

遠方 HUD 表示の有効性に関する研究

日大生産工(院) ○方 馨 日大生産工 栗谷川 幸代

1. 緒言

近年、自動車産業において自動運転技術の発展が急速に進んでいる。米国自動車技術者協会 (SAE: Society of Automotive Engineers) は自動運転車がどの程度の運転タスクを自律的に実行できるか、そして人間がどの程度関与する必要があるかに基づいてレベル0の手動運転(すべての運転タスクをドライバが実行する)からレベル5の完全自動運転(すべての状況で人間の関与なしに自動運転)までの6段階を定義した。しかし、Level 5の完全自動運転車の実現には、まだ多くの課題が残されている。例えば技術的な障壁や法規制、安全性の確保など、多岐にわたる要素が関与している。特に、複雑な交通状況や予測不可能な事象に対処するための技術的な成熟がまだ求められている。S&Pグローバル・モビリティの予測¹⁾によると2035年までに一般的に利用できるのはドライバが交通環境を監視する必要があるLevel 2の部分運転自動化車となる。そこで、ドライバの運転状況を効果的に監視し、適切な情報を提供することが重要な課題となっている。

これより、運転監視の情報提供方法として、Head-Up Display (以下、HUD)が期待されている。先行研究²⁾では、停車中の前車を実験参加者がHUD通して観測する実験を行った。情報の見やすさから考えると、HUDはドライバの正面前方に呈示することが望ましいが、HUD呈示位置が前方視野に近づくとも煩わしさが高くなることを示唆された。これより、見やすさと煩わしさ抑制を両立できるHUD呈示方法の検討が必要である。なお、HUD呈示距離の検討結果から現在普及が進んでいる1.5m以上の結論が示された。実際の運転状況を想定するとドライバの視点は車両速度に応じて奥行き方向に移動すると考えられる。特に、高速道路を走行しているときはドライバ視点は安全に備えて自車から遠い前方に向けることが想定できる。

そこで本研究では、手動運転に加えて、Level 2の自動運転時にドライバに運転に関する情報提供を行う際に、車両速度に伴うドライバ視点の変化に着目して、遠方で低俯角のHUD呈示の有効性について検討する。

2. 実験室実験³⁾

2.1 実験概要

ドライバ視点は車両速度が早くなるとより道路前方に向けられると想定されるため、従来のHUD呈示位置よりも遠方にHUD提示することの有効性を検討した。

実験環境は図1に示す。前方車両を模擬するため、実験参加者の前方20m呈示俯角0degの位置にランダムに方向を変換するランドルト環を常時に呈示している。事前検討の結果からHUD表示を見やすく設定するため、周囲照度は 300 ± 40 [lx]で、HUD表示輝度を 1676 [cd/m²]で呈示した。HUD呈示距離を遠方にするにより、従来HUDに比べて提案する遠方HUDの情報読み取り時間が短縮されるかを確認するため、HUDの呈示距離を3mと提案する遠方HUDとして15mの2条件とした。走行中、ドライバは前方の走行状況監視からHUDに目を動かして情報を読み取ることから、瞬時に前方のランドルト環とHUD表示情報(速度と制限速度)を正確にどのくらいの時間で読み取れるかを計測して、HUD呈示距離を遠くすることによる視認時間短縮効果を確認する。なお、本検討ではドライバの情報読み取り時間だけを計測対象とするため、ボタン押しなどの操作時間を含めない情報読み取り時間を計測する工夫をした。HUDの呈示時間を実験参加者が読み取れない速さである0.10secから開始して、0.05sec刻みで実験参加者が正確に全ての情報を読み取れるまで(最大1.00secまで)時間を延長する。実験参加者がランドルト環及びHUD呈示情報の回答を正解した場合、その時のHUD呈示時間を実験参加者の最小読み取り時間として記録した。ここで、計測は3回行って最も長い最大値を計測結果とした。

始めの実験では、提案HUDの呈示距離を遠方にするの有効性を確認するため、呈示俯角は3.0deg固定とした。次の実験では、提案HUDのさらなる視認時間短縮効果を向上させるため、高速走行時のドライバ視点に着目して、呈示俯角を実験参加者の視点に近くなる1.5degとした。ここで、HUD情報がドライバ視点に近づくことで、走行状況確認時にHUD提示情報に対して煩わしさが生じる可能性がある。そこで従来HUD(呈示距離: 3m×呈示俯

角：5.0deg)と提案HUD(15m×1.5deg)に関して、常時表示した場合の主観的なHUDの「煩わしさ」を調査した。評価基準は森田らの研究²⁾を参照して、5段階(1:煩わしくない, 2:やや煩わしい, 3:かなり煩わしい, 4:非常に煩わしい, 5:極めて煩わしい)とした。ここでは、森田らと同様に、評価値が2以下の場合はドライバが許容するものとした。

本実験では実験参加者10名(運転免許証保有の20代大学生)の結果を計測した。

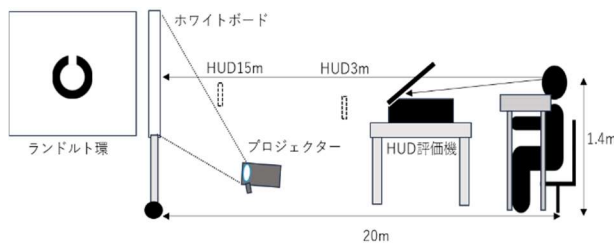


Fig.1 実験環境

2.2 実験結果と考察

始めに、呈示俯角が同じで呈示距離が異なる場合の最小読み取り時間の実験結果を図2に示す。図2の呈示距離3m×呈示俯角3.0degと呈示距離15m×呈示俯角3.0degの結果を比較すると、同じ呈示俯角ではHUD呈示位置が前方情報に近づくことで読み取り時間が短縮していることが分かる。

次に、呈示距離15mにおいて呈示俯角が異なる場合の俯角3.0degと俯角1.5degの結果を比較する。図より、低俯角にすることで最小読み取り時間がさらに短縮することが確認され、個人差が小さくなることが分かった。

そこで、呈示距離3m×呈示俯角3.0degと呈示距離15m×呈示俯角1.5degのHUDを用いた際の前方情報収集におけるHUDの“煩わしさ”の主観評価結果を図3に示す。図より、提案HUDは従来HUDよりも煩わしさが高く、中央値でも“かなり煩わしい”を超えていることが分かる。これは、前述の通り、HUD表示を“見やすくする”ことにより、前方情報獲得時に“煩わしくなってしまう”トレードオフの関係から生じるものであり、遠方・低俯角HUDに常時重要性や必要性の低い情報を呈示すると煩わしさが高いため、ドライバ受容性が低くなる可能性が示唆された。これより、遠方・低俯角HUDの活用は、例えば、ドライバが比較的早い速度でLevel 2を使用している時に、運転関係状況をHUDで確認したい時だけ呈示させる等の適用が必要と思われる。これより、走行実

験を行い、適切な遠方・低俯角HUDの適用状況を検討した。

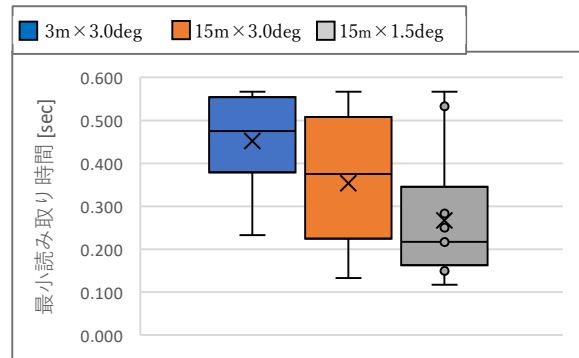


Fig.2 呈示距離及び俯角の組み合わせによる最小読み取り時間

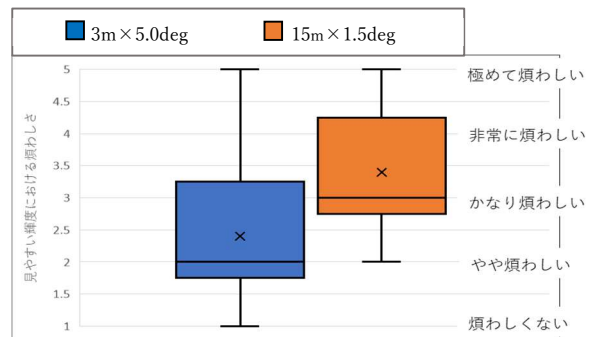


Fig.3 従来HUDと提案HUDにおける煩わしさの主観評価

3. 走行実験⁴⁾

3.1 実験概要

図4に示す安全運転中央研修所の高速周回路上で走行実験を実施した。安全上の配慮とドライバが運転情報を監視するLevel 2の自動運転時の状況を模擬するため、実験参加者には遠方・低俯角HUDが設置された助手席に着座してもらい、設置した模擬ハンドルを操作して運転状況をイメージさせた。なお、実際の運転操作は運転席の実験者が実施した。

各車両速度において遠方・低俯角HUDに対する煩わしさを直線2か所、曲線2か所を評価区間として、車両速度条件は一般道路と高速道路走行を想定して、60[km/h], 80[km/h], 100[km/h]の3条件を設定した。これらの各車速条件において、各評価区間の走行を実験参加者に3回体験させた。実験参加者は走行中に遠方・低俯角HUDの視認を体験した後で、前述の評価基準で“煩わしさ”について評価した。

実験参加者は6名(運転免許証保有の20代大学生)である。

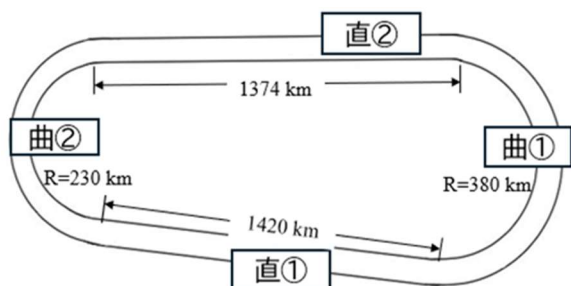


Fig.4 実験用の走行コース

3.2 走行実験結果

各車両速度における遠方・低俯角HUD表示に対する煩わしさの実験参加者6名の平均の評価結果を表1に示す。

表1より、車両速度が60km/hでは、ドライバの煩わしさが評価値2以下となっていないが、車両速度が80km/h以上になると、ドライバの煩わしさは評価値2（やや煩わしい）以下となり低減されることがわかった。これより、車両速度上昇に伴うドライバ視点の変化により、80km/h以上では遠方かつ低俯角のHUD表示の煩わしさが抑制され、ドライバに受容される可能性が示唆された。

但し、今回の実験参加者数は少ないため、実験参加者を増やして、結果の妥当性を確認する必要がある。

Table.1 評価結果

実験参加者人数(n=6)

車速条件	直①	曲①	直②	曲②
60[km/h]	2.2	2.0	2.2	1.7
80[km/h]	1.7	1.7	1.3	1.5
100[km/h]	1.2	1.3	1.3	

4. 遠近2画面HUDの調整⁴⁾

4.1 実験概要

これまでの検討から、80km/hで走行する高速道路等であれば遠方・低俯角HUDが有効に活用できる可能性が示唆された。そこで、車両速度が80km/h以上となったときに従来の近方・高俯角HUDから提案する遠方・低俯角HUDに切り替えてHUD呈示することを考えた。そこで本実験では、車両速度に応じて近方・高俯角HUDから遠方・低俯角HUD(もしくは、遠方・低俯角から近方・高俯角)に切り替わる際の切替方法の嗜好性を検討した。

4.2 HUD表示の切り替え方法の検討

4.2.1 検討方法

先行研究⁵⁾より、前方の交通環境によって遠方・低俯角HUDの煩わしさは変化すると予想されることから、前方環境条件として表2に示す「前車なし」、「前方中央車あり」、「右車線車あり」の3種類の運転場面を設定した。

HUD表示の切り替えは、パワーポイントを使用してアニメーション効果により遠近2画面HUDを切り替えた。本実験ではディスプレイ上に運転場面とHUD情報を呈示するため、実際の運転状況を想定して、遠方(或いは近方)HUDの表示距離と呈示俯角、本実験の実験参加者の目からディスプレイまでの距離を計算して、平面上でのHUD情報のサイズ、近方HUDと遠方HUDの呈示位置を決定した。HUD表示の切り替えに関するパラメータは「出現」と「消える」という動きによる視線誘導効果を検討するため、本実験では「フェード有り」と「フェード無し」、「移動有り」と「移動無し」を組み合わせで合計4パターンの切り替えを設定した。ここで、予備実験結果からHUDの切り替え速さは1.00secに固定した。

実験参加者は各HUD表示の切り替え方法に対して「切り替えの見やすさ」、「切替方法の適切さ」の主観評価を実施した。主観評価における点数は、悪いは-2、やや悪いは-1、どちらとも言えないは0、やや良いは1、良いは2で5段階で評価する。

実験参加者は10名(運転免許証保有の20代大学生)である。実験の様子は図5に示す。



Fig.5 実験の様子

4.2.2 検討結果

表2に前方状況の違いによる使用意欲の結果を示す。表より、前車が右車線にあるときに実験参加者の使用意欲が一番高かった。理由として、実験参加者が「前車がいないと視野範囲は広いので、わざわざHUD表示を見たくない」と「前方中央位置に前車がある場面と

比べると右車線に前車があってもHUD表示は前車と重ならないし、HUD情報を確認したいときはすぐ横に見えるため、視認しやすい」というコメントが得られた。

これより、遠方・低俯角HUD呈示は、車両周辺環境状況に配慮して呈示可否を判断することでドライバ受容性が担保されると思われる。

Table.2 切替HUDに対する使用意欲の評価

体験した道路状況において、
従来型HUD(投影距離固定)よりも投影距離を
近方から遠方に切り替えるHUDを使いたいと、

	思う	やや思う	どちらとも言えない	やや思わない	思わない
前車なし	2	5	1	2	0
前車あり(前中央)	1	4	2	2	1
前車あり(前横右)	1	5	4	0	0



切替方法の検討結果を表3に示す。表3より、実験で検討した4つのHUD切替方法の中で「フェード有×移動無」が一番高く評価された。これは実験参加者のコメントによると、「フェード無しに比べて、フェード有りのような少しずつHUD情報の呈示位置を変化したほうが気にならない(煩わしくない)」ということで、HUD表示に注意が誘導されなかったためと推定される。なお、切替方法の移動有と移動無の評価結果は、個人差が大きい。

今回の実験参加者数は少ないため、実験参加者を増やして、結果の妥当性を確認する必要がある。また、実験時に同時計測した視線結果から視線誘導状況等も検討する予定である。

Table.3 切替方法の評価結果

見やすさ	見やすい	やや見やすい	どちらとも言えない	やや見にくい	見にくい	切替方法	見やすい	やや見やすい	どちらとも言えない	やや見にくい	見にくい
フェード有×移動有	4	5	1	0	0	フェード有×移動有	4	4	2	0	0
フェード無×移動有	0	4	2	4	0	フェード無×移動有	0	0	3	6	1
フェード有×移動無	4	6	0	0	0	フェード有×移動無	3	6	0	1	0
フェード無×移動無	0	5	2	3	0	フェード無×移動無	0	2	6	1	1

5. まとめ

本研究では、手動運転及びLevel 2の自動運転時におけるドライバが運転監視手段として、

遠方・低俯角HUDの有効性を検討した。その結果、以下の結論を得た。

- 1) 従来HUDと比べると提案した遠方HUDは表示位置を遠くにすることで情報読み取り時間を短縮できる。
- 2) 実車実験により車速80km/h以上では、ドライバは遠方・低俯角HUDに対する見やすさと煩わしさ抑制が両立できる可能性が示唆された。但し、常時呈示の可否は検討の余地がある。
- 3) 遠方・低俯角HUD呈示は車両周辺環境状況を配慮して呈示可否を判断することでドライバ受容性が保たれるものと思われる。
- 4) 遠近2画面HUDにおいて、遠方・低俯角HUDから近方・高俯角HUDへの切替方法の嗜好性を検討した結果、多くの20代男性が「フェード有×移動無」を高く評価した。

今後の課題として、提案するHUD導入による安全性確保の観点から、遠方・低俯角HUDを使用した場合に前方状況認識に影響がないかを確認する必要がある。

また、一部の実験に対する実験参加者数が少ないため、実験参加者を増やして結果の妥当性・汎用性を確認する必要がある。

参考文献

- 1) S&P Global Mobility, Fuel for Thought: Waiting for Autonomy, (2023) <https://www.spglobal.com/mobility/en/research-analysis/fuel-for-thought-waiting-for-autonomy.html>, (参照 2024-10-12)
- 2) 森田和元, 益子仁一, and 岡田竹雄. "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1報) 表示位置と運転者の目の位置による影響." 照明学会誌 81.2 (1997): 89-95.
- 3) 武藤誠哉, 山本峻輔, 見やすいと煩わしさ抑制の両立を目指した自動車用HUDに関する基礎的研究, 令和5年度日本大学生産工学部卒研論文, 2023
- 4) 亀山勝, 鄒正揚, 自動車用HUDの切替方法に関する基礎的研究, 令和5年度日本大学生産工学部卒研論文, 2023
- 5) 森田和元, 益子仁一, & 岡田竹雄. (1997). 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, 81(8), 638-647.