

# 車両間通信を用いる出会い頭事故防止を目的とした 自己位置推定方法の検討

高山 周\*<sup>1</sup> 荻野 弘彦\*<sup>2</sup>

## Self Location Estimate Method for Prevention of Encounter Accident Using Inter-Vehicle Communication

by

Shu TAKAYAMA\*<sup>1</sup> and Hirohiko OGINO\*<sup>2</sup>

(Received on Oct. 6, 2017 and accepted on Jan. 11, 2018)

### Abstract

Many traffic accidents occur at intersections, and are typically caused by human errors such as inattentive driving. Vehicle makers have developed systems to avoid collisions with stopped vehicles and pedestrians crossing at an intersection. However, there is no system to avoid collisions at a crossing, where many collisions still occur. The purpose of the study was to develop a crash avoidance system for crossings, which is based on the sharing of drive information. Vehicles share driving information and drive control information. When the system predicts a crash at a crossing, the system overrides the drive control to avoid the crash. In this study, we analyzed the relationship between braking time and brake rate for crash avoidance. We also studied the specifications of the acceleration sensor and developed a self location estimation system. The analysis results clarified the time parameter necessary for crash avoidance and the brake rate.

**Keywords:** automobile, collision avoidance, sharing drive information

### 1. まえがき

世界保健機関による調査によれば、2013年の交通事故による人口10万人あたりの死亡者数は世界全体で17.5人、欧州で9.3人、日本では4.7人であった<sup>1)</sup>。従って、日本の交通安全水準は高いとすることができるが、それでも、多数の人が悲惨な交通事故の犠牲になっているのが実情である。ここで、2014年の日本における交通死亡事故を道路形状別に分類した場合、交差点におけるものは全体の48%にもものぼっている。また、事故類型別で見ると、車両同士の事故が最も多く、特に交差点における出会い頭事故、次いで正面衝突が多くなっている<sup>2,3)</sup>。従って、交差点における車両同士の衝突を回避するための安全技術の開発が急務となっている。このような事故を防ぐために自動車会社やさまざまな研究機関が安全技術の開発を進めている。例えば、停車している車両への後方からの追突を防ぐために、各種センサ、画像情報により自動的に制動を行うシステムや、レーダや画像情報により前方車両を検知し、出会い頭事故を防止するシステムの開発などが行われている<sup>4,5)</sup>。しかし、これらのシステムでは、並進速度が大きい場合や旋回速度が大きい場合などでは、センサや画像情報により他の車両を検知

しても事故を回避することが不可能であることがあり、限定的な機能しか実現していないのが現状である。このような欠点を補うために、今後構築されるであろう高度道路交通システム(ITS)を利用し、自車の走行情報や運転者の車両操作情報を車両間で共有して、事故の発生予測と回避を行うシステムが開発が行われている<sup>6,7)</sup>。このシステムの実現には精度の高い自己位置推定が必須である。そこで、現在はGPSシステムを利用して自己位置を推定する研究が行われている<sup>8,9)</sup>。しかし、都市部のビルや谷間などではGPS電波が弱く、また、地下やトンネル内を走行する場合はGPS電波が全く届かないなど、測位精度が低下してしまう場合が多くある。さらに、事故を防止するためには秒単位の車両制御が要求されるが、GPSによる測位観測周期は長く、GPSによる自己位置推定には多くの問題が存在している。これを補完するために、加速度センサ等を使用して自己位置を推定する方法が考えられる。GPSを使用しないで運動する物体の自己位置を推定する研究としては運動するロボットの自己位置推定に関する研究がある<sup>10)</sup>。しかし、自動車に比較して移動速度ならびに移動距離が小さく、GPSによる自己位置推定の問題点を他のセンサにより補完し、高速かつ大きな移動距離を進む自動車の、精度の高い自己位置推定方法に関する研究は筆者らの知る限り確立されていないのが現状である。よって、本研究は車両間で走行情報、車両

\*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

操作情報を共有して事故を予測回避するシステムを実現することを目標としている。

## 2. 衝突回避システム

### 2.1 衝突回避システムの概要

Fig.1 にシステムの構成を示す。GPS システムから得られた位置情報、加速度センサならびにジャイロセンサにより得られた加速度と旋回角速度は自己位置推定システムに入力され、自車の現在位置と未来位置が推測される。推測された現在位置と未来位置は衝突回避システムに入力される。一方、他の車両の位置情報が衝突回避システムに入力され、これらの情報を比較することにより衝突が発生するかどうか判断される。衝突が予測される場合には操舵制御、制動制御、駆動制御が行われる。衝突の予測は自車の現在位置と未来位置、他車の現在位置と未来位置から接近速度と車両間距離を求め、車両間距離が 0 になるか否か、車両間距離が 0 になる場合には、その時間を演算することにより行う。

### 2.2 自己位置推定システム

Fig.2 に自己位置推定システムの構成を示す。GPS システムからは地球に固定した絶対座標系の位置  $X, Y$  が得られる。一方、加速度センサから得られた並進加速度  $a_x, a_y$  とジャイロセンサより得られたヨー角速度  $\omega$  の関係は次式で示される。

$$\left. \begin{aligned} a_x &= \frac{du}{dt} - \omega v \\ a_y &= \frac{dv}{dt} + \omega u \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式(1)より並進速度  $u, v$  と測定時間刻みごとの相対位置  $\Delta x, \Delta y$  が得られる。これと測定時間 1 ステップ前の絶対位置予測値との和がセンサより得られる絶対座標系の予測位置  $X', Y'$  になる。

$$\left. \begin{aligned} X'_n &= X'_{n-1} + \Delta x \\ Y'_n &= Y'_{n-1} + \Delta y \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

しかし、車両走行時の振動や発車、停車時のサスペンションによる振動により  $X', Y'$  には誤差が含まれることが予測される。そこで、GPS システムより得られた位置  $X, Y$  との間で差を取り、その誤差値にゲイン  $g_x, g_y$  をかけて  $X', Y'$  の予測値へフィードバックし、誤差を小さくするようにした。これを継続的に行い、さまざまな運転状況下でも、時々刻々の適切な  $g_x, g_y$  の値を得ることを行う。これによりビルの谷間やトンネル内に入るなどの走行状況で、GPS システムからの情報が得られない場合でも、精度良く自己位置を推定できると考えた。なお、この考え方によれば、長時間 GPS システムからの情報が途切れた場合には  $g_x, g_y$  の適切な値からのずれが問題となるが、本問題に関しては今後の課題とし、次報以降で検討をしたい。未来位置の推定は過去の自己位置時間変化より外挿することにより求める。

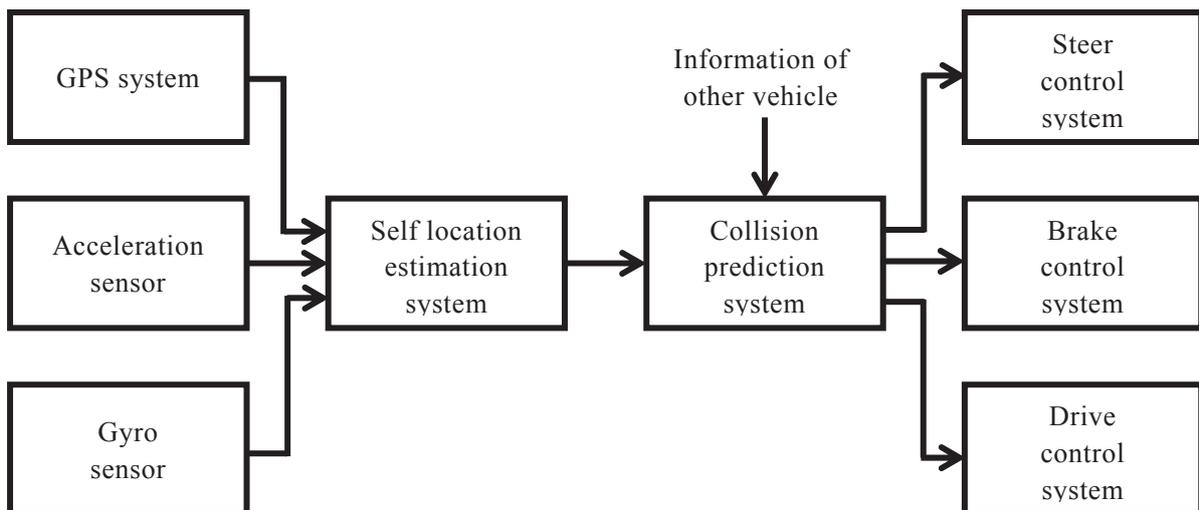


Fig.1 Construction of crash avoidance system.

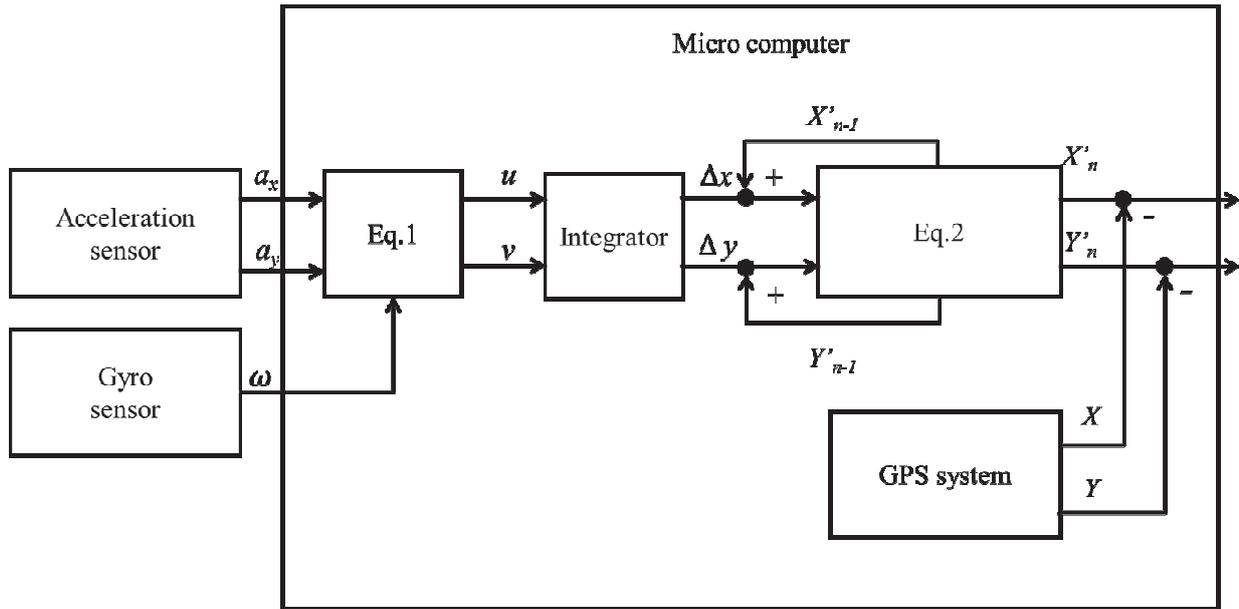


Fig.2 Construction self location estimation system.

せた結果より制動距離と制動時間を評価する．シミュレーションに用いた車両の詳細を Table 3 に示す．

### 3. 実験方法

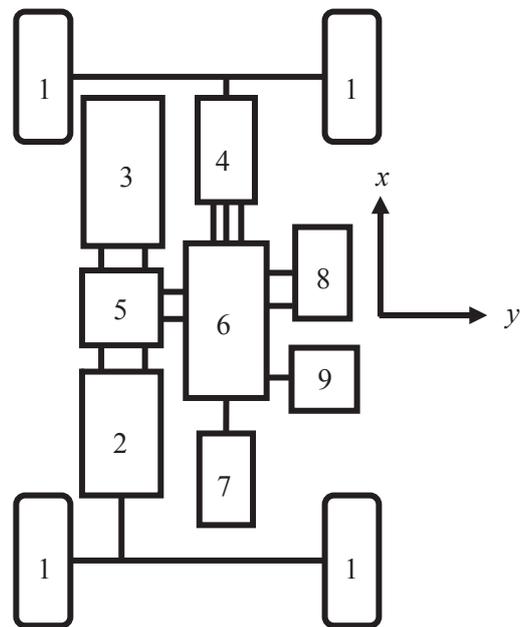
#### 3.1 加速度センサ静止時の距離測定誤差

走行情報の算出に使用する加速度センサには重力加速度が含まれている．センサを水平な場所に設置した場合水平方向にゼロ，鉛直方向に 1.0G の重力加速度が含まれる．しかし，加速度センサで測定する加速度は静止時においても偏差が大きく，静止状態でも出力が変動してしまう．これにより自己位置推定に必要な相対位置を算出する際に誤差が累積され，適切な移動距離を求めることができない．よって，本実験の目的は加速度の 2 回積分により累積される誤差を抑え，位置誤差修正を最小限とした自己位置推定を実現するために，修正移動平均の有効性を示すことである．実験として，静止時における加速度センサの未補正值と，測定値に MMA を用いることで平滑化を行い，2 階積分した距離測定誤差の比較を行う．使用する加速度センサとマイコンの詳細をそれぞれ Table 1, Table 2 に，Fig.3 実験車両の構成を，Fig.4 に加速度センサの軸方向を示す．また，MMA を用いた計算式を式(8)に示す． $x, y, z$  それぞれの加速度に適用する． $n$  はサンプリング数である．

$$a_{MMA} = \frac{a + a_{MMA}(n-1)}{n} \quad (3)$$

#### 3.2 ブレーキ操作と制動距離の検証

実験車両が完成していない都合上，衝突回避を行うために必要な加速度の測定周期と移動距離をシミュレーションで検証する．自己位置推定システムで自車の走行情報を測定した状況下で，30 km/h で走行中にブレーキ操作を行い，ブレーキペダル開度[%]を 10%毎に増加さ



- 1 : Tire, 2 : Driving motor, 3 : Motor battery,
- 4 : Steering motor, 5 : Motor driver,
- 6 : Computer, 7 : Acceleration & gyro sensor,
- 8 : Computer battery, 9 : GPS

Fig.3 Experiment model.

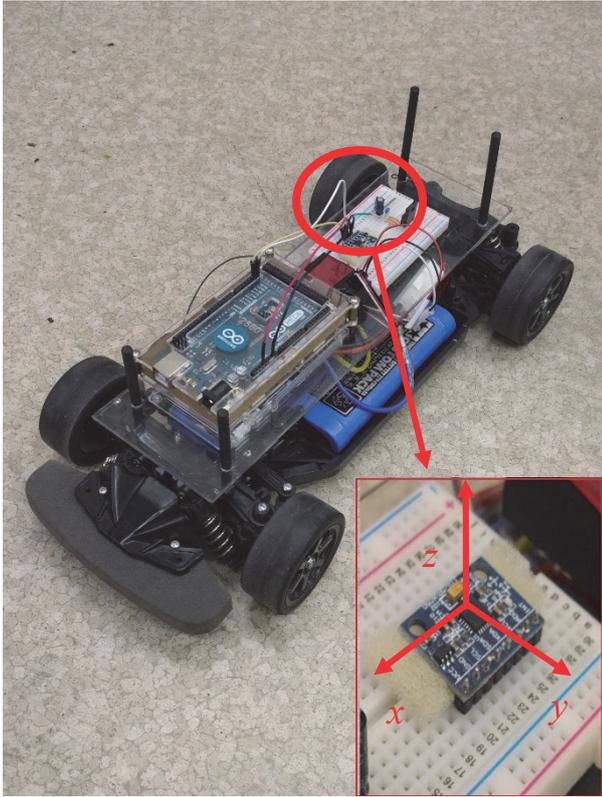


Fig.4 Axial direction of 3 axis acceleration sensor.

Table 1 InvenSense MPU-6050.

Parameter	Value	Unit
Accel scale range	$\pm 4$	G
Resolution	$5.59 \times 10^{-4}$	$\text{m/s}^2$
Operating Voltage	3.3	V

Table 2 Arduino Mega 2560 Rev3.

Parameter	Value	Unit
Clock frequency	16	MHz
Operating Voltage	5.0	V
Flash Memory	256	KB
SRAM	8	KB
EEPROM	4	KB

Table 3 Specifications of analysis model.

Parameter	Symbol	Value	Unit
Vehicle mass	$m$	422	kg
Length of interacted surface	$l_f, l_r$	0.8275	m
Yaw inertial moment	$I$	1000	$\text{kgm}^2$
Inertia of tire	$I_T$	2.53	$\text{kgm}^2$

## 4. 実験結果

### 4.1 加速度センサ静止時の誤差測定

水平面場で加速度センサを静止させた状態で、加速度を2階積分した未補正值とMMAを用いた補正值の比較をFig.5, 6, 7に示す。MMAのサンプル数は試行錯誤的に20とした。今回の実験では測定時間の経過により誤差が累積されているが、最も累積誤差の大きいz軸が、最大でも10cm未満に抑えることができた。よってMMAを適用することで、各軸において誤差を減少させる結果を得ることができた。

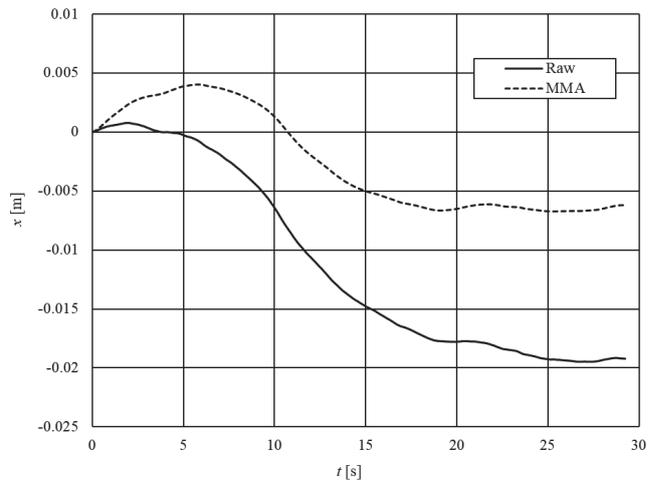


Fig.5 x axis mileage of raw and MMA.

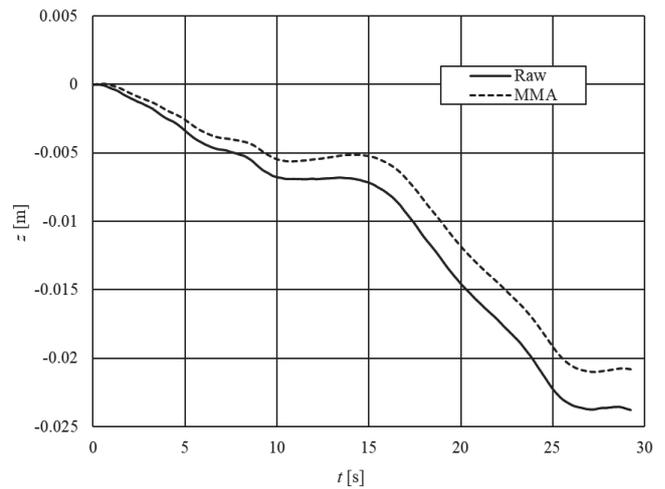


Fig.6 y axis mileage of raw and MMA.

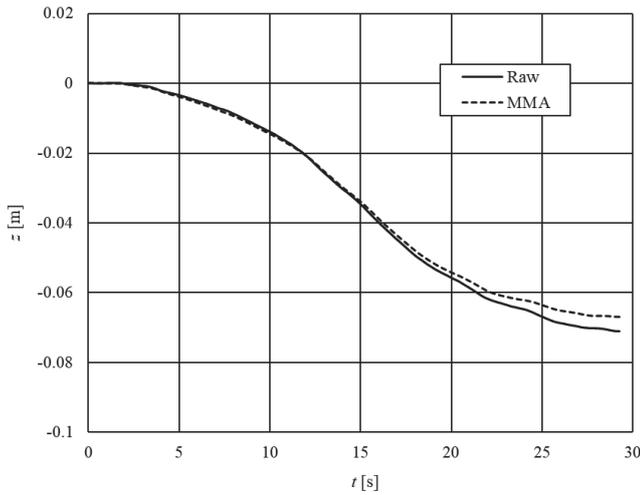


Fig.7 z axis acceleration of raw and MMA.

#### 4.2 ブレーキ操作と車両間相対距離の検証

30km/hを初速としてブレーキを掛けた時の、ブレーキペダル開度と車両速度の変化を Fig.7 に示す。40%で制動時間が最小の 7.94 秒となった。最大制動時間は 10%で、24.27 秒である。次に制動距離の時間変化を Fig.8 に示す。最小制動距離は 40%で 4.11m, 最大制動距離は 10%で 10.46m となった。各ブレーキ開度と制動時間を Fig.9 に示す。ブレーキ開度 40%から 100%では解析結果に変化が起きない結果となった。これはタイヤがロックしているものと考えられる。よって、タイヤのロックを発生させることのない車両とブレーキの制御が必要である。

### 5. まとめ

本研究では交通事故防止技術として、車両間通信を用いた出会い頭事故防止システムを提案した。このシステムは GPS の観測周期を抑え、加速度センサによる精度の高い自己位置推定を行うことで衝突回避を行う安全システムである。まず、システムの一部である自己位置推定システムにおいて、加速度センサから出力される加速度の偏差による累積誤差を減少させるべく、修正移動平均によるフィルタリングの検討を行った。これは加速度の 2 階積分により、移動距離測定の誤差を抑えるものである。静止時の測定結果では、フィルタリングにより誤差を減少させ、最大でも 0.1m 以内を達成することができた。誤差が最大であった軸は水平面と鉛直方向であるため重力加速度の影響を受けていると考えられる。このことより、実際に移動する際の車両走行時の加速や振動、停車時のサスペンションによる振動により誤差は大きくなるものと考えられる。次に、衝突回避を実現するために最適な加速度の測定周期と移動距離を解析するためシミュレーションにて、ブレーキ率と制動距離、制動時間の相関を解析した。結果より、衝突回避を行う際の加速度センサの測定誤差を最小限に抑える観測周期を得た。また、一定のブレーキ率を超えた場合、タイヤがロック

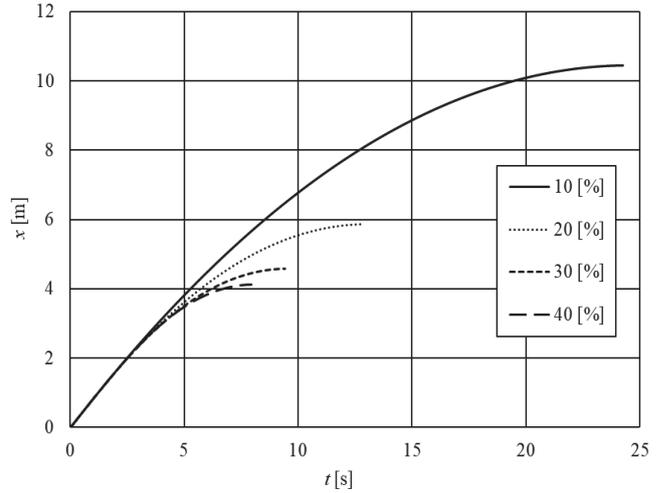


Fig. 8 Brake rate and vehicle speed.

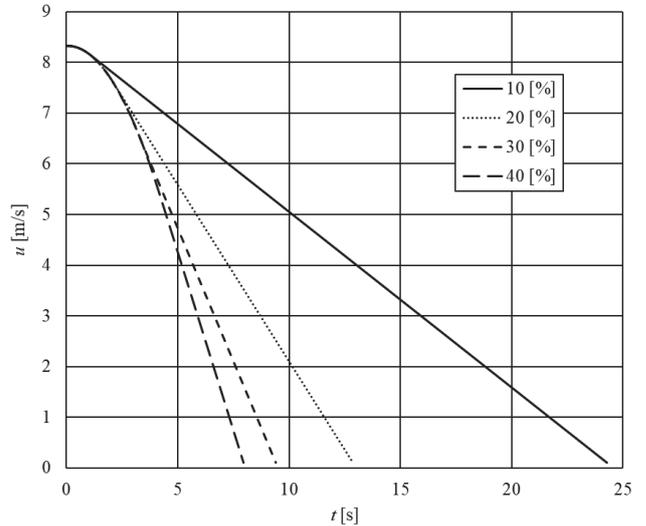


Fig. 9 Brake rate and vehicle mileage.

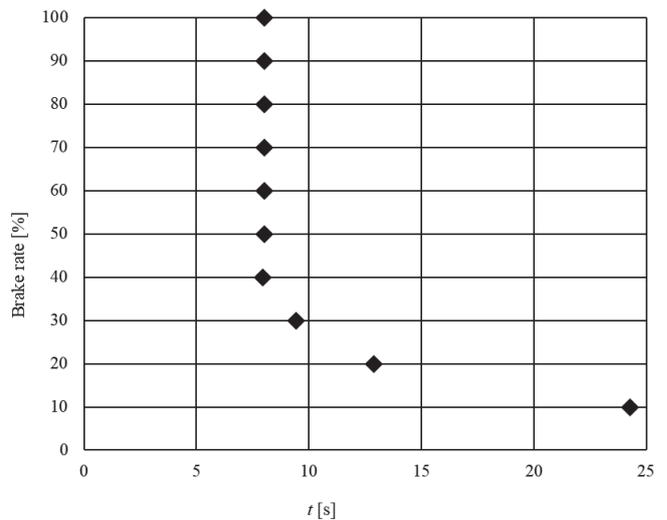


Fig.10 Brake rate and braking time.

してしまう状況があり、適切なブレーキ操作をさらに深く追及する必要があると感じた。

## 参考文献

- 1) 日本経済新聞 電子版, 交通事故死, 世界で 125 万人 WHO13 年調べ, 2015 年 10 月 19 日付.
- 2) 内閣府: 交通安全白書, 平成 27 年版(2015).
- 3) 内閣府: 交通安全白書, 平成 27 年版(2015).
- 4) 佐々木 眞悟: “自動車事故のない時代は来るのか?—特許情報を用いて「アイサイト」の衝突防止システムを探る— (ぶつからない車を目指して)”, 自動車技術 68(4), pp. 74-80, (2014).
- 5) Kawasaki, T., Tsunekawa J., Harada, T. and Suzuki, K., Development of front-side pre-crash safety system for intersection collisions, Proceedings of 16th ITS World Congress, Sweden, pp.1-8, (2009).
- 6) 藤井彩恵, 山口弘純, 東野輝夫, 金田茂, 高井峰生: “車車間通信を用いた協調型車両位置推定手法”, 情報処理学会研究報告, Vol.2010-MBL-56, No.4, pp.1-8, (2010).
- 7) 瀧本栄二, 大山卓, 三浦龍, 小花貞夫: “安全運転支援車車間通信システムのための周辺車両位置管理方式の提案と考察, 研究報告高度交通システム(ITS), Vol.2009-ITS-36, pp.47-51, (2009).
- 8) Chausse, F., Laneurit, J. and Chapuis R.: “Vehicle Localization on a Digital Map Using Particles Filtering”, Proc. of IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp.243-248, (2005).
- 9) Rezaei, S. and sengupta, R. : “Kalman Filter-Based Integration of DGPS and Vehicle Sensors for Localization”, IEEE Transactions on Control Systems Technology, Vol.15, No.6, pp.1080-1088, (2007).
- 10) 稲垣毅, 小林義和, 白井健二: 加速度センサ利用による遠隔操作ロボットの位置計測, 精密工学会学術講演会講演論文集 2010S(0), pp.947-948, (2010).