

バイワイヤ技術を用いた自動車の加減速操作に関する研究

日大生産工（院） i 田中 健太 日大生産工
日大生産工

丸茂 喜高
綱島 均

1. はじめに

近年、航空機で採用されているバイワイヤ技術の自動車への導入が進んでいる¹⁾。バイワイヤ技術とは、運転装置を機械的機構による結合から電気信号に置き換える技術であり、自動車におけるバイワイヤ技術をDrive-By-Wire(DBW)という。

このバイワイヤ技術を用いると、加減速操作や操舵をレバーやジョイスティックなど様々な操作系へ置き換えることが可能になる。また、物理的な制約が少なくなるためインタフェースの自由度が高くなるという利点がある。さらに、アクセルペダルなどの操作入力を電気信号に変換しアクチュエータの制御を行うため、ペダルの踏み込み量を加減速度に対応させるなど、操作系に制御を加えることも容易になる。

例えばペダルの踏み込み量を加減速度に対応させる制御を行うと、ドライバの意図しない速度変化がなくなり、サグ部など速度変化により発生する交通渋滞²⁾の解消に寄与すると考えられる。

図1にバイワイヤ技術を用いてペダルの踏み込み量を加減速度に対応させた場合と、従来の操作系の場合のサグ部における運転行動の比較を示す。図1に示すように、従来の操作系の場合、サグ部において定速走行を行う時、踏み込み量が一定でも勾配に伴い速度が変化する。それに対し、踏み込み量を加減速度に対応させる制御を行うことで、定速走行を行う時には目標加減速度0が入力され、速度を一定に保つ制御を行う。これにより、サグ部などドライバが認識しづらい速度変化が起こる場面において、意図しない速度変化がなくなり渋滞の緩和につながると考えられる。

しかし、バイワイヤ技術を用いてペダルの踏み込み量を加減速度に対応させる研究は少ない。また、運転感覚が従来と異なり、運転行動に変化が生じることが予想される。

よって本研究では、バイワイヤ技術を用いてペダルの踏み込み量を加減速度に対応させた制御系をドライビングシミュレータ(DS)上に構築した。また、ドライビングシミュレータを用いて、単独走行実験と先行車追従実験を行い、提案する操作系と従来の操作系の運転行動を比較し評価を行った。

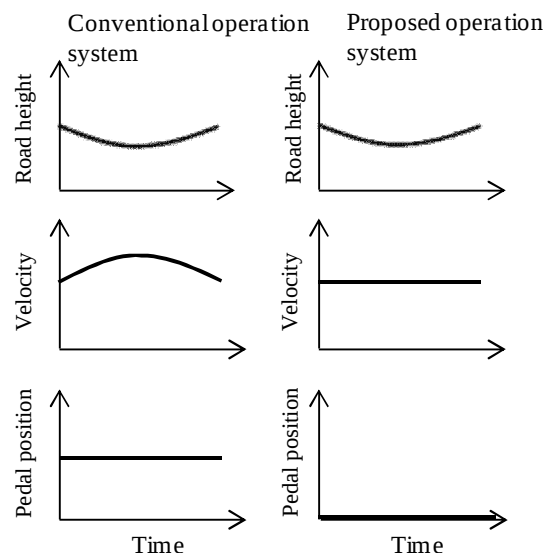


Fig.1 Comparison of driving behavior in sag section



Fig.2 Overview of DS

2. 実験概要

2.1. 提案する制御系の構築

図 2 に使用した DS の外観を示す。本研究では、Mechanical Simulation 社製 CarSimDS を使用した。映像は 32 型の液晶モニターで表示し、ステアリングなどの運転装置は Logicool G27 Racing Wheel を使用した。

図 3 に、パイワイヤ技術を想定した制御系のブロック線図を示す。入力であるペダルの踏み込み量にゲインをかけ、目標加減速度 $\dot{v}^*$ を算出する。つぎにこの目標加減速度 $\dot{v}^*$ を積分し目標速度 v^* を求める。この目標速度 v^* と現在の速度 v との偏差を 0 にするように制御を行う。速度の偏差を単純に比例制御すると定常偏差が生じるので、積分制御を加えた PI 制御を適用した。制御ゲインは車体の追従性がよく運転が違和感なく行え、目標速度と速度の定常偏差を抑えるよう設定した。ペダルの踏み込み量を加減速度に対応させるゲインは、従来の機構の車両と最大加速度が等しくなるよう設定した。

2.2. 実験内容

提案する操作系の運転行動を、従来の操作系の運転行動と比較するために、単独走行実験と先行車追従実験を行った。被験者は、運転免許を所持する 20 代男性 5 名（平均 22.8 歳）である。また、すべての被験者からインフォームドコンセントを得た。被験者は、運転に慣れるために走行練習を事前に数回行った。

3. 単独走行実験

3.1. 実験方法

本実験では、サグ部を模擬したコースを走行した時の運転行動を比較することを目的とし単独走行実験を行った。実験は、従来の操作系と提案する操作系を交互に 2 試行ずつ計 4 回行った。被験者には、停止状態から加速し 60km/h 程度で定速走行した後、指示に従い停車するよう指示した。また、速度計に注意し過ぎず普段と同じ運転を行うことも併せて指示した。図 4 に単独走行実験で使ったコースの路面高さを示す。サグ部を模擬した勾配 1.0% のゆるやかな上下の勾配がある片側 1 車線の全長 5000m の直線コースである。また、コースには速度計に注意し過ぎることを防ぐために対向車を設定した。

評価は走行区間を、下り、上り、両方を含むサグ、平地の 4 つに分け行った。また、この 4 区間以外は加速・減速区間とし評価は行わなかった。

3.2. 実験結果

図 5 に、被験者 D の 1 試行目の速度とペダルポジションの結果を示す。ペダルポジションは、値が正の場合アクセル、負の場合ブレーキを表す。図 5(a)の結果から、従来の操作系の場合、下りに差し掛かるとペダルポジションを一定に保っていても、速度が上昇していることがわかる。ドライバも 1200m 付近からペダルを操作し速度を一定に保とうとするが一定になっていない。また、上りでも同様にペダルポジションが一定でも、速度が緩や

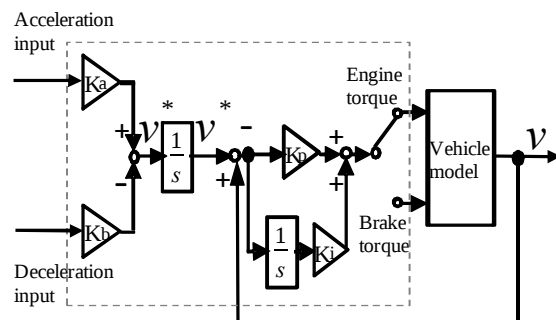


Fig.3 Block diagram of control system using by-wire technology

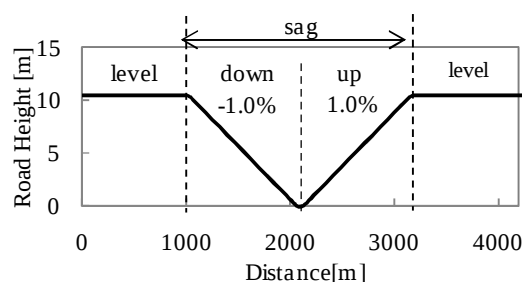
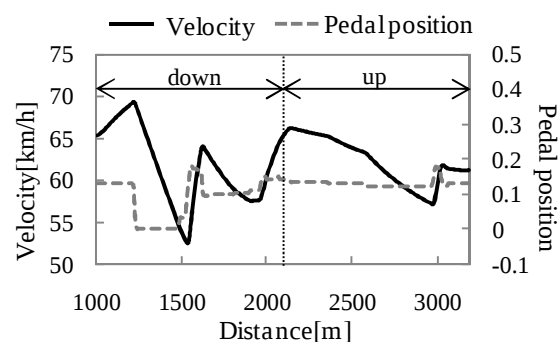
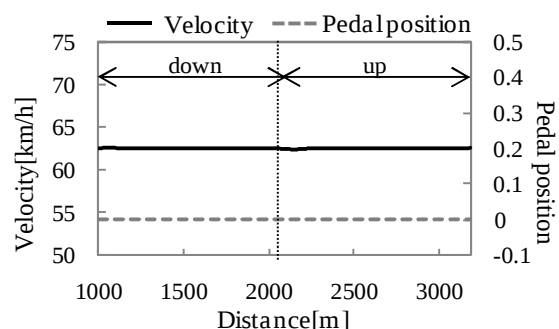


Fig.4 Road height considering sag section



(a) With conventional operation system



(b) With proposed operation system

Fig.5 Velocity and pedal position in sag section

かに低下している。これに対し、図 5(b)の結果から、提案する操作系の場合、下り、上りともに速度がほとんど変化していない。またこの時、ペダル操作は一切行っていない。

図 6 に、各被験者のサグ部における平均速度を示す。右端の平均は、被験者 5 名の平均速度の平均を表す。そのため、提案する操作系の場合も標準偏差が生じている。従来の操作系の場合、すべての被験者に速度の標準偏差が出ているのに対し、提案する操作系の場合、速度は常に一定でほとんど変化なく、標準偏差が生じていない。また、従来の操作系の場合と提案する操作系の場合の平均速度の平均に違いはなく、どちらの場合も同様の速度で走行していたことがわかる。特に、被験者 B と被験者 D は 1 試行目も 2 試行目も標準偏差が大きい。

図 7 に、従来の操作系における速度の標準偏差の平均を示す。標準偏差を被験者 5 名で平均し、走行区間ごとに結果を示す。提案する操作系の場合、速度の標準偏差がないため、提案する操作系はない。結果より、下り、上り、そして両方を含むサグの 3 区間とも平地より速度の標準偏差が大きくなっている。特に、下りと上りの両方を含むサグ区間は標準偏差の平均も大きく、またその標準偏差が小さいことから、すべての被験者がサグ区間で速度変化が生じていることを示している。

図 8 に走行区間ごとのペダルポジションの標準偏差の平均を示す。ペダルポジションも速度同様、勾配のある区間の方が平地よりペダルポジションの標準偏差が大きくなっている。

実験結果から、勾配の影響を受け、速度とペダルポジションが変化する従来の操作系に対し、提案する操作系はドライバが意図しない速度偏差を防いだ。また、定速走行中はペダル操作を行わないためドライバの負荷軽減に寄与すると考えられる。

4. 先行車追従実験

4.1. 実験方法

本実験では、発進・定速走行・停止を行う先行車を追従走行時の運転行動を比較することを目的とし追従実験を行った。

図 9 に先行車の速度パターンを示す。先行車は、図 9 のように停止状態から発進し 60km/h で定速走行したのち停止する。これを 1 走行とし、1 試行内で 3 走行し、従来と提案する操作系でそれぞれ 2 試行ずつ、計 4 試行を行った。使用したコースは、片側 1 車線の勾配のない水平な全長 5000m の直線道路である。また、単独走行実験と同様に対向車も設定した。被験者には、先行車を普段と同様に追従するよう指示し、車間距離などの統制は行っていない。

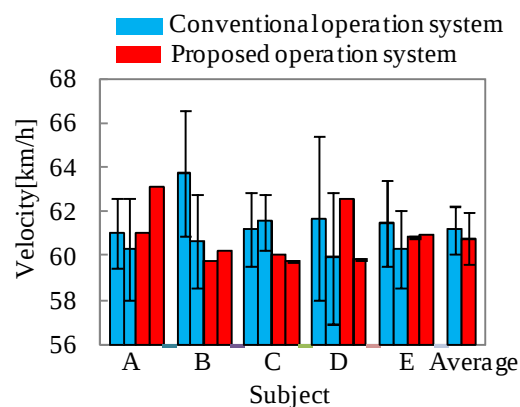


Fig.6 Average velocity in sag section

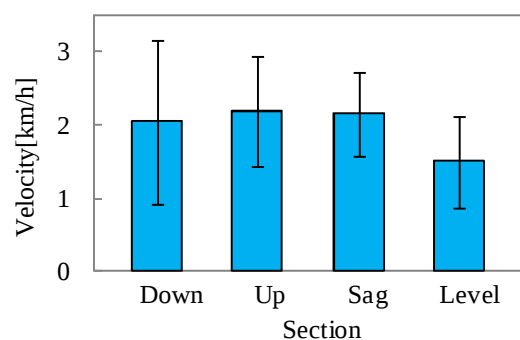


Fig.7 Standard deviation of average velocity

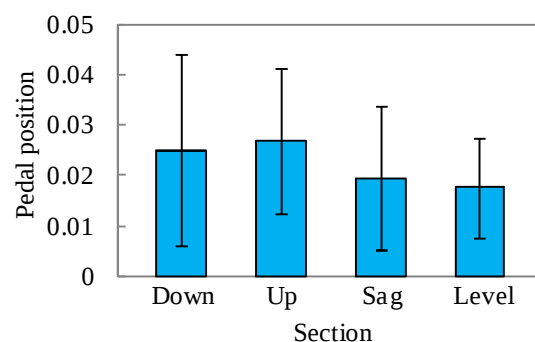


Fig.8 Standard deviation of average pedal position

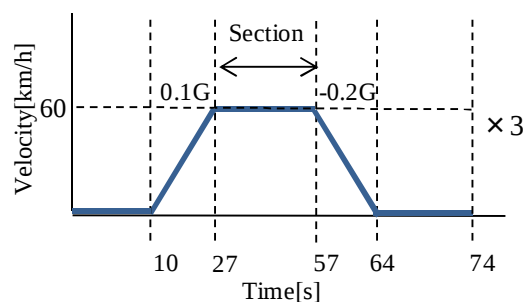


Fig.9 Velocity Pattern of leading vehicle

4.2. 実験結果

従来の場合、提案する操作系の場合ともに、最も操作に慣れた3走行目の定速区間の評価を行った。図10に被験者Dの1試行目の速度とペダルポジションの結果を、図11にこのときの車間距離の結果を示す。図10(a)と図11より従来の操作系の場合、先行車との車間距離を一定に保とうと、ペダルポジションを変化させながら追従を行っている。これに対し、図10(b)に示す提案する操作系の場合、先行車の速度と自車の速度を合わせ、一定速で追従を行っている。図11より、提案する操作系の場合、車間距離が少しずつ変化しているが、従来と比べ大きな差はなく、同様の追従走行を行うことが可能であった。

図12にペダルポジション変化時間を示す。これは、先行車が一定速で走行している30秒間に、ペダルポジションが直前の値と比較し変化している時間の合計値を表す。右端の平均は被験者5名のペダルポジション変化時間の平均を表している。この結果より、ペダルポジションが変化している時間が従来の操作系より提案する操作系の方が大幅に短いことが示された。

このことから、定速走行を行う先行車の追従走行を行う場合、提案する操作系は従来の操作系と比べ、ペダルポジション変化時間を減少させ、ドライバの運転負荷の軽減に寄与すると考えられる。

5. 結言

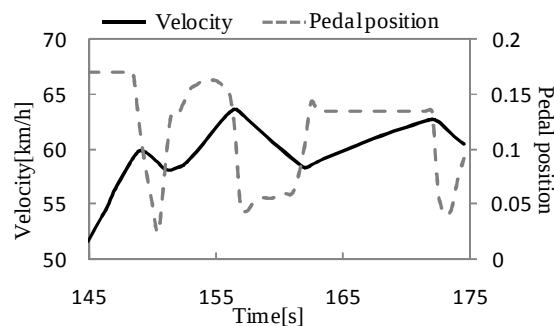
本研究では、バイワイヤ技術を用いてペダルの踏み込み量を加減速度に対応させた制御系をドライビングシミュレータ(DS)上に作成した。また、単独走行実験と先行車追従実験を行い、提案する操作系と従来の操作系の運転行動を比較し、以下の知見を得た。

1. 単独走行実験より、提案する操作系は定速走行を行う場合、速度を一定に保ち、ドライバが意図しない車速の変化を抑制することが可能となった
2. 先行車追従実験より、定速走行を行う先行車の追従走行を行う場合においても、提案する操作系ではペダル操作の頻度が減少した。

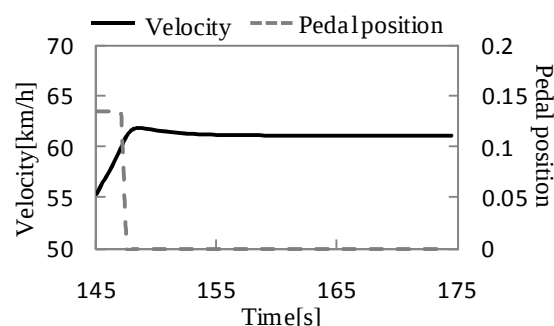
本研究は、平成22年度日本大学生産工学部若手研究者支援研究費の補助を受けた。記して謝意を表する。

「参考文献」

- 1) 金井喜美雄, 自動車のドライブバイワイヤ 航空機との共生, 自動車技術, Vol.58
- 2) 大口敬, 高速道路サグにおける渋滞の発生と道路線形との関係, 土木学会論文集 524, 1995-10-20, pp 69-78



(a) With conventional operation system



(b) With proposed operation system

Fig.10 Result of velocity and pedal position

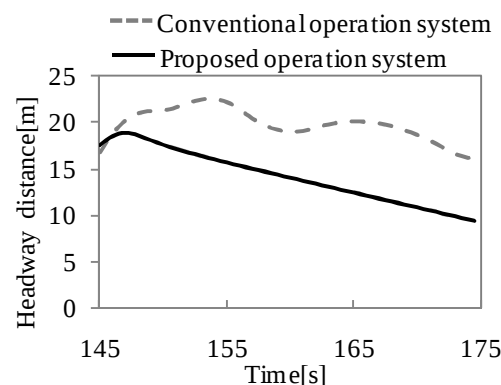


Fig.11 Result of headway distance

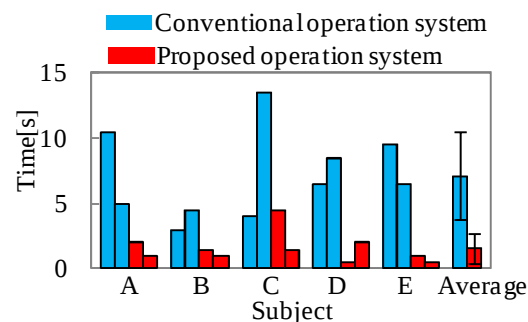


Fig.12 Time of changing pedal position