

## 審査の結果の要旨

氏名 中村 弘毅

力覚支援操舵とは、ハンドルにトルクを加えることによって運転者に進路の誘導を促す運転支援システムである。運転支援では主に運転者の視覚、聴覚、触覚（力覚）の3つの知覚を利用した手法が検討されている。ただし、運転時に視覚が担う役割は大きく、視覚への支援を行うことで要求が過剰になり支援システムが逆効果になる可能性が考えられる。また、聴覚による支援は断続的な情報になるため、継続的な操舵への支援には不向きである。力覚による支援はより直感的に、かつ継続的に行うことができることが利点である。

この力覚支援操舵システムを有効に機能させるためには運転者のアドミタンスを推定し、支援システムへの受容性を監視することが必要になる。また、操舵系はタイヤを介して路面と接しており、路面不整による振動はハンドルにも伝達されるため、運転操作に影響の大きいと考えられる走行中の路面不整を推定することも重要な要素である。路面状態は運転操作に影響するだけでなく、ステアリングの振動源としてアドミタンス推定への影響も考えられる。先行研究では運転者のグリップ力は路面の粗さに応じて変化することが述べられており、路面からの振動レベルがわかることでアドミタンスの推定精度を向上させることが期待できる。また、別の報告では運転者の腕とステアリングの接続部分を機械的なインピーダンスとして近似し、インピーダンスを組み込んだ操舵支援を提案しており、アドミタンスを推定することでより効果的な力覚支援を実現できることが期待できる。

このような背景からより安全な自動車交通を実現するために「運転者の状態と路面不整の推定に基づく力覚支援操舵」を提案し、その有効性を示すことを目的としている。

第1章で背景と目的が述べられた後、第2章では実験装置および測定手法を説明している。実験で用いたドライビングシミュレータの詳細を述べるとともに、運転者の反応を客観的に評価するために用いた、筋電位をはじめとする生体信号の計測手法が書かれている。また、運転への注意力を分散させるため、PASATと呼ばれる音声課題を用いた実験も行われているが、その手法と概要も

述べられている。

第 3 章では力学操舵支援装置をドライビングシミュレータに導入し、運転挙動の評価を行っている。4 段階のアシスト（支援なし、弱、中、強）と音声課題の有無、計 8 つの条件で一般道の右左折、および制限速度 50km/h 程度の道路でのカーブを走行する実験が行われている。10 名中 7 名の被験者に対して低速走行時に走行軌跡のばらつきが有意に小さくなることが示された。高速区間を走行する際は、カーブへの進入時にはそれほど効果が得られないが、一定曲率を曲がる区間では 10 名中 8 名に対して力覚支援によって有意にばらつきが下がり、出口付近では半数に対して効果があることが示されている。力覚支援は被験者ごとに効果の得やすいゲインの強さが異なること、また、より強いトルクがより良い結果を導いているわけではなく、運転者の特性がアシストによって変化し、運転精度が向上することが述べられている。

第 4 章では、運転者がハンドルを握るグリップ力とアドミタンスに相関があることから、これらの指標を用いて運転者の緊張状態を遠隔的に推定する手法を提案した。交通流に対する運転者の緊張度を推定するため乗用車の電動パワーステアリングを利用したドライバの状態監視手法を提案し、ドライビングシミュレータ実験によりその有効性を示した。また、高速道路への進入路、および走行中の追い越しの場면을例にアドミタンスの推定結果の妥当性が調べられている。緊張度の高い場面でアドミタンスが低下する傾向が示されている。

第 5 章では動特性を考慮した独立成分分析による振動解析手法を用いて路面状態の推定を行った。独立成分の順序を固定する手法と路面不整の絶対値を決定する手法を組み込み、数値解析によって振動源の推定法の有効性が示されている。車体の上下加速度、およびその 2 階積分(変位)、1 階積分値(速度)、1 階微分値、2 階微分値の計 10 系列の観測信号を求め、信号の分離を行い、基準走行時の混成行列、復元行列、スケールを利用して独立成分の順序、および絶対値を決定できることが示された。運動方程式の次数は既知であるが、車両のそれぞれの諸元は未知のままでも、信号源の分離を行うことが可能であることが示されている。

第 6 章に結論が述べられている。ドライビングシミュレータを用いた実験等および数値計算を通じて、力覚操舵支援によって運転精度向上を図るとともに運転者の緊張状態を推定する手法、および動特性を考慮した独立成分分析法を利用して路面状態推定を行う手法の有効性が示された。これらの結果より、走行中の運転者の緊張状態と路面状態を監視しながら、それらの状態に適応する力学操舵支援を行うことが可能であることを示した。

これらの得られた知見は学術的な価値が認められると判断された。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。