

原著論文

超小型モビリティのヒューマンマシンインターフェースの 基礎的研究

ーランドルト環と情報提示機器に基づく判読時間の評価ー

○藤山 凜太郎¹⁾, 大門 樹²⁾, 安部 信一³⁾, 諸山 和弘³⁾

¹⁾慶應義塾大学大学院理工学研究科, ²⁾慶應義塾大学理工学部, ³⁾(一財)道路交通情報通信システムセンター

Fundamental Study on Human Machine Interface of Ultra-Compact Electric Vehicle

- Evaluation of Driver's Reading Performance Based on Landolt Ring and Visual Device -

○Rintaro TOYAMA¹⁾, Tatsuru DAIMON²⁾, Sinichi ABE³⁾, Kazuhiro MOROYAMA³⁾

¹⁾ Graduate School of Science and Technology, Keio University

²⁾ Faculty of Science and Technology, Keio University

³⁾ Vehicle Information and Communication System Center

Keywords: Ultra-Compact Electric Vehicle, Visual Device, Head-Up Display, Automotive navigation system and information service

キーワード: 超小型モビリティ, 情報提示機器, HUD, カーナビゲーション, 情報提供システム

1. はじめに

近年, 日本では高齢化問題を抱えており, 内閣府の平成27年度版高齢社会白書^[1]によると, 2015年11月には65歳以上の高齢者の人口割合は26.8%となっており, 2035年には65歳以上の高齢者の人口割合が33%を超えることが予想されている。高齢化社会を迎えるにあたり, 高齢者の生活の質向上の一つとして, 自由な移動の確保と支援が挙げられているが, 地方圏においては, 地域公共交通の維持が困難な状況にあることから^[2], 高齢者が利用する移動手段の可能性の一つとして超小型モビリティが検討されている。超小型モビリティは乗車定員2名以下の従来の軽自動車よりもコンパクトな規格の車両であり, その多くは電気モーターを原動機とした車両である。超小型モビリティに関しては, 長崎県五島列島でのちょこモビ^[3]や横浜市のチョイモビ^[4]など地方自治体を中心とした実証実験が実施されており, 高齢者の移動支援だけでなく, 環境負荷低減や観光支援などへの検証が進められており, 平瀬の研究^[5]では超小型モビリティの受容性等の評価が実施されており, 高齢者にある程度受容されることが確認されている。しかしながら, 高齢者の移動手段としての分析・評価の研究は,

短時間での試乗に基づくアンケート調査に留まっているのが現状である。

一方, 超小型モビリティを高齢ドライバーが運転する場合, 認知機能や運動機能の低下を考慮して情報提供や運転支援を超小型モビリティに搭載する可能性が考えられる。普通自動車などこれまでの車両における情報提供では, カーナビゲーション(以後, カーナビと称す)やスマートフォンなどの他, 近年車載情報機器として搭載されつつあるヘッドアップディスプレイ(以後, HUD と称す)などがヒューマンマシンインターフェース(Human Machine Interface, 以後, HMI と称す)として利用可能である。これらの HMI を利用したアプリケーションに関しては, 安全運転支援や利便性向上を目的としたドライバー支援の研究開発が進められており, 運転中の注意喚起や警報などのように警告音や喚起音などを併用してドライバーの知覚に積極的に訴えてドライバーに判読させるものだけでなく, 運転中の自動車の燃料消費状態などのように警告音や喚起音などを併用せず, ドライバーに自然に気付かせて判読させるものなども存在している。しかしながら, 超小型モビリティにこれらの HMI を装備する場合, 車両規格による設置場所や設置機器の制約から, 普通自動車における標準的な HMI 仕様とは効果が異なる可能性が考えられる。HUD に関しては, 提示される情報は無限遠あるいは従来の車載ディスプレイと比較して焦点調整を大きく行わない距離に結像されるといった特徴

2016年1月29日受理. (2016年3月10-11日シンポジウム「モバイル16」にて発表)

を有する。森田らの研究^[6]では、普通自動車に設置した HUD への情報提示に伴う煩わしさや提示色に関する知覚特性など詳細な調査が実施されている他、岡林の研究^[7]では、HUD の 3 次元的な応用技術に対する応答速度や認知の正確さ、複雑さへの対応特性などが検討されている。また、高齢者と HMI の一般的な関係については、感覚、運動器官の補償は、高齢者の HMI に関する問題のごく一部分を改善するのみで、現在のインタフェースの問題の中心は、認知機能の低下に起因するものであると報告されている^[8]。しかしながら、超小型モビリティ特有の狭い車室空間において、現状で設置可能な位置に設置された HMI を通じて情報提示がなされる場合、その HMI の種類や情報提示の量が運転中に高齢ドライバーに与える影響について分析した研究はほとんど見当たらず、今後、高齢ドライバーが超小型モビリティを運転する際に、安全支援情報や運転支援情報など提供するには、情報提示のための HMI の設置位置やその仕様、情報提示の量が高齢ドライバーの判読に及ぼす影響について調査、検討することは重要であると考えられる。

そこで本研究では、超小型モビリティが高齢者の新たな移動手段として普及すること、これに伴って、様々な車載情報サービスが導入されることを想定し、超小型モビリティにおける情報提示機器(HMI)の種類と情報コンテンツの量が判読特性や心理面に与える影響について検討することを目的とする。さらに得られた結果に基づいて、超小型モビリティにおける高齢ドライバーを対象とした情報サービスのための HMI 仕様の基本特性について考察する。

2. 実験方法

2.1 実験車両

本研究で用いた実験車両(日産ニューモビリティコンセプト)の外観を図 1 に示す。車両サイズは 2340mm(全長)×1230mm(全幅)×1450mm(全高)となっており、前後 2 人乗り、最高速度は時速 80km, 出力定格は 8kW, 最高 15kW である。

2.2 実験機材

本研究で用いた実験機材の設置箇所を図 2, 図 3 に示す。本研究では、カーナビディスプレイとして 7 インチワイドディスプレイ(155mm×87mm), スマートフォンとして 5 インチディスプレイ(102mm×76mm), HUD としてパイオニア製 ND-HUD3 をそれぞれ使用した。また、実験車両には、ステアリングにワイヤレスマウス、フロントガラス上部に映像記録用小型カメラを設置した。なお、本実験で用いたカーナビ、スマートフォン、HUD は、PC 上に描画した画面をそのまま表示できるものであり、各 HMI の解像度はそれぞれ 768x1024 pixels, 272x480 pixels, 260x848 pixels であった。なお、カーナビまでの俯角はおおよそ 15 度、スマートフォンまでの俯角はおおよそ 10 度、HUD までの仰角はおおよそ 20 度であった。

2.3 実験環境

晴れまたは曇りの日のみを対象に停車実験及び走行実験の 2 種類の実験を実施した。走行実験で用いる走行コースを図 4 に示す。キャンパス構内の片側 1 車線、約 260m の直線道路を複数回往復するコースとした。キャンパス構内の指定速度は時速 20km であり、学生等の歩行者が存在している場合もある環境であった。

2.4 実験参加者

運転に支障のない視力と日常的な運転経験を有する 65 歳以上の高齢ドライバー 10 名が高齢の実験参加者として、また同様に若年ドライバー 5 名が若年の実験参加者としてそれぞれ本実験に参加した。実験参加者は全員男性であった。



図 1 実験車両

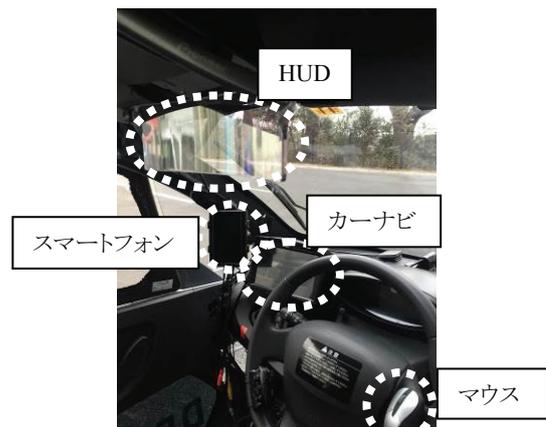


図 2 各 HMI の設置状況



図 3 HUD の取り付け状況

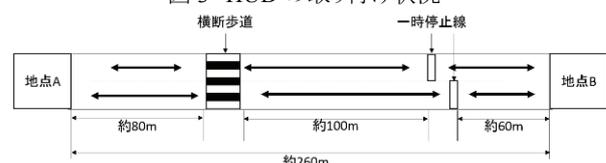


図 4 走行コースの概要

2.5 提示情報

各 HMI に提示される情報はノート PC 及び実験刺激提示用



(a) 視角 2.4 度, 赤色 (b) 視角 3.6 度, 緑色

図 5 提示情報の例

表 1 背景輝度と情報輝度

	背景輝度 cd/m ²	輝度対比・赤 ($L_r - L_b / L_b$)	輝度対比・緑 ($L_g - L_b / L_b$)
カーナビ	約 20	約 2.8	約 7.0
HUD	約 450	約 0.8	約 0.2
スマートフォン	約 20	約 2.0	約 4

ソフトウェア Presentation (Neurobehavioral Systems 社)を用いて提示された。提示情報の例を図 5 に示す。提示情報として文字を利用する場合、漢字やひらがな、片仮名などの違いによって画数や線分の密度が異なってしまう他、単語などを表示した場合には最初の数文字でその単語が何であるかを推測できてしまう場合があるなど、結果として、仮に同じ個数で統一したとしても提示情報によっては異なる判読時間が費やされてしまう可能性がある。そこで本研究では提示情報としてランドルト環を利用することとした。提示領域の制約上カーナビはランドルト環の個数 4~5 個で 2 行、スマートフォンは 3~4 個で 2 行、5 個で 3 行にし、それぞれ提示を行った。この時、カーナビの設置位置の関係上、画面の右下が隠れてしまう問題が見受けられたため、カーナビ画面の右下に情報が提示されないようにランドルト環を配置した。また 1 回の提示には、0~2 個の上向きのランドルト環が 1 回ずつ合計 3 回含まれるように設定した。ランドルト環の色については森田らの研究^[4]を参考にし、背景の影響を受けにくい表示色として緑色、また安全支援の際の警告色として赤色の 2 色とした。ランドルト環を提示するにあたり、喚起音などの聴覚信号を同時に提示する場合と聴覚信号を提示しない場合が考えられるが、本研究では、利便性向上や状態提供などを目的として情報コンテンツが聴覚信号を伴わない状態で提供されるようなアプリケーションを想定し、ドライバーは前方を視認しながら運転している状況の中で、HMI に提示されるランドルト環に気付いて判読するといった状況を設定した。これに関連して、一般的なカーナビ画面上の文字高さの推奨値が視角にして 24 分であること^[10]を考慮してランドルト環のサイズを設定し、事前に高齢ドライバー数名に運転している状態で判読させたところ、一般的なカーナビ画面上の文字高さの推奨値に相当するランドルト環のサイズに対して、また HUD においてはランドルト環と背景とのコントラスト比が低い状態でのランドルト環の提示に対して、気

付くことや判読することが高齢ドライバーにとって困難である傾向が見受けられたことから、ランドルト環のサイズに関しては Ayama らの研究^[9]に基づき、確実に判読できるように各 HMI での視角を 2.4 度、3.6 度に統一した。各情報提示機器(HMI)における情報の際の輝度を表 1 に示す。提示情報はいずれもマウスボタンをクリックすることで画面から消えて黒背景のみの画面となるように設定した。

2.6 判読タスク

実験参加者には、各 HMI の提示情報に気づいたら可能な限り早く、上向きのランドルト環の個数を数えさせ、その個数が分かった時点で手元のマウスボタンを素早くクリックして、その個数を回答するタスクを設定した。本研究では、提示情報中の上向きのランドルト環の個数と口頭で回答した上向きのランドルト環の個数が一致した場合を正答とし、回答が一致しない場合や言い直して正答した場合を誤答とした。

停車実験では、停車状態の超小型モビリティに実験参加者を乗車させ、実験参加者が各 HMI を視認している状態を維持させ、1.5、3.0、4.5 秒のランダムな間隔で提示される状態で判読タスクの計測を行った。走行実験では、停車状態の超小型モビリティに実験参加者を乗車及び運転させ、同乗している実験者が任意のタイミングで情報を提示する状態で判読タスクを実施した。実験中に、各 HMI を常に視認している状態を避けるため、各走行前に前を見て走行するように指示する他、実験参加者の顔の向きなどを監視し、必要に応じて注意を与えらるとともに、常に HMI を視認している状態が観測された場合はデータを再測定した。

2.7 計測項目

(1) 判読タスクの正答率

各 HMI の判読精度を検討するために、判読タスクの全刺激数に対する正答数の割合を正答率として算出した。

(2) 視認行動及び運転行動

走行実験における実験参加者の運転行動や視線移動等を計測するために、小型カメラで撮影される映像を 30FPS で記録した。小型カメラにより記録された映像例を図 6 に示す。映像中の視線方向に基づいて各 HMI への視認行動を抽出した他、運転操作の種類やそのタイミングを確認できるようにした。

(3) 反応時間及び判読時間

本研究において、反応時間は情報が提示された時点からそれに気付いて視線が移動し始めるまでに要する時間と定義した。反応時間の算出にあたってはカメラ映像にて記録した視認行動から算出した。また判読時間については提示情報への視線移動が開始された時点からマウスがクリックされるまでに要する時間と定義した。実際の判読時間の抽出は、(1)式に

$$\text{判読時間} = \text{情報提示からマウス押下までの時間} - \text{反応時間} \quad (1)$$

示されるように、情報提示からマウス押下までに要した時間から前述の反応時間を引いた値として算出した。

(4) 主観評価

図 7 に示す 4~6 段階の評点スケールを利用し、運転中に提示される情報の煩わしさについて、評点スケール上の該当する任意の位置に×マークを印させて回答させた。煩わしさ感の評定については森田らの研究^[6]を参考にした。また修正版 Cooper-Harper Rating Scale^[11]を用いて判読タスクの難易度の評定を実施した。

2.8 実験手続き

本実験は、慶應義塾大学理工学部・理工学研究科生命倫理委員会からの承認を得て実施された。最初に実験参加者には、実験内容について説明を行い、実験に参加することへの同意を得た。その後、超小型モビリティの運転操作の指導を含めた安全講習を実施した。安全講習終了後、超小型モビリティの運転に慣れるため、走行実験にて使用される走行コースでの練習走行を行った。その後停車実験、走行実験の順で行った。なお、停車実験及び走行実験のどちらも実験参加者には提示情報の条件等は、情報が提示される HMI などの最低限の条件のみ説明した。実験因子は、表 2 に示される通り、



(a) 視認行動の例 (b) 情報提示タイミングの例
図 6 カメラ映像サンプル



図 7 主観評価用質問紙の評定スケール例

表 2 提示情報の実験因子

実験因子	水準
車両状態	停車状態、走行状態
情報提示機器(HMI)	カーナビ、HUD、スマートフォン
ランドルト環の色	緑、赤
ランドルト環のサイズ	大、小(スマートフォンは小のみ)
ランドルト環の個数	2~5 個

表 3 実験の実施順序例

情報提示機器	色	サイズ	ランドルト環個数
カーナビ	緑	サイズ 2	水準×個数 4 水準
	赤	サイズ 2	水準×個数 4 水準
HUD	赤	サイズ 2	水準×個数 4 水準
	緑	サイズ 2	水準×個数 4 水準
スマートフォン	緑	サイズ 1	水準×個数 4 水準
	赤	サイズ 1	水準×個数 4 水準

車両状態、HMI、ランドルト環の色、サイズ、個数の 5 要因とした。実験条件及び実験順序の基本構成を表 3 に示す。各条件を HMI でブロック化し、さらにランドルト環の色でブロック化した。サイズとランドルト環の個数はランダムな順番で提示した。各条件で 3 回繰り返したため、1 種類の実験あたり 2×4×3 の 24 種類または 1×4×3 の 12 種類の情報提示であった。各 HMI の中でブロック化されているランドルト環の色は、停車実験ではカーナビとスマートフォンで緑色を先に実施し、また走行実験ではカーナビとスマートフォンで赤色を先にそれぞれ実施した。停車実験では、判読タスクの対象となる HMI を実験参加者に事前に伝え、その HMI を実験参加者が見続けた状態で判読タスクを実施した。実験参加者が判読タスクに慣れたことを確認してから判読タスクの計測を実施した。また、HUD に提示される画像の上辺がフロントガラスの上部に重なるように HUD のガラス部分の角度を調整させ、その状態で真横から実験参加者を撮影した。走行実験では、判読タスクの対象となる HMI を実験参加者に事前に伝え、走行コースを走行させながら判読タスクの練習を行った。情報提示のタイミングは、後部座席に同乗している実験者が安全を確認した場合にのみ情報を提示した。実験参加者が判読タスクに慣れたことを確認した後に判読タスクの計測を行った。判読タスクを実施する場合は、HMI の実施順序は、停車実験と異なるように設定した。また実験参加者が HMI を定期的に見ながら運転してしまう状況を可能な限り避けるため、走行毎に安全運転を最優先させ、出来る限り前方方向を視認するよう指示した。その後計測を行い、各走行後にアンケート調査を行い、必要に応じて実験者と意見交換をした。

3. 実験結果

若年者の 2 名が上向きランドルト環の個数が 0~2 個であると想定し、上向きランドルト環を 2 個判読できた時点で 2 個と回答していたことが実験終了後の実験参加者との意見交換で判明した。2 個判読できた段階での回答は、全ての情報を判読していない可能性があることから、高齢者・若年者共に上向き 2 個の判読時間のデータは解析の対象外とした。また、0.2 秒以下の判読時間は実際に正確な判読が行われず、反射的にマウスを押した可能性が高いことから、解析から除外した。同様に誤答した際の判読時間についても解析から除外した。なお、統計処理に関しては統計解析ソフト SAS(SAS Institute) 及び R を利用した。

3.1 判読タスクの正答率

全実験参加者の停車状態及び走行状態における判読タスクの正答率を図 8 に示す。若年者はほぼ全問正解に近い状況であり、高齢者については各 HMI において正答率は 95% を超え、1 問程度の誤答に留まったが、正答率は若年者と比較するとやや低い結果であった。一方、停車時と走行時を比

較すると、正答率は各条件間でほぼ同程度であり、本実験において運転行動が判読タスクに与える影響はそれほど大きくない状況であった。

3.2 判読タスクに対する判読時間

高齢者及び若年者の各群に対して、走行実験の反応時間及び判読時間を比較検討した。

3.2.1 反応時間と判読時間

高齢者及び若年者の各条件における反応時間と判読時間を比較したものを図 9, 図 10 に示す。高齢者及び若年者において、HMI やランドルト環の個数等の条件間に差はあるものの、反応時間の変動は判読時間と比較すると小さく、実験を実施する上で発生するばらつきの範疇であると考えられ、また、判読タスク全体に要した時間に占める割合も小さいことから、本研究では判読時間を中心に解析することとした。また、判読時間を従属変数、車両状態、HMI、ランドルト環の色、サイズ、個数を独立変数として分散分析を実施した。このとき、カーナ

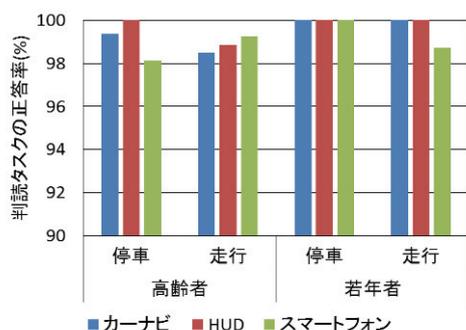


図 8 各実験における HMI ごとの判読タスク正答率

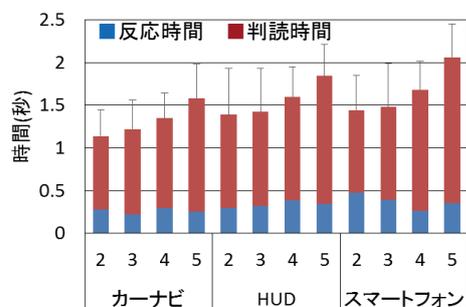


図 9 HMI 及びランドルト環の個数ごとの反応時間と判読時間(高齢者・サイズ小)

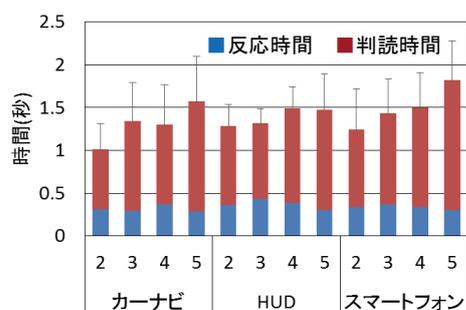


図 10 HMI 及びランドルト環の個数ごとの反応時間と判読時間(若年者・サイズ小)

ビと HUD ではランドルト環のサイズは大小の 2 種類、スマートフォンではランドルト環のサイズは小のみの 1 種類であることをそれぞれ考慮して分散分析の実験因子を調整した。その結果、ランドルト環の色に関する主効果ならびにランドルト環の色を含むすべての交互作用に有意な差は見受けられなかった。ランドルト環の色に関して緑と赤で判読時間に違いが見られなかったという結果から、以降の分析ではランドルト環の色を実験因子として取り上げず、ランドルト環の色を緑と赤をまとめて取り扱うこととした。

3.2.2 高齢者及び若年者における HMI の影響

高齢者及び若年者・サイズ小の各条件における判読時間を図 11 に示す。カーナビはランドルト環 2 個の条件では高齢者と若年者に差があるものの、全体的にはほぼ同程度の判読時間であることが見受けられた。一方、HUD は全体的に若年者の判読時間が小さく、スマートフォンはランドルト環 4 個以上で若年者の判読時間が小さくなっていった。特に HUD では全ての条件において若年者が 0.1 秒以上減少しており、設置位置は中心視に近いが、背景との輝度差が小さい HUD の特性が影響したことがうかがえた。同様に各年齢群における HMI ごとに判読時間をまとめ直した結果を図 12 に示す。高齢者ではランドルト環の個数が 4 個以上の際にスマートフォンへの判読時間がカーナビや HUD よりも小さい傾向が見られた。判読時間を従属変数、年齢及び HMI、ランドルト環の個数を独立変数として分散分析を実施した結果、年齢、HMI、ランドルト環の個数の主効果にそれぞれ有意な差が見受けられた(年齢: $p < 0.001$, HMI: $p < 0.001$, ランドルト環の個数: $p < 0.001$)。

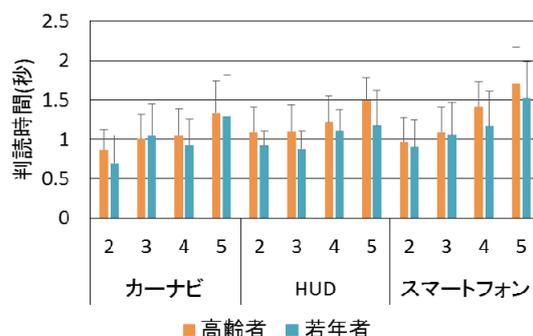


図 11 高齢者及び若年者の判読時間(サイズ小)

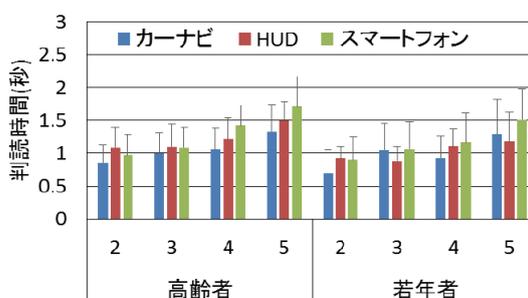


図 12 各年齢群における HMI 及びランドルト環の個数ごとの判読時間(サイズ小)

さらに HMI ごとに、判読時間を従属変数、年齢、ランドルト環の個数を独立変数として分散分析を実施した結果、カーナビ及びスマートフォンでは、ランドルト環の個数の

主効果にそれぞれ有意な差が見受けられた(カーナビでのランドルト環の個数: $p < 0.001$, スマートフォンでのランドルト環の個数: $p < 0.001$). HUD では、ランドルト環の個数と年齢の主効果にそれぞれ有意な差が見受けられた(HUD での年齢: $p = 0.002$, HUD でのランドルト環の個数: $p < 0.001$). また、高齢者における HMI を対象に Tukey の多重比較を実施した結果、カーナビと HUD の間に、カーナビとスマートフォンの間に、それぞれ有意な差が見受けられた(カーナビ-HUD: $p = 0.009$, カーナビ-スマートフォン: $p < 0.001$).

3.2.3 高齢者の判読時間

高齢者の各条件における判読時間を図 13 に示す. サイズ小においては HMI 間に有意な差は見受けられなかったものの、ランドルト環の個数に関わらずカーナビの判読時間が最小となっていることが見受けられた. また、スマートフォンはランドルト環 4 個以上で判読時間が大きく伸びており、ランドルト環 5 個では平均判読時間が 1.5 秒を超えていた. また、各 HMI において、カーナビ 4 個、HUD 4 個、スマートフォン 3 個がおおよそ同程度の判読時間であった. サイズ大、サイズ小を比較すると、多くの条件ではサイズ大の判読時間が短い結果となっているが、カーナビ・サイズ大のランドルト環 4 個以上において判読時間の大小が逆転しており、情報が複数行に渡ることによる影響がうかがえた.

3.2.4 若年者の判読時間

若年者の各条件における判読時間を図 14 に示す. サイズ

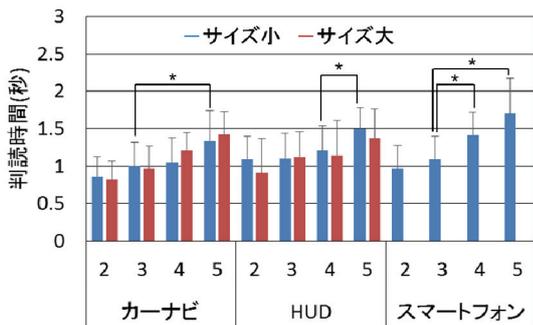


図 13 各 HMI における高齢者の判読時間

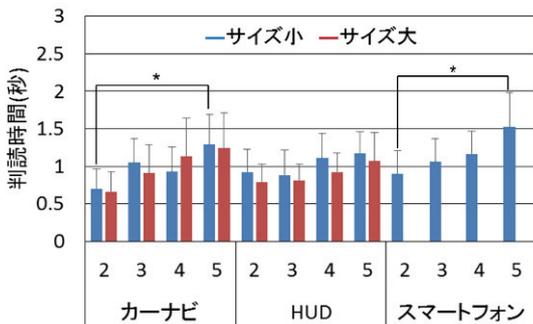


図 14 各 HMI における若年者の判読時間

小においては HMI 間に有意な差は見受けられず、カーナビと HUD が同程度の判読時間となっていることが見受けられた. また、スマートフォンは高齢者とは異なりランドルト環 4 個以上での判読時間の大きな増加は見受けられなかったが、ランドルト環 5 個では平均判読時間が 1.5 秒を超えていた. また、各 HMI において、カーナビ 4 個、HUD 4 個、スマートフォン 3 個がおおよそ同程度の判読時間であった. サイズ大においてはランドルト環 2 個以外において HUD の判読時間が最小となっていることが見受けられた. サイズ大、サイズ小を比較すると、高齢者の場合と同様に、カーナビ・サイズ大のランドルト環 4 個以上において判読時間の長短が逆転しており、情報が複数行に渡ることによる影響がうかがえた.

3.3 主観評価

高齢者における各 HMI に提示される情報の煩わしさと判読タスクの難易度の結果を表 4, 表 5 にそれぞれ示す. なお、「煩わしくない」を 0, 「極めて煩わしい」を 4 として評定させた. 条件間に正規性及び等分散性が仮定できなかったため、Brunner-Munzel 検定を実施した. 高齢者では、カーナビで提示される情報と比較して、HUD 及びスマートフォンは有意に煩わしいという判断される結果となった(カーナビと HUD: $p = 0.041$, カーナビとスマートフォン: $p = 0.015$). 一方、若年者では、各 HMI 間に有意な差は見受けられなかった. 各年齢群で比較すると、高齢者ではカーナビ、スマートフォン、HUD の順で煩わしさが等間隔で増大している一方、若年者ではカーナビ、HUD、スマートフォンの順で煩わしさが等間隔で増大していた.

表 4 高齢者と若年者における煩わしさの主観評点

	カーナビ	HUD	スマートフォン
高齢者	1.3	1.9	1.6
若年者	0.6	1.0	1.4

表 5 高齢者と若年者における判読タスク難易度の主観評点

	カーナビ	HUD	スマートフォン
高齢者	2.6	3.2	3.7
若年者	2.2	3.0	3.4

実験参加者との意見交換では、カーナビは「(普段から)慣れている位置であるから見やすい」という意見が多く、HUD は「前方を見ながら判読することができた」「焦点が即時に合わない」などの意見が得られた. スマートフォンは「設置場所が左側にあり、また遠すぎる」という意見が多く得られた他、一方で「HUD より判読しやすい」といった意見も得られた.

4. 考察

4.1 情報量と反応時間

本研究では各 HMI 間及び各 HMI の各ランドルト環の個数間の反応時間に大きな差は見受けられなかった. 本研究で用いたランドルト環のサイズはサイズ小の場合であっても比較的

大きく、画面の大部分を占めていたことから、情報量が増加することによって反応時間が小さくなることは見受けられなかった。その一方で、実験として反応時間等を計測したため、特に高齢者では情報が提示されていないにも関わらず何度もHMIを見るまたは見続けるといった行動が多く観測された。常にHMIを気にした状態で走行していたと考えられ、本研究で想定している運転行動、つまり実際の運転と同様に前方に注意を向け視認した状態で、HMIに対する反応時間が得られていると言いはし難い。実際の運転行動を対象にした場合、HMIに対する反応時間は、本研究で得られた反応時間よりも長くなる可能性が考えられる。

4.2 各HMIに対する判読時間の違い

・スマートフォン

スマートフォン・ランドルト環 5 個の条件にて判読時間が高齢者若年者共に 1.5 秒を超えており、また多くの条件にて他の 2 種よりも判読時間が長く、また、若年者においても唯一誤答が生じたHMIであった。これらの結果に基づくと、スマートフォンは情報量が増加して判断対象となる情報量が多くなると、判読時間への影響が大きくなることが推察される。しかしながら、ランドルト環が 5 個の時はスマートフォンのみ 3 行に渡った情報提示となったため、行数の違いによる影響が考えられる。スマートフォンは、画面サイズの制約上、情報が複数行に渡って提示される可能性が高いこと、設置位置が前方から離れた位置にあることなどを考慮に入れると、多くの情報を提示する場合に適当でない可能性が示唆される。しかしながら、本研究ではスマートフォンの位置は A ピラーに重なるように設置しており、異なる設置位置では異なる結果をもたらす可能性があり、設置位置の影響を考慮した検討なども必要である。

・カーナビと HUD

高齢者では、カーナビと HUD 間で判読時間に有意な差は見られなかったものの、複数行での情報提示のなかったサイズ小の条件下で、カーナビの判読時間が他のHMIのものと比較して短く、カーナビが判読時間の短い情報収集を提供できる可能性が示唆される。しかしながら、カーナビについては、実験終了後の実験参加者との意見交換において「慣れている位置であるから見やすい」という意見が多く聞かれた。HUDについては慣れ親しんでいないHMIであったことが多く聞かれ、実験段階でHUDに対する判読が十分習熟していない状態であった可能性が考えられ、今後の実験実施の際に工夫が必要である。一方、若年者では、カーナビと HUD 間で判読時間に有意な差は見られなかったものの、サイズ小の条件下でカーナビと HUD は同程度の判読時間、サイズ大の条件下ではHUDの判読時間はランドルト環 2 個以外でカーナビのものよりも短くなっており、HUD が判読時間の短い情報収集を提供できる可能性が示唆される。

4.3 超小型モビリティへのHMI設置位置の検討

・HUDの設置位置

各HMIに対する判読時間は、高齢者と若年者で異なる結果が生じたが、HUDは他のHMIと異なる特性を有していることに起因していることが考えられる。HUDはその特性上、HUDの背景部分(前方の景色等)と提示情報のコントラスト比が小さくなる。この点において、コントラスト感度の低下した高齢者では、判読の困難さが高くなったと考えられる。

本研究では、HUDの設置位置をフロントガラスの上部としたが、従来の乗用車で用いられているように、ダッシュボード上にHUDを設置することができれば、背景部分がボンネットや路面となる可能性が高く、背景部分と表示部分のコントラスト比を高められることで、判読が容易となる可能性がある。しかしながら、超小型モビリティは原動機が前方にないことから、ボンネット部分が存在しない。また、車両寸法の制約上、座席の位置が従来の乗用車よりも相対的に高くなっており、ステアリングがフロントガラスに近く、ダッシュボード上にHUDを設置することが非常に難しいという特性がある。そのため、HUDの設置位置は多くの場合、本研究の様な設置位置になると予想される。ダッシュボード上に設置できたと仮定した場合、提示情報がアスファルトや前方の車両に重畳する環境におけるHUDの表示要件に関しては森田らの研究^[6]にて検討がなされている。しかし、超小型モビリティを対象にしたHMIへの俯角に関する表示要件などについては検討されていない。また、判読の容易さを向上させるためにHUDの表示輝度を高め、コントラスト比を大きくするなどの方法が考えられるが、表示輝度を高くすると煩わしさ感が増加する可能性がある。

・カーナビの設置位置

全体では半数以上の条件でカーナビの判読時間がHUDよりも短い傾向が見られた。これに関しては前述の慣れに関する要因以外に、車体が小さいことによって従来の乗用車よりもステアリング近くに設置されていることなどに起因していると考えられる。しかしながら、本研究で利用した実験車両では、カーナビ画面の設置位置がステアリングに近すぎるためにカーナビ画面の右下の一部が隠れてしまうという問題があった。従来の乗用車にカーナビのようなHMIを設置する際には、ステアリングなどとの干渉について考慮する必要性は低い。超小型モビリティにおいては、ステアリングなどと干渉しないような配置、または一部が隠れることを踏まえた情報提示を検討する必要がある。後付けでのカーナビ設置では対応が難しい場合も考えられることから、車両の設計段階からの配慮が必要である。

4.3 HMIの選択

本研究では、実際の情報コンテンツではなく、ランドルト環による提示情報を利用したが、同じランドルト環の個数であれば、どのHMIに対しても同様な認知処理が要求されるものと

仮定すると、各 HMI に対する判断について相対的な関係が確認された。このことは、例えば、スマートフォンであれば運転中における情報コンテンツの判読は難しいが、HUD であれば判読が可能であるなど情報コンテンツと HMI の設計に対して指針を与える可能性を示唆しており、本研究の結果では、多くの情報を提示する場合、スマートフォンに提示するのではなく、カーナビや HUD に提示することで、HMI に提示されたコンテンツを運転中にある程度短時間で判読できる可能性が示唆される。

一方、高齢者においては、若年者と異なり、HUD の有用性はスマートフォンよりも低く評価されており、本研究で使った HUD において背景輝度と表示輝度の差が小さかったことに起因しているものと考えられる。しかしながら、HUD における背景輝度と表示輝度の差が大きく、本研究で使ったような横長の表示可能領域を持つ HUD を装備できれば、ピクトグラムやシンボルなどのコンテンツを一行で提示できる可能性があり、高齢者により短い時間で判読させることが期待できる。このような仕様をもつ HUD について、同様な実験を行い、高齢者への影響を検討する必要がある。

5. 結論

本研究では、超小型モビリティにおける情報提示のための HMI を対象に、ランドルト環と HMI の種類に基づいて、運転中の判読特性や心理面に与える影響を検討した。スマートフォンは画面サイズや設置位置の都合上、カーナビや HUD と比較して、情報が増加した場合に判読時間が長くなり、また正確に判読できない可能性が示唆された。一方、本研究におけるカーナビ及び HUD については、高齢者でコントラスト感度が低下する傾向があることなどから、高齢者でカーナビの判読時間が短いことが確認された。HUD については高齢者が不慣れであったことによる影響が考えられ、慣れを考慮した上での検討が必要である。若年者では HUD で判読時間が短いことが確認された。超小型モビリティの車両寸法等を考慮すると、本研究で設置した HMI は現行車両において設置可能な位置を見出して設置したが、いずれの HMI もその特長を引き出せる適切な設置位置であったとは言い難く、各 HMI の仕様と設置位置に基づいてさらに詳細な検討が必要である。

参考文献

- [1] 内閣府:平成 27 年版高齢化社会白書(全体版), <http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2015/html/zenbun/index.html> (2015 年 11 月 1 日アクセス)
- [2] 国土交通省近畿運輸局:地方公共交通の現状, <http://www.tb.mlit.go.jp/kinki/kansai/program/02.pdf> (2016 年 1 月 10 日アクセス)
- [3] 日産レンタカー:チョイモビ, <http://www.city.goto.nagasaki.jp/contents/sightseein>

[g/column_detail.php?column_id=194](http://column_detail.php?column_id=194)
(2016 年 1 月 10 日アクセス)

- [4] 長崎県五島市公式サイト:久賀島で「ちょこモビ」実証実験開始, <https://nissan-rentacar.com/choi-mobi/> (2016 年 1 月 10 日アクセス)
- [5] 平瀬博人:高齢者にやさしい自動車の実用化に向けて;自動車技術, Vol.67, No.3, pp.44-48(2013)
- [6] 森田和元, 関根道昭, 塚田由紀, 岡田竹雄, 豊福芳典:ドライバに対する適切な情報伝達に関する研究—ヘッドアップディスプレイの要件に関する考察—, pp. 61-82, 交通安全環境研究所報告第 14 号 (2009)
- [7] 岡林繁:自動車用ヘッドアップディスプレイ(HUDs)の新しい応用とドライバの視覚情報受容特性, 光技術コンタクト, Vol.50, No.6, pp.11-19(2012)
- [8] 熊田孝恒:加齢に伴う認知機能の低下と HMI, 自動車技術会シンポジウムテキスト, No.01-15(2015)
- [9] Miyoshi AYAMA: Effects of Contrast and Character Size upon Legibility of Japanese Text Stimuli Presented on Visual Display Terminal, OPTICAL REVIEW, Vol.14, No.1, pp.48-56(2007)
- [10] International Standard Organization: Road vehicles -- Ergonomic aspects of transport information and control systems -- Specifications and test procedures for in-vehicle visual presentation (2003)
- [11] 芳賀繁:主観的評価による精神的負荷の計測, 人間計測ハンドブック, 産業技術総合研究所人間福祉医工学研究部門 編, pp.361-365, 朝倉書店 (2003)

著者紹介

藤山 凜太郎(学生会員)

2016 年 3 月 慶應義塾大学大学院理工学研究科修士課程修了, 2016 年 4 月より, 富士通株式会社に入社。

大門 樹(正会員)

慶應義塾大学理工学部教授。自動車のヒューマンマシンインターフェース, ドライバー行動・特性などの研究に従事。

安部 信一(非会員)

(一財)道路交通情報通信システムセンター調査研究部にて, 超小型モビリティや車載情報提供を利用した高齢ドライバー支援の研究調査に従事。

諸山 和弘(非会員)

(一財)道路交通情報通信システムセンター調査研究部にて, 超小型モビリティや車載情報提供を利用した高齢ドライバー支援の研究調査に従事。