

〔論 文〕

走行系の統合制御を適用した車両の自律安定性

森 和典*

Autonomous Stability of Automobile
through Chassis Integrity Control System

Kazunori MORI

Abstract

Using computer simulation, we have evaluated the autonomous stability of a vehicle through a chassis integrity control system by test method to release from the steering wheel. A stability testing that separates both hands from the steering wheel is an examination that evaluates the free response stability of the vehicle, and the steering wheel is steered from the state of straight advancement, it releases immediately, and the convergence afterwards is examined. The computer simulation confirmed that the control vehicle improved the autonomous stability evaluation with this method in high speed range.

Key Words : Vehicle Dynamics, Maneuverability, Stability, Integrity Control System, Autonomous Stability, Four-Wheel-Steering, Active Suspension, Braking/Driving Force Distribution System

1. まえがき

著者は、自動車の四輪に働く左右力（横力）、前後力（制駆動力）及び上下力（車両姿勢変化）を統合的に制御する方法を提案し、この走行系統合制御を適用した車両は操舵応答安定性と乗り心地の双方を同時に大幅に向上させることを報告した⁽¹⁾⁽²⁾。この中では、わだち路のような悪路走行下など、各々のタイヤに多方向から複合的に外力が加わる場合にも車両の安定性が確保されることを明らかにした。

車両の自律安定性を評価は、一般的には横風外乱または舵手放しによる安定性評価法が用いられ、通常実車を用いて行われる。車両運動制御の制御効果などの性能を予測するために、シミュレーション計算などを用いて横風安定性評価を行った研究報告は

数多く公表されている^{(3)~(5)}。しかし、舵手放し安定性評価をシミュレーション計算で行った例は、これまでに伊藤らの研究など数少ない⁽⁶⁾。舵手放し状態での安定性は、日常走行でも必須の走行性能であり、車両開発段階でも横風発生装置のような大規模装置を必要とせず、実車でも比較的容易に確認できる。

本研究では、自律安定性に着目して、シミュレーション計算により走行系統合制御を適用した車両の舵手放し安定性評価を行った。その結果、提案の走行系統合制御は適用車両の舵手放し安定性も向上させることを確認したので概要を報告する。

2. 解析モデルと制御則

本報告で使用した解析方法、記号、計算に用いた

* 交通機械工学科
平成21年6月12日受理

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_{11} & \mathbf{A}_{12} \\ \mathbf{0}_{6 \times 2} & \mathbf{A}_{22} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \mathbf{B}_{11} & \mathbf{0}_{2 \times 4} \\ \mathbf{0}_{6 \times 2} & \mathbf{B}_{22} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{E} = \begin{bmatrix} \mathbf{E}_1 \\ \mathbf{0}_{6 \times 1} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{w} = \begin{bmatrix} \mathbf{0}_{2 \times 1} \\ \mathbf{w}_2 \end{bmatrix}$$

式(4)は車両の方向転換に関するものであり、式(5)は車体の姿勢に関するものである。

前輪舵角に対する車体スリップ角とヨーレイトの制御目標値は、一次遅れの形の伝達関数で与える。

$$\frac{\beta_m}{\delta_f} = \frac{G_{\beta 0}}{1 + \tau_{\beta} s} \quad (6)$$

$$\frac{r_m}{\delta_f} = \frac{G_{r 0}}{1 + \tau_r s} \quad (7)$$

式(6), (7)を状態方程式で表わすと、

$$\dot{\mathbf{x}}_{1m} = \mathbf{A}_{11m} \mathbf{x}_{1m} + \mathbf{E}_{1m} \delta_f \quad (8)$$

ただし、

$$\mathbf{x}_{1m} = [\beta_m \quad r_m]^T$$

$$\mathbf{A}_{11m} = \begin{bmatrix} -1/\tau_{\beta} & 0 \\ 0 & -1/\tau_r \end{bmatrix} \quad \mathbf{E}_{1m} = \begin{bmatrix} G_{\beta 0}/\tau_{\beta} \\ G_{r 0}/\tau_r \end{bmatrix}$$

また、直接ヨーモーメント M を各輪の前後力として配分する方法は、次式を採用する。

$$\left. \begin{aligned} F_{1x} &= m\alpha_x \kappa / 2 + M\kappa_1 / t_f \\ F_{2x} &= m\alpha_x (1 - \kappa) / 2 + M(1 - \kappa_1) / t_r \\ F_{3x} &= m\alpha_x \kappa / 2 - M\kappa_1 / t_f \\ F_{4x} &= m\alpha_x (1 - \kappa) / 2 - M(1 - \kappa_1) / t_r \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

ただし、 $0 \leq \kappa, \kappa_1 \leq 1$ である。

これらの配分比は任意に指定できるため、 κ は前後輪のタイヤ荷重の配分比に等しくおき、 κ_1 は F_{jx} が各輪のタイヤ荷重に比例するように求めた値とする。式(9)から明らかなように、一定車速の旋回では、左輪と右輪にそれぞれ同じ大きさの制動力と駆動力が作用することになる。

ロール、ピッチおよびバウンスの車体姿勢を表す状態変数 \mathbf{x}_2 の制御目標値は $\mathbf{0}$ とする。制御入力 \mathbf{u} は、ハンドル操舵角フィードフォワード成分と、実車両と制御目標の偏差 \mathbf{e} に関する方程式を最適レギュレータ問題として解いたフィードバック成分との和で表される。導出された制御入力は次のようになる。

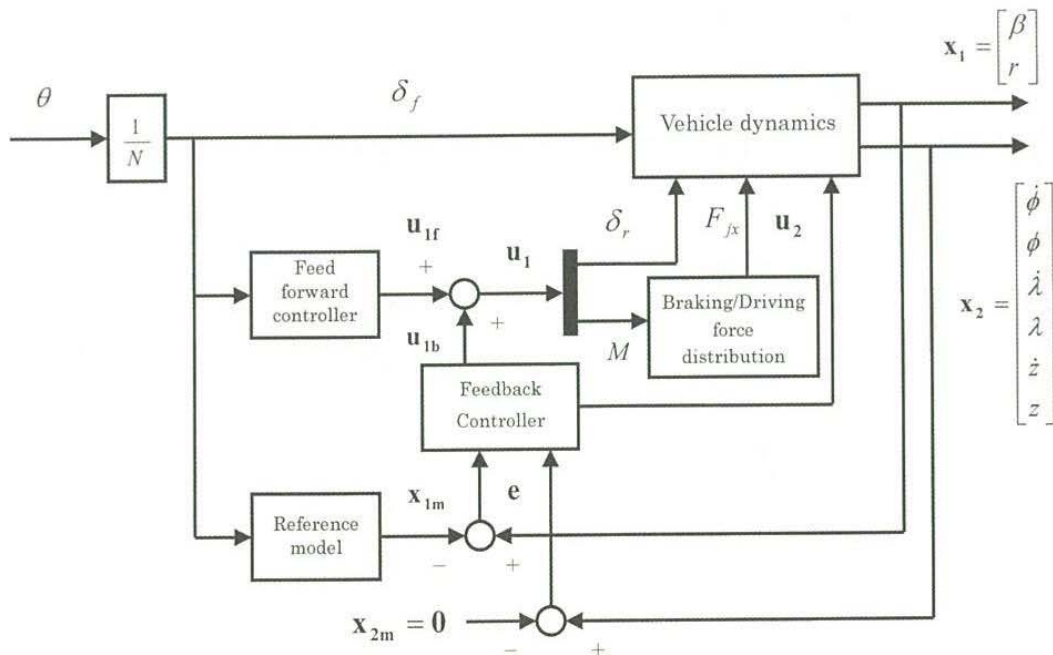


Fig.3 Block diagram of chassis integrity control system

$$\mathbf{u} = \left[-\mathbf{B}_{11}^{-1} \left\{ (\mathbf{A}_{11} - \mathbf{A}_{11m}) \begin{bmatrix} \beta_m \\ r_m \end{bmatrix} + (\mathbf{E}_1 - \mathbf{E}_{1m}) \delta_f \right\} \right] - \mathbf{R}^{-1} \mathbf{B}^T \left\{ \mathbf{P} \begin{bmatrix} \mathbf{e} \\ \mathbf{x}_2 \end{bmatrix} + (\mathbf{PBR}^{-1} \mathbf{B}^T - \mathbf{A}^T)^{-1} \mathbf{P} \mathbf{w} \right\} \quad (10)$$

ただし、 \mathbf{P} と \mathbf{R} は、それぞれ最適レギュレータ問題におけるリッカチ方程式の解と評価関数の重み付け関数である。

図3は、走行系の統合制御のブロック線図を表す。目標の車体スリップ角とヨーレート特性は、式(6)と式(7)においてヨー中心を車両重心位置 ($e = 0$) とし、 G_{r0} を $\alpha_x = 0$ 時の制御無し車両と等しくする。1次遅れ時定数は $\tau_p = 0.035$ sec. とする。

3. 計算および考察

舵手放し安定性試験は、車両の自由応答安定性を評価する試験であり、ヨーレートなどに初期値を持たせるために直進状態からハンドル操舵角入力を与え、約0.2秒でハンドルから手を放しその後の収束性を調べるものである⁽⁶⁾。

本報告では操舵入力の計算方法を容易にするために、直進状態からハンドル操舵角をインパルス的に与え、約0.5秒後に最大値としてから直ぐに手を放

す方法を採用する。シミュレーション計算では、式(10)の制御則を適用したもの (XYZ制御と呼ぶ) と制御無しとの比較を行い制御の効果を確認する。なお、XYZ制御と制御無し車両のハンドル操舵角の最大値が同じとなるように調整した。

図4と図5は、车速がそれぞれ120km/h時と60km/h時の計算結果を示す。车速120km/hのとき、XYZ制御は制御無しと比べて、明らかにハンドル舵角、ヨーレート、車体スリップ角および横加速度の収束性が良く、車体姿勢を示すロール角、ピッチ角および車体上下動を示すバウンス量も制御目標通りとなる。しかし、车速60km/hのとき、XYZ制御は車体姿勢や車体上下動は制御目標を満足するが、ハンドル舵角やヨーレートの収束性に関しては制御無しと有意差は認められない。

以上から、XYZ制御は、高速時において自律安定性を向上させるが、中速域では自律安定性への効果は少ないことがわかる。

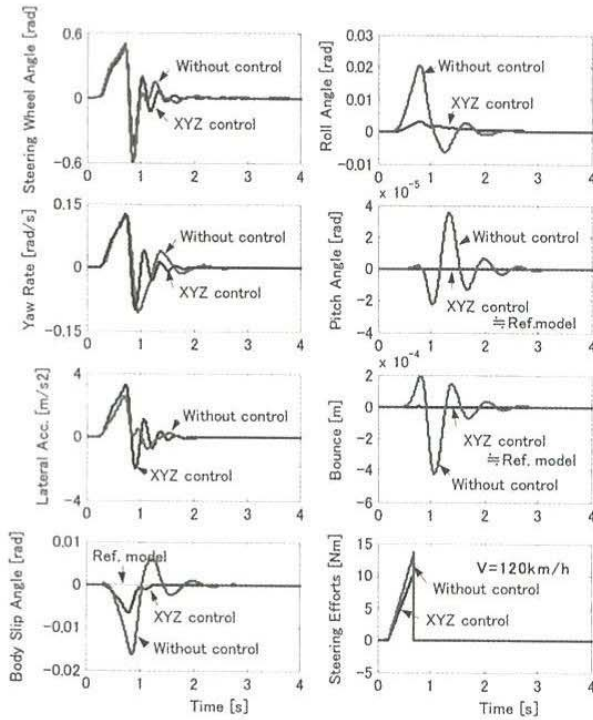


Fig.4 Free control examination in steering wheel operation (at 120km/h)

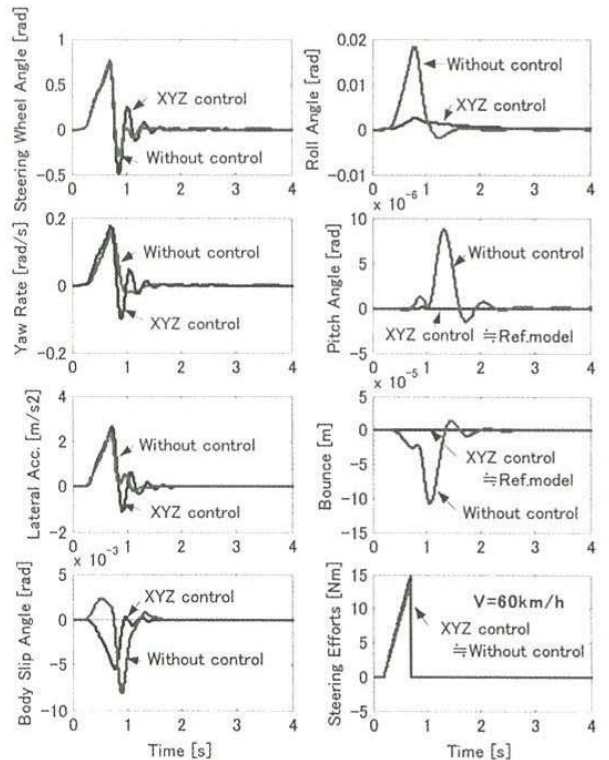


Fig.5 Free control examination in steering wheel operation (at 60km/h)

4. まとめ

シミュレーション計算により、走行系統合制御を適用した車両の舵手放し安定性の評価を行い、以下のことが分かった。

(1) 車速が高速域にあつては、制御車両は制御無し車両よりも、明らかに舵手放し安定性が向上する。

(2) しかし、中低速時においては、制御無し車両との有意差は認められず制御効果が少ない。

走行系の統合制御は様々な制御方法が可能であるため、今後、中低速の自律安定性も改善できる制御則を検討する。

文 献

- (1) Mori,K., Maneuverability and Stability of Vehicle through Chassis Integrity Control, *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C*, Vol.68, No.671 (2002), pp.172-179.
- (2) Mori,K., Improvement in Automobile Maneuverability through Chassis Integrity Control System, *Bulletin of Kurume Institute of technology*, No.30 (2007), pp. 9-22.
- (3) Maruyama,Y. and Yamazaki,F., Numerical Analysis and Driving Simulator Experiment on the Stability of a Vehicle under Strong Cross-wind, *Journal of Environmental Systems and Engineering*, No.766/I-68, 129-140, (2004-7), pp.1-12.
- (4) Harada,H., Harada,M., Araki,Y. and Ooya,M., Crosswind Handling Performance for Driver-Vehicle System, *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C*, Vol.65, No.629 (1999), pp.222-228.
- (5) Mori,K., Dynamic behaviors of Front and Rear Steering System with Yaw Rate Feedback Control to Cross-wind, *Bulletin of The Intelligence Engineering Laboratory in Kurume Institute of Technology*, No.6 (1993), pp.21-29.
- (6) Ito,K., Fujishiro,T., Kawabe,T., Kanai,K. and Ochi,Y., A New Way of Controlling a Four Wheel Steering Vehicle — An Approach of Model Following Control —, *Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers*, Vol.23, No.8 (1987), pp.828-834.