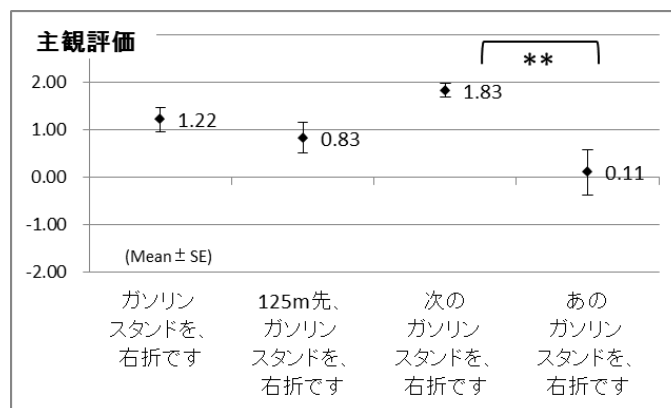


図 55 ガソリンスタンドに関する案内の主観評価 150m 手前条件 (**: $p<0.01$)

b) 主観評価と生理指標の対応

図 56～図 58 は、主観評価が低かった「あのガソリンスタンドを右折です」について、距離条件を横軸にしてまとめたものである。図 56 が主観評価、図 57 が交感神経活動指標、図 58 が酸素化ヘモグロビン変化量である。

まず、各指標で距離条件による効果を検定するため分散分析を行った結果、交感神経活動指標で有意差が見られた ($F(2,24)=4.14, p<0.05$)。

さらに、交感神経活動指標について、距離条件間で多重比較を行ったところ、100m と 150m 手前条件の間で有意差が見られた (図 57)。

次に、距離条件毎に主観評価に対する生理指標の影響度を算出するために、主観評価を目的変数として生理指標とした重回帰分析を行った。結果は表 7 にまとめ、主観評価と交感神経活動指標について 100m と 150m 手前条件で対応があった。

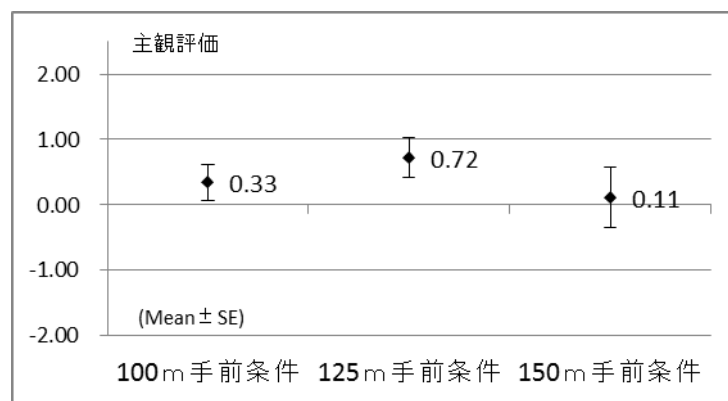


図 56 「あのガソリンスタンドを右折です」の主観評価

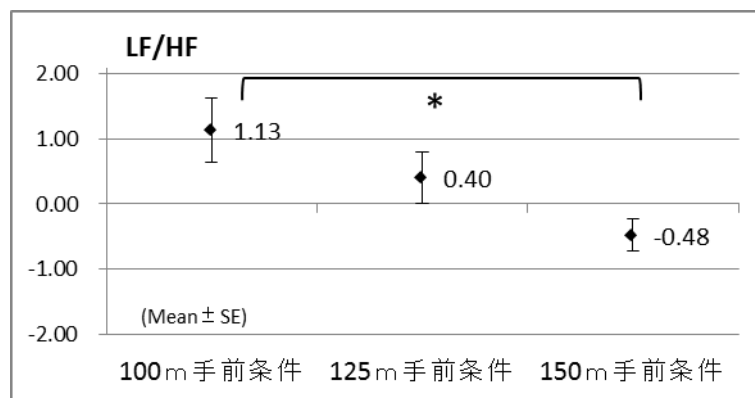


図 57 「あのガソリンスタンドを右折です」の交感神経活動指標 (*: $p<0.10$)

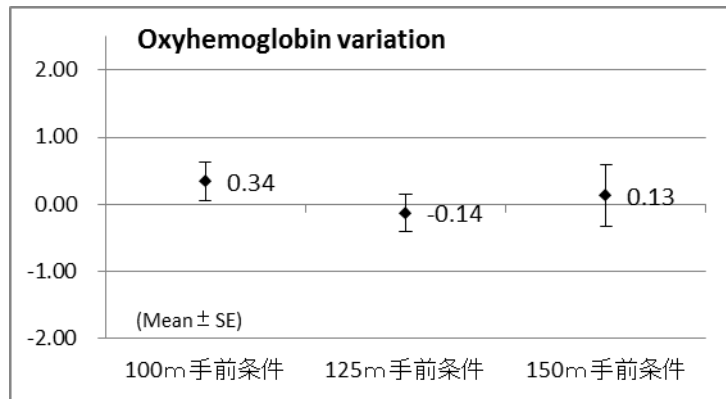


図 58 「あのガソリンスタンドを右折です」の酸素化ヘモグロビン変化量

図 56 の主観評価において、「あのガソリンスタンドを右折です」は距離条件間で有意差がなく、「どちらとも言えない」～「分かり易い」の領域で推移した。それに対応して、図 58 の酸素化ヘモグロビン変化量も距離条件間で有意差がなく、基準値とほぼ同等である。一方、図 57 の交感神経活動指標では、100m 手前条件でストレス状態、150m 手前条件でその逆となった。

以上の結果から、「あのガソリンスタンド」という案内は主観的に「分かり難い」という明確にネガティブな状態として意識されず、十分な距離を持って呈示されると安心感を与えるが、あまりにも直前に呈示されると“何となく”感じる分かり難さがあり、情報処理の負担は決して高くはないが、潜在的な精神的負担が生じ、今回は心電計による LF/HF が反映するストレス状態が高まったと考えられる。

3-1-5 本節のまとめ

本節では、運転中のカーナビの道案内で次の曲がり角を判断させる状況を再現した試験において、心電計による交感神経活動指標と NIRS による酸素化ヘモグロビン変化量を用いて、主観評価項目について検討した。

音声案内が提示する目標物と案内のタイミング（曲がり角から 100m 手前、125m 手前、150m 手前）ごとに、主観評価（分かり難さ）と生理指標（交感神経活動指標、酸素化ヘモグロビン変化量）を比較した。これより考えられる各指標の対応関係を図 59 に示す。

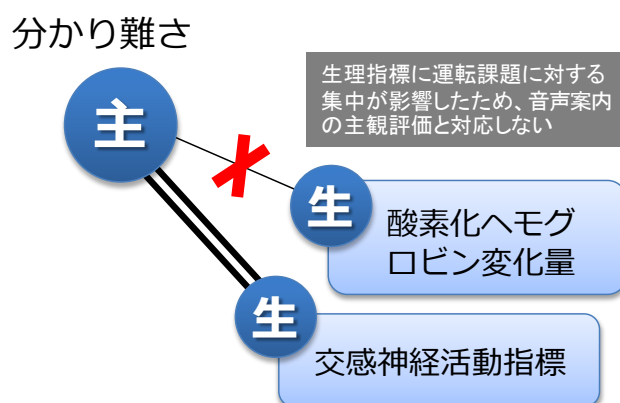


図 59 提示する目標物の違いによる各指標の対応関係モデル

音声案内の目標物を比較する条件では、主観的な分かり難さと、交感神経活動指標に対応関係が見られ、酸素化ヘモグロビン変化量に対応が見られなかった。

交感神経活動指標は、音声案内の分かり難さによる対象者のストレス状態を反映するという想定で採用した。曲がり角から 100m、125m 手前条件で「右折です」と案内されると、どこで曲がればよいか分からず心的緊張に繋がり、主観的に分かり難く、交感神経活動指標が高くなった。また、100m、125m 手前条件で「ガソリンスタンドを右折です」と案内されると、目標物の分かり易さが安心感を与え主観的に分かり易く、交感神経活動指標が低くなり、想定通りの結果が得られた。

酸素化ヘモグロビン変化量は、音声案内の分かり難さによる対象者の情報処理（思考）負担を反映するという想定で採用した。曲がり角から 100m、125m 手前条件で「いちよう通り交差点を右折です」と案内されると、主観評価と酸素化ヘモグロビン変化量に対応関係が見られた。これは、具体的な目標物を案内されたことによってストレスは感じていないものの、交差点名称を見逃さないように運転課題に集中し、脳が活性化していることを示している。

これより、多重課題試験においては、製品以外の課題に関する主観評価項目を設定する必要があり、車載機器の場合には「運転課題に対する集中」のように、運転に関する評価項目を設定する必要が考えられる。

次に、音声案内が「あの」という目標物就職語を用いる場合について、案内のタイミング（曲がり角から 100m手前、125m手前、150m手前）ごとに、主観評価（分かり難さ）と生理指標（交感神経活動指標、酸素化ヘモグロビン変化量）を比較した。これより考えられる各指標の対応関係を図 60 に示す。

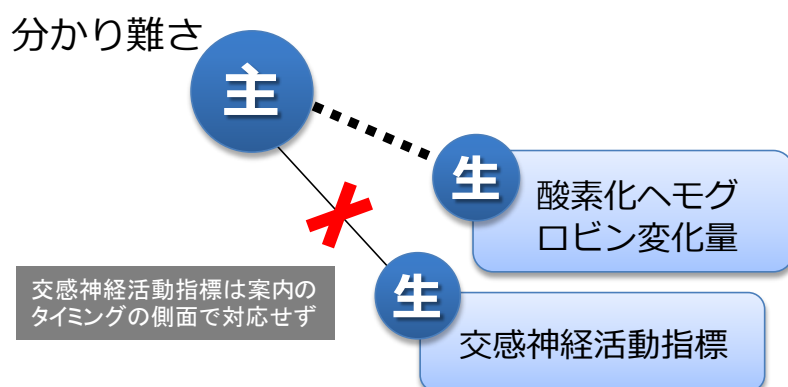


図 60 目標物就職後「あの」を含む案内のタイミングの違いによる各指標の対応関係モデル

音声案内の目標物修飾語を提示する距離条件を比較すると、主観的な分かり難さと、交感神経活動指標が対応しなかった。「あの」という目標物修飾語の提示は、曲がり角までの残時間によって、主観評価に違いがないにも拘わらず交感神経活動指標に違いがあり、これは、「あの」という案内は、分かり難かったという評価ではなく、十分な距離で提示すれば安心感を与えるものの、直前に提示されると時間的な切迫感があり、“何となく”負担があることを示している。

これより、「時間的な切迫感」のような、精神的な作業負担をもたらす要因に関する評価項目の必要性が考えられる。

第4章 総括

4-1 感性評価によるものづくり

第2章・第3章では、適切な主観評価項目の設定のための基礎的研究事例について述べた。これに対して本節では、製品に対する適切な主観評価項目が設定された場合において、感覚的・感性的な主観評価結果と、製品の機器分析データと関連付けることにより、開発に重要な知見を導出した事例について述べる。車両接近報知音に関して、主観評価（自動車認識性、快音性、高級感）の結果と、音質評価の結果を関連付け、その関係を重回帰モデルの予測式として導出したものである。

車両接近報知音とは、電気モータを使用して走行する電気自動車（Electric Vehicle、以下 EV と呼ぶ）およびハイブリッド電気自動車（Hybrid Electric Vehicle、以下 HEV と呼ぶ）に搭載される製品である。これは、電気自動車が低速走行時に一般自動車に比べて静粛であるため安全を脅かす可能性が懸念されたため、車の接近を周囲の歩行者や車に伝えることを目的としている。また、2010年に国土交通省から歩行者等に車両の接近を報知する音のガイドラインが公表された(国土交通省、2013)。ガイドラインに基づき、歩行者等に車両の接近を報知するための通報装置が EV、HEV へ搭載されるようになってきた。

この報知音に望まれる機能は、車両の接近を歩行者等に有効に認知させる「認知性(Recognizability)」、接近している発音体が車両であると想起させ、他のものと誤認をさせない「自動車認識性(Feeling like a car)」、そして、歩行者、運転者ともに不快にさせずに、むしろ心地よさを感じさせる「快音性(Pleasantness)」といった感覚的・感性的な機能が挙げられる。これまでに報知音に適したサウンドデザインの研究は進められてきたが、報知音が持つ物理的な指標と主観評価を結びつけ、予測する研究は十分でなかった。

本研究では自動車認識性、快音性と、付加価値として「高級感(Classy feeling)」を加えた3種類の項目において、SD法(難波、桑野、1998b)による主観評価を行った。次に、作成音の音質評価により、心理音響評価指標であるメトリクスを算出し、メトリクスを説明変数、主観評価データを目的変数とした重回帰分析を行うことで、主観評価の結果を予測する式を導出し、その妥当性を検討した。

4-1-1 試験方法

試験対象者に呈示する作成音とその再生方法、そして作成音の聴感から得られる印象の定量化を行う主観評価試験について説明する。

(1) 作成音と再生方法

試験対象者に呈示する作成音は、周波数特性や時間変調、音の種類を変更して人工的に作成したものとし、重回帰分析に基づく予測式の導出には 22 種類の作成音を使用した。本研究で扱う、主観評価の結果を予測するための説明変数として使用するメトリクスはシャープネス (Sharpness)、トナリティ (Tonality)、ラフネス (Roughness)、変動強度 (Fluctuation Strength) とした。予測式の導出に用いた作成音のメトリクスの分析結果の一覧を表 8 に示す。メトリクスを算出するために商用ソフトウェアの Maya Sound Quality (MAYA Heat Transfer Technologies 社) を使用した。

表 7 作成音 (22 種) のメトリクス

No.	シャープネス[acum]	トナリティ	ラフネス[asper]	変動強度[vacil]
S01	0.94	0.18	0.12	0.01
S02	0.96	0.12	0.35	0.05
S03	1.03	0.19	0.12	0.03
S04	1.39	0.15	0.20	0.11
S05	1.46	0.13	0.11	0.03
S06	1.25	0.25	0.20	0.15
S07	1.00	0.24	0.30	0.06
S08	1.29	0.11	0.43	0.06
S09	1.27	0.16	0.53	0.05
S10	1.17	0.17	0.12	0.05
S11	1.32	0.14	0.33	0.23
S12	1.08	0.26	0.11	0.15
S13	1.63	0.05	0.34	0.03
S14	1.09	0.32	0.09	0.19
S15	1.21	0.11	0.14	0.08
S16	0.62	0.61	0.00	0.01
S17	0.78	0.17	0.08	0.14
S18	0.84	0.19	0.20	0.07
S19	0.58	0.09	0.46	0.01
S20	0.64	0.10	0.09	0.04
S21	0.72	0.40	0.13	0.20
S22	0.93	0.21	0.13	0.14

さらに予測式の妥当性を評価、検証するために、周波数成分の調整や時間変調を行った作成音で主観評価を行った。作成音は①使用する周波数帯域、②和音構成、③その他の周波数成分、音の振幅の調整の 3 つの項目を組み合わせた。作成音の内容を表 9 に示す。表 9 より、①使用する周波数帯域を 50Hz から 2kHz、50Hz から 8kHz、200Hz から 8kHz の間で調整した計 3 種とした。また、②和音構成を、長調、短調、その他の和音の計 3 種とした。③音質は、変更を加えない場合と、シャープネスの変更を目的に周波数を 1 オクターブ、2 オクターブ、3 オクターブ高くした場合と、トナリティの変更を目的に、最大のピーク周波数成分を 5dB、10dB、

15dB 強調した場合と、ラフネスまたは変動強度の変更を目的に、100Hz または 4Hz の AM 変調を片振幅で 4dB、8dB、12dB で変調させた場合の計 13 種とした。上記①から③の組み合わせで 117 種類の音を作成した。

これらの作成した作成音は、音源データを PC に保存して、ヘッドフォンアンプ（Vestax 社製 CM-04）およびヘッドフォン（SENNHEISER 社製 HD 650）で、試験対象者に呈示した。

表 8 作成音の周波数成分の調整や時間変調一覧

周波数帯域	50Hz から2kHz
	50Hz から8kHz
	200Hz から8kHz
和音構成	長調
	短調
	その他
その他周波数成分や 振幅変調	変更なし
	周波数（+1オクターブ、+2オクターブ、+3オクターブ）
	最大ピーク周波数成分（+5 dB,+10dB,+15dB）
	100Hz 振幅変調（±4 dB,±8dB,±12dB）
	4Hz 振幅変調（±4 dB,±8dB,±12dB）

（2）試験対象者

予測式を作成するための22 種類の報知音の試験は、健常な聴力をもつ男女混合の成年が参加し、男性は20 歳代が3 名、30 歳代が7 名で平均年齢が34 歳、女性は20 歳代が3 名、30 歳代が2 名で平均年齢が29 歳、男女の合計15 名で平均年齢が30 歳である。また、作成した予測式の妥当性を検討するための117 種類の報知音の試験には、同様に、男性は20 歳代が6 名、30 歳代が4 名で平均年齢が30 歳、女性は20 歳代が2 名、40 歳代が2 名で平均年齢が34 歳、男女の合計14 名で平均年齢が31 歳である。

4-1-2 評価指標

本研究では、自動車認識性、快音性、高級感に関する主観評価を行った。

試験対象者には一定音量の作成音を5 秒間聴取させて、肯定的な形容詞と否定的な形容詞を一对（形容詞対）とした質問を呈示して、聴取した作成音を否定的から肯定的に1 から7 までの7 段階のどのレベルに位置するか判断させるSD 法により検討を行った。この段階のレベルを評価点として、試験対象者全員の試験結果の平均値で検討した。試験に使用した形容詞対は、自動車認識性では「自動車らしい (7) - らしくない (1)」、快音性では「心地よい (7) - 不快な (1)」、高級感では「高級感のある (7) - 安っぽい (1)」とした。

なお、主観評価の評価点は音の特徴を表すもので、例えば快音性では、警告性のためにあえて

不快感を持たせる等、サウンドデザインにより否定的な音を必要とする場合もあるため、成績の優劣を表すものではない。

4-1-3 結果と考察

重回帰分析により、主観評価結果（自動車認識性、快音性、高級感）を、表 8に示す22種の作成音の音質評価結果（シャープネス、トナリティ、ラフネス、変動強度のメトリクス4種）から予測する予測式を求めた。

22 種類の音における最大で 4 種類のメトリクスから重回帰分析して求めたものなので、ある確からしさの範囲でばらついている。ばらつきは例えば、考慮されていないメトリクスや、他の主観評価に関わる要因等である。また、将来観察するであろう他の標本についても、なんらかの不確かさが入る。その中には、予測式を推定するのに用いた22 種類の母集団とは異なる性質を持っている可能性もあり得る。したがって、この式に幅を持たせ、その確からしさの範囲として、信頼水準95%の予測区間を求めた。

(1) 主観評価の結果と重回帰分析の検討

予測式を導出するために行った表 8の作成音における主観評価の結果を図 61にまとめる。

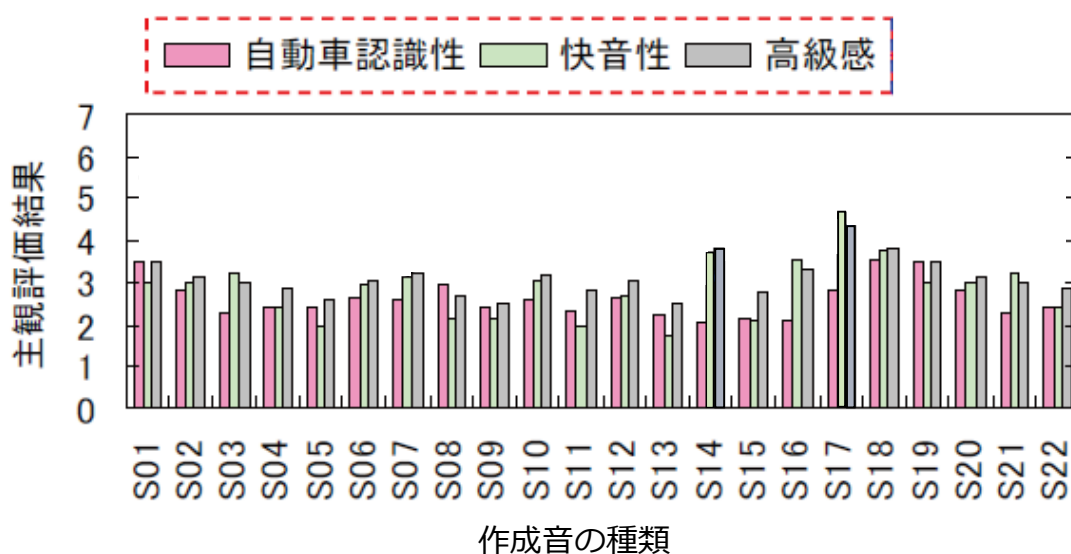


図 61 主観評価結果

表 8および図 61の結果から重回帰分析を行い、算出した各メトリクスの係数の結果と自由度調整済みの決定係数(R_j^2)を表 10にまとめる。快音性、高級感 R_j^2 が0.8 以上で、自動車認識性に比べて予測式による推測値が実測値に近い分布であると考えられる。

表 10の各メトリクスの係数の正負より得られる主観評価の評価点の傾向を見ると、シャープ

ネスでは、自動車認識性、快音性、高級感はシャープネスが低いほど評価点の推定値が高くなる傾向であった。

一方、トナリティは、自動車認識性、快音性、高級感のいずれにおいてもトナリティが低くなるほど評価点の推定値が高くなる傾向であった。これは、トナリティが高いほど純音成分が強くなり、広帯域のノイズに対する可聴性がよくなることを表すため、妥当な結果と考えられる。また、ラフネスが大きいほど自動車認識性の評価点が高くなるが、快音性では評価点の推定値が低くなった。変動強度が大きいほど快音性と高級感の評価点が高くなった。ただし、これらの変化は表 8で示した範囲の中での傾向であり、それを超える範囲では傾向が変化する可能性があるため、次の117音での検討により確認を行う。

表 9に示した条件の117音について、音質評価および主観評価を行い、音質評価の結果と予測式により得られる主観評価の推定値を横軸にとり、主観評価の実測値を縦軸にとったものを図 62に示す。再生する周波数帯域の範囲と和音構成により図中の系列を分類した。また、図 62には22音および117音の評価結果と、予測区間の回帰直線、および117音の予測区間の上限から下限までの幅の平均値を示す。

22音に対する117音の予測区間は、音のサンプル数を増やした場合の誤差の広がりを表す。

表 9 主観評価結果に対するメトリクスの重回帰係数と決定係数一覧

メトリクス \ 評価項目 (j)		評価項目 (j)		
		自動車認識性 (2)	快音性 (3)	高級感 (4)
a_{jk}	シャープネス	-2.32	-3.19	-2.09
	トナリティ	-4.20	-1.19	-1.78
	ラフネス	1.73	-0.78	—
	変動強度	—	1.81	2.07
a_{j0}	定数項	5.90	6.79	5.82
p_j		3	4	3
	自由度調整済みの決定係数 R_j^2	0.68	0.87	0.80

図 62では、和音構成と周波数帯域が同じものが塊状に分布しており、その中から音質調整によって分布がばらついていることから、和音構成と周波数帯域で評価点の傾向が大きく定まると考えられる。

図 62 (b)の快音性では、推定値に対して実測値が全体的に低くなり、推測値よりも実測値の方が低かったのは106種類であり、22音の信頼水準95%の予測区間を下回ったのは84種類であった。今回のデータは和音構成と周波数帯域を変更した大きな変更に対して音質調整により小さな変更を行った作成音が複数あり、完全にランダムな音の種類で検討していない。そのため、予測式と表 10の係数で表す予測式でも一定の評価傾向は表現できているが、特定の異なる性

格の音の影響が大きくなり、全体的に実測値が低下していることが考えられる。さらなる予測精度の向上には、現在考慮に入れていない関係項目の追加が必要と思われる。図 62 (c)の高級感では、比較的よい予測ができており、117 音の信頼水準95%の予測区間の縦軸の幅が2.4 と他の評価項目に比べて狭く、ばらつきの差が小さい傾向にあることが分かった。

図 62において、117 音の信頼水準95%の予測区間から外れた音の数は、117 音のうち試験項目あたり最大で6 種類であった。この予測区間から外れた音は、4Hz または100Hz のAM変調では±12dB、音程の変更では+3 オクターブなど、音の変更量が特に大きいものが多く、このような場合は予測式からの乖離が大きくなると考えられる。

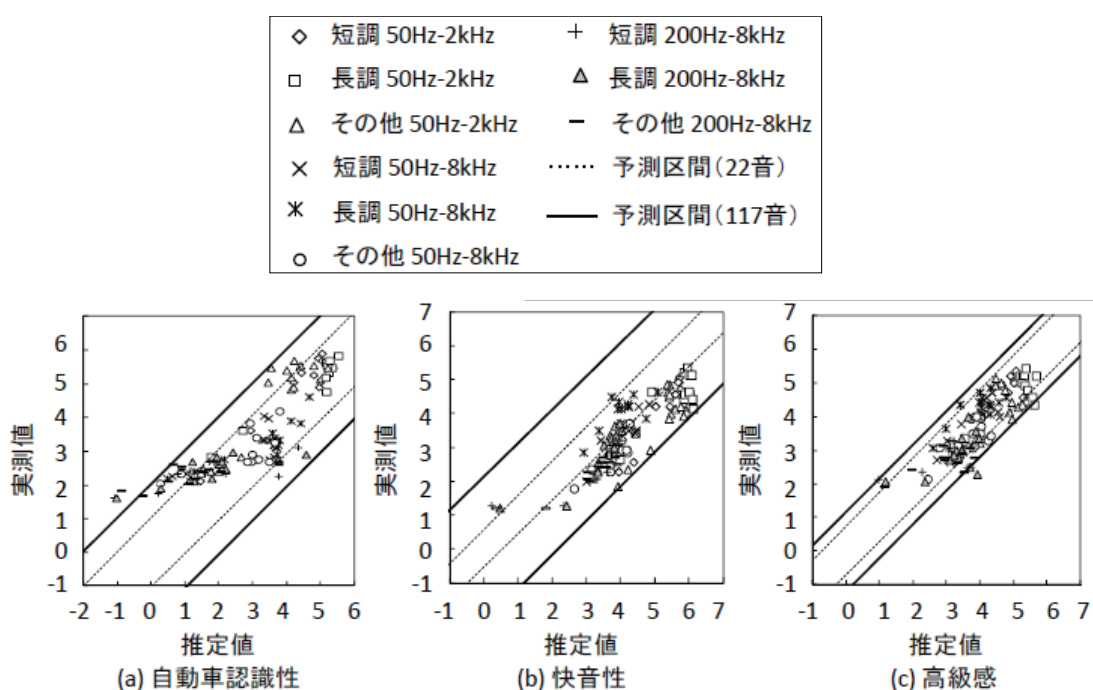


図 62 予測式により得られる主観評価の推定値と主観評価の実測値の対応

4-1-4 本節のまとめ

本節では、感覚的・感性的な主観評価結果と、製品の機器分析データと関連付けることにより、開発に必要な知見を導出した事例について述べた。

車両接近報知音について、「自動車認識性(Feeling like a car)」、「快音性(Pleasantness)」、「高級感(Classy feeling)」に対する主観評価を行うとともに、報知音の音質評価により、心理音響評価指標であるメトリクスを算出し、メトリクスを説明変数、主観評価データを目的変数とした重回帰分析を行った。結果として、車両接近報知音が持つ物理的な指標から、主観評価の結果を予測するための予測式を導出することができた。

本研究で対象とした車両接近報知音は、ガイドラインによって「認知性(Recognizability)」、

「自動車認識性(Feeling like a car)」、「快音性(Pleasantness)」といった規定があり、製品の目指すべき品質が明らかであった。また試験内容は、車両の接近を検知するという単一課題であった。したがって、それを評価する主観評価項目を適切に設定することができたと考える。

本節の事例のように、適切な評価項目による主観評価によって、製品の品質パラメータを関連付ける統計データを得ることができ、更に両者の関連付けをモデル式で表現することができれば、製品の品質設計の際に、条件の変更（内挿や外挿）を自由にできるため、効率的な製品開発が可能となる。

4-2 感性の定量評価技術

本論文では、多重課題の状況で使用される製品の例として車載機器を取り上げ、主観評価と行動指標および生理指標との対応関係を検討した。

主観評価項目は、評価における着眼点であり、その製品に対する「評価軸」となる。試験実施者にとっては、製品の品質を反映した価値観であり、試験対象者にとっては価値観に意識を登らせるための言葉となる。したがって前節で述べたように、主観評価項目が適切に設定されれば、使用者の感覚・感性を数値化し、製品の品質パラメータと関連づけることが可能となる。しかしながら製品を使うシーンが複雑な場合、たとえば二重・三重の多重課題の状況である場合には、製品使用時に常に製品に対して意識を向けているわけではないため、体験を通じた項目の設定が必要である。

本節では、新しい製品分野であって主観評価項目が確立されていない場合において、主観評価と定量指標である行動指標および生理指標との対応関係から、適切な主観評価項目を設定するための方法について論じる（図 63）。

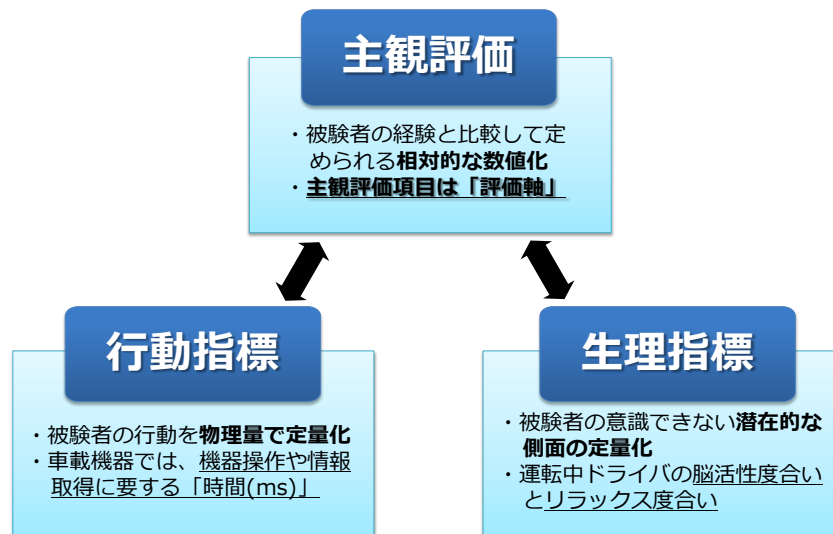


図 63 本論文のモデル

4-2-1 主観評価と定量指標が対応する場合

(1) 行動指標

人体の動作と密接に関係する主観評価項目は、動作をあらわす行動指標との傾向が一致する。

車載 HUD の表示位置による視認性を比較する事例（2-1）では、高齢ドライバは、一般ドライバよりも上 HUD の読み取りに時間が掛かり、見難さを感じていたことが分かった。これは高

齢者の視認特性として、加齢に伴い視線の安静位方向が（一般ドライバよりも）下降したためと考えられる。表示の視認時間は、主観評価（見やすさ）と傾向が一致し、車載HUDという新規の表示デバイスであっても、また、高齢者を対象とした評価においても、見やすさを定量化する指標として有効であった。

警告アイコンの表示位置を比較する事例（2-2）では、アイコンの認識時間は、主観評価（危険感、目立ち感）と傾向が一致し、主観評価の定量指標として有効であった。これは、警告アイコンは危険を示唆する意味合いが強く、視認性が良いほど危険感・目立ち感が高まるためと考えられる。

行動指標と主観評価

**主観評価項目が人体の動作と密接に関係する場合、
行動指標は主観評価と対応する**

ex) 視認時間 = 眼球の動きと関係する主観評価 (+ 試験条件)



(2) 生理指標

a) 主観評価と自律神経活動指標が対応する場合

危険因子の枠取り表示を比較する事例（2-2）で、交感神経活動指標は、主観評価（危険感、目立ち感）と傾向が一致した。警告表現に点滅が付与されると、主観的な危険感・目立ち感が高まり心的緊張感をもたらしたため、交感神経活動指標が高まった。

道案内ナビの音声案内の内容を比較する事例（3-1）で、案内地点から距離が遠いタイミングで「右折です」のみ案内されると、どこで曲がればよいか分からず心的緊張感となり、主観的に分かり難く、交感神経活動指標が高くなった。また一方で、「ガソリンスタンドを右折です」と案内されると、目標物の分かり易さが安心感を与え主観的に分かり易く、交感神経活動指標が低くなった。

b) 主観評価と酸素化ヘモグロビン変化量が対応する場合

カーナビの画面切替時間を比較する事例（2-3）で、主観的な“サクサク感”と酸素化ヘモグロビン変化量に相関関係があり、機器操作時に“サクサク感”がある場合には、操作に対して多くの注意を向ける必要が無くなり、酸素化ヘモグロビン変化量が減少することが分かった。また、特に、主観評価項目の「反応の良さ」と酸素化ヘモグロビン変化量は、全ての画面切替時間の条件で、偏相関係数に負の相関がみられた。これは、試験対象者が機器操作に反応の良さを感じていると、課題に注意を向ける必要がなく、酸素化ヘモグロビン変化量が低くなったためと考えられる。「反応の良さ」は、主観評価の評価項目の中で画面切替時間条件による差が最も出やすい項目であり、操作に対して反応が良いことが、“サクサク感”を高める要素であると考えられ、酸

素化ヘモグロビン変化量もその考えを裏付けている。

上記の a)・b) をまとめると、主観評価と生理指標が対応するのは、主観評価の対象となった課題（製品に関する課題）が多重課題全体に占める割合が大きい場合か、主観評価項目が多重課題全体として見ても適切に設定されている場合である。これは、生理指標が多重課題試験における全体の総合的な定量値を示すためと考えられる。

生理指標と主観評価

特定課題が多重課題全体に占める割合が大きい場合、または主観評価項目が課題全体として見ても適切である場合に対応する

ex)自律神経活動指標 = 警告表現による主観的「危険感」対応。
同一画面で視認負担が同じだった。



ex)Oxy HG = ナビ操作に対する主観評価「反応の良さ」と対応。
操作に反応の良さがあると課題全体に多くの注意を向けない。

c) 生理指標の意味づけ

また、生理指標の数値は、その値が何を表すのか不明確な場合があるが、主観評価の評価軸と対応が取れるセットが見つかった時に、その意味を理解することが出来る。本論文では、運転中の車載機器に関する評価を通じて、心電計による自律神経活動指標がドライバのストレス状態・心的緊張感を反映し、前頭部 N I R S による酸素化ヘモグロビン変化量が課題に対する注意を向ける度合い・集中の度合いを表す、という意味付けを考察することができた（図 64）。

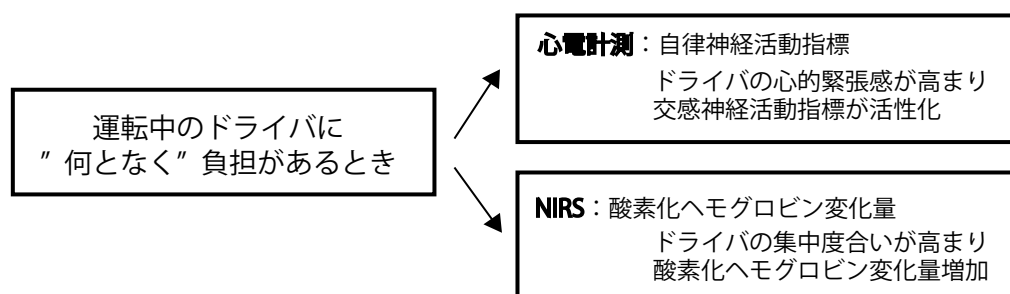


図 64 生理指標の意味づけ

また、主観評価と定量指標が対応する場合は、主観評価項目の客観性が担保される。主観評価の項目である「評価軸」（すなわちその製品の品質に結びつく「価値観」）に、定量指標によって数値を与えることが可能となる。

4-2-2 主観評価と定量指標が対応しない場合

(1) 行動指標

行動指標が主観評価の要因となっていない場合、行動指標は主観評価と一致しない傾向を示す。

危険警告表示で、危険因子の枠取り表示を比較する事例(2-2)で、表示の認識時間は、主観評価(危険感、目立ち感)と傾向が一致しなかった。警告が同一の領域で表示される場合は表示視認性に違いがないため、認識時間は主観評価の直接的な原因とならなかった。

カーナビの画面切替時間を比較する事例(2-3)では、ナビ操作時間に差が見られなかった。画面切替時間によって主観的な“サクサク感”に違いがあっても、操作パフォーマンスには影響しないと考えられる。

上記はいずれも、主観評価が条件によってある傾向を示すのに対して、行動指標については条件による差がないという結果であり、行動指標の直接的要因である人体の動作と密接に関係しない主観評価項目では、定量指標となり得ないことを示している。

行動指標と主観評価

**主観評価項目が人体の動作と密接に関係しない場合、
行動指標は主観評価と対応しない**

(2) 生理指標

a) 主観評価と自律神経活動指標が対応しない場合

警告アイコンの表示位置を比較する事例(2-2)で、交感神経活動指標は、主観評価(危険感、目立ち感)と傾向が一致しなかった。これは、交感神経活動指標が、警告アイコンを表示する位置によって視認負担を数値化したため、主観評価で聞いた警告アイコンの印象は直接的な関係でなかったと考えられる。

カーナビの画面切替時間を比較する事例(2-3)で、副交感神経活動指標は、カーナビ課題に関する主観評価とは傾向が一致しなかった。これは、心電計による副交感神経活動指標は、運転課題を含めた二重課題全体としての心的緊張感の総量を計測したためと考えられる。

道案内ナビの音声案内の内容を比較する事例(3-1)で、「あの」という目標物修飾語の呈示は、曲がり角までの残時間によって、主観評価に違いがないにも拘わらず交感神経活動指標に違いがあった。これは、「あの」という修飾語が呈示されるタイミングによる心的緊張感は、主観的な「分かり難さ」とは別の評価項目を設定する必要性を示唆している。

b) 主観評価と酸素化ヘモグロビン変化量が対応しない場合

カーナビの画面切替時間を比較する事例(2-3)で、主観評価「スピーディさ」と酸素化ヘモ

グロビン変化量は、画面切替時間 300ms と 1500ms では相関がなく、500ms と 1000ms の条件において相関がみられ、偏相関係数はいずれも正の値となっている。500ms と 1000ms の条件で、試験対象者がスピーディさを感じていると、課題に注意を向ける頻度が多く、酸素化ヘモグロビン変化量が増加したものと考えられる。これは、この時間条件ではスピーディさがある意味ストレス要因になったと考えられる。

上記の a)・b) より、生理指標は多重課題試験の総合的な定量値であり、製品に関する主観評価項目とは影響した原因が異なったため、傾向が一致しなかったと考えられる。

生理指標と主観評価

主観評価と生理指標に影響した原因が異なる場合、 生理指標は主観評価と対応しない

また、主観評価と生理指標が対応しない場合は、それぞれで製品に求める性能が異なる可能性がある。生理指標で得られる潜在的な側面は、多重課題における課題全体の総合的な定量値となるため、製品に対する主観評価では評価項目が不足するためである（図 65）。したがって、両者の不一致はこれを検出するのに有効である。本論文の各事例で考察したように、その不一致の原因の考察に基づいて適切な主観評価項目を追加することで、多重課題の全体を見た評価が可能となる。

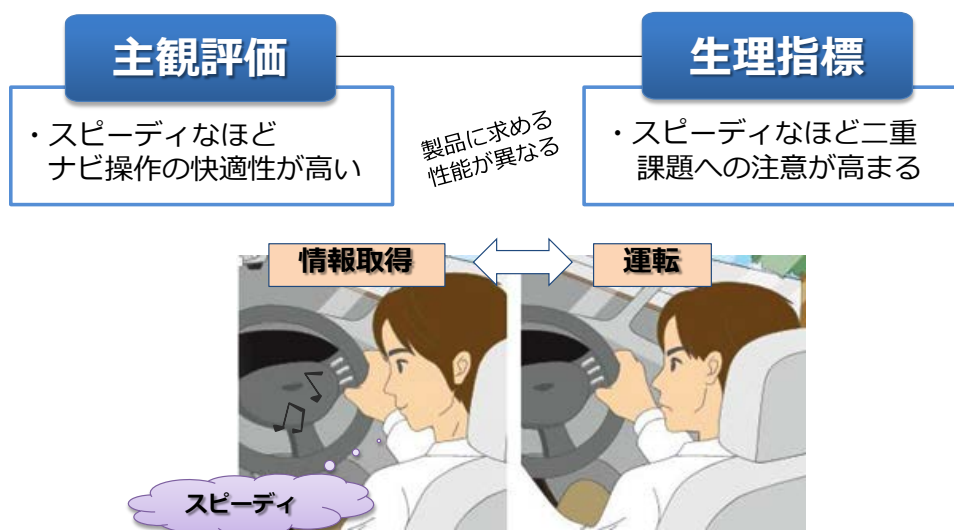


図 65 主観評価と生理指標が製品に求める性能の違い

4-2-3 製品に対する「評価軸」の把握

主観評価項目すなわち評価軸となる「言葉」の設定が非常に重要で困難である。製品の中には、例えば、案内を聞いて“ドギマギ感”を感じる、操作に対して“サクサク感”を感じる、とるように製品を使用した体験を曖昧な評価項目であらわす場合がある。このような場合は、評価項目を一般的でブレの少ない言葉の組み合わせで表現する必要があるが、従来の記述式的手法ではリアルな体験が欠如しており、新しい体験や心地よい体験を付加価値とする製品評価においては、適切な項目設定ができない。

本論文の事例では、運転中のナビ操作に対する“サクサク感”を、より一般的な言葉である6つの評価項目の組み合わせとして評価した。結果的には、生理指標との対応がよく一致する「反応の良さ」という評価項目で概ね表現できることが分かった。また「スピーディさ」は、主観評価と生理指標が一致しないことにより、多重課題としての評価項目の不足を導き出すことに役に立った（図 66）。

このように主観評価と生理指標の対応関係を調べることで主観評価項目を整理することが出来る。したがって初期の段階では、評価項目の言葉だしを幅広く、網羅的に行うことで、抜けの無い評価が可能となる。

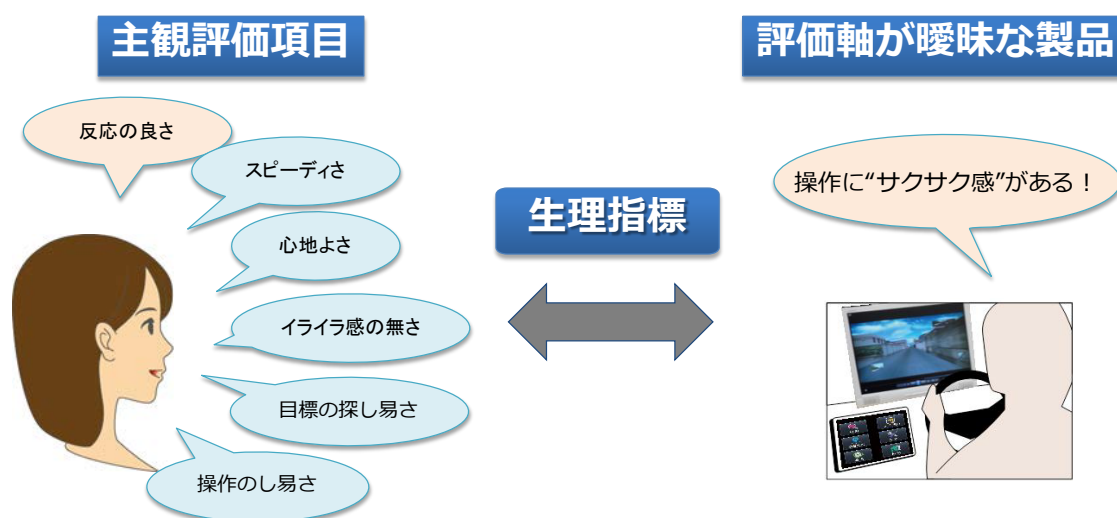


図 66 評価軸が曖昧な製品に対する主観評価項目の設定

4-2-4 人と機械のコミュニケーションシステムに対する評価手法

以上を総括して、多重課題の状況で使用される「人と機械のコミュニケーションシステム」に対する評価手法を提案する。全体の流れとして次の二つのステップがある（図 67）。

ステップ 1：行動指標および生理指標という定量指標で裏付けされる主観評価の項目（評価軸）と試験条件を、少人数の試験によって見出す。

ステップ 2：そこで得られた主観評価項目を、多人数の試験に展開し、統計的処理によって対象システムを評価する。

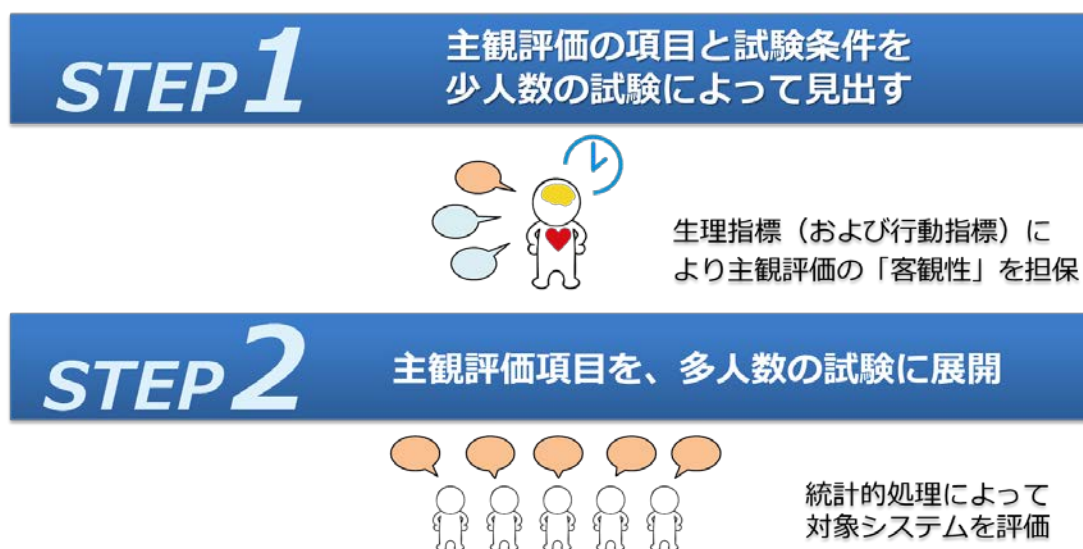


図 67 人と機械のコミュニケーションシステムに対する評価手法イメージ

本論文では、車載機器を事例として、主にステップ 1 について論じた。

ステップ 1 の主観評価の客観性の担保において、行動指標は冒頭で紹介したガイドライン等で義務化されているものもあるので、それは必要条件として実施するとして、義務化されていないものについては、主観評価の「項目を評価する」のに使うという考えである。その際、行動指標は身体の動きとの関連性を考慮して設定することが重要である。

生理指標は、試験自体が大掛かりになり、多人数を対象とした評価には実際問題としては適用が困難であるため、同じく主観評価の「項目を評価する」のに使うという考えである。

生理指標はステップ 1 において、品質の価値観に相当する言葉を、一般的でブレの少ない言葉の組み合わせで表現する場合に、ふるいにかける言葉を、幅広く、網羅的に用意した上で、適切に設定する際に有効である。

また、ステップ 1 において主観評価と生理指標が一致しない場合に、新たに追加すべき主観評価項目を考察する際に有効である。配慮する項目として、次の 3 つが考えられる。

- ① 人体の動作による負担に関する評価項目
- ② 精神的な作業負担をもたらす要因に関する評価項目
- ③ 多重課題において製品以外の課題に関する評価項目

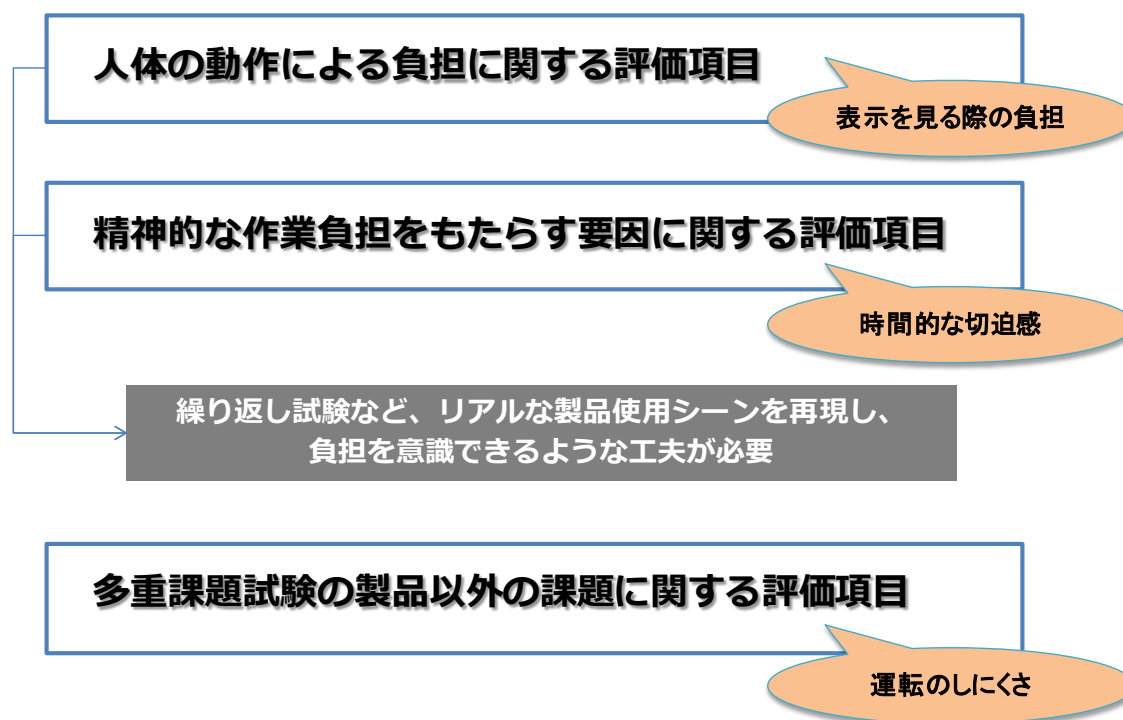


図 68 多重課題試験において配慮すべき主観評価項目の例

ステップ 1 において客観性が担保された主観評価項目が適切に設定できれば、ステップ 2 において、主観評価と製品の品質パラメータを関連付ける統計データを得ることが出来る。本論文における車両接近音の事例（4-1）のように、両者の関連付けをモデル式で表現することができれば、製品の品質設計の際に、条件の変更（内挿や外挿）を自由にできるため、効率的な製品開発が可能となる。

引用文献

- 坂田礼子, 石川美穂, 古橋拓也, 代田光宏, 松本崇, 神宮英夫, 風発生装置の送風に対する“爽快感”の測定, 日本官能評価学会誌,18(2), 2014a
- 坂田礼子, 太田智也, 澤田均, 平井正人, 神宮英夫, カーナビゲーションシステムの音声案内に関する分かり易さ評価, 人間生活工学研究センター機関紙「人間生活工学」(査読中)
- Reiko SAKATA, Tomoya OTA, Hitoshi SAWADA, Masato HIRAI, Hideo JINGU, Study on Understanding of the Car navigation's Voice Guidance, Proceedings of the ISASE2015 of the International Symposium on Affective Science and Engineering, Tokyo, Japan, 2015 (印刷中)
- Reiko SAKATA, Emiko KIDO, Takuji MORIMOTO, Study of Visual Recognition Ability of Content on Automobile Head-Up Displays in Elderly Subjects, Proceedings of the UD2014 of the International Association for Universal Design, Tokyo, Japan, 2014b
- 坂田礼子, 神宮英夫, 生理計測を用いた感性の定量評価技術に関する研究-機器操作時のサクサク感について-, 日本感性工学会論文誌,13(1), 49-54, 2014c
- Reiko SAKATA, Takuji MORIMOTO, Emiko KIDO, Hideo JINGU, Measurement on the feeling of “Bikkuri” at danger warnings, Proceedings of the AVEC'14 of 12th International Symposium on Advanced Vehicle Control, Tokyo, Japan, 51, 2014d
- 八重樫直樹, 吉田佳子, 青柳貴久, 加藤陽一, 表朝子, 沢田久美子, 坂田礼子, 伊福部達, 上田一貴, 車両接近報知音の評価手法の開発, 日本機械学会学術誌(和文誌),80(812), TRANS0071, 2014

参考文献

- 相川真実ら: コンセプトカー“EMIRAI2”のHMI, 三菱電機技報 特集論文, 11-14, 2014-07
- 朝倉康夫: 官能検査 4 官能評価に用いられる統計手法, ASEV Jpn. , 8(2) ,105-110, 1997
- 安藤理恵, 岡林繁: 自動車用オーグメンテッド・インターフェースにおける表示像までの視距離の影響, 電子情報通信学会技術研究報告. ITS 108(471), 35-40,2009
- 飯塚佳子ら: 官能評価学会誌,6,138-145,2002
- 今村美穂: 記述型の官能評価/製品開発における QDA 法の活用,化学と生物, 50(11), 818-824, 2012

- 江田英雄：NIRSの問題点と今後の展開(<特集>脳機能イメージングの拡がり), システム制御
情報学会誌 53(4), 155-161, 2009
- 江部和俊ら：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(3),
55-62,1999
- 江部和俊ら：カーナビゲーションの負担度評価, 国際交通安全学会誌,26(4), 251-258, 2001
- 江崎翔ら：生理指標を主成分分析することによりドライバの疲労状態を推定する研究,公益社団
法人 自動車技術会 学術講演会前刷集 122, 9-12,2011
- 岡林繁ら：自動車用ヘッドアップディスプレイ(HUD)にみられる「3次元的に空間に位置する視
距離が異なる視対象」の認識, 映像情報メディア学会誌 57(12), 1677-1683,2003
- 太田智也ら:音声案内の“ドギマギ感”に関する研究, 第16回日本感性工学会大会 講演集, D72,
2013
- 川瀬悠ら：生体情報によるドライバの危険感推定,公益社団法人 日本自動車技術会 学術講演会
前刷集 128(13), 1-5,2013
- 小島崇ら：機能的近赤外分光(fNIRS)装置を用いた列車運転時の高次脳機能計測, 人間工学
43(4), 193-200, 2007
- 坂田礼子, 神宮英夫：機器操作時の「サクサク感」の計測, 日本人間工学会第 54 回大会講演
集,290-291, 2013a
- 坂田礼子ら：表示視認時の「ビックリ感」の計測, 日本人間工学会関東支部第 43 回大会講演集,
40210-3, 2013b
- 末吉正成ら：R ではじめるビジネス統計分析, 株式会社翔泳社, 180-183, 初版 2014
- Stone, H. & Seidel, J. L: “Sensory Evaluation Practices,”3rd ed., Elsevier Academic Press,
California, 2004.
- 高村真広ら：動的視覚ノイズが具象単語産出課題中の脳活動に及ぼす影響— 近赤外分光法
(NIRS)を用いた検討—, 広島大学心理学研究,13,1-10,2014
- 寺崎正治ら：多面的感情状態尺度の作成,心理学研究 62(6), 350-356, 1992,
- 田村守:近赤外分光法—人体内部を探る—, 計測自動制御学会,計測と制御, 36(5), 344-348,
1997
- DEPARTMENT OF TRANSPORTATION National Highway Traffic Safety Administration
(NHTSA). 2013. “Visual-Manual NHTSA Driver Distraction Guidelines For In-Vehicle
Electronic Devices”. Docket No. NHTSA-2010-0053

- 仲村哲明ら：オノマトペが属する五感の推定, 人工知能学会,インタラクティブ情報アクセスと可視化マイニング研究会(第4回),SIG-AM-04-01,1-8,
- 難波精一郎, 桑野園子：音の評価のための心理学的測定法, 日本音響学会 編,30-33,1998a
- 難波精一郎, 桑野園子：音の評価のための心理学的測定法, 日本音響学会 編, 107-112,1998a
- 中村弘和ら：変動微風空調システム実用化に関する研究(第1報)変動微風が快適性およびプロダクティビティに与える影響の把握, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 853-856,2005
- 中村弘和ら：変動微風空調システムの実用化に関する研究－変動微風が心理量および生理量に与える影響－, 日本建築学会環境系論文集, 618, 23-30,2007
- 野崎博路：難しい車両コントロールと発汗量によるドライバリスク, 一般社団法人日本機械学会 日本機械学会論文集.C編 71 (703) ,979-986, 2005
- 林博史：心拍変動の臨床応用—生理的意義, 病態評価, 予後予測”, 医学書院, 15–16, 1999
- 福田忠彦：高齢者とテレビ：加齢に伴う視覚機能の変化, テレビジョン学会誌, 44(1), 39-46,1990
- 藤越 康祝ら：経時データ分析, オーム社 開発局編, 株式会社オーム社, 東京, 71-81,2008
- 本多 麻子：バドミントンのサービスにおける心理・生理・行動指標の関連, 東京成徳大学研究紀要-人文学部・応用心理学部-, 21, 167-177, 2014
- 三宅晋司ら： Comfortableness or Fluctuating Air Flow : Subjective Assessment of the Air Flow of an Air-conditioner with 1/f Fluctuating Fan Speed, 産業医科大学雑誌, 12(3), 323-333,1990
- 森田和元ら：自動車用ヘッドアップディスプレイの煩わしさ感に関する考察(第2報) -表示輝度, 観測者の年齢及び運転時の影響-, 照明学会誌 00081(00008), 638-647, 1997
- 山口勝機：心拍変動による精神負荷ストレスの分析, 志拳館大学人間関係学部研究紀要,31(1) ,2010
- 山崎 和彦ら：日本人成人の体温調節反応における性、季節および暑がりや寒がりの影響, 日本生理人類学会誌, 11(1), 21-28.2006
- 横井孝志（産総研）：人間工学実験指針について, 人間工学専門家部会報,18 ,2009
- Yoshino .K, others: Functional brain imaging using near–infrared spectroscopy during actual driving on an expressway, Frontier in Human Neuroscience, Doi 10.3389/fnhum, 00882, 2013

Yoshino .K, others: Correlation of prefrontal cortical activation with changing vehicle speeds in actual driving: a vector-based functional near-infrared spectroscopy study. Frontier in Human Neuroscience, Doi 10.3389, fnhum, 00895, 2013

若松正晴ら：車載機ヒューマンマシンインタフェースのユーザビリティ評価手法, 三菱電機技報 2011年11月号 論文04, 2011

参考電子文書

ALPHA MOS,官能評価コンサルティング Tragon QDA® (定量的記述分析法)

<http://www.alpha-mos.co.jp/sensory/tragon-01.html>

閲覧日 2014-12-18

AAA Foundation for Traffic Safety (AAA). 2013. " Measuring Cognitive Distraction in the Automobile ".

<https://www.aaafoundation.org/sites/default/files/MeasuringCognitiveDistractions.pdf>

閲覧日 2014-10-29

コニカミノルタテクノロジーセンター株式会社: 医学系研究倫理審査委員会規程 (2009年6月)

<http://www.konicaminolta.jp/about/research/ethicsmorals/item/rulesbylaws.pdf>

閲覧日 2014-12-18

JIS Z 9080, 日本工業標準調査会 (jisc) ,1979策定,2004改正

<http://kikakurui.com/z9/Z9080-2004-01.html>

閲覧日 2014-12-18

自動車技術会研究倫理委員会; 研究倫理ガイドラインパブリックコメント回答 1.2.3.交通安全環境研究所

http://www.jsae.or.jp/01info/rules/kenkyu-rinri_pubcomment.pdf

閲覧日 2014-12-18

人間工学会：人間工学研究のための倫理指針

<https://www.ergonomics.jp/usertype/company/2061.html>

閲覧日 2009-11

日本基礎心理学会：日本基礎心理学会倫理特別委員会；基礎心理学研究者のための研究倫理ガイドブック

<http://psychonomic.jp/information/091014.pdf>

閲覧日 2008-11

(株)疲労科学研究所，商品紹介

<http://www.fatigue.co.jp/product.htm>

閲覧日 2014-12-28

ヒューマンインタフェース学会：ヒューマンインタフェース研究開発のための倫理指針

https://www.his.gr.jp/upload/board/ethical_guidelines.pdf

閲覧日 2014-12-18

マルハニチロ：官能評価（QDA法）

<https://www.maruha-nichiro.co.jp/laboratory/palatability/qda.html>

閲覧日 2014-12-18

Ministry of Land, Infrastructure, 「ハイブリッド車等の静音性に関する対策について（報告）」の取りまとめ等について.

http://www.mlit.go.jp/report/press/jidosha07_hh_000049.html

閲覧日2014-10-29

謝辞

本研究を進めるにあたり、常に理解あるご指導・ご鞭撻をいただいた神宮英夫教授に心より感謝いたします。研究内容だけでなく、研究の進め方や研究者としての心構えなど多くのご助言をいただきました。何度も東京・虎の門キャンパスに足を運んで頂き、直接会って話す機会をつくって頂き本当にありがとうございました。日々の業務と並行して研究し投稿論文を執筆することは、私にとっては非常に高いハードルでしたが、先生が時に厳しく、また優しく励ましてくださったことで、努力し続けることが出来ました。

本論文の作成にあたり、審査委員として多くのご助言を頂きました、福住伸一氏、笠松慶子教授、近江政雄教授、山田真司教授に深く感謝いたします。

本研究の試験実施および分析においてご支援いただいた、三菱電機株式会社 社員の方々に深く感謝いたします。特に、デザイン研究所の共同研究者である、石川美穂氏、城戸恵美子氏、澤田久美子氏、澤田均氏、平井正人氏（お名前は五十音順）には、製品開発に関わる研究者としての基礎をご指導いただきました。試験対象者に対する倫理的配慮のご指導は、今後の私の研究人生で大変重要な経験となりました。

太田智也さんを始め大学院生の方々には、多方面でご協力頂き、精神的にも支えられました。試験の実施・分析にあたって、私に至らない点が多々あったと思うのですが、辛抱強くご協力いただき、また、会った時には優しく接して下さってありがとうございました。

そして、本研究の趣旨を理解し快く協力していただいた、試験対象者の皆様に心から感謝いたします。本当にありがとうございました。

最後に、これまで私の思う道を進むことに対し、温かく見守り、数々の助言をくださった両親に対しては深い感謝の意を表して謝辞と致します。