東海大学紀要工学部
Vol.58,No2,2018,pp.83-86

後輪キャンバを用いた高機動性トライサイクルに関する研究

林萼[*1]　荻野 弘彦[*2]

Research on High Maneuverability Tricycle with Variable Rear Wheel Camber Angle

by

Utena LIN [*1] and Hirohiko OGINO [*2]

(Received on Sep. 30, 2018 and accepted on Jan. 10, 2019)

Abstract

In general, two-wheel vehicles have higher maneuverability, than four-wheel vehicles. For example, two-wheel vehicles can turn sharp corner at high speed with high yaw angular velocity. On the other hand, two-wheel vehicles are typically less stable than four-wheel vehicles due to disturbances or inappropriate control by the driver. The purpose of this study was to develop a vehicle having both the high maneuverability of two-wheel vehicles and high stability of four-wheel vehicles. We propose a tricycle (TVRC : Tricycle with Variable Rear Camber angle) that has two front steering tires and a rear driving tire with a variable camber angle. This paper reports the maneuverability of the TVRC .

Keywords: TVRC, Tricycle, Camber angle, Camber thrust

1. まえがき

二輪車は四輪車に比較し，一般的に非常に機動性,運動性が高い．すなわち，四輪車に比較して小さな旋回半径を大きな旋回角速度と接線方向速度で運動することができる [1)]．一方，車体に固定した座標系上で考えると，旋回中に車体に作用する力とモーメントの釣り合い状態は運転手の位置や傾き方の影響を大きく受け，外乱や運転手の身動きで簡単に安定性を損なってしまう．結果として，二輪車は四輪車よりも高い機動性，運動性を持つが，安定性，安全性の面では劣ってしまうのが現状である．

一般的な三輪車としては，商用の駆動用かつ積載荷重支持用後二輪と操舵用前一輪を持つものが広く使用されている[2)]．しかし，前輪と運転手はロール回転するが，重量物を積載している後二輪は固定され，旋回時に大きなキャンバ角を与えることができないため，運動性は一般の二輪車には及ばない．二輪車と同等の運動性が期待できる三輪車として Tricity[3)]があるが，前輪トレッドが短いため，安定性に関しては四輪車には及ばないと考えられる．安定性の高い三輪車として Spyder[4)]があるが，前輪駆動の小型四輪車の前半分を切り取り，荷重支持用の後一輪を設けたような形状であり，安定性が高い反面，高い運動性を期待することはできない．旋回時に大きな車体傾斜を利用する 3 輪車として i-road[5)]がある．この車両は前後上下方向へ可動する前 2 輪と駆動操舵用後 1 輪で構成されており，旋回時には前 2 輪が前後上下へ移動して車体全体を傾斜させることにより旋回運動をする．2 輪車のように大きな傾斜角を利用しているが，本研究で提案する車両は前 2 輪に操舵角を与えることでさらに i-road よりも運動性を向上させることができると考えている．

そこで，二輪車の高い運動性と四輪車の高い安定性を兼ね備えた車両の開発を本研究の目標としている．具体的には操舵用前二輪,駆動用後一輪の三輪車(Tricycle) とする事により安定性を持たせるとともに,駆動用後一輪と運転手を車両の運動状態を検知して、アクチュエータにより強制的に旋回内輪側へロール回転させるにより，大きなキャバ角を与える車両を提案する(Tricycle with Variable Rear Camber Angle, 以下 TVRC)．これにより運転手荷重を内輪方向へ移動させ，より大きな遠心力に耐えるような車両を実現できると考える．

本報告は TVRC の実験車を試作し，運動性と安定性に与える影響について述べたものである．駆動用後一輪を設けた後部シャシにキャンバ角を与えた場合と与えなかった場合で旋回性能がどのように変化するかを明らかにした．

2. TVRC の概要

Fig. 1 に TVRC の構成を示す.提案する TVRC の諸々要素を示す．操舵前輪 1 は前部シャシに取り付けられ，操舵機構 11 が設けられている.駆動後輪 2 には駆動用モータ 3 が設けられ，後部シャシ 6 に取り付けられている.前

*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

部シャシ 7 と後部シャシ 6 はロール軸 5 で接続されている.後部シャシ 6 とロール軸 5 は剛に接続され, 前部シャシ 7 とロール軸 5 はロール回転用モータ 4 を介して接続されている. モータ 4 を作動させると後部シャシ 6 はロール回転し, 後輪 2 にキャンバ角を与えることができる. 運転手は後部シャシ 6 に乗っており, 後部シャシ 6 とともにロール回転する.後部シャシ 6 にはロール角センサ 8, 前部シャシ 7 には前後方向, 横方向加速度, ならびにロール角ヨー角センサモジュール 9 が設けられている. さらに, 操舵前輪には荷重センサ 10 が設けられ, 輪荷重の変化を測定することができる. 各センサの出力は制御用コンピュータ 12 へ入力される. 運転手が操舵機構 11 を操作し旋回を開始すると, 加速度, 角速度センサモジュール 9 よりヨー角速度の変化が制御用コンピュータ 12 へ入力される. 制御用コンピュータ 12 はロール回転用モータ 4 へ後部シャシ 6 を回転させる命令を出力する. 後部シャシ 6 の回転量はロールセンサ 8 により検出され, 制御用コンピュータ 12 へフィードバックされる.

後部シャシと運転手を強制的に旋回内輪側へ傾斜させることにより, 旋回時に発生する大きな遠心力に釣り合う力を発生させることができる. したがって, 運転手自らが車体を傾ける一般の二輪車よりも大きな遠心力に釣り合わせることができ, より小さな半径を大きな速度で旋回することができると考える.

3. 実験

3.1 実験装置の構成

Fig. 3 に TVRC の実験装置を示す. TVRC に後部シャシにキャンバ角を与えた場合と与えなかった場合で旋回性能がどのように変化するのを実験するため, 必要な要素だけ残って作った実験装置を示す. 車体は前後 2 分割構造となっており, トレッド 255 mm, タイヤ径 69.5 mm, タイヤ幅 35 mm の前 2 輪 1 を取り付けた車体前部 6 には操舵用リンク機構 7 が設けられている. 車体後部 4 には駆動用モータ 3 RS-540SH とタイヤ径 60 mm, タイヤ幅 20 mm の駆動輪 2 が取り付けられており, ホイールベースは 275 mm で, 前後の車体は 1 本のロール用軸で接続されてロールキャンバ ψ の調整機構 5 が設けられている. 受信機 8 が受けた信号を駆動用モータ 3 へ送って駆動トルクを制御することにより車速を決める. 車体前部 6 には感度:660 g /mV の加速度センサ KXR94-2050 モジュールと感度:0.00384 mV/deg/sec のジャイロセンサ ENC-03R を設けた.

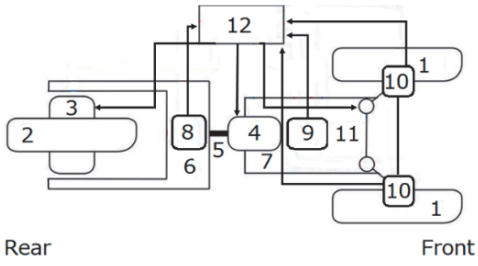


Fig. 1 Construction of TVRC.

測定結果は無線通信により測定用コンピュータへ送信した. なお, 加速度センサが周波数 50Hz, ジャイロセンサが周波数 100Hz の帯域にノイズが多いため, 低域通過フィルタを設けた.

3.2 実験条件と方法

キャンバ角 ψ が旋回性能と安定性に与える影響を明確するために, 舵角 δ とキャンバ角 ψ を変化させて走行実験を行った. Fig. 2 に舵角 δ とキャンバ角 ψ の定義を示す. 舵角 δ は 10 deg, 20 deg, キャンバ角 ψ は 0 deg と実験装置の最大限界の 14 deg に変化させた. 実験は実験場所の大きさに制限されたとモータを過熱にならないため, 停車状態から加速を開始し, 加速を固定して 5 周に走らせて終了させた. 本研究は旋回半径を動画で測って舵角 δ10 deg と 20 deg それぞれの旋回半径を固定して加速させて横方向加速度とヨー角速度の変化を調べる.

4. 結果および考察

4.1 実験結果

4.1.1 舵角 10 deg

モータの振動はセンサに大きな影響を与えた. そのため, 実験結果にはノイズが強く残ってるように見えるから, 移動平均式 (1) を用いてキャンバ角 ψ=0 deg と 14 deg の加速度が一定になる 20 s から 30 s の実験データを比較する.

Fig. 4～9 に舵角 δ=10 deg でキャンバ角 ψ を変化させた時の実験結果を示す. Fig. 4, 5 は車体前後方向加速度, Fig. 6, 7 は旋回中心方向加速度を示す. また, Fig. 8, 9 はヨー角速度を示す. 車両の加速は手動により制御しているが, Fig. 4 と Fig. 5 を移動平均式（1）で計算して ψ=0 deg の方は加速度平均が 1.09 cm/s^2, ψ14 deg の方は加速度平均が 1.53 cm/s^2 である. 一方、Fig.6 と Fig.7 に示した平均的な中心方向加速度の線を比較すると, キャンバ角を大きくすると横方向加速度が大きくなっていることがわかる. 以上の結果で計算して ψ=0 deg の方の接線加速度は左 75.02 deg で 5.92 cm/s^2, ψ14 deg の方の接線加速度は左 79.77 deg で 6.14 cm/s^2. Fig. 8 と Fig. 9 を比較すると ψ=14 deg の方はヨー角加速度約 0.38 deg/s^2 は ψ=0 deg の方の約 0.54 deg/s^2 より小さくなっていることがわかる.

4.1.2 舵角 20 deg

Fig. 10～15 に舵角 δ=20 deg でキャンバ角 ϕ を変化させた時の実験結果を示す. Fig. 10, 11 は車体前後方向加速度, Fig. 12, 13 は車体中心方向加速度を示す. また, Fig. 14, 15 はヨー角速度を示す.

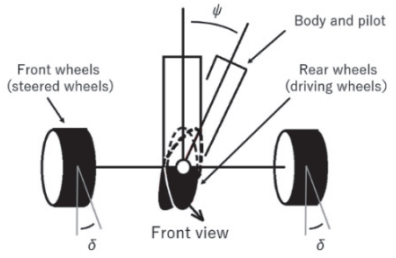


Fig. 2 Front view of TVRC.

Fig. 10 と Fig. 11 を移動平均式（1）で計算して ψ0 deg の方は加速度平均が 1.74 cm/s^2, ψ=14 deg の方は加速度平均が 1.03 cm/s^2 であることが確認できる．一方, Fig. 12 と Fig. 13 に示した平均的な中心方向加速度の線を比較すると，キャンバ角を大きくすると横方向加速度が大きくなっていることがわかる．以上の結果で計算して ψ0°の方の接線加速度は左 70.26 度で 4.85 cm/s^2, ψ=14 deg の方の接線加速度は左 80.45 度で 6.235 cm/s^2. Fig. 14 と Fig. 15 を比較すると ψ=14 deg の方はヨー角加速度約 0.237 deg/s^2 は ψ=0 deg の方の約 0.631 deg/s^2 より小さくなっていることがわかる．

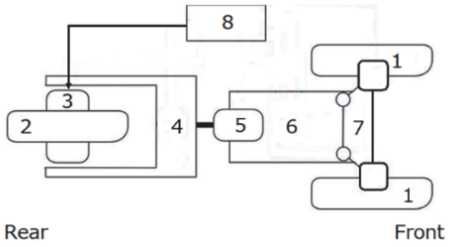


Fig. 3 Experimental device of TVRC.

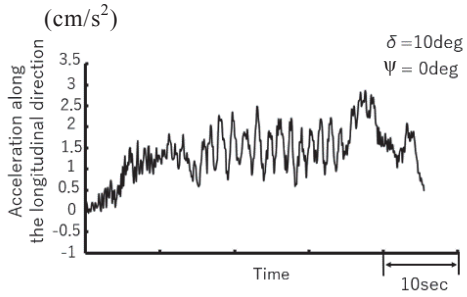


Fig. 4 X-direction acceleration in steering angle 10° of camber ψ 0° .

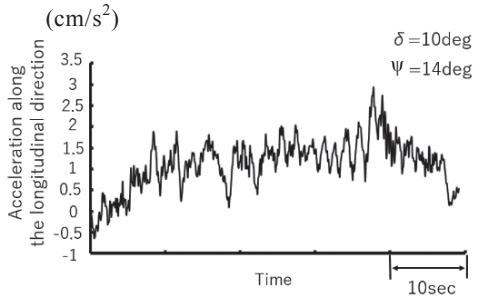


Fig. 5 X-direction acceleration in steering angle 10° of camber ψ 14°.

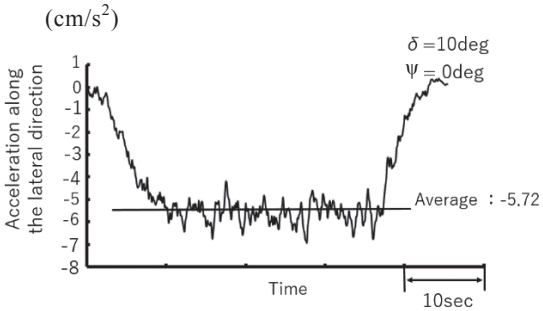


Fig. 6 Y-direction acceleration in steering angle 10° of camber ψ 0°.

$$gn = \frac{fn-1 + f + fn+1}{3} \quad (1)$$

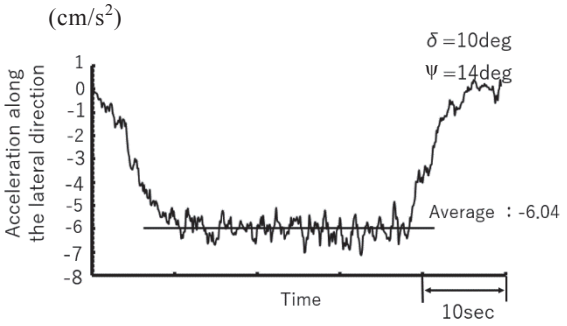


Fig. 7 Y-direction acceleration in steering angle 10° of camber ψ 14°.

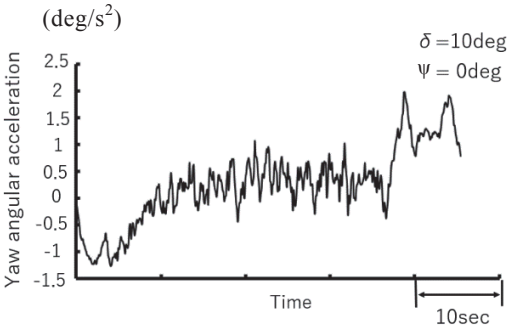


Fig. 8 Yaw angular acceleration in steering angle 10° of camber ψ 0°.

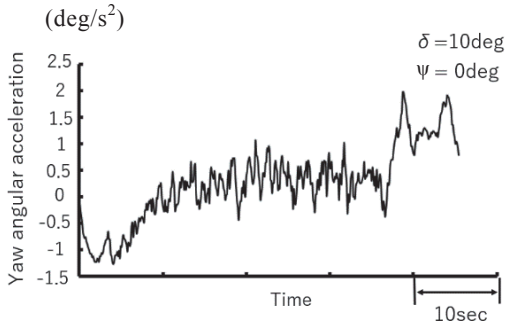


Fig. 9 Yaw angular acceleration in steering angle 10° of camber ψ 14°.

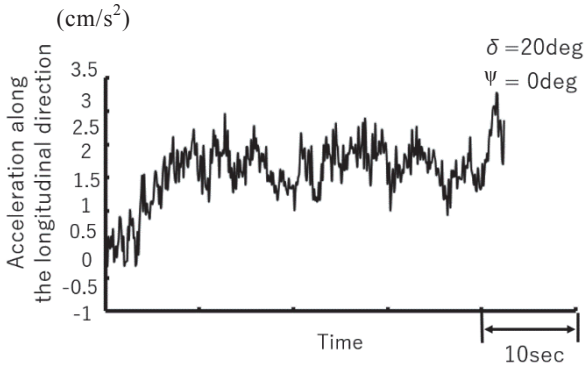


Fig. 10 X-direction acceleration in steering angle 20° of camber ψ 0°.

4.2 考察

モータの振動はセンサに大きな影響を与えた．そのため，実験結果にはノイズが強く残ってるとみえるが，数値の勾配の変化は読める．

舵角は 10 deg から 20 deg へ増加すると共に，進行方向への抵抗力が増えて車速が落ちる．そのため，数値的には舵角 20 deg の実験の加速度値が舵角 10 deg の実験の加速度値より低いになる．

後部車体，操作者及び後車輪を傾きさせて旋回中心方向へ倒れる力及び後車輪と地面の反力より旋回中心方向への力を増加してより大きな遠心力と釣り合いことができるになることは確認できた．中心方向加速度の増加とヨー角加速度の変化が減少することが確認できた．

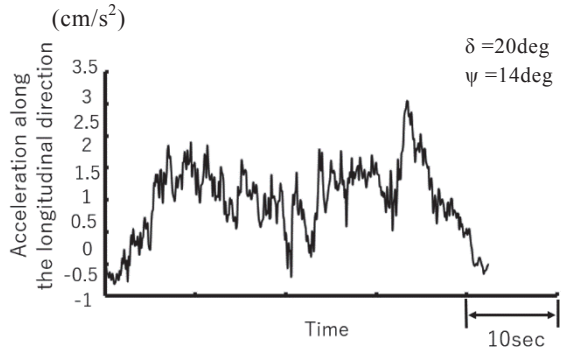


Fig. 11 X-direction acceleration in steering angle 20° of camber ψ 14°.

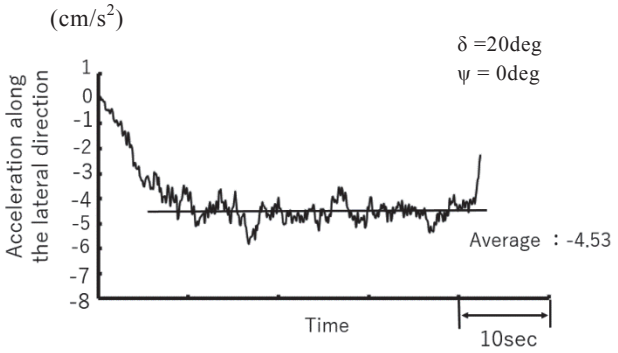


Fig. 12 Y-direction acceleration in steering angle 20° of camber ψ 0°.

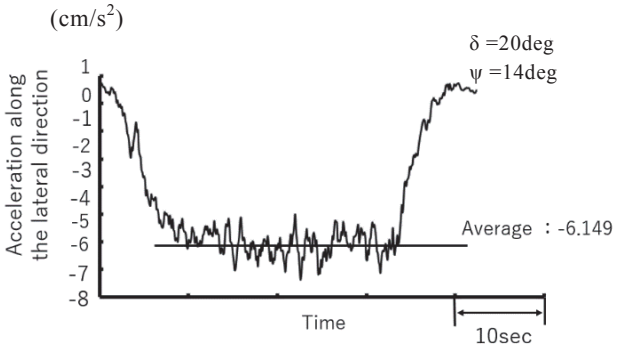


Fig. 13 Y-direction acceleration in steering angle 20° of camber ψ 14°.

5. まとめ

後部シャシをモータにより強制的に傾斜させることにより．運動性と安定性を向上させた 3 輪車の基礎的な模型実験を行い，以下のことがわかった

(1) 旋回中心への力を増加してより大きな遠心力と釣り合いことができるになること．

(2) 中心方向加速度の増加と共に，ヨー角加速度の変化が減少することは確認できた．

参考文献

1) 阿部正人 : 自動車の運動と制御, 東京電機大学出版局, pp.50-59 (2008).
2) ホンダ GYRO X, < https://www.honda.co.jp/GYROX/> (アクセス 2018 年 6 月)
3) ヤマハ Tricity, <https://www.yamaha-motor.co.jp/mc/lineup/tricity/index.html>.
4) “Cam-Am Spyder”, <https://can-am.brp.com/> (アクセス 2017 年 9 月)
5) “トヨタ i-RAOD”, <http://www.toyota.co.jp/jpn/tech/personal_mobility/i-road/> (アクセス 2017 年 10 月).

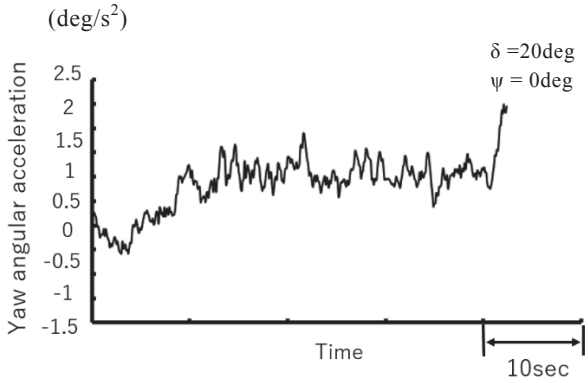


Fig. 14 Yaw angular acceleration in steering angle 20° of camber ψ 0°.

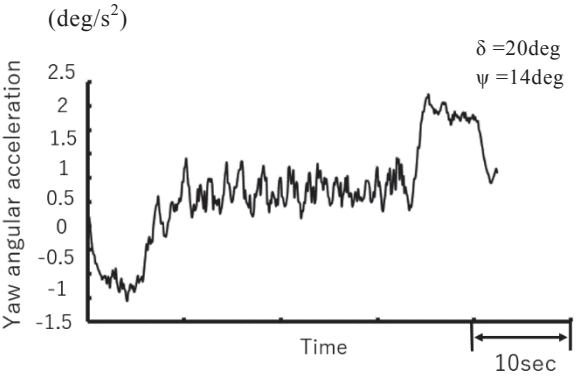


Fig. 15 Yaw angular acceleration in steering angle 20° of camber ψ 14°.