

エージェントによる 高齢ドライバの運転行動改善と生体機能の関係

—高齢ドライバの運転行動改善を促すドライバエージェント研究—

Analysis of Relationship between Driving Behavior Improvement by Driver Agent
and Biofunction of Elderly Drivers

- Study on Driver-Agent for Encouraging Safety Driving Behavior of Elderly Drivers -

田中 貴紘¹ 藤掛 和広¹ 吉原 佑器¹ 米川 隆¹ 稲上 誠¹ 青木 宏文¹ 金森 等¹

Takahiro Tanaka¹, Kazuhiro Fujikake¹, Yuki Yoshihara¹, Takashi Noyekawa¹, Makoto Inagami¹,

Hirohumi Aoki¹ and Hitoshi Kanamori¹

¹名古屋大学 未来社会創造機構

¹Institutes of Innovation for Future Society, Nagoya University

Abstract: 近年、高齢ドライバによる交通事故が増加している。本研究では、交通事故低減を目的とし、自己認識による運転行動改善を促すドライバエージェントの研究開発を進めている。本論文では、エージェントによる運転支援・振り返り支援による運転行動改善効果と高齢ドライバの認知機能や視機能など生体機能との関係を分析した。分析の結果、エージェントの支援により、高齢ドライバが補償行動を取るよう行動変容する可能性が示唆されたため、これを報告する。

1. はじめに

近年、高齢ドライバによる交通事故が増加している。交通事故による死者数は年々減少傾向にあるが、年齢層別事故率では 65 歳 - 74 歳が他の年齢層と比較して事故を起こし易いと報告されている[1,2]。事故の原因の一つとして、適切な対象に注意を向けられないなど、加齢による認知機能や視覚機能などの変化の影響が指摘されている。一方、高齢者の移動手段として自家用車の比率は最も高く[3]、免許返納等による運転習慣の欠如は QOL 低下だけでなく、認知症を発症し易くなるとの報告もある。加齢による生体機能の変化は個人差が大きいので、適切に運転能力を評価する方法や、個人に合わせた支援方法の検討が課題である。また、運転中の支援による行動変容効果は一時的との指摘もあり、効果を維持するための方策も必要である。近年注目を集める自動運転車の実現により、高齢ドライバを含む交通事故減少が期待されるが、完全自動運転車が実現し普及するにはまだまだ時間が必要であり、高齢者が安心安全に運転できるよう支援が必要である。

情報提示等による運転支援に関しては、小型ディ

スプレイやカーナビ、HUD などの情報提示機器の利用や、音や音声、振動等による提示手法などの試みがある[4]。例えば衝突回避装置等の先進予防安全装置は事故を未然に防ぐのに効果的であるが、その効果はセンサ等の認識精度に依存し、かつ環境による影響を受け易い。また特定条件下（時速 20km 以下等）のみ有効であったり、支援に対するドライバの依存・過信といった負の適応[5]によって、かえって危険な運転になるとの指摘もされていることから、装置の有効性を高めるためにも、平時の運転行動をより安全に変容させることも必要である。

本研究では、高齢ドライバの事故率低減に向け、ドライバに自身の運転行動を認識させることで、より安全な運転行動への変容を促すことを目的としたドライバエージェントを提案し、研究開発を進めている[6]。本報告では、高齢者を対象に、エージェントの運転支援・振り返り支援による運転行動変容効果と高齢者の認知機能や視機能などの生体機能、運転適性検査との関係を分析した。分析の結果、エージェントの支援により、生体機能の衰えたドライバが補償行動を取るよう行動変容する可能性が示唆されたため、これを報告する。

2. 運転行動改善を促すエージェント

2.1 人間加齢運転特性データベース Dahlia

文部科学省「革新的イノベーション創出プログラム (COI STREAM)」の研究開発課題の一つとして、名古屋 COI 拠点の提案が採択され、本研究テーマを含む多くの研究が COI プロジェクトの下で進められている。我々は、高齢ドライバーの人間・運転特性の経時的調査研究として、人間加齢運転特性データベース Dahlia の構築に取り組んでおり、年間 300 名の高齢者を対象に、認知機能検査、運転適性検査、視機能検査、運転特性調査等を実施し、また、自家用車に取り付けたドライブレコーダによる実路走行データ、ドライビングシミュレータ (DS) による走行実験データを収集している[7]。Dahlia に登録された高齢者を対象に、DS による一時停止交差点通過実験[8]を行ったところ、認知機能や視機能の低下により衝突率が増加することが確認された。一方、自身の運転能力に対する自己認識の強い高齢者群は、生体機能と衝突率の相関が弱くなっており、機能低下を運転行動で補償している可能性が示された。加齢による機能低下を回復させることは困難であるが、加齢の影響を受けにくい運転行動へ変容を促すことで、事故率の低減が期待できる。

2.2. エージェントによる運転行動の改善

本研究では、高齢ドライバーの事故率低減を目標に、“家にあるエージェントを車に持ち込み運転支援を受け、家では空き時間に振り返り支援によるフィードバックを受ける”というコンセプトを元に、より安全な運転行動への変容を促すドライバエージェントを提案している。本研究では、エージェントの形態として市販の小型コミュニケーションロボットを選択し、これらに共通して使用可能な機能・サービスとしての利用を想定している。普段から家庭内で使用されるロボットに対する愛着や信頼感が、支援に対する受容性をより高めると期待できる。

先行研究[9]として、著者らは運転指導員による高齢ドライバー指導記録の分析および運転指導モデルの抽出を行った。また、アンケートにより、配偶者や子供、友人からの運転アドバイスは受容性が低く、クルマやロボットなどの人工物からであれば受け入れられやすい傾向も確認してきた。さらには、高齢ドライバー・非高齢ドライバーを対象に、運転支援エージェントの車載形態として、音声のみ、ディスプレイに表示したキャラクタ、小型ロボットの 3 形態の受容性等の比較実験を行った。実験の結果、両年齢層に対し、ロボット形態の運転支援エージェントは、

受容性が最も高く、分かり易く、かつ運転阻害になり難いことが示された[10]。

2.3 ドライバエージェントシステム概要

開発中のドライバエージェントのシステム構成を図 1 に示す。エージェントは入力情報として、ドライバーの運転操作を ODB2 経由で CAN (Controller Area Network) から取得し、運転中のドライバーの顔向きをカメラ映像に顔認識を適用することで取得する。また、他の車載センサやスマートフォンの GPS・加速度センサ、地図情報、および検知した歩行者や停止線等との距離を取得する。取得したデータはスマートフォンアプリケーションを介してクラウドにアップロードされ、ビッグデータ化される。

クラウドでは、入力情報に従って複数種類の運転支援モデルを適用し、エージェントの運転支援内容を選択する。運転支援の対象場面は、まずは高齢者の事故率が高い一時停止交差点、歩行者/駐車車両回避、合流とする。選択された支援内容は、スマートフォンアプリの制御モジュールを介して、提示モジュールへ送られる。また、同時に同運転場面において運転評価を行い、評価値を算出して記録する。

ドライバーへの提示は、ダッシュボード上、または運転席付近に設置した小型ロボットとロボット回転台座を用いて行う。エージェントによる運転支援は、注意喚起と運転修正示唆の 2 種類とし、音声と動きを併用した表現とする。ドライバーへのディストラクションを考慮し、動きの種類は設けず、動きの有無だけを使用する。また、運転中、ドライバー前方に「顔」が存在するとドライバーの注意を引きやすいことが指摘されている[11]ため、ロボットの向き (Yaw) を制御し、運転中のディストラクションを抑制する。

運転後、振り返り支援では、エージェントによる運転評価結果を元に、1 回の走行における良い/悪い場面を複数場面選択し、評価値・アドバイス・場面地図をリスト化してドライバーに提示する。ドライバ

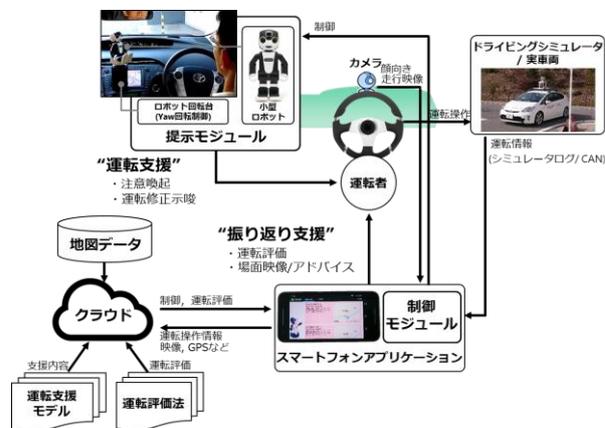


図 1. ドライバエージェントシステムの構成

が任意の場面を選択すると、記録された走行映像の中から、評価発生時刻前後5秒の短い動画を再生し、ロボットがアドバイスを読み上げる。また、ドライバによる振り返り実施状況を把握するため、場面の既読管理を併せて行う。評価値の傾向や振り返り行動記録など、クラウドに蓄積された情報を用いて、ドライバ分類や運転支援の選択、さらには保険料値下げ等のインセンティブ発生の仕組みに応用することも検討している。

3. 実験：行動変容効果の検証

エージェントの支援による運転行動変容効果の検証を行うため、高齢ドライバを対象に、運転支援・振り返り支援・両支援併用時の運転行動改善効果を比較する実験を行った。

3.1 実験方法

実験は、図2に示す5面モニタを有するDSを用いて被験者に実験コースを走行させ、走行中、エージェントからの運転支援および振り返り支援を体験させた。実験コースは、高齢ドライバによる事故が多い交通場面[2]である、一時停止交差点2回、歩行者/駐車車両回避を含む、1周約5分の住宅路を模した実験コースとした。使用する小型コミュニケーションロボットは、シャープ製RoBoHoNとした。

実験条件は、支援の種類および併用による行動変容効果を検証するため、エージェントによる運転支援のみ、振り返り支援のみ、両支援の併用の3条件とした。運転支援条件は、運転中の注意喚起と運転修正示唆の2種類のみを実施した。注意喚起は一時停止交差点・歩行者・駐車車両への接近時通知（例：“一時停止があります”）とし、運転修正示唆は、一時停止交差点においては減速と安全確認方向の示唆（確認不十分な方向を促す）、歩行者/駐車車両回避では減速と操舵修正（対象物との幅を開けるよう示唆）とした。また、振り返り支援条件は、運転終了



図2.実験環境

後、一時停止交差点・歩行者回避・駐車車両回避における運転評価結果に基づき、ピックアップされた良い場面と悪い場面(2つ以下)の走行映像と運転評価の閲覧、およびロボットによるアドバイス読み上げ（例：時速20km以下に減速するようにしましょう）を実施した。両支援併用は、運転支援と振り返り支援の両支援を毎走行実施した。

被験者は、全員が運転免許を保有し、日常的に運転を行っている高齢者15名（平均年齢74.4歳）とした。実験は、被験者間実験にて、各条件5名の被験者で実施した。実験では、各被験者が1週間間隔で3週続けて同一条件を体験し、その間の運転行動の変化を比較した。1日の走行は、DSの練習走行後に、エージェントなしの走行（プレ走行）を行い、その後同一条件での走行を3回繰り返す、最後に再度エージェントなしの走行（ポスト走行）を行った。条件走行では、被験者の練習効果を抑制するため、一時停止交差点での交差車両発生や歩行者/駐車車両回避場面での歩行者の飛び出しを、順序効果を考慮して発生させた。

実験で取得するデータは、走行中のDSログ（車速、ペダル操作、操舵、走行位置、物体（停止線、歩行者、駐車車両）との相対距離）、ドライバの注視点（TobiiX2-30, 30fps）、1日の走行後に行うエージェントの受容性に関する主観評価とした。

3.2 実験結果概要：行動変容効果

行動変容効果を検証するため、本研究では3つの評価指標を定義し、第1週から第3週までの変化率を比較した[12]。評価指標は、1. 一時停止交差点場面での停止線前後5m以内における車速0km/hの合計時間（安全確認時間）、2. 歩行者/駐車車両回避場面での対象脇通過時の最低速度（徐行速度）、および、3. 同場面での対象との最大幅（避け幅）とした。運転指導員の運転記録および警察による指導では、指標1は2秒～3秒、指標2は車速20km/h以下、指標3は1.5m以上が良いとされている。また、分析では、外乱要因が発生せず、エージェントが存在しないプレ走行とポスト走行を対象に、第1週のプレ走行を基準として、各週のプレ走行・ポスト走行における変化率を比較した。

図3に、実験条件ごとのプレ・ポスト走行における安全確認時間、徐行速度、避け幅の変化率の平均値を示す。運転支援条件における避け幅を除き、全条件でエージェントによる運転行動の改善が見られた。特に、運転支援と振り返り支援の両支援に改善効果が見られたが、併用することで改善効果が向上

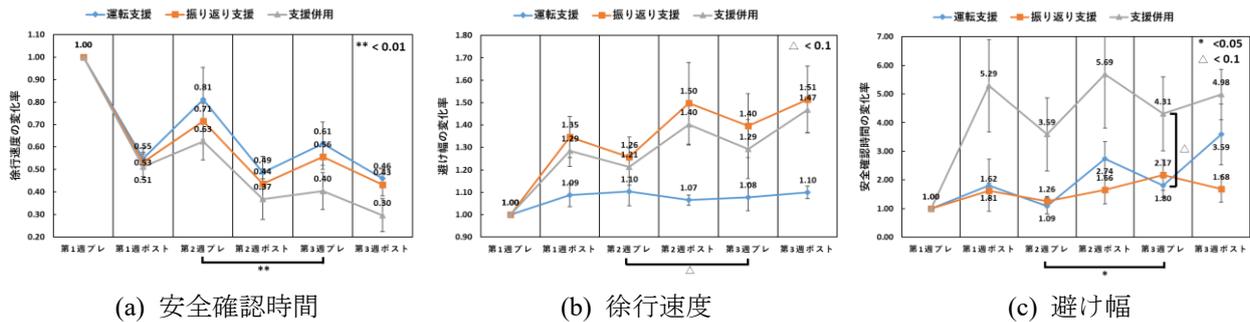


図 3. 実験条件ごとの運転評価指標の変化率

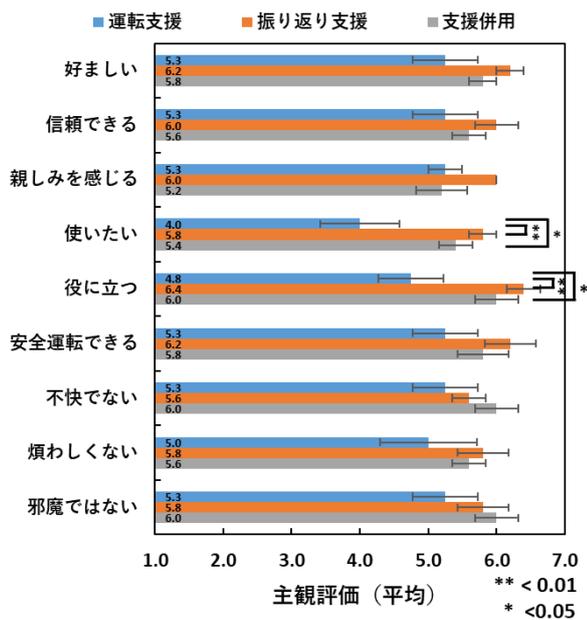


図 4. 実験条件ごとの主観評価結果

する可能性があることも示された。また、主観評価結果 (図 4) においても高い評価が得られた。特に、運転支援単独よりも振り返り支援を含む条件において、使用意欲や有用性が高い結果となった。自身の運転を心配する高齢ドライバーの潜在的ニーズを示す結果と言える。

4. 行動変容と生体機能

高齢ドライバーによる事故率増加の原因の一つとして、加齢による認知等の生体機能の低下が指摘されている。本研究では、エージェントの支援により、機能低下を自己認識することで、自ら補償行動を取るよう運転行動が変化することを期待している。そこで、3章で述べた運転評価指標および主観評価結果と被験者の生体機能の相関分析を行った。

4.1 被験者の生体特性

2.1 節で述べた通り、名古屋大学 COI 拠点では、

高齢ドライバーの人間加齢運転特性データベース Dhalia の構築を進めている。本実験に参加した 15 名の高齢ドライバーも、事前に生体計測を行っている。

本論文では、Dhalia に収集されている各被験者の検査結果のうち、視覚探索や注意および注意の切り替えなどを反映し、高齢ドライバーの運転能力低下のスクリーニング[13]や運転スキルの予測因子[14]になると言われている Trail-making test A/B (TMT A/B)、運転を安全に遂行するための認知的、視覚的機能を評価する検査であり、転倒や運転能力の視覚的問題や事故リスクの予測因子[15,16]であると言われている有効視野検査 (Useful Field of View test: UFOV)、高齢者講習にて使用されていた運転適性検査器による単純・選択反応時間等複数の反応時間 (連続緊急反応検査、信号確認検査、アクセル・ブレーキ反応検査、側方警戒検査)、運転に関する主観評価として、運転スタイルチェックシート (Driving style questionnaire: DSQ) [17]を対象に分析を行った。

各検査結果と 15 名の被験者の年齢との相関分析結果を表 1 に示す。TMT の値はタスク完了に要した時間であり、値が大きいほど評価は低い。運転適性検査の各結果は反応時間となるため、TMT 同様に値が大きいほど評価は低い。UFOV は正答率を示す。被験者の年齢との相関分析では、高齢になるほど、注意機能 (TMT) や有効視野が低下し、各操作・刺激に対する反応時間が遅くなる結果を示しており、高齢者における加齢の影響が確認できる。

表 1. 生体機能検査と運転評価指標の相関分析結果

	年齢	安全確認時間		徐行速度	
		第1週プレ	第3週ポスト	第1週プレ	第3週ポスト
TMT A	0.29	-0.49	0.07	0.20	-0.43
TMT B	0.68	-0.01	0.41	-0.43	-0.11
UFOV	-0.60	-0.03	-0.59	0.30	0.05
連続緊急反応	0.37	0.03	0.57	-0.42	0.18
信号確認	0.38	-0.24	0.44	0.14	-0.47
アクセル・ブレーキ反応	0.45	-0.20	0.45	0.03	0.06
側方警戒	0.44	-0.07	0.59	-0.16	-0.53

表 2. DSQ とエージェント印象評価の相関分析結果

	運転スキルへの自信の有無	運転に対する消極性	せっかちな運転	几帳面な運転	事前準備的な運転	ステイタスシンボルとしての車	不安定な運転	心配性的傾向
好ましい	-0.13	0.10	0.33	0.18	0.17	0.01	0.18	-0.44
信頼できる	-0.23	0.26	0.18	0.24	-0.09	-0.08	0.19	-0.62
親しみを感じる	-0.43	0.29	0.10	0.21	-0.02	-0.19	-0.13	-0.11
使いたい	-0.27	0.18	0.46	0.32	0.03	0.27	0.40	-0.07
役に立つ	0.01	0.12	0.39	0.19	0.04	0.16	0.46	-0.12
安全運転できる	-0.20	-0.04	0.52	0.06	-0.29	0.25	0.39	-0.39
不快ではない	-0.29	0.40	0.06	0.23	0.08	-0.03	0.63	-0.07
煩わしくない	-0.17	0.11	0.21	0.04	0.13	-0.06	0.28	-0.55
邪魔ではない	-0.16	0.03	0.27	0.06	0.12	0.23	0.43	-0.32

4.2 分析結果

4.2.1 生体計測結果と運転行動

先行研究[17]では、注意機能が低下 (TMT 低評価) した高齢ドライバーは、一時停止交差点における安全確認時間が短くなること、UFOV の正答率が低い高齢ドライバーは、指導員からの注意が増えることが確認されている。事故率低減を目指す上で、機能低下したドライバーがより危険な運転を行うようになることは、第一に避けるべき状態と言える。本研究では、エージェントの支援により、機能低下したドライバーが補償行動を取るよう運転行動が変化することを期待している。より理想的には、機能の高低によらず安全な運転へ変容することが望ましい。本分析では、実験条件によらず共通して改善が確認された安全確認時間と徐行速度の 2 指標に関し、第 1 週プレ走行と第 3 週ポスト走行の指標値と被験者の生体計測結果との相関分析を行った。

表 1 に分析結果を示す。TMT と第 1 週プレ走行の安全確認時間に負の相関が見られた。すなわち、先行研究と同様に、注意機能が低いドライバーほど安全確認時間も短い傾向であった。一方第 3 週ポスト走行では正の相関に逆転しており、注意機能が低いドライバーほど安全確認を長く行うよう変化した。徐行速度に関しては、TMT と負の相関が共通して確認され、注意機能が低いドライバーほど速度を落とす傾向が確認された。UFOV と安全確認時間は、第 3 週ポスト走行で負の相関となり、有効視野が狭いドライバーほど安全確認を長く行うよう変化した。徐行速度に関しては、第 3 週で相関が見られなくなった。群全体の平均徐行速度は低下しているため、有効視野機能によらず、減速するよう変化したと言える。運転適性検査における各種反応速度と安全確認時間

の相関分析では、第 1 週での相関は見られなかったが、第 3 週で正の相関が確認され、機能低下したドライバーほど確認するよう行動が変化した。徐行速度に関しても、信号確認・側方警戒の反応速度と第 3 週の結果に負の相関が見られ、機能低下したドライバーほど徐行するよう変化したことが確認された。

4.2.2 DSQ とエージェント印象評価

エージェントに対する印象は、ドライバーの運転への自信や自己認識によって変化すると考えられる。そこで DSQ で得られる 8 つの主成分の値と第 3 週の実験後に得られた主観評価 9 項目の相関分析を行った。結果を表 2 に示す。運転スキルへの自信と主観評価の相関では、親しみや使用意欲などに負の相関が見られた。一方、運転に消極的なドライバーや、せっかち・几帳面・不安定といった自己認識を持つドライバーでは、エージェントの印象に対して多くの正の相関が見られた。心配性的傾向 (自身が事故を起こすのではないかと) と各評価項目は、運転スキルと同様に多くが負の相関となった。

5. 考察

分析の結果、第 1 週と第 3 週で相関が変化する計測結果が多く確認された。すなわち、注意機能が低かったり、反応に時間がかかったりするドライバーが、確認時間を長く取るように、また、徐行速度を下げるよう運転行動を変化させたと言える。また、UFOV など、機能と運転に相関の見られた指標が、3 週間後に運転行動が改善しつつ相関がなくなるなど、生体機能によらず安全な運転行動を取るよう変化した指標も確認された。よって、本研究で提案するドライバーエージェントの支援が、高齢ドライバーに補償行動を取るよう行動変容を促すことができる可能性が示

された。DSQ との分析結果から、自身の運転に対する自己認識を持つ高齢ドライバは、エージェントに対する受容性や使用意欲が高くなることが分かった。運転に対する消極性と印象の相関結果から、高齢ドライバだけでなく、初心者やペーパードライバ、運転頻度の低いドライバに対してもエージェントの評価が高くなる可能性が考えられる。一方、やはり運転スキルに自信のある高齢者はエージェントを低く評価する傾向が確認され、正しく自己認識を促す必要があると言える。また、心配性的傾向にも同様の結果が見られた。エージェントの動作や機能、また、衝突回避装置などの先進安全装置との併用による事故防止など、システムに対する理解を深めるなどの対応も必要と言える。

6. おわりに

本研究では、ドライバをより安全な運転行動へ変容を促すドライバエージェントの実現に向け、エージェントの支援による行動改善と高齢ドライバの生体機能の関係を分析した。その結果、エージェントの支援により、生体機能の衰えたドライバが補償行動を取るよう行動変容する可能性が示唆された。今後の課題は、実車両におけるエージェントの受容性やディストラクションの検証が挙げられる。

謝辞

本研究の一部は、文部科学省/JST 研究成果展開事業「センター・オブ・イノベーション (COI) プログラム」の支援によるものである。また、佐藤太亮氏と小林悠氏にシステム開発へご協力頂いた。ここに記して感謝する。

参考文献

- [1] イタルダ・インフォメーション: 高齢者の四輪運転中の事故, 交通事故総合分析センター, No.68 (2007)
- [2] 桑田佳奈: 高齢ドライバの頻出事故分析手法の検討, 自動車技術, Vol.69, No.1, pp.90-95 (2015)
- [3] 内閣府: 平成 27 年度 第 8 回高齢者の生活と意識に関する国際比較調査 (2015)
- [4] 金丸隆, 桑本英樹: HMI 技術の変遷と車載機器向けの取り組み, 自動車技術, Vol.69, No.3, pp.39-42 (2015)
- [5] 芳賀繁: リスク・マネジメントと事故防止, 交通安全教育, No.551, pp 6-16 (2012)
- [6] T. Tanaka et.al: Study on Driver Agent based on Analysis of Driving Instruction Data -Driver Agent for Encouraging Safe Driving Behavior (1)-, IEICE Transactions on

Information and Systems Vol.E101-D, No.5, pp.1401-1409 (2018)

- [7] 青木宏文ほか: 運転寿命延伸を目指したドライバ運転特性研究 (1) - 高齢ドライバの人間・加齢・運転特性データベースの構築 -, 自動車技術会 2015 年春季大会学術講演会講演予稿集 (2015)
- [8] 田中貴紘ほか: 高齢者を含むドライバの一時停止交差点通過時の運転行動と生体機能の分析- 運転寿命延伸を目指したドライバ運転特性研究 -, 自動車技術会論文集, Vol.48, No.1, pp.147-154 (2017)
- [9] 田中貴紘ほか: 高齢ドライバの運転行動変容を促すドライバエージェントの開発, HAI シンポジウム 2016, G-4 (2016)
- [10] T. Tanaka et.al: Effect of Difference in Form of Driving Support Agent to Driver's Acceptability -Driver Agent for Encouraging Safe Driving Behavior (2) -, Journal of Transportation Technologies Vol.8, No.3, pp.194-208 (2018)
- [11] J. K. Hietanen, A. Myllyneva, T. M. Helminen and P. Lyyra: The effects of genuine eye contact on visuospatial and selective attention. Journal of Experimental Psychology: General, Vol.145, No.9, pp.1102-1106 (2016)
- [12] Takahiro Tanaka et.al: Driving Behavior Improvement through Driving Support and Review Support from Driver Agent, 6th International Conference on Human-Agent Interaction, pp.36-44 (2018)
- [13] G. D. Papandonatos, B. R. Ott et al.: The clinical utility of the trail making tests as predictors of driving performance in older adults, Journal of American Geriatrics Society, Vol.63(11), pp.2358-2364(2015)
- [14] K. J. Anstey, J. Wood et al.: Cognitive, sensory and physical factors enabling driving safety in older adults, Clinical Psychology Review, Vol.25(1), pp.45-65 (2005)
- [15] J. D. Edwards, L. A. Ross et al.: The useful field of view test: Normative data for older adults, Archives of Clinical Neuropsychology, Vol.21(4), pp.275-286 (2006)
- [16] H. Sakai, Y. Uchiyama et al.: Is the useful field of view a good predictor of at-fault crash risk in elderly Japanese drivers?, Geriatrics Gerontology International, Vol.15 (5), pp.659-665 (2015)
- [17] T. Sato, M. Akamatsu: Development of an interference system for drivers' driving style and workload sensitivity from their demographic characteristics. Advances in human aspects of transportation: PartIII, AHFE Conference, pp.199-210 (2014)
- [18] 米川隆ほか: ドライブレコーダを用いた安全運転行動評価法の提案とそれを用いた高齢ドライバ特性分析, 自動車技術会論文集, Vo.49, No.2, pp.384-389 (2018)