

# 信号交差点における一般道レベル 2 運転支援時の適切な運転引継ぎを支援する HMI 要件

齊藤拓海\*<sup>1</sup> 楊波\*<sup>1</sup> 王正\*<sup>1</sup> 中野公彦\*<sup>1</sup> 北崎智之\*<sup>2</sup>  
東京大学生産技術研究所\*<sup>1</sup>  
産業技術総合研究所\*<sup>2</sup>

レベル 2 運転支援システムを信号交差点を含む一般道において実用化するために不可欠である、ドライバ主導の運転引継ぎを支援するヒューマンマシンインターフェース (HMI) の検討をするためには、必要とされる情報の要件を調査することが求められる。本稿では、地図情報を基にした静的環境情報を提示するもの、運転支援搭載車の車載センサ出力を基にした物体認識情報を提示するもの、2つの HMI を提案し、ドライビングシミュレータを用いて、各 HMI 使用時の信号交差点における車-車間事故のリスクを含む環境におけるレベル 2 運転支援による走行の差異をリスク反応、視線行動および主観評価をもとに報告する。

## Requirements of HMI to support proper driver takeover during partially automated driving at a signalized intersection

Takumi SAITO\*<sup>1</sup> Bo YANG\*<sup>1</sup> Zheng WANG\*<sup>1</sup> Kimihiko NAKANO\*<sup>1</sup> Satoshi KITAZAKI\*<sup>2</sup>  
Institute of Industrial Science, the University of Tokyo\*<sup>1</sup>  
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology\*<sup>2</sup>

In order to put the level 2 partially automated driving to practical use on general roads, it is necessary to investigate the requirements of the human machine interface to support proper driver takeover at a signalized intersection. This paper proposes and evaluates two HMIs for automated driving: one is to notify the approach to intersections and confluences based on static map information and the other is to present real time results of image recognition by the driving assistance. Then, this paper describes the result of the simulator experiment to measure the difference of the drivers' response to risks and attention level during driving.

**Keyword:** *Automobiles, Human machine interface, Human factor, Automated driving*

### 1. 緒言 1-1 背景

現在、高速道路においてのみ実用化されているレ

ベル 2 運転支援は一定の条件下において運転操作のほぼ全てを自動化するが、運転の責任はあくまでドライバにあり、レベル 2 運転支援システムの機能限

界を超える危険事象の発生頻度が高いと考えられる、一般道等の複雑な環境下においてレベル2 運転支援を実行するためには、ドライバが適切にシステムの機能限界を理解し、必要に応じて、適切に応答を行うことが必要になる。特に交差点は、2018年の日本の市街地における事故の48%を占めており、レベル2 運転支援での走行中にドライバ主導の運転引継ぎを行う機会が多くなることが考えられる。

運転支援による走行中に、システムの機能限界や動作の不確実性、現在の状態を継続的に提示することが安全な運転支援を維持させる効果があることがいくつかの研究で示されている<sup>2-6)</sup>。松本の研究<sup>7)</sup>において、機器の使用においてユーザに知識を付与するマニュアルとして、手段と目的の関係を記述し、機器への理解を促す「理解型マニュアル」と、目的に言及せず操作手順を記述し、操作に必要な知識を付与する「操作型マニュアル」が提案されている。運転支援におけるドライバ主導の安全な運転引継ぎを支援する情報提示を行うために、システムの構造の理解や具体的な指示などを含む、必要な情報の要件を特定することが必要である。

## 1-2 目的

本研究では、レベル2 運転支援による走行中の適切な運転引継ぎによる信号交差点付近の車-車間事故の防止を実現するためのHMIの要件の調査を目的とする。危険な場所を明示することを目的として、地図情報をもとにした静的環境情報を提示するものと、運転支援システムの仕組みの確認を目的として、車載センサ情報を基にした物体認識情報を提示するもの、2種類のHMIを提案し、ドライビングシミュレータを用いた実験により有効性評価を行う。また、本研究では実験走行前に運転支援の機能限界について説明を行い、実験協力者が運転支援に機能限界があることを理解した上で実験を実施した。

## 2. 手法

### 2-1 実験設備

本研究では、3組のスクリーンとプロジェクターを備えた、三菱プレジジョン製のドライビングシミュレータを用いた。(図1)スクリーンには左前方、正面、右前方の交通映像がそれぞれ映し出され、継ぎ目なく接続されている。本研究ではこのシミュレータに提案したHMIを表示するためのシステムを追加した。また、Smart Eye Proシステム(Smart Eye社製)の3つの赤外線カメラで構成される視線計測

システムをダッシュボード上に設置して、視線の計測を行った。



図1 ドライビングシミュレータ

### 2-2 HMI

静的環境情報として交差点および合流地点への接近を提示する。物体認識情報として運転支援システムにより認識された自車両前方の物体を提示する。

本研究で提案するHMIは、各提示情報をドライビングシミュレータのダッシュボードに固定された2つのヘッドアップディスプレイ(HUD)にそれぞれ表示する(図2)。静的環境情報を提示するHMIを静的HMI、物体認識情報を提示するHMIをセンサHMIと呼称する。図3の(a)は静的HMIの表示画面を表し、図左側は合流地点、図右側は交差点に接近した際に表示されるアイコンである。また、これらのアイコン表示時に音で通知が行われる。図2の(b)はセンサHMIの表示画面を表し、前方の映像に対する物体認識の結果を、認識対象物を取り囲む長方形として前方映像に上書きする形で表示する。また、本実験では四輪車のみを認識対象とし、二輪車やパイロンなどの物体は認識対象外とした。



図2 ヘッドアップディスプレイ

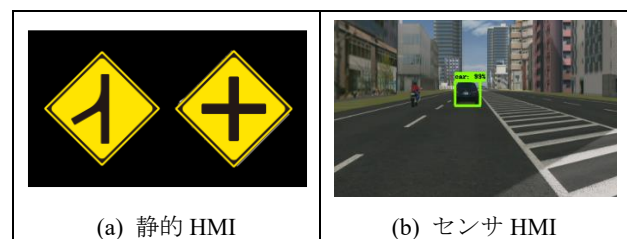


図3 HMIの表示画面

### 2-3 模擬運転支援システム

本研究においてシミュレータで模擬した運転支援システムはセンサ HMI において提示される認識結果とは独立して動作したが、認識結果をもとに動作しているように実験シナリオを作成し、実験協力者には認識結果をもとに動作していると説明した。また、静的環境情報は運転支援システムと独立である旨も実験協力者には説明を行った。

模擬運転支援システムは ACC によって構成されるレベル 2 相当のものである。ACC 機能は先行車両との車間 25m、相対速度がゼロに収束するように設定した。運転支援システムは実験シナリオの開始と同時に有効になっていた。

### 2-4 実験シナリオ

図 4 に本実験で用いた道路環境を示す。この道路環境は日本の国道を模擬している。実験シナリオはこの道路環境を用いた 8 種類が用意され、各シナリオにおいて自車は、60km/h で第 2 車線を直進する先行車両を運転支援システムにより追従する。

ドライバーが運転引継ぎを行わない場合、直ちに事故が発生するリスクシーンを顕在リスクシーン、運転引継ぎを行わない場合でも事故や交通規則違反が発生せず、運転支援による走行を続行できるリスクシーンを潜在リスクシーンと呼称する。本実験では 2 種の顕在リスクシーン(図 5)と 6 種の潜在リスクシーンを用意した。顕在リスク図 5 (A) では、信号交差点付近の第 1 車線に左折車両および前方左折車両の左折待ちをするバイクが現れ、バイクが自車の前方に割り込み、運転引継ぎをしなければバイクに追突する。顕在リスク図 5 (B) では、信号交差点において対向車線の右折レーンに他車両が現れ、自車の交差点進入時に他車両が突然右折を開始し、運転引継ぎをしなければ進入車両と衝突する。

実験シナリオ内には顕在リスク発生までに複数の潜在リスクが含まれ、8 種のシナリオのうち 4 種に顕在リスク図 5 (A)、残り 4 種に顕在リスク図 5 (B) が 1 つ含まれた。各シナリオにおいて発車位置、リスク発生地点は異なっており、顕在リスク発生までに 10km 程度を走行、15-20 個の信号交差点を通過する。

### 2-5 実験条件

実験条件は、静的 HMI の有無およびセンサ HMI の有無と顕在リスク 2 種類を組み合わせた 8 条件であった。順序効果をキャンセルするために条件の順

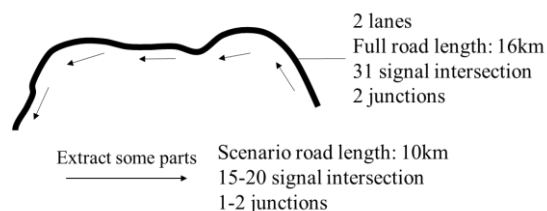


図 4 道路環境

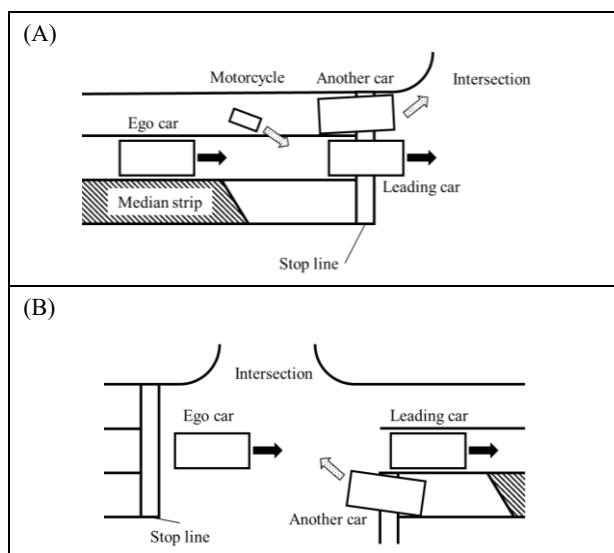


図 5 顕在リスクシーン

番はラテン方格を用いて参加者ごとに入れ替えた。HMI 条件をそれぞれ、HMI を用いない「HMI なし条件」、静的 HMI のみを用いる「静的単体条件」、センサ HMI のみを用いる「センサ単体条件」、静的 HMI とセンサ HMI を併用する「併用条件」と呼称する。

### 2-6 実験協力者・実験手順

23-29 歳の 8 人の男性が実験に参加した。なお本実験においては東京大学倫理審査委員会の承認を得たうえで実施した。最初に、機能限界等を含む運転支援に関する一般的な説明とシナリオに関する説明を行い、事故や交通規則違反など危険を感じた場面ではドライバー主導の運転引継ぎを行い、シナリオの最後まで安全に走行することを求めた。運転支援の機能限界に関する説明は、実際の運転支援機能に関する注意書き<sup>8)</sup>を参考に作成した。説明の際に、実験中にどのようなリスクが何回発生するか等の情報は一切与えられなかった。次に運転支援を使用した練習走行を数分行った後、運転支援に関する理解度を問うアンケートへの回答を求めた。そして、HMI に関する説明を行った後、2-6 節にて述べた 8 つの

条件で運転を行った。各条件での運転後には、運転中の注意レベルの自己評価および HMI の使用感や運転支援への安心感についてのアンケートへの回答を求めた。すべてのアンケートは 1-7 の 7 段階のリッカート尺度で回答する方式であり、1 が「全く同意しない」、7 が「完全に同意する」を表す。

運転支援への理解度を問うアンケートの回答から運転支援への過信の度合いを 0-1 点で評価を行った結果、平均 0.35、標準偏差 0.15 となった。また Cronbach の  $\alpha$  係数は 0.85 である。

### 3. 結果・考察

#### 3-1 リスク反応

各 HMI 条件における運転引継ぎ時の顕在リスクとなる車両との車間距離の平均値と 1 元配置分散分析および 2 元配置分散分析の p 値を顕在リスク図 5(A), (B)に関してそれぞれ表 2, 表 3 に示す。

顕在リスク図 5(A)の場合、センサ HMI の存在により運転引継ぎ時の車間距離が有意に長くなることが示された。また、4 つの HMI 条件間で併用条件における車間距離が最も長い値となり、併用により、リスクの発見を速める効果があることも示唆された。

顕在リスク図 5(B)の場合、有意差はないが HMI なし条件が最も長い車間距離での運転引継ぎが行われた。顕在リスク(B)は顕在リスク(A)と比較して、余裕時間の少ないリスクであったことから、HMI を視認する行為により、HMI がある条件では運転引継ぎが遅れた可能性がある。

表 2 顕在リスク図 5(A)の運転引継ぎ時の車間距離

(1) 平均値と 1 元配置分散分析の p 値

	HMI なし	静的単体	センサ単体	併用
平均値	17.1	14.2	17.5	20.9
p 値	0.07			

(2) 2 元配置分散分析の p 値

	静的 HMI	センサ HMI	交互作用
p 値	0.90	0.045	0.072

#### 3-2 正面注視率

各 HMI 条件におけるシナリオを通しての正面注視率の平均値と 2 元配置分散分析の p 値を表 4 に示す。ここでは、顕在リスクの種類を区別せず算出を行った。正面注視率の定義は T. Victor らによる Percent Road Center (PRC) <sup>9,10)</sup>を用いた。PRC の算出

表 3 顕在リスク図 5(B)の運転引継ぎ時の車間距離

(1) 平均値と 1 元配置分散分析の p 値

	HMI なし	静的単体	センサ単体	併用
平均値	27.9	20.1	21.5	26.3
p 値	0.25			

(2) 2 元配置分散分析の p 値

	静的 HMI	センサ HMI	交互作用
p 値	0.63	0.98	0.055

においてドライバの視線ベクトルの最頻値を正面中心の視線ベクトルとし、そのベクトルから  $\pm 8^\circ$  以内の視線ベクトルは正面とみなした。本研究において前方交通状況への注意レベルを評価する指標として正面注視率を採用した。センサ HMI の存在により正面注視率が有意に低下することが示され、これはセンサ HMI の情報読み取りに即時性がないことが原因であることが考えられる。

表 4 正面注視率

(1) 平均値

	HMI なし	静的単体	センサ単体	併用
平均値	0.62	0.60	0.56	0.55

(2) 2 元配置分散分析の p 値

	静的 HMI	センサ HMI	交互作用
p 値	0.16	<0.001	0.36

#### 3-3 注意レベルの自己評価

運転後のアンケートによる注意レベルの自己評価の質問項目を表 5, 各 HMI 条件に対する各質問の中央値と Friedman 検定の p 値を表 6, Q2 に対する Wilcoxon の符号順位検定による多重比較の Bonferroni の手法により補正した p 値を表 7 に示す。2 元配置分散分析における各 HMI による差異は有意でなかった。前方や周囲の車両への視認や注意が HMI なしに対して HMI が存在する条件が有意差はないが低い傾向にあり、HMI があることにより、ドライバの注意が HMI に向いてしまう可能性が考えられる。

#### 3-4 HMI の使用感

運転後のアンケートにおける HMI の使用感の質問項目を表 8, HMI なし条件を除く各 HMI 条件に対する回答の中央値と Friedman 検定の p 値を表 9, Q2,

表 5 注意レベルの自己評価のアンケート

No.	質問内容
Q1	障害物の有無に気を付けていましたか
Q2	前方車両を見ていましたか
Q3	前方車両との車間に気を付けていましたか
Q4	周囲の車両を見ていましたか
Q5	周囲の車両の挙動に気を付けていましたか
Q6	交差点に気を付けていましたか
Q7	合流地点に気を付けていましたか
Q8	信号を見ていましたか

表 6 回答の中央値と Friedman 検定の p 値

	HMI なし	静的単体	センサ単体	併用	p 値
Q1	6	6	6	6	0.115
Q2	7	6	6	6.5	0.006
Q3	6.5	6	6	6	0.186
Q4	7	6	6	6	0.053
Q5	7	7	6	6	0.069
Q6	7	6.5	7	7	0.700
Q7	6	6.5	6	6.5	0.368
Q8	7	7	7	7	0.228

表 7 Q2 の多重比較の p 値

組	p 値
HMI なし - 静的単体	0.29
HMI なし - センサ単体	0.11
HMI なし - 併用	0.74
静的単体 - センサ単体	1
静的単体 - 併用	1
センサ単体 - 併用	1

Q4, Q5 に対する Wilcoxon の符号順位検定による多重比較の Bonferroni の手法により補正した p 値を表 10 に示す。

静的単体はセンサ単体に対し情報の読み取りに即時性があることが示された。また、静的単体が最もドライバに見られており、ドライバはセンサ HMI 絵を比較的見ないことが示された。センサ単体に対し、静的単体および併用の HMI 条件がドライバに必要性を感じられており、静的 HMI がドライバに求められる情報であることが示された。

### 3-5 走行の安心感

運転後のアンケートにおける「走行に安心感はある

表 8 HMI の使用感のアンケート

No.	質問内容
Q1	HMI の表示内容は理解できましたか
Q2	HMI から情報を即座に読み取れましたか
Q3	HMI の表示を煩わしく感じましたか
Q4	HMI の表示を見ていましたか
Q5	HMI を必要だと感じましたか

表 9 回答の中央値と Friedman 検定の p 値

	静的単体	センサ単体	併用	p 値
Q1	7	7	7	0.101
Q2	7	5.5	7	< 0.001
Q3	2	2	2	0.640
Q4	6	4	5.5	< 0.001
Q5	5.5	3.5	5	0.001

表 10 Q2, Q4, Q5 の多重比較の p 値

	組	p 値
Q2	静的単体 - センサ単体	0.025
	静的単体 - 併用	1
	センサ単体 - 併用	0.063
Q4	静的単体 - センサ単体	0.0069
	静的単体 - 併用	0.036
	センサ単体 - 併用	0.016
Q5	静的単体 - センサ単体	0.045
	静的単体 - 併用	1
	センサ単体 - 併用	0.026

りましたか」という質問の各 HMI 条件における回答の中央値と Friedman 検定の p 値, Wilcoxon の符号順位検定による多重比較の Bonferroni の手法により補正した p 値, 2 元配置分散分析の p 値を表 11 に示す。

HMI なしに対し HMI がある条件において安心感が増している傾向が示された。特に静的 HMI が存在する場合に有意に安心感が増すことが示された。また、HMI なしに対し併用条件では有意に安心感が増すことが示された。これはセンサ HMI により運転支援の動作の原因、および静的 HMI により注意の喚起が行われることによる効果であると考えられる。

## 4. 結言

本研究では、レベル 2 運転支援を使用時の信号交差点付近での車-車間事故防止を実現するための HMI 要件の調査を目的とし、静的環境情報および車

表 11 走行の安心感

(1) 中央値と Friedman 検定の p 値

	HMI なし	静的単体	センサ単体	併用
中央値	4	6	5.5	6
p 値	0.055			

(2) 多重比較の p 値

組	p 値
HMI なし - 静的単体	0.28
HMI なし - センサ単体	0.91
HMI なし - 併用	0.019
静的単体 - センサ単体	1
静的単体 - 併用	1
センサ単体 - 併用	0.24

(3) 2 元配置分散分析の p 値

	静的 HMI	センサ HMI	交互作用
p 値	0.005	0.081	0.556

載センサ情報を提示する 2 種類の HMI を提案し、8 人の実験協力者に対しドライビングシミュレータを用いた実験を行い、2 種類のリスクに対する反応や注意レベルの差異を検討した。

静的 HMI はリスク反応の迅速化に効果は認められなかったが、情報の読み取りに即時性があり、単体での使用において正面注視率の低下は示されなかった。また、静的 HMI を含む HMI 条件は HMI の必要性が高いと評価され、走行において安心感を創出する要因となることが示された。

センサ HMI は本実験においてバイクが運転支援システムの認識対象外であることを確認できることから、併行車線のバイクの割り込みのリスクにおいて車間に余裕を持った運転引継ぎを実現した。一方で、情報の読み取りに即時性がなく、正面注視率の低下が示された。

また、静的 HMI とセンサ HMI を併用することによりバイクの割り込みのリスクに対し、最も車間に余裕を持った運転引継ぎがおこなわれ、HMI なしに対して走行に対する安心感を有意に高めることが示された。

#### 参考文献

- 1) 公益財団法人交通事故総合分析センター, "交通統計 平成 30 年版," 2019.
- 2) J. McGuirl and N. B. Sarter, "Supporting Trust Calibration and the Effective Use of Decision Aids by Presenting Dynamic System Confidence Information," *Human Factors The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, vol. 48, no. 4, pp. 656-665, 2006.
- 3) B. D. Seppelt and J. D. Lee, "Making adaptive cruise control (ACC) limits visible," *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 65, no. 3, pp. 192-205, 2007.
- 4) F. Verberne, J. Ham and C. Midden, "Trust in smart systems: sharing driving goals and giving information to increase trustworthiness and acceptability of smart systems in cars," *Human Factors The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, vol. 54, no. 5, pp. 799-810, 2012.
- 5) J. Beller, M. Heesen and M. Vollrath, "Improving the Driver-Automation Interaction: An Approach Using Automation Uncertainty," *Human Factors and Ergonomics Society*, vol. 55, no. 6, pp. 1130-1141, 2013.
- 6) T. Helldin, G. Falkman, M. Riveiro and S. Davidson, "Presenting system uncertainty in automotive UIs for supporting trust calibration in autonomous driving," *210 Proceedings of the 5th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AutomotiveUI ,13)*, pp. 210-217, 2013.
- 7) 松本文隆, "ユーザマニュアルにおける理解指向と操作指向," *情報処理学会研究報告情報メディア*, 1994, vol. 36, pp. 1-8.
- 8) 日産自動車, "プロパイロットに関する注意事項," 12 7 2019. [Online]. Available: [https://www.nissan.co.jp/OPTIONAL-PARTS/NAVIOM/SERENA\\_SPECIAL/PG/guid-58a7bebf-95c9-4a3e-9d71-b1b4380b35e4.html](https://www.nissan.co.jp/OPTIONAL-PARTS/NAVIOM/SERENA_SPECIAL/PG/guid-58a7bebf-95c9-4a3e-9d71-b1b4380b35e4.html). [Accessed 18 10 2021].
- 9) T. Victor, "Keeping Eye and Mind on the Road," *Uppsala University*, 2005.
- 10) T. W. Victor, J. L. Harbluk and J. A. Engstrom, "Sensitivity of eye-movement measures to in-vehicle task difficulty," *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 8, no. 2, pp. 167-190, 2005.