

車線変更時における衝突回避のための車両運動制御に関する研究

眞木 遼平^{*1} 荻野 弘彦^{*2}

Study on Vehicle Motion Control for Collision Avoidance at Lane Change by

Ryohei MAKI^{*1} and Hirohiko OGINO^{*2}

(Received on Oct. 3, 2018 and accepted on Jan. 10, 2019)

Abstract

Active safety systems that recognize potential danger and take avoidance measures attracting much attention. It has been proposed that automatic braking system and crash avoidance system be used for lane changes on straight roads. However, there is problem of poor avoidance performance during lane change in which the traveling locus changes remarkably. In this study, we aimed to develop a system with good avoidance performance on the traveling locus changes remarkably. When the driver proceeds to change lanes where the running locus varies considerably despite the presence of parallel traveling vehicles, the proposed system controls the vehicle to avoid a collision. We investigate the performance of system using vehicle motion simulations and a model car experiment.

Keywords: Vehicle motion control, Collision avoidance, Driving support

1. まえがき

近年、交通事故を未然に防ぐ予防安全技術が注目されている。警察庁交通局、平成 29 年中の交通事故の発生状況によると交通事故発生件数は平成 19 年と比較し約 4 割減少している。この要因の一つとして自動車の安全性能の向上が考えられる¹⁾。著者らは自動車の安全技術の中でも予防安全技術に関する研究を行い、なかでも比較的速度が高く甚大な事故につながる車線変更時の運転支援システムについて研究を行ってきた^{2,3)}。ここで、本研究と類似する運転支援システムの例を挙げる。類似するシステムは車線変更時に運転者の死角に接近する車両を警告し、運転者が警告に気づかず操舵を行った場合、システムが後側方から接近する並走車と追突させないよう操舵を支援する追突回避ステアリングアシストがある。しかし、この従来のシステムは急カーブや車両の大部分が隣の車線に進入している場合、作動しないという問題がある⁴⁾。著者らはこの要因として、既存のシステムはあらかじめ設定された軌道上つまり車線に沿って走行させることが目的であり、走行軌道が著しく変化する急カーブや車両の大部分が隣の車線に進入するような場面では車線に沿うことが困難なために作動しないと考える。

本研究は車線変更時における衝突回避に対して、従来のシステムが対応しない、特に大部分が隣の車線に進入するような著しく走行軌道が変化する場合でも安全な走行状態にする衝突回避システムの実現を目標としている。提案するシステムは、車両周囲を検出するセンサ入力だけでなく自車の未来位置を推測することで従来の車線内

という限られた走行軌道ではなく、より自由度が高い走行軌道から安全な走行状態を実現するものである。

提案するシステムの基礎的な検討と車両モデルを用いた直線路における車線変更時の衝突回避シミュレーション及び 1/10 模型実験車を用いた車線変更時の衝突回避走行実験を行ったので報告する。

2. 主な記号

F : 力, I : 車両のヨーイング慣性モーメント, K : コーナリングパワー, L : 重心点間距離, P : 圧力, PW : パルス幅, T : トルク, X, Y : コーナリングフォース, c : 路面係数, l : ホイールベース, m : 車両の質量, r : ヨー角速度, t : 時間, u : x 軸方向の速度, v : y 軸方向の速度, x : 車両進行方向の座標, y : 車両横方向の座標, β : 横滑り角, δ : 舵角, δA : サーボモータの軸角, μ : 摩擦係数, p : スリップ率

添字

AB: 自車と並走車, B : 制動, D : 駆動, a : 任意位置, b : 未来位置, c : 回転面に沿う方向, f : フロント, n : 法線方向, p : 未来の位置, r : リア t : 接線方向, 0 : 転舵開始時の位置, $*$: 予測値

3. 提案する衝突回避システム

提案するシステムは運転者が車線変更を行う際に、車両周囲を検出範囲としたセンサによる並走車との距離入力と観測器から求めた自車の走行状態から自車の未来位置を予測する。車両周囲を検出するセンサからの距離入力と自車の未来位置より、衝突回避システムが自車と並走車が衝突すると判断した場合、運転者ではなく衝突回避システムが舵角への修正操舵を行い並走車との衝突回避するシステムを提案する。

*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

3.1 制御システム

Fig. 1 に提案する衝突回避システムの制御ブロック図を示す. 運転者は, 駆動トルク T_D , 制動圧力 P_B , 前輪の舵角 δ を車両に入力する. 車両はこれらの値から x 軸方向の速度 u , y 軸方向の速度 v , ヨー角速度 r を出力する. しかし, 車両の速度 u, v を精度良く測定するためには高価なセンサが必要であり, 市販車に搭載することを考慮すると実用的でない. このため, 観測器を用いて車速とヨー角速度の予測値, u^*, v^*, r^* を求める. ただし, 時々刻々と変化する車両の運動を観測する観測器に用いられる車両モデルは, 演算を高速で行うために簡素なモデルを使用する必要がある. そこで, 比較的安価なセンサで精度良く測定出来るヨー角速度 r と予測値 r^* の差にゲインをかけて観測器へ戻すことにより, 速度予測値 u^*, v^* の誤差低減を図る. 観測器より予測した速度予測値, u^*, v^* と車両でヨー角速度 r , 並びに並走車との距離の値 ℓ を制御器に入力し, 衝突の判断と舵角の修正値を求める.

3.2 自車の未来位置予測

自車の未来位置 x_p, y_p は, 前進差分近似を用いて求める. ここで, 車線変更時の速度は急激な変化をしないとする. すなわち, 車線変更時の前後方向並びに横方向の加速度はほぼ一定であると仮定する. この仮定より観測器により求めた速度の予測値 u_a^*, v_a^* と任意の自車位置 x_a, y_a から自車の未来位置 x_p, y_p を式(1),(2)により推測する.

$$x_p = x_a + u_a^* \Delta t \quad (1)$$

$$y_p = y_a + v_a^* \Delta t \quad (2)$$

3.3 衝突回避判断

並走車との衝突の判断は, 予測車間距離 ℓ^* と実測車間距離 ℓ を比較して行う. 車線変更時の運転者による転舵開始位置 x_0, y_0 とし, 自車の未来位置 x_p, y_p とした時, 予測する車間距離 ℓ^* は式(3)のように示される.

$$\ell^* = \left\{ (x_p - x_0)^2 + (y_p - y_0)^2 \right\}^{1/2} \quad (3)$$

ここで, 車両周囲を検出する距離センサにより求めた実測車間距離 ℓ と予測する距離 ℓ^* が制御器に入力され, 式(4)に示した衝突の判断を行う. 衝突すると判断した場合は運転者ではなく衝突回避システムが操舵を制御し, 車間距離を広げる.

$$\ell^* - \ell \leq 0 \quad (4)$$

本報告では舵角を制御した際の車両挙動を把握するための基礎的検討として, 車線変更時の衝突回避シミュレーション並びに 1/10 の模型実験車を用いた衝突回避走行実験においては, 自車の未来位置の予測は行わず, 車両周囲を検出する距離センサの入力と運転者の操舵入力から衝突の判断を行う. 衝突すると判断した場合は衝突回避システムが運転者の操舵を修正するものとした.

4. 車線変更時の衝突回避シミュレーション

本シミュレーションでは車線変更時の舵角を変化させ修正操舵を行った際の車両の横方向速度, ヨー角速度並びに二車間の重心点間距離の変化を検証した.

4.1 車両モデル

Fig.2 に使用した車両モデルを示す. また, 車両モデルを扱うにあたり以下を仮定した.

- ・ 左右輪のタイヤ特性に差はない.
- ・ 左右輪の路面状況に変化はない.
- ・ 旋回時の内外輪荷重移動が無視できるとする.
- ・ 左右輪の横滑り角が小さい.
- ・ 舵角は小さい.
- ・ トレッドによるヨーモーメントは無視できる

以上の仮定より, 4 輪の車両を等価的な前後 2 輪の車両に置き換えることが出来るため, 車両モデルは Fig.2 に示すような 2 輪モデルを使用した.

4.2 車両運動方程式

x 方向の速度 u , y 方向の速度 v は以下に示す並進運動方程式(5),(6)より求めた⁵⁾. また, 車両の重心点まわりのヨー角運動方程式は式(7)より求めた⁵⁾.

$$m \left(\frac{du}{dt} - rv \right) = 2(X_f - X_r) \quad (5)$$

$$m \left(\frac{dv}{dt} + ru \right) = 2(Y_f + Y_r) \quad (6)$$

$$I \left(\frac{dr}{dt} \right) = 2(l_f Y_f - l_r Y_r) \quad (7)$$

4.3 タイヤモデル

先述した式(5)~(7)の車両運動方程式を解くためには, タイヤが発生する力, X_f, X_r, Y_f, Y_r を求める必要がある. タイヤに沿う方向の力 F_t と X_r は式(8),(9)に示すクーロンモデルにより求めた.

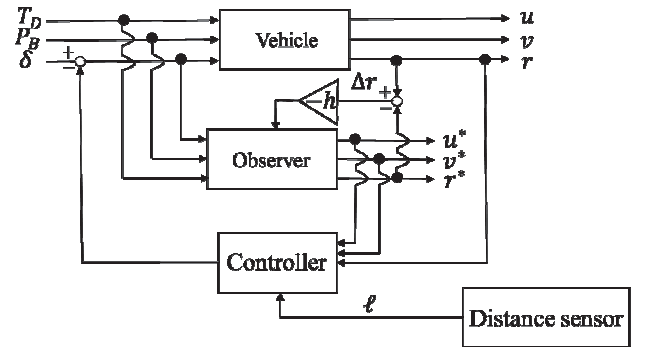


Fig. 1 Collision avoidance system at lane change.

$$F_t = \mu_f W_f \quad (8)$$

$$X_r = \mu_r W_r \quad (9)$$

また、タイヤ横滑り角は線形領域の範囲にあると仮定し、タイヤの直角方向に沿う力、 F_n と Y_n はそれぞれ式(10),(11)により求めた。

$$F_n = -K_f \beta_f \quad (10)$$

$$Y_n = -K_r \beta_r \quad (11)$$

x 軸と y 軸に沿った前輪のタイヤの力 X_f と Y_f はそれぞれ式(12),(13)により求めた。

$$X_f = F_t \cos \delta - F_n \sin \delta \quad (12)$$

$$Y_f = F_t \sin \delta + F_n \cos \delta \quad (13)$$

クーロンモデルで使用する摩擦係数 μ は式(14),(15)により求めた⁶⁾。

$$\mu_f = -1.1c(e^{-35\rho_f} - e^{-0.35\rho_f}) \quad (14)$$

$$\mu_r = -1.1c(e^{-35\rho_r} - e^{-0.35\rho_r}) \quad (15)$$

本シミュレーションでは乾いたアスファルト路面の路面係数: $c=0.8$ を使用した。制動時、駆動時のスリップ率 ρ_B, ρ_D はタイヤ回転面に沿う速度 u_c とタイヤ周速 $R\omega$ から式(16),(17)のように定義される。

$$\rho_B = \frac{u_c - R\omega}{u_c} \quad (u_c > R\omega) \quad (16)$$

$$\rho_D = \frac{u_c - R\omega}{R\omega} \quad (u_c < R\omega) \quad (17)$$

舵角 δ が生じない後輪は回転面に沿う速度 u_c が車両前後方向速度 u と一致するため $u_c = u$ となるが、舵角 δ が生じる前輪の回転面に沿う速度 u_t は式(18)より求め、 $u_c = u_t$ とした。

$$u_t = u \cos \delta + v \sin \delta \quad (18)$$

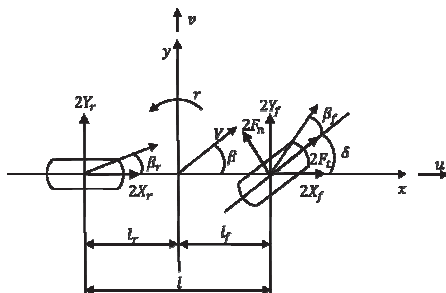


Fig. 2 Two wheel vehicle model.

4.4 二車間の重心点間距離

Fig. 3 に自車と並走車の二車間の位置関係について示す。自車の舵角に応じて自車と並走車がどれだけ接近しているか評価するため、二車間の重心点間距離を求める必要がある。

ここで、走行させた二台の車両をそれぞれの座標より x 軸、 y 軸上にプロットし車線変更時に操舵を行う車両の座標を (x_A, y_A) とし、並走車の座標を (x_B, y_B) とする。二台の車両間の重心点間距離は式(19)で求められる。

$$L_{AB} = \{(x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2\}^{1/2} \quad (19)$$

4.5 計算条件

トヨタ車体(株)製の一人乗り小型電気自動車 COMS(AKE-PC)である。車両諸元は、全長 1935 mm、全幅 995 mm、ホイールベースは前軸 814 mm、後軸 815 mm、車両総重量 422 kg、タイヤ半径 0.23 m を対象車両とした。車両の慣性モーメントは I : 1000 kgm²、前輪と後輪の慣性モーメントはそれぞれ I_f : 2.53 kgm²、 I_r : 0.43 kgm²、前輪、後輪の一輪あたりのコーナリングパワーはそれぞれ、 K_f : 3.333×10^6 N/m³、 K_r : 3.333×10^6 N/m³ とした⁷⁾。

また、車線幅は道路構造令⁸⁾に基づく車線幅を参考に、片側二車線の車線幅 3.5[m] とした。

4.6 ドライビングシナリオ

本節では想定するドライビングシナリオに基づいて、直線路における車線変更時の衝突回避を行う車両の運動シミュレーションを行った。はじめに、車線変更時に衝突回避を行う車両を自車 A、自車 A の右後側方から接近する車両を並走車 B とする。ここで、車両が車線の中央を走行するため、自車 A の初期座標 (x_{0A}, y_{0A}) は (0, 5.25) と並走車 B の初期座標 (x_{0B}, y_{0B}) は (-20, 1.75) 上で停車させる。シミュレーション開始から 4.5 s で自車 A は 60 km/h、その右後側方を走行する並走車 B は 80 km/h の一定速度で走行する。次にシミュレーション開始から 5.5 s 後に自車 A が右へ車線変更を行うような操舵を入力する。この際、システムが衝突すると判断したことを想定し、システムが修正操舵を行い、もとの車線の中央に復帰させる。本報告では車線変更時の舵角を 1, 2, 3 deg とした。

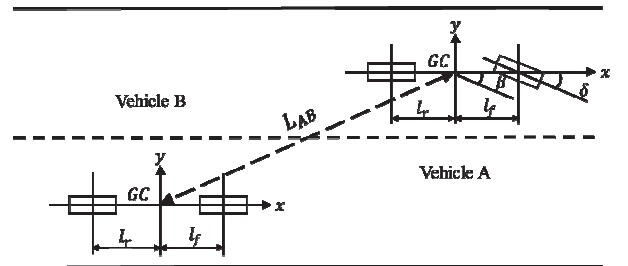


Fig. 3 Distance between the center of gravity.

5. 模型実験車を用いた衝突回避走行実験

本実験では試作した模型実験の車線変更時における衝突回避システムの動作状況の確認と車線変更時の舵角を変化させ修正操舵を行った際の車両の挙動を検証した。

5.1 実験装置

Fig. 4 に実験車の構成図を示す。試作した模型実験車は 1/10 スケールのものである。全長:431 mm,全幅:190 mm,ホイールベースは前軸,後軸共に 257 mm,車体総重量 2 kg の模型車に衝突回避システムを搭載したものである。また,実験車に使用した模型車の制駆動と操舵には PWM 制御が用いられている。運転者による加減速,操舵入力を受信機へパルス信号として入力され,パルス幅を変調することにより,制駆動用モータ,操舵用サーボモータが制御される。

5.2 模型実験車の衝突回避システム

実験車の衝突回避システムは車線変更時に運転者の死角となる位置に搭載している前方後方中央の距離センサより車両の存在を検知する。死角に存在する並走車を検知すると車両接近警告ランプと警告音により運転者に危険を知らせると共に,運転者の操舵入力に対してシステムが操舵を修正する。運転者による実験車への操舵入力は送信機 3 より受信機 2 へパルス信号として入力される。受信機 2 へ入力されたパルス信号は制御用マイコン 1 へ入力される。制御用マイコン 1 は衝突回避時以外は受信機 2 へ入力された信号と同じ信号を生成し,操舵を担うサーボモータ 6 へ出力する。実験車を車線変更する際は,車両の前方後方中央に搭載する距離センサ 7 により並走車との距離を観測する。観測した距離に対して予め設定した設定距離以下かつ操舵を担うサーボモータの軸角が設定角度以上となるような操舵信号が入力された場合,制御用マイコン 1 が衝突する恐れがあると判断する。そして,制御用マイコン 1 は運転者の操舵信号を修正するようなパルス信号を生成し,操舵用サーボモータ 6 の軸角を制御することで衝突を回避する。また,サーボモータの軸角 δA は操舵時のパルス幅 PW ,実験車の左右輪の舵角が中立時 0 deg のパルス幅 PW_{center} ,実験車の左右輪が中立時のサーボモータの軸角 90 deg の比より式(20)より求めた。

$$\delta A = (90PW/PW_{center}) - 90 \quad (20)$$

5.3 実験条件及び方法

模型実験車を用いて直線路における車線変更時の衝突回避を行うシステムの動作状況と舵角を変化させ修正操舵を行った際の車両の挙動を把握するため,以下の手順に基づいて実験を行った。はじめに,1 車線幅 35 cm の片側 2 車線に実験車と実験車に対してその右後側方 40 cm に並走車を停車させる。次に実験車を直進走行させ,その右後側方より並走車を直進走行させる。ただし,本実験に

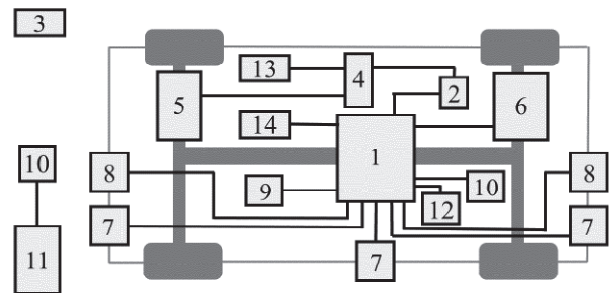
おいては,自車の未来位置の予測は行わず,車両周囲を検出する距離センサの入力と運転者の操舵入力から衝突の判断を行うため速度を遅く設定し,実験車はおおよそ 80 mm/s,並走車は 140 mm/s となるように走行させた。ここで,実験車の車線を右車線へ変更させるような操舵入力を運転者が行う。本実験では車線変更時のサーボモータの軸角に制限を設け,中央線を逸脱することなく比較的安全に元の車線中央に復帰する場合は δA を -10 deg,著しく中央線を逸脱したのち元の車線中央に復帰する場合は δA を -20 deg までとなるよう制限を設けた。次に車両の前方後方中央に搭載する距離センサにより並走車との距離と運転者の操舵信号を計測する。ここで,予め設定した距離 15 cm 以下かつ δA -3.5 deg 以下となるような操舵信号が入力された場合,システムが衝突する恐れがあると判断し,運転者による操舵入力をシステムが修正するような操舵制御に関する実験を行った。

6. 結果および考察

6.1 衝突回避シミュレーション

6.1.1 衝突回避時の車両の走行軌跡

Fig. 5 に自車 A の運動軌跡を示す。自車 A は $x_0 = 0, y_0 = 5.25$ の位置をスタートし右方向に走行している。破線は車線の中央線を示し,上部が自車 A の走行する左車線,下部が右車線を示している。右車線に記載している記号◎は自車 A が転舵を開始した時点における並走車 B の位置を示す。いずれの舵角の場合も $x = 75$ m 付近が最も y 方向の移動量が大きいことが分かる。また舵角が大きくなるほど右車線への移動量が大きくなることが分かる。



- 1: Microcomputer 2: Receiver for RC 3: Transmitter for RC
4: Motor driver 5: Motor 6: Servomotor 7: Distance sensor
8: Warning lamp 9: Warning horn 10: Wireless module
11: Personal computer 12: Acceleration angular velocity sensor
13: Power supply (7.2V) 14: Power supply (9V)

Fig. 4 Experiment model.

6.1.2 横方向速度とヨー角速度の変化

Fig. 6 は縦軸が車両の横方向速度を示し 0 より大は右に, 0 より小は左に操舵を行ったことを示す. Fig. 7 は縦軸が車両のヨー角速度を示し, 0 より大は反時計まわり (CCW), 0 より小は時計まわり (CW) に運動したことを示す. また, Fig. 6, 7 のそれぞれ横軸は時間変化を示している. Fig. 6, 7 の枠①に着目すると運転者による右への操舵入力により舵角が変化し, 横方向の速度は正に転じ, ヨー角速度は負に転じた. ここで, システムが並走車と衝突するという判断より, 運転者の操舵をシステムが修正したため, 横方向の速度は負に引き, ヨー角速度は正に引き始める. また, 枠②に着目すると, 回避行動による急激なステア変化により車両が著しく横にすべるのを防止するため車両の姿勢を中立に戻す. その後, 枠③より衝突を回避し車線変更時前の軌道に復帰するようシステムが修正操舵を行うため, y 方向の速度は負, ヨー角速度は正に転じる. また, 舵角を 1, 2, 3 deg と増加させると変化に応じて車両の横方向速度とヨー角速度も増幅し, 衝突回避システムの修正操舵量も増加することが分かる.

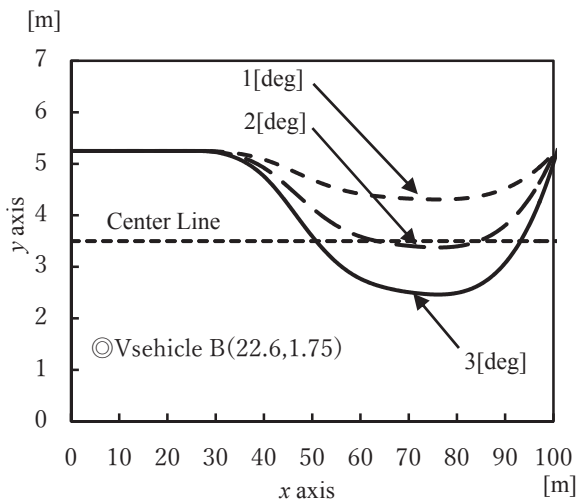


Fig. 5 Trajectory of the vehicle.

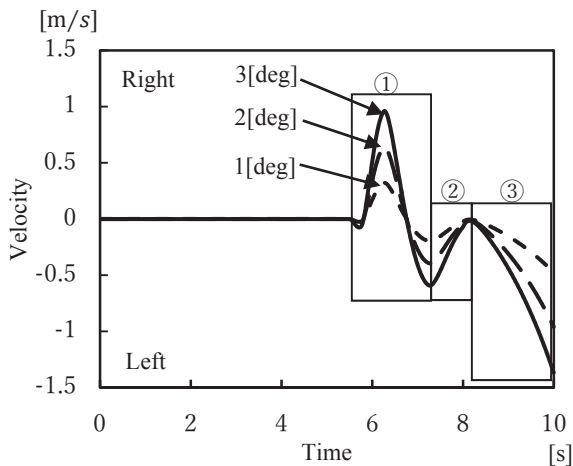


Fig. 6 y axis velocity.

6.1.3 二車間の重心点間距離の変化

Fig. 8 は 60 km/h で走行する自車 A と自車 A の右後側方から 80 km/h で接近する並走車 B の重心点間距離を示している. 特に最も自車 A と並走車 B が接近した 5.7~6.7 s 間を記載する. 5.5 s で運転者の転舵により右後側方から接近する並走車 B に対して, 6 s 付近から自車 A と並走車 B は最接近し始める. 舵角 1 deg で車線変更を開始した場合, 最も並走車 B と接近するのは 6.2 s 付近で重心点間距離は約 3.3 m であり, 二台の車両の全幅の半分 0.5 m ということを考慮すると約 2.3 m, 舵角 2 deg の場合は約 3.2 m で約 2.2 m, 舵角 3 deg の場合は約 3.1 m で約 2.1 m の間隔を保つ.

これらの結果から車線変更時の舵角が大きくなるにつれて並走車 B との重心点間距離が狭くなることが分かる. その後, 並走車 B が通過し, 自車 A も回避行動に移っているため重心点間距離は徐々に離れていくことが分かる.

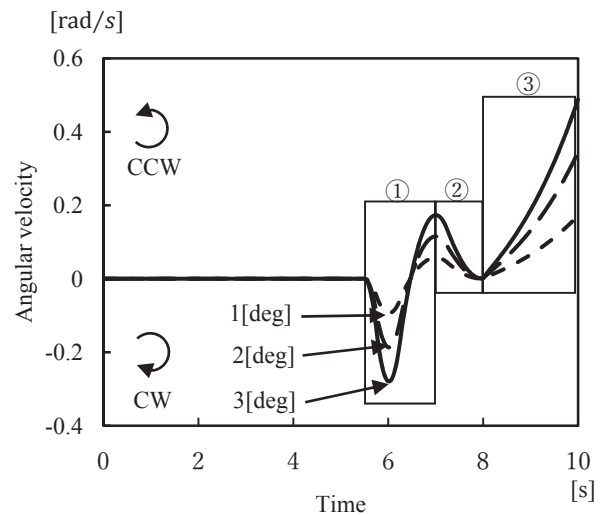


Fig. 7 Yaw angular velocity.

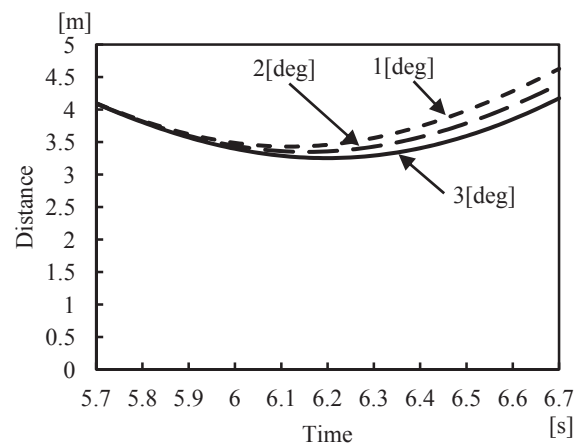


Fig. 8 Distance between the center of gravity.

6.2 衝突回避走行実験

6.2.1 修正操舵と並走車との距離の変化

Fig. 9, 11 は車両の後方に搭載する距離センサの値を示している。縦軸が距離センサの値を示し、横軸が時間変化を示している。Fig. 10, 12 は運転者と衝突回避システムにより操舵された実験車のサーボモータの軸角を示している。縦軸がサーボモータの軸角、横軸が時間変化を示している。また、0 deg を中立とした時、角度が増加すると左、減少すると右に操舵した事を示す。

はじめに、車線変更時に中央線を逸脱しない $\delta A10$ の場合について解説する。Fig. 9 の①より右後側方から接近する並走車を認識している。ここで、Fig. 10 より運転者が右に操舵した際、並走車との距離が 15 cm 以下かつ運転者が右に -3.5 deg 以下で操舵していることから、システムが衝突すると判断し、Fig. 10 の②より運転者の操舵を修正したことが分かる。

$\delta A10$ の場合は実験条件より右へ車線変更する際の最大サーボモータの軸角が -10 deg であるため、比較的浅い角度で車線変更を試みたことが分かる。また、 $\delta A10$ の場合はシステムの介入も 10 deg で修正したためシステムの修正操舵が小さく、比較的安全に並走車との衝突を回避したと言える。次に、車線変更時に中央線を著しく逸脱する $\delta A20$ の場合について解説する。Fig. 11 の①より右後側方から接近する並走車を認識している。ここで、Fig. 12 より運転者が右に操舵した際、並走車との距離が 15 cm 以下かつ運転者が右に -3.5 deg 以下で操舵していることから、システムが衝突すると判断し、Fig. 12 の②より運転者の操舵を修正したことが分かる。 $\delta A20$ の場合は実験条件より、右へ車線変更する際の最大サーボモータの軸角が -20 deg である。そのため、車線変更時に中央線を著しく逸脱するような状態で並走車が接近しているにも関わらず、車両の大部分が右車線へ進入するような操舵入力が与えられている。従って、システムの介入も $\delta A10$ の場合と比較し大きく操舵を修正したことが分かる。

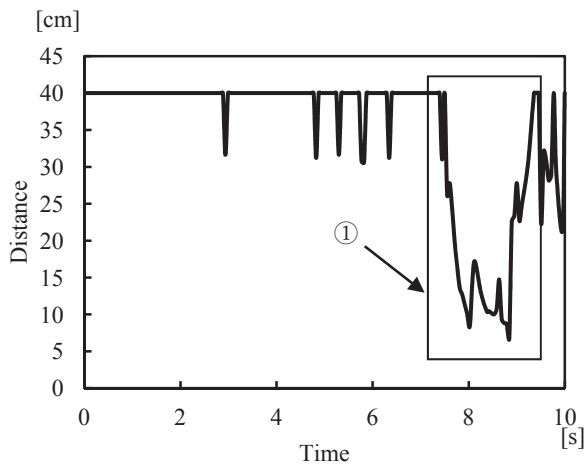


Fig. 9 Rear distance sensor value ($\delta A10$).

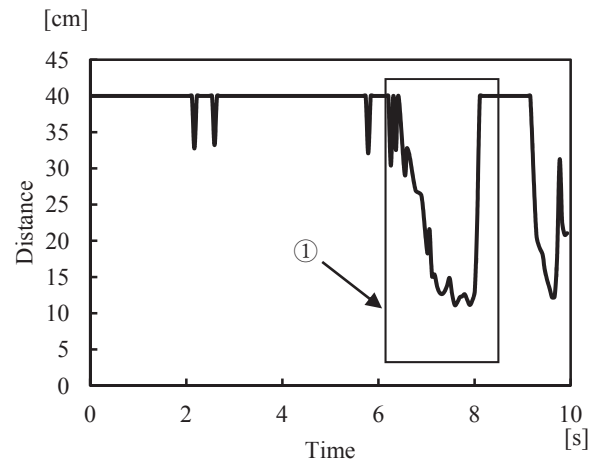


Fig. 11 Rear distance sensor value ($\delta A20$).

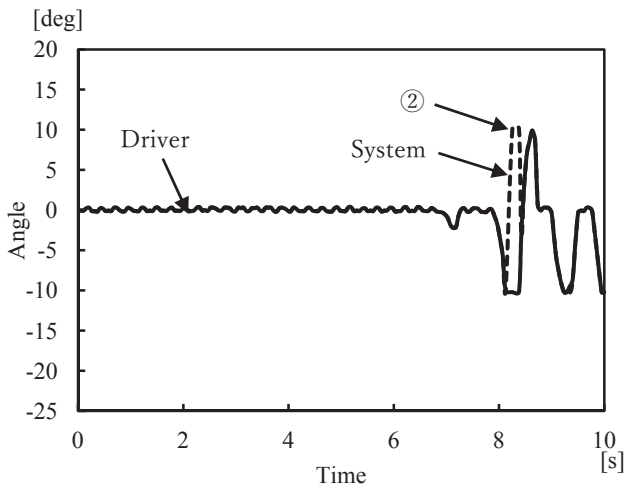


Fig. 10 Steering signal of driver and system ($\delta A10$).

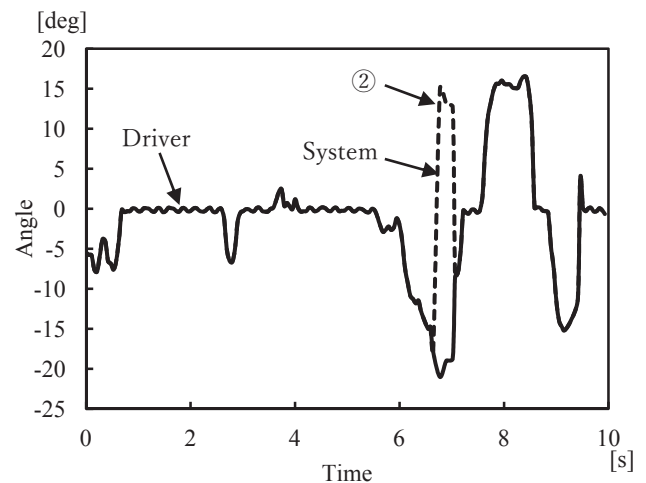


Fig. 12 Steering signal of driver and system ($\delta A20$).

6.2.2 横方向速度とヨー角速度の変化

Fig. 13, 15 は縦軸が車両の横方向速度を示し 0 より大は右に, 0 より小は左に操舵を行ったことを示す. Fig. 14, 16 は縦軸が車両のヨー角速度し, 0 より大は反時計まわり (CCW), 0 より小は時計まわり (CW) に運動したことを示す. Fig. 13~16 のそれぞれ横軸は時間変化を示している. はじめに, 車線変更時に中央線を逸脱しない $\delta A10$ の場合について解説する. 車線変更を行うため運転者の操舵入力により舵角が変化し, Fig. 13 の $v_1 \sim v_2$ 間より横方向速度は正に付き, Fig. 14 の $r_1 \sim r_2$ 間よりヨー角速度は負に向く. ここで, システムが並走車と衝突するという判断より, 運転者の操舵を修正したため, Fig. 13 の $v_2 \sim v_3$ 間より横方向速度は正から負に付き, Fig. 14 の $r_2 \sim r_3$ 間よりヨー角速度は負から正に向く. システム介入後は並走車との衝突を回避し, 車線変更時前の軌道に運転者が操舵を行うため, Fig. 13 の $v_3 \sim v_4$ 間より横方向速度は負から正に付き, その後, v_5 にかけて負に向く. また, Fig. 14 の $r_3 \sim r_4$ 間よりヨー角速度は正から負に付き, その後, r_5 にかけて正に向かう. 特に $\delta A10$ の場合は, 車線変更時に中央線を逸脱せず, 比較的浅い角度で車線変更を行おうとするため, 運転者による車線変更時の操舵入力が少ないため, 衝突回避シ

テムが介入しても修正操舵が少ない. そのため, 車両の挙動は急激な変化をしないことが分かる.

次に車線変更時に中央線を著しく逸脱する $\delta A20$ の場合について解説する. Fig. 15 の $v_0 \sim v_1$ 間は, 車両の大部分が右車線へ進入するような操舵入力を与えたため, 右方向の横方向速度が増大し, 車線変更を行うため運転者の操舵入力により舵角が変化し, Fig. 15 の $v_1 \sim v_2$ 間より横方向速度は正に付き, Fig. 16 の $r_1 \sim r_2$ 間よりヨー角速度は負に向く. ここで, システムが並走車と衝突するという判断より, 運転者の操舵を修正したため, Fig. 15 の $v_2 \sim v_3$ 間より横方向速度は正から負に付き, Fig. 16 の $r_2 \sim r_3$ 間よりヨー角速度は負から正に向く. システム介入後は並走車との衝突を回避し, 車線変更時前の軌道に運転者が操舵を行うため, Fig. 15 の $v_3 \sim v_4$ 間より右への横方向速度が増大し, その後, v_5 にかけて負に向く. また, Fig. 16 の $r_3 \sim r_4$ 間よりヨー角速度は正から負に付き, その後, r_5 にかけて正に向く. $\delta A10$ と比較し, $\delta A20$ の場合は, 車線変更時に中央線を逸脱し, 車両の大部分が右車線へ進入するような操舵が入力される. そのため, 衝突回避のシステムが行う修正操舵が大きいこと, システム介入後の運転者の操舵が $\delta A10$ と比較し大きいことから, 車両の挙動変化が大きい.

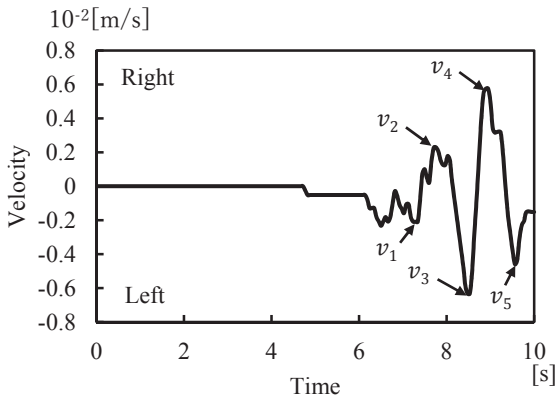


Fig. 13 y axis velocity ($\delta A10$).

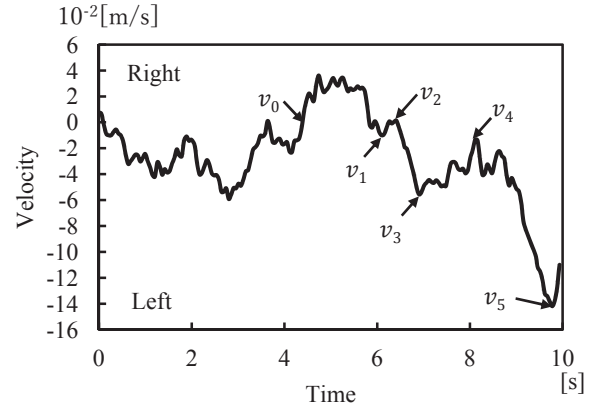


Fig. 15 y axis velocity ($\delta A20$).

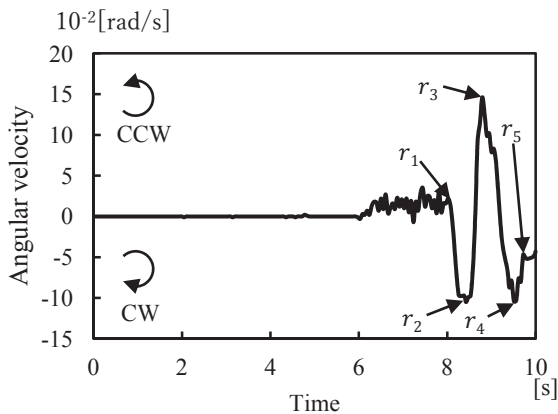


Fig. 14 Yaw angular velocity ($\delta A10$).

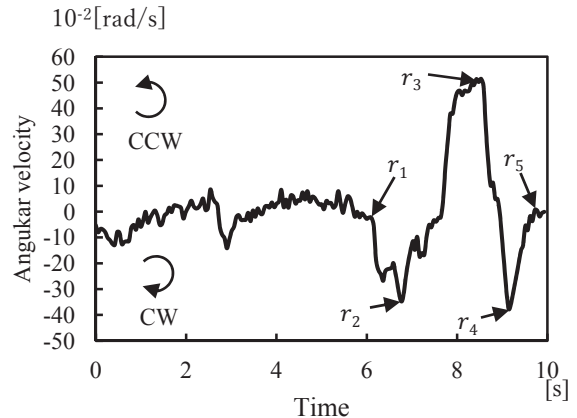


Fig. 16 Yaw angular velocity ($\delta A20$).

また, $\delta A10$ と比較し, $\delta A20$ の場合は,車線変更時に中央線を逸脱し,車両の大部分が右車線へ進入するような操舵が入力されるため,衝突回避のシステムが行う修正操舵が大きいこと,システム介入後の運転者の操舵が $\delta A10$ と比較し大きいことから,車両の挙動変化が大きいことが分かる.また, $\delta A10$, $\delta A20$ のどちらの場合も車線変更時の衝突回避を行う車両の横方向速度とヨー角速度は衝突回避シミュレーションと同様な変化を示すことが分かった.これらの結果より車線変更時の舵角を変化させた際の車両の横方向速度,ヨー角速度は舵角が大きくなると,大きく変化することが分かる.

7. まとめ

車線変更時における衝突回避システムに関する検討と車両モデルを用いた直線路における車線変更時の衝突回避シミュレーション及び 1/10 模型実験車を用いた車線変更時の衝突回避走行実験を行った結果,以下のことが分かった.

- 1) 従来のシステムが対応しない,特に大部分が隣の車線に進入するような著しく走行軌道が変化する場合でも安全な走行状態にする衝突回避システムの基礎的な検討を行った.
- 2) 衝突回避シミュレーションから車線変更時の舵角が増加すると横方向速度とヨー角速度も増加し,修正操舵時も同様な変化を示し,二台の重心点間距離より並走車との間隔が狭くなることが分かった.
- 3) 衝突回避走行実験における横方向速度とヨー角速度の変化は,車線変更時の衝突回避シミュレーションと同様な変化を示すことが分かった.

参考文献

- 1) 警察庁交通局:平成 29 年中の交通事故発生状況 , 平成 30 年版 (2018).
- 2) 眞木遼平, 荻野弘彦, “危険回避のための車両運動制御に関する研究” 日本機械学会関東支部第 24 期総会・講演会講演論文集, CD-ROM, GS601 日本機械学会 (2018).
- 3) 眞木遼平, 荻野弘彦, “危険回避のための車両運動制御に関する研究” 日本機械学会 2018 年度年次大会・講演会講演論文集, CD-ROM, G1001001 日本機械学会 (2018).
- 4) VOLVO : XC60 OWNER’S MANUAL, VOLVO(2018).
- 5) 安部正人:自動車の運動と制御[第 2 版],東京電機大学出版局 (2015).
- 6) Magic Formula, Pacejka.H.B and Bakke.E, “*The Magic Formula Tyre Model*” Vehicle System Dynamics, Vol.21, pp.1-18, (1991).
- 7) Sean RITHY and Hirohiko OGINO, “*Reserch on Skid Contrrol of Small Electric Vehicle*” Proc. Shcl. Eng. Tokai Univ.,Ser.E Vol.42, pp15-21 (2017).
- 8) 社団法人日本道路協会:道路構造令の解説と運用, 社団法人日本道路協会 (1974).