

## 審査の結果の要旨

氏名 リムピバンテン ティーラワット

本論文は、「The Control of Steering Angle and Steering Torque for Steer-By-Wire System and its Feeling Evaluation (ステアバイワイヤの舵角・反力制御およびそのフィーリング評価に関する研究)」と題し、5章からなっている。

第1章は、「Introduction」と題し、ステアバイワイヤ(SBW)に関する背景、及び従来のSBW系に関する研究の概要を述べ、本研究の必要性を明らかにし、かつ本論文の議論の範囲及び内容を概説したものである。

第2章は、「Bilateral Driver Model : Definition, Evaluation and its Development」と題し、SBW系を評価するためのドライバモデルとその開発について論じている。従来のドライバモデルは舵角を制御するモデルが多く、反力に関しては扱われていなかった。そのため、従来のドライバモデルでは、反力の制御自由度も持っているSBW系の設計と評価が不可能であった。反力も扱えるように人間の運転を角度とトルクのハイブリッド制御として述べるBilateral Driver Modelを提案し、このモデルの特性を体系的に調べた。また、提案したドライバモデルにおいては、人間-自動車系を通常ブロック線図で表すことが困難になるので、連立方程式システムを応用した人間-自動車系のシミュレーション方法も提案した。普通車線変更と横風におけるシミュレーションとドライビングシミュレータによる実験により、Bilateral Driver Modelは、舵角制御にも反力制御にも対応でき、様々な操舵特性におけるドライバ挙動を表せることを確認した。また、それぞれの運転状況におけるドライバ挙動特性を明らかにし、Bilateral Driver Modelのさらに簡略化や開発を論じた。Bilateral Driver Modelを利用することにより、従来のドライバモデルではできない、様々な運転状況における舵角と反力を同時に制御するSBW系の設計と評価が可能になった。

第3章は、「The New Evaluation Method of Handling Feeling for SBW System」と題し、従来の様々なフィーリング評価方法、及びその問題点をまとめ、反力の自由度が加わった操舵系のフィーリング評価方法について論じている。ドライビングシミュレータによる実験により、従来の車でもSBWの車でも、普通の運転のフィーリングは、車両応答の特性と関係なく、反力応答の特性だけに影響されることを明らかにし、車両の反力をばね-ダンパー系として簡略するフィーリング評価方法を提案した。等価ばね定数と等価減衰係数の計算方法、車のフィーリング特性との相関関係、等価ばね定数と等価減衰係数の望ましい範囲を述べた。評価する車の等価ばね定数と等価減衰係数をその望ましい範囲と比較するこ

とにより、その車のフィーリングを理論的に解析することができるようになった。また、提案したフィーリング評価方法に基づき、定常ゲインのみ変化させる SBW 車のフィーリングは、ハンドル角度と反力との傾きにより、簡便な評価と設定ができることも分かった。ドライビングシミュレータによる実験により、提案したフィーリング評価方法の妥当性を確認した。

第4章は、「The Application of the Bilateral Driver Model and the New Method of Handling Feeling Evaluation」と題し、SBW 系の制御方式について論じている。提案したドライバモデルとフィーリング評価方法を利用して、SBW 系の設計例を取り上げた従来から多く研究されている舵角の制御だけではなく、反力の制御も考慮したシミュレーションにより、SBW の制御ロジックを整理し、車線変更の安定性とそのフィーリングを同時に向上するように SBW 制御方式を提案した。定常ゲインの制御については、車線変更の安定性と Task Performance とのバランスをとるために、最適制御を応用して最適定常舵角ゲインを計算した。その際、フィーリングを悪くしないようにするために、提案したフィーリング評価方法に基づき、定常反力ゲインも定常舵角ゲインの値によって変化させるようにした。最適定常舵角ゲインは、低速の時には一定横加速度ゲインの車に近く、高速になると定常滑り角のゼロである 4WS の車に近いことが分かった。反力を考慮しない従来のドライバモデルで求めた最適定常舵角ゲインとの違いを示した。ダイナミクス補償については、車両遅れ補償方法とドライバ遅れ補償方法を提案した。車両遅れを補償するには、微分ハンドルだけで十分である。一方、ドライバ遅れを補償するには、ドライバは反力にも影響されるので、微分ハンドルだけでは不十分で、ドライバトルクの微分フィードバックも必要になる。このトルクフィードバックの必要性は、従来のドライバモデルで説明できなかった。提案したフィーリング評価方法に基づき、車両遅れ補償とドライバ遅れ補償は、反力の減衰特性を改良する効果があり、車両安定性だけではなく、フィーリングも同時に向上できることが分かった。最後に、ドライビングシミュレータによる車線変更の実験により、制御の効果を確認した。

第5章は、「Conclusions and Future Works」であり、本論文の結果及び今後の課題を要約したものである。

以上のように、本論文では、ステアバイワイヤの操舵系に関して、反力も考慮入れたモデリング、評価法、設計法を提案しており、自動車運動力学ならびに運動制御の分野における意義は大きい。

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。