

製品紹介

周波数感応ショックアブソーバの拡販への取り組み (大型車両への適用)

古田 雄 亮 ・ 村 田 貴 夫 ・ 柴 田 宜 浩 ・ 萬 谷 浩 章

1 はじめに

周波数感応ショックアブソーバ（以下ハーモフレック^{注1)}は乗心地と操縦安定性の両立を図るべく開発され、2009年より量産を開始した。従来のショックアブソーバ（以下SA）では減衰力を上げたい事象と下げたい事象の性能の両立が不可能であった（図1）。しかし、ハーモフレックでは周波数に応じて減衰力が変化するため、操縦安定性を確保した上で、特にひび割れ路のざらつき感^{注2)}、ゴツビリ入力^{注3)}といった乗心地を大幅に改善することができ、お客様及びジャーナリストからも高い評価を頂いた。以下に2009年当時の評価コメントの一部を示す。

（以下、評価コメント）

- ①ゴツゴツとした突き上げ感が無く、コーナリング中の複雑な入力に対しても安定している。
- ②細かい振動では減衰を抑え、ゆっくりと大きなストロークではしっかりと減衰力を発揮し、快適性と操縦安定性を兼ね備えている。

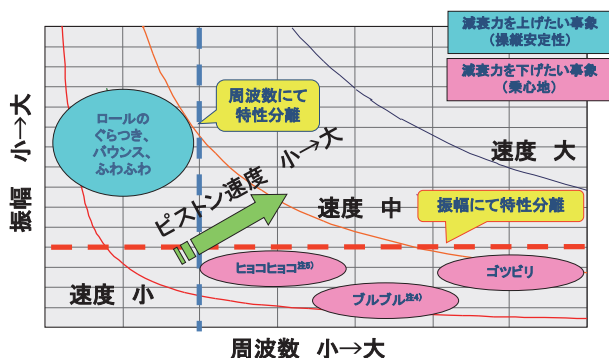
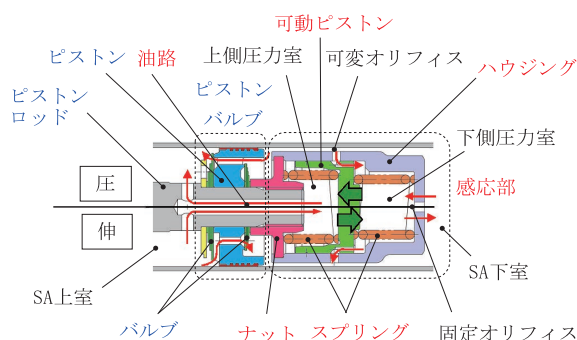


図1 周波数、振幅と車両挙動

ハーモフレックの技術解説についてはKYB技報第40号に詳細が記載されているため（周波数感応ショックアブソーバの開発，P15），詳細はそれによるものとし、ここでは概略のみを以下に示す。

図2に周波数感応部の拡大図を示す。ハーモフレックは従来のSAにおいてピストンとピストンバルブを締付けるナットの替りに、ピストンロッド先端に入力周波数に応じて減衰力を変化させる感応部をネジ締結している。従って、従来構造のバルブに対し、この感応部を追加し、ピストンロッド感応部へSA上室圧力を導くための油路を形成するだけで、周波数感応機能を付加できる。



〔赤文字：新規部品または追加加工部位，青文字：量産部品〕
赤矢印：作動油の流れ，緑矢印：可動ピストンの動き

図2 バルブ構成と油の流れ

注1) Harmony(調和)とFrequency(周波数)を合わせた造語で周波数感応を意味する。

注2) 路面のひび割れ等がタイヤを介して高周波振動、ノイズとなって感じられること。

注3) 路面の微小な突起等によりフロアからゴツゴツ、ビリビリと感じられる入力。

注4) タイヤばねとバネ下質量による固有振動によって感じられるブルブルとした振動。

注5) サスストロークを感じられず体が上下、前後に揺すられる感覚。

図3に減衰力-周波数特性の模式図を従来のSAと比較して示す。

従来のSAでは、速度が同じであれば周波数に変化しても、減衰力はほぼ一定の値が得られる。これに対してハーモフレックは、人間が乗心地の良し悪

しを感じる周波数3 Hz以上の入力振動に対して、従来のSAよりも減衰力を積極的に低くすることで、車体への振動入力を軽減して乗心地を向上させる。逆に、ばね上の共振周波数（約1.5Hz）以下では、減衰力を従来のSAよりも高く設定して、減衰力の立ち上がり不足による操縦安定性の悪化を抑制する特性としている。¹⁾

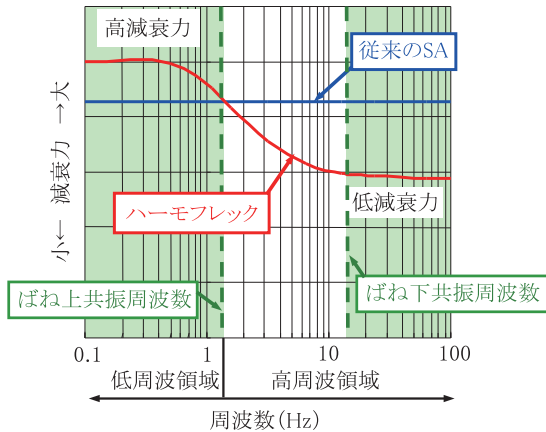


図3 減衰力-周波数特性の模式図
(加振速度一定の条件)

2 乗用車向け拡販状況

図4にハーモフレックの生産数推移を示す。2009年に高級セダン用C30複筒ガスSAが量産となり、その後2012年には高級セダン用C40単筒ガスSAへの採用、高級セダン以外にSUVにも採用され生産数を伸ばしてきた。また、量産後、さまざまな路面入力に対する可動ピストンとハウジングの底付き対策として、図5のような底付き接触部にクッションを追加、また、流路面積の変更といった改善を行ってきた。2013年以降は主要な高級セダンへの採用を果たしたこともあり、生産数は横ばいの見込みである。

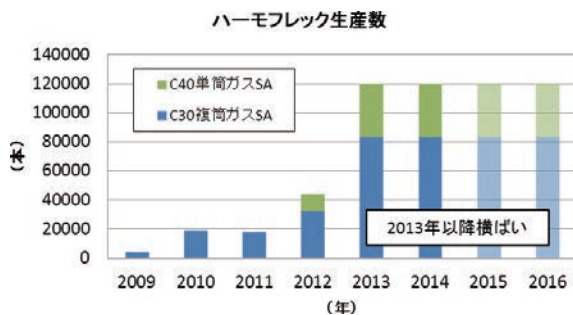


図4 生産数推移

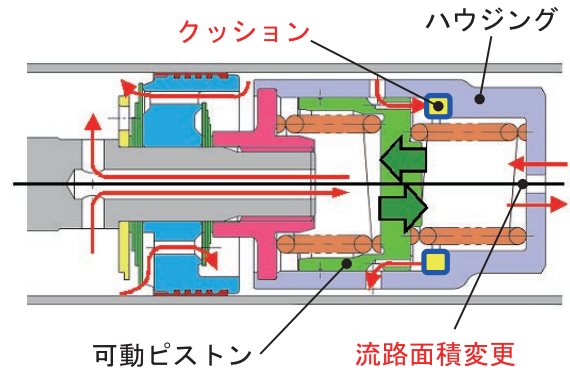


図5 底付き対策

3 新たな分野への拡販

ハーモフレックは、乗用車向け拡販状況から、乗用車以外での新たな分野への拡販が必要となってきている。まず、乗用車分野で培ってきたハーモフレック技術を活用しやすいと考える鉄道、バス、トラックなどの大型車両（今回はバスを想定）を対象とし設計検討を進めていく（図6）。

大型車両においては、操縦安定性・乗心地について空荷から満載状態をカバーできるサスペンションが求められる。現状は満載状態での安全性を重視し、ばね下に構成されるタイヤ、ばね、SAの特性を硬めにするすることで、積載量増加に対応している。そのため、空荷に近い状態での乗心地悪化が指摘され、車両メーカー、SAメーカーが対応に苦慮している。

したがって、大型車両においても、客室もしくは荷室となるばね上の荷重変動に伴うばね下の動きの変化に対し、ばね下の特性をフレキシブルに変更できるハーモフレックを採用可能と判断した。

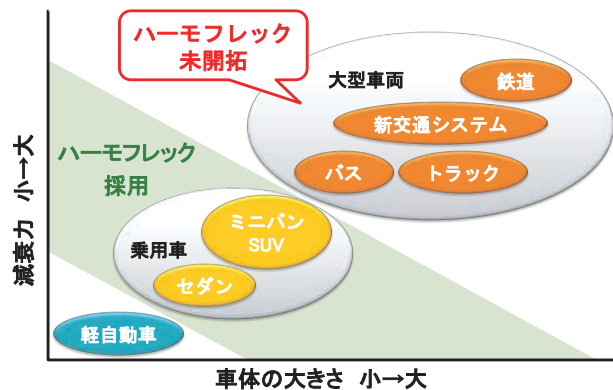


図6 ハーモフレック採用の現状

4 開発の概要

大型車両と乗用車の車両諸元を表1に示す。

表1 大型車両・乗用車パラメータ比較

	記号	大型車両	乗用車	単位/輪	備考
ばね上質量	m2	875	360	kg	満載時
ばね下質量	m1	338	55	kg	
ばね定数 (懸架ばね)	k2	157	50	N/mm	
SA 減衰係数	c2	(伸)14700 (圧)14700	(伸)9280 (圧)5820	N・s/m	加振速度 0.1m/s時
SA減衰力	—	(伸)1500 (圧)1500	(伸)947 (圧)594	N	加振速度 0.1m/s時
ばね定数 (タイヤ)	k1	1196	256	N/mm	
減衰係数 (タイヤ)	c1	3.5	0.2	N.s/mm	

現在量産化しているハーモフレックが搭載されている乗用車に比べ、大型車両の車体質量(=ばね上質量)が2倍近く重いことがわかる。大型車両のばね上質量を支えるために、SAの減衰力、懸架ばねのばね定数、タイヤのばね定数・減衰係数といったサスペンション構成部品の特性が大きくなっており、大型車両用ハーモフレックの開発が必要と判断した。

そこで、大型車両用ハーモフレック開発のため、シミュレーションを用いて、周波数感応部の仕様検討(4.1節)と試作品ハーモフレックの効果の事前確認(4.2節)を行った。

4.1 周波数感応部の仕様検討

減衰力-周波数線図(図8)を用いて、周波数感応部の仕様検討を実施した。減衰力-周波数線図の計算には、ハーモフレックよりピストン部(ピストンバルブと周波数感応部)を抜き出した簡易モデルを活用した(図7)。

なお、比較のために、ハーモフレック無し仕様(=周波数感応部のない従来のSA)を図7の右側に示す。

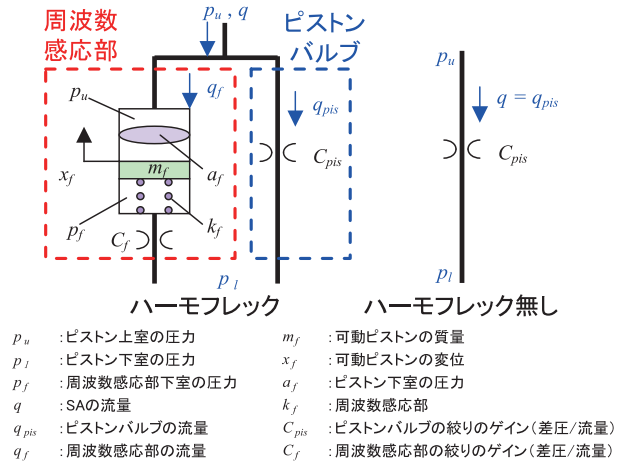


図7 ピストン部簡易モデル

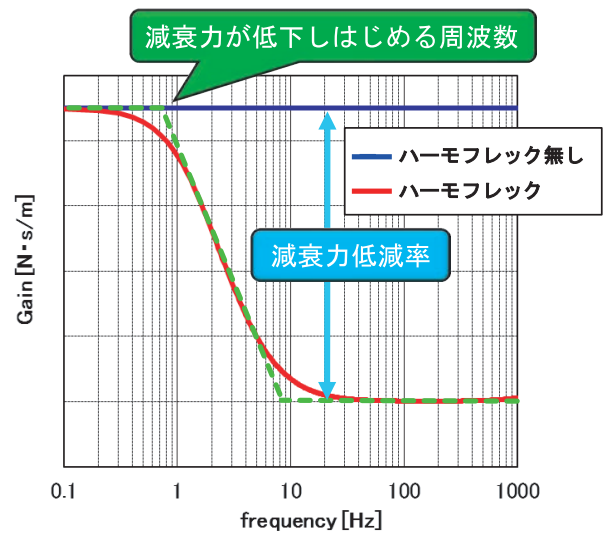


図8 減衰力-周波数線図

ハーモフレックの周波数特性(図8)では、減衰力が低下しはじめる周波数と減衰力低減率(最大値に対する変化量の比率)を評価する。

大型車両用ハーモフレックの周波数感応部の設計目標は、人間が感じやすい3Hz以上の乗心地を乗用車同様に向上させるために、減衰力の低下しはじめる周波数と減衰力低減率を乗用車同等にすることとした。

大型車両では、乗用車に比べてSAに高減衰力が求められることから、減衰力が低下しはじめる周波数が低周波となること、減衰力が必要以上に低減してしまうことが懸念される(図9)。

そこで、減衰力が低下し始める周波数が低くならないように、周波数感応部のばね定数を高くし、減衰力が必要以上に低減しないようハウジングの可変オリフィス径を小さくすることで、図10の減衰力-周波数線図に示す乗用車同等の特性にすることができる。

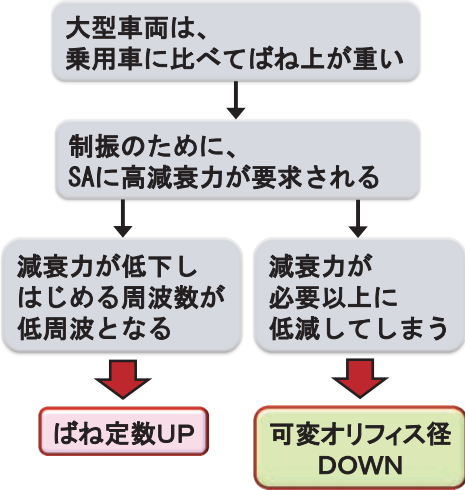


図9 周波数感応部の狙い

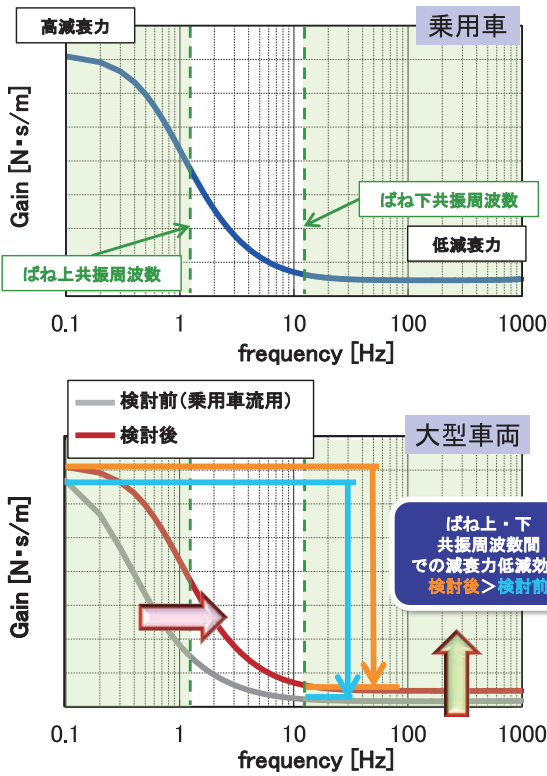


図10 乗用車と大型車両の減衰力-周波数線図

乗用車の諸元(表1)で設計した周波数感応部を大型車両に流用すると、シミュレーション結果は図10の下側の検討前(灰色)となり、図9の懸念点(減衰力が低下しはじめる周波数が低周波、減衰力が必要以上に低減)の通りとなる。この懸念点を払拭し、コスト低減・開発期間短縮のため、量産部品で構成した周波数感応部の仕様検討結果を表2、各特性値のシミュレーション結果を表3に示す。

表2 周波数感応部の仕様検討結果

	周波数感応部	
	内蔵スプリング ばね定数 (N/mm)	ハウジング 可変オリフィス径(mm)
乗用車量産実績	14.5	1
大型車両用 仕様検討品	29	0.7

表3 各特性値のシミュレーション結果

	減衰力が低下 しはじめる周波数	減衰力低減率
乗用車量産実績	0.76Hz	90%
大型車両用 仕様検討品	0.53Hz	90%

量産部品の中から可能な限りばね定数を高くした結果

4.2 試作品ハーモフレックの効果の事前確認

大型車両でのハーモフレックの効果を確認するために、2自由度ばね-マス系の計算モデル(図11)を用いて検討を行った。

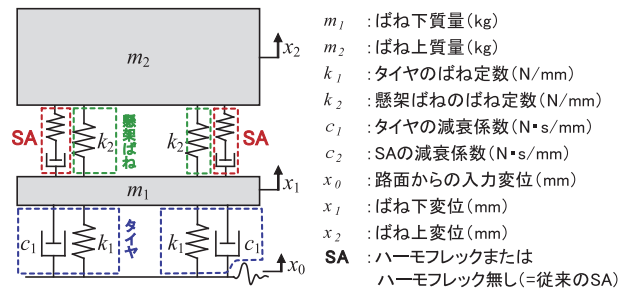


図11 2自由度系大型車両の計算モデル

4.1節で仕様検討した周波数感応部を含むピストン部の簡易モデル(図7)をSAに織込んでいる。なお、入力路面 x_0 は車速60km/h走行時に相当するランダム路面とした。

大型車両の開発では、満載状態での操縦安定性と空荷状態での乗心地確保が要求される。

そこで、事前確認では、車両が空荷状態と満載状態を想定してシミュレーションを行った。また、試作品に要求されている減衰力2水準(加振速度0.1m/s時 低減衰仕様:伸/圧600N, 高減衰仕様:伸/圧1000N)を設定(図12)し、周波数感応部の適応範囲の確認も行った(図13)。

この計算モデルでは、乗心地評価のために、乗員

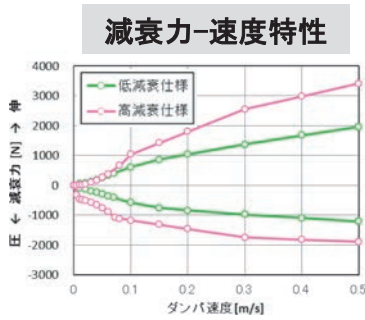


図12 減衰力-速度特性線図

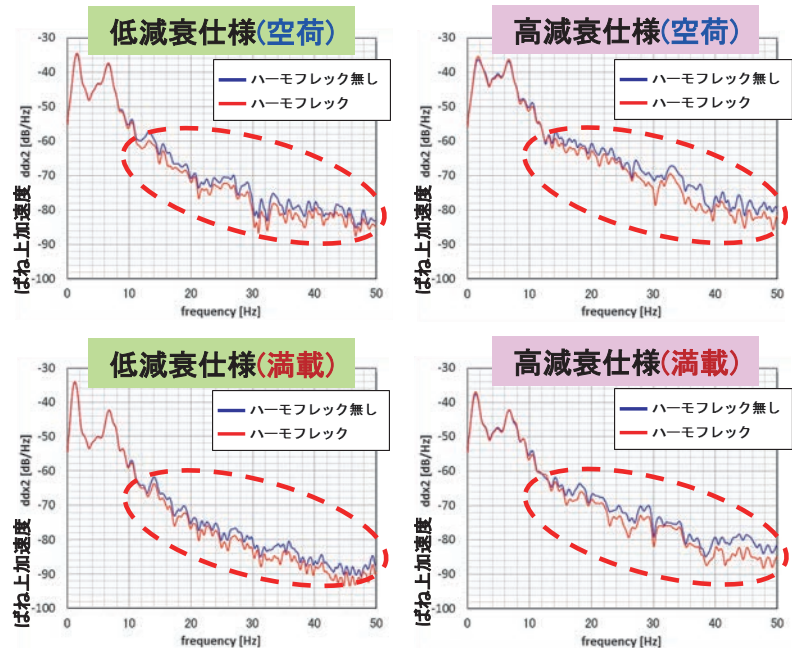


図13 試作品ハーモフレックの効果の事前確認結果

に近いばね上の加速度の周波数特性を評価する。

なお、ばね上の加速度が小さいほど、乗心地が良いと考え、ハーモフレック無しSAよりもハーモフレックがばね上加速度を低減できていることを目標とした。

図13のシミュレーション結果（赤色破線部）より、高周波域（10Hz以上）においてハーモフレック無しSAよりもばね上加速度が低減でき、減衰力を下げてもハーモフレックの効果が得られ目標を達成することができた。

4.3 試作品ハーモフレックの実機効果確認

4.2節で効果を事前確認した試作品を製作し、減衰力-周波数特性試験を行った結果を図14に示す。

シミュレーション結果（目標値）に対して差が出ている箇所もあるが、高周波域の減衰力を低減できていることが実機で確認できた。

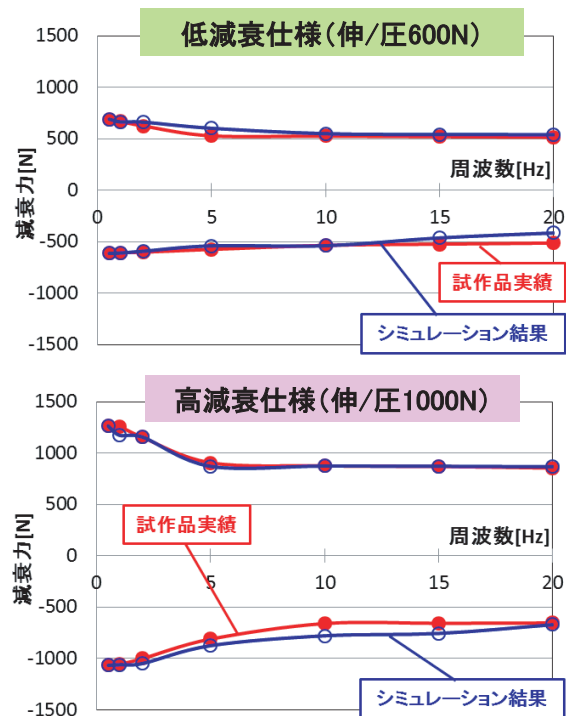


図14 試作品ハーモフレック実機減衰力-周波数特性試験結果

なお、試作品ハーモフレックは高減衰力を要求される大型車両用のため、シリンダ径を40mm、ピストンロッド径を16mmとしたSAに4.1項で検討した周波数感応部を織込んだ製品（図15）となる。

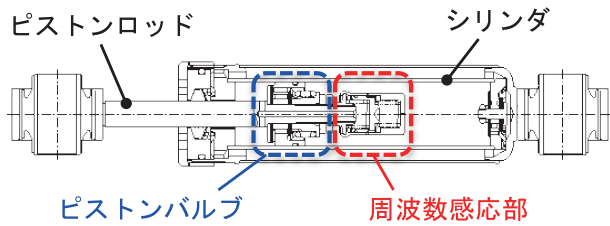


図15 大型車両向け試作品ハーモフレック構造図

5 まとめ

乗用車におけるハーモフレックの生産数量は順調に増加してきた。

更なる拡販を目的に、新たな分野となる大型車両への適合検討を実施し、車重増減分に対応できるハーモフレックの設計知見を得た。

今後、実車との整合性を確認することで予測精度を高め、乗用車という分野を飛び越えた拡販を目指したい。

参考文献

- 1) 寺岡・稲満：周波数感応ショックアブソーバの開発
KYB技報第40号 2010年4月

著者



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技術統轄部サスペンション技術部。ショックアブソーバの開発に従事。



村田 貴夫

2001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サスペンション技術部。ショックアブソーバの開発に従事。



柴田 宜浩

2004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サスペンション技術部。ショックアブソーバの開発に従事。



萬谷 浩章

2009年入社。技術本部CAE推進部（岐阜分室）。岐阜地区製品の解析業務に従事。