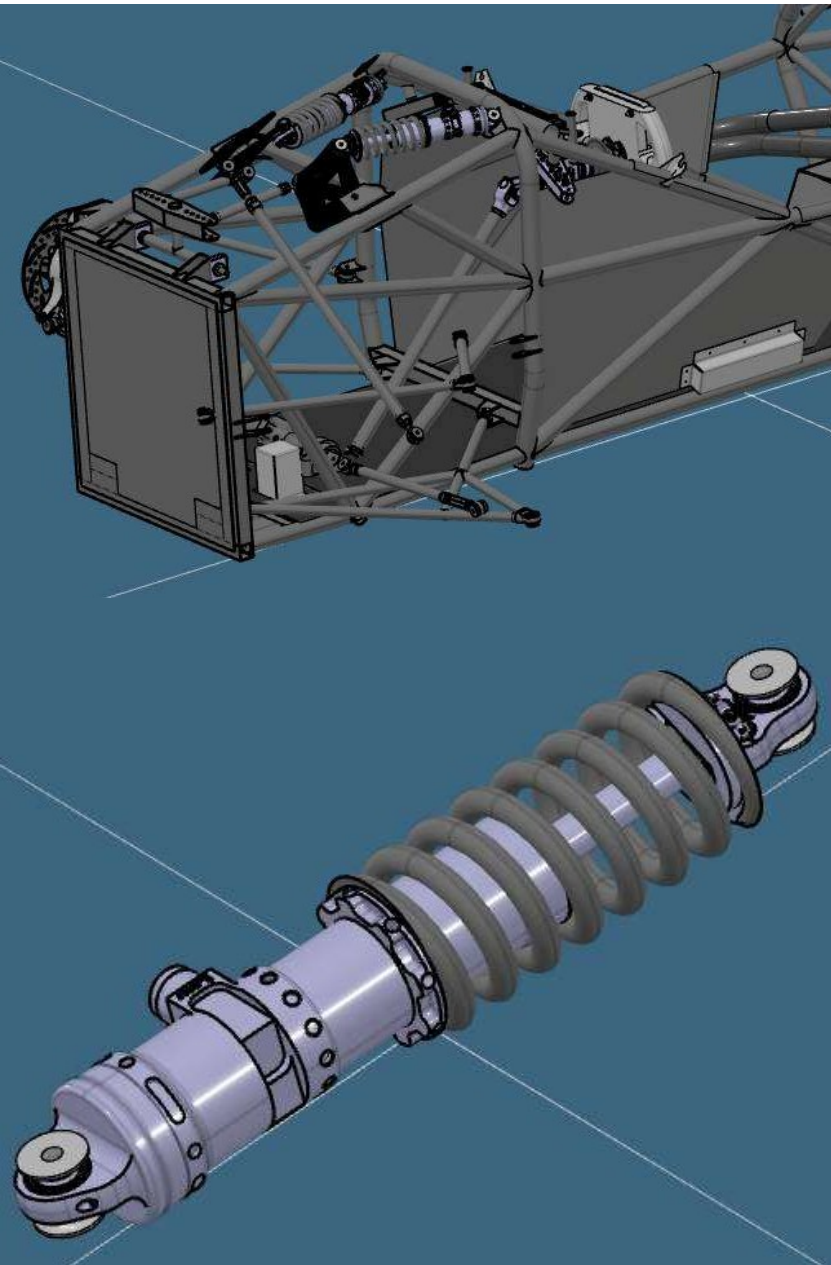




2025.11.1 sat

ダンパー基礎講座

in 京都工芸繊維大学

蘓武新吾

株式会社アネブル

株式会社アネブルの紹介



▶ エンジン／モーター試験

国内3拠点に20基のエンジンベンチと
モーターベンチを保有



▶ 試作、開発事業

開発車両のエンジン載せ替え
試作部品や試験装置の新規開発



▶ エンジニア派遣

秘匿レベルの高い案件などは、
メーカーの中に入って業務を行う。

FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト



オートパーツ
販売サイト



enable
株式会社 アネブル

株式会社アネブルの紹介（AP部）

モータースポーツ部品

輸入 / 販売 / 開発 / アフターサービス



zf.com/motorsport



FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト



オートパーツ
販売サイト



enable
株式会社 アネブル

1. 「速く走る」ために必要な事

目的

決められた距離を**短い時間**で走りきる

$$\begin{array}{ccc} \text{時間} & = & \frac{\text{距離} \rightarrow \text{小さく}}{\text{速さ} \rightarrow \text{大きく}} \\ \downarrow & & \\ \text{小さくしたい} & & \end{array}$$



短時間に「**速さを大きく**」するために
「**加速度が大きい**」状態を目標とする。

FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト



オートパーツ
販売サイト



enable
株式会社 アネブル

加速度はどのように決まるか？

速度を大きくする = エネルギーが増える

短時間で大きなエネルギーを与える為には、大きな仕事率が必要

$$P = F \times V$$

F=maで置き換える

$$P = m \times a \times V$$

(仕事率 : W) (力 : N) (速度 : m/s)

$$a = \frac{P}{m \times V}$$

↑
大きく
↓
大きくしたい

↑
小さく



? P, m 一定の場合、a は V に反比例？

FSAE × enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト



オートパーツ
販売サイト



enable
株式会社 アネブル

加速度の最大値

車両に力を加えないと加速をしない

この力は、タイヤが地面を後方に蹴っ飛ばした時の反作用

質量 m に下向きに加わる力 mg

車両を前向きに押す力 F

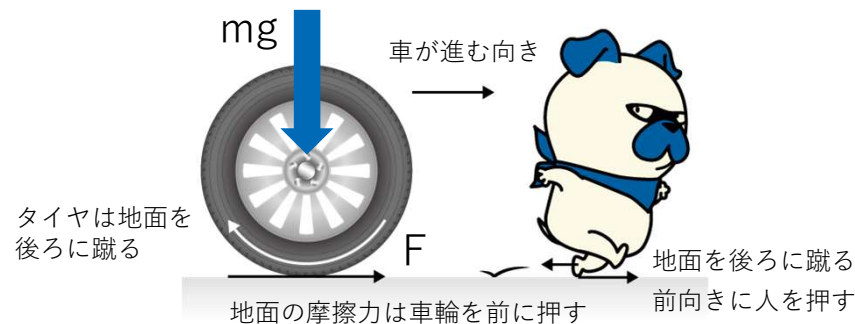
タイヤ～地面 の摩擦係数 μ

$$F \leq \mu mg \text{ (クーロンの法則)}$$

$$ma \leq \mu mg$$

地球上ではほぼ一定

$$a \leq \mu g$$



加速度 a (m/s^2) を
重力加速度 g ($\approx 9.8\text{m/s}^2$) で
割った物を G と呼びます。

$$\frac{a}{g} \leq \mu$$

加速度の最大値は、 μ に依存する。

?

次はコーナリングについて考える。

オマケ 実際に学生フォーミュラでは
こんなに加速度が出ません。
なぜでしょう

FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト



オートパーツ
販売サイト



enable
株式会社 アネブル

等速円運動の最大速度

等速円運動 = 前後方向に加速しない（力が加わらない）
遠心力と向心力が釣り合っている状態

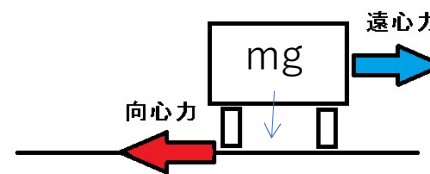
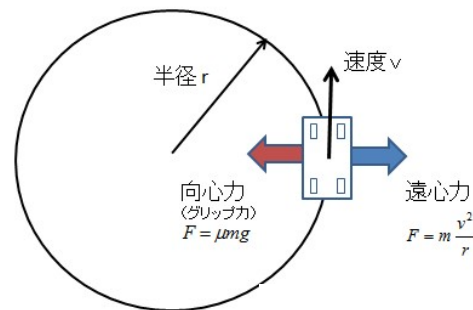
$$\text{遠心力 } F = m \frac{v^2}{r}$$

$$\text{向心力 } F = \mu mg \quad (\text{タイヤの摩擦力})$$

$$\mu mg = m \frac{v^2}{r}$$

$$v = \sqrt{\mu g r}$$

→ コース、ライン取りによって決まる
→ 一定



最大コーナリング速度は、 μ に依存する。

?

速く走る為に μ を大きくする方法を考える。

オマケ ダウンフォース (DF) がある場合
Vはどのように表せるか

FSAE × enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト



オートパーツ
販売サイト



enable
株式会社 アネブル

2. 「タイヤの特性」を理解する

今までの常識「摩擦力は垂直荷重に比例し、 μ はいつでも一定」
ではレーシングカーはなぜ太いタイヤを履くのか？

ゴムの摩擦係数は圧力に依存する。

タイヤの場合、荷重 v s 摩擦力のグラフは若干上に凸なグラフとなる。（ $\mu \neq \text{一定}$ ）
荷重（圧力）に依存して摩擦係数が変わる為クーロンの法則は適用できない。

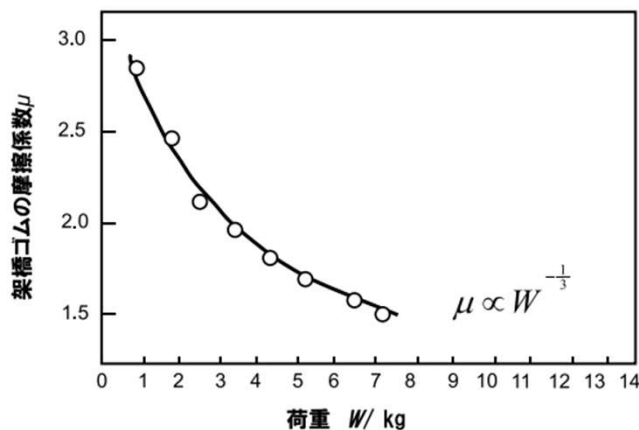
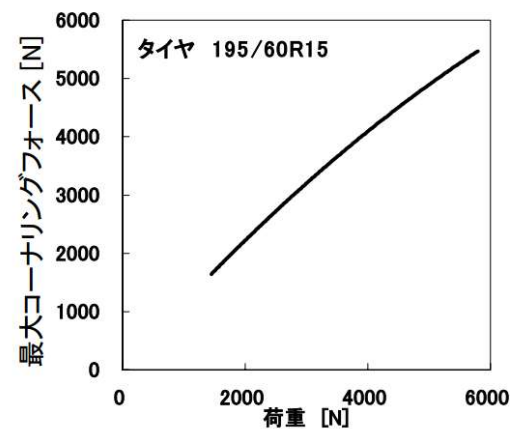


図7. 架橋ゴムの摩擦係数の荷重依存性⁴⁾

日本ゴム協会 やさしいゴムの物理

https://www.jstage.jst.go.jp/article/gomu/83/4/83_4_109/_pdf/-char/ja



自動車技術会公開論文 タイヤの力学と操縦安定性

<https://www.jsae.or.jp/~dat1/mr/motor15/mr200238.pdf>

FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト



オートパーツ
販売サイト



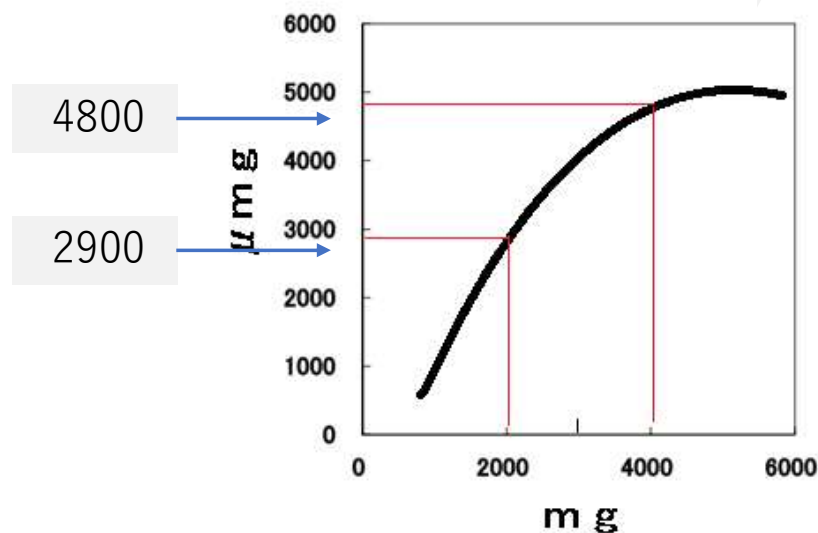
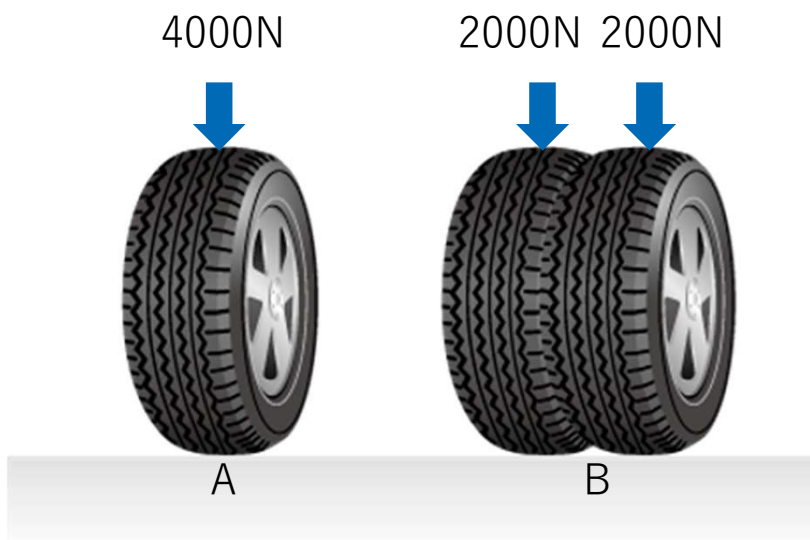
enable
株式会社 アネブル

? 太さ2倍のタイヤで考えてみる。

A、Bそれぞれのタイヤの摩擦力を比較する。

A ▶ 4800N

B ▶ $2900 + 2900 = 5800 \text{ N}$



太く接地面積の大きいタイヤの方が高い摩擦力を期待できる

FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト



オートパーツ
販売サイト



enable
株式会社 アネブル

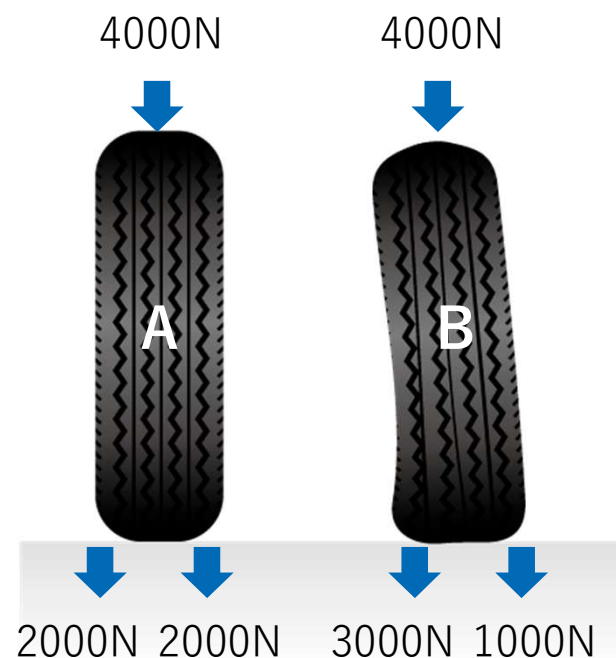
? 偏荷重について考えてみる。

A、Bそれぞれのタイヤの摩擦力を比較する。

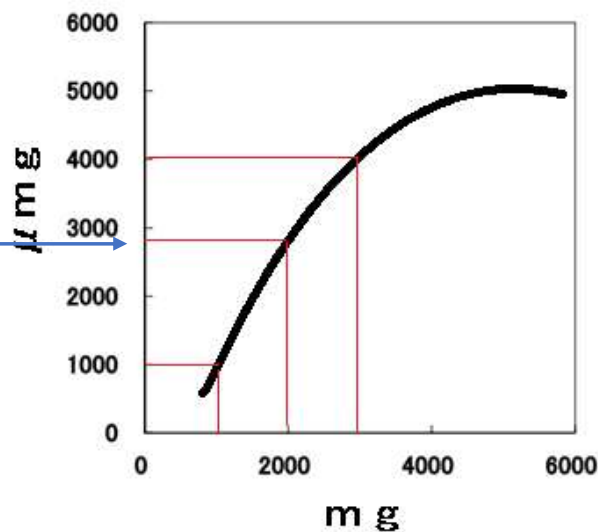
A ▶ $2900 + 2900 = 5800\text{N}$

B ▶ $4000 + 1000 = 5000\text{N}$

圧力は均等な方が
高い摩擦力を期待できる



偏荷重が無い方が
高い摩擦力を期待できる



FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト



オートパーツ
販売サイト



enable
株式会社 アネブル

オマケ イニシャルでネガティブキャンパーをつけるのはなぜだろうか

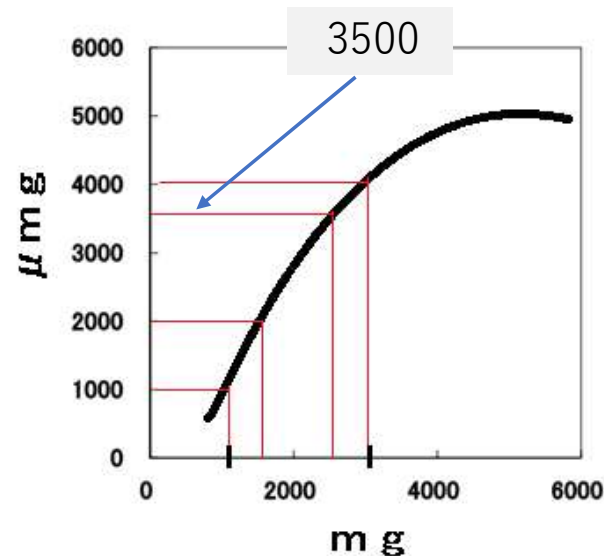
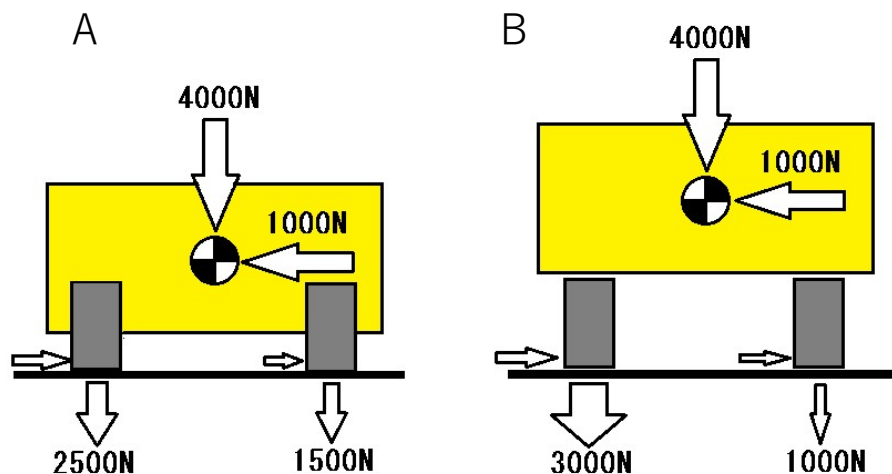
? 荷重移動について考えてみる。

A（荷重移動小）、B（荷重移動大）それぞれの車両の摩擦力を比較する。

$$A \blacktriangleright 2000 + 3500 = 5500\text{N}$$

$$B \blacktriangleright 4000 + 1000 = 5000\text{N}$$

荷重移動は少ない方が
高い摩擦力を期待できる



荷重変動が少ない方が高い摩擦力を期待できる

オマケ 重心高さやトレッド幅の影響を調べてみよう

FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト



オートパーツ
販売サイト



enable
株式会社 アネブル



FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト



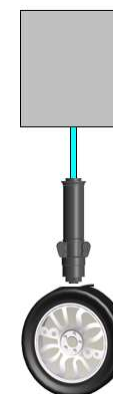
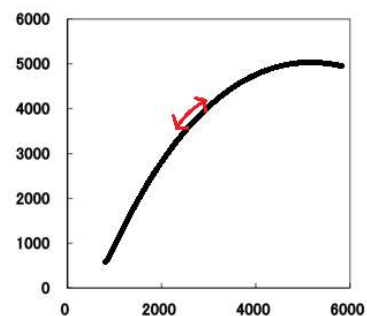
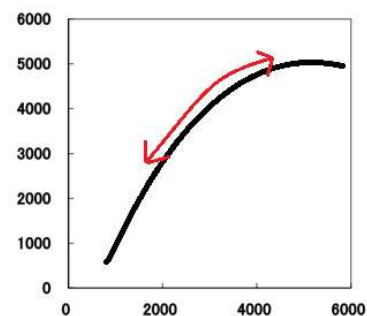
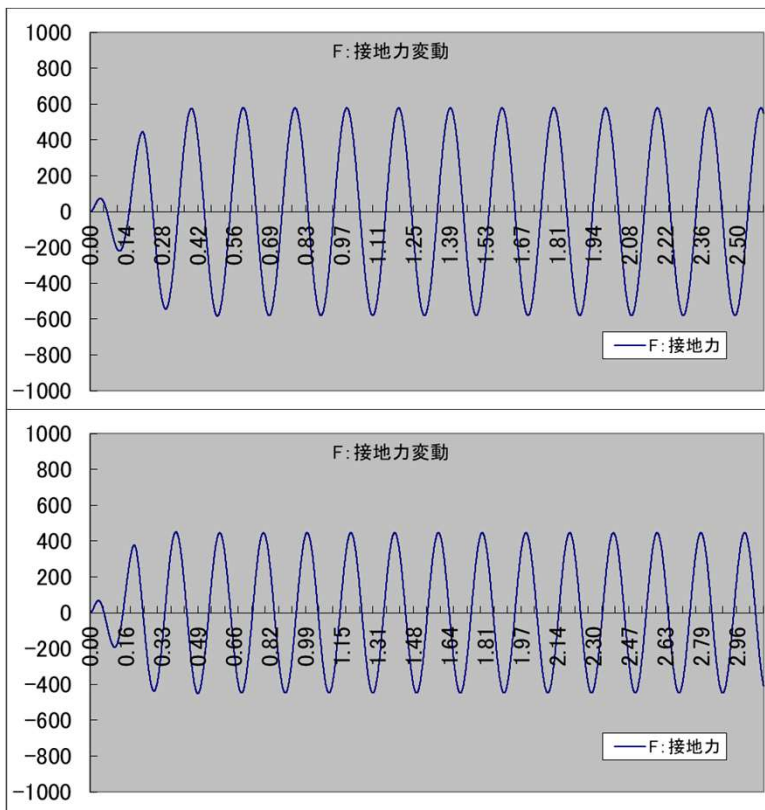
オートパーツ
販売サイト



enable
株式会社 アネブル

?

1 輪で荷重が変動する場合



FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト



オートパーツ
販売サイト

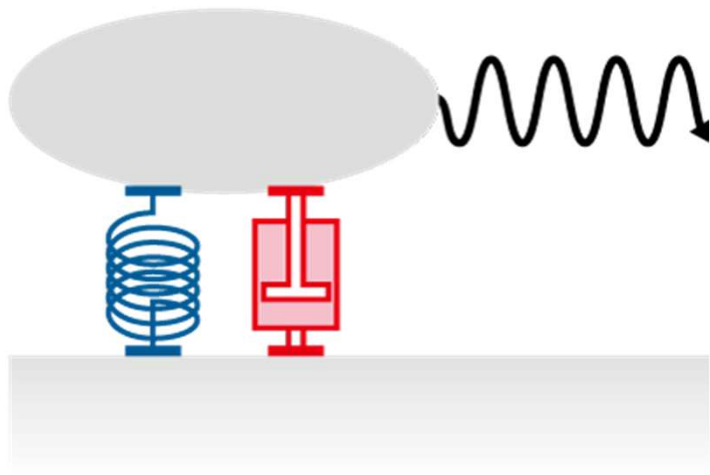


荷重変動の少ない方が
平均の摩擦力を高くすることが出来る

enable
株式会社 アネブル

3. ショックアブソーバ、スプリングの働き

ショックアブソーバ : 振動を吸収する油圧緩衝装置



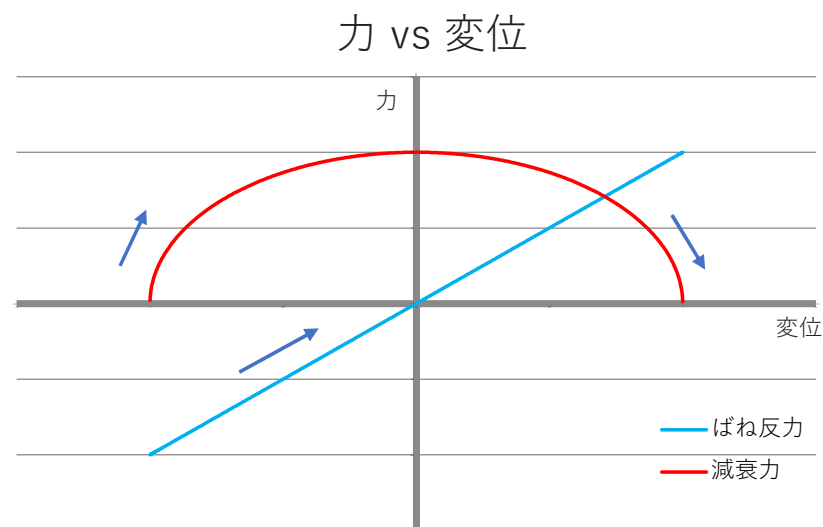
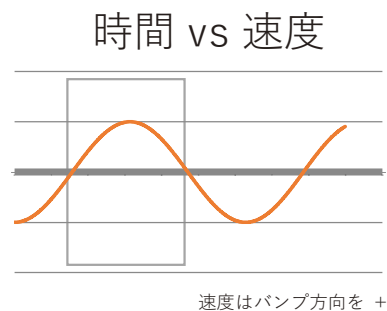
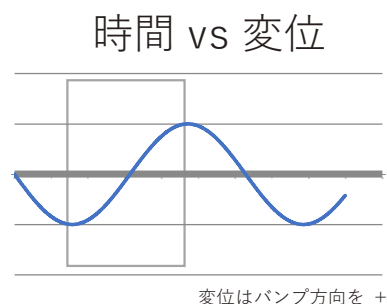
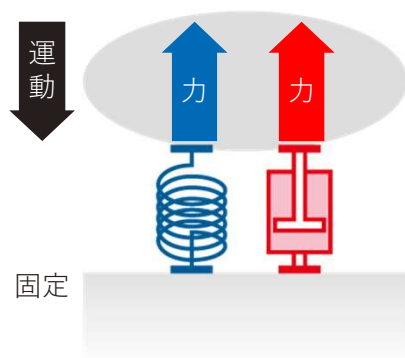
	力の向き
スプリング	復元方向
ショック アブソーバ	運動と反対

サスペンションに使用されるスプリングは
すべて圧縮スプリングの為、力の向きは常に伸びる方向。
ショックアブソーバの力の向きは運動の状態に左右される為
バンプ、リバウンドそれぞれの工程に分けて調査してみます。



? バンプ工程はどうなっているか

運動の方向スプリング&ショックアブソーバの
力の向きをそれぞれ調べてみます



バンプの工程ではスプリング&ショックアブソーバは
それぞれ仕事をされている状態である。

FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト



オートパーツ
販売サイト

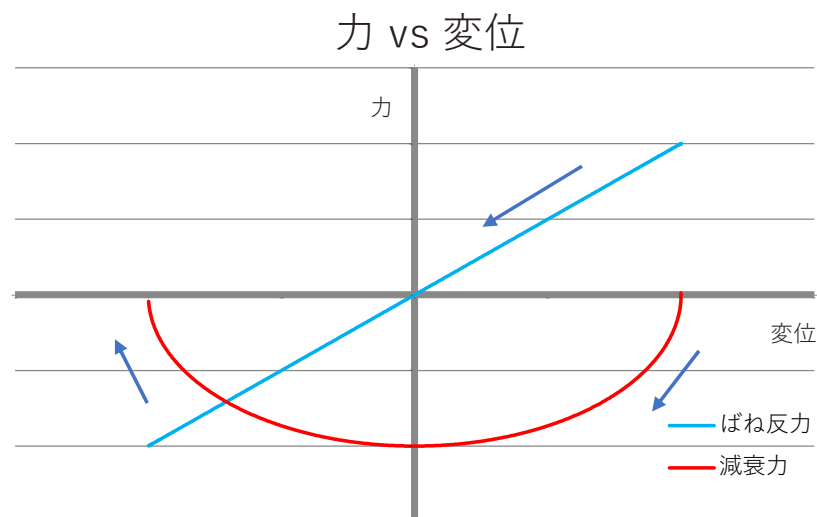
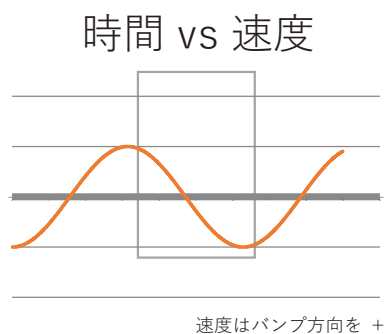
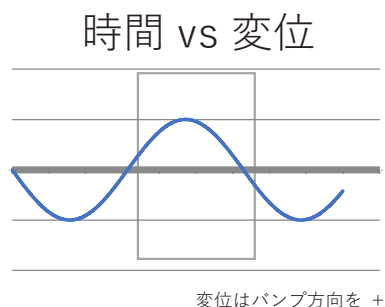
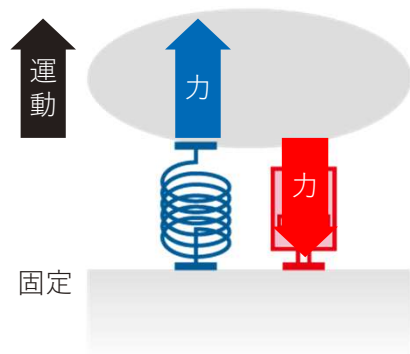


enable
株式会社 アネブル

?

次はリバウンド工程

同様に運動の方向スプリング&ショックアブソーバの力の向きを調べます。



スプリング

: 仕事をしている

ショックアブソーバ

: 仕事をされている

FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト



オートパーツ
販売サイト



enable
株式会社 アネブル

まとめ

バンプ、リバウンドの工程を調べた結果をまとめます。

	スプリング	ショックアブソーバ
バンプ	仕事をされている	仕事をされている
リバウンド	仕事をしている	仕事をされている

スプリングは、バンプで蓄えたエネルギーをリバウンド工程で放出。

1サイクルでのエネルギーの収支は ± 0

ショックアブソーバは、常に仕事をされている状態。

受け取ったエネルギーは熱エネルギーとして蓄え→大気に放出。



FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト



オートパーツ
販売サイト



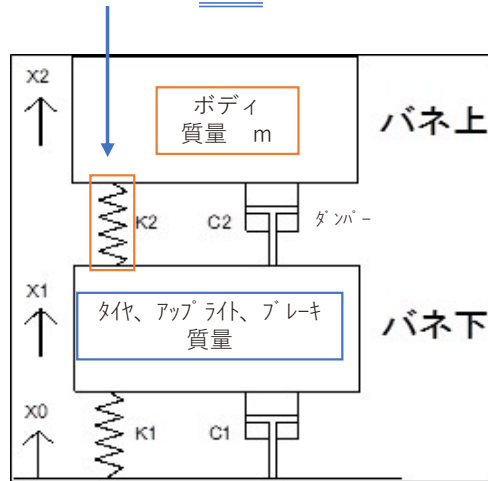
enable
株式会社 アネブル

4. ショックアブソーバの表し方

スプリングやショックアブソーバの強さ、効き具合を式で表します。

バネの固さの表し方

サスペンションスプリング： K (N/m)



タイヤのバネレート、減衰力

50N/mm のスプリングは、
軽自動車にとっては**そこそこ固い**
クラウンにとっては**ふにゃふにゃで柔らかすぎ**

空燃比のように排気量や気筒数に関係なく
濃い薄いを判断できるものさしはないだろうか？

→ 固有振動数

$$f = \sqrt{\frac{K}{m}} \text{ (rad/s)} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m}} \text{ (Hz or 1/s)}$$

K の単位に
注意！

オマケ リバウンドストロークをFの式で表してみよう。

FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト



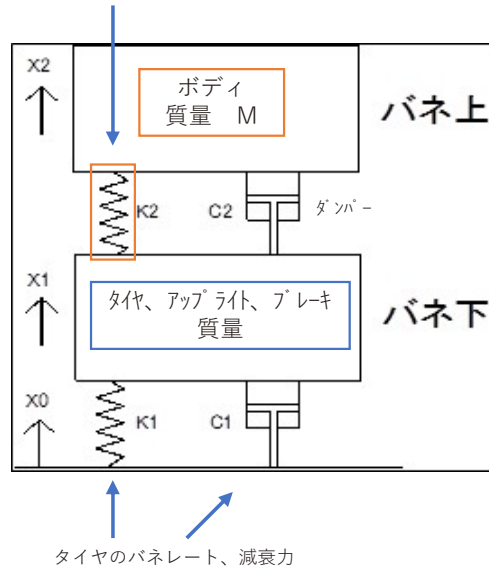
オートパーツ
販売サイト



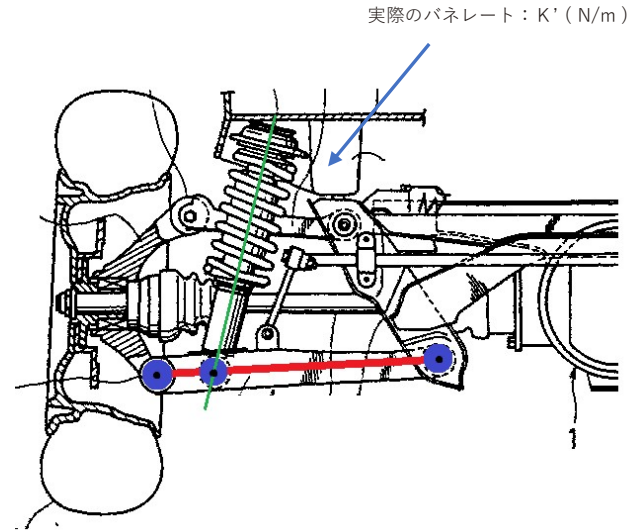
enable
株式会社 アネブル

レバー比がある場合

サスペンションスプリング：K (N/m)



左の形に変換して考えたい



レバー比がある場合、バネレート K は
実際のバネレート K' とレバー比を用いて

$$K = \frac{K'}{\text{レバー比}^2}$$

と書くことが出来る。

この時の K をホイールレートと言う。

タイヤが10動いた時ダンパーが8動く場合。
 $10/8 = 1.25$ (今回はこちらを使用します)
 $8/10 = 0.8$
 どちらも使われているので、注意しましょう。

ストローク&スピード → 1/1.25 倍
 力 → 1.25 倍

→仕事量、仕事率はどの場所でも変わらない。

FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

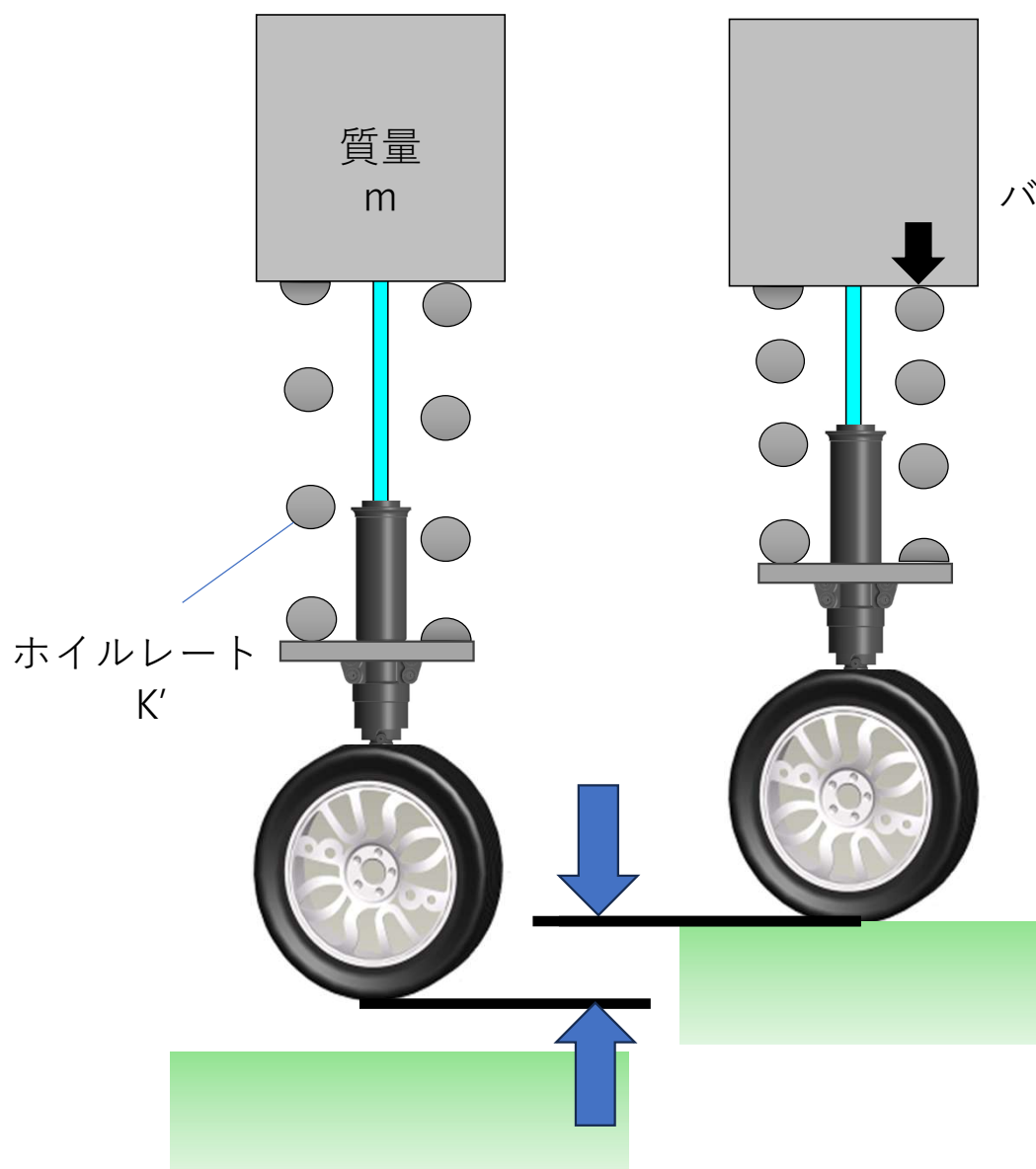
アネブル
公式サイト



オートパーツ
販売サイト



enable
株式会社 アネブル



○リバウンドストローク

$$R_s = \frac{m g}{K'}$$

○固有振動数

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K'}{m}}$$



$$R_s = \frac{0.248}{f^2} \quad (\text{単位: m})$$

FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト

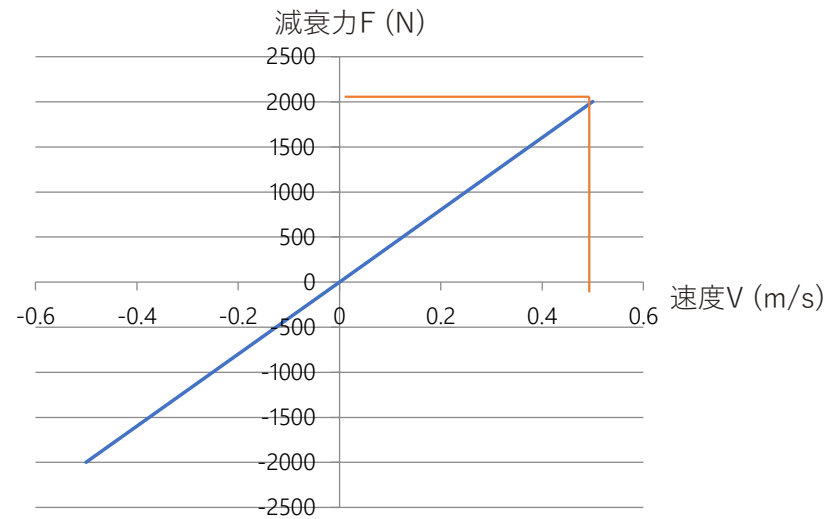
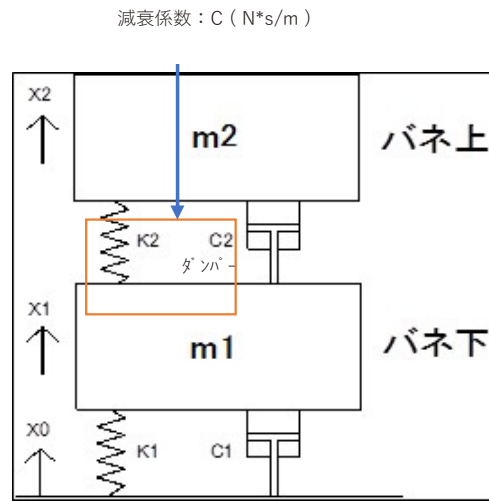


オートパーツ
販売サイト



enable
株式会社 アネブル

ダンパーの効き具合の表し方：減衰係数



減衰力FがストロークスピードVを使って
「 $F = CV$ 」と表せる時Cを減衰係数と言う。
Cの単位は **$N*s/m$**

上のグラフの場合、 $V=0.5$ の時 $F=2000$ なので
 $C = 2000/0.5 = 4000$
となる。

FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

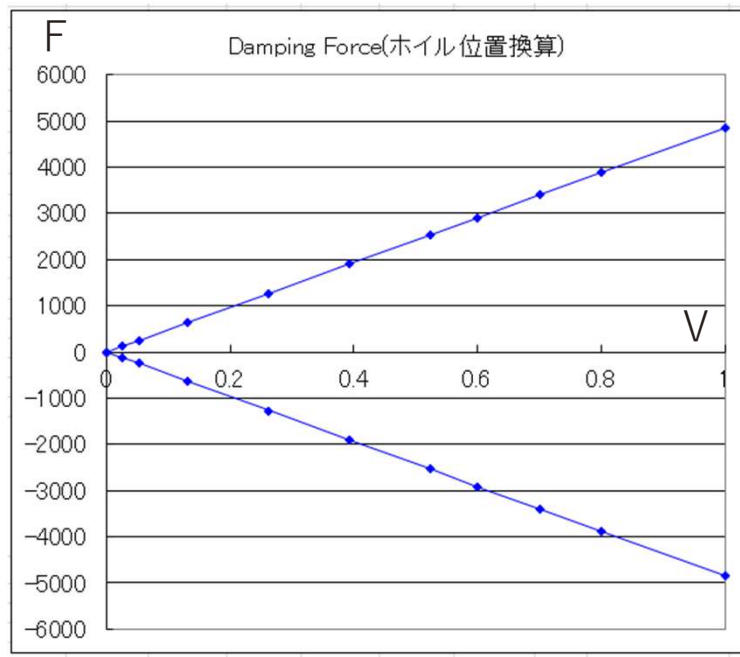
アネブル
公式サイト



オートパーツ
販売サイト



enable
株式会社 アネブル



減衰係数C 約5000 (N ・ s/m)

$$F=CV$$

このような1次式で表す事が出来るような減衰特性の場合

グラフの傾き = 減衰係数 となります。

また、 $v = 1$ の時、 $F = C$ 1.0m/sの減衰力が減衰係数に等しくなる。

FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト



オートパーツ
販売サイト



enable
株式会社 アネブル

.....

アネブル
公式サイト



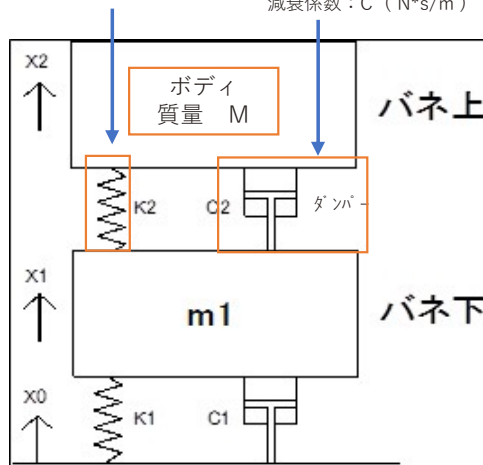
オートパーツ
販売サイト



臨界減衰係数

サスペンションスプリング：K（N/m）

減衰係数：C（N*s/m）



バネ上質量M、バネレートKが決まると
振動を最短時間で収束させる減衰係数
臨界減衰係数 $C_c = 2\sqrt{M * K}$ が決まる。

臨界減衰係数Ccと実際のダンパーの
減衰係数Cの比率を「減衰比」と呼ぶ。

$$\text{減衰比} = C/C_c$$

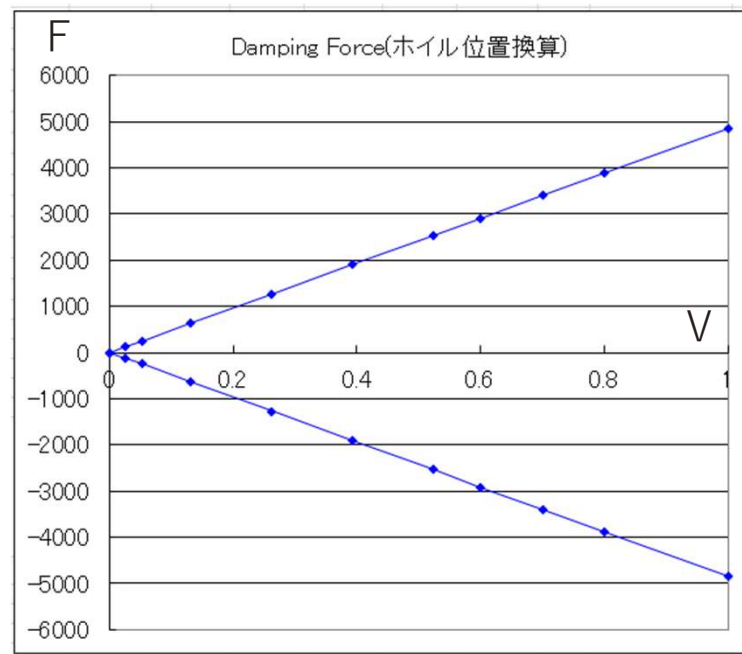
減衰比を ζ （ゼータ、ツェータ）と呼ぶ人もいます。

.....

アネブル
公式サイト

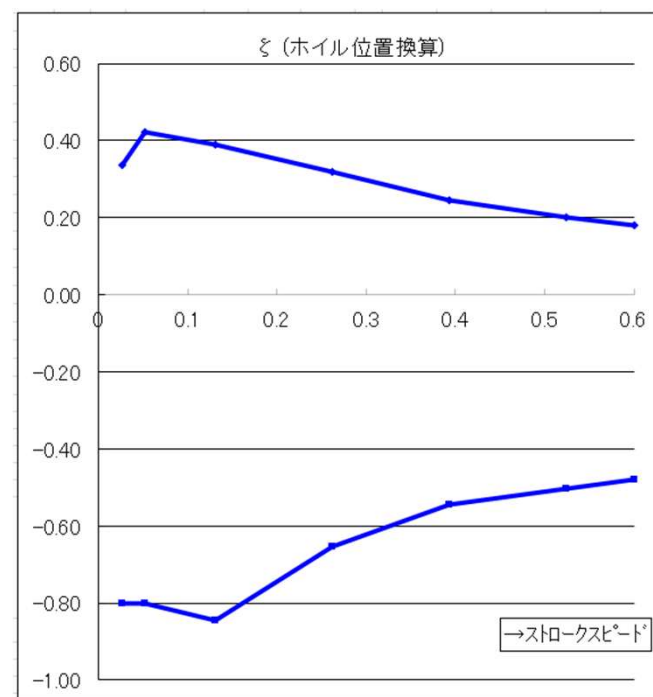
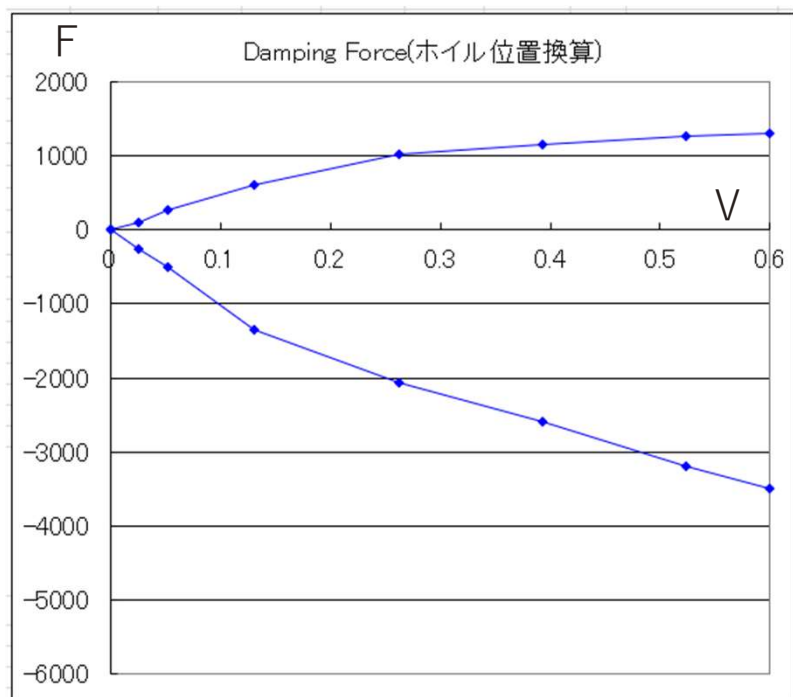


オートパーツ
販売サイト



減衰係数C 約5000 (N・s/m)

臨界減衰係数 C_c が10000の場合
減衰比 $C/C_c = 5000/10000 = 0.5$
となります。



1次式で表すことが出来ない減衰特性の場合
右グラフのように速度毎に減衰比は変わってきます。

今回は減衰力のグラフから減衰比を計算しましたが
通常は「ターゲットの減衰比 ⇒ 減衰力のグラフ」という順番で進めます。

FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト

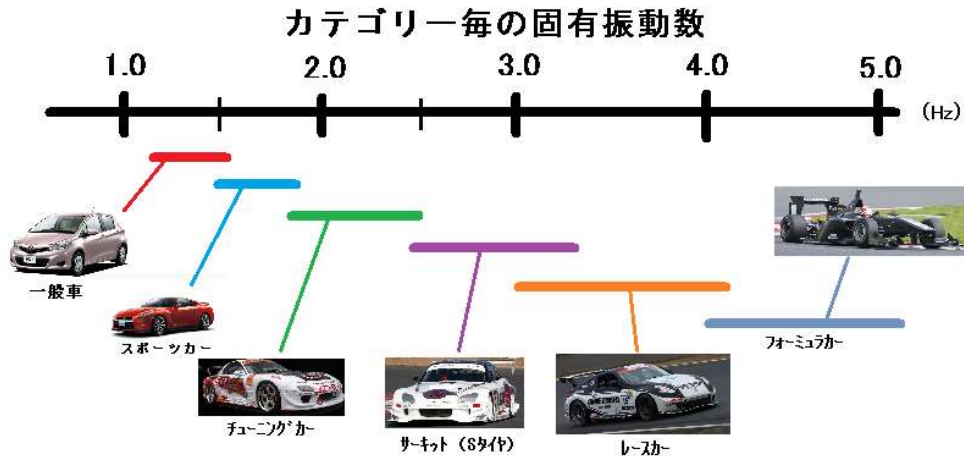


オートパーツ
販売サイト



enable
株式会社 アネブル

固有振動数と減衰比



バネ上固有振動数は左のようなイメージで各カテゴリ毎に異なった数値が用いられる。空力の重要度が増すほど固く動かさない傾向にある。

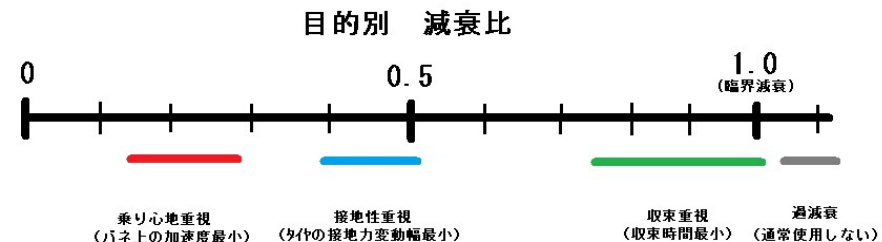
固有振動数が高くなるほどリバウンドストロークは減少するので不整地には不向きである。

車両の使用目的によって減衰比のターゲットは変わってくる。

自動車メーカーが作る標準車には0.2前後の減衰比を採用される事が多いが、スポーツ走行には不向きである。タイムアタックを目的とする場合減衰比は0.4-0.5辺りをターゲットにする事が多い。

理由は次ページより説明する。

ラリー車には、収束時間優先で0.7以上の減衰比が用いられる。



FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト



オートパーツ
販売サイト



enable
株式会社 アネブル

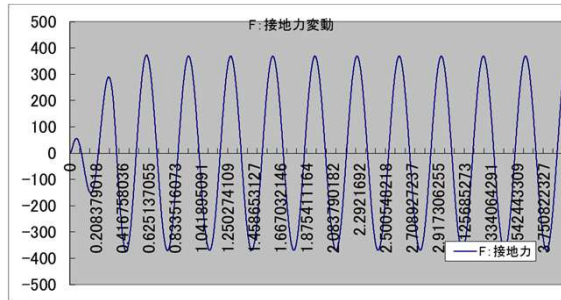
減衰比と接地荷重の変動

C/Cc

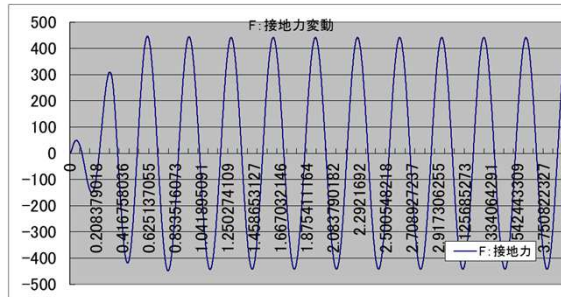
3 Hz

5 Hz

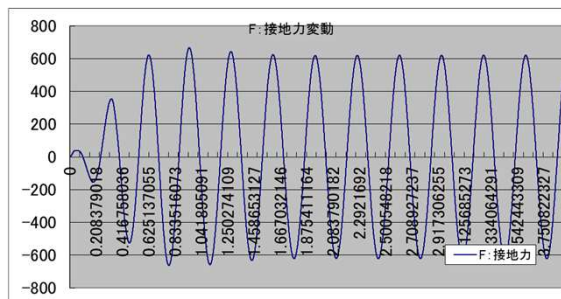
0.6



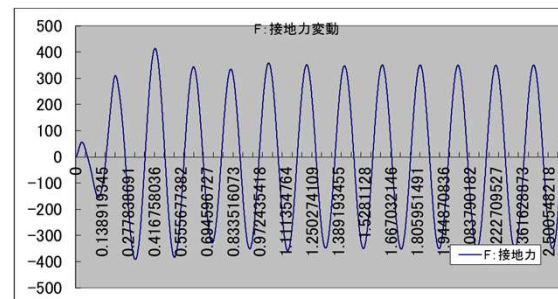
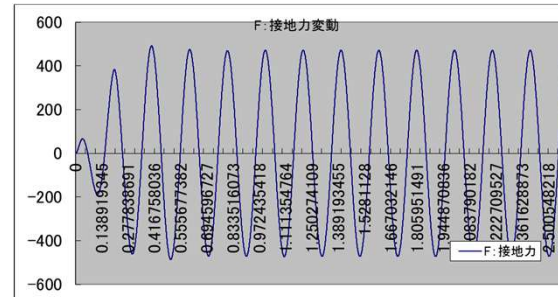
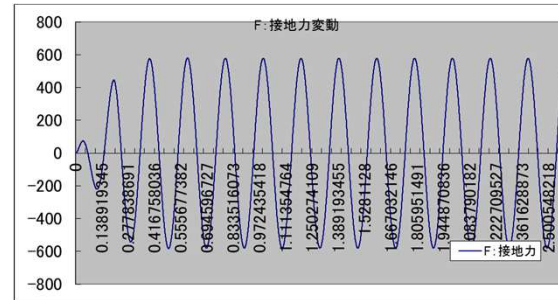
0.4



0.2



good



good



FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト

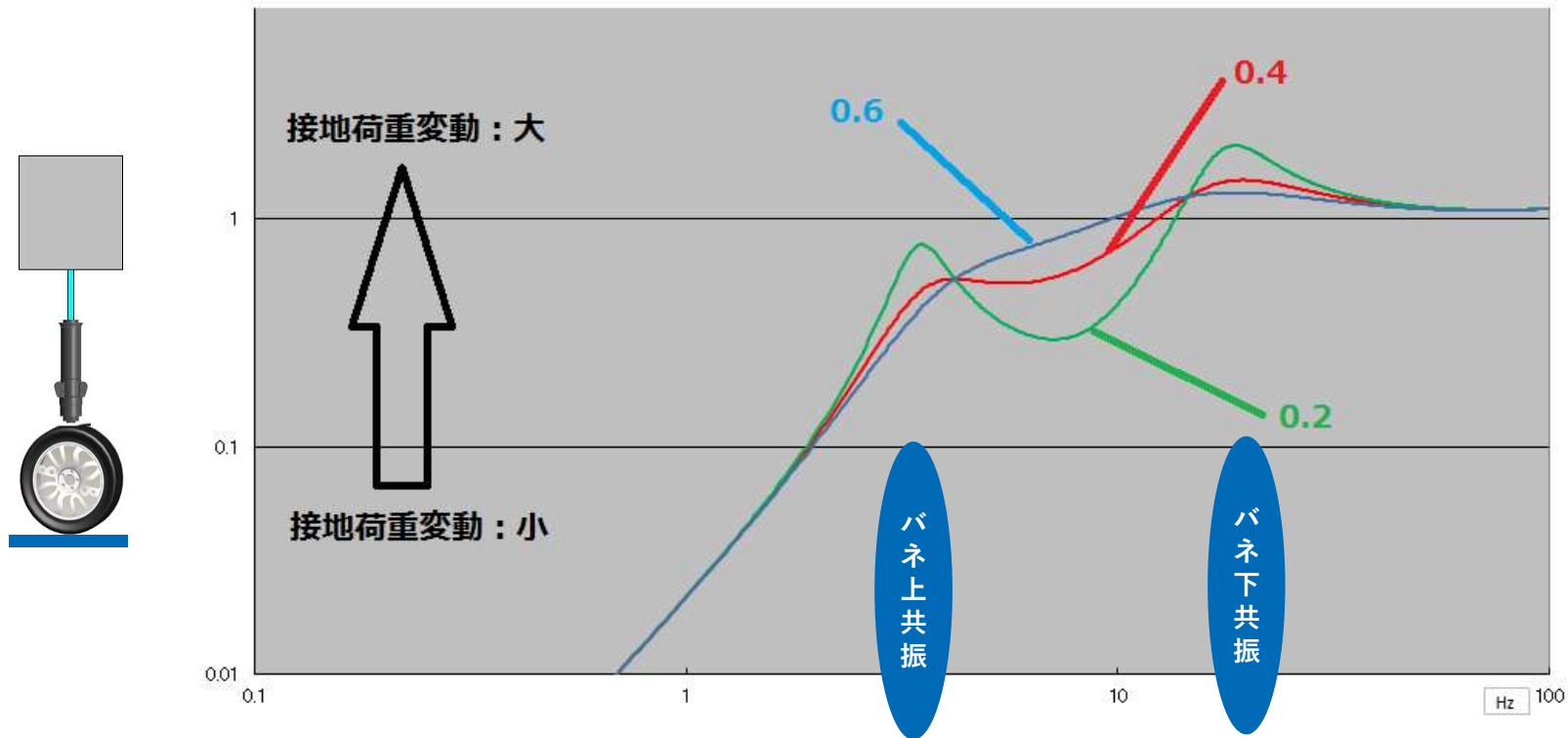


オートパーツ
販売サイト



enable
株式会社 アネブル

周波数ごとの接地荷重変動



低めの減衰比は共振点でのピークが大きく出てしまう。
高めの減衰比はバネ上～バネ下、共振点の荷重変動が悪化する。
接地荷重変動を重視する場合バランスの良いところで
0.4～0.5近辺の減衰比が選ばれる事が多い。

FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト



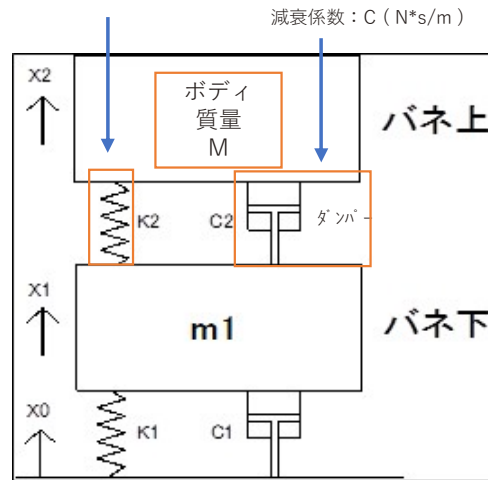
オートパーツ
販売サイト



enable
株式会社 アネブル

減衰係数 練習問題

サスペンションスプリング：K (N/m)



- ① バネレートのx倍になった場合
減衰比を変えない為には
減衰係数はどのようにすべきか？
- ② バネ上質量がx倍になった場合
固有振動数、減衰比を変えない為には
バネレート、減衰係数はどのようにすべきか？

$$\begin{aligned} \text{臨界減衰係数} & C_c = 2\sqrt{M \times K} \\ \text{減衰比} & = C/C_c \end{aligned}$$

FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト



オートパーツ
販売サイト



enable
株式会社 アネブル

オマケ 臨界減衰係数の単位を計算してみよう

減衰力を計算しよう

コーナーウェイト（1輪） 750N
バネ下質量（1輪） 15Kg
レバー比 1.25

▶臨界減衰力

$$C_c = \text{ } N^* s / m$$

▶減衰比 0.4狙い

$$\text{減衰係数} = \text{ } N^* s / m$$

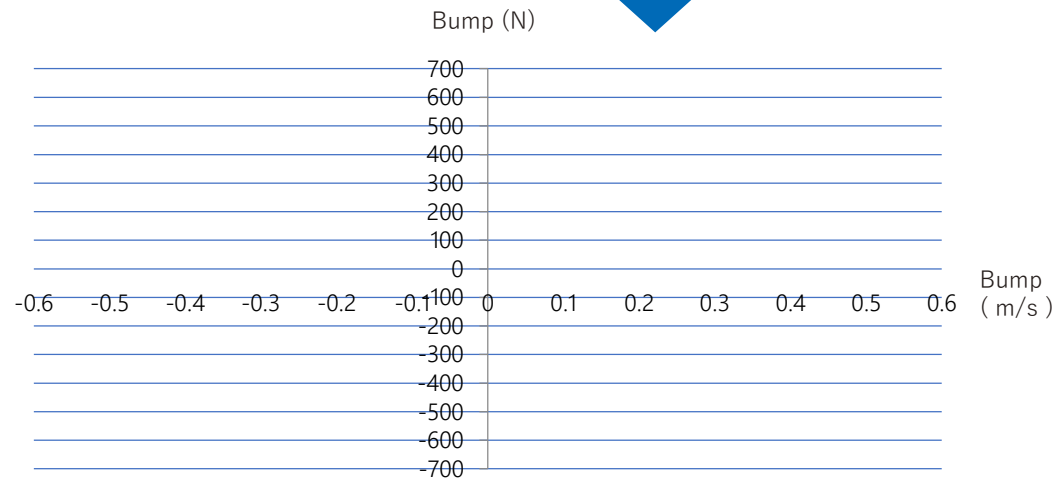
▶固有振動数 3.5Hz狙い

オイルレート N/m

単体バネレート N/m

重力加速度 $g = 9.8$

円周率 $\pi = 3.14$



FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト

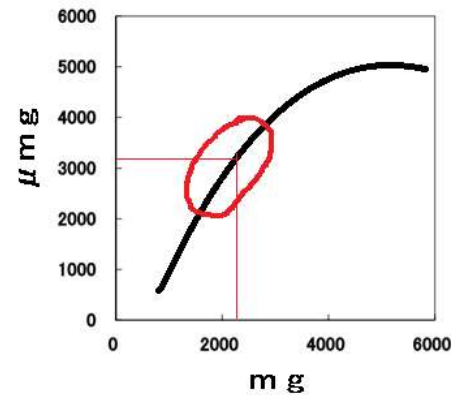
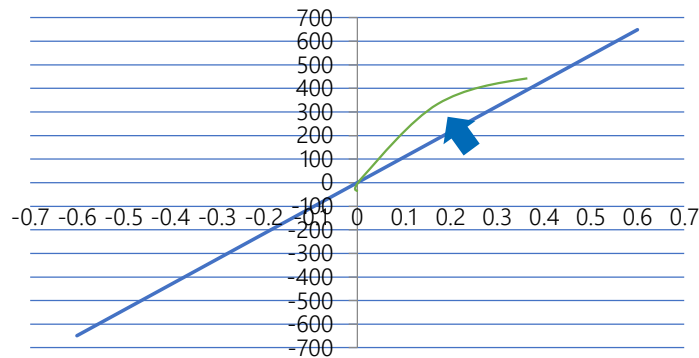


オートパーツ
販売サイト



enable
株式会社 アネブル

タイヤの荷重と摩擦力が比例する範囲では姿勢変化を抑える事を優先する方が良い場合がある



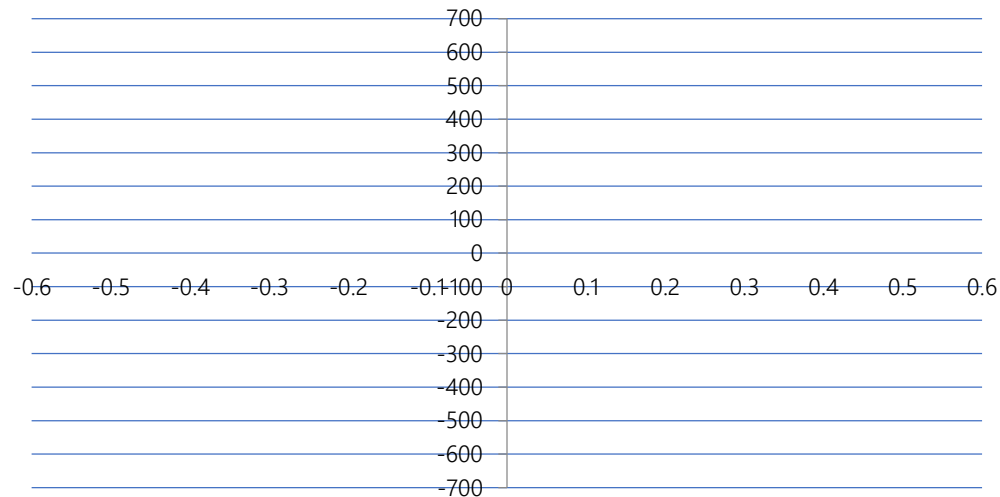
減衰比をそれぞれ

0.7 (0.1m/s)

0.4 (0.3m/s)

0.3 (0.6m/s)

で設定した場合の
グラフを書いてみよう



FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

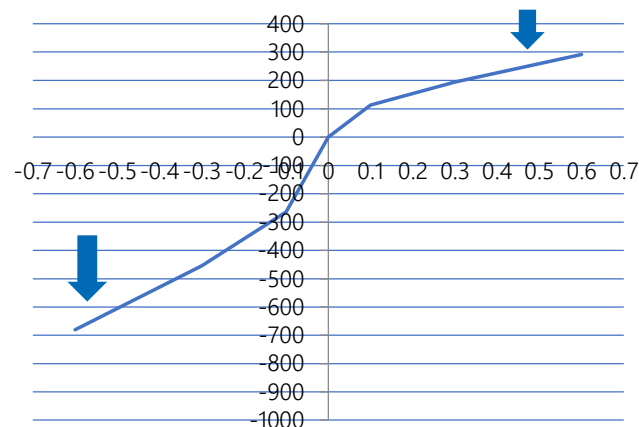
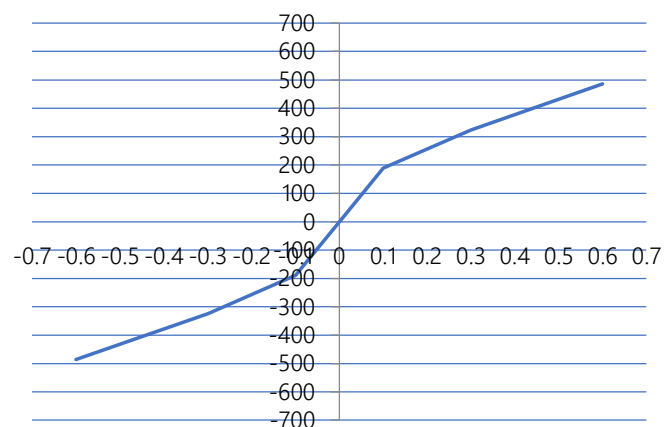
アネブル
公式サイト



オートパーツ
販売サイト

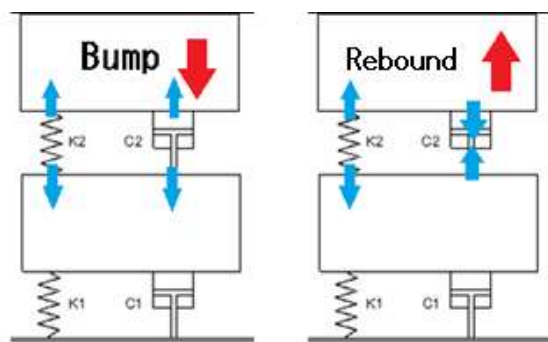


enable
株式会社 アネブル



Bump : 30%
Rebound : 70%

上のようなグラフになりますが高い固有振動数を使う場合、減衰力のボリュームをrebound寄りにした方が荷重の変動が緩やかでタイヤを上手に使える事があります。ただし空力が大きなレースカーではbump=reboundに近づく傾向もあります。振幅の中心位置が変化する事でタイヤが離陸しにくくなる効果も見込めます。bump、reboundのバランスを変更する場合、合計値は変えないようにします。



Bumpの減衰力とバネ反力はいつも同じ方向に力を加えています。ダンパーは運動の向きと力の向きが常に逆向きの為、常に「仕事をされている」状態になります。

FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト

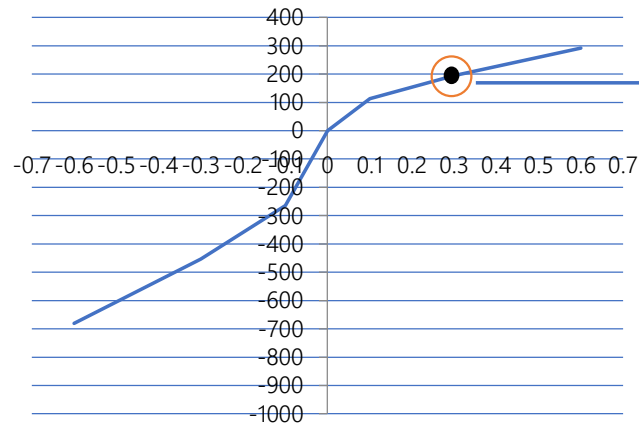


オートパーツ
販売サイト

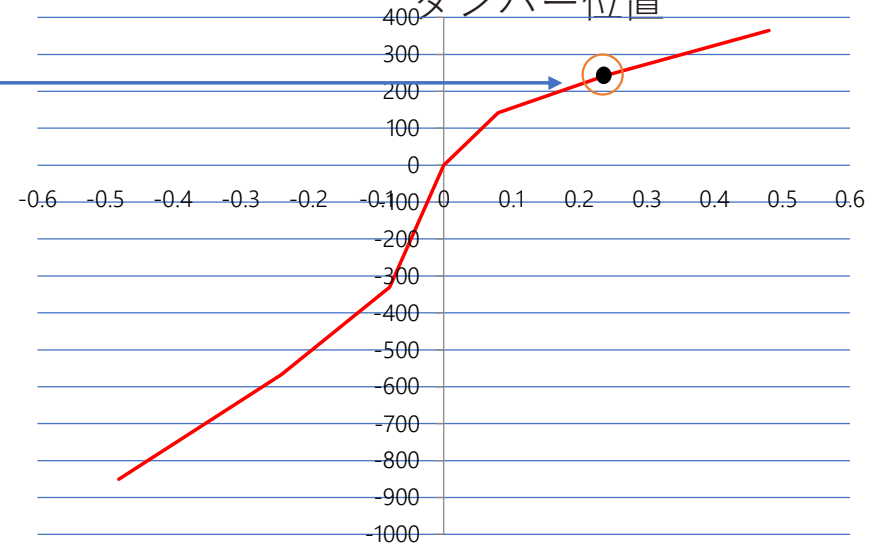


enable
株式会社 アネブル

ホイール位置

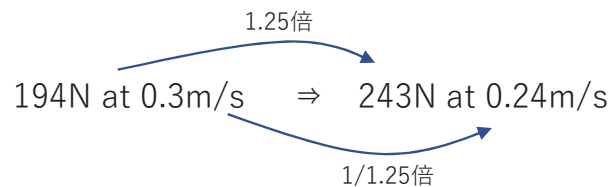


ダンパー位置



まだ完成ではありません。

このグラフはタイヤ位置（レバー比1）にダンパーがあると仮定した状態での減衰力です。レバー比1.25の場合ダンパー位置だとスピードは1/1.25になりますが、力は1.25倍必要になります。



これで計算値が出来ました。

午前中の講義はここまですになります。
減衰比は、エンジンセッティングにおける空燃比のような物で、この数値を押さえておけば大外しをする事はありません。
逆に大きく外れるような事があったら、他の要素が大外ししてないか疑ってみましょう。

参考文献

自動車技術会 公開論文
築地原政文（株式会社ブリジストン） KYB株式会社
タイヤの力学と操縦安定性 自動車のサスペンション（グランプリ出版）

FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト



オートパーツ
販売サイト



enable
株式会社 アネブル

5. アネブル式ダンパーセッティング

固有振動数

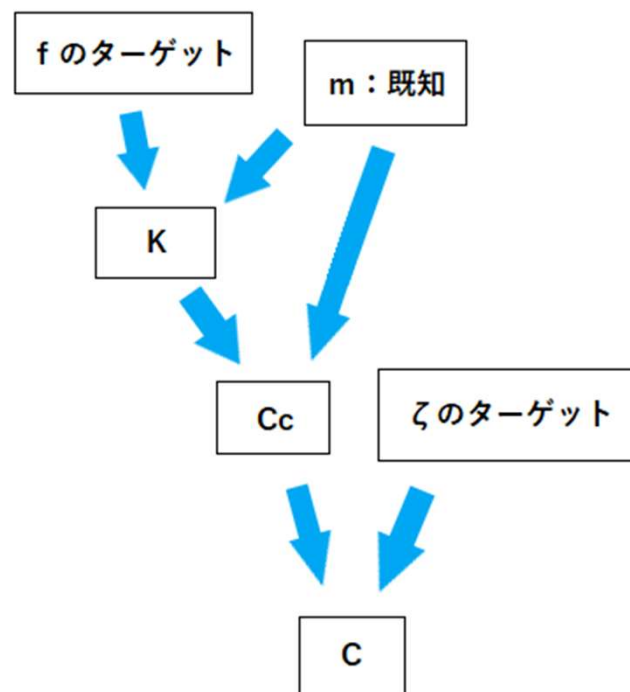
$$f = \sqrt{\frac{K}{m}} \text{ (rad/s)}$$

減衰比

$$\zeta = C/C_c$$

臨界減衰係数

$$C_c = 2\sqrt{M * K}$$



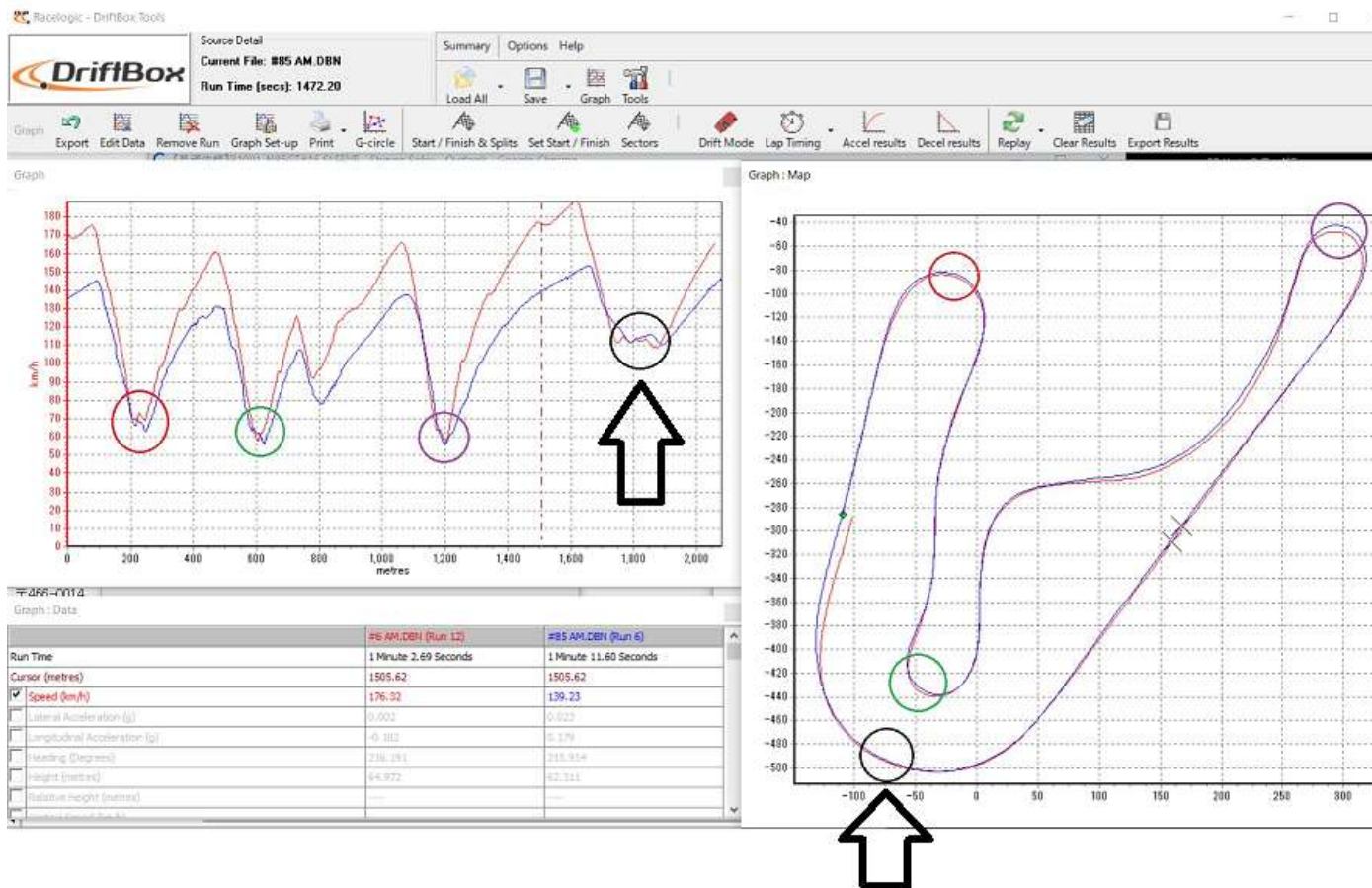
エンジンセッティングをする時に
燃料の噴射量を決めてから、空気量を
決める事はしません。

ダンパーもセッティングには順番が
決まっています、ほとんどのエンジニアは
左図のような順番で各パラメーターを
決めていきます。



つくばサーキットを実際に走ったデータ

62秒 と 71秒 で周回する2台の車両の比較



2台の車両は同じタイヤを履いていたため、コーナーでのボトムスピードがほとんど同じです。

特に矢印のコーナーは、ほぼ等速円運動と見なすことができます。

等速円運動をしている間は、ベクトルの大きさ、向きの変化がない為、車両の姿勢が安定します。

姿勢変化がない＝減衰力0と見なして、減衰力以外のパラメーターを決めていきます。

ロール剛性の前後バランス、空力、（重量バランス）など

http://a011w.broad.jp/cantalwaysget/VD_course/pages/p-10.html ←すごく参考になるサイト

FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト



オートパーツ
販売サイト



enable
株式会社 アネブル

注意した方がいいポイント

メインスプリングの変更は、ブレーキ、加速の挙動にも影響あり（ダイブ、スクワット）

スプリングで変更するか、スタビライザーで変更するか見極めましょう。

自動車メーカーによっては、減衰力0のダンパーを使って、スプリングのバランスを決める事があります。

トラクションが悪い ⇒ 駆動輪のセッティングが悪い ではない時もあり

駆動輪のタイヤに100%以上の仕事をさせようとしている可能性も考えよう

LSDでアンダー／オーバーのセッティングをするのは、あまりおススメしません。

スプリングが決まったら、次は減衰力セッティング

おさまりが悪いのは×

バネ上共振の周波数で動きが止まらない ⇒ 減衰力不足

もっと高い周波数（ヒョコヒョコ）が止まらない ⇒ タイヤが動いている可能性 ⇒ 減衰力過多

ハンドリングは、ちょうどいいのが○

調子がいいポイントが見つかったとしても、セオリーから大きく外れている場合、悪さを悪さでカバーしている可能性あり

FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト

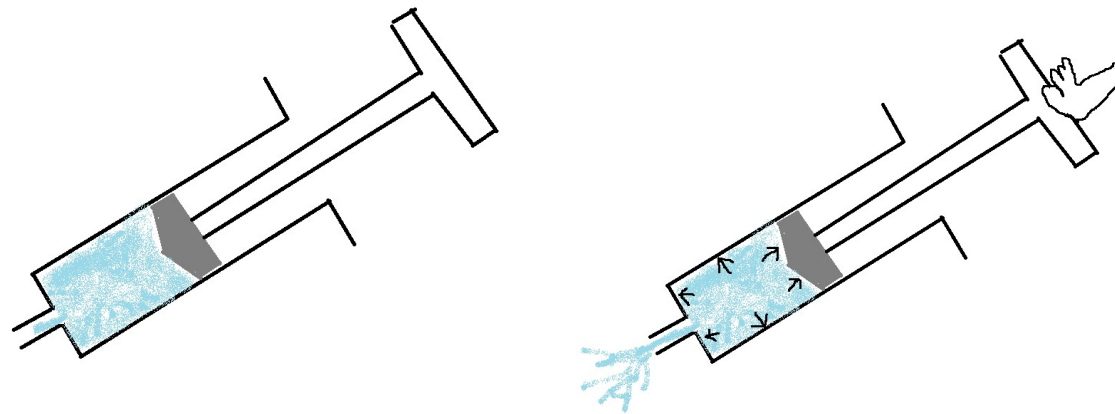


オートパーツ
販売サイト



enable
株式会社 アネブル

1. ダンパーの構造 (モノチューブ)



ダンパーって注射器に例えられることが多いです。
ピストンが液体を押し出す過程で、圧力が上がって

圧力 × ピストン面積

の力が手に伝わります。

FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト



オートパーツ
販売サイト

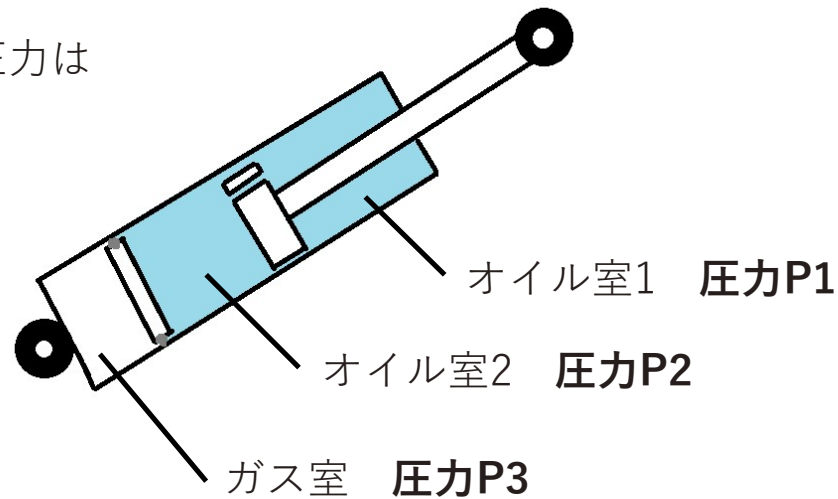


enable
株式会社 アネブル

モノチューブダンパー 静止状態

ダンパーが静止状態の各部屋の圧力は

$$P1 = P2 = P3$$



パスカルの原理

密閉された容器内の圧力は、どの部分でも一定

アネブルクイズ1

ダンパーが伸びてくるのはなぜでしょう？

FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト

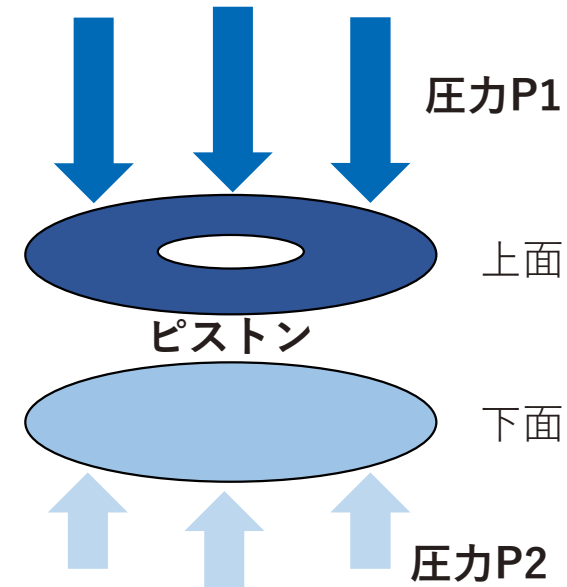
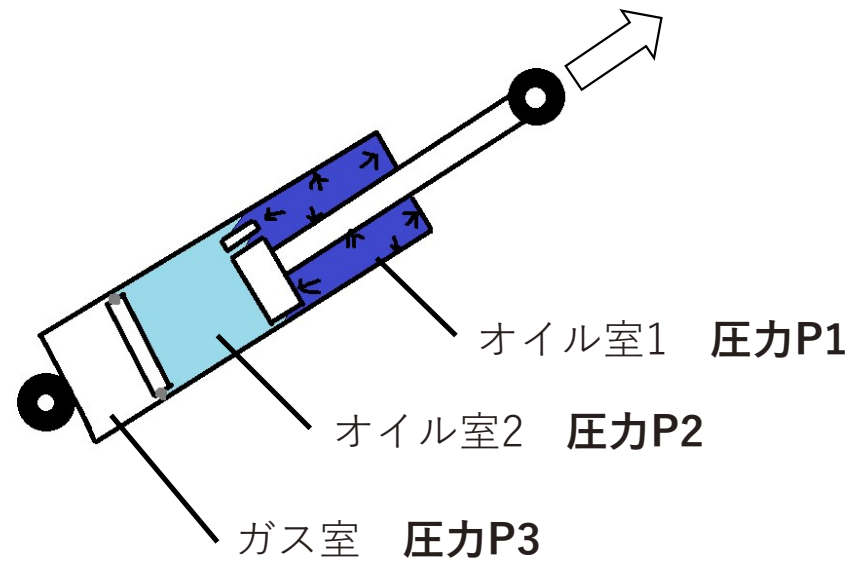


オートパーツ
販売サイト



enable
株式会社 アネブル

モノチューブダンパー Rebound



ダンパーが伸びている状態
ピストンに加わる力
向き

$$P1 > P2 = P3$$

$$P1 \times (\text{ピストン上側面積}) - P2 \times (\text{ピストン下側面積})$$

下向き

FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト

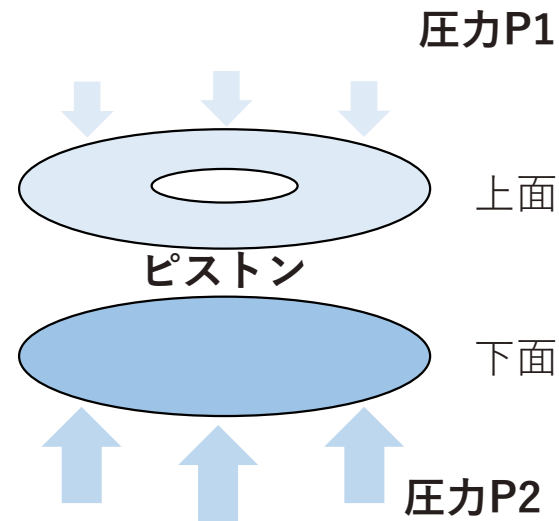
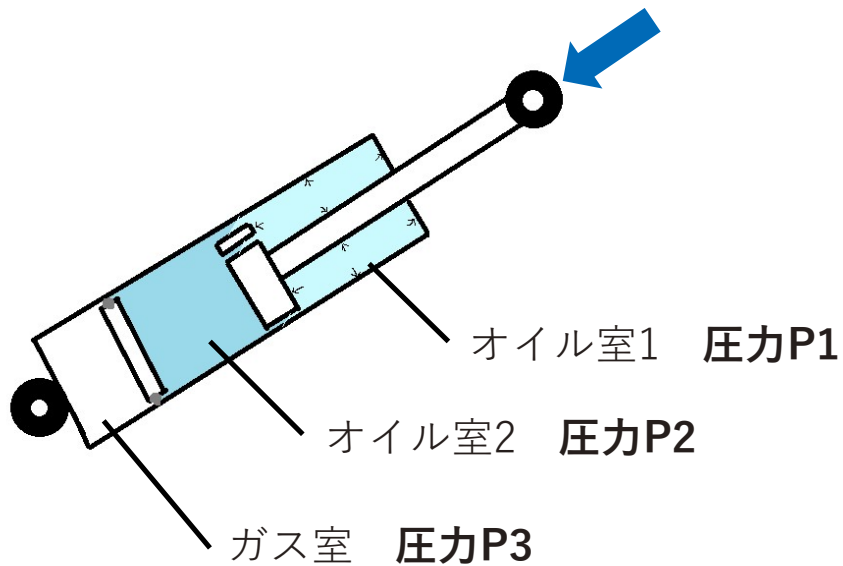


オートパーツ
販売サイト



enable
株式会社 アネブル

モノチューブダンパー Bump



ダンパーが縮んでいる状態
ピストンに加わる力
向き

$$P1 < P2 = P3$$

$$P2 \times (\text{ピストン下側面積}) - P1 \times (\text{ピストン上側面積})$$

上向き

FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト

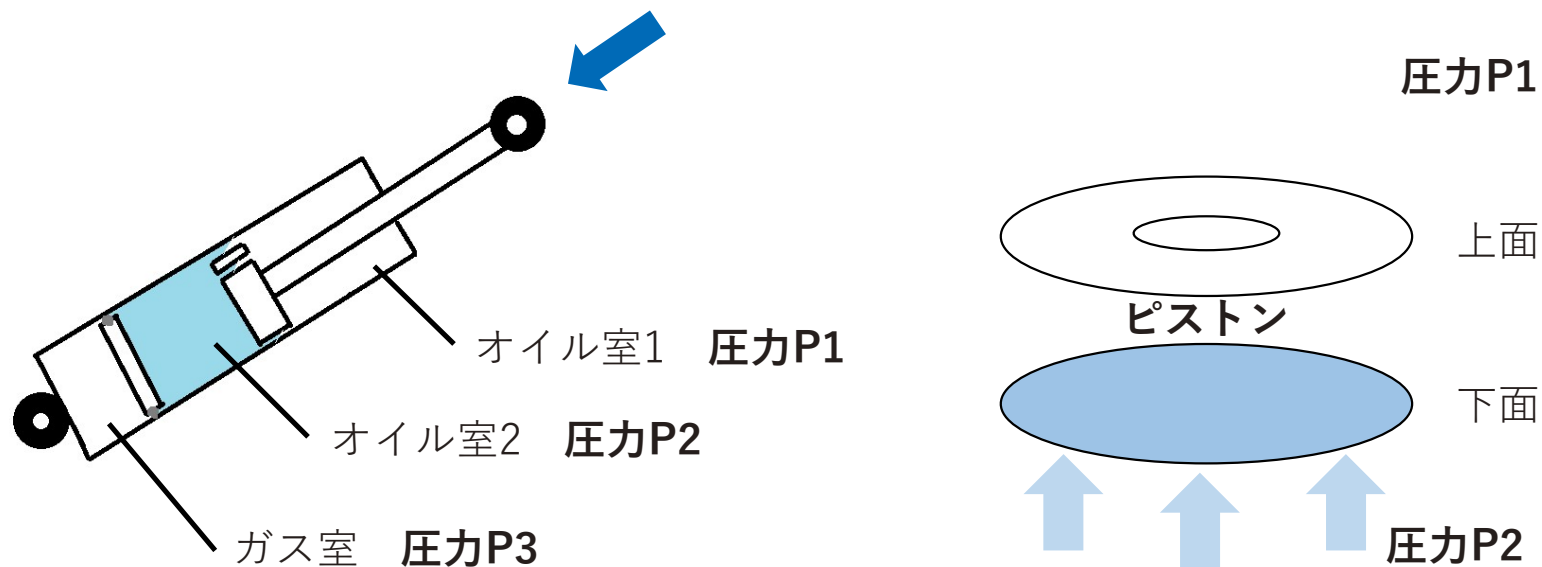


オートパーツ
販売サイト



enable
株式会社 アネブル

モノチューブダンパー Bump (最大値)



ダンパーのbump側減衰力最大の状態

$$P1 = 0, P2 = P3$$

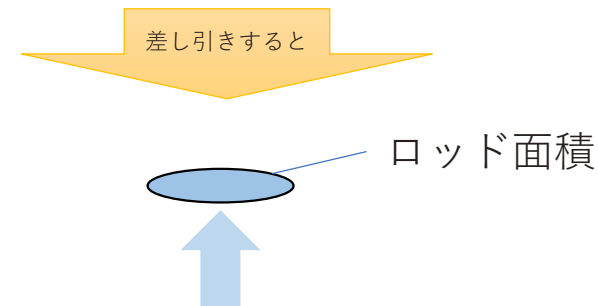
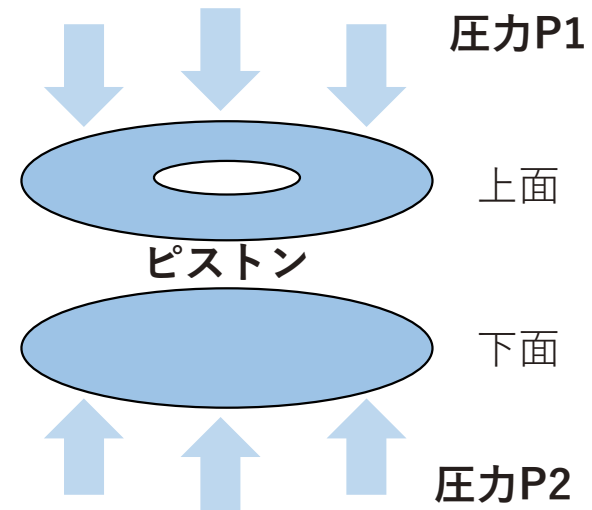
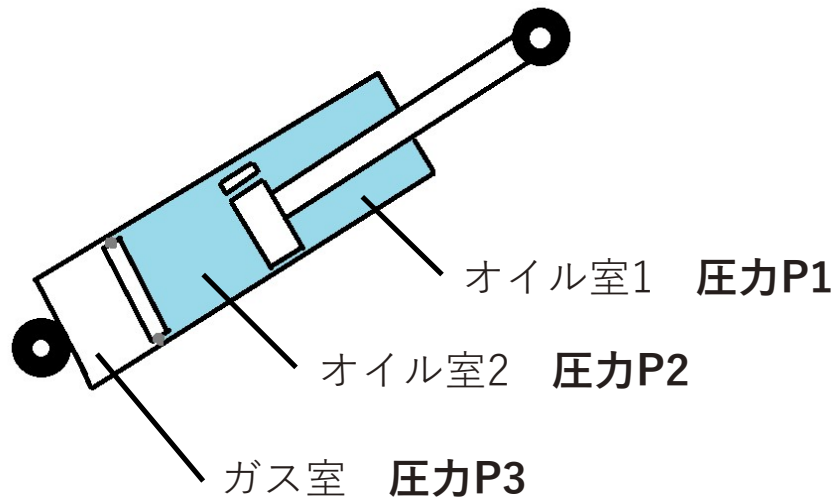
ピストンに加わる力

$$P2 \times (\text{ピストン下側面積}) - \underbrace{P1 \times (\text{ピストン上側面積})}_0$$

bump最大減衰力から必要なガス圧を計算する事が出来る。



静止状態の力のつり合い



ダンパーが静止状態で
ピストンに加わる力 (ガス反力、rod force)

$$P2 \times \text{ロッド面積}$$

ロッド面積は計測可能なためP3を計算する事が可能

FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト

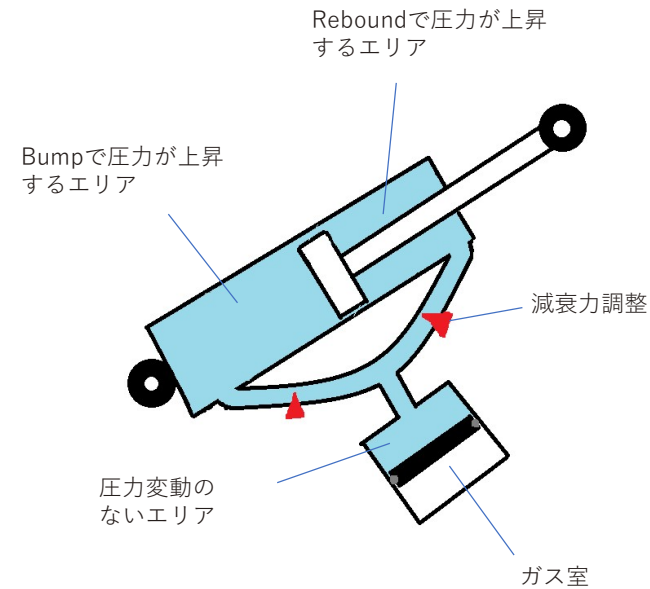
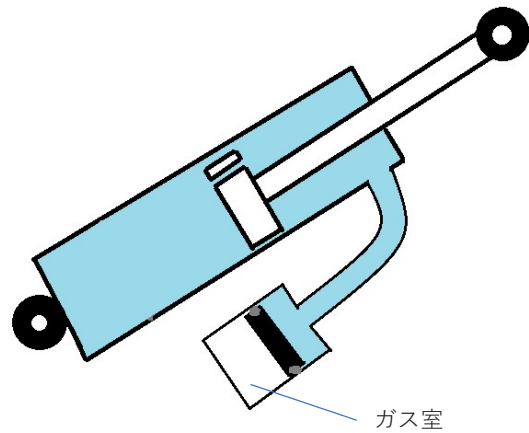
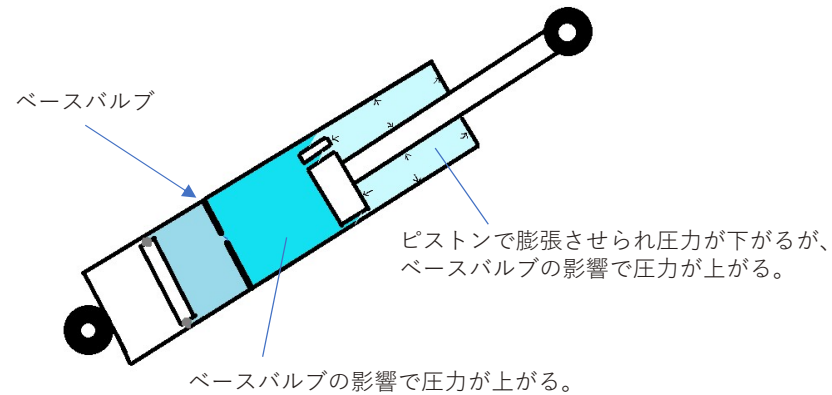


オートパーツ
販売サイト



enable
株式会社 アネブル

色々なモノチューブダンパー



アネブルクイズ2

この構造はどんな用途・目的で
使用されるでしょうか？

FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト



オートパーツ
販売サイト



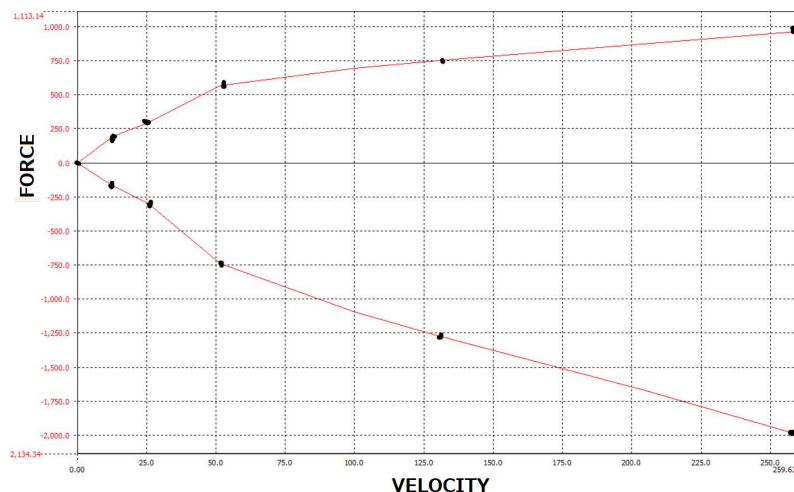
enable
株式会社 アネブル

2. 減衰力のグラフ

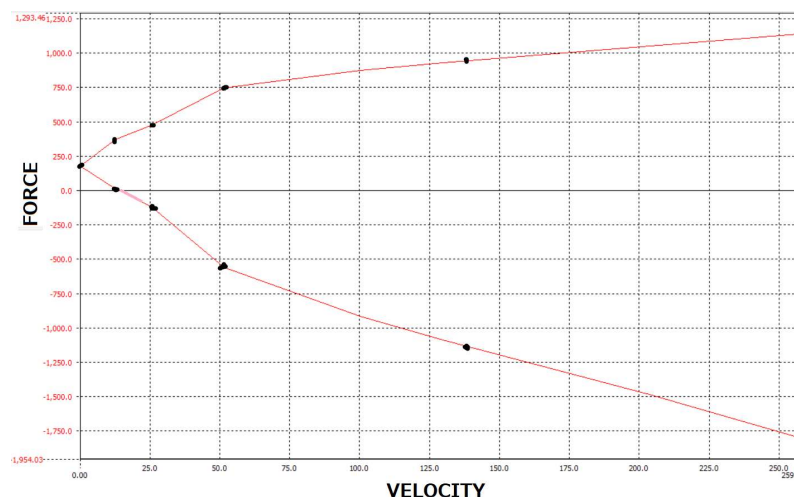
ダンパーは速度に応じて運動と反対向きの力を発生します。

グラフでの表し方には何通りかの方法があります。

ガス反力キャンセル済みグラフ



ガス反力を含んだグラフ



一般的な物は速度（velocity）を横軸、力（force）を縦軸にとった
「F-Vグラフ」と言われるものです。

bump, reboundどちらをプラスにするかメーカー毎に違うため必ず確認しましょう。

ガス反力は速度に依存しないためガス反力をキャンセルしたグラフで表すことが多い。

FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト



オートパーツ
販売サイト

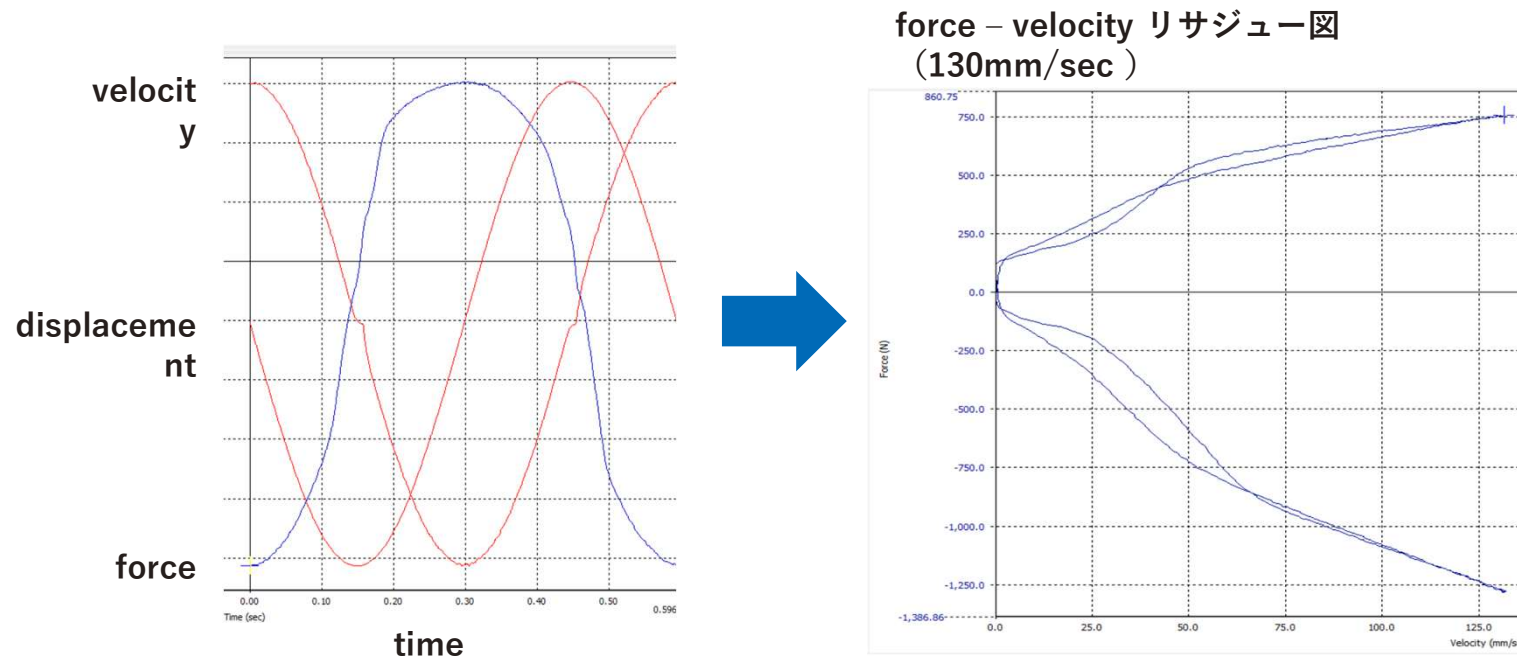


enable
株式会社 アネブル

PVP (peak velocity plot) グラフの作られ方

ダンパーは、速度に応じて運動と反対向きの力を発生します。

グラフでの表し方には、何通りかの方法があります。



左のグラフは、ピークスピード 130mm/sec の正弦波でダンパーをストロークさせた時の time vs force , velocity のグラフです。

forceとvelocity でリサージュ図を書くと右のようなグラフを書くことができます。

FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト

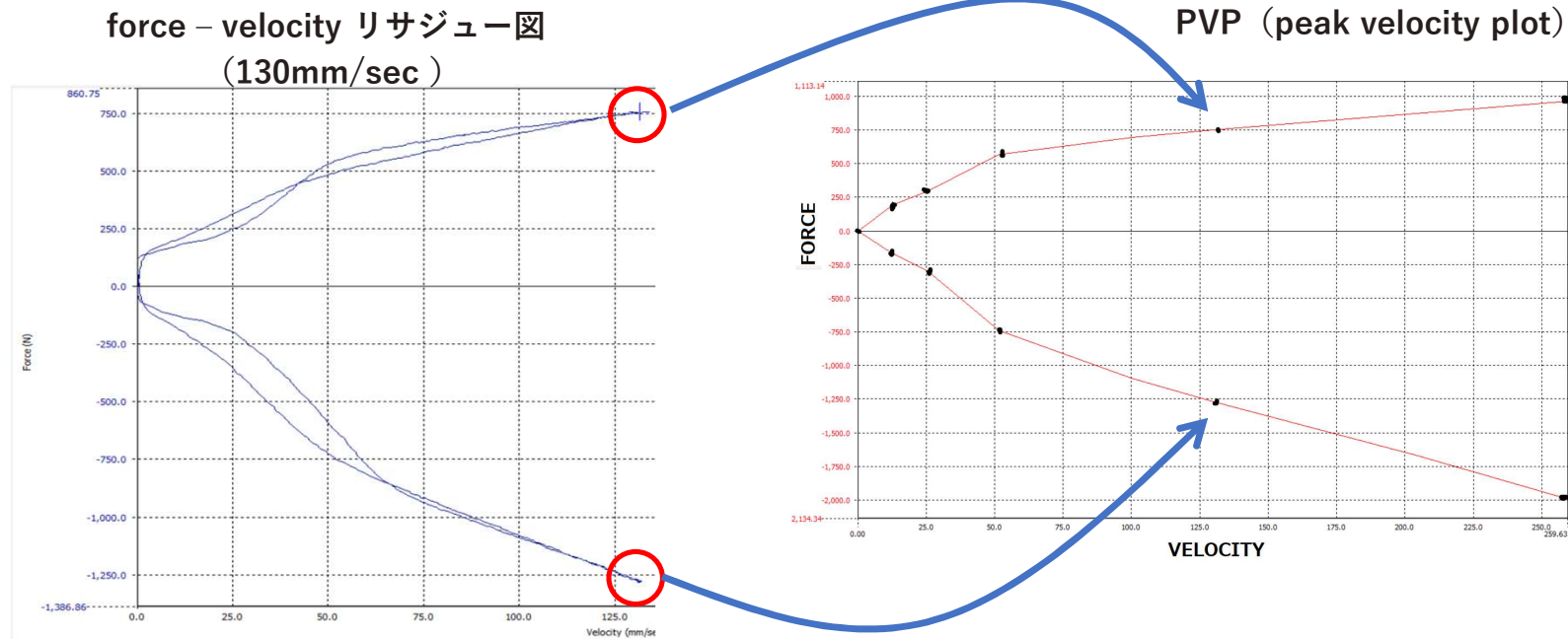


オートパーツ
販売サイト



enable
株式会社 アネブル

リサージュ図を描くことでフリクション、ヒステリシスなどを確認する事が出来ます。



このようなテストを異なったスピードで繰り返し行い、ピークスピード時の減衰力を数字をプロットしていくと右のようなグラフを書くことが出来ます。

色々な速度のテストのピークの力を直線で結んだグラフを
「PVP (peak velocity plot) グラフ」と呼ぶ事があります。

FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト



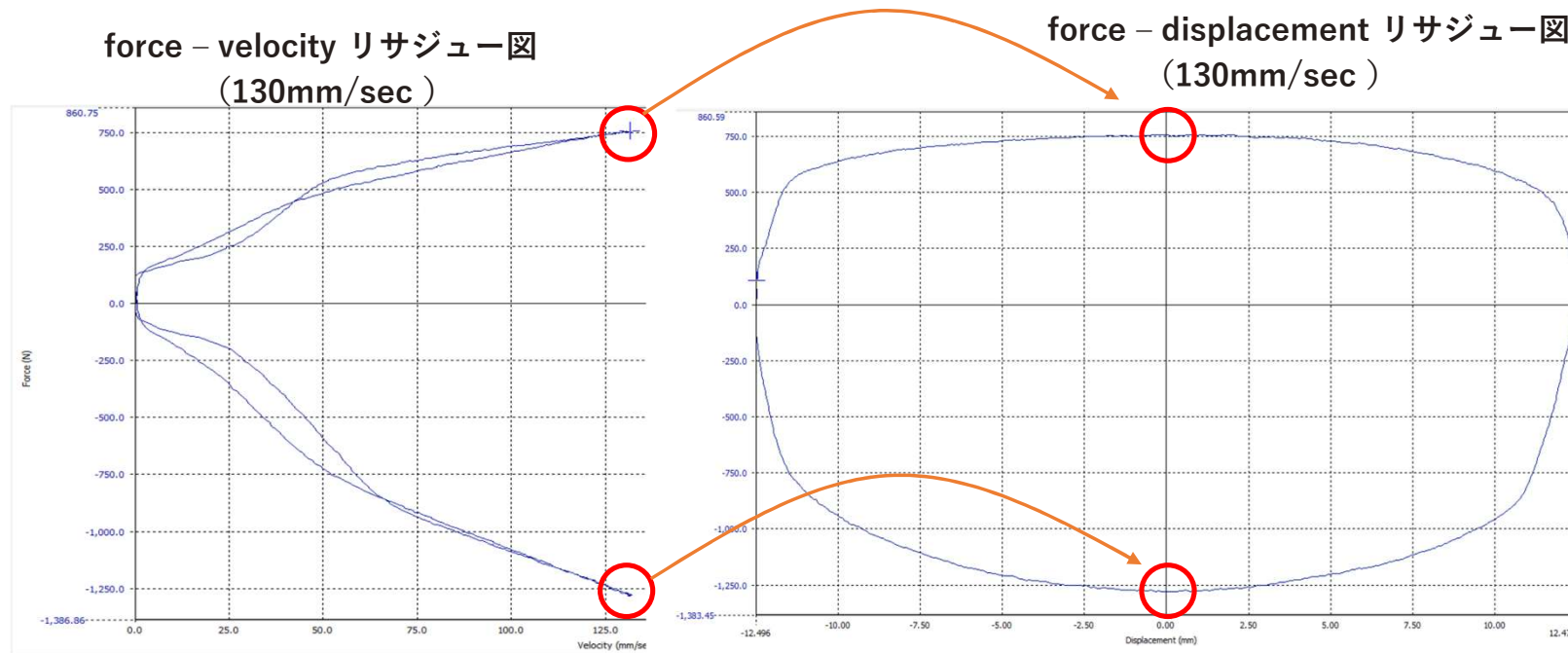
オートパーツ
販売サイト



enable
株式会社 アネブル

force vs displacement での表し方

横軸をdisplacement にしてリサージュ図を描くとこのようなグラフになります。



情報量が増える訳ではありませんが位置に依存する減衰力、バンプラバー荷重、ガス反力などを確認する場合はこの方が見やすい場合があります。

FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト



オートパーツ
販売サイト



enable
株式会社 アネブル

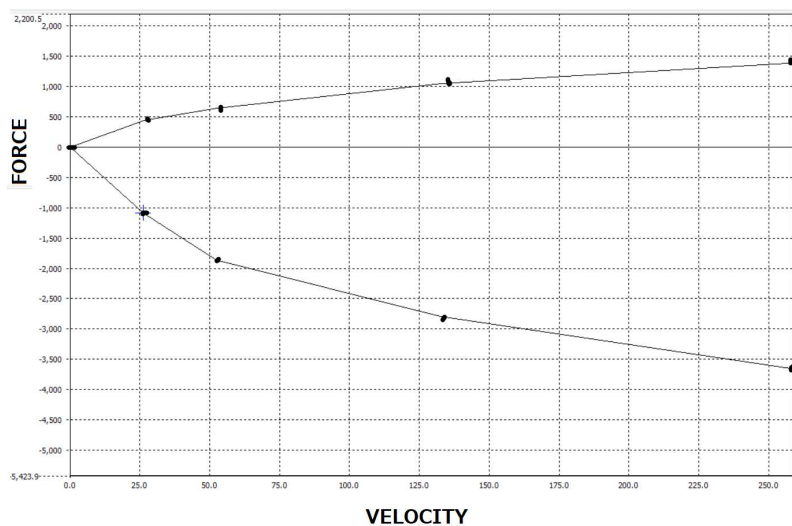
リサージュ図の活用例 -1

PVPグラフだけでは不具合を見落としてしまうことがあります。

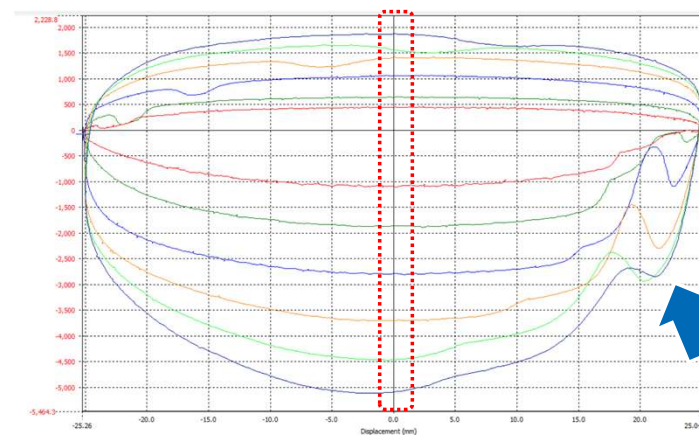
赤破線で囲った部分以外で不具合が起きていても

PVPグラフに反映される事はありません。

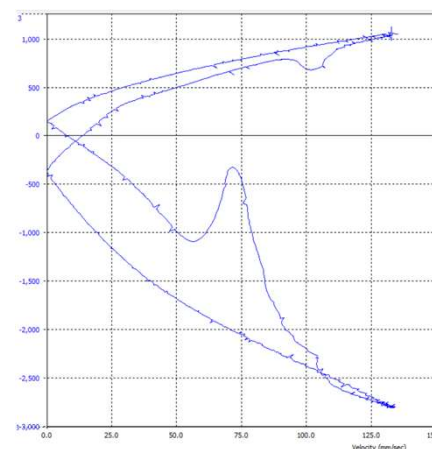
PVPグラフ



force – displacement リサージュ図



force – velocity
リサージュ図



FSAE × enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト



オートパーツ
販売サイト

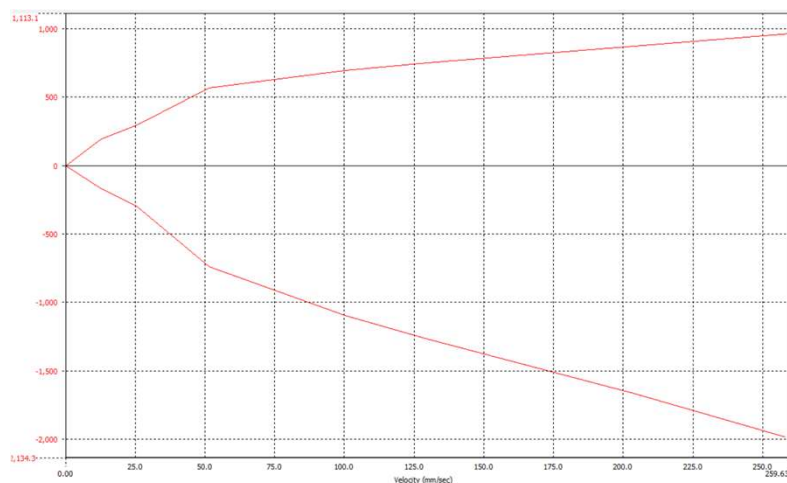


enable
株式会社 アネブル

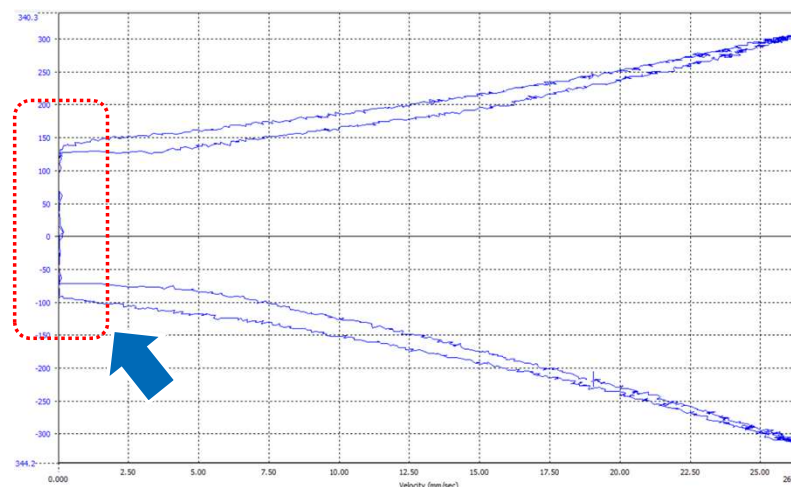
リサージュ図の活用例 -2

フリクションはダンパーの性能を語るうえで外すことは出来ません。
フリクションは速度特性ではありませんのでPVPグラフでは埋もれてしまいます。

PVPグラフ



force – velocity リサージュ図



FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト



オートパーツ
販売サイト



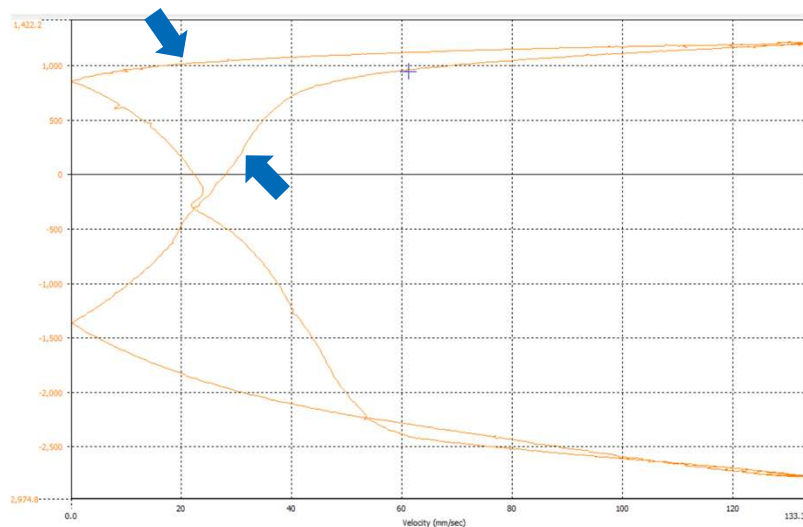
enable
株式会社 アネブル

リサージュ図の活用例 -3

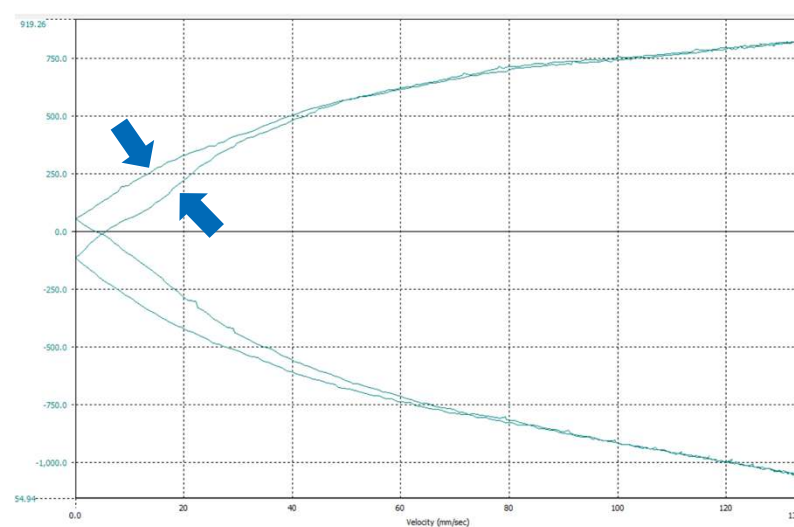
ヒステリシス (Hysteresis) とは、ある系の状態が
現在加えられている力だけでなく過去に加わった力に依存して変化すること。

ヒステリシス = 悪ではありませんがレースでは
ヒステリシスが少ないダンパーを求められる事が多いです。
これもリサージュ図を描くことで確認する事が可能になります。

ダンパー A



ダンパー B



FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト



オートパーツ
販売サイト



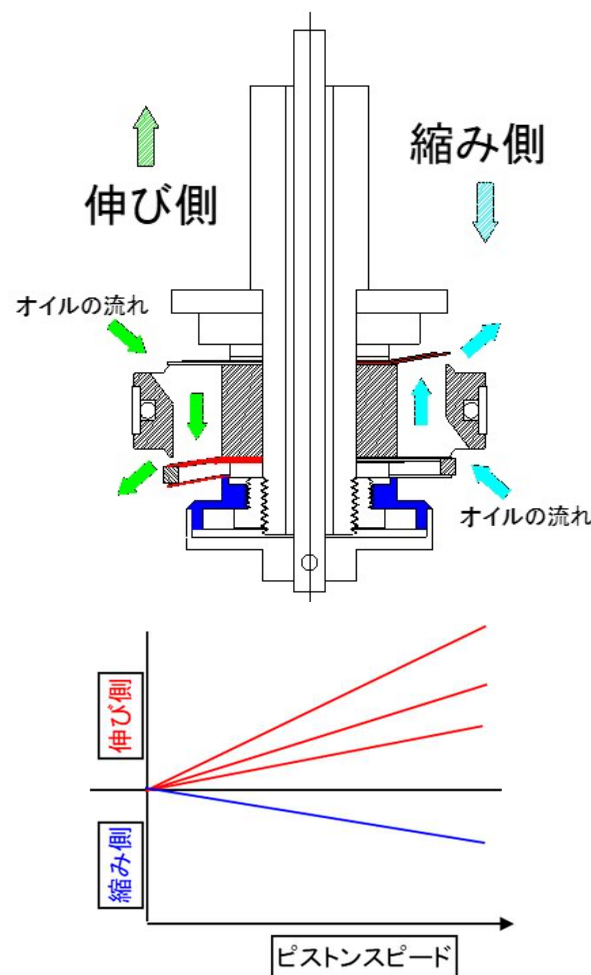
enable
株式会社 アネブル

3. 減衰力チューニング

減衰力発生方法にはいろいろな方法があります。
ここでは代表的な物を紹介します。

① ピストン + シム

ピストン自体のデザイン
シムの組み合わせなどで
チューニングの幅が広いのが特徴



シムの枚数や厚みを変えて、特性を変化させる事が可能です。

FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト



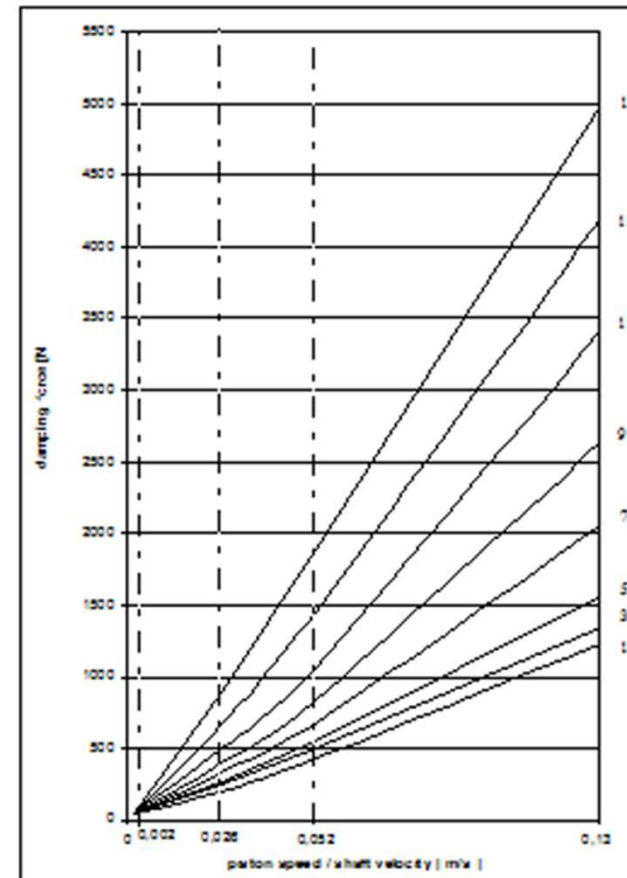
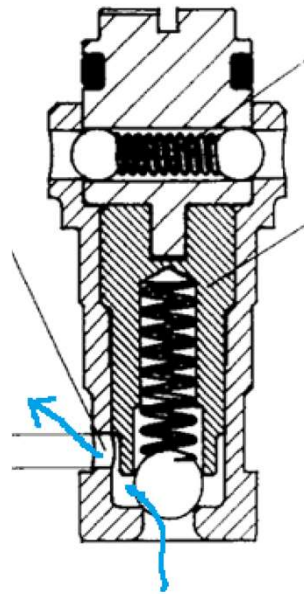
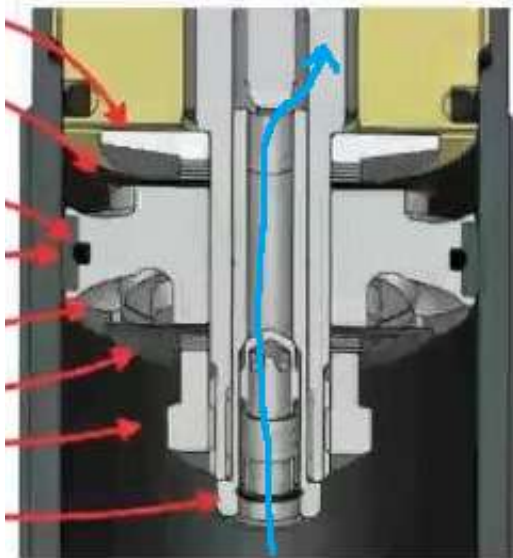
オートパーツ
販売サイト



enable
株式会社 アネブル

② ニードルまたはシャッター

調整機構を持たせることが容易
開口部面積の2乗に反比例し、
速度の2乗に比例する特性が特徴



.....

アネブル
公式サイト



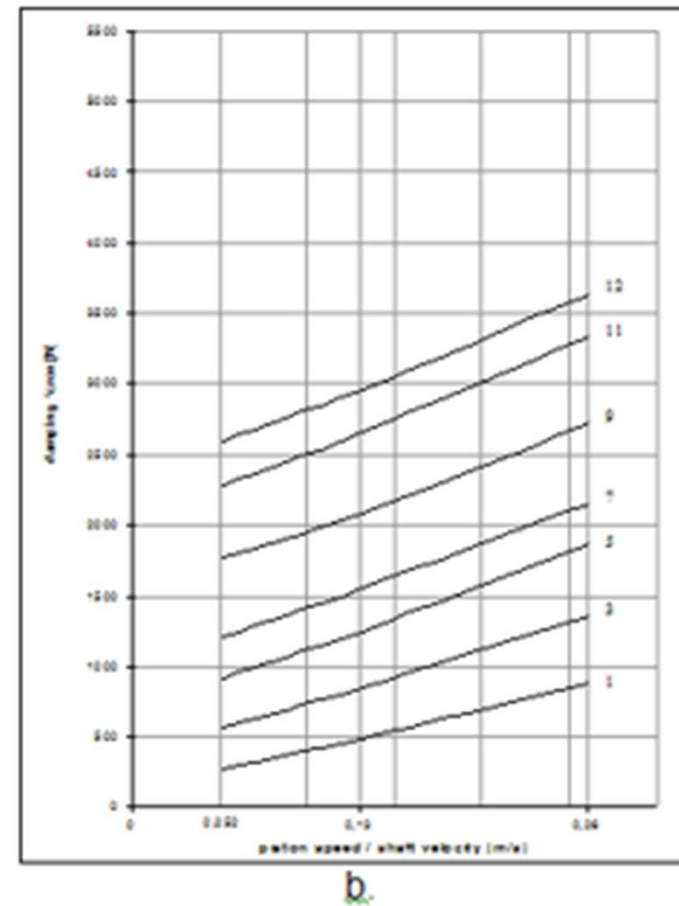
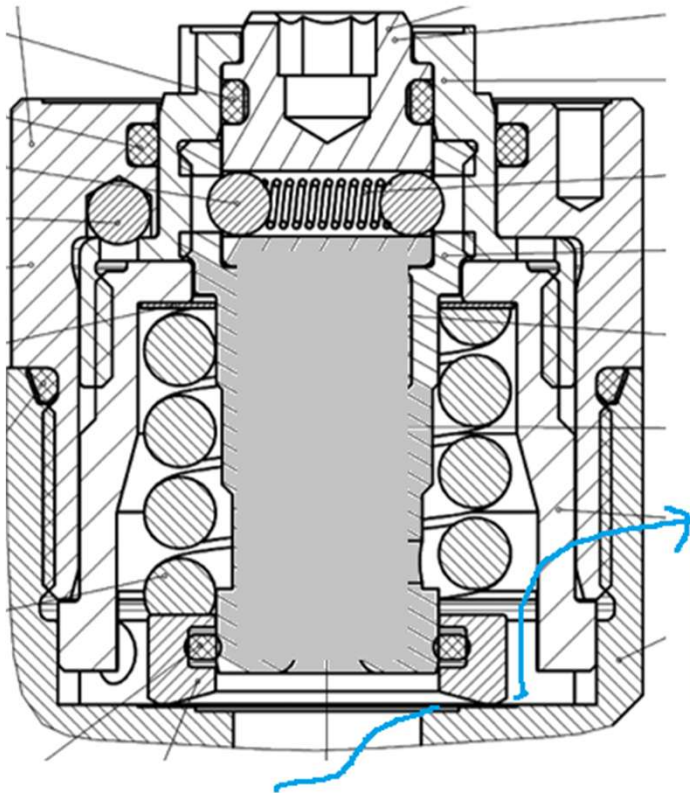
オートパーツ
販売サイト



② ニードルまたはシャッター

調整機構を持たせることが容易

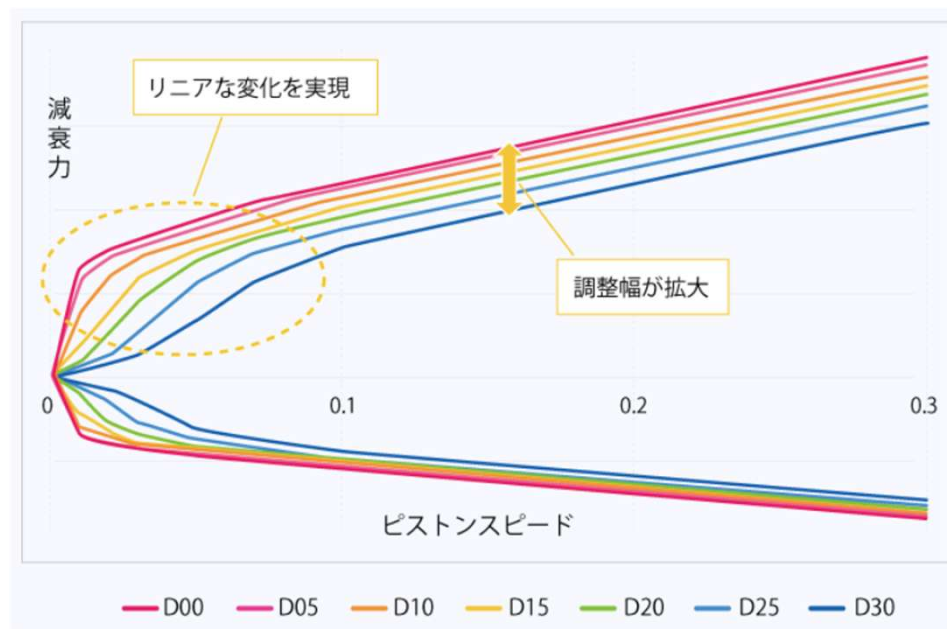
開口部面積の2乗に反比例し、速度の2乗に比例する特性が特徴



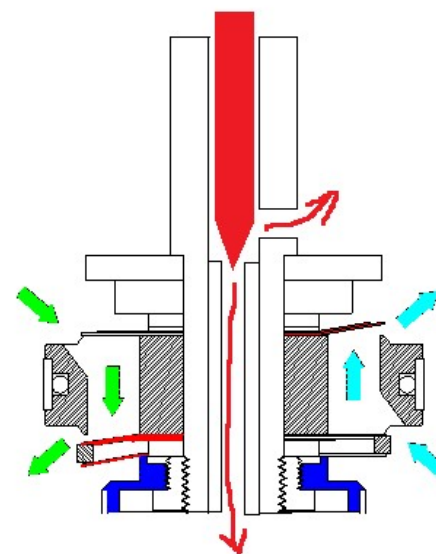
① ピストン + シムで全体的な特性を決めて

+

② ニードル / シャッターで低速を調整可能にしたもの



少ない部品点数で実現可能で比較的低コストの為、アフターマーケットのダンパーへの採用例が多い。



FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト



オートパーツ
販売サイト



HKS
HIPERMAX

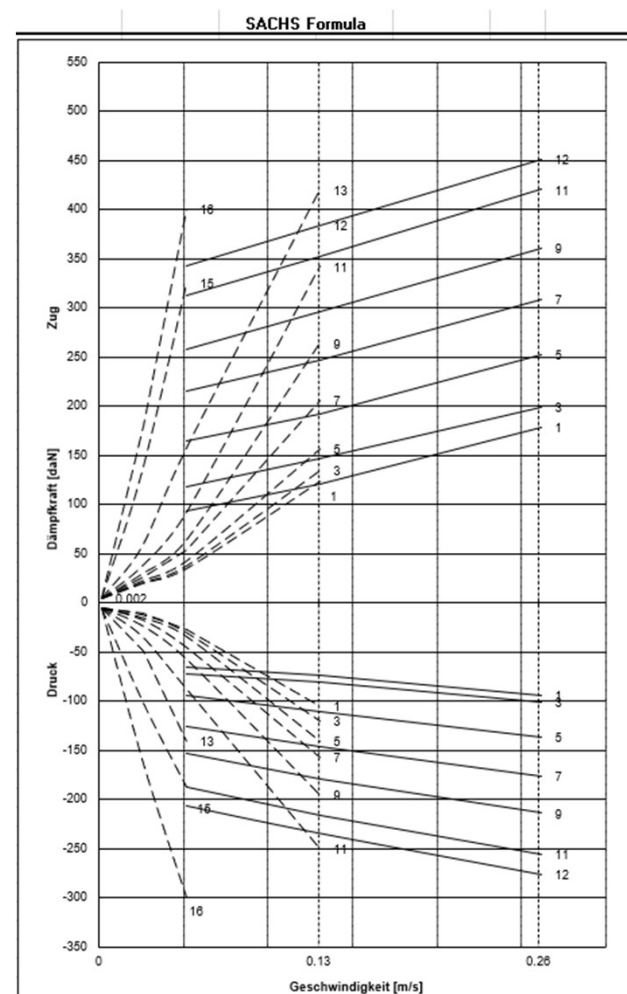
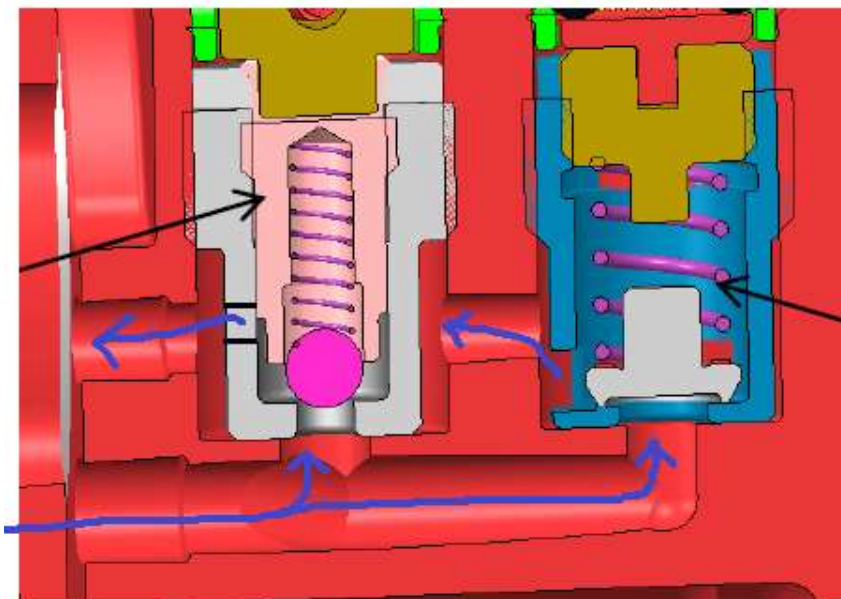
<https://www.hks-power.co.jp/product/suspension/hipermax/s/index.html>

enable
株式会社 アネブル

② ニードル / シャッター と

③ バルブ + コイルスプリング

レース用4wayダンパーなどに採用されている。



FSAE×enable
ダンパー講習会
2025 in KYOTO

.....

アネブル
公式サイト



オートパーツ
販売サイト



enable
株式会社 アネブル