



コンポーネント技術 特集

パフォーマンスダンパーの開発

Development of the Performance Damper

沢井 誠二 Seiji Sawai 坂井 浩二 Kouji Sakai 近藤 勝広 Katsuhiko Kondou

佐藤 正浩 Masahiro Satou

●AM事業部 AM第2技術室



サスペンションタワー間



リアシート取り付けフロア部

図1 パフォーマンスダンパー

It is widely known that chassis performance is an important factor that functions along with suspension performance to determine the handling stability and the comfort of the ride in an automobile. For this reason, the various auto makers have invested great efforts in optimizing chassis rigidity as an important component of chassis performance. Amidst these efforts, a new project was undertaken at Yamaha Motor Co., Ltd. to develop a "performance damper" the aim of which was to greatly improve chassis performance in a way that went beyond mere optimization of chassis rigidity by adding appropriate amounts of cushioning effect at certain points.

After the basic concept of the performance damper was proven valid in actual road tests in the autumn of 2000, development efforts to put it in applicable form and improve its performance were carried out at a rapid pace. It then made its appearance as a world's-first technology on the Toyota Crown Athlete VX (2001 limited edition of 300 units). Finally, in April of this year it appeared for the first time in the world on a full-scale production model, the sports grade version of the Toyota Corolla to be shipped to the domestic Japanese, European and North American markets.

The performance damper has a simple structure and is easily mounted on a chassis, and not only does it improve handling stability and ride comfort, it also reduces vibration noise. What's more, these effects are so marked that any driver can feel the difference in normal driving, not just in extreme driving at the hands of trained test drivers. Many domestic and foreign car makers have evaluated the performance damper very highly and expectations are high that it will become a common structural element of cars from now on.

In this report we begin by looking at the concept behind the performance damper and go on to trace its development to the present structure and discussion of the outlook for its future.

1 はじめに

自動車の操縦安定性及び乗り心地の開発においては、サスペンション性能はもちろんのこと車体性能の重要性が広く知られている。車体性能を表す一因子である車体剛性の最適化は、自動車メーカー各社が大きな努力を払っているところである。そのような中、車体剛性の最適化のみならず、適切な減衰要素を部分的に付加することにより、車体性能を大幅に向上させることを狙いとしてパフォーマンスダンパー(図1)の開発をスタートさせた。

パフォーマンスダンパーは2000年秋にその基本概念が実走確認され、実用的な進化と性能向上を急ピッチで進めたのち、トヨタクラウンアスリートVX(2001年、限定300台)に世界初の技術として搭載された。そして2004年4月には、日、欧、北米向けトヨタカローラのスポーツグレード車に量産車として世界初採用された。

パフォーマンスダンパーは構造がシンプルでかつ取り付けやすい上、操縦安定性と乗り心地がともに向上するのみでなく、振動騒音も低減することができる。それらの効果はとても分かりやすく、テストドライバーによる限界走行でなくとも、誰もが通常の走行状態において体感することができる。多数の国内外自動車メーカーからの評価も高く、自動車の新しい構成要素としての将来性が期待されている。

ここではパフォーマンスダンパーの発想の起源に始まり、現在の構造に至った経緯と今後の展開について紹介する。

2 車体性能

車体性能とは何か。ここではそれをサスペンションとの複合性能ではなく車体そのものの性能と定義する。多くの自動車の車体は鋼板の組み合わせで構成されているので、車体はバネ要素の集合体と考えられる。実際にはガラス窓の接着剤、制振材、各種シール材、ゴムマウント、ブッシュ類等によってある程度の減衰を持っているが、それらは車体全体の動きを積極的に制振するほどの大きさではないし、減衰特性を意図的にコントロールしている訳ではない。

車体性能を表現する言葉に車体剛性があり、新型車の発表時に自動車メーカーから「ねじり剛性を50%向上」「横曲げ剛性を30%向上」等といったアピールをされることが多い。車体剛性向上とは簡単に言えば車体の各変形モードのバネ定数を増加させることである。バネ定数の増加によって減衰特性が大きく変わるものではないが、バネ定数が増加すれば共振周波数が高くなるので振動減衰に要する時間は短くなる。またサスペンションの特性と車体の振動特性との関連性により走行性能は変化する。

各自動車メーカーはそれぞれの持ち味を主張すべく車体各部の剛性をチューニングしている。車体剛性のチューニングは高度なバランス取り作業であり、設計者やテストドライバーの腕の見せ所でもある。

3 パフォーマンスダンパーの発想の起源

それでは車体性能を向上させるとはどういうことなのか。車体剛性の取り方が重要であるということが広く知られているので、市販の後付けタワーバー（図2）等を取り付けては走行試験を重ねてみた。確かに部分的に車体剛性が向上したと思われる感触ではあるが、車体に貯まる変形エネルギーの発散され方も急激になるようだ。車は一見シャープなハンドリングを得たように感じる。しかし、シャープさゆえに収束性のアンバランスを生ずるうえ、乗り心地はゴツゴツと硬くなる。



図2 タワーバーの例（鋼管製：バネ要素）

そのころ同時に試験していたX-REAS（相互連携ショックアブソーバーシステム）の性能が上がるにつれ、車体性能が不足気味になるのが気になった。上質な走りを目指している以上、何らかの突破口が欲しい。ならばこのタワーバーの代わりにごく微小な変位（1mm以下）に効く減衰要素を与えれば、車体はゆっくりと変形し、変形エネルギーは熱となり、車は「しっとり」と落ち着くのではないだろうかと思い立った。

4 試作

4.1 試作品第1号

試作品の第一号は図3のように、粘弾性ゴムを二枚のプレートで挟み込んだものである。走行中の車体の極微小な変形に対し、微妙に減衰力を与えるにはこれしかないと思った。粘弾性ゴムにはバネ成分もあるので車体のバネ定数も上がるが、まずは試走してみた。

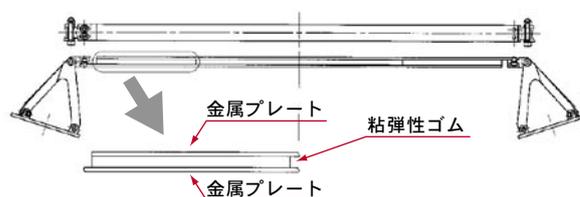


図3 試作品第1号

結果はイメージどおり。どのように車体を振り回して走っても収束性が良く、しっとりかつ正確に走ることができた。ただし、もっと減衰を与えようとしても同時にバネ定数まで上がってしまい乗り心地に悪影響がみられた。

4.2 試作品第2号

試作品第2号は図4のように、単筒式ショックアブソーバーの低速度減衰力を上げたものを取り付けた。減衰特性の良さは感じ取れるが、高压窒素ガスの封入圧が伸び方向にロッドを通して車体を押し広げ、操縦性と乗り心地に悪影響をおよぼした。ゴム式かショックアブソーバー式かで議論になったがどちらも満足できるレベルのものではなかった。

ショックアブソーバー式からロッドにかかるガス反力がキャンセルされれば理想的なものになるはずだが、そんなことが簡単にできるのだろうか。ステ

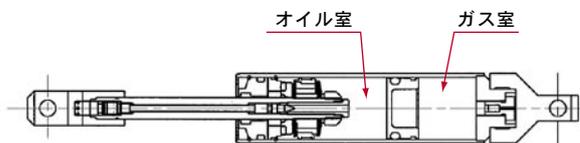


図4 試作品第2号

アリングダンパーのようにロッドがシリンダーの両端に貫通しているタイプならばガス反力はゼロであるが、構造が複雑でコスト高になる。そこで、ふとりバウンドスプリングのことが頭に浮かんだ。ショックアブソーバーの伸び切りストローク付近にリバウンドスプリングを入れてショックアブソーバーを放置すれば、ロッドはガス反力とスプリング圧縮力が釣り合った状態で静止する。その状態で車体に取り付けられれば車体へのプリロードはゼロとなる。あとはバネ定数をできる限り下げて設計すれば、ほとんど減衰力だけを車体に作用させることができるはずである。

4.3 試作品第3号

試作品第3号は図5のように、内部のガス反力をキャンセルするスプリングを内蔵させ、バネ定数は3N/mmと小さくした。高圧窒素ガスを封入した状態で、スプリング力とガス反力がつりあった状態でロッドは静止した(図6)。そのまま車体へ取り付けるので、減衰力のみを車体へ作用させることができた。乗り心地への悪影響は消え、上質で安定した走りが実現した。何よりも極めて簡単な構造ですべてを満足することで、実用化に向けての条件がそろったことになった。

5 パフォーマンスダンパーのチューニング

パフォーマンスダンパーのチューニングは通常のショックアブソーバーと同様に板バルブの仕様変更によって簡単に行うことができる。操縦安定性に対してはサスペンションのショックアブソーバーと同様の感度があり、さまざまな特性がテストされた(図7)。車体もまたサスペンションそのものであり、バネ要素の集合体であることを実感できた。

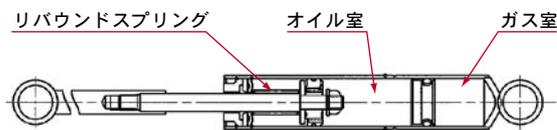


図5 試作品第3号

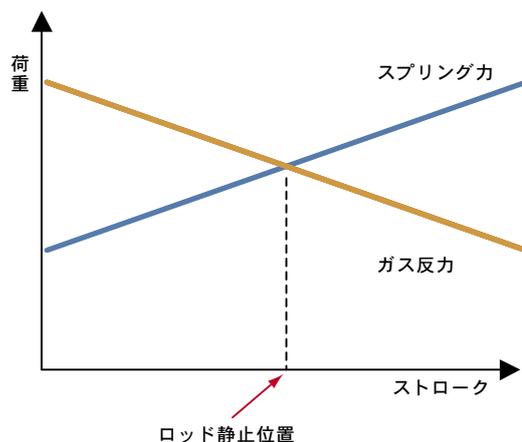


図6

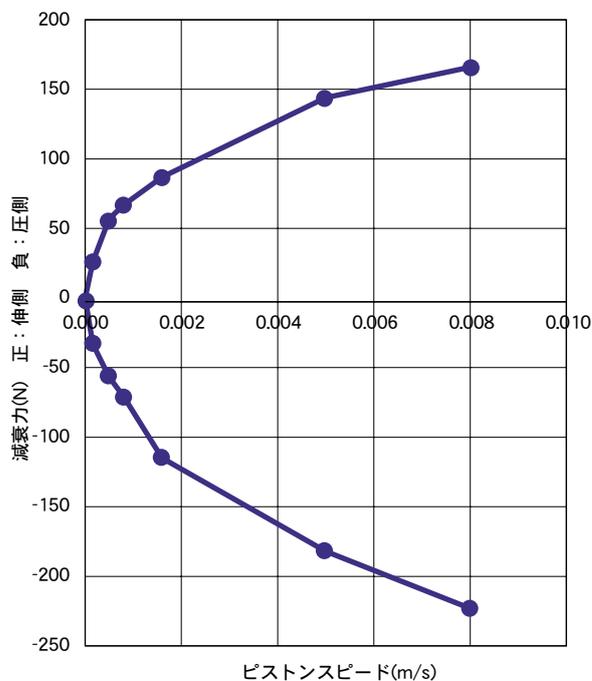


図7 チューニング特性例

6 取り付け箇所

取り付け箇所についてもさまざまなパターンを試みた。

- ・サスペンションタワー間
- ・バンパーリーンフォースメント
- ・リアシート取り付けフロア部
- ・サイドメンバー間
- ・サイドメンバー前後方向

結論から言ってどこに取り付けても効くのである。自動車の車体はバネ要素の集合体であるから全体が連成した振動をしており、一箇所にダンピングを与えれば全体の振動状態も変わる。それらは微小な振幅の変化であるにもかかわらず走行性能には大きな変化として感じ取れる。現在でもさまざまな箇所がテストされ、次々と面白い結果が出つつある。

7 欧州車

車体剛性が高いといわれる欧州車でもいくつかテストしてみた。パフォーマンスダンパー非装着の状態でもしっかりとした走りが素晴らしいのだが、路面からの大きな入力に対し反発も強く、乗り心地上きつい面があった。「欧州車にパフォーマンスダンパーは効かないだろう。」というのが大方の予想であったが、パフォーマンスダンパーを取り付けてチューニングを進めたところ、乗り心地の硬さが減り静粛さも増したうえ、操縦安定性がさらに向上した。

ベース車の基本性能の違いによっても向上代は大きく変わらず、どのような車にも必ず一定量以上効くという確証が得られた。

8 効果

パフォーマンスダンパーの効果は一言で言えば「上質な走り」である。もともと上質な走りの車はさらに上質になる。

一般に操縦安定性と乗り心地の両立は永遠の課題であるが、パフォーマンスダンパーは操縦安定性向上と同時に乗り心地と静粛性も向上する。

これらの理由はもちろん「車体性能の向上」にある。剛性による車体性能の追求には限界があり、いたずらに車体重量を増加させる恐れもある。パフォーマンスダンパーを車体剛性適正化と合わせて使用すればこれまでに無い高い車体性能が得られるとともに、トータルとしての車体重量の軽量化も可能となり動力性能および燃費性能にまで効果が及ぶと思われる。

また簡素な構造と取り扱いの容易さから、他の性能向上システムと比較した開発費用は極めて少なく、部品単価と合わせたコストパフォーマンスは近年類を見ない。

以上の効果をまとめると、

- ・走りの質感向上

- ・運動性向上
 - ・安定性向上
 - ・乗り心地向上
 - ・静粛性向上
 - ・高いコストパフォーマンス
車体の軽量化が実現すれば、
 - ・動力性能向上
 - ・燃費性能向上
- という効果も生まれる。

9 市場での評価

トヨタカローラのスポーツグレード車(2ZZ-GEエンジン搭載車)におけるジャーナリストの評価は以下の通りである。

- ・効果絶大、クラスを超えた乗り味
- ・クイックでありながらリニアで気持ちの良いハンドリング
- ・急激な挙動変化が無く、外乱に対してシビアでない
- ・ハードサスペンションと組み合わせても突き上げ感の無いフラットな乗り心地

これらは正に我々が狙いとしてきた走りであり、運動性と安定性と乗り心地の3つをいずれも向上させられることを実証するものである。



図8 欧州向けカローラ用パフォーマンスダンパー

10 今後の展開

今後はトヨタカローラのスポーツグレード車への採用を皮切りに、より多くの機種への採用を実現し、量産効果によるコストダウンも実施していきたい。

近い将来、自動車の車体には軽量化を目的としたアルミニウムボディの普及が予想されるが、アルミニウムは軽さと同時にヤング率も低いため、断面係数を稼ぎながら車体剛性を確保することになる。車重は軽くなるが、構造的に向上させた剛性に比較して減衰が不足気味になることが予想される。社内ではすでに一部のアルミニウムボディ車でのパフォーマンスダンパーの効果確認を実施しており、予想以上の結果が出つつあるので、アルミニウムボディ車全般に効果があることが期待できる。

また乗用車に限らず、2輪車や大型車両や特殊車両の快適性や安全性、耐久性についても効果が期待できる。

11 おわりに

パフォーマンスダンパーは簡素な構造でありながら、適切な特性の減衰を車体に付加できるものである。そしてその効果は予想以上に大きくかつ良質なものであることがわかった。

パフォーマンスダンパーの形態や単品性能についてはまだまだ進化の途中であり、さらに高性能化する可能性を秘めている。

様々な現象が理論的に解明し尽されているなか、シンプルな新技術の開発は極めて困難な作業である。1mm以下の車体の変位に対する減衰力付加という考えは、理屈で考えれば大して効くはずも無いことなのだが、走りの感覚からは必ず効果があると感じ取ることができたので即実行した。重要なことは、多くの不具合に埋もれた小さな素質を見逃さずに、とことん育てたことであった。

今後もヤマハ発動機らしさあふれるシンプルな新技術を生み出し続けるため、走れて、感じ取れて、発想できる感覚を育てることに集中していきたい。

■著者



左から、佐藤正浩、近藤勝広、沢井誠二、坂井浩二