

博士學位論文

内容の要旨
および
審査結果の要旨

第34編

令和元年度

神奈川工科大学

は し が き

本編は、学位規則（昭和28年4月1日文部省令第9号）第8条によるインターネットの利用により公表を目的として、令和元年度内に本学において博士の学位を授与した者の、論文内容の要旨および論文審査の結果の要旨を収録したものである。

学位記番号に付した甲は、学位規則第4条第1項（いわゆる課程博士）によるもの、乙は、同規則同条第2項（いわゆる論文博士）によるものであることを示す。

< 目 次 >

甲第39号 平尾 隆介 自動車用セミアクティブサスペンション制御に関する研究
..... 1

氏名(本籍)	平尾 隆介 (京都府)
学位の種類	博士 (工学)
学位記番号	甲第 39 号
学位授与日	令和 2 年 3 月 20 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻名	工学研究科 機械システム工学専攻
学位論文題目	自動車用セミアクティブサスペンション制御に関する研究
論文審査委員	(主査) 山門 誠 教授 河原崎 徳之 教授 佐藤 智明 教授 クライソン・トロンナムチャイ 教授 堀内 伸一郎 教授 (日本大学)

内容の要旨

本論文では、制御サスペンションとして最も採用車種が多いセミアクティブサスペンションを研究対象とし、セミアクティブサスペンション制御技術により低コストで性能の高いシステムを開発することで、セミアクティブサスペンションの社会への普及を促進させ操縦安定性および快適性の高い自動車をドライバ・乗員へ広く提供することを目的に、以下の4つの研究を実施した。

- (1)実車適合性の向上とジャーク低減
- (2)ロール感の向上
- (3)センサを削減する低コスト化技術の開発
- (4)協調制御による緊急回避性能向上

第1章では、本論文の背景と研究対象であるセミアクティブサスペンションに関連する先行研究、そこから抽出した課題、研究の目的、本論文の構成について述べた。

第2章では、先行研究の課題である実車での適合性と減衰力急変によるジャークの低減の両立を目的に、双線形制御理論に基づく前輪/後輪およびロールを独立した適合性の高い制御を構築したジャークを低減するためには相対速度に応じて減衰係数に制限を設ける手法を適用する手法を提案した。提案手法を実車試験により有効性を検証し、提案手法はスカイフック制御と同等のばね上制振性能とスカイフック制御以上のジャークを低減した滑らかな乗り心地を実現していることを示した。これにより、本研究の目的の一つである実車適合性とジャーク低減の両立を達成した。

第3章では、ロールの大きさでは語れない性能に着目した研究が報告される中、先行研究ではロール感が良い車両挙動が定式化されていない課題を解決するため、G-Vectoring制御のロール・ピッチ様態とロール感指標を比較しロール感が良い車両挙動の定式化し、定

式化した車両挙動を実現する減衰力制御手法を提案した提案手法の有効性を検証し、狙いの挙動であるロールに比例して前下がりとなるピッチを実現し、ドライバによる官能評価において、従来制御則と比較して提案手法はロール感の評価が高いことを確認することで有効性を示した。これにより、本研究の目的の一つであるロール感の向上を達成した。

第4章では、セミアクティブサスペンションの低コスト化を可能とする状態推定手法を実現するため、加速度センサを用いたシステムと同等性能を狙いとして車高センサのみを用いて車両の上下挙動を推定する状態推定手法を構築した。構築した手法はドライバ入力と路面入力複合する条件においても高い推定精度を実現するため、前後・横加速度およびジャッキアップ力、アンチダイブリフト力による車高変化を考慮した。更に、質量変化へ対応するため、車重推定および車重の変化を考慮したシンプルな状態推定手法とした。提案手法を実車検証において加速度センサを用いたシステムと比較し、車高センサのみを用いた提案手法は、加速度センサを用いたシステムと同等のばね上制振性能であることを確認し、質量補償効果およびドライバ入力と路面入力複合する条件においても提案手法の効果を確認した。これにより、本研究の目的の一つであるシステムコスト低減を可能とする状態推定技術の開発を達成した。

第5章では、協調制御による緊急回避性能の向上を目的にGVC, ESCとセミアクティブサスペンションを組み合わせ加減速・旋回による慣性力同様にサスペンションのジオメトリに起因する反力を考慮した協調制御を提案した。本協調制御をエルク試験条件(ISO3888 part2)に対する解析、実車検証により性能を検証し、提案した協調制御は、ESCのみと比較して緊急回避試験における最大通過車速をドライアスファルト路において14% (64.8 から 74.0 km/h)、圧雪路において、6.7% (47.5 から 50.7 km/h)増加させた。また、緊急回避性能の更なる向上のため、GVCゲインの最適化を行い、最適化したGVCゲインを用いることにより最大通過車速を5.7% (74.0 to 78.2 km/h)向上させた。この結果より、ステレオカメラを代表とする外界認識センサの情報により緊急回避状態を判断し、その判断結果に応じてGVCゲインを変更する適応手法により、更なる回避性能を向上ができる可能性があることを示した。これにより、本研究の目的の一つである他システムとの協調による緊急回避性能の緊急回避性能の向上を達成した。

以上のように、本論文では、セミアクティブサスペンション制御技術の開発によりセミアクティブサスペンションシステムの低コスト化を実現し、快適性および操縦安定性の高い自動車をドライバ・乗員へ提供する目的を達成できたということが出来る。

審査経過の要旨

1. 審査の経過

- (1) 令和元年10月17日(木)、機械システム工学専攻博士後期課程平尾 隆介君より、指導教員山門 誠に対し学位請求論文が提出され、多少の手直しをした後、10月23日(水)機械システム工学専攻会議を実施し、予備審査の開始が承認され、直ちに予備審査に当たる教員に配布された。
- (2) 令和元年12月2日(月)午後3時5分から5時5分までC5号館204室(デザインスタジオ)で予備審査会を実施した。本請求論文は基本的にその独創性、有用性、信頼性、完成度から判断して、本審査に十分耐えるものであるという結論に至った。ただし、審査委員から指摘のあった点に関し、論文中において修正やさらに詳しく親切に記述するなどの追加を行うようにとの指示があり、それらについては、修正後各論文審査委員に展開し、指導教員が確認した時点で予備審査を終了として本審査受理の可否に向けた機械システム工学専攻会議への起案を実施してよい旨が確認された。
- (3) 令和元年12月11日(水)、上記指摘にもとづいて改善された学位請求論文が各論文審査委員、指導教員に提出され、予備審査終了が確認されたので、同日、本審査受理の可否について機械システム工学専攻会議へ起案された。
- (4) 令和元年12月11日(水)機械システム工学専攻会議における論文受理の可否投票の結果、論文受理を決定した。
- (5) 令和2年1月10日(金)研究科委員会において提出論文の受理を決定し、研究科長より上記5名がその審査委員として指名された。
- (6) 令和2年2月15日(土)午後2時00分から3時45分まで、K1棟メディアホールで公聴会・最終試験を実施した(聴講者は学外を含む40名強)。
- (7) 令和2年2月15日(土)午後3時50分から午後4時15分審査委員全員により最終試験(学力の確認・外国語)は審査過程や、公聴会での受け応え、英語による5篇の国際会議における論文の発表とProceedingsの提出がそれに代わるものとしてよい旨確認したうえで、その能力が博士(工学)として十分である(合格)と判定した。
- (8) 令和2年2月25日(火)機械システム工学専攻会議に於いて学位授与を可とした。

2. 審査結果

本論文では、制御サスペンションとして最も採用車種が多いセミアクティブサスペンションを研究対象とし、セミアクティブサスペンション制御技術により低コストで性能の高いシステムを開発することで、セミアクティブサスペンションの社会への普及を促進させ操縦安定性および快適性の高い自動車をドライバ・乗員へ広く提供する

ことを目的に、以下の4つの研究を実施した。

- (1)実車適合性の向上とジャーク低減
- (2)ロール感の向上
- (3)センサを削減する低コスト化技術の開発
- (4)協調制御による緊急回避性能向上

第1章では、本論文の背景と研究対象であるセミアクティブサスペンションに関連する先行研究、そこから抽出した課題、研究の目的、本論文の構成について述べた。

第2章では、先行研究の課題である実車での適合性と減衰力急変によるジャークの低減の両立を目的に、双線形制御理論に基づく前輪/後輪およびロールを独立した適合性の高い制御を構築したジャークを低減するためには 相対速度に応じて減衰係数に制限を設ける手法を適用する手法を提案した。提案手法を実車試験により有効性を検証し、提案手法はスカイフック制御と同等のばね上制振性能とスカイフック制御以上のジャークを低減した滑らかな乗り心地を実現していることを示した。これにより、本研究の目的の一つである実車適合性とジャーク低減の両立を達成した。

第3章では、ロールの大きさでは語れない性能に着目した研究が報告される中、先行研究ではロール感が良い車両挙動が定式化されていない課題を解決するため、G-Vectoring 制御のロール・ピッチ様態とロール感指標を比較しロール感が良い車両挙動の定式化し、定式化した車両挙動を実現する減衰力制御手法を提案した。提案手法の有効性を検証し、狙いの挙動であるロールに比例して前下がりとなるピッチを実現し、ドライバによる官能評価において、従来制御則と比較して提案手法はロール感の評価が高いことを確認することで有効性を示した。これにより、本研究の目的の一つであるロール感の向上を達成した。

第4章では、セミアクティブサスペンションの低コスト化を可能とする状態推定手法を実現するため、加速度センサを用いたシステムと同等性能を狙いとして車高センサのみを用いて車両の上下挙動を推定する状態推定手法を構築した。構築した手法はドライバ入力と路面入力に複合する条件においても高い推定精度を実現するため、前後・横加速度およびジャッキアップ力、アンチダイブリフト力による車高変化を考慮した。更に、質量変化へ対応するため、車重推定および車重の変化を考慮したシンプルな状態推定手法とした。提案手法を実車検証において加速度センサを用いたシステムと比較し、車高センサのみを用いた提案手法は、加速度センサを用いたシステムと同等のばね上制振性能であることを確認し、質量補償効果およびドライバ入力と路面入力に複合する条件においても提案手法の効果を確認した。これにより、本研究の目的の一つであるシステムコスト低減を可能とする状態推定技術の開発を達成した。

第5章では、協調制御による緊急回避性能の向上を目的に GVC、ESC とセミアクティブサスペンションを組み合わせ加減速・旋回による慣性力同様にサスペンションのジオメトリに起因する反力を考慮した協調制御を提案した。本協調制御をエルク試験条

件に対する解析，実車検証により性能を検証し，提案した協調制御は，ESC のみと比較して緊急回避試験における最大通過車速をドライアスファルト路において 14% (64.8 km/h から 74.0 km/h)，圧雪路において，6.7% (47.5 からから 50.7 km/h) 増加させた．また，緊急回避性能の更なる向上のため，GVC ゲインの最適化を行い，最適化した GVC ゲインを用いることにより最大通過車速を 5.7% (74.0 km/h から 78.2 km/h) 向上させた．この結果より，ステレオカメラを代表とする外界認識センサの情報により緊急回避状態を判断し，その判断結果に応じて GVC ゲインを変更する適応手法により，更なる回避性能を向上ができる可能性があることを示した．これにより，本研究の目的の一つである他システムとの協調による緊急回避性能の緊急回避性能の向上を達成した．

以上のように，本論文では，セミアクティブサスペンション制御技術の開発により低コスト化を実現し，快適性および操縦安定性の高い自動車をドライバ・乗員へ提供するための新しい道を開いたものであるということが出来る．かくして，提出された論文は，その独創性，有用性，信頼性，完成度から判断して学位論文に値するものであり，また公聴会での質疑応答，公刊論文及び国際会議における発表論文の内容等から見て，申請者の学力と外国語の能力が十分にあると判断された．よって申請者は博士（工学）の学位に値するものとの結論に達した．