

学 位 論 文 内 容 要 旨

論 文 題 目

〈論文題目〉

車両挙動に対する制御工学に基づく解析・設計と
その適用に関する研究

〈英訳又は和訳〉

A Study on Analysis and Design of Vehicle Behavior
Based on Control Engineering and Their Applications

申請研究科名	理工学研究科
申請者氏名	太田 利夫

本論文は全 8 章から構成され、そのうち第 1 章は、本研究に対する背景を示し、本研究の工学的価値を明らかにした。第 2 章は、初期段階の基礎研究として制御対象である車両運動の操作量にあたる操舵系が原理的に有する不安定零点の車両安定性に及ぼす影響について論述した。第 3 章は、制御対象である車両運動の操作量にあたる走行軌跡の測位インターバルが車両安定性に及ぼす影響についてシミュレーション、解析および、走行実験によって明らかにした。第 4 章は、操舵制御則としては最もシンプルな完全自動運転制御則について、走行実験により 2 種類のロバスト操舵制御則による車両挙動の安定性および、ロバスト性についてシミュレーションおよび、小型実験車両による実走行による評価を実施した。第 5 章は、自動運転の分担（オーソリティ）を連続的に遷移させるシェアードコントロールの研究を進めている過程である自動から手動へ遷移後の人工操舵反力（Haptic）の生成則についてシミュレーションおよび、HILS による評価を実施した。第 6 章は、SBW 車における従来車の操舵感を模擬した Haptic 操舵感を生成するための制御則の開発工程に MBD 手法を用いて研究・開発した結果を論述した。第 7 章は、自動運転走行中にドライバによる介入操作（オーバーライド）によるシェアードコントロールを実現するためのオーバーライドおよび、オーソリティ遷移方法の実現性について実験装置による評価をした。第 8 章は、本研究成果を統括した。

第1章 序 論

本論文で論述する研究内容は、制御対象を自動車（車両）として、制御工学的知見の応用成果である操舵制御則によって車両挙動を安定に制御することである。

今後、運転支援操舵については、自動運転操舵に使用される SBW（Steer By Wire）車を制御対象として、車両挙動の操作量である操舵制御において最適オブザーバを応用し、制御対象の特性変動等にロバストな制御則および、人工反力生成則の研究している。ここでは、第 2 章から第 7 章の位置づけを示す。

第2章 二輪モデル要素と不安定零点の関係についての研究

車両操舵初期応答に横滑り系に発生する逆振れ現象の発生メカニズムを 2 輪モデルによる線形解析によって明らかにし車両の旋回運動における自転から公転過程を促す有用な現象である発生メカニズムをシミュレーションおよび、解析によって以下の項目について明らかにした。

- (1) 不安定零点と逆振れの関連性
- (2) 不安定零点の発生メカニズム
- (3) DI と零点の関係
- (4) 逆振れの効果（不安定零点の物理的意味）
- (5) 制御量： $r + \dot{\beta}$ が最小位相系になる理由

第3章 自動運転を想定した車両安定性を維持可能な GPS 測位インターバル下限値に対する実証

自動運転時の操作量である走行軌跡の計測センサである GPS の測位インターバルについて、安価な GPS の走行軌跡センサの適用を前提として、車両の安定性を維持できる測位インターバルの下限値について、シミュレーション、解析および、走行実験によって車両安定性へ及ぼす影響について明らかにし、測位インターバル 100Hz, 5Hz, 1Hz による動的精度(走行軌跡精度)について比較

した結果、測位インターバル 5Hz でも走行軌跡センサとして十分であり必要以上の測位インターバルは不要であるとの感触を得た。

第4章 異なる推定方法のオブザーバによるロバスト操舵制御則の外乱抑制効果の比較

自動運転時のオーソリティ 100%における操舵制御則として、確率的オブザーバ（最適オブザーバ）と確定的オブザーバ（ H_∞ オブザーバ）とした場合の各操舵制御則の実車両運動の安定性に対するロバスト制御効果について走行実験によって明らかにした。

実機実験により、インナーループの制御対象の変動（制御量と操作量の差）の確認により、Optimal Obsv・MM 制御則の方が変動幅について小さいことが分かった。これは、先行研究で示された、「自動車の場合は、外乱-制御量間の周波数特性の要求には幅があり、外乱エネルギー全体の抑制のためには、最適オブザーバによる外乱推定が適すると判断した。」を追認したことになる。

第5章 MM を用いたインピーダンス制御による SBW のための Haptic 生成則の研究

固有操舵感（操舵機構の固有ダイナミクスに起因する操舵反力）として MM（Model Matching）制御則を用いることでインピーダンス制御によって Haptic（固有操舵感）生成則の有効性をシミュレーションによって明らかにした。

ステアリング反力機構に、Haptic 生成操舵機構を開発・実装した。Model Matching 制御により直接的にトルクを操作量としてフィードバックするトルクベース型であり、角度制御ベーストルク制御に対して制御則がシンプルに構成できるメリットがあるとともに、インピーダンス成分を極配置によって指定できるため Model Matching 制御による有効性を確認できた。

第6章 MBD による RCP を活用した SBW のための人工操舵感生成則の設計開発

SBW 車における従来車の操舵感を模擬した Haptic 操舵感を生成するための制御則の開発工程に MBD 手法を用いて研究・開発した。制御則の開発事例をもとに、その MBD 開発工程の有効な成果について明らかにした。

第7章 シェアードコントロールのためのオーソリティ遷移則の研究

自動運転走行中にドライバによる介入操作（オーバーライド）によるシェアードコントロールを実現するために操舵トルクと操舵角速度を双対とする操舵パワーを用いることに新規性があると着目した。操舵パワーによるオーバーライドおよび、オーソリティ遷移方法を提案する。オーソリティの割合が常時変化し、オーバーライドスイッチ等を用いることなく連続的にシェアードが可能となる。自動運転システムは常時稼働し、ドライバは自動運転システムに常時介入・復帰が可能となる。これらの効果について実験装置によって明らかにした。

第8章 結論

第2章から第7章の研究成果により、最終的にシェアードコントロールへ適用することで、自動運転走行中にドライバによる介入操作（オーバーライド）によるシェアードコントロールの実現のために重要なオーソリティ遷移則に対する研究成果を得ることができた。時系列な因果律を表現する操舵パワーをオーバーライドの介入独立変数としドライバの意思（操舵トルク）と車両から意思

（名城大学大学院）

(操舵角速度)の因果関係を表現するインターアクションによって連続的なオーソリティ遷移が実現出来ることを確認できた, 本研究の集大成である成果を上げることができた.

最終的にはシェアードコントロールと **SBW** の特性 (ステアリングとタイヤ間の伝達特性が変更できる) を活かした自動車と人が一体となる制御 (人馬一体: 乗馬の手綱に相当する **HMI** デバイス (ステアリング) により, **Haptic** としてクルマ(馬)からの走行エージェンシーの提示を汲み取りながら操舵することを意味している.) の実現を目指す.