

氏名(本籍)	洪承姫(大韓民国)
専攻	知能機械システム工学専攻
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博甲第104号
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当者
学位授与の年月日	平成27年3月24日
学位論文題目	Study on Adaptive Driving Assistant System for Elderly Drivers
論文審査委員	(主査) 鈴木 桂輔 (副査) 石井 明 (副査) 郭 書祥

論文内容の要旨

本研究は、自動車の予防安全、いわゆる交通事故を未然に防止するための運転支援システムを対象としており、市街地交差点での高齢運転者の事故が多発している現状を踏まえ、これらの運転者の注意の欠落や思い込みなどのヒューマンエラーを防止して、より安全な運転行動を誘導する支援システムの設計法創出を目標としている。運転者の加齢による認知判断能力の低下やその運転経験から蓄積された運転への姿勢あるいは習慣などの運転性向については極めて個人差が大きいこともよく知られている。そこで本研究では、交差点における運転者の一連の制動行動に着目し、これらのデータより高齢運転者を支援するシステムの課題を明らかにし、高齢運転者を対象とした運転支援システムを構成しその効果を評価するとともに、最適な適応支援法を導出した。

以上の背景をもとに、本研究には次の2つの命題がある。

- ① 自動車の運転における操縦操作のシーケンスに応じて運転者へ周辺の環境変化を知らせるための注意喚起、次いで接近中の危険に対する警報および操作を誘導する音声警告の順を踏んだアラーム構造の組み合わせを検討し最適な運転支援システムを創出する。
- ② 認知や判断の機能の個人差に加え、運転への心理的背景が異なる高齢運転者の行動特性を踏まえて、運転支援システムを人間自動車系として扱い高齢運転者の交差点一時不停止防止をめざした運転支援方法を開発しその有効性を確認する。

本学位論文は以下の6つの章から構成される。

第1章「緒言」では、交通予防安全技術の進展と運転支援技術の開発の現状を概観し、研究の背景、研究目的および論文の構成を示した。

第2章「交通事故の発生状況と運転支援システムの課題」では、日本と諸外国での交通事故発生状況の特徴、特に交差点における事故の割合が高い高齢者運転者のブレーキ操作タイミングや減速行動の特性を調査した。交差点近傍の減速行動の分析から、高齢運転者

の特徴的な運転行動が認められ、これらの解析結果より高齢運転者を支援するシステムの課題を明らかにした。

第3章「運転支援システムの構築と運転者の生体信号からの評価に関する研究」では、市街地交差点での事故防止を目的に、運転支援システムを構築し、注意喚起および警報・警告の種々の組み合わせを設定し、運転支援システムを付与することによる変化について、運転者の心拍、脳血流および指尖容積脈波などの生理的信号を計測した。その結果、高齢運転者の支援システムに対する反応に個人差が大きいことが明らかとなり、この個人差に注目して最適な警報警告を与えることが必要であることが明らかとなった。

第4章「運転支援システムの高齢運転者への導入効果予測に関する研究」では、ドライビングシミュレータを用いて各種の支援警報付与時の高齢運転者の運転行動を観察して運転操作行動の変容を調べた。その結果、高齢ドライバの認知や判断能力に加えその経験や運転への意識によって運転支援の受容性に個人差が大きく、支援システムの効果も能力の低下している高齢者に効果的であることが明らかとなった。

第5章「高齢運転者への運転支援システムの適用に関する研究」では、実際の運転環境において信号のない交差点を含む運転コースを用いて、実車両に運転支援システムを搭載して高齢運転者に支援システムを適用した時の安全運転誘導効果について検証した。本技術の開発により、個人特性を考慮した適応的な運転支援システムの設計の考え方が明らかとなった。

第6章「結言」では、本研究のまとめを行うとともに今後の研究課題について述べた。

すなわち、本学位論文の成果は以下のように集約される。

- 1) 高齢運転者に受け入れられる運転支援システムの最適な構成について検討し、運転者の操作行動のシーケンスに応じた注意喚起や操作のタイミングを的確に誘導する警報および音声警告が重要であることを見出した。
- 2) 市街地走行を想定したドライビングシミュレータによる模擬実験により、高齢運転者への運転支援システムを適用し、運転者の生理学的信号から客観的にその効果を評価した。さらに、支援に伴う運転行動の変容を解析し、これらの両面から支援効果を確認した。
- 3) 実験車両による実走行試験を行い、高齢運転者の認知判断能力や運転性向から個人差を分析して個人の特性に適応した注意喚起警報を付与することにより安全な運転操作を誘導することが可能となることを検証した。また、認知能力が劣っている高齢運転者には音の支援が効果的であり、音声警告により停止や交差点での発進時の安全確認を効果的に誘導することが可能となることを検証した。

本研究により、運転支援システムの車載機器設計方針の妥当性を検証することができ、個人特性を考慮した適応的な運転支援システムの基礎設計の提案が可能となった。本システムを広く社会に広め交通予防安全の実を上げるためには、市場での受容性が課題となる。

審査結果の要旨

本研究は、自動車の予防安全、いわゆる交通事故を未然に防止するための運転支援システムを対象としており、市街地交差点での高齢運転者の事故が多発している現状を踏まえ、これらの運転者の注意の欠落や思い込みなどのヒューマンエラーを防止し、より安全な運転行動を誘導する運転支援システムの設計法の創出を目標としている。運転者の加齢による認知判断能力の低下やその運転経験から蓄積された運転への姿勢あるいは習慣などの運転性向については極めて個人差が大きいこともよく知られている。本研究では、交差点における運転者の一連の制動行動に着目し、これらのデータより高齢運転者を支援するシステムの課題を明らかにした。また、高齢運転者を対象とした運転支援システムを構成し、その効果を評価するとともに、最適な適応支援法を導出した。

以上の背景をもとに、本研究には次の2つの命題がある。

- ① 自動車の運転における操縦操作のシーケンスに応じて運転者へ周辺の環境変化を知らせるための注意喚起および接近中の危険に対する警報および操作を誘導する音声警告について、順を踏んだアラーム構造の組み合わせを検討し、最適な運転支援システムを創出する。
- ② 認知や判断の機能の個人差に加え、運転への心理的背景が異なる高齢運転者の行動特性を踏まえて、運転支援システムを人間自動車系として扱い、高齢運転者の交差点一時不停止防止をめざした運転支援方法を開発し、その有効性を確認する。

本学位論文は以下の6つの章から構成される。

第1章「緒言」では、交通予防安全技術の進展と運転支援技術の開発の現状を概説し、研究の背景、研究目的および論文の構成を示した。

第2章「交通事故の発生状況と運転支援システムの課題」では、日本と諸外国での交通事故発生状況の特徴、特に交差点における事故の割合が高い高齢運転者のブレーキ操作タイミングや減速行動の特性を調査した。交差点近傍の減速行動の分析から、高齢運転者に特徴的な運転行動が認められ、これらの解析結果より高齢運転者を支援するシステムの課題を明らかにした。

第3章「運転支援システムの構築と運転者の生体信号からの評価に関する研究」では、市街地交差点での事故防止を目的とした。運転支援システムを構築し、注意喚起および警報・警告の種々の組み合わせを設定し、運転支援システムを付与することによる変化について、運転者の心拍、脳血流および指尖容積脈波などの生理的信号を計測した。その結果、高齢運転者の支援システムに対する反応に個人差が大きく、この個人差に注目して最適な警報警告を与えることが必要であることが明らかとなった。

第4章「運転支援システムの高齢運転者への導入の効果予測に関する研究」では、ドライビングシミュレータを用いて各種の支援警報付与時の高齢運転者の運転行動を観察して運転操作行動の変容を調べた。その結果、高齢ドライバーの認知や判断能力に加えて経験や運転への意識によって運転支援の受容性に個人差が大きく、支援システムの効果は能力の低下している高齢者に高いことが明らかとなった。

第5章「高齢運転者への運転支援システムの適用に関する研究」では、実際の運転環境において信号のない交差点を含む運転コースを用いて実車両に運転支援システムを搭載し、高齢運転者に支援システムを適用した時の安全運転の誘導効果について検証した。本技術の開発により、個人特性を考慮した適応的な運転支援システムの設計の考え方を明らかにした。

第6章「結言」では、本研究のまとめを行うとともに今後の研究課題について述べた。

以上より、本学位論文の成果は以下のように集約される。

1) 高齢運転者に受け入れられる運転支援システムの最適な構成について検討し、運転者の操作行動のシーケンスに応じた注意喚起や操作のタイミングを的確に誘導する警報および音声警告が重要であることを見出した。

2) 市街地走行を想定したドライビングシミュレータによる模擬実験により、高齢運転者へ運転支援システムを適用し、運転者の生理学的信号から客観的にその効果を評価した。さらに、支援に伴う運転行動の変容を解析し、これらの両面から支援効果を確認した。

3) 実験車両による実走行試験を行い、高齢運転者の認知判断能力や運転性向から個人差を分析して個人の特性に適応した注意喚起警報を付与することにより安全な運転操作を誘導することが可能となることを検証した。また、認知能力が劣っている高齢運転者には音の支援が効果的であり、音声警告により停止や交差点での発進時の安全確認を効果的に誘導することが可能となることを検証した。

本研究により、運転支援システムの車載機器設計方針の妥当性を検証することが可能となり、個人特性を考慮した適応的な運転支援システムの基礎設計を行った。

以上より、本論文はその新規性、発展性を高く評価できる。本審査委員会は、申請者が香川大学大学院の博士（工学）の学位授与に値するものであると判定した。なお、本学位論文の作成にあたり、学会論文誌への掲載論文2編、および国際会議 Proceedings への掲載論文3編を含む複数の学術論文が掲載された。研究成果はいずれも独自に完成したものである。

最終試験結果の要旨

平成27年2月13日に公聴会ならびに最終試験を実施した。公聴会では審査申請者に学位論文の内容に関する発表を課した（1時間）。その後、口述試験として学位論文の内容に関わる審査委員の質疑に対する的確に答えることを求め、学位論文に関連した分野の専門知識を確認した（1時間）。いずれの審査員の質疑に対しても適切に回答がなされた。質疑に対する回答の一部を以下に示す。

1) ドライバ行動の「認知・判断・操作」を説明する、高齢者の運転支援を前提としたドライバの運転行動をモード化したモデルは、自分で提案したのか？

【回答】自ら提案した。それぞれの過程において、どのような運転支援を行うべきかについて、関連する先行研究を参考にしながら、体系的に自ら纏めた。

2) この研究では、高齢者を4つの群に分けて事故回避のための支援方を提案しているが、その群の中でのばらつきも大きいと思われるが、4つの群で適切な支援が行えるのか？

【回答】分析の対象とした45名の高齢者ドライバの、有効視野角の検査および認知機能の検査の結果を見た場合、かなりのばらつきがある。しかしながら、統計的な分析の結果、4群に分けた場合、その中でばらつきが十分に小さくなり、費用便益の観点で、4つのグループを想定した支援方を提案することが、最も有効であると判断した。

3) それぞれの能力別の高齢者群ごとの支援効果を詳細に説明してほしい。

【回答】4つの高齢者ドライバ群の中で、運転能力が最も低下したドライバ群で最も支援効果が高く、運転能力の低下が僅かなドライバ群については、システムを使用しない場合との運転行動の差異が僅かであった。また、運転能力が低下したドライバ群では、支援の手段別での支援効果に差異があることも明確になった。今回の運転シミュレータおよび実車を使用した実験の結果、運転能力が低下したドライバ群については、音声による運転支援よりも、直観的で緊急性を即座に把握できる周波数の高いビープ音による支援効果が高い傾向を示した。

4) なぜ、運転能力が低下したドライバ群には、より直観的に認識できる支援手段が有効であるのか、例えば、脳科学の観点で説明はできないのか？

【回答】今回の実験では、前頭前野の血流変化および、ドライバの制動操作行動から、支援の手段別での効果を分析している。運転中に、脳内のどの部位が賦活して、車両周辺的环境認識および事故回避行動能力が高まるかについての分析には、今回の実験で用いた、脳の表層の血流を分析する近赤外分光法 (f-NIRS) ではなく、脳の深層部の血流を分析可能な核磁気共鳴法 (f-MRI) を使用する必要がある。運転中に f-MRI を使用した研究報告は、技術的ハードルが極めて高く報告がない。今後の課題として、考えている。

本審査委員会における審査は、学位論文の内容、研究方法について審査、確認しようとするものである。本審査委員会は、提出された博士学位請求論文が博士（工学）の学位に値するものであり、かつ審査申請者は専門領域に関する十分な学識と研究能力を有するものと判断した。以上より、本最終試験の評価を合格とする。