

# 21306 可変機構を用いた自転車の低速安定性の研究

## A Study of the Variable Mechanism for Bicycle Stability at Low Speed

○学 矢田 宏樹 (横浜国大院) 正 高田 一 (横浜国大院) 正 松浦 慶総 (横浜国大院)

Hiroki YADA, Yokohama National University, 79-5 Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama

Hajime TAKADA, Yokohama National University, 79-5 Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama

Many studies of the stability of the bicycle have been published. But the evaluations of stability are often limited to a high-speed state. Stability in a low-speed could be a critical requirement for safe riding. Its speed is the useful speed range at the aging society. In addition, decreasing of the instability at starting or stopping motion is the important factor for all bicycles. Instability of the bicycle has not been well understood yet. How to stabilize the bicycle is considered in many ways. In this study is to adjust the steering torque. Stability system for bicycle is required small and light weight. So this study is achieved it by the inertia of high speed rotors. Rotary inertia depends on the rotation speed and we can change any values to stabilize into the limited weight. This study helps to find the optimum conditions for safety riding of any people, especially for elderly people likely to lead to a serious accident.

Key Words: Bicycle, Stability, Elders, Gyro effect

### 1. 研究背景と目的

近年, 自然災害がたびたび起こることにより環境に対する意識が高まっており, 通勤など自動車から自転車への交通手段の転換も多くなってきている。日本においては高齢者社会の比率が高くなるにつれ, 近所への移動に自動車に代わり, 自転車の利用が健康維持という点でも高まっていくと考えられる。しかし, 交通事故の統計によると, 自転車事故は全体の約 20%を占め<sup>(1)</sup>, さらに 60 歳以上の高齢者による自転車事故は, 致命的となる割合が非常に高い(図 1)。この高齢者の自転車走行を詳しく観察すると, 低速時におけるふらつきが事故の一つの要因であることが想像できる。今までにも自転車の安定性についての論文は多く発表されてきたが, 低速時, 特に発進時における自転車の安定性についての研究は数少ない。自転車の安定性を整理するとともに今後重要となるであろう低速での安定性を考えた自転車の製作に役立つ指標を与えることを目的とし, その一つの方法としてジャイロ効果を利用したステアリング部への安定化装置を製作し, 実験によりデータ整理を行った。

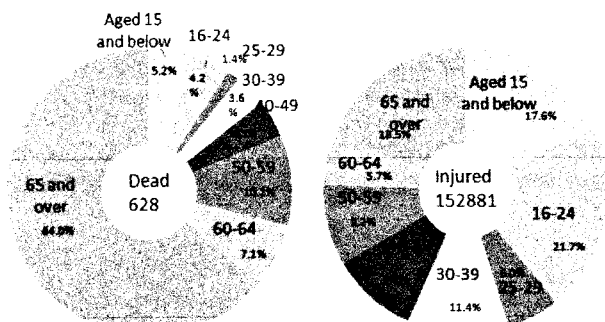


Fig.1 Ratio of Dead and Injured by Age

### 2. 自転車の軌道安定性とその向上方法

自転車の安定性は大きく分けて, 転倒を防止する直立安定性と軌道保持性の二つに分けられる。本研究では, 主として

後者の軌道保持により安定性を向上するものである。運転における停止状態から低速度(約 10km/h)までのふらつき具合を定量化し, 運転者の動作を観察した。自転車を安定した軌道に保つためには, 左右ペダルへの踏力およびバランス, ステアリング部への入力, 自転車のリーンなど複雑な動作が無意識に行われる。これらのうち低速においては, 車輪の回転数が小さく, 車輪のジャイロ効果による自転車の安定性は得られない。この領域のふらふらとした軌道の変化を抑える方法は, リーン動作ではなく, 主にステアリング操作に頼ることが過去の文献でも発表されており<sup>(2)</sup>, 実際の感覚としても理解できる。動画撮影とジャイロセンサによってステアリングの操作を確認すると, 人は発進時, 低速時において必要以上にステアリング操作を行っている(図 2)。

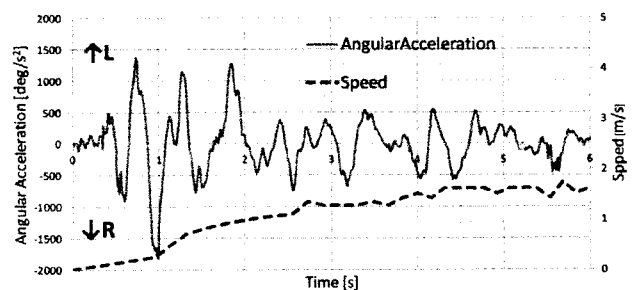


Fig.2 Steering Angular Acceleration and Torque at the start

そこで, このステアリング軸部に, ある条件下で抵抗を与え, ステアリングの角加速度を制限することで, つまりハンドルに加える力を制限することで, ステアリング角のオーバーシュートを抑え, ふらつきを低減することを目指すこととした。単純に重量物をステアリング部に付加するだけでは, 動作領域の全域に抵抗が現れ, かつ重量増となる。制限が必要な領域のみ適当な負荷を与えたいことから, 円盤回転体を高速で回転させ, その慣性モーメントによるジャイロ効果を利用することで, 小さい質量で効果を得ることができ, その回転数

によりジャイロ効果を可変する。また、二つの円盤を平行に並列配置し、異なる方向に回転させており、同回転数とすればジャイロ効果をキャンセルでき、停止状態が無いことから応答性が良い。ステアリング部の運動方程式を下記に示す。右辺第一項は静止時の前輪系の慣性モーメントによるトルク、第二項は安定化装置によるジャイロ効果による制限トルク、第三項は地面からの外力によるトルクを示し、ライダーの荷重移動や、風力等による影響は無視する。

$$T_{Steer} = I \frac{d^2 \delta}{dt^2} + J \frac{d^2 \phi_g}{dt^2} + \mu C_f c \cos \alpha$$

$T_{Steer}$  : Steering Torque  $I, J$  : Inertia

$\phi_g$  : Roll Angle of Internal Gimbal

$\mu$  : Coefficient of Friction  $C_f$  : Cornering Force of Front Tire

$c$  : Length of Trail  $\alpha$  : Caster Angle of Steering

### 3. 実験

#### 3.1 計測装置

図3に計測装置を示す。ジャイロセンサによりステアリング角速度およびリーン角速度を計測し、その時間微分により角加速度を計算している。ステアリング部、ペダルクランク部には、ポテンシオメータにより角度を測定した。ステアリング軸トルクは、ステアリング軸に貼り付けたひずみゲージにより測定し、ペダルへの荷重はペダル上のロードセルにより測定した。自転車の速度は、低速度域の精度を上げるためエンコーダにより測定した。

#### 3.2 安定化装置

図4に安定化装置の概念図を示す。二つの円盤の質量はそれぞれ約 200g で、装置全体の質量はモータを含めて約 2kg である。二つの円盤の回転軸は y 軸であり、独立している。円盤による慣性モーメントの可変は、二つのモータの印加電圧をステップ応答させて与える。ジャイロ効果は、二つの円盤の回転差のエネルギーを利用する。モータの特性と装置の大きさ等から決定した回転数領域で、二つのモータの回転差により得られるトルクの大きさ（計算値）と応答の時定数（実験値）を表1にまとめる。回転している円盤の軸（y 軸）とステアリング軸（z 軸）との垂直軸である x 軸に角速度を与えると、ステアリング軸（z 軸）にトルクが発生する。この内側ジンバル（x 軸）の傾斜方向によりステアリングトルクへ加える制限トルクの変更。また、一般の平地で走行中のステアリング復元トルク（手で支えているトルク）の大きさは、約 5Nm であるので<sup>(3)</sup>、この程度の制限トルクで効果を得られると仮定した。

Table 1 Effect of the Inertia

Transition	Time Constant	Torque
6000 to 5000 rpm	0.2 sec.	16.4 Nm
5000 to 4000 rpm	0.2 sec.	13.1 Nm
4000 to 3000 rpm	0.2 sec.	9.4 Nm

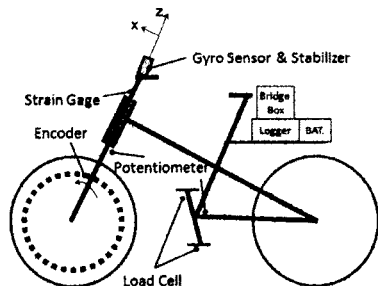


Fig.3 Measurement System

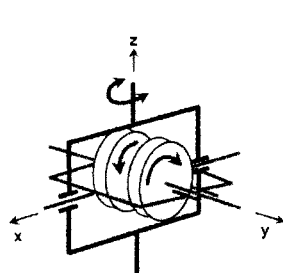


Fig.4 Stabilizer

### 3.3 結果

一般の走行でのステアリング角速度は実験より最大で 150deg/s 程度を示した。低速度でステアリングを左右に切り返す動作に反応するにはジャイロ装置の内側ジンバルの応答が遅れがあり、調整が必要である。ステアリング操作により、装置が振り子動作をしてジャイロ効果を生じさせるための適正值を探すために、振動試験機により特性を調べる。

### 4. 考察

ステアリング制限トルクの付加タイミングと大きさを以下の条件により計算し影響量を見積もった。タイヤ軌道は、タイヤの方向と速度を積分して計算し、角加速度が 1000deg/s<sup>2</sup> を越える際にジャイロ効果を生じさせた。制限トルクの付加タイミングは、ロータの回転数の変化の機械的時定数を、実験より 0.2s とまず見積り、制限トルクの付加量については、実験によるステアリングトルクのピーク値が約 10Nm であったのでその半分である 5Nm に対応する角加速度を閾値として与えた。発進時のステアリング角加速度に制限トルクを与えた結果、図5のようになった。計算結果をタイヤ軌道のグラフにあてはめると図6の軌跡幅を小さくでき軌道追従の安定性が良くなると考えられる。

$$T_R = T_{Rmax} (1 - e^{-\frac{t}{0.2}}) J \frac{d^2 \phi_g}{dt^2}$$

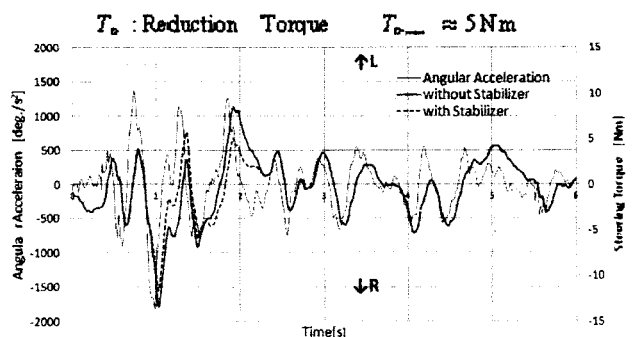


Fig.5 Angular Acceleration of Steering with and without Stabilizer

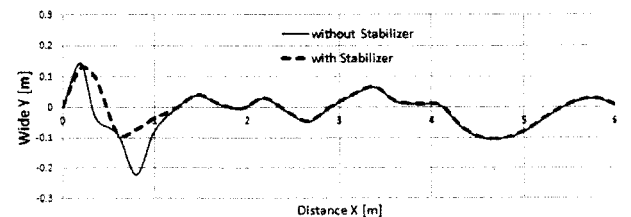


Fig.6 Trajectory of Front Tire with and without Stabilizer

まとめ、

電動アシスト自転車が普及してきており、発進時にこの蓄電池のエネルギーを利用できれば、本研究の装置は有効に活用できると考えられる。

### 参考文献

- (1) 警察庁 HP, 「平成 23 年中の交通事故生状況」  
<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=00000108673>
- (2) 大矢多喜雄, 自転車に関する運動力学について, 自転車技術情報 (59), p16-36, 1993-03
- (3) 財) 自転車産業振興協会, 実用自転車便覧第 3 版, p.214