

次世代のパーソナルモビリティ構築に関する研究

日大生産工(院) ○海野 直弘

日大生産工 栗谷川 幸代 日大生産工 景山 一郎

1. まえがき

現在, 新たな交通システムとしてパーソナルモビリティ (以下PMと略す) が注目されている. PMとは定員2名以下の小型の移動機器のことを言い, 歩行に代わる軽量・低速で車いす程度のサイズを有するPMと乗用車に代わる居住性・耐候性を考慮した中速度域までをカバーするPMに大別できる.

このPM, 特に乗用車に代わるタイプが注目されている背景には, 現在の乗用車の使用状況の変遷が挙げられる. 他の交通手段と比較して乗用車の利用率は年々増加しており, 平成17年の段階では平日で約45[%], 休日では63[%]と報告されている¹⁾. 自動車の利用状況や走行距離をまとめると, 自動車利用の約50[%]が8[km]以下であり, これを30[km]以下の移動距離に拡張すると利用の90[%]となっており, 走行距離が非常に短いことがわかる. さらに, 乗車人数2名以下での使用が多く, 平均乗車率で1.3名となっている²⁾³⁾. また, 現存する車両では比較的このPMの使用状況に近い車両が軽自動車である. この利用について見ると, ほとんど毎日の使用が72[%]と非常によく利用されているが, 普段の乗車人数は1人が54[%]であり⁴⁾, 軽自動車でも本来のPMの使用から見て, オーバースペックになっているものと考えられる. このように, 乗用車の利用状況は高いにも関わらず, 利用距離, 乗車人数ともに少ないことから, PMへの代替により占有空間の削減や環境負荷の軽減が見込めるため, 検討が行われている.

近年, 国土交通省では新しい区分として「超小型車」を設けるといった動きがあり, PMの重要性の認識が高まっている. この超小型車は原動機付き自転車(ミニカー)と軽自動車の中に位置付けられ乗車定員が2名

程度であり, 原動機は125ccクラスの出力のものとなり, 市街地に限定されたコンピュータとしての普及を目指すものとなっている.

このように超小型車は, 乗用車に代わる市街地の移動手段と成り得るだけでなく, ミニカーやオートバイでは成し得ない耐候性を有し, たとえば子供の送迎や適度な荷物の輸送にも適している. そこで本研究ではPMの普及を視野に入れ, 新たなモビリティを提案し, その実現性を検討した.

2. 車両モデル

2.1. 車両の概要

PMのメリットの一つに, 占有空間の削減がある. 占有空間の削減により, 道路を有効に利用できる他, 狭路での取り回し性向上にも貢献する. そこで本研究では, 占有空間の少ない車両を想定した. トレッドとホイールベースを短くするとともに, 低速時の安定性から3輪車をベースとした. また, 短トレッドによる横転を避けるため, 乗車部分(以下キャビン)のみをロールさせる機構とし, 旋回時のバランスを保つように配慮した. この時, キャビンは自由に動くものとし, 特別な制御を加えないことで簡素化を行った. 旋回時以外は自立している必要があるため, キャビン自立用のサスペンションをシャシ-キャビン間に設置した. 想定する車両は舵角とロール制御トルクの2入力系とし, 操舵はハンドルを用い, ロール制御には足の反力を制御によるものとする.

2.2. 運動方程式

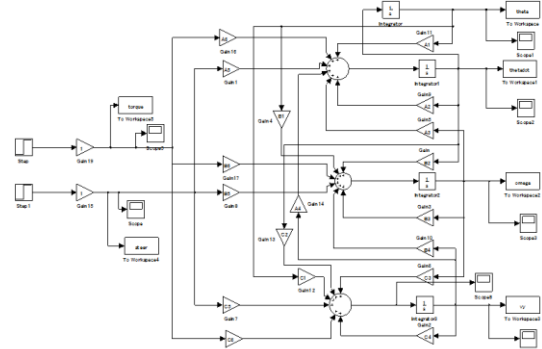
車両モデルの安定性の確認のため, 運動方程式を構築する. キャビンが自由にロールする構造を有する車両であるため, ロールをしないシャシ部とロールするキャビン部の2構成とし, 連結方程式を用いて1つのモデルと

Study on Construction of a personal mobility for the next generation.

Naohiro UMINO, Yukiyo KURIYAGAWA and Ichiro KAGEYAMA

m : Chassis mass
 ω : Yawrate
 CF_1 : Front cornering force
 CF_2 : Rear cornering force
 δ : Steer angle
 β : Slip angle
 α_1 : Slip angle of frontwheel
 α_2 : Slippingangle of rearwheel
 V : Directionof travel velocity
 v_x : Velocitythe X axis
 v_y : Velocitythe Y axis
 V_f : Direction of travel front wheel velocity
 V_r : Direction of travel rear wheel velocity
 L : Wheel base
 L_1 : Distance between the frontwheel axle from the center of gravity
 L_2 : Distance between the rearwheel axle from the center of gravity
 L_3 : Distance between the center of gravity of the cabin from the center of gravity
 F_y : Internal force
 m_c : Cabinmass
 g : Gravity acceleration
 ω : Yawrate
 M : Restoring moment
 θ : Roll angle
 v_y : VelocitytheY axis direction
 L_3 : Distanceto the center of gravity of the cabin from the center of gravity
 H_1 : Height of the center of gravity
 T_r : Torque to control the roll

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \omega \\ v_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ B_1 & B_2 & B_3 & B_4 \\ C_1 & C_2 & C_3 & C_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \omega \\ v_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ A_5 & A_6 \\ B_5 & B_6 \\ C_5 & C_6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta \\ T_r \end{bmatrix} \quad (4)$$



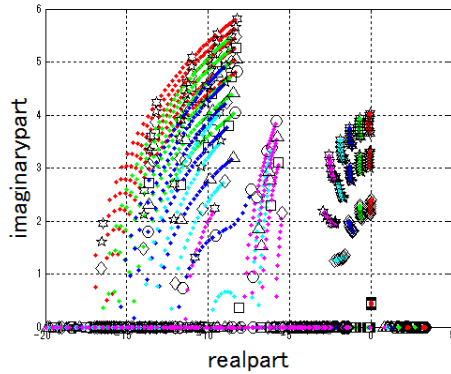


Fig.3 Root locus

3. シミュレーション

3.1. ドライバモデル

シミュレーションを行う上で、車両モデルに入力を与えるためのモデルが必要となる。

本研究では想定される運転行動を模擬したドライバモデルを組み込み、シミュレーションを行った。

ドライバは目標コースに合わせて車両に入力を与えていると考えられる。通常ドライバは前方を認識し、目標コースを確認しつつ、自車の動きから走行すべき点での位置を予測し目標コースと予測コースの差に合わせて方向制御を行っていると考えられる。このような行動を前方注視予測モデルで再現する。そこでドライバモデルとして前方注視2次予測モデルを使用し、操舵を制御することにした⁶⁾。しかし、トレッドの狭い車両であるため、舵角の制御だけでなく横転を防ぐために状況に合わせてロールを制御する必要がある。この時、目標となるロール角は重力加速度と求心加速度のつり合いから決まり、求心加速度は車両速度と目標コースの曲率から決定される。このことより、目標コースの曲率に合わせてロール制御トルクを入力させるモデルを構築した。モデルの全体像を図4に示す。

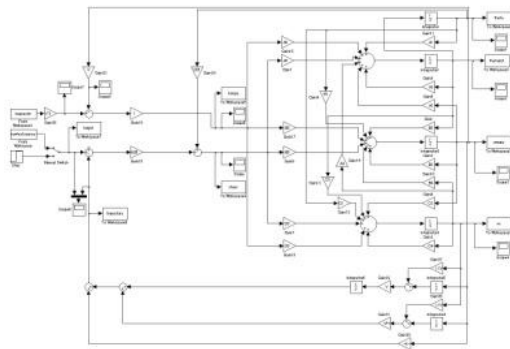


Fig.4 Entire model

3.2. シミュレーション条件

シミュレーションで用いる各諸元を表1に示す。車両モデルの根軌跡から、減衰係数を500[Ns/m]、ばね定数を3000[N/m]とした。現行の道路運送車両法に基づく超小型車の位置づけから法定速度は60[km/h]と想定されるが、それ以上の速度で走行した場合の挙動の確認を踏まえ、最高速度を80[km/h]とし、シミュレーションでは10[km/h]から80[km/h]までを10[km/h]おきで8条件、車両重量に関してはシャシ重量を200[kg]、キャビン重量を200[kg]とした。

目標コースは直線から旋回時の挙動を確認するため、一般公道と同じ3.5m幅の車線変更コースとし、乗り移り距離は30[m]とした。このコースの曲率は最大0.0192であり、その概要を図5に示す。

3.3. シミュレーション結果

速度を変更して行った解析結果を図6, 7に示す。図5では目標コースに対して車両がどのように追従したか、図6ではその時の車両に対する入力およびキャビンのロール状況を示したものである。コース追従に関しては、速度条件10[km/h]で最も誤差が大きく、速度が上がるにつれて誤差が少なくなる傾向となった。また、舵角に関しても速度が上がるにつれて減少する傾向がある。今回想定した車両で最も考慮すべき点であるキャビンのロール運動に関しては、どの速度に対しても旋回内側にロールすることが確認できた。また、速度が上昇するにつれて必要なロール制御トルクが大きくなっていくことが確認でき、市街地での使用で想定される速度60[km/h]付近で必要とされるトルクは53[Nm]であるため、ドライバにより十分制御可能な領域であることが分かる。

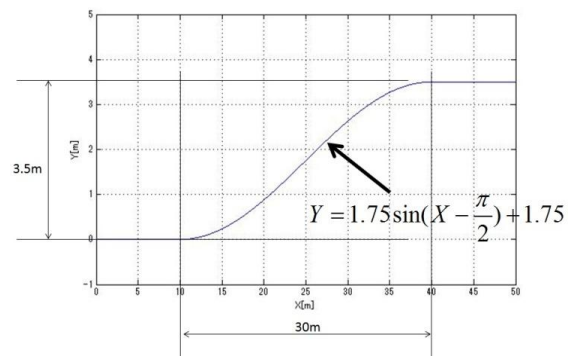


Fig.5 Target course

Table Specifications of vehicle

Chassis mass	200[kg]
Cabin mass	200[kg]
Damping factor	500[Ns/m]
Spring constant	3000[N/m]
Height of the center of gravity of the cabin	1[m]
Distance between the front wheel axis - the center of gravity	0.9[m]
Distance between the rear wheel axis - the center of gravity	0.9[m]
Distance between the center of gravity of the cabin - the center of gravity	0[m]
Vehicle moment of inertia	324[kgm ²]
Cabin moment of inertia	30[kgm ²]
Front cornering power	1.99×10^4 [N/rad]
Rear cornering power	3.33×10^4 [N/rad]
Gravity acceleration	9.81[m/s ²]
Forward gaze time	2[s]

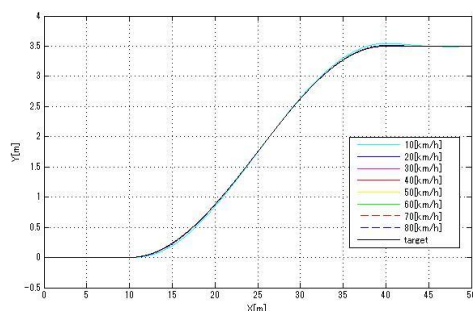


Fig. 6 Course result

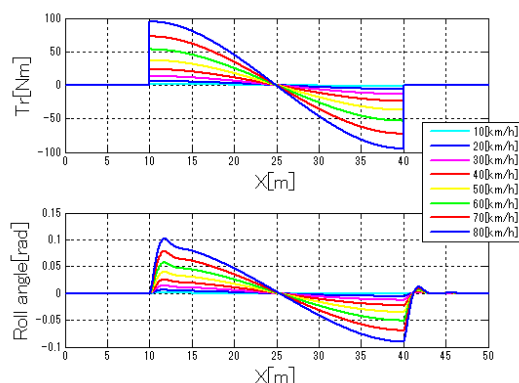


Fig. 7 Simulation result

4. まとめ

本研究ではパーソナルモビリティの普及を見据え、占有空間の少ない車両を目指し、その方策としてキャビンのみをロールさせることで旋回時のバランスをとり、タイヤの横力のみで方向制御させる構造の車両を提案した。そこで、この車両の特徴であるキャビンのロール運動が実現的であるかを確認するため、運動方程式より車両モデルを構築し、シミュレーションによりキャビンの挙動及びその運動に必要な制御量を確認した。以下にシミュレーション結果をまとめる

①舵角だけでなく、ロール制御トルクを加えることで、キャビンのロール制御を容易にすることが可能となった。

②シミュレーション結果から、ロール制御トルクによりいかなる速度域においてもキャビンを旋回内側にロールさせることができることが確認できた。

③旋回時に必要なロールトルクは60[km/h]で53[Nm]であり、テストコースの曲率より想定される求心加速度が0.54[G]であるため、比較的急な旋回に対しても大きな力を要せずに旋回できることが確認できた。

以上の内容を踏まえ、制御可能な車両であることが確認できた。

実際の走行では緊急回避等多くの検討を必要とする。また、このような車両の場合、ドライバとのマッチングを検証する必要がある。そこで今後車両を試作し、実験による検証を行う必要がある。

参考文献

- 1) 国土交通省, 都市における人の動き (2007)
- 2) 国土交通省, 道路交通センサス (2005)
- 3) 国土交通省, 超小型モビリティの利活用に関する実証実験による調査業務 (2011)
- 4) 日本自動車工業会, 軽自動車の使用実態調査報告書 (2012)
- 5) 景山克三, 景山一郎, 自動車力学 理工図書, (1984) p. 136-138
- 6) 宮岸俊一, 二輪車を操縦するライダーの制御動作に関する研究, (2004) p. 64-65