

狭路における脱輪防止システムに関する研究 (実験によるシステムの検証)

吉永 孝太朗^{*1} 荻野 弘彦^{*2}

Research on a System to Prevent Dropping Accident on a Narrow Road (Verification of a System by Experiments)

by

Kotaro YOSHINAGA^{*1} and Hirohiko OGINO^{*2}

(Received on Oct. 5, 2018 and accepted on Jan. 10, 2019)

Abstract

One course of serious accident is unskilled drivers. The present lane keeping system controls a rudder so that the vehicle travels in the center of the road. However, when a dropping accident may be occurred, a pedestrian or a bicyclist is on a narrow road. The purpose of this study was to develop a system to prevent such accidents on narrow roads by forcibly controlling the brakes and steering. When this system detects a dangerous road condition, it controls the brakes and stops the vehicle. In this research, we experimentally verified the influence of the running speed on our brake assist system.

Keywords: Automobile, Vehicle motion control, Driving assist system, Narrow road

1. まえがき

運転者が重大な事故を引き起こしてしまう原因のひとつに運転の技量が未熟であることや、認知力、注意力が散漫になってしまうような状況の発生があげられる。自動車を運転するうえで運転者が周囲の状況を把握し操作することが、適切で安全な運転をするための基本である。しかし、それらは運転初心者やペーパードライバ、高齢者ドライバが安全な運転をするにあたって大きな負担となる。特に歩行者や自転車が行き交う狭い道路での走行は、運転者への負担が大きいとされている¹⁾。

こうした状況への既存の運転支援システムとして、日産自動車株式会社のサイドブラインドモニターがある²⁾。サイドミラーに搭載したカメラで、運転者から見えない、前方、側方の死角をモニターに映し出すことで、運転を支援する。しかし、この技術は運転者の視界の補助のみを行うものである。また、車線維持支援装置がある³⁾。このシステムは、車載カメラの画像処理により、道路上にある白線を検出することで、車線中心での走行を維持させる支援システムである。しかしながら、現在、白線の無い道路も数多く存在している。そのため白線の無い道路で路外を検出する手法が必要とされている⁴⁾。例として、距離センサによる狭路を検出するシステムの開発が行われている⁵⁾。

路外でも溝や崖への落ち込みや転落といった事故は被害が大きくなる可能性がある。そこで、本研究では距離センサを用いることで、日照時間や白線の有無に影響されず道路外の溝や崖の検出を行うことができる。また、狭路を安全に通過するための運転者への支援として、段差の認識、段差の検知を運転者へ伝えるための警告、速度制御等が有用であると考えられる^{6) 7)}。

本研究の目標は、白線の無い狭路を走行中の車両が道路脇の溝や崖などへの落ち込み、転落の事故を防ぐための脱輪防止システムを開発することである。走行中に車両の周囲の状況を車両に取り付けてある距離センサで認識し、溝や崖などの危険な道路状況を判断すると運転者に警告で知らせ、強制的に制動、操舵の制御を行うことで、落ち込み、転落の事故を起こすことなく安全に通過できるための運転支援システムである。

本研究ではこの脱輪防止システムを実現するための基礎的なシステムとして、ブレーキアシストシステムを開発している。車両が白線無しの狭路を走行中、速度制御による一定速度で走行させ、前方の距離センサの情報をもとに、落ち込みの危険がある段差と判断すると、強制的に制動をかけ、車両を減速、停止させることで落ち込みを防ぐ運転支援システムである。将来的な目標として、車両が歩行者や自転車などの存在する狭路を通過するための運転アシストシステムの実現を目指している。本報告では、走行速度がブレーキアシストシステムに与える影響を実験的に検証したので報告する。

^{*1} 工学研究科機械工学専攻修士課程

^{*2} 工学部動力機械工学科教授

2. 脱輪防止システム

Fig. 1に本システムの制御ブロック線図を示す。また、Fig. 2に制御フローチャート、Fig. 3に本システムの働きを示す。Fig. 1より、車両前方を測定する距離センサから車両前方路面高さ hf が求められる。また、タイヤ近傍を測定する距離センサよりタイヤの前方の路面高さ ht が求められる。Fig. 2, Fig. 3より、得られた hf と ht の差 Δh が基準の値を下回ると、タイヤ前方に落差が存在することを検知する。それにより転落、落ち込みの事故の可能性があると判断し、駆動トルク Td を 0 にするとともに制動力 Pb を与える。さらに必要に応じて転落しない方向へ舵角 δ を与える。

3. 実験

3.1 実験装置

Fig. 4に実験車両の構成を示す。実験には実車の10分の1スケールのモータ駆動の4輪駆動模型車両を使用した。全長 385 mm である。全幅 187 mm, ホイールベース 257 mm, タイヤ幅 24 mm, タイヤ径 64 mm である。車両は機械式のブレーキを持たない。制動については、駆動用モータに前進とは逆回転の後退信号を送ることによって制動をかける。実験車両にはアナログ電圧出力の赤外線式距離センサを2つ搭載した。検出範囲はタイヤ前方が 40~500 mm と車両前方 100~800 mm である。また、アナログ電圧出力の3軸加速度センサを搭載した。測定レンジは $\pm 2G$ である。距離センサを用いることで、白線の認識の有無にかかわらず、道路の落差を認識することが可能となる。車両前面中央の位置に車両から 70 mm の高さを測定する前方センサが設けられている。また、左前輪の斜め上の位置に左前輪から 70 mm の路面高さを測定するタイヤ前方センサが設けられている。前方センサ、タイヤ前方センサともに車両の斜め下方向の距離を常に測るものとした。実験車両の操舵、加減速は実験者がリモコン操作により行う。各センサの出力はマイコンに入力され、落ち込みの危険があると判断した時は、実験車の操作入力を無視してマイコンが車両を停止させる。

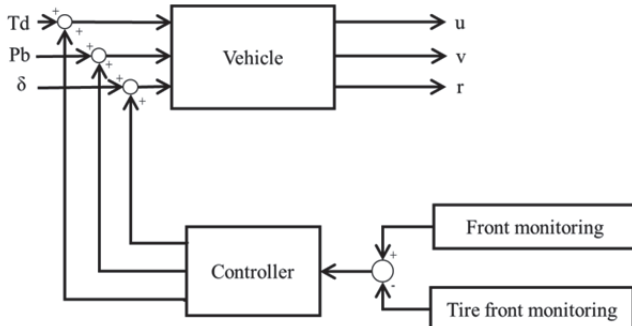


Fig. 1 Control block diagram of System to Prevent Dropping Accident on a Narrow Road.

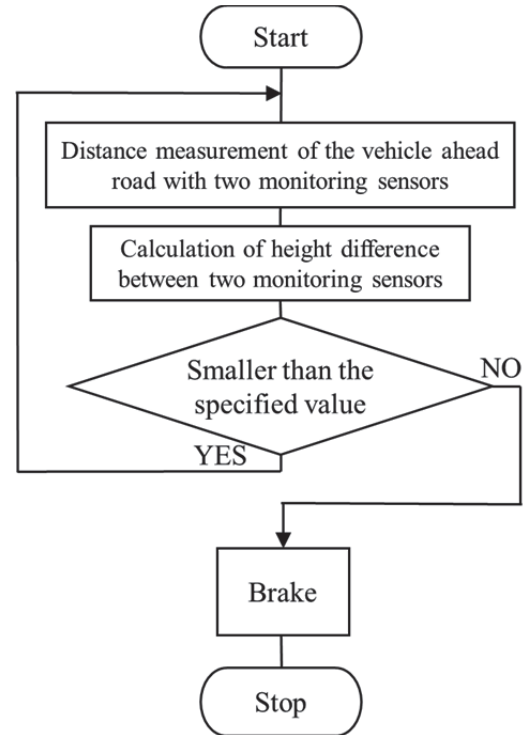


Fig. 2 Flowchart of brake assist system.

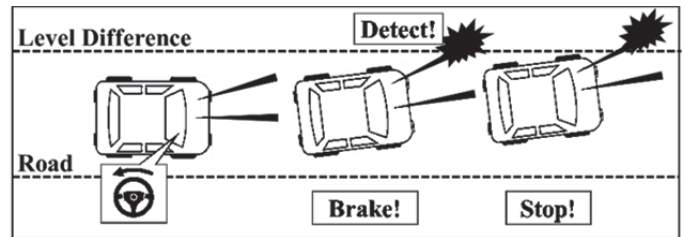


Fig. 3 Image of brake assist system.

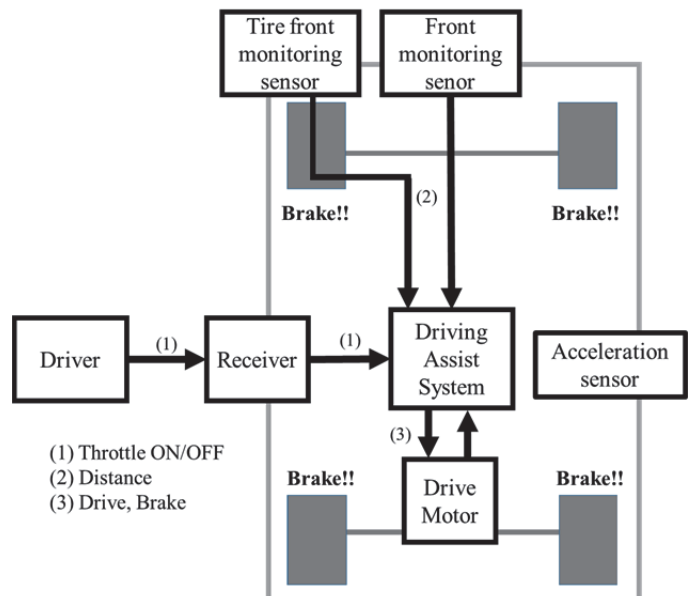


Fig. 4 Experiment equipment.

3.2 実験方法

本研究では、車両が歩行者や自転車などの存在する狭路を通過するための運転アシストシステムの実現を目指している。そのため、歩行者や自転車が存在することも考慮し、操舵と複数の異なる速度を用いて実験を行うものとした。駆動、操舵の操作については運転者が行うものとした。加速時には、駆動トルク T_d を一定とした。また操舵は、直進で走行中に車両進行方向左側へと切るものとした。制駆動については、駆動用モータに前進、後退の信号を送ることによって制駆動を行うものとした。異なる三段階の速度で同じ制動力をかけるものとした。速度については、マイコンからモータに送る信号を三段階に分けて行うものとした。また、制動は制御の介入のみで、運転者による制動の入力は一切無いものとした。

3.3 実験条件

実験に用いる道路と車両を Fig. 5 に、距離センサの取り付け位置を Fig. 6 に示す。また、次式より高さ hf , ht は求められる。 X は、距離センサから道路までの距離を、 θ は距離センサから道路に対する角度を示している。

$$hf = Xf \cos \theta \quad (1)$$

$$ht = Xt \cos \theta \quad (2)$$

対象とする狭路は行政等で用いられる狭隘道路の道路幅 4 m 未満で、平らな直線道路を対象として実験を行う⁸⁾。また、実験車両として 10 分の 1 スケールの模型車両を用いているため、実験用の狭路幅は車両に合わせ、10 分の 1 スケールである 0.4 m の幅とし、道路からの落差は 70 mm とした。落差の判断として、車両のタイヤ径の約 3 分の 2 の高さ 40 mm より、タイヤ前方センサ、前方センサの差が -40 mm を下回った際に、制動の制御を加えるものとした。異なる三段階の速度に対し 20 % の後退信号をかけるものとした。また、実際の車両で狭い道を通過する際には一度、減速もしくは、停車をしてから、加速していくと考える。そのため、今回の実験では、停止している車両が走行を開始し、道路の左側の落差の方に車両が進行していく際に、ブレーキアシストシステムが介入し、車両を停止させるものとした。車両走行時の速度の入力を低速 0.71 m/s の場合、中速 0.83 m/s の場合、高速 0.98 m/s の場合の三段階に分けることで、異なる速度域での実験を行った。また、本実験におけるマイコン ArduinoMega2560 の CPU における、クロック周波数は 16 MHz であり、4 サイクルで一命令を行うものである。また、ステップ数 50 より、サンプリング周期は、12.5 μ sec であるため、制御を十分高速にできるものとする。

4. 実験結果

低速、中速、高速の場合の結果をそれぞれ 4.1 節、4.2 節、4.3 節にて示す。以下で示す、制駆動の信号の図においては前進の信号を正、制動である後退の信号を負として図に示す。また、図中に運転者からの入力、マイコン

からの制動制御をそれぞれ、Driver, Brake control として示す。実験結果の時刻歴については、4.1 節、4.2 節、4.3 節のそれぞれで同時刻歴のものである。

4.1 低速（速度 0.71 m/s）

Fig. 7 にタイヤ前方センサ、前方センサから得られた距離の差を、Fig. 8 に制駆動の信号を、Fig. 9 に加速度の図を示す。Fig. 8 と Fig. 9 から、約 3 秒後半に車両が加速をしたこと、その後 Fig. 8 より、運転者の駆動入力に対して、一定の駆動入力の制御を加えたことがわかった。約 5 秒時点で Fig. 7 より、急激な距離の変化から落差の認識、判断し、Fig. 8 より、一定の制動入力に加わり、Fig. 9 の急激な加速度の変化より、実際に車両に対して制動の制御をかけたことがわかる。

4.2 中速（速度 0.83 m/s）

Fig. 10 にタイヤ前方センサ、前方センサから得られた距離の差を、Fig. 11 に制駆動の信号を、Fig. 12 に加速度の図を示す。中速も、低速同様に停車していた車両が加速していき落差を判断した時点で制動をかけ止まったことが分かった。

4.3 高速（速度 0.98 m/s）

Fig. 13 にタイヤ前方センサ、前方センサから得られた距離の差を、Fig. 14 に制駆動の信号を、Fig. 15 に加速度の図を示す。高速時も、低、中速同様に停車していた車両が加速していき落差を判断した時点で制動をかけ止まったことが分かった。加えて、Fig. 9 と Fig. 15 より停止させるまでにかかる制動の時間が低速時に比べ、高速時では約 2 倍近く延びていることが読み取れた。

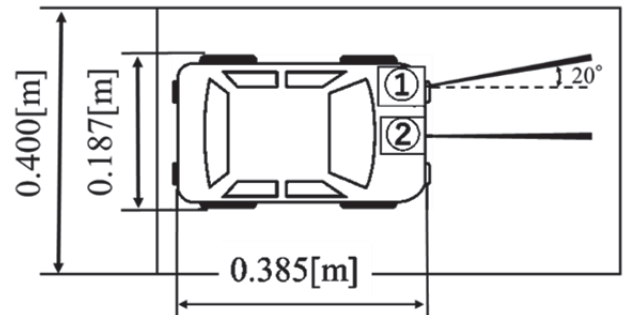


Fig. 5 Road width.

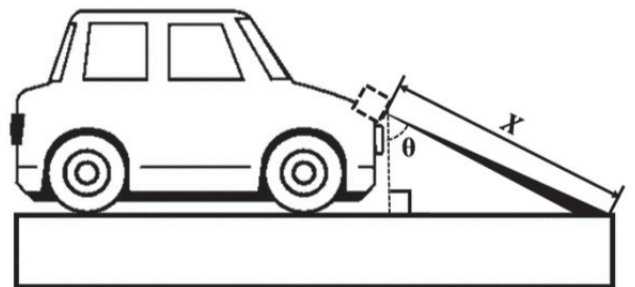


Fig. 6 Distance sensor position.

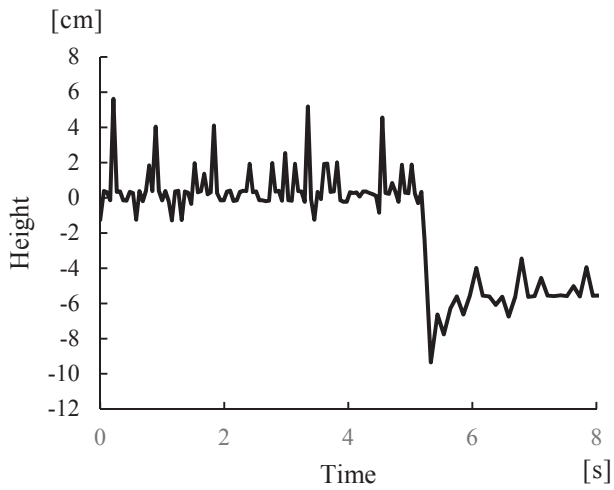


Fig. 7 Difference between tire front monitoring sensor and front monitoring sensor (Low velocity : 0.71 m/s).

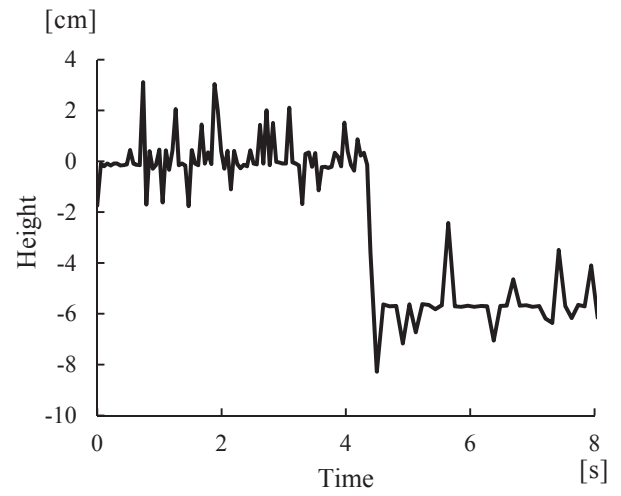


Fig. 10 Difference between tire front monitoring sensor and front monitoring sensor (Middle velocity : 0.83 m/s).

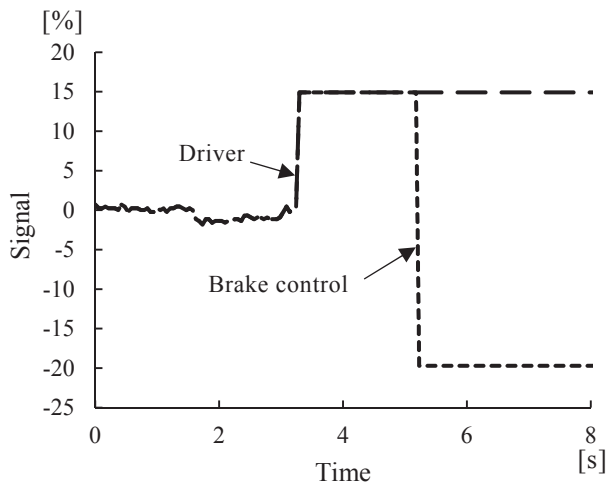


Fig. 8 Signals of driver and brake control (Low velocity : 0.71 m/s).

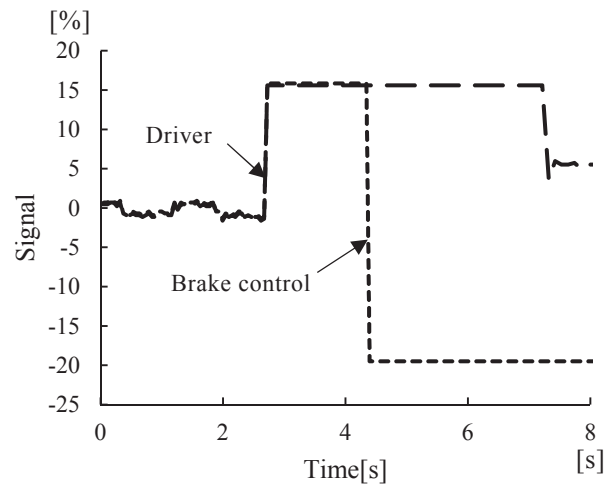


Fig. 11 Signals of driver and brake control (Middle velocity : 0.83 m/s).

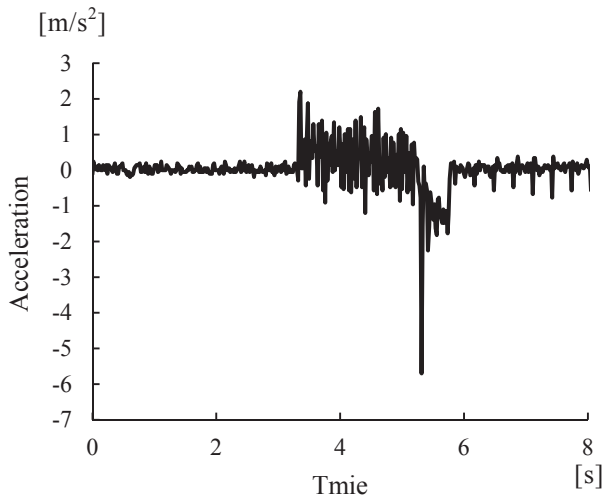


Fig. 9 Acceleration (Low velocity : 0.71 m/s).

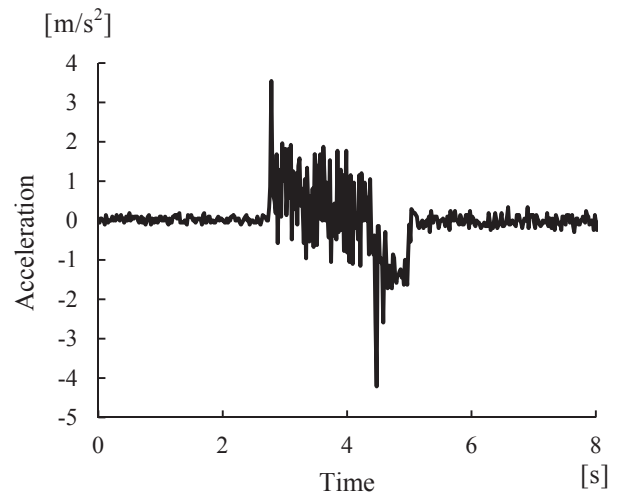


Fig. 12 Acceleration (Middle velocity : 0.83 m/s).

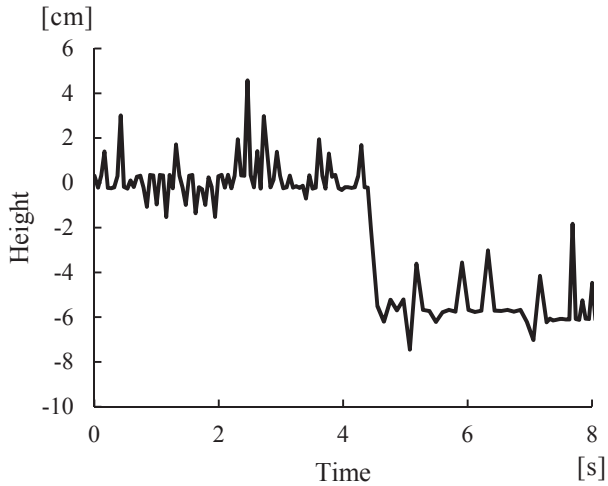


Fig. 13 Difference between tire front monitoring sensor and front monitoring sensor (High velocity : 0.98 m/s).

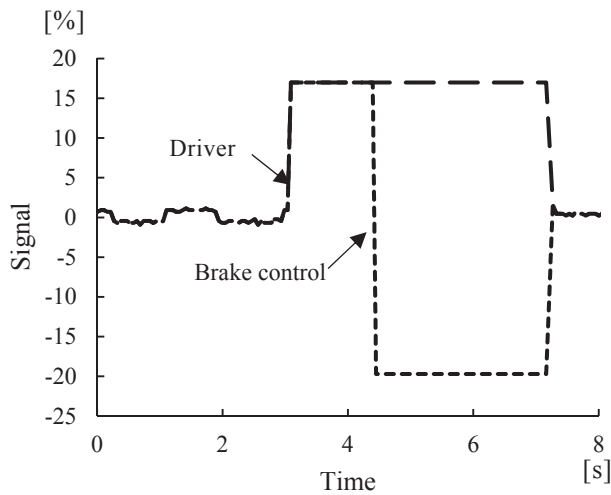


Fig. 14 Throttle position (High velocity : 0.98 m/s).

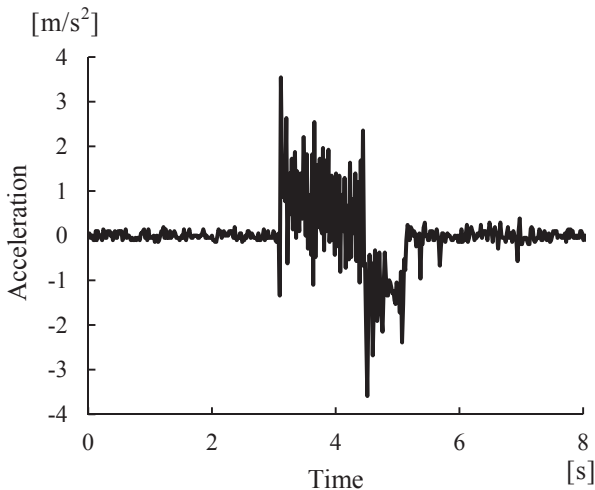


Fig. 15 Acceleration (High velocity : 0.98 m/s).

4.4 走行速度の比較

Fig.16 に各速度より，得られた三つの速度域の速度の変化を示す．低速，中速，高速をそれぞれ Low, Middle, High として図中に示す．速度は，加速度センサより得られた加速度のデータを，1 回積分することで算出した．

5. 考察

本研究では，車線の無い狭路を走行中の車両が道路脇の崖や溝などへの転落，落ち込みの事故を防ぐための脱輪防止システムを開発している．脱輪防止システムの実現にあたり，基礎的なシステムとしてブレーキアシストシステムを提案した．車両が停車した状態から加速していき，落ち込みの危険がある段差と判断すると，強制的に制動をかけ，車両を減速，停止させることで落ち込みを防ぐシステムである．また，走行速度がブレーキアシストシステムに与える影響を実験的に検証した．狭路を走行中，車両が左側の落差に進行していき，距離センサからの情報で，落差を危険と判断し，ブレーキアシストシステムが制動をかけ，減速し，車両を停車させたことで，脱輪の事故を防ぐことができるとわかった．距離センサの大きな振幅に関しては電圧変化によるノイズが原因と考える．そのため，ノイズを抑制する対策が必要である．また，距離センサの取り付け位置やセンサの数によって対応できる道路状況や，落差の判断までの時間が大きく変わる．そこで，最適なセンサの取り付け位置や，センサの取り付け数をより追及していくことで，脱輪防止システムが多様な道路状況で対応でき，より早い段階で，落差の判断や車両を減速させることができると考える．また，落差を認識，判断した際に，制動の制御だけでなく，必要に応じて転落しない方向へと操舵の制御を与えることで，より安全な走行ができるようになると思う．それにより，車両を停止させることなく，狭路をより安全に通過できるための脱輪防止システムの開発を進めていく必要があると考える．

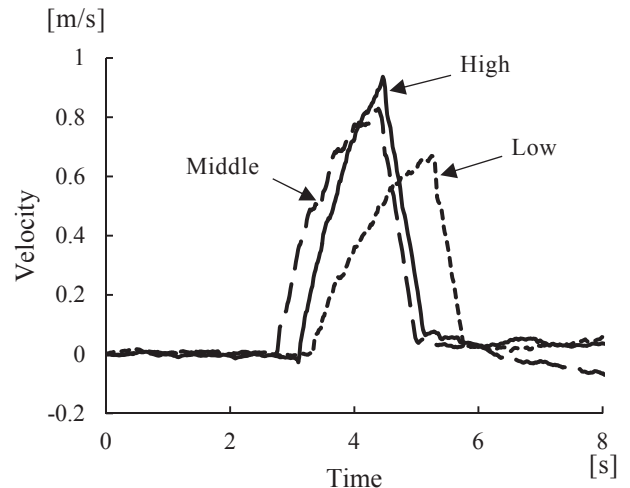


Fig. 16 Velocity of 3 types.

6. まとめ

本報告では、狭路における脱輪防止システムの開発をするために、基礎的な速度制御と制動制御を与えるブレーキアシストシステムを開発し、速度が本システムに与える影響を実験的に検証した。その結果、以下のことがわかった。

- (1) 異なる速度域で車両が走行している場合でも、距離センサで落差を判断し、車両へ制動のみを与え、車両を減速、停車させることで狭路での脱輪を防ぐことができることがわかった。
- (2) 落差の判断までの時間を短くするために、距離センサの数、取り付け位置の検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) 佐藤稔久，川嶋弘尚，大門樹，池田敦，木下昌裕，“狭路走行支援システム使用時における高齢ドライバー特性に関する研究”，日本人間工学会大会講演集 Vol.40, No.1, pp.1-11 (2004).
- 2) 日産自動車，“サイドブラインドモニターについて”，日産リーフ取扱説明書，<https://www.nissan.co.jp/OPTIONAL->

PARTS/NAVIOM/Z_SPECIAL/1702/PG/n32-n-j01-18cff46b-ad1b-4163-afa0-c71022078b2c.html（アクセス日 2018/7/1）。

- 3) 竹村純：“自動車技術ハンドブック”，環境・安全・情報編，第2分冊，公益社団法人自動車技術会，精興社，pp.119-124 (2015).
- 4) 城殿清澄，石田皓之，木村好克，内藤貴志，松原利之，竹前嘉修，永田暁彦，“視差画像の勾配変化とテンプレート照合を用いた縁石境界検出”，自動車技術開論文集，Vol.46, No.2, (2015).
- 5) Ki Cheol Shin, Chang Jae, Ee Suk Jung, “METHOD, APPARATUS AND SYSTEM FOR DETECTING NARROW ROAD”, United States Patent, US9,278,695 B2, (2016).
- 6) 島村未菜，栗谷川幸代，“狭路走行時の苦手意識の違いに伴う生体情報変化に関する研究”，日本大学生産工学部大 48 回学術講演概要，pp.149-152 (2015).
- 7) 富田宗樹，水上智道，高橋正光，塚本茂善，“農業者調査による乗用型トラクタ安全装備の効果の分析”，日本農作業学会，農作業研究 Vol.44, No.4, pp.225-232 (2009).
- 8) 笠原敏郎，市川清志：“建築物法規概説”，相模書房，pp.488-490 (1979).