

卒業論文要旨

自動ブレーキシステムにおけるスムーズな制動操作

Smooth braking operation in automatic braking system

システム工学群

機械・航空システム制御研究室 1200154 村井 銀河

記号の説明

h	:	重心高さ
Z_g	:	路面高さ
Z_b	:	車体バウンス量
Z_w	:	車輪バウンス量
L	:	ホイールベース
M_b	:	ばね上重量
M_w	:	ばね下重量
F	:	路面x軸方向力
C	:	ダンパー減衰率
K_s	:	サスペンションばね定数
K_t	:	タイヤばね定数
F_s	:	サスペンションからの車体への力
M	:	車両重量
μ	:	転がり抵抗係数
ρ	:	空気密度
A	:	車両前面投影面積
C_d	:	空気抵抗係数

動が乗り心地に与える影響について検討することが重要と考える。王らは、自動車走行に伴う速度変動に対して、乗り心地評定実験を行い、乗り心地評定値と速度変動を表す諸物理量との関連を検討した。その結果、自動車の走行で生じる速度変動による乗り心地は、加速度とその加速度の微分値であるジャークの影響を受けることを報告しており、本研究ではこの2つの指標を用いることにする。

車両がなめらかに走行するには加速度とジャークを考える必要があり、制動操作においてもこのことがあてはまると考えられる。スムーズな減速は、減速加速度とその微分値であるジャークを連続的に増減させることによって実現できる。目標時間内に停車させるために速やかに減速加速度の限界に到達し、ある程度速度が落ちれば減速加速度を緩やかに0に近づけていくと効果があることが知られている[2]。

図1に、これらの特性をふまえて定義する理想の減速パターンを示す。走行条件として前方に停止している車両を目標に設定した時間内に停止する制動操作とする。

1. はじめに

近年、自動車の全自動化に向け、自動ブレーキシシステムが開発されている。現在の自動ブレーキシシステムは危険回避など安全が目的として用いられることが多く、これまで乗員の乗り心地に関してはあまり考慮されてこなかった。しかし、乗り心地の考慮は自動運転システムに必要な不可欠である。そのため制動時に人に影響する原因を考え、自動ブレーキシシステムを構成する必要があると考えられる。本研究では、乗り心地に関して得られているデータに基づいた減速パターンを自動ブレーキシシステムの目標値として設定し、スムーズな制動操作を完全自動で実現することを目的とする。

2. 提案

本研究の目的であるスムーズな制動操作を自動ブレーキシシステムで実現するためには、目標となる減速パターンを決定する必要がある。制動時に乗り心地に影響する様々な原因から、乗り心地に最も影響が少ないとされる減速パターンを理想の形と定義、そしてあらゆる走行条件でもこの理想の減速パターンに近い制動操作が自動ブレーキシで実現できれば本研究の目的が達成できると考えられる。

乗り心地を研究していく上で、車両の振動は乗り心地に強く影響し、乗員の快適な輸送を目的とする車両においては、振動と乗り心地の関係を検討することは大変重要な課題である。振動の原因はエンジンや路面からの定常的な振動だけではなく、走行時の進行方向における加減速や、発進・停止および右左折、車線変更、周りの車に合わせた走行なども振動の原因であり乗り心地に影響する。本研究ではブレーキ制御による乗り心地の向上を目指すので、左右方向の運動よりも前後方向の運動について考え、特に制動操作時の乗り心地をより高めるためには、自動車走行で生じる前後方向の速度変

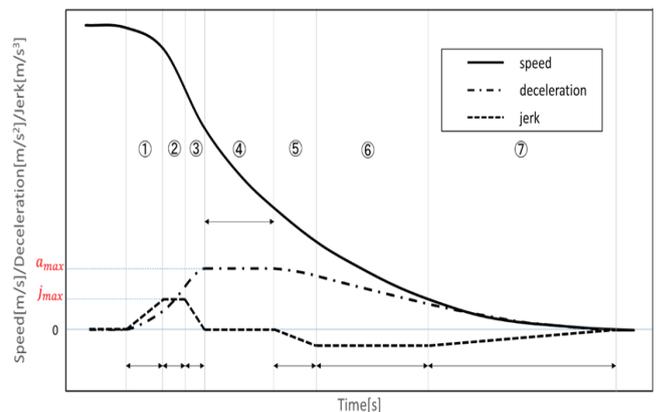


Fig.1 Ideal deceleration pattern

①～③では加速度の限界値までの過程であるが、条件であるジャークの連続性より上記のようにジャークを増減させる。②のようにジャークの限界値を保つことにより、加速度の限界値まで迅速に到達させる。④では減速加速度の限界値を保ち、速やかに減速させる。ある程度まで速度が落ちれば、よりスムーズにそして速やかに減速加速度を下げるため、⑤～⑦のようにジャークを増減させる。⑥のジャークは、②のジャークよりも小さい値で保ったまま減速加速度を下げていく。⑦ではスムーズに減速させていくよう減速加速度を緩やかに下げ0にする。

このように定義した減速パターンを理想の形として目標値と設定し、目標値に沿うように自動ブレーキシで制御していく。

上記のような特性を踏まえた上、減速パターンを決定していくが、ここでは実際の決定法を記述する。

速度 v_0 で走行中の車がブレーキをかけ停止する場合を考える。まず目標の制動時間と制動距離を指定する。次に、④の減速加速度の限界値を決定する。今回は減速加速度 a_{max} を $0.3G$ とした。次に、①～⑦の各時間を、上記の特性と設定した目標制動距離で決定する。①～③のジャークの形は上に凸の台形であるので②のジャークの限界値を決まる。今回は減速加速度の限界値を 0.3 としているので、ジャークの限界値は面積の関係から 0.24 と計算から求まる。①と③のジャークの傾きも計算から求めることができる。同様に⑤～⑦のジャーク値と傾きも同じ計算方法で求まる。速度 v_0 が異なる場合、上記の方法で決定したジャークの傾きは変えず、④の時間を操作することで目標の制動距離、制動時間で停車すると決めた。このようにして実際に減速パターンを決定することができる。

3. 車両モデルの作成

理想の減速パターンと走行中の車両振動との関係を調べる。乗員が乗り心地を調整できるようにするにはさまざまな減速速度に対する車体の運動を明らかにする必要がある。車両モデルより運動方程式を導き、状態空間モデルを使った数値シミュレーションを行う。

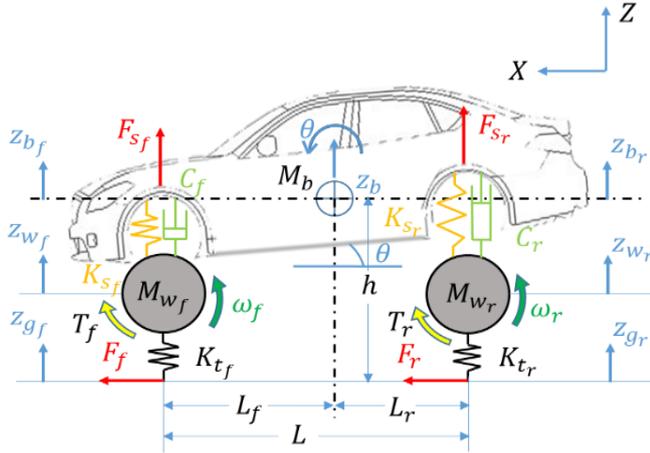


Fig.2 Coordinate system of vehicle

図2には、車両の座標系を示す。車両の運動を剛体の平面運動として簡単に考える。今回の車両モデルは二輪モデルであり、車体、2つのサスペンション、2つのホイールおよび2つのタイヤから構成されている。そして本研究では、直進時の制動操作を考え旋回は考慮しないので、車輪の左右の二輪は同一の運動をするものと仮定し二輪モデルとしている。各ホイールと車体は、ばねとダンパーから構成されるサスペンションによって接続されている。またタイヤはばねであるとし、常に地面に接地しているものとする。

車両モデルから運動方程式を導出した。前後輪のばね上の運動方程式を考える。ここで前輪のバウンシング量 z_{b_f} [m]は

$$z_{b_f} = z_b + L_f \theta \quad (1)$$

とすることができ、同様に後輪のバウンシング量 z_{b_r} [m]も

$$z_{b_r} = z_b - L_r \theta \quad (2)$$

として考え、バネマスダンパ系として車体にかかる力 F_{s_f} [N], F_{s_r} [N]について整理すると式(3),(4)で表せる。

$$F_{s_f} = -K_{s_f} \left\{ (z_b + L_f \theta) - z_{w_f} \right\} - C_f \left\{ \left(\frac{dz_b}{dt} + L_f \frac{d\theta}{dt} \right) - \frac{dz_{w_f}}{dt} \right\} \quad (3)$$

$$F_{s_r} = -K_{s_r} \left\{ (z_b - L_r \theta) - z_{w_r} \right\} - C_r \left\{ \left(\frac{dz_b}{dt} - L_r \frac{d\theta}{dt} \right) - \frac{dz_{w_r}}{dt} \right\} \quad (4)$$

ばね下の運動方程式は、バネマス系としてニュートンの運動方程式を用いて式(5),(6)で表せる。

$$M_{w_f} \frac{d^2 z_{w_f}}{dt^2} = -K_{t_f} (z_{w_f} - z_{g_f}) - F_{s_f} \quad (5)$$

$$M_{w_r} \frac{d^2 z_{w_r}}{dt^2} = -K_{t_r} (z_{w_r} - z_{g_r}) - F_{s_r} \quad (6)$$

車輪の回転運動方程式は、前後車輪の慣性モーメントを J_f [kg·m²], J_r [kg·m²]、制動トルクを T_f [N], T_r [N]とし、前輪と後輪で速度差があると仮定すると式(7),(8)で表せる。

$$J_f \frac{d\omega_f}{dt} = -T_f - F_f R \quad (7)$$

$$J_r \frac{d\omega_r}{dt} = -T_r - F_r R \quad (8)$$

車両重心のx軸、z軸の運動方程式は、x軸方向には空気抵抗、転がり抵抗を考慮し、z軸方向には振動系が共振するバウンシングを仮定すると、それぞれ式(9),(10)で表せる。

$$M \frac{dv}{dt} = 2(F_f + F_r) - 2\mu g (M_{b_f} + M_{b_r}) - \frac{1}{2} \rho A C_d v^2 \quad (9)$$

$$M \frac{d^2 z_b}{dt^2} = -Mg + 2(F_{s_f} + F_{s_r}) \quad (10)$$

車両重心まわりの運動方程式は、車体ピッチング慣性モーメントを I_y [kg·m²]とし、右辺は力のモーメントの関係より式(11)で表せる。

$$I_y \frac{d^2 \theta}{dt^2} = 2(F_{s_r} L_r - F_{s_f} L_f) - 2(F_f + F_r) h \quad (11)$$

4. おわりに

今回、スムーズな制動操作を行う自動ブレーキシステムを実現するために、乗り心地に関して行われている研究等から理想の減速パターンを定義した。そして数値シミュレーションを行うため車両モデルを作成し、導出した運動方程式から状態方程式、ブロック線図を考えた。今後 MATLAB, SIMULINK を使い、さまざまな減速加速度に対する車両の挙動を調べていく。

5. 参考文献

- [1] 王鋒, “自動車の加速度と乗り心地の関係に関する研究”, 人間工学, Vol. 36, No. 4 (2000), pp.191-200
- [2] 牧原孝之, “自動ブレーキの減速パターンに関する研究”, 日本人間工学会大会講演集, Vol. 44, No. 0 (2008), pp.140-141