

論文の内容の要旨

論文題目「上肢の筋活動を用いたドライバーの操舵負担評価に関する研究」

学位申請者 内野 大悟

キーワード：自動車，ステアバイワイヤシステム，上肢負担モデル，筋活動，
操舵負担評価

近年、自動車のシェアリングサービスを利用するユーザーが増加しており、1台の自動車を幅広い年齢層のドライバーが利用する機会が多くなってきている。ステアリングホイールのレイアウトの制約から、ドライバーによっては乗車した車両において適切な運転姿勢が取れず、肉体的負担が大きくなってしまいうことも懸念される。パワーステアリングシステムを搭載することで操舵した時の肉体的負担を低減させることも可能ではあるが、上述したレイアウトの制約による運転姿勢の問題は解消されていない。そのため、操舵反力トルクを減少させるパワーステアリングシステムを利用した機械的な操舵の伝達機構では、かえってドライバーが運転しにくいと感じるという問題もある。

そこで、本論文はステアバイワイヤシステム（以降、SBWSと称する）を用いて、これらの問題の解決を図った。SBWSはドライバーが操作したステアリングホイールの操舵角をセンサーで検出し、これに応じてアクチュエーターでタイヤの角度を変化させるシステムである。また、SBWSはステアリングホイールを運転席に設置する時のレイアウト上の制約がこれまでの車両と比べてほとんどなく、ドライバーの体格などに応じて運転姿勢の調整が自在に可能となる。一方、SBWSのステアリングホイールには従来のように操舵した際にタイヤによる反力が伝わることはない。そのため、運転の操作性や肉体的負担を考慮し、操舵反力トルクを発生させるアクチュエーターをSBWSのステアリングホイールに搭載する必要がある。操舵反力トルクは従来車両において車速や操舵量、ギア比などによって決定されるが、SBWSを搭載した車両ではドライバーの運転操作を支援し、肉体的負担を低減するという観点から制御が可能になる。ただし、ドライバーの肉体的負担の低減のみに着目すれば操舵反力トルクは生じない方がよいが、ドライバーの操舵動作がダイレクトにタイヤに伝わってしまい運転が難しくなってしまう。さらに、ドライバーによって腕の長さおよび重量は異なるため、ドライバーの肉体的負担を考慮してSBWSで操舵反力トルクと運転姿勢が変わるシステムを構築する必要がある。しかし、体格の異なるドライバーが乗車した場合に操舵した時に生じる負担の違いを定量的に評価した研究はこれまで行われていない。このため各ドライバーに適したステアリングホイールの配置や、操舵反力トルクを決定するための評価手法を確立することが求められている。そこで本論文は、腕の長さや重量などのパラメータを用いてドライバーの肉体的負担を定量的に評価できるモデルを構築した。このモデルを用いて肉体的負担の評価を行い、ドライバーごとに最適な操舵反力トルクと運転姿勢を提供することで、快適に操舵が可能な運転環境を実現する事を目的とした。

ドライバーがステアリングホイールの操舵を行うとき、主に肩関節と肘関節の周囲にある筋肉を収縮させて関節にモーメントを加えて操舵動作を行っている。関節の周囲には筋肉があり、収縮して関節にモーメントを加えることで関節を動作させている。ドライバーの肉体的負担を定量的に評価するために、本論文ではドライバーの上肢負担モデルを構築し

た。このモデルにおいては前腕、上腕の自重とステアリングホイールの操舵反力トルクが上肢に加わっており、逆運動学を用いることで各関節のモーメントを計算した。本論文はドライバーの肩幅や腕の長さ、重量、運転姿勢を変化させた時に、このモデルにより求めたモーメントを用いてドライバーの肉体的負担を評価した。また筋肉が収縮する際に生じる筋電位を測定することで、ドライバーの筋活動を実験的に評価することができる。本論文は身長や体重の異なる複数のドライバーがステアリングホイールを操舵した時の表面筋電位を測定し、実際に発生している肉体的負担を評価した。さらに上肢負担モデルから解析により求めた肉体的負担と操舵実験の表面筋電位から実験的に求めた肉体的負担を比較検討し、提案したモデルによって肉体的負担が評価できているか検証を行った。

本論文は5章で構成されており、以下に各章の概要を示す。

第1章では、本研究の背景と目的を述べた。カーシェアリングの普及によって生じているドライバーの操舵負担についての課題を明らかにし、従来の研究事例をまとめた。これにより本論文で提案したSBWSによる操舵負担評価の手法の独自性と有用性を明らかにし、本論文の社会的意義を示した。本章の最後に本論文の概要について述べた。

第2章では、肩関節の肉体的負担を評価するため、腕の長さや重量に基づいた2次元の上肢負担モデルを作成した。このモデルを用いて肩の関節に生じるモーメントを計算した。そしてステアリングホイールを保持した時の表面筋電位の測定による筋活動の評価によって、ドライバーの腕の長さや重量ごとの操舵負担の定量化を行った。その結果、大胸筋上部においては関節モーメントと筋活動の傾向が一致し、上肢の腕の長さや重量によつての操舵負担を評価できることを示した。

第3章では、ドライバーがステアリングホイールを操舵した時の肉体的負担を評価するため、肩関節の屈曲動作に加え、内転、外転、内旋、外旋動作を考慮した3次元の上肢負担モデルを構築した。構築したモデルで操舵したシミュレーションにより得られた肩関節のモーメントと同じモーメントを肩関節に加えるため、腕を真っ直ぐ前に伸ばしておもりを持つ負荷実験を行い、実験協力者の表面筋電位を測定した。またドライバーが実際にステアリングホイールを操舵する実験を行って表面筋電位を測定し、負荷実験と負担量の大きさを比較した。その結果、操舵実験と負荷実験におけるそれぞれの表面筋電位から求めた肉体的負担が一致し、提案した上肢負担モデルにより操舵時のドライバーの肉体的負担を評価できることを示した。そして従来の機械的な操舵機構の車両を用いたコースの走行実験とSBWSによって同じ車両の操舵反力トルクを再現した条件で操舵実験を行った結果、表面筋電位による両者の操舵負担が一致した。そのため負荷実験を用いた評価手法が従来の機械的な操舵機構の操舵負担評価にも有用であることを示した。

第4章では、3次元の上肢負担モデルを用いてドライバーの腕の長さや重量に応じて適切な運転姿勢を求める評価手法を検討した。肩関節モーメントや肩関節角度の変化量から、肩関節の仕事率である関節パワーを算出した。肩の関節パワーを評価することによって、腕の長さや重量に応じた筋の伸長と収縮量を考慮して操舵負担を評価することができた。その結果、ドライバーの腕の長さや重量を考慮した関節パワーを算出することで、ステアリングホイールの前後位置を変えて運転姿勢を変えた場合の負担を適切に評価できることを明らかにした。

第5章では各章で得られた本研究の成果を総合して述べた。本論文において提案した操舵負担の評価手法はドライバーの腕の長さや重量を測定すれば、操舵反力トルクと運転姿勢による操舵負担を評価することができることを示した。このことからSBWSに限らずあらゆる車両の操舵負担評価に用いることができ、シェアリングサービスにおける車両においても、様々な腕の長さや重量のドライバーに適切な運転環境を提供するシステムへの応用が期待される。