

製品紹介

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

鎌倉 亮介 ・ 古田 雄亮 ・ 森 俊廣 ・ 富田 浩平

1 はじめに

2000年以降、自動車では操縦安定性と乗心地を両立させるため、セミアクティブサスペンション（用語解説「セミアクティブサスペンション」p.31参照）を搭載した車両が増加し、今後も増加していくことが予測される（図1）。

自動車用減衰力調整ショックアブソーバ（以下減調SA）の形式としては、制御電流に応じて無段階に減衰力調整ができ、切替調整の応答性に優れる比例ソレノイドバルブを搭載した減調SAが主流である（図2）。

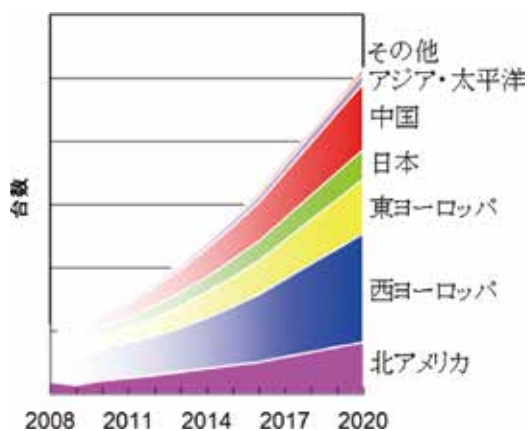


図1 セミアクティブサスペンション搭載車数量予測

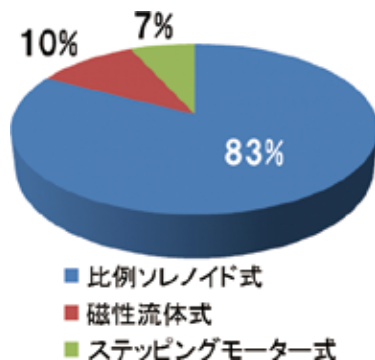


図2 減衰力調整方式の割合 (2016年度)

その搭載範囲はCセグメントのみならずBセグメントにまで採用されている（図3）



図3 セグメント別の搭載割合

ソレノイド減調SAには、ショックアブソーバ内にソレノイドバルブを設置する内蔵式とショックアブソーバ外側にソレノイドバルブを設置する外付け式の2種類の形式がある。その割合は、ショックアブソーバ諸元の成立性が高い外付け式が過半数を占めている。

KYBにおいては、2016年末より量産を開始した。本報では、外付け式ソレノイド減調SA（以下外付け式SOL減調SA）の開発について紹介する。

2 製品概要

2.1 外観

外観を図4に示す。



図4 外付け式SOL減調SA外観

2.2 仕様

外付け式SOL減調SAの仕様を表1に示す。

表1 外付け式SOL減調SAの仕様

基本構造	3重管ユニフロー構造
制御方法	圧力制御
バルブ部体格 (最外径×高さ)	φ39×53以下 車両搭載性に優位性を持たすため、世界最小サイズとした。
電流	低電流 ソフト 高電流 ハード
切替応答性	当社既製品 (ステッピングモーター式) に対して8倍以上 ソフト⇄ハード
フェールセーフ時の減衰力	ハード減衰力相当に設定可能なこと

2.3 減衰力特性の狙い

セミアクティブサスペンションでは、ショックアブソーバの減衰力可変幅を大きく（ソフト減衰力を低く、ハード減衰力を高く）設定し、その切替応答性を上げることで、操縦安定性と乗り心地を高次元で両立できると考える。外付け式SOL減調SAにおいても、世界最小のバルブ部体格を達成しつつ減衰力の可変幅を大きく、高い切替応答性を狙い仕様を設定した。減衰力特性の狙いイメージを図5に示す。

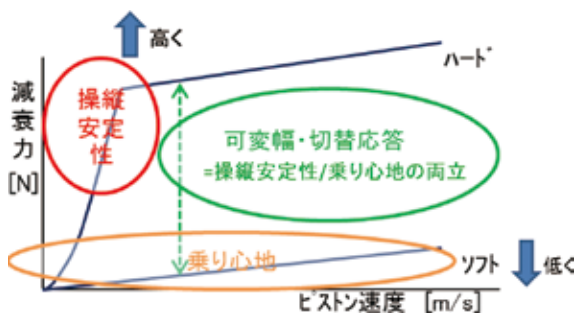


図5 減衰力特性の狙いイメージ

3 外付け式SOL減調SAの開発

3.1 3重管構造

ショックアブソーバの外側に設置したソレノイド制御弁（以下SOL弁）に油を導くためにシリンダ・中間パイプ・アウターシェルで構成される3重管の構造を採用した。また、伸行程と圧行程を1つのSOL弁で減衰力を調整するために、作動油の流れをユニフロー（一方向流れ）とした。図6に、3重管

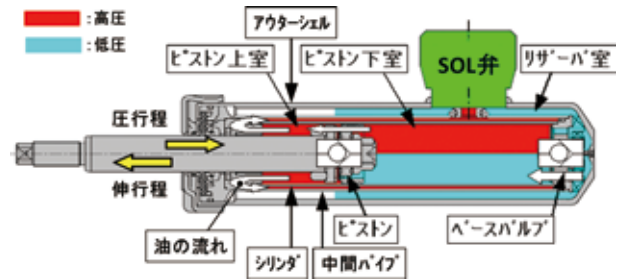


図6 3重管ユニフロー構造図

ユニフローの構造図と作動油の流れを示す。

本構造では、ピストン・ベースバルブは原則チェック弁になっており、主に減衰力はSOL弁で発生させる。伸/圧行程共に、ピストン上室は高圧となりシリンダ～中間パイプ間を通りSOL弁までが制御圧となる。その後、SOL弁から吐出される作動油はリザーバ室へ戻り、伸行程時にピストン下室容量分はベースバルブを通して供給する構造となっている。

3.2 制御方法

SOL弁は流体の圧力差を用いて弁体を駆動させるパイロット方式の電磁比例リリーフ弁を用いる。パイロット弁の制御方法には、圧力制御と開口面積制御の2種類がある。減衰力特性のイメージを図7に示す。

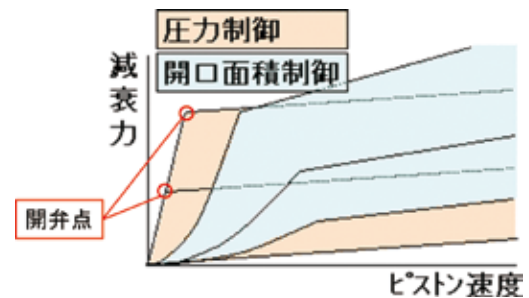


図7 圧力制御と開口面積制御の減衰力特性イメージ

圧力制御の場合、制御電流でパイロット室の圧力（パイロット圧）をコントロールするため、開弁点は変化するがソフトからハードまで減衰力/ピストン速度の勾配は一定となる。そのため、低速域の減衰力可変幅で操縦安定性を高めた時でも、中～高速域減衰力の上昇を抑えられ乗り心地を悪化させない。

この勾配が一定となる特性は、標準的なパッシブダンパと電流にのみ依存し減衰力を発生させる可変ダンパを1本に集約できている特性になる（図8）。

一方、開口面積制御の場合、制御電流でパイロット弁の開口面積をコントロールするため、減衰力/ピストン速度の勾配は制御電流ごとに変化し、減衰力は電流と速度の両方で決まる。

これらを用いて、スカイフック制御等のセミアク

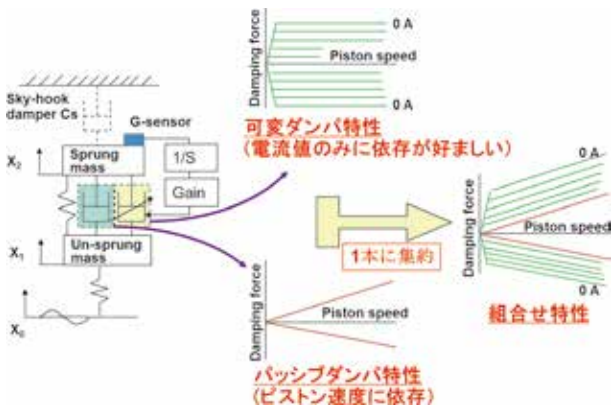


図8 圧力制御と制御性

タイプ制御を実現させる場合、圧力制御のように減衰力を電流のみで設定できればピストン速度を検出する必要がなくなるというメリットがある。また、開口面積制御の場合、部品寸法を高精度にする必要があるため高コストになる。

各制御方式については、市場において採用されている実績はあるが、本開発品においては、操縦安定性と乗心地を両立させやすく、また、制御性と部品精度の面から圧力制御を採用した。

3.3 SOL弁構造

SOL弁の簡易モデル図を図9に示し、作動原理を図10に示す。

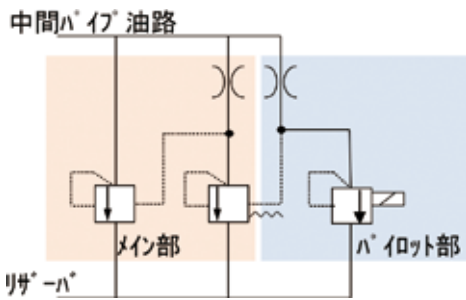


図9 SOL弁の簡易モデル図

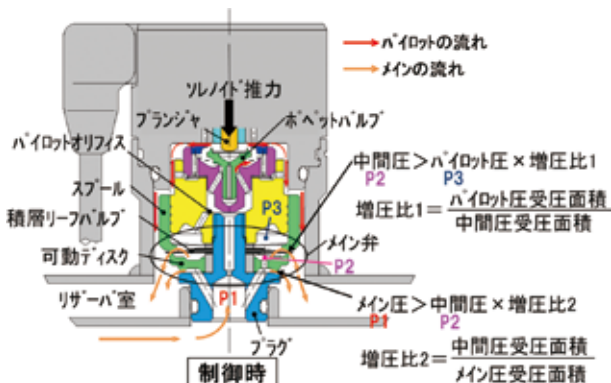


図10 作動原理

SOL弁における制御時の作動油の流れについて説明する。

パイロットの流れ：メイン流れから一部はプラグに設けられたパイロットオリフィスを通りパイロット室内に流入する。そこで、ソレノイド推力で設定された圧力に制御され、それを超えるとポップアップバルブが押し上げられパイロット室から吐出される。

メインの流れ：低流量時（中間圧=メイン圧）メイン弁は積層リーフバルブとスプールで構成されており、その下側に中間圧・上側にパイロット圧を受け、中間圧がパイロット圧の設定増圧比倍に達するとリーフバルブを押し上げリザーバ室へ吐出される。流量が増加すると（中間圧<メイン圧）、下側に配置された可動ディスクの上下側で同様の動きとなり可動ディスクを押し上げリザーバ室へ吐出される。

代表的な減衰力特性イメージを図11に示す。

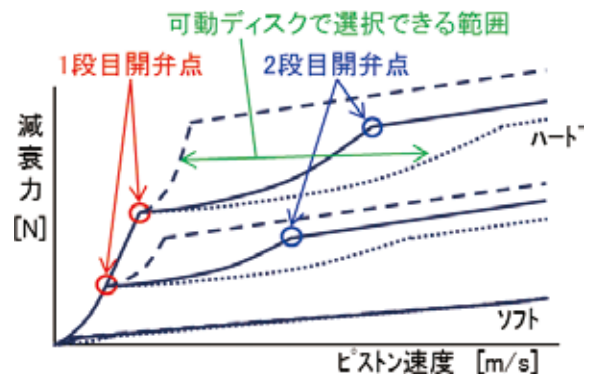


図11 減衰力特性イメージ

3.4 SOL弁の開発

SOL弁は要素開発段階に抽出した以下課題を改善しつつ開発した。関連部位を図12に示す。

- ①バルブの安定作動（減衰力振動波形改善）
- ②ソフト減衰力の低減化
- ③高応答化

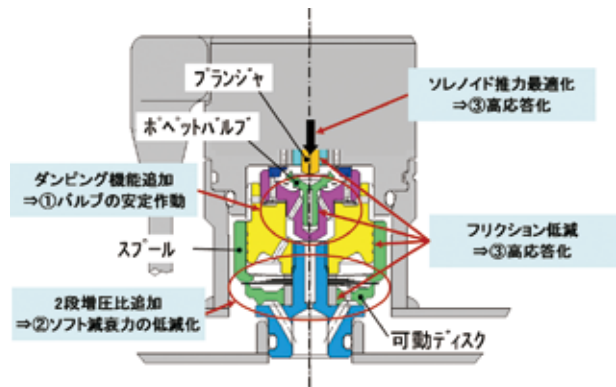


図12 開発関連部位

①バルブの安定作動（減衰力振動波形改善）

要素開発段階で、ショックアブソーバ加振時の減衰力に異常な振動波形が認められた。ポペットバルブの自励振動が原因であり、振動抑制にはポペットバルブを減衰させることが効果的であるためダンピング機能を取り入れた。ポペットバルブ拡大図を図13に示す。

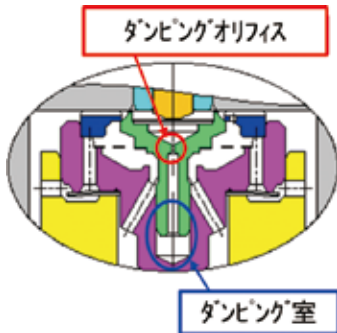


図13 ポペットバルブ拡大図

②ソフト減衰力の低減化

要素開発段階では、バルブ開弁は1段のみで、ハード側の減衰力可変幅を大きく確保するために開弁圧を高く設定していた。そのため、ソフト減衰力も増加するという課題があった。対策として開弁点を2段階とし、低速域では開弁圧力を抑えソフト減衰力を低減し、常用速度域では2段目の開弁圧力を高く調整可能な構造とした。また、開口部を2系統に分けることで開口面積を大きく設定し、中～高速域の減衰力の増加を抑えた構造とし、乗心地の質を向上した。メイン弁部を図14に示す。

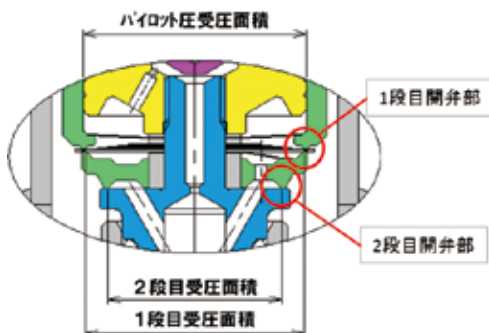


図14 メイン弁部

③高応答化

高応答化については、ソレノイド推力の応答性向上と、SOL弁内のプランジャ、ポペットバルブ、スプール、可動ディスクが摺動する際の摺動抵抗の低減が有効であると考えられた。

ソレノイド推力の応答性については、動特性解析

を品質工学の手法を用いて実施した（図15、16）。その結果、ソレノイド推力と応答性は相反する傾向があることが解り、ソレノイド推力を必要最小とすることで応答性を向上させた。

また、摺動部については最適となる形状及び、材質を選定することで摺動抵抗の低減を図り、各部のスムーズな動きを実現し、高応答化を実現した。

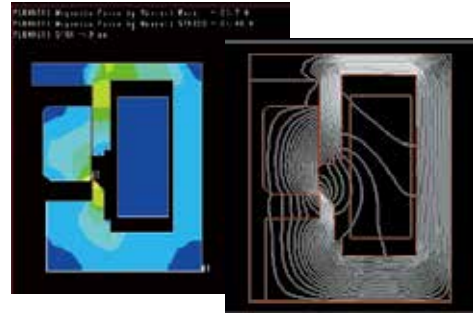


図15 動特性解析の例

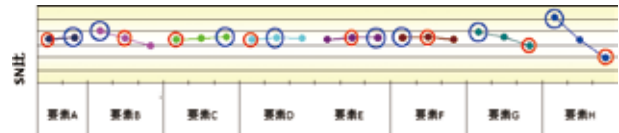


図16 品質工学における要因効果図の例

4 中間パイプ開発

中間パイプ（図17）は、外付け式SOL減調SAに欠かせない構成部品であり、その外径側に突き出した横穴油路によってSOL弁で発生した油圧力をピストン上室へ導く油路を形成する。



図17 中間パイプ外観

中間パイプは十分な耐圧疲労強度を確保する必要がある（図18）。減衰力調整の可変幅を大きく、また、



図18 中間パイプに加わる圧力

ユニフロー構造であるため、伸／圧行程の減衰力発生に伴う繰返しの圧力変動を受けるため、静的な強度だけでなく十分な疲労強度も求められる。

中間パイプが繰返し内圧を受ける際、円周方向に引っ張る力（一般にフープ応力と呼ばれる）が生じる。この力が特に横穴油路付近に応力集中を生じ、その結果、亀裂が発生して圧力が抜け減衰力を生み出す機能を喪失してしまうことがある（図19）。

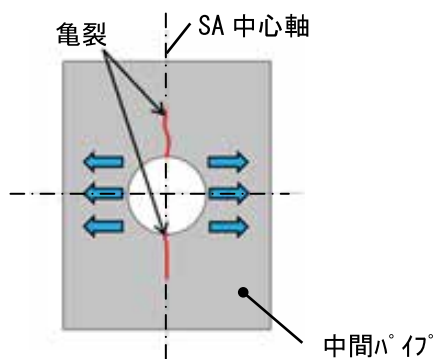


図19 亀裂の形態

応力低減を図るためには、パイプ板厚を上げることが有効であるが、質量増加の懸念及び構造上外周側スペースに制約があり、中間パイプ板厚を上げることなく強度を確保する必要があった（図20）。

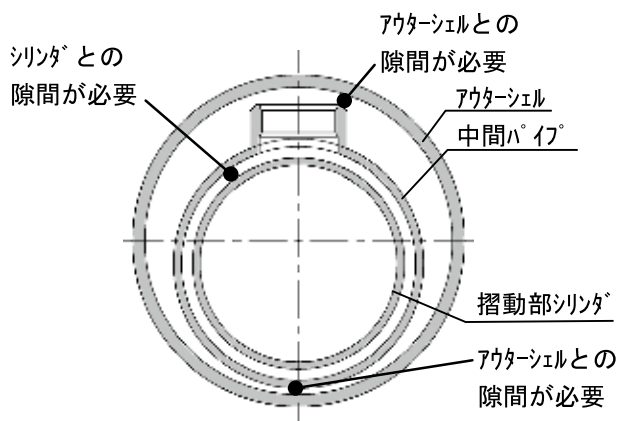


図20 組付け時外筒・内筒とのスペース制約

応力緩和の手段として、FEM応力解析及び実機検証を行い、中間パイプの横穴を丸形状から長穴形状とし応力集中部の最大応力を約4割低減した（図21）。その結果、耐圧性を満足するにはパイプの必要板厚は2.2mmほど必要であったところ、横穴形状の長穴化によって1.3mmの薄肉状態で強度を確保することができた（図22）。

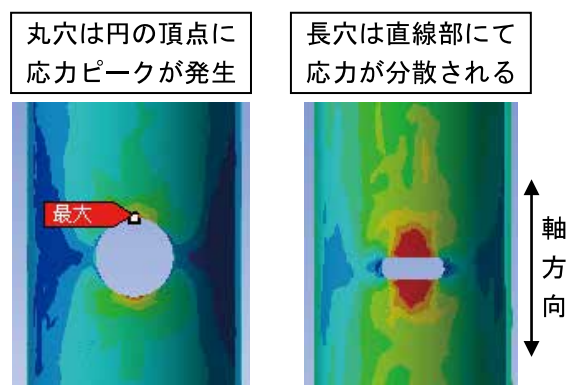


図21 長穴の応力解析結果例

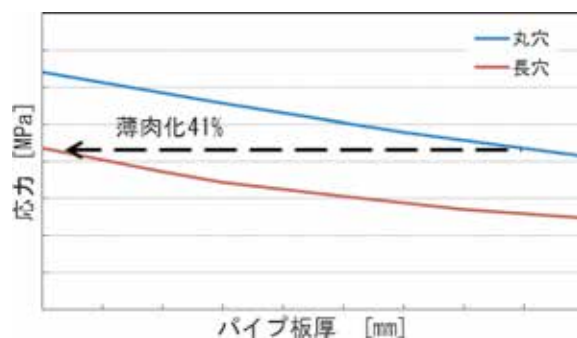


図22 穴形状-板厚-パイプ応力の関係

5 採用状況

本開発製品は2016年11月より量産を開始し、現在も多数の車種に採用が検討されており、適用開発を進めている。また、標準ショックアブソーバとは一線を画す高付加価値製品としての位置付けで、今後の主力製品として展開を進める予定であり、採用車種・生産数ともに拡大が期待される（図23）。

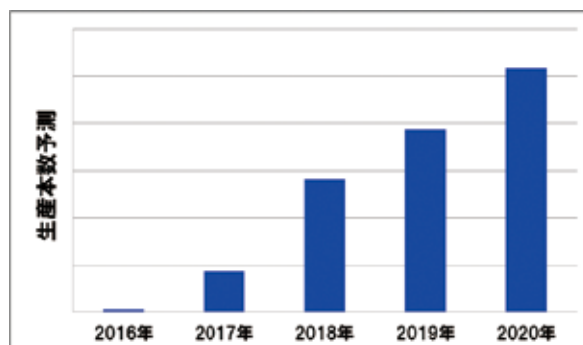


図23 外付け式SOL減調SAの生産本数予測

6 おわりに

車両搭載性にも優れ、高い次元で操縦安定性と良質な乗心地の提供を可能とした、外付け式SOL減調SAが開発できた。今後、更なるニーズに応えるた

めの製品種類として、内蔵式SOL減調SAの開発も進めていく。

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) 君嶋：微低速域高減衰バルブの開発, KYB技報第54号, (2017年4月).

著 者



鎌倉 亮介

1994年入社. オートモーティブコンポーネンツ事業本部技術統轄部製品企画開発部. ショックアブソーバの要素開発に従事.



古田 雄亮

2000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.



森 俊廣

2006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.



富田 浩平

2012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.