



防振の原理と振動伝達率

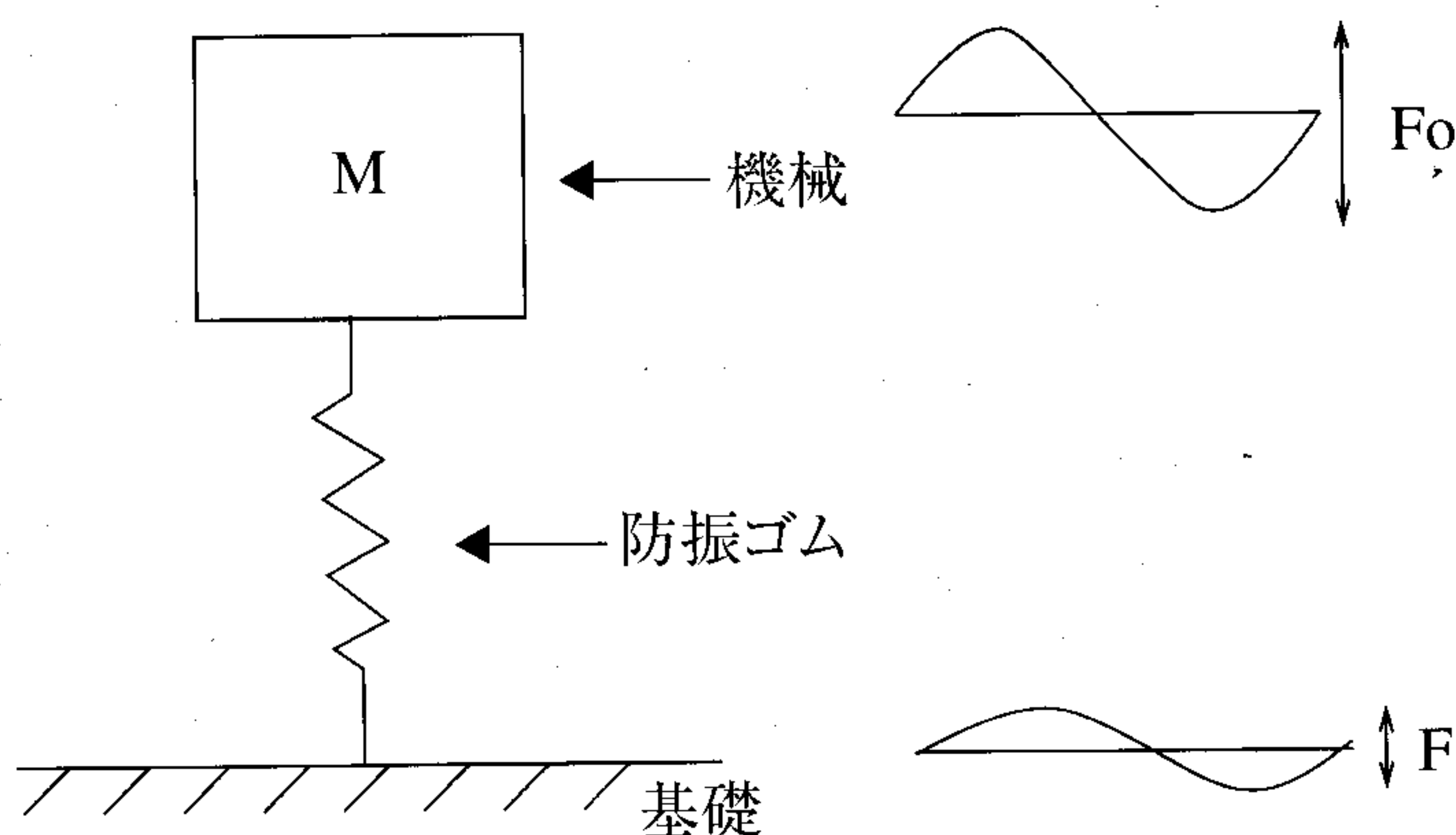


図1.

振動を発生する機械を防振支持する場合、あるいは外部からの振動を精密機器などに影響を及ぼさないように防振支持する場合に防振ゴムが用いられます。

図1の様に機械を防振支持した場合、基礎に伝えられる力をF、防振支持しない場合の力をFoとしますと、振動伝達率 Tr は次式で表わされます。

$$Tr = \frac{F}{Fo} = \left| \frac{1}{1-u^2} \right| \dots\dots\dots(1)$$

Fo : 機械から発生する加振力

F : 機械から基礎に伝えられた加振力

$$u = \frac{f}{fn} \dots\dots\dots(2)$$

u : 振動数比

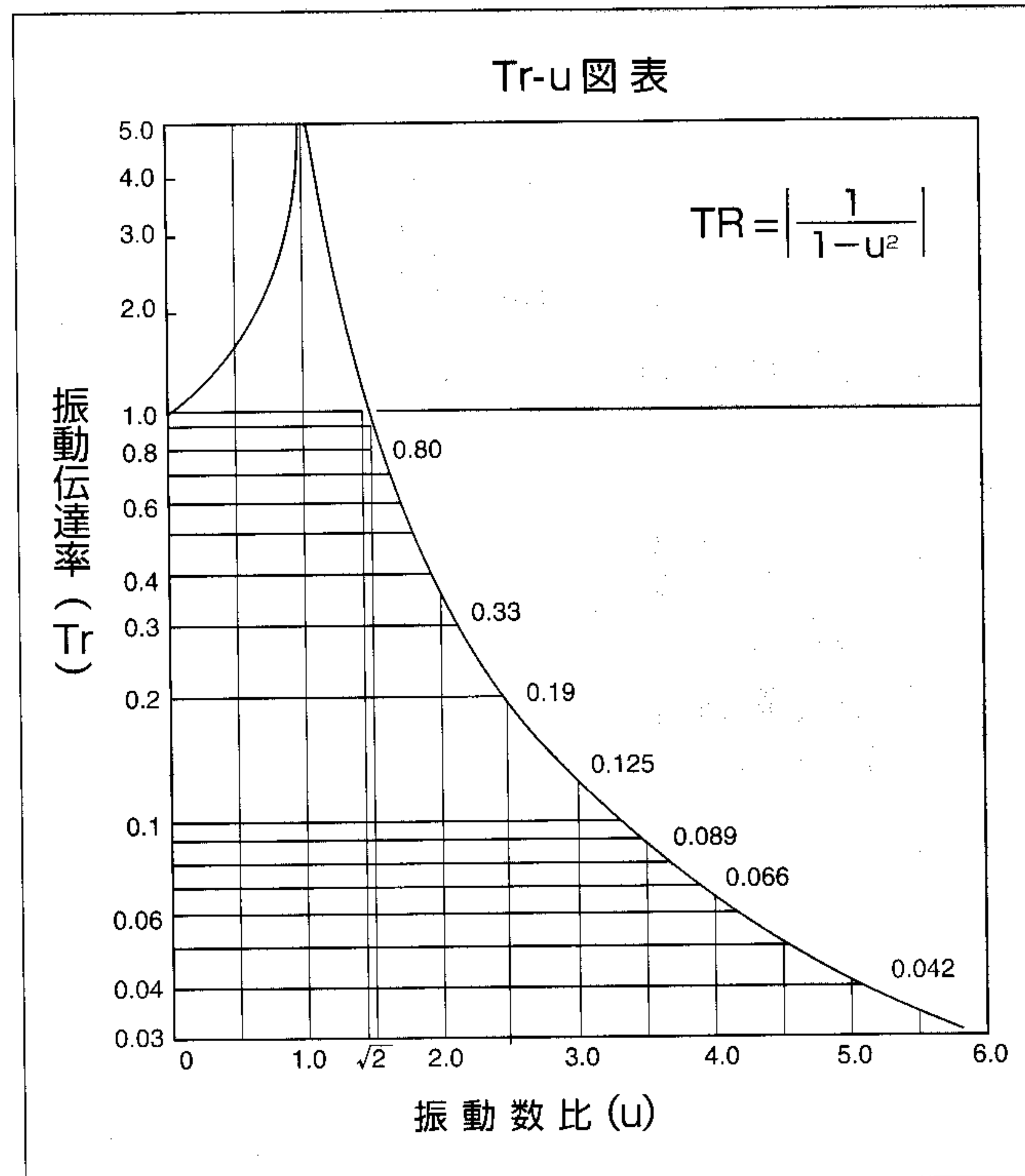
f : 機械から発生する振動数

fn : 機械を防振支持した時の固有振動数

(1)式をグラフ化したものが Tr-u 図表です。

同図からわかるように振動伝達率 Tr = 1 (100%) の時、防振効果は 0% であり、振動数比 u は $\sqrt{2} \approx 1.414$ があります。

防振効果を得るには $Tr < 1$ にすればよく、従って $u > \sqrt{2}$ にすればよいこととなります。一般には $u = 2 \sim 4$ とすれば防振の目的を達成できます。



■振動数比と防振効果の関係

振動数比	振動伝達率	振動状態	防振状態
$u = 0$	$Tr = 1$	$Fo = F$	防振効果無し
$u = 1$	$Tr \rightarrow \infty$	$Fo < F \rightarrow \infty$	共振
$u = \sqrt{2}$	$Tr = 1$	$Fo = F$	防振効果無し
$u > \sqrt{2}$	$Tr < 1$	$Fo > F$	防振効果あり

振動伝達率は振動数比、すなわち機械の振動数と固有振動数の比によってきまります。

固有振動数は機械の質量と防振ゴムのばね定数によってきまり、

$$fn = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K \times 1000}{m}} \dots\dots\dots(3) \text{ (SI 単位系)}$$

fn : 固有振動数 (Hz)

K : ばね定数 (N/mm)

m : ばね上の質量 (kg)

$$fn = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K'}{W} \times g \times 100} \dots\dots\dots(3)' \text{ (重力単位系)}$$

K' : ばね定数 (kgf/cm)

W : ばね上の重量 (kgf)

g : 重力加速度 ($\approx 9.8m/s^2$)

で求められます。

(参考)

実際の振動状態での防振ゴムのばね定数は動的ばね定数といい、カタログに示しているばね定数（静的ばね定数）より値が高くなります。これは厳密にはゴム材質、硬度、振幅、周波数、温度によって変化します。ばね定数 K に動的ばね定数を用いる場合は、次の静動比を参考として下さい。

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_d \times 1000}{m}}$$

$$K_d = K_s \times \alpha$$

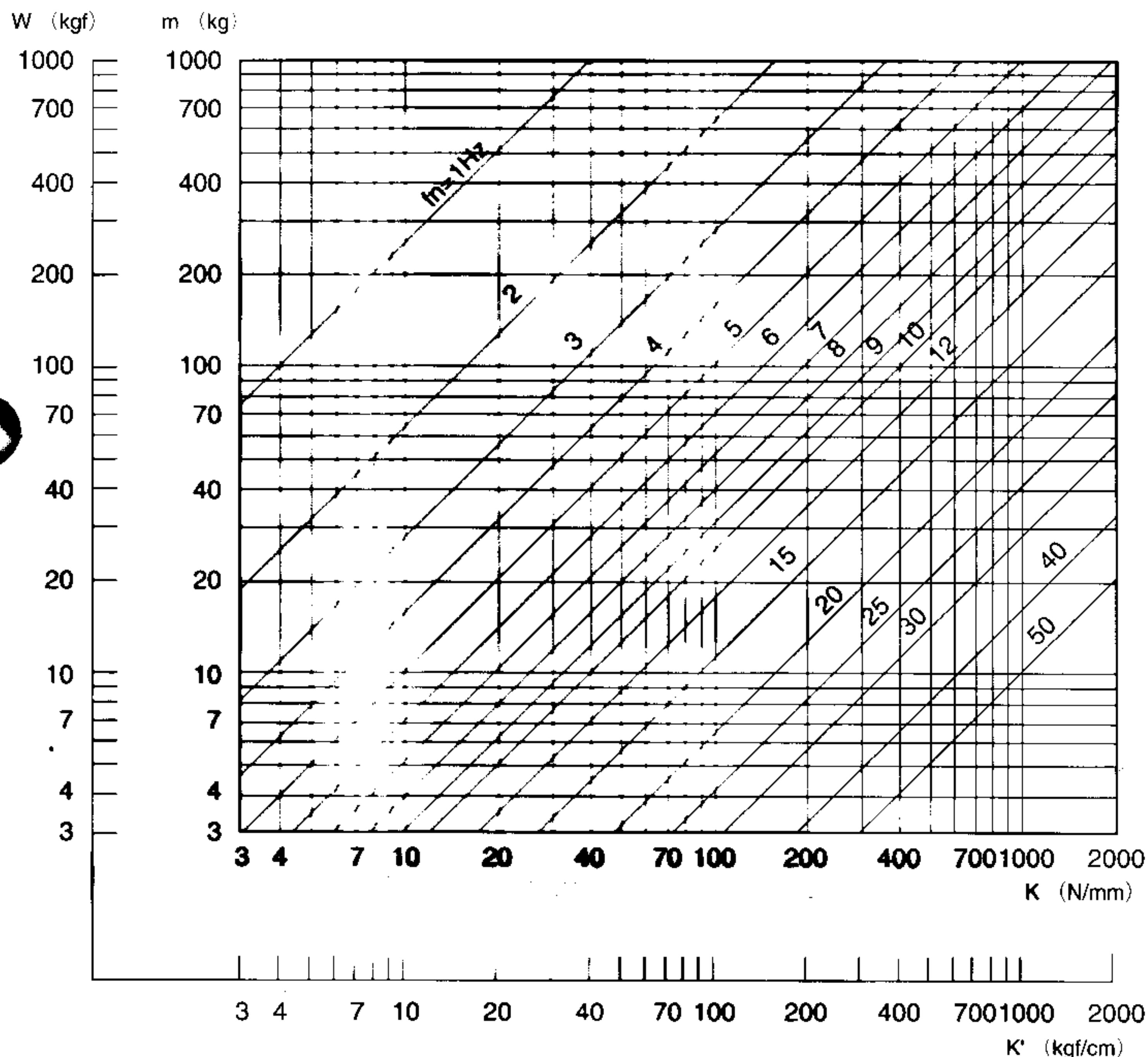
K_d : 動的ばね定数

K_s : 静的ばね定数

α : 静動比

ゴム材料, 硬さ	静動比 α
天然ゴム60	約1.4
天然ゴム45	約1.2

(3)式をグラフ化



特に上下方向の固有振動数は機械の自重による防振ゴムのたわみに関係が有り、

$$f_n \cong 4.98 / \sqrt{\delta} \text{ (Hz)} \dots\dots\dots(4)$$

$$\{ \cong 299 / \sqrt{\delta} \text{ (cpm)} \}$$

δ : 防振ゴムのたわみ (cm)

で表わされます。

振動数比が $\sqrt{2}$ 以下の場合、逆に振動は大きくなり特に $u=1$ の時は共振状態となり、 $Tr \rightarrow \infty$ となりますが、防振ゴムには金属ばねと違い減衰効果があり、共振倍率を低く抑えることが出来ます。共振倍率の大きさは防振ゴムの減衰の大きさに逆比例し、減衰が大きいくほど共振倍率は小さくすることが出来ます。しかし一方で減衰の大きさは静動比の大きさ、ゴムの耐久性にも影響しますので、大きければ良いというわけにもいきません。減衰の大きさは、ゴムの材料の損失係数 $\tan \delta$ (ロスファクター) で表わされ、その時の減衰を考慮した振動伝達率は(1)式に対応して(5)式で表わされます。

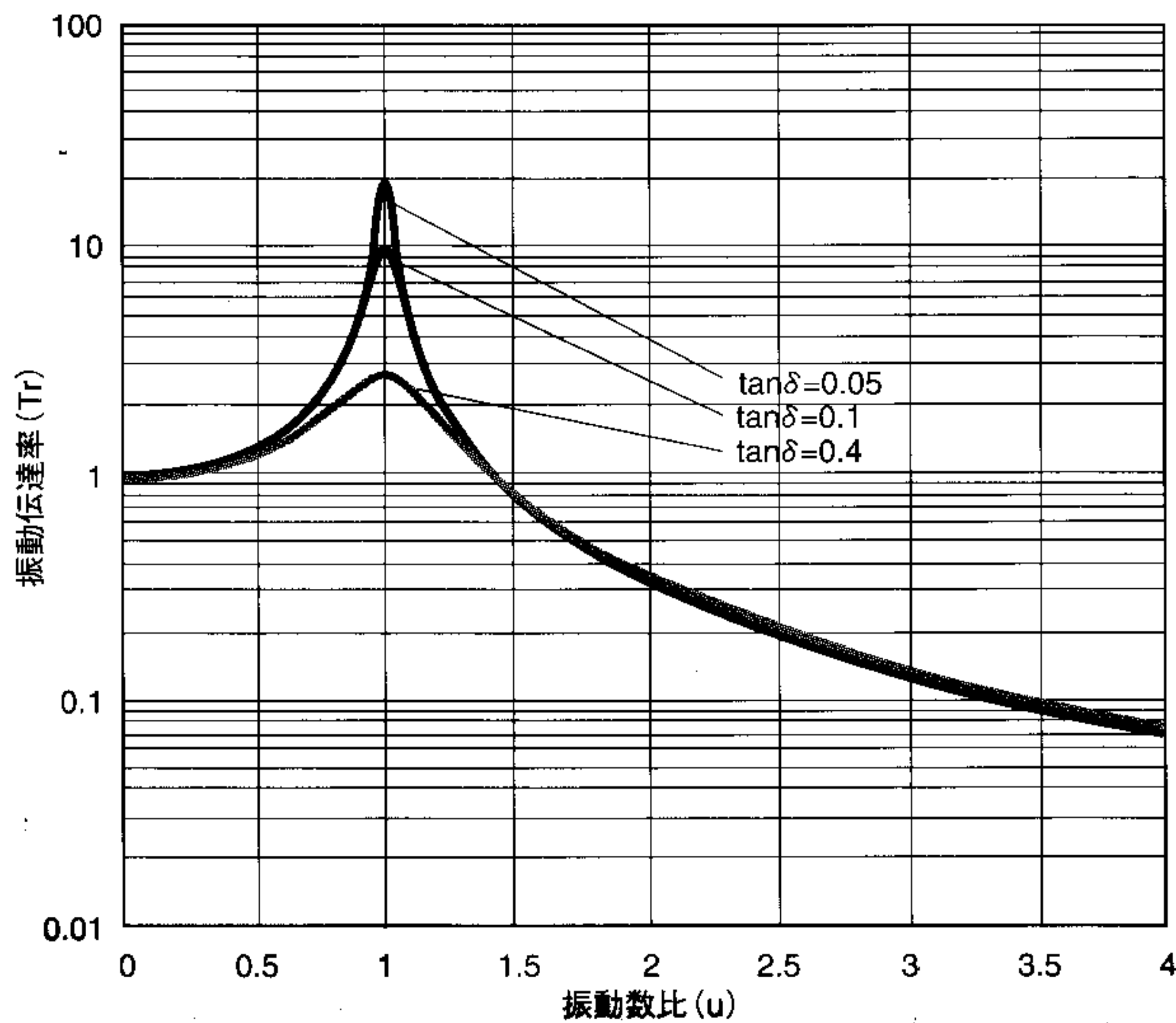
$$Tr = \frac{F}{F_0} = \frac{\sqrt{1 + (\tan \delta)^2}}{\sqrt{(1 - u^2)^2 + (\tan \delta)^2}} \dots\dots\dots(5)$$

$\tan \delta$: ゴム材料の損失係数

ゴム材料, 硬さ	損失係数
天然ゴム60	約0.1
天然ゴム45	約0.05
ブチルゴム60	約0.4
ブチルゴム45	約0.4

(5)式をグラフ化したものが、次に示す $Tr-u$ 図表となります。

$Tr-u$ 図表





防振設計の手順

設計諸元

各支持点における荷重の算出 ※1

目標伝達率の有無

無し

有り

通常の防振ゴムの選定は次の手順で行います。

防振ゴム配置の決定

各支持点における静荷重の大きさが、できるだけ同じになるように支持点を選びます。一般の産業機械では基礎ボルトの位置をそのまま支持点としますが、荷重分布が不均一な場合には、支持点の位置を再検討します。

固有振動数およびばね定数の決定

前述の「防振の原理」に基づき、固有振動数及びばね定数を計算します。

防振ゴムの選定

防振ゴムのばね定数、許容荷重、許容たわみ、強制外力の方向等を考慮して適当な防振ゴムを選定します。

固有振動数の決定

振動伝達率 $Tr=25\%$ 以下を目標とすると

$$(1) \text{ 式より振動数比 } u_0 = \sqrt{\left|1 + \frac{100}{Tr}\right|} = \sqrt{\left|1 + \frac{100}{25}\right|} = 2.236$$

$$(2) \text{ 式より固有振動数 } f_{n0} = f / u_0 = 19.5 / 2.236 = 8.72 \text{ (Hz)}$$

ばね定数の算出

必要ばね定数は (3) 式より

$$K_0 = (2\pi \times f_{n0})^2 \frac{m}{1000} \times \frac{1}{n} = (2\pi \times 8.72)^2 \times \frac{1710}{1000} \times \frac{1}{6} = 856 \text{ (N/mm)}$$

$$\left\{ K_0' = (2\pi \times f_{n0})^2 \frac{W}{g \times 100} \times \frac{1}{n} = (2\pi \times 8.72)^2 \times \frac{1710}{9.8 \times 100} \times \frac{1}{6} = 873 \text{ (kgf/cm)} \right\}$$

防振ゴムの選定

次の条件に合う防振ゴムを選定

- (1) ばね定数 $K_0 = 856 \text{ N/mm}$ $\{K_0' = 873 \text{ kgf/cm}\}$ 以下
- (2) 荷重 $F_s = 2793 \text{ N}$ $\{W_s = 285 \text{ kgf}\}$ に耐えるもの
- (3) 取付方法、用途、強制外力の方向等を考慮

選定；V形防振ゴム KC-100BP

振動伝達率のチェック

カタログ諸元より ばね定数 $K = 590 \text{ N/mm}$ $\{K' = 600 \text{ kgf/cm}\}$
 支持荷重最大値 $F_1 = 2900 \text{ N}$ $\{W_1 = 300 \text{ kgf}\}$
 (許容荷重) $F_2 = 5900 \text{ N}$ $\{W_2 = 600 \text{ kgf}\}$

$$\text{固有振動数 (3) 式 } f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K \times n \times 1000}{m}} \text{ (Hz)} \left\{ f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K' \times n}{W} \times g \times 100} \text{ (Hz)} \right\}$$

より $f_n = 7.24 \text{ (Hz)}$

振動数比 (2) 式 $u = f / f_n$ より $u = 19.5 / 7.24 = 2.69$

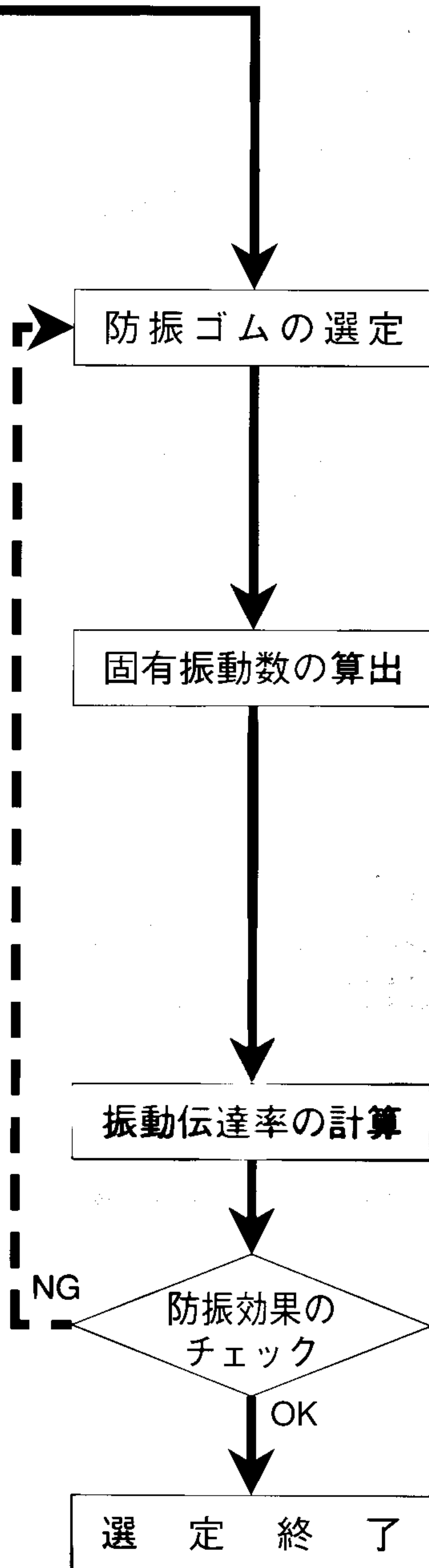
振動伝達率 (1) 式 $Tr = \frac{1}{1 - u^2}$ より $Tr = 0.16 = 16(\%)$

選 定 終 了

選定例

・機種	空気圧縮機	20HP	
・質量	機械本体	740kg	} m=1710kg {重量 W=1710kgf}
	共通ベース	970kg	
・回転数 f		1170rpm = 19.5Hz	
・支持点数 n		6点	

支持点における荷重 $F_s = m \times g / n = 1710 \times 9.8 / 6 = 2793 \text{ (N)}$ { $W_s = W / n = 1710 / 6 = 285 \text{ (kgf)}$ }



次の条件に合う防振ゴムを仮選定します。

- (1) 荷重 $F_s = 2793 \text{ N}$ { $W_s = 285 \text{ kgf}$ } に耐えるもの
- (2) 加振周波数 19.5 Hz を防振出来そうな適当なばね定数
- (3) 取付方法、用途、強制外力の方向等を考慮

選定；V形防振ゴム KC-100BP

カタログ諸元より ばね定数 $K = 590 \text{ N/mm}$ { $K' = 600 \text{ kgf/cm}$ }
 支持荷重最大値 $F_1 = 2900 \text{ N}$ { $W_1 = 300 \text{ kgf}$ }
 (許容荷重 $F_2 = 5900 \text{ N}$ { $W_2 = 600 \text{ kgf}$ })

$$(3) \text{ 式 } f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K \times n \times 1000}{m}} \text{ (Hz)} \left\{ f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K' \times n}{W} \times g \times 100} \text{ (Hz)} \right\}$$

より $f_n = 7.24 \text{ (Hz)}$

振動数比 (2) 式 $u = f / f_n$ より $u = 19.5 / 7.24 = 2.69$

振動伝達率 (1) 式 $Tr = \left| \frac{1}{1-u^2} \right|$ より $Tr = 0.16 = 16 \text{ (}\%)$

- ・振動伝達率16%で防振効果が良好なことをチェック
- ・防振効果が足りない場合や共振状態の時は再選定

防振ゴムの近くで溶接、工事等を行う場合は、防振ゴムに熱がかからないように特に注意してください。

支持点荷重の大きさによる防振ゴムの選定について (支持荷重と許容荷重の考え方)

支持点荷重の大きさによる防振ゴムの選定は、防振性能、防振ゴムの耐久性能を考慮しながら、行う必要があります。

加振力・振幅が小さい機械、支持点による偏荷重が小さい機械は、許容荷重内での使用が可能です。ただし、静荷重と動荷重の合計が、許容荷重に収まるように選定する必要があります。

逆に加振力・振幅が大きい機械、外力が大きい機械は、動荷重を考慮する必要があります。動荷重が正確につかめない場合は、静荷重をカタログ表示の支持荷重内で選定しておく安全です。