

自動車用セミアクティブダンパ制御の開発

工藤 朋之

1 はじめに

セミアクティブダンパ（以下セミアク）搭載車両は現在も増加傾向であり、Alfa Romeo MiToなどにも搭載されているように小型車両でも採用例がある。このような状況の中、メーカ毎の車両性能重視とコスト重視、操安性能重視と乗心地重視というように、ニーズがメーカ・車格・車両タイプによって大きく異なる。

これらの様々なニーズに対し、前もって対応可能な制御技術が必要である。KYBの取り組みとしては磁気粘性流体ダンパ用セミアク制御や比例ソレノイドダンパ用セミアク制御を開発してきた。これらの制御技術では、ばね上の制御とばね下の制御の両方を行っている。今回はこれらの制御技術にバリエーションを持たせ、様々なニーズに対応させることを目的として制御開発を行った。具体的には、ばね上とばね下の両制御を実施しながらセンサ数を変更し、車両性能の調整幅を今まで以上に拡大可能な制御技術の開発となる。本報ではこれらの技術について紹介する。

2 セミアク用センサ

まず、車両に取り付けるセミアク用センサについて説明する。当社セミアク制御ではセミアク制御用にセンサが7個必要である。そのセンサの内訳は、ばね上の上下方向を検出する加速度センサ3個、サスペンションストロークセンサ4個であり、図1のように配置されている。このセンサ構成では、加速度センサからばね上振動を検出し、ストロークセンサからばね下振動を検出する。このセンサ数7個に対してセンサ数を変更するにあたり、加速度センサより高価で取り付けに制約の多いストロークセンサを削減することとした。

センサ数を変更したセミアク制御の開発を行うにあたり、センサの取り付け位置をセンサ数に応じて

変更した。ストロークセンサを減らすということは、今まで得られていたばね下振動情報が得られなくなるということである。そのため、センサの配置を変更しながらばね下振動を検出可能にしていく必要がある。

G : 加速度センサ
St : ストロークセンサ

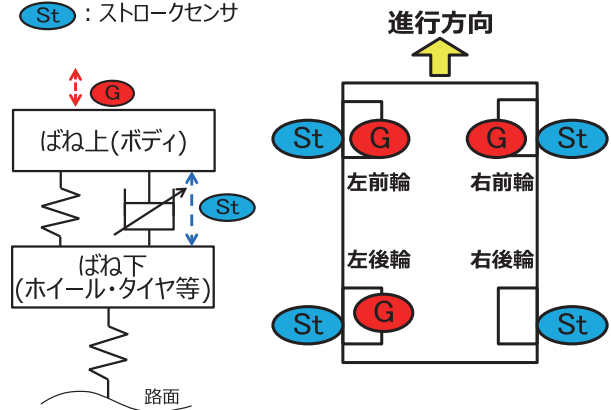


図1 センサ数7個配置図

今回、センサ数を低減したセミアク制御として、センサ数が5個と3個の場合の開発を行った。図2にセンサ数が5個の配置図、図3にセンサ数が3個の配置図を示す。

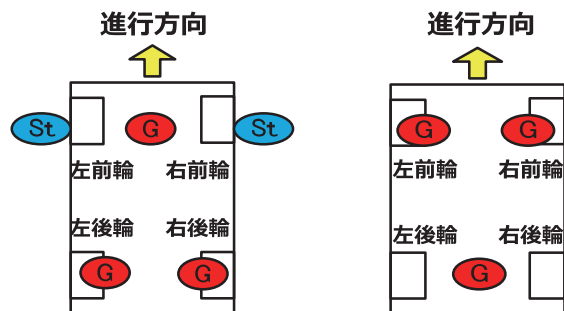


図2 センサ数5個配置図 図3 センサ数3個配置図

センサ数が5個の場合は、後輪側のストロークセンサを削減し、後輪の各輪上に加速度センサを配置した。これは、路面入力を先に捉える前輪の振動をしっかりと抑制する狙いで、前輪の情報を重要視したためである。つまり、前輪はストロークセンサで

ばね下振動を検出して振動を抑制する。一方、後輪では削減したストロークセンサの代わりにばね下振動を検出する必要がある。そこで、後輪の各輪上に配置した加速度センサから、ばね上に伝達されるばね下振動成分を抽出し、右後輪と左後輪のばね下振動を検出可能とした。なお、ばね下振動成分の抽出については後述する。

センサ数が3個の場合は、全てのストロークセンサを削減した。前輪の各輪上に加速度センサを配置し、右前輪と左前輪のばね下振動を検出可能とした。前輪側にセンサを2個配置した理由は、センサ数5個と同様に路面入力を先に捉える前輪を重要視したためである。後輪に関しては、後輪中心の加速度センサから得られたばね下振動を左右に等分に割り振っている。

3 センサ数に応じたセミアク制御

次に、使用するセンサ数7・5・3個に応じた制御について説明する。本開発では、乗心地重視と操安性重視の二通りの制御を、ゲインチューニングに加えて制御そのものを変更して差別化した。つまり、センサ数が3個の乗心地重視の制御、センサ数が5個の操安性重視の制御といったように、センサ数・車両性能に応じた制御を開発した(表1)。表1には特にセンサ数低減や性能の調整幅拡大に寄与した部分の制御を記載している。なお、センサ数が寄与せず、車両から元々得られる情報であるハンドル角や車速、横加速度等を用いる操舵時の制御や、ゲインチューニングのみの制御部分の説明は今回省略する。

表1 センサ数と車両性能に応じた制御

センサ数	乗心地重視	操安性重視
7個	乗心地制御 突上げ緩和制御 ばね下制御	路面追従制御 突上げ緩和制御
5個	7個と3個の技術 使い分け	7個と3個の技術 使い分け
3個	突上げ緩和制御 ばね下制御	突上げ緩和制御

まずはセンサ数が7個の場合について説明する。センサ数が7個の場合は、ばね上振動に加え各輪のばね下振動まで検出可能である。そのため、より細やかな制御が実施可能となっている。特に、ばね下振動周期毎にばね上をフラットな状態に保とうとする乗心地制御と、路面のうねりに追従しようとする路面追従制御によって乗心地重視と操安性重視に性

能幅を持たせることができた。

図4に乗心地制御実施時のばね上の動きのイメージ図を示す。乗心地制御は一般的なサスペンション制御に用いられているスカイフック制御を実施している。ばね上速度に対してばね下振動周期毎にダンパ減衰力の伸圧比を制御することに加え、伸圧比を制御する際に減衰力が急変しないような工夫をしている。この制御によって乗心地が向上する。

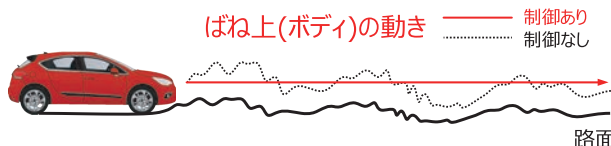


図4 乗心地制御イメージ図

図5に路面追従制御実施時のばね上の動きのイメージ図を示す。路面追従制御は低周波ダンパ速度に対してばね下振動毎に制御している。ここで、低周波ダンパ速度というのは、ストロークセンサから検出したダンパ速度に対して、フィルタリングによって1~2Hzの低周波成分を抽出したものである。これにより路面の大きなうねりに対し車両が追従可能となり、操安性が向上する。

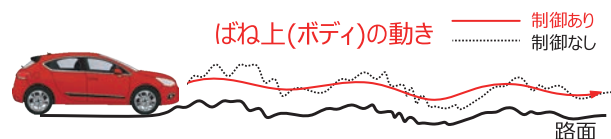


図5 路面追従制御イメージ図

図6にばね下制御実施時のばね下の動きのイメージ図を示す。ばね下制御は、ばね下の振動レベルに応じて減衰力を大きくするようにしている。これによって、凹凸の少ない路面ではダンパ減衰力を小さくすることが可能となり、乗心地向上に寄与している。

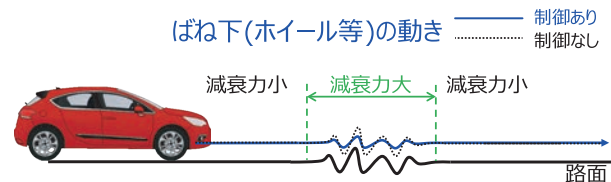


図6 ばね下制御イメージ図

センサ数が5個の場合は、前輪の振動検出がセンサ数7個の前輪の配置、後輪がセンサ数3個の前輪の配置と同様である。そのため制御もセンサ数が7個と3個の場合の制御を前輪と後輪で使い分けているため説明を省略する。

センサ数が3個の場合は、センサ数7個では得られていたストロークセンサからの情報を得ることができない。そのため、ばね上振動を検出している加

速度センサを用いて代替となる値を求め、ばね下制御を実施した。ばね上の加速度センサにはばね上振動の情報に加えて、ばね下振動成分も重畳している。このことから、加速度センサの値からばね下振動成分だけを抽出し、ばね下がどのくらい振動しているか（ばね下振動レベル）ということを検出できるようにした（図7）。図7に示すように、ストロークセンサで検出した値を微分したダンパ速度から求めた振動レベルと、加速度センサで検出したばね上加速度から求めた振動レベルがほぼ同じ波形となっていることが分かる。このことから、ばね上加速度からでもばね下振動レベルを検出可能であるといえる。そして、検出したばね下振動レベルに応じてダンパの減衰力を大きくするといった制御（ばね下制御）を実施した。

ただし、ストロークセンサによるばね下振動の検出と比較すると検出精度が低下するため、センサ数が7個の時のようなばね下振動周期毎の制御は実施していない。また、操安性重視では最低減衰力を大きくしているため、ばね下制御は実施していない。

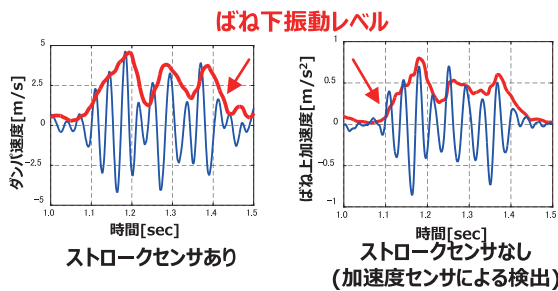


図7 ばね下振動検出

いずれの制御仕様でも実施している突上げ緩和制御は、ダンパ内バルブのクラッキング（開弁）に伴う減衰力波形の歪みを抑制するための制御である。この突上げ緩和制御のダンパ単体での試験結果を図8に示す。

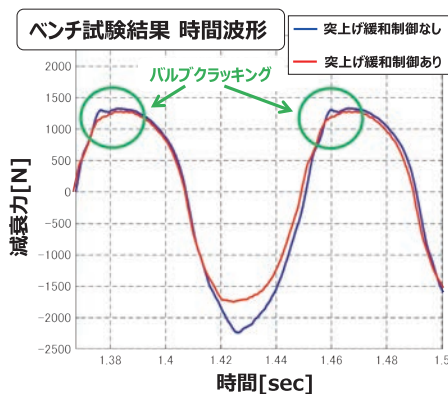


図8 ダンパ単体での突上げ緩和制御ベンチ試験結果

緑枠で示した減衰力波形の歪みが、突上げ緩和制御によって低減されていることが分かる。波形上では歪みの低減が小さく見えるが、実車評価時はこの歪みの低減によって突上げ感が緩和されて乗心地が向上する。

次に突上げ緩和制御実施時の実車試験結果を図9に示す。

バルブクラッキングに伴う減衰力波形の歪みが発生するタイミングは、ダンパ速度の正負が切り替わった少し後のタイミングである。この際、減衰力が大きければ大きい程、減衰力の急変が大きくなる。したがって、ダンパの応答遅れを考慮し、ダンパ速度0付近で電流指令を下げている。これによって、減衰力の急変を低減することができ、突上げ感が緩和されて乗心地が向上する。

また、図9に示すようにばね上加速度（加速度センサ検出）とダンパ速度（ストローク量の微分値）の動きに相関があるため、ストロークセンサ削減時にはばね上加速度を用いて突上げ緩和制御を実施した。

なお、突上げ緩和制御なしの電流指令は、ノイズが多く混じり分りづらいがほぼ一定電流となっている。

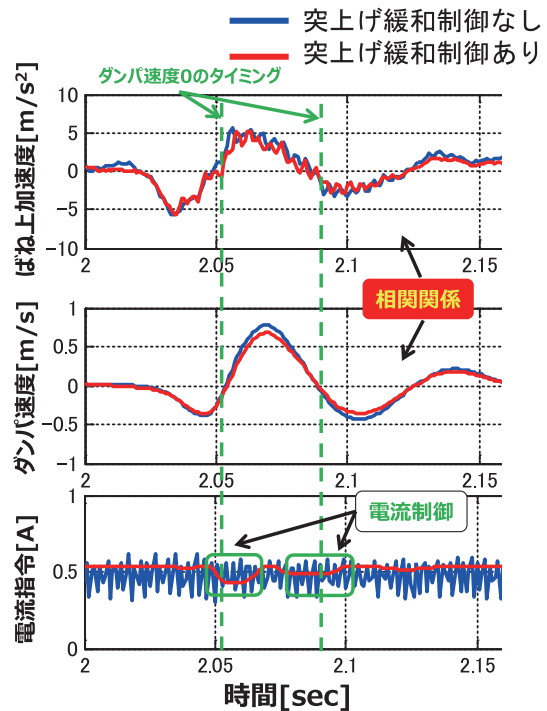


図9 突上げ緩和制御の実車試験結果

4 実車官能評価

前章で述べた制御を車両に搭載して、社内の評価基準に基づいた実車での官能評価を行った。評価を実施するにあたり、以下のように実車官能評価項目の中から乗心地と操安性に寄与度の大きい項目をピックアップし、それぞれ乗心地評点と操安性評点

とした。

乗心地評点…「フラット感」+「ハーシュネス^{*}」

操安性評点…「接地感」+「ヨー・ロール感」

※用語解説「ハーシュネス」p.34参照。

また、センサ数が3個の場合の乗心地重視仕様の制御を基準として評価を実施し、乗心地評点と操安性評点の合計を車両性能と定義している。

実車での官能評価の結果を図10に示す。図10中の「純正車両」の表記は、今回の制御開発に使用した市販車両のことであり、標準搭載されているセミアクと制御アルゴリズムで制御（他社製、センサ数7個）されている。参考値として社内評価したので記載する。なお、純正車両でも乗心地重視と操安性重視の2モードが搭載されている。

図10に示す緑の破線は純正車両の乗心地重視と操安性重視の評点を結んだラインである。

一般的に制御ゲインのみでチューニングを行うと、乗心地と操安性が背反特性となるため、純正車両であれば車両性能が緑の破線上を推移するように変化する。

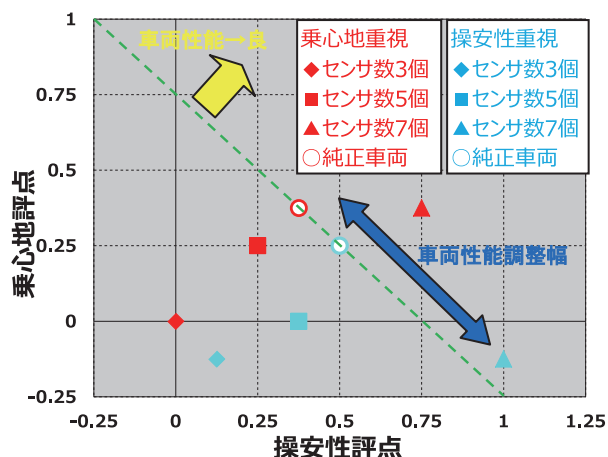


図10 実車官能評価結果

これに対し、制御のアルゴリズム自体と制御ゲインの両方をチューニングすることでチューニングの自由度が増加するため、背反特性が少ない状態で乗心地や操安性に特化した車両性能を実現できる。純正車両が制御ゲインのみでチューニングしているかは不明であるが、同じセンサ数が7個の場合では純正車両の両評点を結んだ緑の破線よりも、当社製の評点は乗心地重視、操安性重視ともに右上側にあり、車両性能を高いレベルでチューニングできていることが分かる。

センサ数が7個の操安性重視に関しては、表1で示した路面追従制御の効果が高く、うねり悪路において乗心地の悪化が許容できると感じるレベルまで、操安性を高める方向にチューニング可能であった。そのため、センサ数が5個の場合より乗心地評点が下回る結果となったが、結果的に車両性能の調整幅として大きく変化させることができた。

5 おわりに

それぞれのセンサ数において操安性重視と乗心地重視に車両特性を変更できており、各センサ数に応じた制御と幅広い車両性能の調整幅を実現することができた。

また、センサ数が3個とセンサ数が5個の場合においても、同一センサ数で制御が行われている車両との比較を実施して、より良い制御の開発に取り組んでいく必要があると考えている。

本報は、セミアク制御用センサ数を変更した取り組みの紹介であるが、セミアク制御用センサを新たに追加しないばね上とばね下の両制御を実施する技術の開発も継続して行っていく。

最後に、本開発の支援いただきました関係部署の方々に対して厚く感謝をいたします。

著者



工藤 朋之

2012年入社。技術本部基盤技術研究所運動制御研究室。セミアクティブダンパの研究開発に従事。