

ドライバ行動変容分析を用いた運転支援システムの負荷低減効果に関する考察

—全車速域 ACC と LKA 利用ドライバを対象とした実路走行評価—

梶川 忠彦¹⁾ 有賀 義之¹⁾ 大石 遊¹⁾ 染谷 栄一²⁾

A Study on the Driver Workload Reduction Effect of a Driving Support System by Analyzing Driver Behavior Change

- An Experiment on Actual Expressway Targeted Drivers who routinely use full speed range ACC and LKA-

Tadahiko Kajikawa Yoshiyuki Ariga Yu Oishi Eiichi Someya

This study had real users try the driving support system, which consists of full-speed range ACC and LKA, to verify the system's effectiveness in reducing the driver workload while cruising along an actual expressway in a condition similar to their daily driving experience. The result showed that the subjects felt about 60% reduction of the driver workload and paid more attention to the surrounding situation than the vehicle ahead, while using the system compared to when it was inactivated. Assistance to acceleration, braking, and steering actions were suggested to facilitate cognitive tasks and positively affect the drivers' sense of safety.

KEY WORDS: Human engineering, Workload, Driving support, Driver behavior Change, Actual Driving Experiment(C2)

1. ま え が き

全車速追従 ACC と LKA による運転支援システムは NHTSA/SAE が定義する自動運転レベル 2.0 に該当する⁽¹⁾⁽²⁾。近年、市販車への導入が進んでおり、日本では、各メーカーがほぼ高速道路上に限定した利用を推奨しているため、高速道路における長距離ドライブや渋滞時の運転負荷低減を期待されている。

運転支援システムにより実際にドライバが日常の運転中に享受する運転負荷低減効果とはどのようなもので、どのような手法で明らかにできるのであるか、ヒューマンファクターの観点に立った場合、人間中心設計プロセスに即して⁽³⁾、まず、運転支援システムを日常利用しているドライバの視点から、ドライバが運転中に受ける運転負荷がどのようなものかを明らかにする必要がある。そして、現在の運転支援システムが運転負荷をどの程度低減する効果があるのかを計測し、さらにドライバにどのような行動変容をもたらしているのかを実際の日常運転シーンから評価するプロセスが必要になる。具体的な評価手法は、運転時の疲労に関しては、長時間運転など⁽⁴⁾実際の運転シーンを想定した中で様々な指標で評価する研究が行われている。一方、運転支援システムによる効果に関しては、作動時と手動運転時におけるタスクのメンタルワークロードを分析するような手法が行われている⁽⁵⁾。

ドライバが日常運転シーンで行う運転行動は運転支援シス

1) (株)U' eyes Design (224-0001 神奈川県横浜市都筑区中川 1-4-1)

2) (株)ADK マーケティング・ソリューションズ(105-6312 東京都港区虎ノ門 1 丁目 23 番 1 号)

テムの影響だけでなく、環境要因やドライバの内的要因(ドライバ特性、ドライバ状態)の影響も受けている。日常の運転環境における運転支援システムの影響を判断するためには、実際のユーザーを対象に、日常運転環境に近い状況をなるべく再現しつつも、認知、判断、操作といった人間の行為モデルと照らし合わせた要因分析が行えるような実験統制を注意深く計画する必要がある。

また、近年、認知科学の分野では、人間の脳の処理プロセスは自動的で処理が速い「システム 1」と、意識的で処理の遅い「システム 2」の状態があるといわれている⁽⁶⁾。Rasmussen の SRK モデル⁽⁷⁾も同様に、人間のシステムに対するパフォーマンスは自動化段階も知識ベースの段階もあり、熟達状況により変わってくるとされている。つまり、システムが実際に利用される環境下では、利用する本人も認識していないような人とシステムのインタラクションが発生していることも考慮に入れる必要がある。そのような無意識的な認知行動変容を対象にする場合、質問紙評価など自らが言語化できているものの評価だけでは不十分であり、人の自然な利用行動を客観的に観察したデータを解析する必要がある⁽⁸⁾。

本研究では、全車速域 ACC と LKA の運転支援システムを対象に、運転支援システムが、日常の運転においてドライバにもたらす運転負荷低減効果と運転行動変容を明らかにすることを目的とする。実際のシステムユーザーであるドライバを対象に、運転支援システム利用時と非利用時のドライバ行動比較を、実運転状況にきわめて近い実路走行環境で、ウェアラブル端末を用いたアイトラッキングと心拍計測、行動観察、主観評価といったドライバに負担が少ない計測手法を用いて行っ

た。得られた結果から、1)運転時にどのような運転負荷を感じているのか、2) 運転支援システム利用により、どの程度運転負荷低減を感じているのか、3) 運転支援システム利用によりどのようなドライバ行動変容があるのかについて考察した。

2. 実験方法

2.1. 実施環境

運転支援システム利用/非利用の影響を測定するため、実験に利用する車種、走行ルートは同一条件に設定した。実験車両は市販車 (LEVORG) を用いた。本実験に用いた ACC と LKA の運転支援システムは、実験車両に搭載されている 0km/h～約 120km/h の日本における日常走行の全車速域で、ステアリング・ブレーキ・アクセル操作を自動アシストする運転支援システム (ACC, LKAS) である。

2.2. 対象者選定

日常に近い運転環境を再現するために、対象者選定は重要である。対象者の選定にあたって、事前に一般生活者ドライバを対象にしたオンラインアンケートを行った。その回答結果から、以下のような条件を考慮し、合致するドライバを慎重に選定した。

1) 運転支援システムの日常利用と環境要因への配慮

運転支援システムの習熟には一定期間がかかることが分かっている⁽⁹⁾。日常と異なる状況により影響がでないよう、実験車両と同シリーズの運転支援システムを搭載している同ブランド車を日常運転していて、当該システムのインタラクションに慣れているユーザーとした。また、土地勘がないことによる影響が出ないように、実験実施地域の東京、神奈川近辺に在住している方とした。また実験は 2 名の対象者が同時に乗車し行うため、家族やご友人など、2 人一組で参加可能で、各種条件を満たす方を優先的に選定した。

2) 日常的な運転経験

日常的に運転している方を選ぶため、運転免許保有者、自家用車所有を基本条件とし、週に 1,2 回以上運転を行う、運転支援システムを普段利用していることとした。

3) 運転熟練度の考慮

実走行環境の実験では、運転に対する熟練度により、反応に差が出ることが多い。今回の実験においても運転の熟練度を設定し、偏りがないように配慮した。運転熟練度の算出は、走行シーン (高速道路の運転、右折、縦列駐車や U ターン、など) に対してどの程度運転に対する不安があるかを主観評価にて取得し、日常生活での運転頻度の回答と合算してスコア化し、熟練度 (低、中、高) の 3 段階を設定した。

4) アイトラッキング計測のための視力条件

身体的条件として、アイトラッキングによる計測を行うため、視力に関して何らかの不具合や病気がないこと (色弱、片目だけ極端に視力が弱い、斜視、ヘッドライトを極端にまぶしいと感じる、など)、また、運転時にメガネやハードコンタクトレ

ンズを着用していないことを条件とした。

これら 4 つの観点から、最終的に 20 代～60 代の男女 10 名 (運転熟練度低: 4 名, 中: 3 名, 高: 3 名) を選定した。

2.3. 走行コースと実施方法

現在市販されている運転支援システムは高速道路での運転支援を目的としているため、高速道路での実施とした。コース選定においては、平日休日日中の実験実施期間に、順調走行区間と渋滞区間が発生するルートであることと、カーブや運転困難区間がなく、道路形状による運転行動への影響が少ないルートを条件に検討した。結果、首都高速 3 号渋谷線 池尻大橋 IC から東名高速道用賀 IC を経て、東名高速道へと向かい、厚木 IC あたりで同ルートを折り返すコースを設定した。折り返しポイントは、渋滞など進行状況に応じて適時で引き返すこととした。

計測時間は、被験者 1 人につき、渋滞時、順調走行時の運転支援システム作動/非作動、各 30 分程度の走行データを取得した。また、運転をせずに助手席に同乗しているときも計測を行った。これは、助手席者の運転状態と比較することでドライバの運転行動を評価する過去研究の手法⁽¹⁰⁾を参考に、ドライバ行動分析に有用な可能性があるデータとして取得した。

実験は、2019/9/13～9/17 の日中に行った。1 回のセッションで 2 名の被験者が参加した。車内環境は、運転席、助手席に被験者が乗車してもらい、道案内役、アイトラッキングカメラの担当のスタッフが後部座席に同乗し、外部スタッフと適時連絡が取れる体制にて実施した (図 1) (図 2)。日常運転状況になるべく近づけるため、ペア参加者は同日で行った。



Fig.1 The Actual Condition of the Experiment

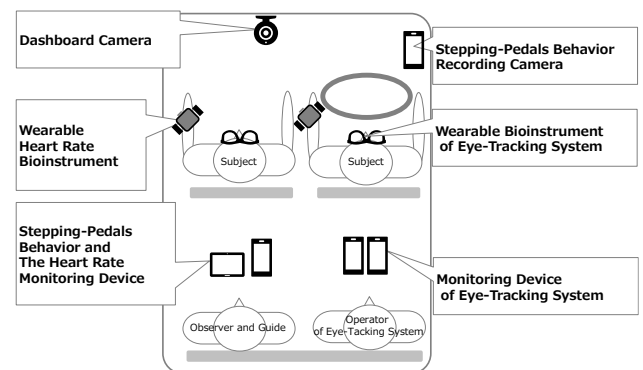


Fig.2 A Rough Sketch of the Actual Situation in the Car

実験は、まず完熟走行区間として、都内一般道から東名港北PAまでの区間を運転してもらい、実験対象車種の運転に慣れてもらった。その後、PAにて運転席、助手席の両対象者のアイトラッキングカメラをキャリブレーションした後、走行を再開し、運転中の計測を開始した。走行後に後述の主観評価に回答してもらい、1回目の計測が終了となる。その後、運転席、助手席を交代し、同様の手順で再度計測を行い、計測終了となる。なお、本実験に際しては、株式会社U'eyes Design 実験倫理委員会の審査、承認を経て実施している。安全に十分配慮し、適時休憩を取りながら行った。

3. 評価指標と測定方法

3.1. 運転負荷の主観評価

運転負荷の計測には、自動車においても過去の研究で広く利用させているメンタルワークロードの主観評価測定指標であるNASA-TLXを用いた。参加者は、運転支援システム利用時、または非利用時の運転後について「精神的な要求」「身体的な要求」「時間的切迫感」「作業達成度」「努力」「不満」の6つのNASA-TLX下位尺度について、「低い-高い」または「良い-悪い」を両極とするGraphical scaleを用いて評価してもらった。また、全走行終了後に、6つの下位尺度について、一対比較全15通りの組み合わせについてどちらがメンタルワークロードへのかかわりが大きいかを回答してもらった。結果から各下位尺度のスコアと、重み付け係数による総合スコアWWL (Weighted Workload) を算出した⁽¹¹⁾。

3.2. 認知行動の計測

実験機材による違和感が少なく、日常走行に近い状況のまま、長時間計測できる計測手法を用いる必要があるため、ドライバの負荷が少ない、メガネ型アイトラッカー(SensoMotoric Instruments社製)による視線計測を行った。分析対象の注視対象(AOI)は「前方車」「右前方車」「左前方車」「ルームミラー」「右サイドミラー」「左サイドミラー」「ナビ」「メーター」「道路標識」「看板」の10要素とした(図3)。それぞれに対して、注視頻度、注視時間などの特徴的な注視行動特性を分析した。後述の操作行動とアイトラッキングの分析に利用したデータ量は、全被験者で合計489分の走行データとなった。

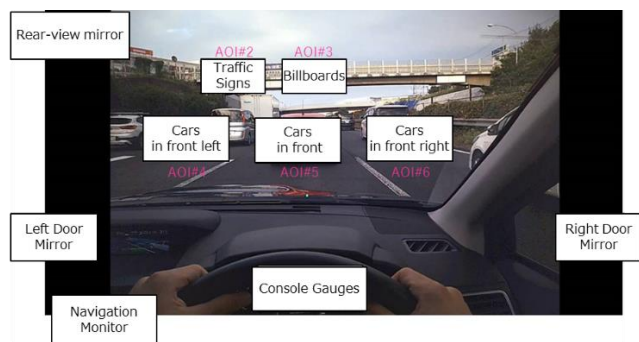


Fig.3 AOI (Areas of Interests) used in the Gaze Behavior Analysis

3.3. 操作行動の計測

実験中はドライブレコーダーで前方風景、車内の様子を撮影し、運転中の特徴的な行動を同乗の観察者が記録した。また、運転支援システム利用時のサポートにより、どの程度の回数のアクセル・ブレーキ操作が平均的に削減されているのかを把握するため、運転席足元を撮影し、アクセル、ブレーキの操作回数を計測した。

3.4. 心拍の計測

実験中は同時に腕時計型の活動量計を装着してもらい、心拍計測も行った。結果として渋滞時において運転支援システム作動状態のほうが若干の心拍数が低下する結果が得られたが、作動非作動以外の要因の影響も示唆されたため、明確な運転支援システム作動による影響は確認できなかった。

4. 実験結果

4.1. 高速道路運転時の運転行動

まず、運転支援システムを利用していない高速道路走行中のドライバ行動の計測結果を示す(表1)。ドライバが運転中に行っているタスクは、アクセル・ブレーキ・ステアリングなどの操作タスクと、前方車との車間距離や周辺車両状況の確認など認知タスクがある。順調時も渋滞時もアクセル操作回数にあまり変化はなかった。ブレーキ操作回数は当然であるが、渋滞時は増加していて、平均26秒に1回程度の操作があった。システム作動時はこれらの操作がほぼ削減されることになる。

認知タスクは特徴的で、順調時も渋滞時も前方者間確認行動が多く、運転中のベースとなる行動となっていることが見て取れる。渋滞時は順調時よりも、前方車注視の時間は多くなり、周辺車両、看板、車載情報などの前方車以外の注視行動は少なくなる。

Table.1 The Result of Driving Behavior Measurement

[Driver's Behavior to Measure]		[The Result]	
		順調時	渋滞時
Driving Behavior	Frequency of Pressing Accelerator	Once in 12.4 s	Once in 12.8 s
	Frequency of Pressing Brake Pedal	Once in 183 s	Once in 26 s
Cognitive Behavior	Gaze Frequency of Vehicles Ahead	60.3 times per minute	74.9 times per minute
	Gaze Frequency of Vehicles Beside and Behind	3.4 times per minute	1.9 times per minute
	Gaze Frequency of Signs	7.9 times per minute	4.0 times per minute
	Gaze Frequency of Vehicle Information	9.1 times per minute	8.3 times per minute

Average Value of All Subjects

4.2. 運転負荷低減の主観評価

NASA-TLXによる質問紙評価により重み付け係数による総合スコアWWL (Weighted Workload) の全被験者平均を算出した(図4)。結果、運転支援システム作動時は「渋滞時」平均約60%、「順調時」約58%の心理的な低減効果をドライバは感じていることが明らかになった。作動時の値は参考値として取得した助手席乗車時のスコア(平均26.4)と近い値であった。

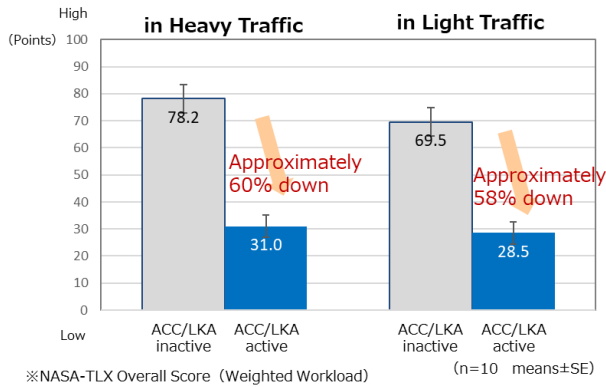


Fig.4 Average of NASA-TLX Overall Score (WWL) among All Subjects

下位尺度を見ていくと、渋滞時に特に「身体的要求」と「努力」の項目の削減効果が高い。ステアリングやペダル操作減少による身体的な負荷の削減のみでなく、「努力」のような心理的な負荷も削減していることが分かる(図5)。

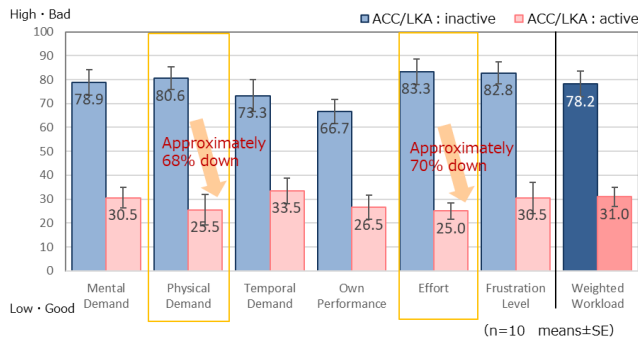


Fig.5 Average of NASA-TLX Rating Scales and WWL in Heavy Traffic among All Subjects

4.3. 注視行動の分析結果

視線計測で得られたデータから、ドライバーが運転中に注視していた箇所を分析した(表2)。結果、作動時は、非作動時に比べ渋滞時および順調時ともに、「前方車」注視の時間・頻度が減少していた。

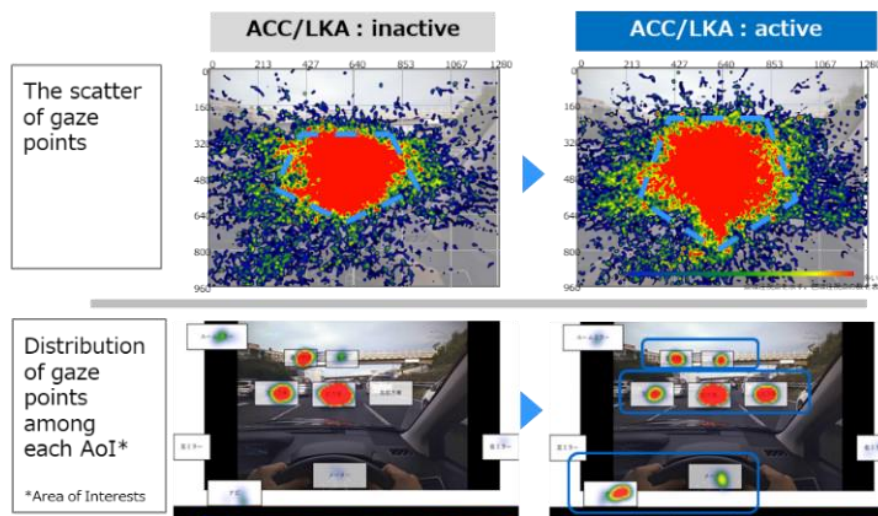
注視する視野範囲が拡大し、運転中の安全確保のために必要な「左右の前方車」「各種ミラー」「看板・道路標識などの遠方対象物」「メーター・ナビ」など、前方車以外の注視頻度、注視時間が多くなっている傾向が確認できた。前方車注視に取られていた注視リソースがほかの周辺確認にも使えるようになったと考える結果であった。前述のとおり、運転時の注視行動は「前方車」注視に多くの注意を取られており、前方確認の負荷が減少したということであれば、ドライバーにとって有益な効果といえるのではないかと示唆された。

Table.2 Average of gaze frequency and time in every minute at the car in front and at other than that

	Average of Gaze Frequency (times/min)		Average of Total Gaze Time (seconds/min)	
	inactive	active	inactive	active
in Heavy Traffic				
At the Car in Front	62.7 times	58.2 times	19.63 seconds	18.11 seconds
At the others of AoI*	26.4 times	32.3 times	5.74 seconds	7.82 seconds
in Light Traffic				
At the Car in Front	49.2 times	31.3 times	17.25 seconds	10.28 seconds
At the others of AoI*	31.5 times	31.2 times	7.41 seconds	7.86 seconds

*Area of Interests, defined as the cars in Front, that in Front Right, that in Front Left, Right and Left Mirror of the Car, Billboards, Traffic Signs, Console Gauges, and Navigation Systems in this research.

実際の注視点分散を確認すると、非作動時と比較して、作動時は注視範囲が広がっていることが確認できた。視界上部、下部といった視界の縦方向にも分散が伸びている。非作動時よりも、遠方やメーターが注視できていることが確認できた。(図6)



Exemplifying above the Result of Representative Subject Driving in Heavy Traffic

Fig.6 Result of Gaze Behavior while Driving in Heavy Traffic of a Representative Subject

4.3. 運転熟練度による傾向

ドライバ属性ごとに傾向を分析すると、運転熟練度によって傾向に差が出た。運転負荷の主観評価に関しては、順調時よりも渋滞時のほうが熟練度による差は大きく出た。熟練度が低いドライバのほうが運転支援システムによる運転負荷低減効果が大きい結果となった(図7)。熟練ドライバは、運転負荷への耐性が高い傾向はうかがえるが、非作動時に熟練度に関係なく、運転負荷を高く感じているということが示唆された。

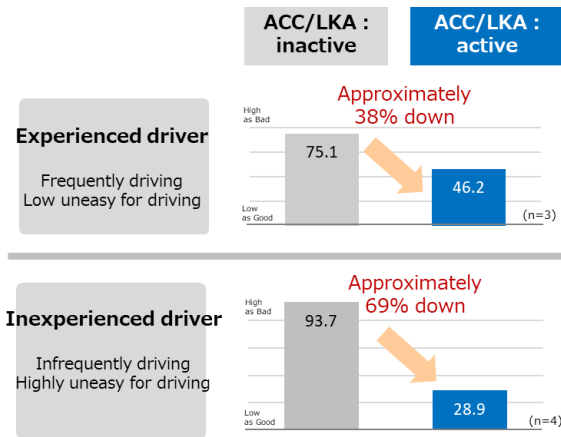


Fig.7 NASA-TLX Overall Score of Experienced and Inexperienced Driver

また、注視点の分散を見ていくと、熟練ドライバと熟練度が低いドライバで、特徴的な差がみられるサンプルが得られた。熟練ドライバは運転支援システム作動時も非作動時も注視対象物の注視割合が大きく変わらなかったのに対して、熟練度が低いドライバは非作動時にはほぼ前方しか注視していなく、作動時は前方車以外の注視対象物へ視野が広がる。熟練度が

低いドライバは運転支援システムのサポートによって前方車への注意の集中が改善されることが顕著に見てとれた(図8)

5. 考察

運転支援システムによる支援により、前方車以外の周辺対象物の注視が増えたことは、アクセル・ブレーキ・ステアリング操作に取られていた注意資源のリソースが開放され、周辺対象物の認知行動の増加につながったと考えられる。注意資源の解放は、熟練度が低いドライバのほうが大きいですが、熟練ドライバにおいても経験獲得した技能により補っていた行動から解放され、負荷低減効果を感じるのであろうと考えられる。

主観評価結果において、運転負荷削減は身体的要求のみでなく、心理的な負荷に対する項目も大きく減少していたことから、全車速追従 ACC と LKA による運転支援による運転負荷低減効果は、認知行動・操作行動の両面にあると考えられる。具体的には「アクセル・ブレーキ・ステアリング操作の回数削減」といった操作タスク負荷削減と、「前方車以外の注視エリア拡大・注視回数増加」という認知タスク負荷低減の両面があると考えられる。

さらに、実験参加者の評価理由では、「割り込みがあっても大丈夫。前もって認識していそうで安心」「今まで看板など余裕が無くて見れなかったけど、これなら見れる」といったコメントが得られた。ドライバーは、運転負荷低減効果により、余裕や安心感などの心理的効果を実感されていることが示唆された。

加えて、もう一点。参加者の主観評価理由から、加減速や割り込み時の運転支援システムの挙動に関するコメントも多く得られた。例えば「カクカク感がなくなめらか」「違和感なく抵抗ない」など。走行中のシステムの挙動も、ドライバは運転支援システムに対する心理的作用に大きく影響を及ぼしてい

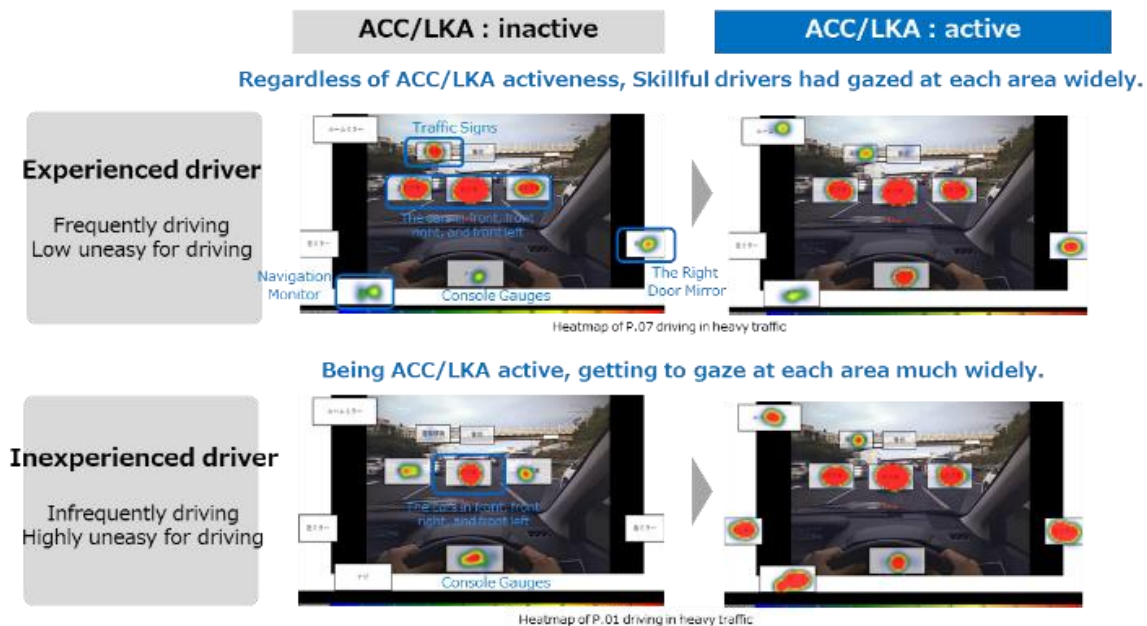


Fig.8 Comparison of Gaze Behavior Change while Driving between Experienced and

ることが示唆された。

運転支援システムによる認知・操作行動両面の運転負荷低減効果がドライバの余裕につながり、走行中のシステムの挙動がシステムへの信頼感につながる。結果として、ドライバの安心感が醸成され、ドライバ自らが安全な運転行動を行えるようになっていくようなモデルが見えてきた。

6. まとめ

本報では、全車速追従 ACC と LKA による運転支援システムがリアルな利用シーンでどのような運転負荷低減効果をドライバへもたらすのかを解明する手法として、評価対象システムの実際のユーザーを対象に、日常運転状況と近い高速道路実走行環境でのドライバ行動を検証する実走行実験を行った。結果として、以下のような有益な知見が得られた。

運転支援システム作動時、ドライバは非作時より約 60% の運転負荷低減効果を実感している。システム作動により、ドライバが前方車を注視する時間、頻度が減り、前方車以外の注視視野が広がり、注視時間、頻度が増加した。運転支援システムによる運負荷低減や視野拡大効果は、熟練ドライバも運転に不慣れなドライバにもあったが、不慣れなドライバのほうが顕著であった。操作タスクの低減により、ドライバの注意資源に余裕が生まれ、認知行動が増加することで、ドライバに安心感が生まれるモデルが示唆された。また、運転支援システムの挙動に信頼感が感じられることも運転負荷削減効果に重要な要素となる可能性が示唆された。

今後は、得られた知見を心理学的研究とも照らし合わせ、運転支援システムがもたらす負荷低減効果と安心感や信頼感といった心理的な側面との関連を解明していくとともに、ひきつづき実ユーザー、実利用環境での効果検証手法についても研究を進めていく。

参 考 文 献

- (1) NHTSA : Federal automated vehicles policy, NHTSA (2016)
- (2) SAE : SAE international standard J3016, (2016)
- (3) 黒須 正明: 人間中心設計の基礎 (HCD ライブラリー (第 1 巻)), 近代科学社, 2013
- (4) 星野隆允, 景山一郎: 長時間運転時の人間の疲労評価に関する研究, 日本大学生産工学部第 48 回学術講演会講演概要, p. 849-850 (2016)
- (5) Yuji Takeda : Electrophysiological evaluation of attention in drivers and passengers : Toward an understanding of drivers' attentional state in autonomous vehicles, Transportation Research Part F 42 (2016) p. 140-150 (2016)
- (6) Kahneman, D. "A perspective on judgement and choice", American Psychologist 58 (9): 697-720, (2003).

(7) J. ラスムッセン: インタフェースの認知工学, 啓学出版, (1990)

(8) 北島宗雄, 内藤耕: 消費者行動の科学, 東京電機大学出版局, (2010)

(9) 佐藤 稔久他: ACC 使用時のドライバーの追い越し行動の解析, Transactions of Society of Automotive Engineers of Japan 36(4), p. 237-242 (2005)

(10) S. G. Hart and L. E. Staveland : Development of NASA-TLX (Task Load Index) : Results of empirical and theoretical research. In : P. A. Hancock and N. Meshkati (eds.) : Human Mental Workload, p. 139-183, Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam (1988)

(11) 三宅晋司, 神代雅晴: メンタルワークロードの主観的評価法-NASA-TLX と SWAT の紹介および簡便法の提案-, 人間工学, 29 (6) , p. 399-408 (1993)