

# 外付け式ソレノイド減衰力調整式ショックアブソーバ 乗心地&静粛性改良と新型ソレノイドの開発

安部 友泰 ・ 土井 康平

## 1 はじめに

2000年ごろから自動車へ搭載され始めたセミアクティブサスペンションは年々搭載車両が増加しており、今後もさらに増えていくと予想されている(図1)。

セミアクティブサスペンションとは、時々刻々と変化する路面からの入力に対し、リアルタイムで減衰力を制御するシステムのことで、アクティブサスペンション<sup>注1)</sup>を減衰力調整式ショックアブソーバ(以下減調SA)で近似的に実現しようとするものである<sup>1)</sup>。

注1) パワー源をもち、路面状況に応じて加振・制振両方向に荷重を発生することができるサスペンション。

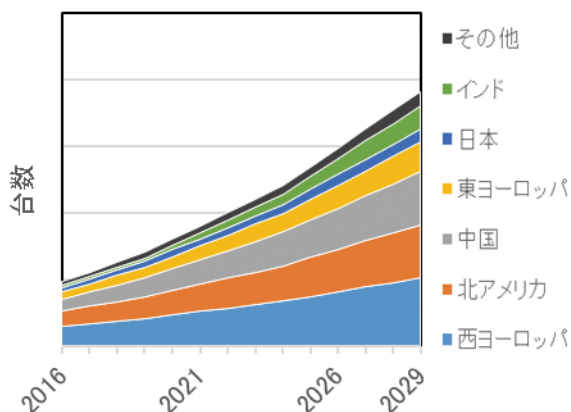


図1 セミアクティブサスペンション搭載車両数量予測

減調SAの種類について減衰力調整方式の割合を図2、減衰力調整バルブ搭載位置の割合を図3に示す。

減衰力調整方式としてはソレノイドを用いることが主流となっており、減衰力調整バルブ搭載位置としてはショックアブソーバ外側に設置する外付け式が主流となっている。

KYBでも減調SAの中で主流であるソレノイド制御弁(以下SOL弁)をショックアブソーバ外側へ設

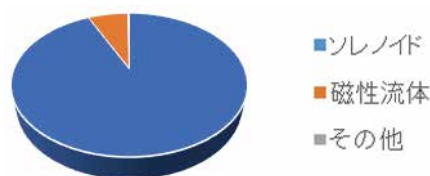


図2 減衰力調整方式の割合(2019年度)

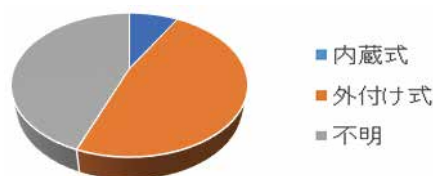


図3 減衰力調整バルブ搭載位置の割合(2019年度)

置した、外付け式ソレノイド減調SAを2016年末より量産している(写真1)。



写真1 KYB製外付け式ソレノイド減調SA

本報では市場にて外付け式ソレノイド減調SAの更なる向上を求められた乗心地と静粛性の性能改良を行い、2020年末より量産を開始した外付け式ソレノイド減調SAの技術について紹介する。

## 2 乗心地

減調SAの性能の中で、車両の乗心地に影響を与える部分と今回の改良での狙いについて説明する。

## 2.1 車両の乗心地と減調SAの減衰力

減調SAの減衰力イメージを図4に示す。この図で示すように減調SAにて車両の乗心地に最も影響を与えるのはソフトモードで発生する減衰力である<sup>2)</sup>。

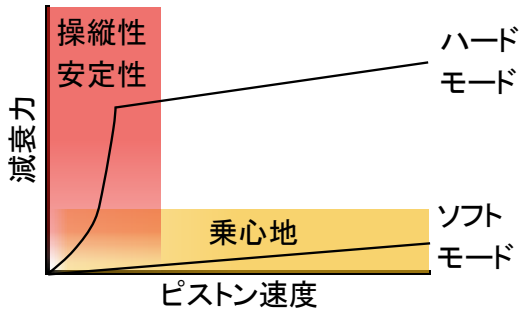


図4 減調SAの減衰力イメージ

ソフトモード減衰力は乗心地へ影響するとともに、車両の最低限の接地性を確保するという役割も担っている。

乗心地の観点からはソフトモード減衰力は路面からの入力を緩和・遮断するために低い方が良い。

しかしながら、接地性の観点からはある程度の減衰係数となる減衰力も必要であり、ソフトモード減衰力は背反する2つの要求を持つ<sup>3)</sup>。

## 2.2 ソフトモード減衰力 改良の狙い

図5に示すようにピストン速度と減衰力の関係の中で減衰係数が一定の条件は、破線で示したピストン速度に対して一定の傾きを持った直線となる。

今回、車両の接地性を確保しつつ乗心地を向上するため、図5の赤線で示すような低ピストン速度領域のみが低減衰力の設定となるようSOL弁の改良を行った。これによって路面からの小入力に対しては入力を遮断・緩和することで乗心地を向上させ、接地性が損なわれるような大入力に対しては必要な性能を確保することを狙いとしている。

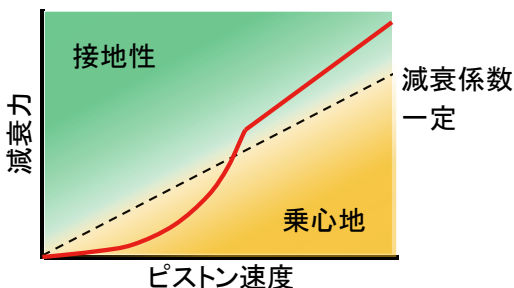


図5 ソフトモード減衰力の狙いと減衰係数

## 3 静粛性

ショックアブソーバによる車両異音としてコトコト音がある。これは少し荒れた簡易舗装路などを10～30km/hの低速で走行しているときに発生するコトコトという数100Hzの車内騒音である。

音の伝達系は図6に示すとおりであり、ショックアブソーバの行程切替わり時に生じる荷重変動がピストンロッドを加振し、車両側マウント（インシュレータ）を介し車体に伝達・共振して発生する音である<sup>4)</sup>。

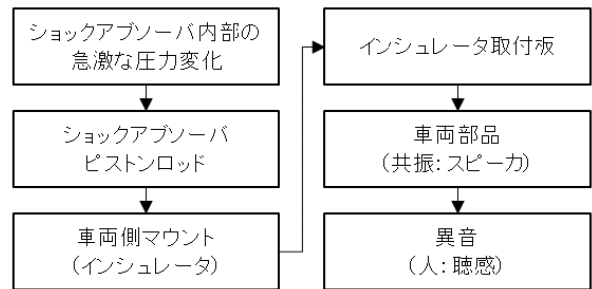


図6 コトコト音の伝達系

コトコト音の原因となるショックアブソーバでの急激な荷重変動は、多くの場合にバルブの開弁時に発生する。これはバルブ開弁前後での圧力特性が急変するためであり、これを低減する方法の一つとして、バルブと並列に設置されているオリフィス面積を大きく設定することが有効である。

## 4 SOL弁の改良

外付け式ソレノイド減調SAの減衰力調整機能を担うSOL弁の概要と今回の改良点、新型ソレノイド開発が必要になった背景について説明する。

### 4.1 SOL弁の概要と改良点

外付け式ソレノイド減調SAは3重管構造となっており、ショックアブソーバの伸・圧の両行程でSOL弁へ作動油が流れる。SOL弁はパイロット方式の電磁比例リリーフ弁となっており、制御電流に応じたソレノイド推力によって圧力をコントロールする。これにより最終的にショックアブソーバの減衰力を変化させる。

図7にSOL弁の簡易モデル図を、図8にSOL弁の油圧回路図を示す。

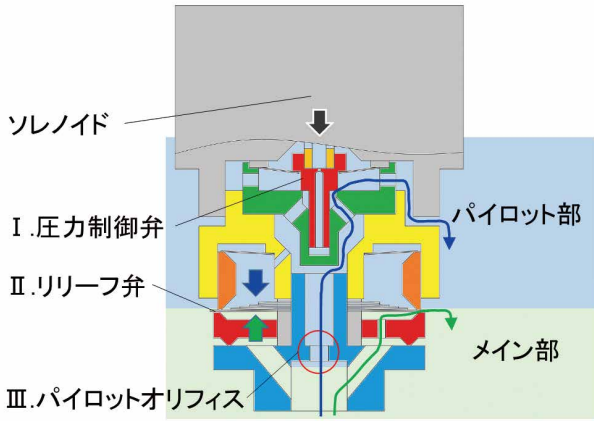


図7 SOL弁の簡易モデル図

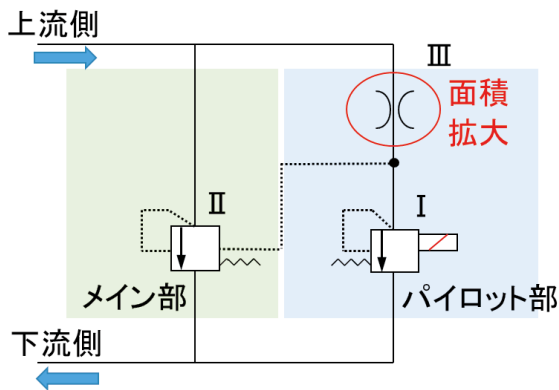


図8 SOL弁の油圧回路図

また、SOL弁の動きについては下記の通り説明する。

- ①パイロット部の流れに対してソレノイド推力を受けたI. 圧力制御弁にてパイロット圧力がコントロールされる
- ②パイロット圧力でII. リリーフ弁に閉じ方向の荷重が発生する
- ③パイロット流量が増加するとIII. パイロットオリフィスで発生する差圧が大きくなり、メイン側圧力が増加する
- ④メイン側圧力で発生する荷重が大きくなるとII. リリーフ弁が開弁する

乗心地向上のために低減したいソフトモードの低ピストン速度領域での減衰力は、パイロット部での発生差圧が支配的である。このため、今回の改良ではパイロット部のオリフィス面積を拡大することによって、減調SAの低ピストン速度領域での減衰力を低減した。

また、このオリフィス面積の拡大によって図9のようにメイン部バルブ開弁点前後での圧力特性の急激な変化を抑えることができる。これによって、ショックアブソーバでの急激な荷重変動を抑えるこ

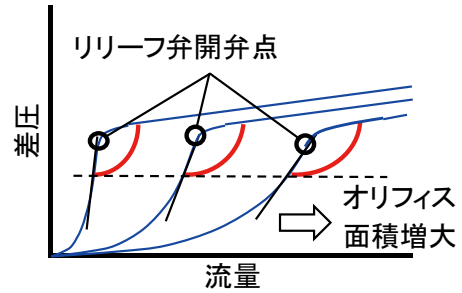


図9 オリフィス面積と圧力変動

とができ、コトコト音の発生抑制にも寄与している。

#### 4.2 SOL弁改良での課題

パイロット部のオリフィス面積を拡大すると図10に示すようにピストン速度に対するパイロット流量が増加してしまう。従来構造ではパイロット流量の許容限界が存在し、これを超えると意図せずフェールセーフモード<sup>注2)</sup>へ移行してしまう不具合が発生する。車両走行中に意図せずフェールセーフモードに切替わってしまうと、突然減衰力が大きくなり乗心地を悪化させてしまう。

注2) 減調SAへの電流が遮断されても車両の安全のため、ある程度の減衰力を発生するためのモード

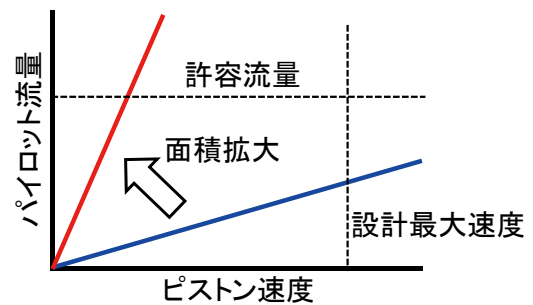


図10 従来構造での問題

これは従来構造においてフェールセーフモードへの切替えがパイロット流量に依存しているためであり、この構造のまま問題を解決するためには、SOL弁の体格をかなり大きくする必要があった。しかしながら、それでは車両搭載ができなくなる課題があった。

このため、従来構造のままパイロットオリフィスを拡大することは難しく、フェールセーフモードへの切替えを電流のみに依存した新SOL弁構造を検討し、フェール時(0A)でも推力を発生する新型ソレノイドを開発することとなった。

## 5 新型ソレノイドの開発

新型ソレノイドはKYB製減調SAの持つ課題を解決するために（株）タカコにて開発した。ソレノイド外観を写真2に示す。



ハーネスタイプ

ダイレクトタイプ

写真2 ソレノイド外観

### 5.1 ソレノイドの構造

フェール時（0A）に推力を発生させるためにソレノイドにスプリングを内蔵した。また、通電時に比例特性の推力を発生させるプランジャAと通電時にスプリングの推力を封印するプランジャBで構成されるダブルプランジャ（以下DP）ソレノイド構造を考案した。図11に無通電時の状態、図12に通電時の状態のDPソレノイド構造を示す。

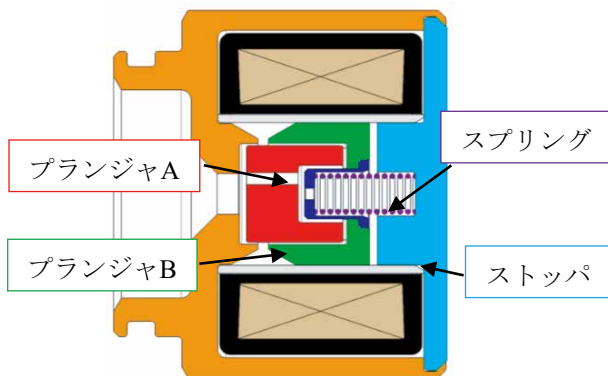


図11 DPソレノイドの構造（無通電時）

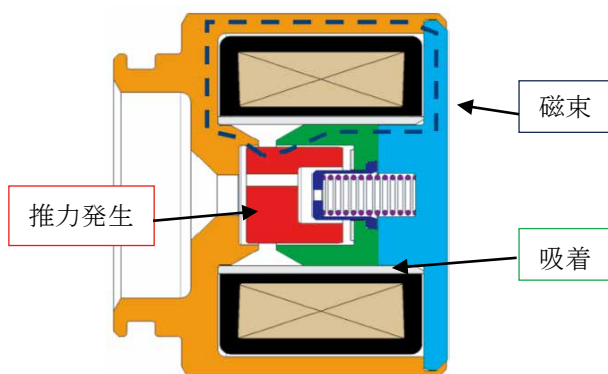


図12 DPソレノイドの構造（通電時）

### 5.2 DPソレノイドの動作

本構造は、プランジャAに比例ソレノイドの推力特性を持たせ、プランジャBにON/OFFソレノイドの推力特性を持たせたことを特長としている。

各ソレノイドの推力特性イメージを図13、図14に示す。

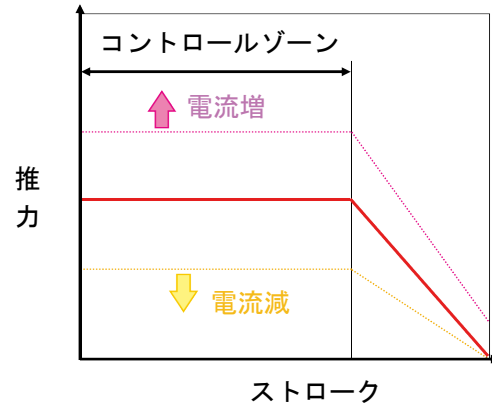


図13 比例ソレノイド推力特性イメージ図

比例ソレノイドの推力特性は、コントロールゾーン内において、プランジャがどのストローク位置においても制御電流の大きさに比例した推力が得られる。

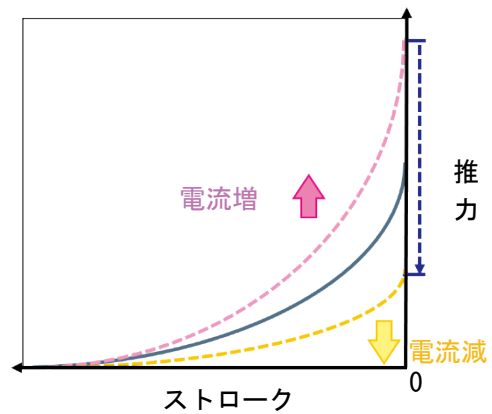


図14 ON/OFFソレノイド推力特性イメージ図

ON/OFFソレノイドの推力特性は、電流を減少させても吸着時（ストローク0mm）では高い推力を維持できる。

次に、DPソレノイドの動作について説明する。動作イメージを電流と推力の特性図にて図15に示す。

- ①無通電時（0A）はスプリング荷重にて推力が発生する。  
（フェールセーフモードの減衰力を決める）
- ②通電を開始すると制御電流範囲内、プランジャBがストッパに吸着し、スプリング荷重を封印する。

- (フェールセーフモードの解除)
- ③スプリング荷重から解放されたプランジャAは制御電流に応じた推力を発生させる。  
(車両走行時の減衰力を決める)
  - ④制御電流範囲以下の電流(又は無通電)になるとプランジャBがストッパから外れ、初期状態に戻り、スプリング荷重が発生する。  
(フェールセーフモードへの切替え)

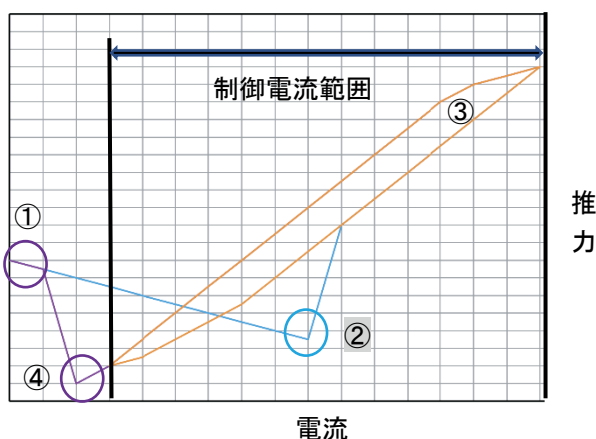


図15 電流と推力の特性図(動作イメージ)

ON/OFFソレノイドの推力特性により、制御電流範囲内であれば、低電流時であってもスプリングを封印し続けることが可能となっている。

### 5.3 DPソレノイドの成立性検討

決められた体格(車両搭載上問題とならないレベル)で、プランジャAの比例特性とプランジャBの吸着時推力を両立させる必要があった。

本構造は、従来のソレノイドとは異なり1つのコイルで2つのプランジャに推力を発生させる特殊な構造であるため、プランジャ別に磁場解析を行う工夫をし、推力検討を実施した。図16に磁場解析モデルのイメージ図を示す。その結果、プランジャAの比例特性とプランジャBの吸着時推力がトレードオフの関係にあることがわかり、初期試作の段階では、プランジャAの比例特性に対して課題があった。

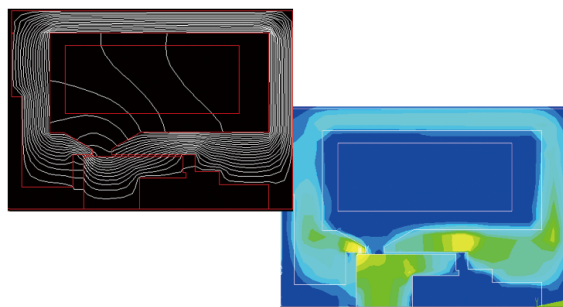


図16 磁場解析モデルイメージ図

対策形状を検討し、試作検証を実施。検証結果を考慮した上で、解析を重ねることで、プランジャAの比例特性が向上する形状と最適な部品バランスを見出すことに成功した。

### 5.4 安定作動

本構造は、制御電流範囲内でプランジャBが外れると本来の比例ソレノイドとしての機能を喪失してしまう。そのため、プランジャBが制御範囲内で外れないようにプランジャBの吸着力を安定させる方法を検討した。この検討より各部品間における磁束の受け渡しが阻害されることでプランジャBの吸着力が低下することがわかり、その対策としてソレノイドストロークを小さくすることが有効であると考えられた。

しかし、ソレノイドストロークについてはショックアブソーバの性能にも影響を与えるため、ソレノイドとショックアブソーバの双方の性能が満足する境界線を見極め決定した。

### 5.5 動作音の低減

本構造特有の異音として、プランジャBが作動した際にストッパと接触し発生する「カチッ」という動作音がある。プランジャBとストッパの距離が近づくと推力が高くなり、衝突音が発生する。初期試作品では実際の車両搭載状態でも異音として聞こえる課題があった。

衝突速度を抑制するため、プランジャBとストッパの間にある作動油を利用したダンピングオリフィス機能を取り入れた。図17にダンピングオリフィス部の拡大図を示す。

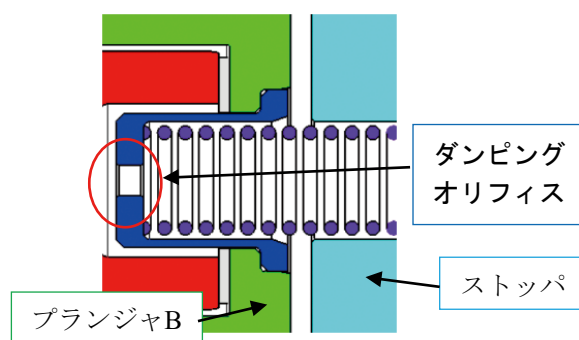


図17 拡大図

オリフィス径の決定にあたっては、ショックアブソーバの性能に影響を与えない径を確認し、決定した。

## 6 採用状況

本報で紹介した外付け式ソレノイド減調SAは2020年12月より発売しているトヨタ自動車(株)様のLEXUS LS<sup>注3)</sup>に採用頂き、高い評価を頂いている。

現在も複数車両にて採用に向けた開発を進めており、採用車両・生産数ともに拡大を目指している。

注3) LEXUS LSはトヨタ自動車(株)の商標です

## 7 おわりに

市場ニーズにあった乗心地と静粛性をレベルアップした外付け式ソレノイド減調SAを開発できた。今後も更なるニーズに合わせて改良を進めていく。

最後に本開発にあたりご指導、ご協力頂いた関係各位にこの場を借りて厚くお礼申し上げます。

### 参 考 文 献

- 1) 鎌倉, 古田, 森, 富田: 外付け式ソレノイド減衰力調整ショックアブソーバの開発, KYB技報第55号, (2017年10月).
- 2) 上野, 松下: 磁場解析を活用した比例ソレノイド減衰力調整式ショックアブソーバの応答性改善, KYB技報第57号, (2018年10月).
- 3) 太田: KYBグループにおける自動車用電制サスペンション開発, KYB技報第60号, (2020年4月).
- 4) KYB株式会社編: 自動車のサスペンション構造・理論・評価, P. 171 (2013).

## 著 者



安部 友泰

2010年入社. オートモーティブコンポーネンツ事業本部サスペンション事業部技術部第一設計室. ショックアブソーバの開発に従事.



土井 康平

2011年入社. 株式会社タカコ技術本部第二開発部. ソレノイドの開発に従事.