



Title	車両限界性能向上を目的とした自動車用ダンパーの電子制御に関する開発
Author(s)	
Citation	令和4（2022）年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書．2023
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/90990
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

令和4年度大阪大学未来基金「学部学生による自主研究奨励事業」研究成果報告書

ふりがな氏名	たなか こうへい 田中 航平	学部 学科	工学部 応用理工学科	学年	2 年				
ふりがな 共 同 研究者氏名	たかおか りゅうと 高岡 竜翔	学部 学科	工学部 応用理工学科	学年	2 年				
	こうの あつひろ 河野 純大		工学部 応用理工学科		2 年				
					年				
アドバイザー教員 氏名	石原 尚	所属	工学研究科 機械工学専攻						
研究課題名	車両限界性能向上を目的とした自動車用ダンパーの電子制御に関する開発								
研究成果の概要	研究目的、研究計画、研究方法、研究経過、研究成果等について記述すること。必要に応じて用紙を追加してもよい。（先行する研究を引用する場合は、「阪大生のためのアカデミックライティング入門」に従い、盗作剽窃にならないように引用部分を明示し文末に参考文献リストをつけること。）								
1. 緒言 1.1 研究背景 近年、自動車の自動運転技術の目覚ましい進歩によって、複雑な車両運動の制御が可能となっている。それに伴い、車両の運動性能（応答性・安定性等）に対する要求はより重要度を増している。特に、急加速・急制動時において、操舵システムに対して急激な入力が生じる制御が成された場合、車両がスピンするなどして、車両の運動が大きく乱れる可能性がある。また、操舵入力に対する応答が遅い状況では、理想的な車両運動の実現が困難である場合がある。 これらの性能を左右するのが、ショックアブソーバーの減衰力である。近年では、車両の走行状況に合わせて減衰力を可変させられるショックアブソーバー（一般に可変減衰力ショックアブソーバーとよばれる）も広く使用されているが、現在市販車で広く用いられている可変減衰力ショックアブソーバーは、主に乗員の快適性向上を目的として採用されている場合が多い。 1.2 研究目的 自動運転技術の進歩により緊急回避などの状況において自動運転システムは一般的なドライバーよりも素早い入力ができるようになり、自動車は車両運動の観点においてより高い応答性や安定性が要求されている。そこで本研究では、車両運動性能の向上を目的としたダンパーの電子制御を行うための手法の開発に取り組む。本研究により、安価なセンサーを用いて様々な車両に対して応答性と安定性の両立という観点で高い性能を発揮する車両設計を行うことができる。 1.3 研究概要 車両の安定性と応答性を両立するために適切な減衰比は車両によって異なる。そのため、それぞれの車両に合わせた減衰比を机上検討できる手法を開発する。また、減衰比を電子制御することができる制御システムを製作する。そして、机上検討した減衰比を製作した制御システムによって実現し、実車にて試験を行うことで机上検討の妥当性を確かめる。									

2. 電子制御システム開発

2.1 車両運動シミュレーションモデルの開発^[1]

本研究では、減衰力の制御仕様を机上で検討するために、車両の並進や 3 軸の回転運動を計算することで車両の速度や加速度、ショックアブソーバーの減衰力や復元力など様々な変数の効果を可視化しながら車両の運動シミュレーションを行うことができるモデルを MATLAB Simulink を用いて作成した。車両運動シミュレーションモデルとは、ドライバーのアクセル、ブレーキ、ステアリングの 3 入力に対してタイヤの出す力を計算することで、車両の並進運動や回転運動の方程式を解く計算モデルである。

本研究では、精度の高い計算を行うために各入力から出力までの過渡的な特性に注目し、細かいモデリングを行った。タイヤの出す力を正確に計算するためにはタイヤにかかる荷重やスリップ率、スリップ角、キャンバー角などを正確に計算する必要がある。そこで、タイヤの荷重計算についてはショックアブソーバーとタイヤの縦ばねを含んだ 2 自由度バネマスダンパー系の運動方程式を各 4 輪について解くことで、前後および横加速度による過渡的な輪荷重変動を再現した。また車体のロール剛性や空力特性を考慮し、さらに車両ボディーの曲げ振動およびねじれ振動による輪荷重変動も考慮した。キャンバー角については、サスペンションジオメトリーによるキャンバー角変化を関数として入力し、さらにボディーのねじれ振動によるキャンバー角変化を考慮した。タイヤのスリップ角については、ステアリングシステムや車両ボディーの変形によるスリップ角変化を考慮した。またスリップ率については、ブレーキやエンジンだけでなく、LSD によるトルクを考慮した。

2.2 制御システムの概要

本研究では、電子制御するショックアブソーバーとして、Fig.1 に示すステッピングモーターを外付けして減衰力を制御することのできる FORMULA SAE TEIN DAMPER PH2 を用いる。電子制御のために用いるモーターには、必要トルクや製作コストを考慮して、このショックアブソーバーの純正のモーターである 3 相ステッピングモーター KT35FM1-029 を採用した。モーター制御に用いるマイコンモジュールとして Arduino UNO を使用した。3 相ステッピングモーターの正転、逆転を制御しながら十分な電流を供給するためには、1 つのモーターに対して 6 つのトランジスタが必要となる^[2]。そこで、回路の簡潔さを考慮してモーターの上流側にはソースタイプのトランジスタアレイである M54564P、下流側にはシンクタイプのトランジスタアレイである TD62003APG を採用した。

本研究で作成した制御システムでは Fig.2 に示すように、ドライバーの入力舵角、アクセル開度を入力として、マイコンモジュール内でステッピングモーターを回転する指令値を出力する。その電流をトランジスタで増幅することで、実際にステッピングモーターを駆動する。



Fig1. FORMULA SAE TEIN DAMPER PH2

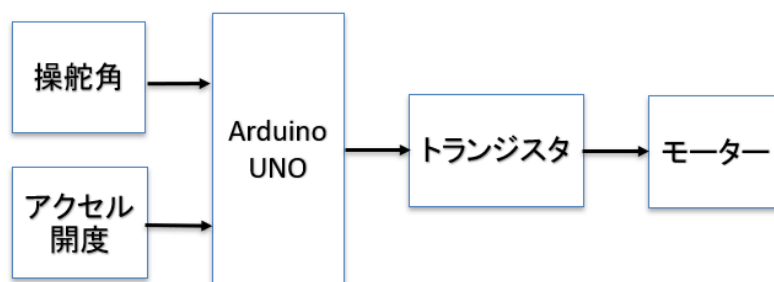


Fig2. 減衰比制御システム概要

2.3 制御仕様の検討

2.1 節のように作成した車両運動シミュレーションモデルを用いて、制御仕様を検討した。2.2 節で作成した回路では、ステッピングモーターの脱調を考慮して導入したディレイや、実際のプログラムの処理速度などの影響により 1 ステップあたりおよそ 3[ms]程度の遅延が存在する。これをステッピングモーターの制御速度制約として、仕様の検討を行った。なお、この制御速度制約の場合コーナー進入時にブレーキ操作とステアリング操作に対して独立に減衰比を与えることはできないため、本研究ではコーナー進入時と脱出時の二つのパターンに対応して減衰比を制御することとした。

要求される性能として、転舵に対しては素早く車両が応答し、加減速を行う際には車両がスピンしてしまわないような安定性があげられる。そこで、電子制御によって応答性の高い状態と安定性の高い状態を切り替えるために、舵角やアクセル開度などが閾値を超えることで応答性の高い状態と安定性が高い状態を切り替えることとした。ここでは、例えば舵角については転舵を始めた段階から高い応答性を発揮できることが望ましいため、ドライバーの入力の微分値を参照して応答性の高い状態へ移行するという制御を導入することを考えたが、路面状況などの影響により舵角を急遽切り戻すカウンターステアのような素早い入力に対して、今回作成した制御システムは応答が遅れてしまい、その後の操作に影響を与えてしまうため、微分値を用いた制御は採用しなかった。

具体的に仕様検討を行うにあたり、評価を行うコースとしてはドライバーの操作入力が単純で、コーナー進入時と脱出時の両方をわかりやすく評価することのできるオーバルコースを採用した。車両の応答性を評価する指標としては車両横方向加速度、安定性を評価する指標としては車両進行方向加速度を用いた。

ダンパーの減衰比変更による車両限界性能の向上を確かめるには、ドライバーのアクセル操作やブレーキ操作による車両進行方向加速度を大きくしていったときに車両がスピンしない限界を探索するという手段を用いることが有効である。しかし、スピンが起きるほどスリップ角が大きいくつ状況ではタイヤの出す力を正確に計算することができない。そこで本研究では、車体スリップ角が 10[deg]を超えたときに車両が限界を迎えたと定義する。このような定義を用いたのは、本研究で用いたタイヤのスリップ角の増加に対してタイヤ横方向力が飽和する値がおよそ 10[deg]であるためである。

車両進行方向加速度を大きくしていくと車両の並進速度も変わるため、同じコースを走るためにはドライバーは操舵角を変化させる必要がある。このことを上述の車両限界の探索時に反映させるために、オーバルコースの走行シミュレーションで地面に固定した座標系における車両のヨー角の最大値が 180 ± 5 [deg]に収まっているということを制約条件とした。

以上の条件下で、減衰比を定数として減衰比による車両性能の変化を確かめた。その結果が以下の Fig3,4 のようになる。

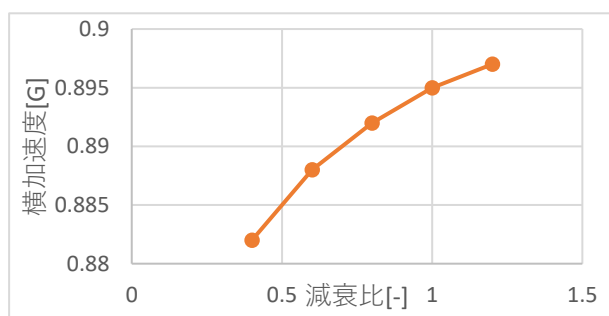


Fig3. 車両運動シミュレーション出力結果(横加速度)

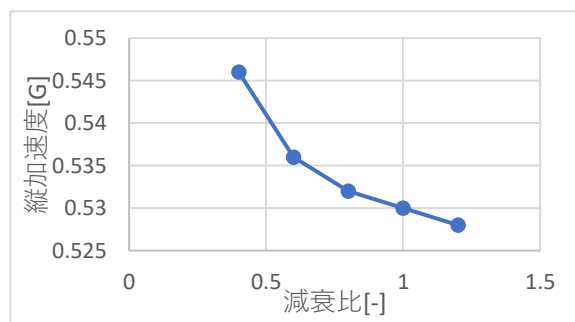


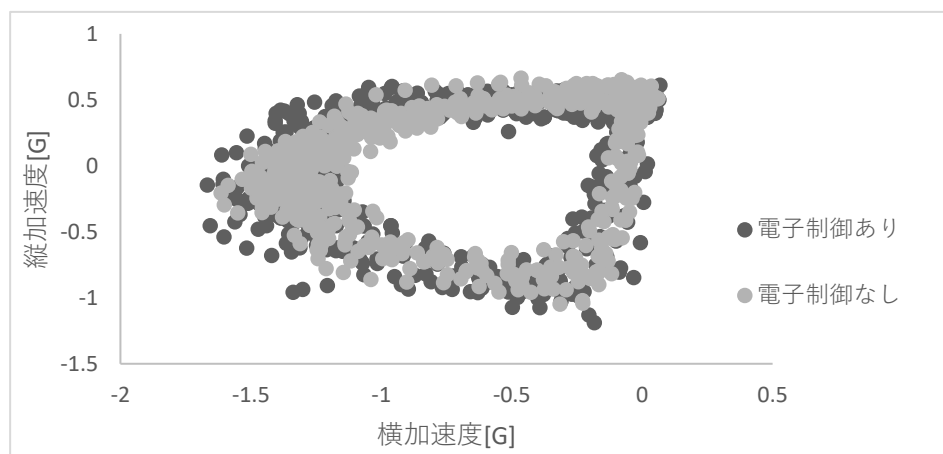
Fig2. 車両運動シミュレーション出力結果(縦加速度)

このように、減衰比が大きい場合応答性が高く、減衰比が小さい場合安定性が高くなるという傾向

が確認できた。このことから、本研究で用いたショックアブソーバーの場合はコーナー進入時には減衰比 1.2 に設定し、コーナー脱出時には減衰比 0.4 に設定することが望ましいと結論づけた。

3. 実車試験

以上のように検討した制御システムについて、性能や検討の妥当性について確かめるために、実走行による試験を行った。走行試験には、本研究グループが所属しているチームが学生フォーミュラ日本大会に参加するために開発している、小型フォーミュラレーシングカー OF-22 を試験走行車両として用いた。試験結果は以下の通りである。



この結果より、電子制御を入れることにより、コーナー脱出時の横加速度および縦加速度が向上したことが分かった。

4. 今後の展望

本研究で作成した回路では、プログラムの処理速度が車両性能に大きな影響を与えていたと考えられる。したがって、より高速に処理することができるシステムを作成することができれば、さらに高いレベルで車両の応答性と安定性を得ることができる。また、本研究では処理速度を考慮して閾値を用いて制御を行ったが、処理速度が向上すればドライバー入力の微分値による制御などの複雑な処理を行ってもカウンターステアといった素早い入力にも対応しながら高度な制御ができる可能性があると考えられる。

5. 結論

本研究で以下の結論が得られた。

- 1) ドライバーの操作に対して減衰比を変化させる装置を安価なセンサーを用いて実現した。
- 2) 高い車両性能のための減衰比設定を容易に行うことができる車両運動シミュレーションモデルを作成することができた。
- 3) 開発した装置を用いて実車試験を行い、車両性能向上を確認した。

6. 謝辞

本研究においては、アドバイザー教員の石原尚先生、ならびに事務職員の山田佳美さん、杉本三枝さんには本件へのアドバイス、予算執行にとどまらず、本研究グループが参加している学生フォーミュラプロジェクト全般にわたってご協力いただきました。本当にありがとうございます。

このような研究の機会を得ることができたのは、本自主研究奨励事業を支えてくださる皆様のおかげであると感じております。大阪大学未来基金の皆様、本事業にかかわる教職員の皆様に厚く御礼申し上げます。

7. 参考文献

- [1] 安部正人 著 自動車の運動と制御（第二版） 株式会社 山海堂
- [2] 見城尚志, 菅原晟 著 ステッピングモータとマイコン制御 総合電子出版社