

# 内蔵式ソレノイド減衰力調整 ショックアブソーバの開発

五 味 瞭 汰 ・ 横 山 裕 紀

## 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。

セミアクティブサスペンションとは、路面入力に対し、リアルタイムで減衰力を調整するシステムを有するサスペンションである。

カヤバでは2016年、セミアクティブサスペンションの種類の一つである、外付け式ソレノイド減衰力調整ショックアブソーバ（以下、外付け式ソレノイド減調SA）の量産を開始している（図1）。



図1 外付け式ソレノイド減調SA

外付け式ソレノイド減調SAは減衰力調整部をショックアブソーバの外部に設置している。

通常のショックアブソーバは複筒式と呼ばれる2重管構造で、油室とガス室とを形成するシリンダとアウターシェルとを有するが、外付け式ソレノイド減調SAはそれらに加え、減衰力調整部への油路を形成する中間パイプを有する3重管構造である。

またカヤバ欧州拠点では2024年、外付け式2ソレノイド減調SAの量産を開始している（図2）。この製品は1本のショックアブソーバに伸用、圧用の2つの減衰力調整部を有するため、外付け式ソレノイド減調SAよりも高性能となる。

しかし、いずれも車種によっては外付の減衰力調整部が車両部品と干渉してしまうという課題があり、車両搭載性に優れた内蔵式ソレノイド減調SAの開

発をした。



図2 外付け式2ソレノイド減調SA

## 2 内蔵式ソレノイド減調SAの特徴

内蔵式ソレノイド減調SAは減衰力調整部を内蔵するショックアブソーバである（図3）。

通常のショックアブソーバと同様の複筒式であるが、ピストン部に減衰力調整機能を持たせている。外側に減衰力調整部を持たず、車両搭載性に優れる。

また中間パイプを必要としないためシリンダ径を大きくすることが可能である。ここで、シリンダ径はピストンの受圧面積であり、径が大きいと、狙いの減衰力をより小さい圧力で発生させることができる。すなわち、減衰力応答性に優れるものとなる。



図3 内蔵式ソレノイド減調SA

ただし、減衰力調整機能を有するピストン部は長さが長くなるため、ショックアブソーバのストローク量の制限が生じやすい。

外付け式ソレノイド減調SAと内蔵式ソレノイド減調SAとの得失表を表1に示す。

表1 セミアクティブサスペンション 得失表

|       | 外付け式ソレノイド減調SA | 内蔵式ソレノイド減調SA |
|-------|---------------|--------------|
| ストローク | ○             | △            |
| 搭載性   | △             | ○            |
| 応答性   | ○             | ◎            |
| 制御性   | ○             | ○            |

(◎：優 ○：良 △：可)

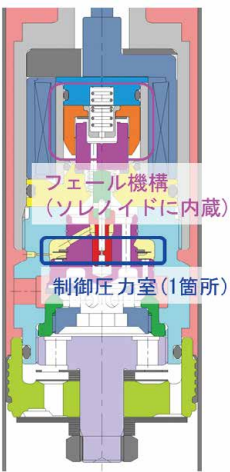
### 3 内蔵式ソレノイド制御弁の構成

ここで内蔵式ソレノイド制御弁（以下ソレノイド弁）の構成を下表に示す（表2）。

内蔵式ソレノイド減調SAはソレノイド部と減衰力調整部とピストン部とで構成される。

ソレノイド部はコイルと比例ソレノイドとがあり、それらがピストンロッドに内蔵される。なお、ソレノイドは外付け式ソレノイド減調SAと同様タカコ製ソレノイド<sup>1)</sup>を採用している。

表2 ソレノイド弁の構成

|           |                                                                                     |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 構造        |  |
| 制御圧力室     | 1箇所                                                                                 |
| フェールセーフ機構 | 有り<br>ソレノイドに内蔵                                                                      |
| 電流と減衰力の関係 | 低電流：低減衰力（ソフト）<br>高電流：高減衰力（ハード）                                                      |

減衰力調整部は低電流下では低い減衰力、高電流下では高い減衰力を発生させる部分である。減衰力の発生原理の詳細は4章で後述するが、先述のソレノイドからの力を受け制御圧力室の圧力をコントロールする。

ピストン部が持つ機能は通常の複筒式と同じくピストンとバルブで構成される。バルブはチューニング要素である。

内蔵式ソレノイド減調SAにはフェールセーフ機能が存在する。フェールセーフ機能とは、仮にシステムエラーでソレノイドに電流が導通しなくとも低すぎず、高すぎない車両として安全を担保できる減衰力を提供できる機能である。

2章で記載のように、ショックアブソーバストロークに制限が生じやすいという課題があるが、新開発の内蔵式ソレノイド減調SAではフェールセーフ機能をソレノイドに内蔵し、また内蔵制御圧力室は伸圧で圧力室を共用し、長さを短くする工夫をしている。

### 4 作動原理

内蔵式ソレノイド減調SAの作動原理を図4に示す。

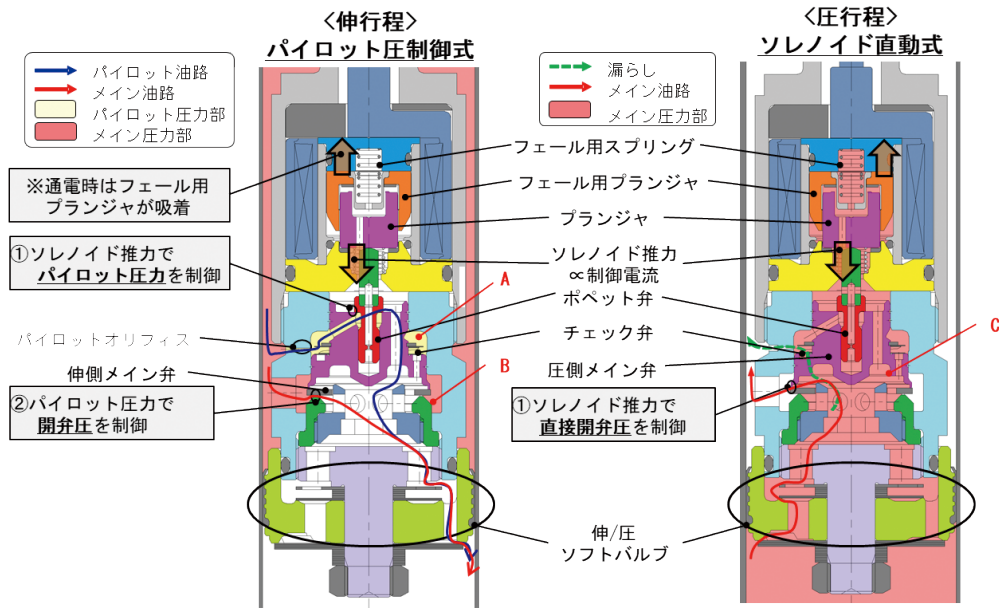
伸行程はパイロット圧力制御であり、ソレノイド推力が制御圧力室のパイロット圧(A)を、パイロット圧がメイン弁の開弁圧を決めている。

- I. パイロット圧(A)はソレノイド推力とポペットバルブの受圧面積で決まる。
- II. パイロット圧(A)と制御圧力室の受圧面積とでメイン弁の閉弁力が決まる。
- III. 上室圧(B)とメイン弁の受圧面積とでメイン弁の開弁力が決まる。このとき、開弁力がIIの閉弁力を上回るとバルブが開弁する。

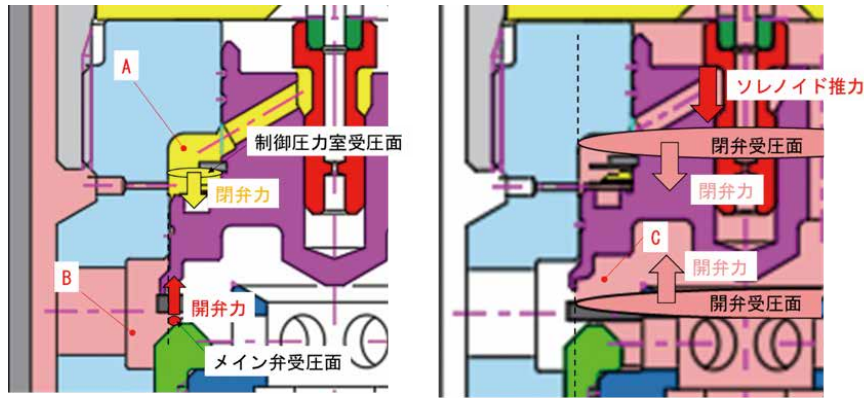
制御圧力室の受圧面積はメイン弁の受圧面積よりも大きく、可変幅を大きくすることが可能である。

圧行程はソレノイド直動式である。ソレノイド推力が直接メイン弁の開弁圧(C)を決めている。

ソレノイド直動式はパイロット圧力制御よりも開弁圧の調整代が少なくなってしまうという課題があるが、内蔵式ソレノイド減調SAでは圧行程でチェックバルブを開き、下室の圧力を制御圧力室に導くことでメイン弁の開弁受圧面積を増やし、少なくなりがちな調整代を確保している。



※伸/圧 共に フェール時はフェールばね荷重で開弁圧力を制御



(a)伸行程の力のつり合い

(b)圧行程の力のつり合い

図4 内蔵式ソレノイド減調SAの作動原理

## 5 内蔵式ソレノイド減調SAの開発

内蔵式ソレノイド減調SAの減衰力調整機能を担うピストン部のソレノイド弁について、その概要および改良点を説明する。

### 5.1 乗心地と操縦安定性の両立

車両の乗心地に最も影響を与える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、低い方が望ましい。特に微小な入力に対しては、低ピストン速度域での減衰力が乗心地の質感に大きく影響する。

一方、加速・減速・操舵時や大入力時は車両の挙動を安定させるため、減衰力は高い方が望ましい。上記のような場面に対応するため、ハードモード時の減衰力は低ピストン速度域から高くすることで、車両の挙動を安定させやすくなる。

以上より、減調SAの性能を最大限に発揮するためには、図5に示すように、低ピストン速度域においてソフトモード減衰力を低く設定し、ソフトモードとハードモードの減衰力差である減衰力可変幅を大きく確保することが求められる。

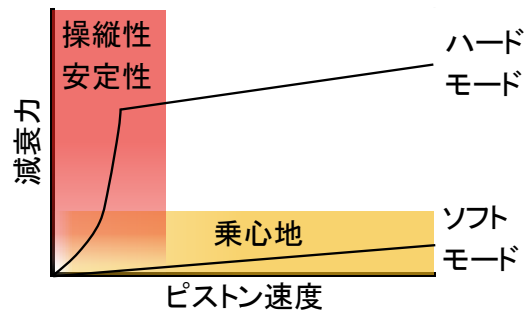


図5 減調SAの減衰力イメージ

ソフトモード減衰力を低減する手段としては、メイン弁の開弁圧を下げ、減衰力調整部で発生する圧力差を小さくすることが望ましい。メイン弁の開弁圧は、伸行程時にはパイロット圧、圧行程時にはソレノイドの推力に依存している。パイロット圧はソレノイドの推力により決定されることから、ソレノイド推力を低減することでメイン弁の開弁圧を低減することが可能となる。

これを達成するため、図6に示すように、ソレノイド内のプランジャに対して推力と反対方向に荷重を付与するリターンSPを追加し、ソフトモード時にプランジャを浮かせることで、メイン弁の開弁圧を極低くし、減衰力を低減した。

減衰力を低減すると車両の接地性が低下するが、最低限必要な減衰力については、図4に示すソフトバルブを調整することで確保している。

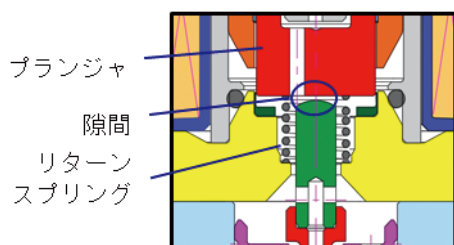


図6 ソフトモード時の減衰力低減方策

メイン弁の開弁圧が高いハードモード時に低ピストン速度域の減衰力を調整するため、メイン弁と接触するディスクのシート面にオリフィスを追加した(図7)。ソフトモード時の減衰力はメイン弁の開弁圧が極めて小さいため、オリフィスによる影響がほぼなく、ハードモード時のみ減衰力を大きくすることができる。

このオリフィスはチューニング要素となっており、車種毎に減衰力特性を最適化することが可能である(図8)。

## 5.2 減衰力チューニング性の向上

減調SAでは、時々刻々と変化する路面状況に応じて減衰力を切り替えているが、そのベースとなるソフトモード減衰力には、車種毎に最適な設定を行うため、高いチューニング性が求められる。

外付け式ソレノイド減調SAにおいては、外側に設置したソレノイド弁へ油を導く構造上、伸行程と圧行程をユニフロー(一方向流れ)としているため、標準ショックアブソーバに比べて、ソフトモード時の伸側/圧側減衰力を個別に調整しにくかった。

一方、伸行程と圧行程で流れが反転する内蔵式ソレノイド減調SAでは、ピストン部にソレノイド弁



図7 ディスクのオリフィス

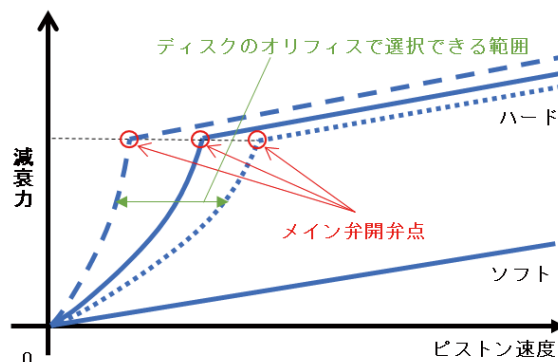


図8 ディスクのオリフィス変更時の減衰力特性

とソフトバルブとを直列に配置することで、ソフトモード時の減衰力は、標準ショックアブソーバに近い調整幅を確保している(図9)。さらに、伸側の減衰力可変幅についても、メイン弁の受圧面積をチューニング要素とすることで、車種毎の最適な設定を可能とし、チューニング性を向上させた(図10)。

## 5.3 減衰力波形改善

ショックアブソーバの一般的な課題として開弁遅れによる開弁前後の圧力変動がある。開弁遅れにより、開弁前後で圧力が急変するとショックアブソーバにおいて急激な減衰力変動が発生する。この減衰力変動が車両側のマウント(インシュレータ)を介して車体に伝達・共振することで、異音が発生する懸念がある。

パイロット圧力制御型の減調SAでは、メイン弁の開弁圧をパイロット圧で調整しているため、開き遅れがより発生しやすくなるという課題がある。この課題を解決するためには、メイン弁を圧力変動に応じてスムーズに作動させる必要がある。シミュレーションによる検証の結果、ソレノイド内部のプランジャの摺動摩擦はメイン弁の開き遅れへの影響が大きいことが分かっている。さらにプランジャにはソレノイドの吸引力により横方向の力が作用することで、非通電時と比較して摩擦が増大しやすい。

対策として、プランジャの外径部に摩擦低減効果のある加工を追加した(図11)。これにより、プランジャの摺動抵抗が低減し、開き遅れを抑制するこ

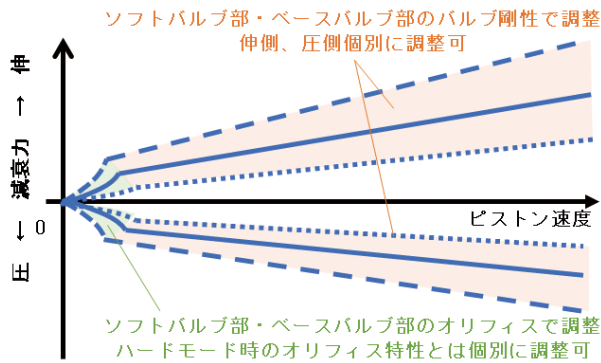


図9 ソフトモード減衰力の調整例

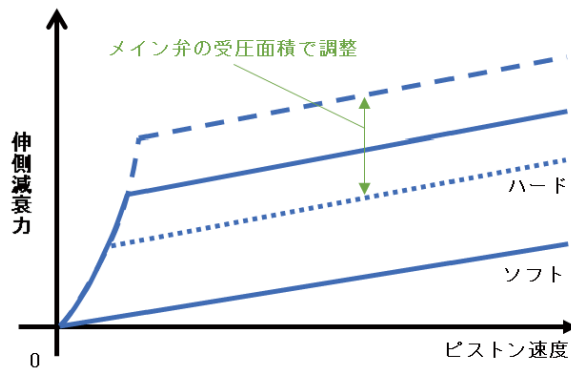


図10 伸側の減衰力可変幅の調整例

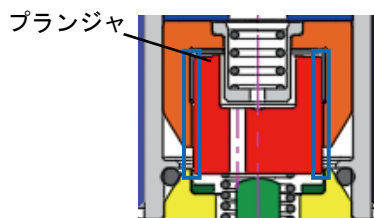


図11 摺動摩擦低減の対象部位

とで、開弁前後の圧力変動を低減している。

## 6 採用状況

本報で紹介した内蔵式ソレノイド減調SAは2026年1月より発売しているトヨタ自動車(株)様のLEXUS IS<sup>注1)</sup>に採用頂いている。合わせて摺動部品にはカーペットライド感とライントレース性を高次元で両立するProsmooth<sup>®</sup>を採用し、高い評価を頂いている<sup>2)</sup>。

現在も採用車種の拡大に向けた開発を進めており、複数のメーカーに製品提案を行い、採用車両・生産数ともに拡大を目指している。

注1) LEXUS ISはトヨタ自動車(株)の商標です。

## 7 おわりに

乗心地と操縦安定性を高い次元で両立し、車両搭載性にも優れた、内蔵式ソレノイド減調SAが開発できた。製品ラインナップを拡充し、お客様の幅広いニーズに応えることができるようになった。今後も更なるニーズに応えることができるよう開発を進めていく。

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) 安部. 土井. : 外付け式ソレノイド減衰力調整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. KYB技報第63号. (2021年10月).
- 2) 村田: ショックアブソーバ用摺動部品の開発 (Prosmooth<sup>TM</sup> の紹介). KYB技報第58号. (2019年4月)

## 著者



五味 瞭汰

2013年入社. オートモーティブコンポーネンツ事業本部四輪事業部プロダクト技術部第一設計室. ショックアブソーバの開発に従事.



横山 裕紀

2016年入社. オートモーティブコンポーネンツ事業本部四輪事業部プロダクト技術部第一設計室. ショックアブソーバの開発に従事.