

アクティブダンパシステムにおける センサの校正技術と作動確認手法

Sensor Calibration Technique and Check Method for Active Damper System

関 谷 重 信*
Shigenobu SEKIYA

伊 沢 正 樹*
Masaki IZAWA

平 井 義 貴**
Yoshitaka HIRAI

要 旨

アクティブダンパシステムは電子制御減衰力サスペンションシステムである。そのセンサの校正技術と作動確認手法を開発した。車両を運転して段差を通過しホイールを上下運動させてホイールストローク位置を校正する。このとき同時にセンサの作動確認をおこなう。専用装置を必要とせず、センサの校正と作動確認を数秒以内で終了することができた。

ABSTRACT

An active damper system is an electronically controlled damping force suspension system. Technology for calibrating the sensor of this system and a method of checking its operation were developed. The wheel stroke position is calibrated when the wheels are moved up and down by driving the vehicle over a bump, and the operation of the sensors is checked simultaneously. The sensors were calibrated and their operations were checked within a few seconds without the need of any dedicated equipment.

1. はじめに

アクティブダンパシステム(ADS)は、乗り心地と車両姿勢のフラット感を両立する電子制御減衰力サスペンションシステム(Fig. 1)である。

一般的に電子制御システムは車両組立後にセンサ校正を必要とする場合が多い。また出荷前にシステムの正常作動を確認

することで出荷後のシステム作動不良を防ぐことができる。

しかしながらセンサ校正とシステム作動確認をおこなうために大掛かりな装置を用いると、車両一台あたりの作業時間が長くなる傾向があり、結果として製造コストが高くなる。

ADSも他の電子制御システムと同様にセンサの校正と作動確認が必要になったが、専用装置を用いずに短時間に終了する技術を開発した。本稿にてその技術を紹介する。

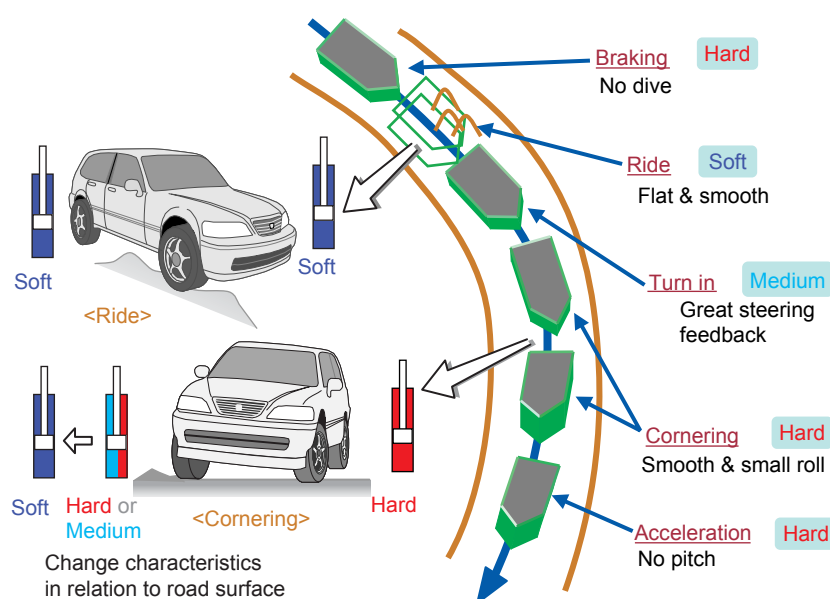


Fig. 1 Active damper system overview

* 四輪開発センター

** 本田技研工業株式会社

2. ADS 概要

ADSはブレーキ作動時に車両前方が沈み込むまたは加速時に車両前方が浮き上がるピッチ現象を抑えるように、車両前後方向の加速度の微分に応じてサスペンションダンパ減衰力を制御する。同様に車両横方向の加速度の微分に応じてダンパ減衰力を制御して旋回時と車線変更時に車両が傾いてしまう姿勢変化を抑えている⁽¹⁾。同時に路面凹凸による車両上下速度を低減するように制御している。

ダンパ減衰力を制御する際に、サスペンションが伸び縮みする速度すなわちホイールストローク位置の時間変化を精度良く検出したい。ホイールストロークを検出するストロークセンサとサスペンション部品の取り付け精度を向上させて減衰力の制御性能を高めることを検討した。

ストロークセンサはホイールストローク位置をリンク角度として検出し電圧に変換して出力する回転角度センサである。ホイールストローク位置を精度良く検出するためにサスペンションが伸びきる位置のストロークセンサ出力を工場での車両組立後に校正することにした。

また ADS のような電子制御システムの場合、車両組立後にシステムが正常作動することを確認する。Fig. 2の上下加速度センサとストロークセンサは車両の上下運動時に作動を確認できる。よって車両を上下運動させてストロークセンサの校正と併せて上下加速度センサとストロークセンサの作動確認をおこなうことを検討した。

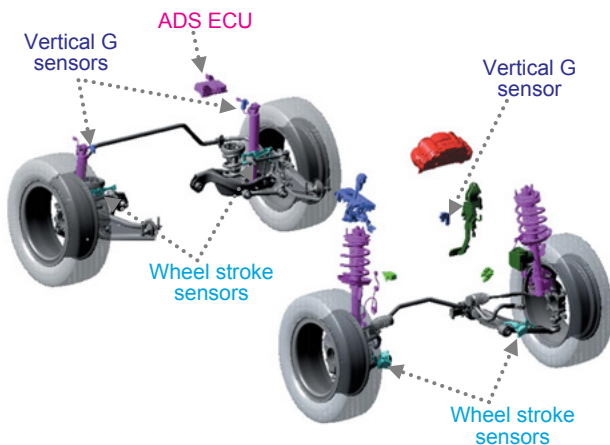


Fig. 2 ADS ECU and sensors

3. ストロークセンサ校正技術

ストロークセンサを校正するためにサスペンションを伸ばす方法は以下の3通りある。

(1) 車両下部のジャッキアップポイントを持ち上げる。

四輪同時にタイヤ交換する際に用いられるような油圧で動作するリフト装置などが必要になる。車両をゆっくりと持ち上げるので上下加速度センサの作動確認が困難である。

(2) ホイールを下から跳ね上げる加振装置を用いる。装置がプログラムに従いホイールを安定して上下運動させるので、ストロークセンサの校正と同時に上下加速度センサの作動確認をおこなうことができるが、装置が高価である。

(3) 車両を運転して段差を通過しホイールを上下運動させる。装置を必要としないので安価であり、上下加速度センサの作動確認を同時におこなうことができる。

以上の比較から、装置を用いない段差通過方法について検討を進めた。具体的方法は、段差通過時にサスペンションのホイールストロークが伸びきり、ADS の電子制御ユニットがサスペンションの一番伸びている位置を記憶する。作業員がいろいろな運転をすることを考えると、段差通過方法を成立させる条件は、広範囲の車速で安定してサスペンションを伸ばすことである。

3.1. シミュレーション検討

Fig. 3 のように段差通過時の路面上下変位に単一の周波数しか含まれない場合のホイールストローク変化のシミュレーション結果を Fig. 4 に示す。

路面上下変位が単一周波数の場合、サスペンションのホイールストローク変位幅が車両速度により変化してしまう。広範囲の車速でサスペンション変位幅を一定にする段差が理想的である。段差凹凸変位に含まれる周波数がバネ上共振周波数(本稿の事例において 1.3Hz)に一致すれば、段差の凹凸に対しバネ上の上下変位とサスペンションのホイールストローク変化を一定値に安定させることができる。したがってバネ上共振(1.3Hz)より低い周波数から高い周波数までをスイープして段差凹凸変位に含ませた周波数スイープ段差(Fig. 5)を考案した。段差の凹凸周波数が単一の場合に

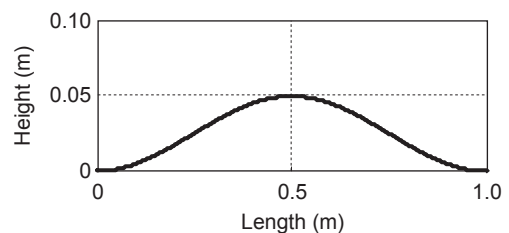


Fig. 3 Single frequency bump shape

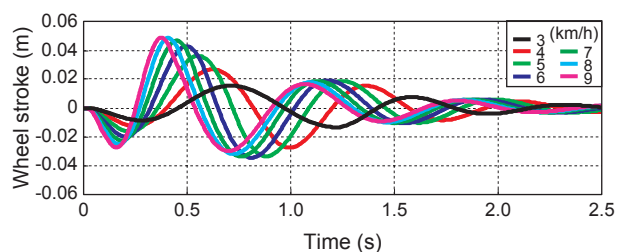


Fig. 4 Wheel stroke through single frequency bump (Simulation result)

比較して、周波数スイープ段差は広範囲の車速で安定してサスペンションを伸ばすことをシミュレーションにて確認した(Fig. 6)。

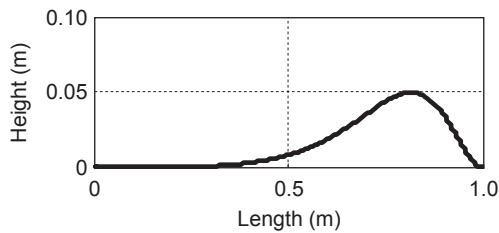


Fig. 5 Sweeping frequency bump shape

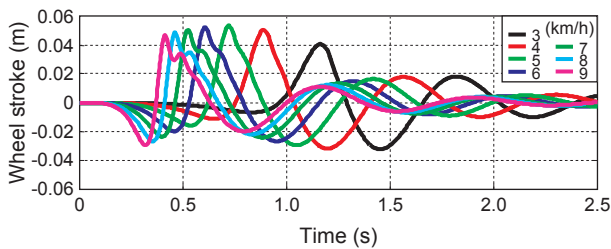


Fig. 6 Wheel stroke through sweeping frequency bump (Simulation result)

3.2. 実機検討

周波数スイープ段差を製作し、段差を通過する際の車両速度を変化させて、ADSの電子制御ユニットを用いてサスペンションのホイールストロークが伸びきる位置を校正した結果を Fig. 7 に示す。

車両をジャッキアップしてホイールストロークを伸ばした数値と、車両速度範囲 7km/h から 15km/h にて段差通過時に電子制御ユニットが校正した数値がほぼ一致している。

段差を通過するのに必要な時間は数秒間以内であり、短時間にストロークセンサを校正できる。次に述べるストロークセンサと上下加速度センサの作動確認を同時にできるという効果もある。

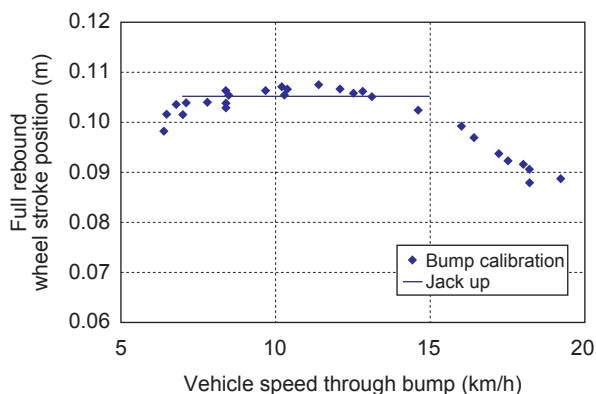


Fig. 7 Full rebound calibration result through sweeping frequency bump

4. センサ作動確認手法

センサが正常に作動していることを確認するために、段差通過時にストロークセンサと上下加速度センサの相互比較をおこなった。ホイールストロークと上下加速度を同じ物理量であるバネ上上下速度へ変換する(Fig. 8)。バンドパスフィルタはバネ上共振周波数を抜き出す効果とセンサのオフセット値をキャンセルする効果がある。

段差通過時の路面凹凸変位に含まれる周波数がバネ上共振周波数より低い場合、バネ上上下速度は発生するが、ストロークしなくなる。またバネ上共振周波数より高い周波数ではストロークはするがバネ上上下速度が小さくなる。ストローク変位とバネ上上下変位の両方をバランスよく動かすためにはバネ上共振周波数でタイヤを上下させる段差とすれば良い。広範囲の車速で段差凹凸変位にバネ上共振周波数を含ませる周波数スイープ段差は、ストロークセンサと上下加速度センサの相互比較に適している。

上下加速度を積分しバネ上上下速度を求める。ストロークセンサからバネ上上下速度を求めるためにバネ上質量とバネ下質量からなるサスペンションモデル(Fig. 9)に対し x_1 と x_1 の 1 階微分、 x_2 と x_2 の 1 階微分を状態とした現代制御理論のオブザーバ(Fig. 10)を構成した⁽²⁾。

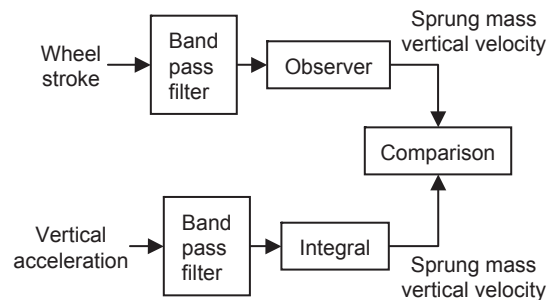


Fig. 8 Sensor comparison checking method

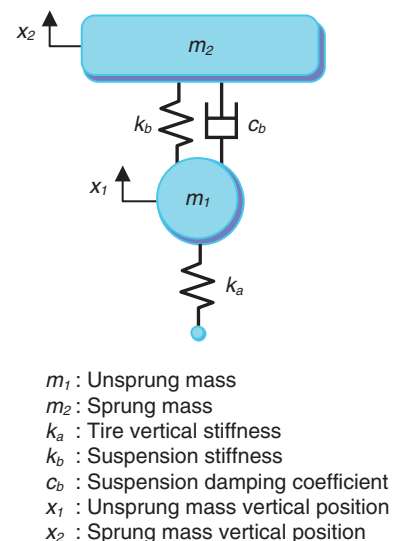


Fig. 9 Suspension model

サスペンションモデルの運動方程式は式(1)，(2)となる．

$$m_1 d^2 x_1 / dt^2 = k_b (x_2 - x_1) - k_a x_1 + c_b (dx_2 / dt - dx_1 / dt) \quad (1)$$

$$m_2 d^2 x_2 / dt^2 = k_b (x_1 - x_2) + c_b (dx_1 / dt - dx_2 / dt) \quad (2)$$

ADSの電子制御ユニットが段差を通過した際の上下加速度センサとストロークセンサの出力信号から車両上下速度を算出した結果を Fig. 11 に示す．

車両上下速度で相互比較をおこなうことによりセンサ出力ゲインの異常を見つけることができる．ストロークセンサの出力回路故障によりゲインが低下した場合の車両上下速度算出結果を Fig. 12 に示す．

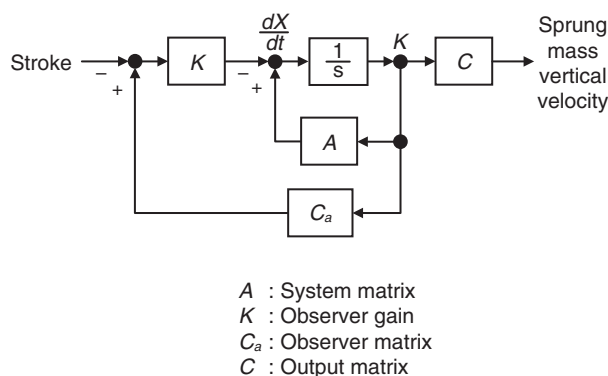


Fig. 10 Observer

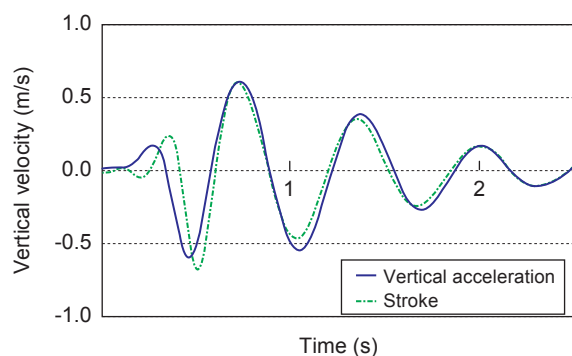


Fig. 11 Sprung mass vertical velocity comparison through bump

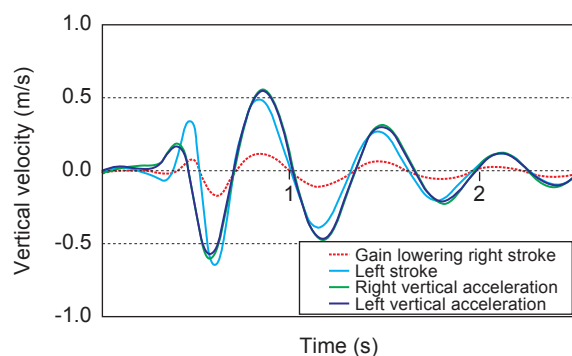


Fig. 12 Sensor gain lowering in sprung mass vertical velocity comparison

左右のストロークセンサと左右の上下加速度センサ合計四つの上下速度から出力ゲインの異常を判定する．右車輪と左車輪は同時に段差を通過するので四つの上下速度は同じとなるはずである．出力ゲインが低下している右のストロークセンサから求めた上下速度絶対値の時間積分を残り三つのセンサから求めた上下速度絶対値の時間積分の平均値と比較しゲイン異常を判定する．一つの車輪ごとに二つのセンサを比較する場合，出力ゲインの異常を判定できるがどちらのセンサが異常なのかわからない．左右の二つの車輪にて四つのセンサを比較するので多数決により出力ゲインが異常であるセンサを特定できる．

以上のセンサ相互比較技術により作業員の官能評価に頼らずに定量的にセンサ作動確認をおこなうことができる．

5. 適用事例

本技術が実際の工程で用いられた事例を紹介する．作業員は車両を運転して段差(Fig. 13)の手前で一時停止する．出荷検査テスト(Fig. 14)を操作して検査を開始し，段差を通過する．ADSの電子制御ユニットがホイールストロークの伸びきった位置を記憶すると同時にストロークセンサと上下加速度センサを相互比較し結果を出荷検査テストに送信する．ストロークセンサ校正とセンサ相互比較に必要なものは段差と電子制御ユニットのソフトウェアのみであり，専用装置を用いない工程とすることができた．

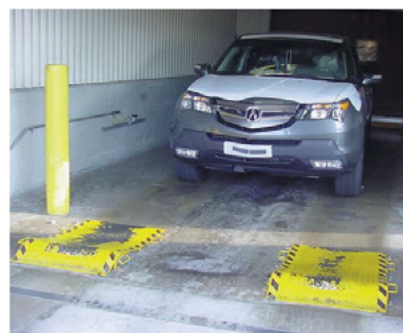


Fig. 13 Sweeping frequency bump in vehicle build plant



Fig. 14 Shipping inspection tester

段差の長さを変えることにより、段差通過速度を調節することができる。段差を設置する場所を作業員がどのような速度で通過しているか調査し、その通過速度により段差の長さを調整する。この工程を設置した Honda of Canada Manufacturing では段差通過速度を 7km/h から 15km/h とした。段差通過速度を下げたい場合において、たとえば段差の長さを 40%短縮し、通過速度を 4km/h から 9km/h と低下させることができる。

6. まとめ

アクティブダンパシステム装着車に対し、センサ校正技術とセンサ作動確認手法を開発した。

- (1) 本技術の適用事例では、作業員が車両を運転して周波数スイープ段差を通過する。その際にADSの電子制御ユニットがセンサ校正とセンサ作動確認のソフトウェアプログラムを実行する。
- (2) 広範囲の段差通過車速においてサスペンションを安定して伸ばした。サスペンションが伸びきる位置のストロークセンサ出力を校正し、ダンパ減衰力の制御性能を高めた。
- (3) 段差通過時に、ストロークセンサと上下加速度センサの出力を同じ物理量であるバネ上下速度へ変換して相互比較をおこなった。作業員の官能評価に頼らず、定量的にセンサの作動を確認できた。
- (4) 大掛かりな装置を必要とせず、数秒間でセンサ校正と作動確認を終了させることができた。

参考文献

- (1) Izawa,M., Kato,T., Fukuzato,T., Sekiya,S., "Development of a Roll Control Method Using a Variable Damper that Takes into Account Ride Performance while Steering, AVEC, 060184, p.199-203(2006)
- (2) 小郷寛, 美多勉: システム制御理論入門, 実教出版, p.115-129(1979)

■ 著 者 ■



関谷 重信



伊沢 正樹



平井 義貴