

二輪車を操縦するロボットの構築に関する研究

日大生産工（院）○鈴木 儀匡 日大生産工 景山 一郎

1. はじめに

二輪車は2つの車輪で接地しているため、極低速領域においては単独で不安定な特性を示すが、ライダーが操縦できる領域では安定する乗り物となる。ライダーは多くの入力を入力を二輪車に与えていることから車両と人間の相互関係が大きく、システムとして複雑になっている。また二輪車は車両とライダーの質量比が近くライダーの乗車姿勢・操縦動作などにより運動特性が大きく変化する。そこで操縦性安定性の評価が非常に難しくライダーの主観評価に依存しているのが現状である。一方、二輪車の開発においては、開発効率向上のためにシミュレーションによる運動特性の予測精度向上が望まれているが客観的な評価手法がないため大きな障害となっている。以上より客観的な運動特性の評価手法の構築が必要になる。そこで人間が行っていると思われるアルゴリズムでロボット(以下ライダーロボット)に操縦させ評価手法の構築の可能性の検討を行う。ライダーの制御動作としては、二輪車を直立状態に保つ直立安定制御と、コースに沿って自由に走行を行うための方向安定制御から成立していると考えられている¹⁾。そのためこの2つに分けて構築し組み込んで行く。

2. 制御系設計

2-1 サブステアシステム

制御系の構築についてはまず入力項目を決定する必要がある。人間は車体のいろいろな状態を感じとって走行しているが、過去行われた因子解析から、操舵トルクが二輪車の横方向の運動と最も相関が高いことがわかっているた

め、操舵トルクを入力とする。二輪車のハンドル系は高い固有振動数を持つため、ハンドルを直接モータで制御する事は自律性を損ない、逆に入力時は人間が行う周波数領域を大きく超えた入力をハンドルに与えてしまう。そこで先行研究より²⁾ ライダーの肩の回転運動と腕の特性に、ばね・ダンパを用いたサブステアシステムを介してモータからの指令角を操舵系に伝達するものとする。図1にライダーロボットの外観、図2にサブステアを示す。



Fig.1 Rider Robot



Fig.2 Sub-Steering System

前述したようにサブハンドルシステムは車両の自律性をそこなわない。実際の極低速域の運転でライダーはステア角を意識していると考えられる。図3に示すようにサブハンドル角とステア角は一致していない。そこでハンドル角をフィードバックするモデルとした。図4にハンドル角をフィードバックした結果を示す。

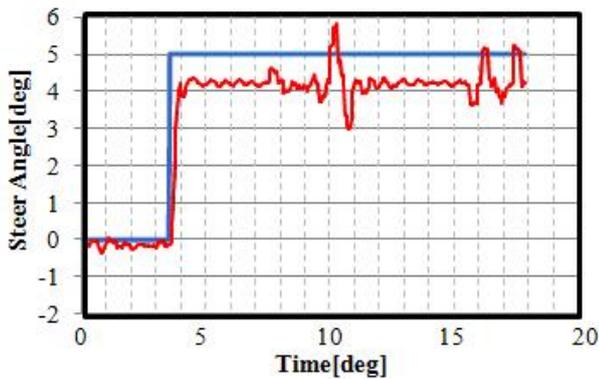


Fig.3 Motor Angle and Steer Angle

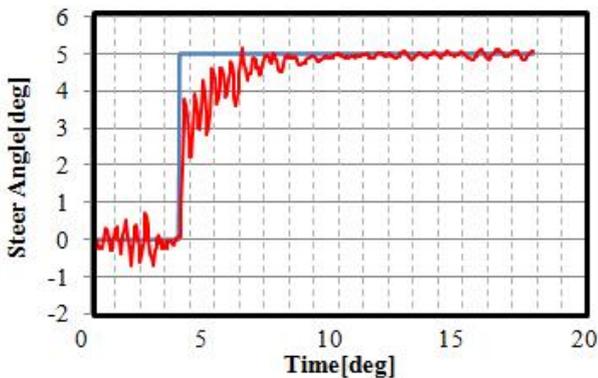


Fig.4 Result of Feedback on Steer Angle

2-2 直立安定制御

直立安定動作は井口のモデル³⁾で提案されているロール角とロール角速度のフィードバック制御を行うモデルとした。これによりライダーロボットのステア角 $\delta(t)$ はロール角を ϕ として以下の式(1)で表される。

$$\delta_{\text{sub}}(t) = K_P \cdot \varepsilon + K_D \cdot \dot{\phi} + K_I \int \varepsilon dt \quad (1)$$

直立安定制御の実験結果を図5に示す。

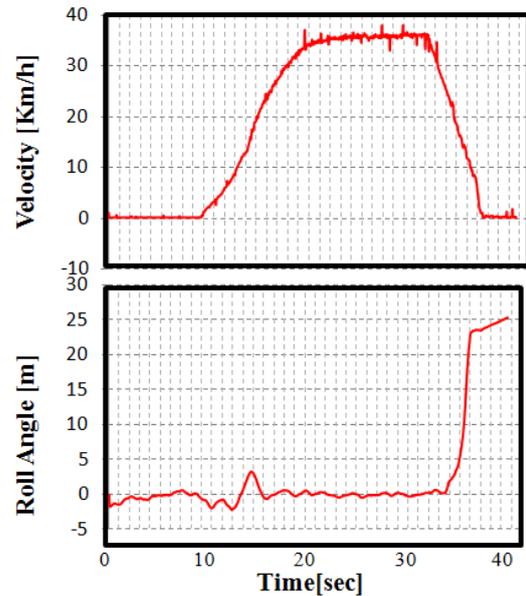


Fig.5 Result of Experiment

2-3 方向安定制御

一般的な二次予測モデルはハンドル制御でヨー角,ヨーレイトをコントロールするものであり4輪車に適したモデルとなっている。よって先行研究⁴⁾では目標コースは以下の式(2)で与えられていた。

$$\varepsilon = Y^* - \left(Y + v \sin \theta \cdot \Delta T + \frac{1}{2} \omega \cdot \Delta T^2 \right) \quad (2)$$

ここでは目標コースを Y^* ,現在位置を Y ,四角を θ ,ヨーレイトを ω ,速度を v ,前方注視時間を ΔT としている。

しかし二輪車の旋回時には自動車のようにタイヤのスリップ角による横力のみ旋回するわけではなくロール角によるキャンバラストも重要な要素となる。このためライダーは旋回中にその旋回を維持するためにロール角の制御をおこなっていると考えられる。そのため2つに分けて考えていく必要がある。

一次予測位置への二輪車の移動はロール角が0度の場合,図6のように姿勢角(ヨー角方向)へ移動する.

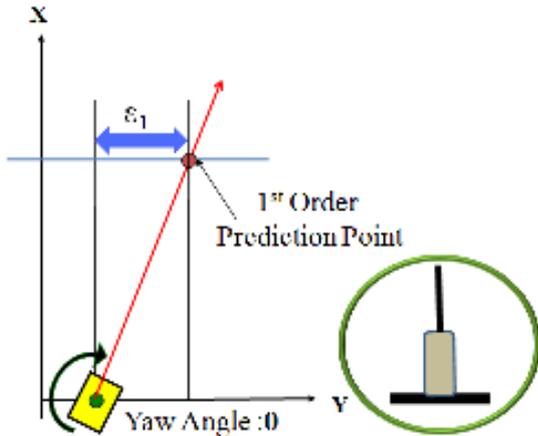


Fig.6 1st Order Prediction Position

よって一次予測位置は以下の式(3)になる.

$$\varepsilon_1 = v \sin \theta \cdot \Delta T \quad (3)$$

二輪車がロール角をもつ場合,二次予測位置を考える必要がある.図7に示すように車両が定常円旋回をしていると考えると,二次予測偏差は以下の式(4)になる.

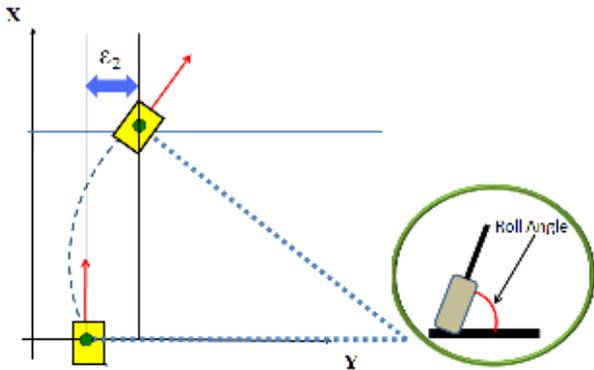


Fig.7 2nd Order Prediction Position

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{2} g \cdot \phi \cdot \Delta T^2 \quad (4)$$

よって二輪車がヨー角と,ロール角を持つ場合の目標コーストの誤差は以下の式(5)で表わされる.

$$\varepsilon = Y^* - \left(Y + v \sin \theta \cdot \Delta T + \frac{1}{2} g \cdot \phi \cdot \Delta T^2 \right) \quad (5)$$

以上より二次予測モデルと設計した制御アルゴリズムを図8,9に示す.

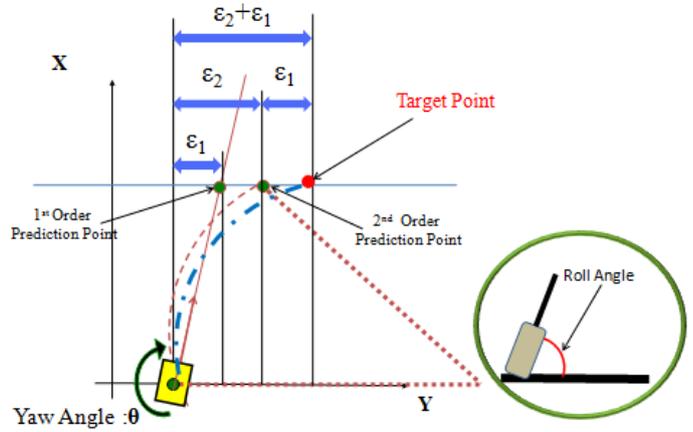


Fig.8 2nd Order Prediction Model for Motorcycle

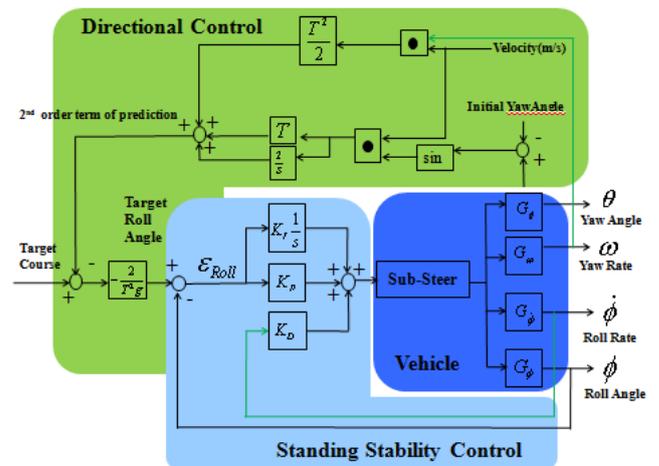


Fig.9 Control Algorithm

3 ライダロボットシステム

各装置は人間の入力（ステアリング、クラッチ、ブレーキ）を考えた。この研究はライダーロボットの第1段階であり、低速制御を目的としている。したがって、ギアシフトはコントロールしない。サブステアシステムとスロットルコントローラには AC サーボモーターを使用し、ブレーキとクラッチシステムには空気圧装置を使用した。

図 10-12 にスロットル及び、クラッチ・ブレーキを示す。

急停止時の車両制御は難しく、転倒防止用のアウトリガーを付けた。メインコントローラとして DSP を用い、各センサを計測している。ステア角はポテンショメータで測定し、ジャイロ스코ープを使用している。停車をする際には Rider Robot は、無線でキルスイッチを止めます。この無線は、メインコンピュータとは異なるシステムであり、常に止めることができる。尚、実験に使用している車両はコンバインド・ブレーキシステムのため、停車時にはフットブレーキのみを制御することになっている。

4. 結論

本論文では、過去の十分に収束されなかった制御アルゴリズムを改善し提案した。

次のステップでは提案した制御アルゴリズムを組み込みライダーロボットで確認する。



Fig. 10 Throttle System



Fig. 11 Clutch System

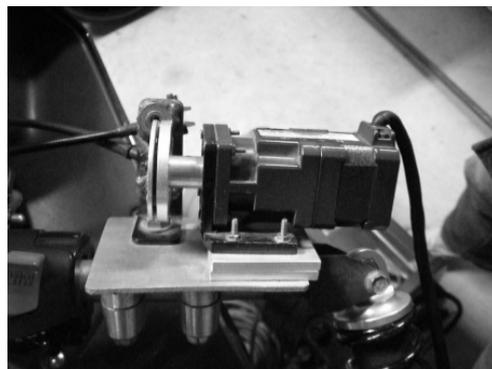


Fig. 12 Brake System

参考文献

- 1) 井口雅一;二輪車の運動力学(1)機械の研究,機械の研究,pp.890-894,1962,第 14 巻 7 号
- 2) 景山一郎ほか, 二輪車のハンドル系における人間の要素, 日本機械学会論 C, Vol.50 No.458, pp.2037-2405(1984)
- 3) 井口雅一;二輪車の運動力学(2)機械の研究,機械の研究,pp.890-894,1962,第 14 巻 8 号
- 4) 吉本堅一, 予測を含む操だモデルによる人間自動車系のシミュレーション, 日本機械学会誌, 第 71 巻 第 596 号, pp.1181-1186(1968)
- 5) 高間広平ほか, 二輪車を操縦するロボットの構築に関する研究, 自動車技術学会講演会前刷集, No.289, pp.259-262(2002)