生体工学第一　　2014.6.11

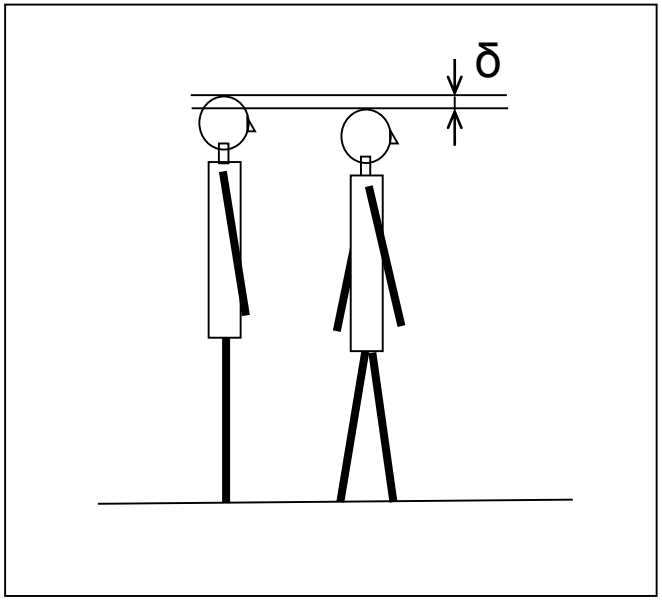
第９回講義内容

１．歩行運動の補足説明（上下動の効果）
２．筋肉の特性
３．筋肉の特性と効率（モータとの比較）

歩行時の上下動の効果

$$P_{\Delta}=Mg\delta n=Mg\delta v/s$$

（単位時間当たり n 歩，歩行速度v, 歩幅 s）



近似式

$$\delta = l(1-\cos\theta)$$

$$= l\left(1-\sqrt{1-\sin^2\theta}\right) = l\left(1-\sqrt{1-\frac{s^2}{4l^2}}\right)$$

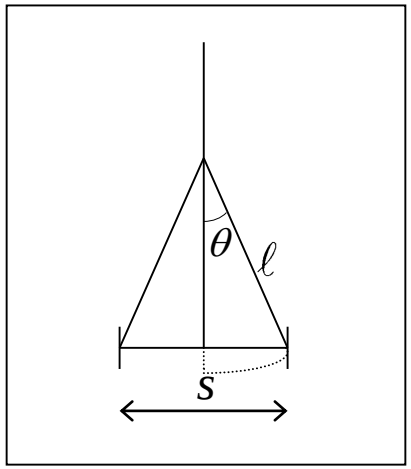
$$\sqrt{1-x} \approx 1-\frac{1}{2}x$$

l=1m, s=0.5mで δ=3cm

（体重60kg，3cm上下動で1歩につき約20J）

$$P_{\Delta} = \frac{Mgvs}{8l}$$

β : 上下動で失う比率



歩行に必要なパワー P

$$P = P_s + P_l + P_{\Delta}$$

s: *standing*, l: *legmotion*

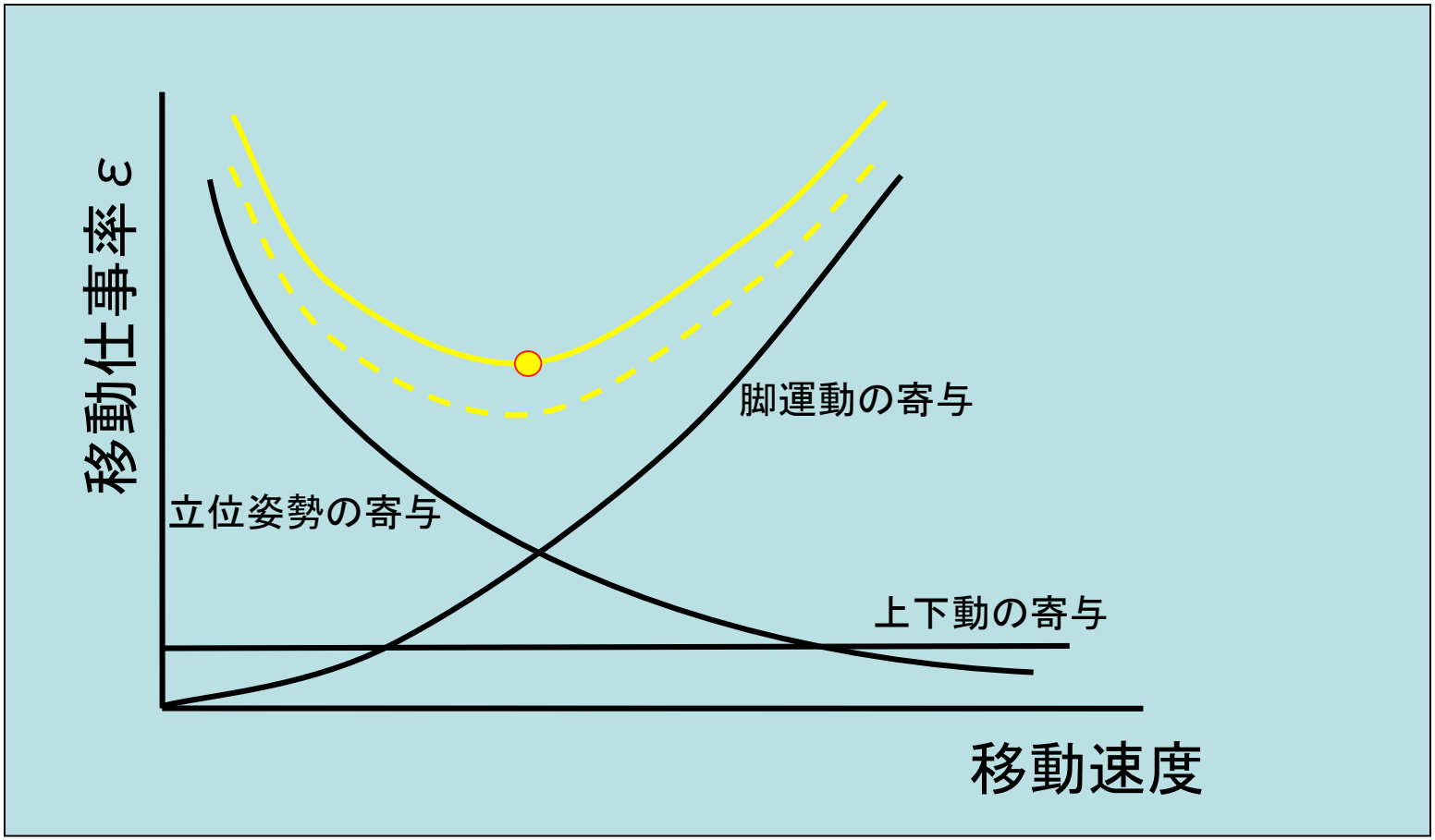
移動仕事率との関係

$$P_s = const.$$

$$P_l = \alpha \frac{mv^3}{6s}$$

$$P_\Delta = \beta \frac{Mgvs}{8l}$$

$$\varepsilon = \frac{P_s + P_l + P_\Delta}{Mgv} = \frac{P_s}{Mgv} + \frac{P_l}{Mgv} + \frac{P_\Delta}{Mgv}$$

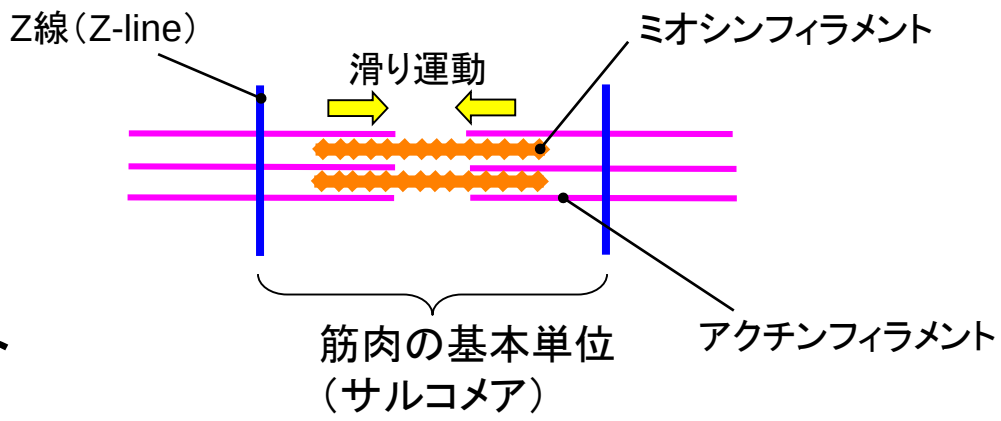


筋肉の特性

筋肉の基本単位：筋節

（サルコメア, sarcomere）

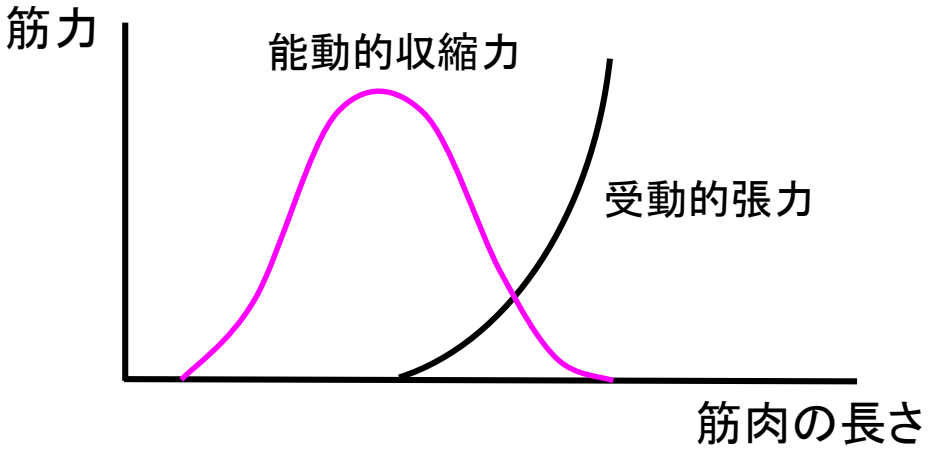
アクチンとミオシンのフィラメントで構成.



筋力：能動的収縮力

＋受動的張力

（筋肉の長さによって収縮力は変化する.）



筋肉の測定装置

生体機械工学

（日本機械学会）

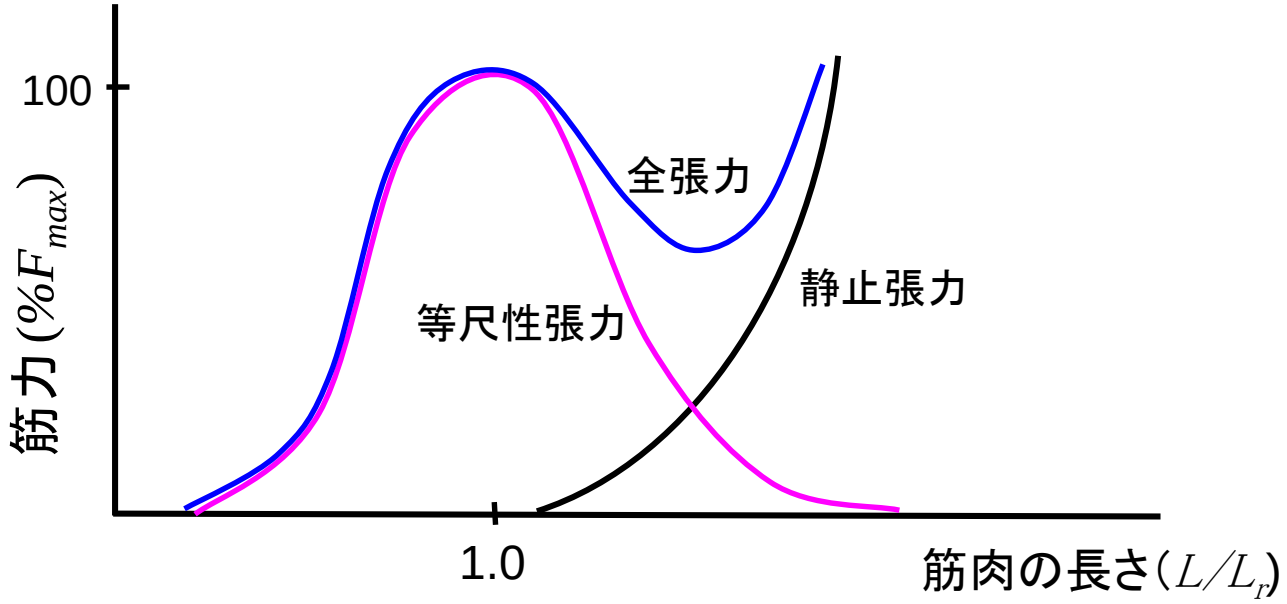
等張力性: isotonic, 等尺性 : isometric

等尺性収縮

適度な長さ(L_r)の時，収縮力最大になる.

筋刺激がないときは受動的に伸展する.

全張力 = 等尺性張力 + 静止張力

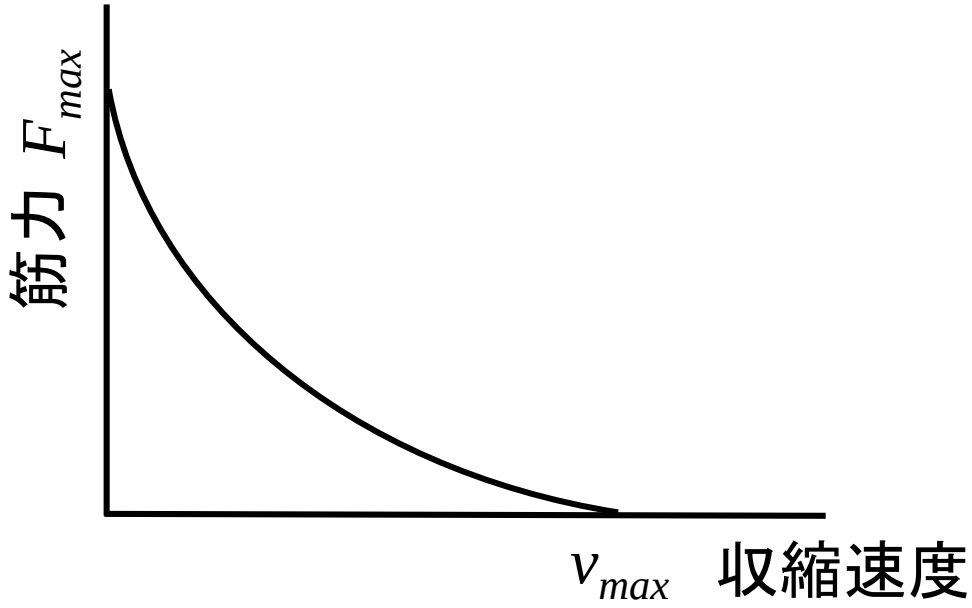


Hillの方程式

一定張力を負荷した時の筋収縮速度の実験式

$$(F+a)v = b(F_{\max} - F)$$

F:筋力, F_{max}: 最大筋力, v: 収縮速度, v_{max}: 最大収縮速度, a: 定数（$0.15F_{max}$～$0.25F_{max}$）, b:定数（$= av_{max}/F_{max}$）



出席点:筋肉が発生するパワー

$$P = Fv = \frac{v(bF_{\max} - av)}{v + b}$$

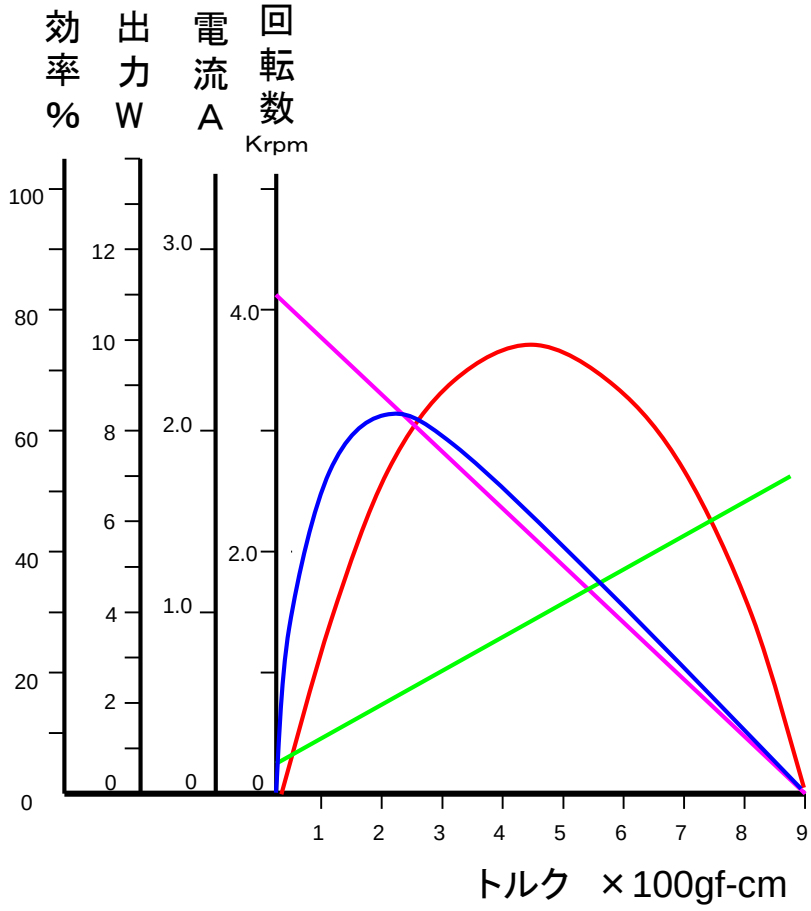
$a = 0.2F_{max}$としてパワー最大となる収縮速度と筋力を求めよ.
またその時のパワーを求めよ.

参考:

$$(F + a)v = b(F_{\max} - F)$$

F:筋力, F_{max}: 最大筋力, v: 収縮速度, v_{max}: 最大収縮速度, a: 定数($0.15F_{max}$〜$0.25F_{max}$), b:定数($= av_{max} / F_{max}$)

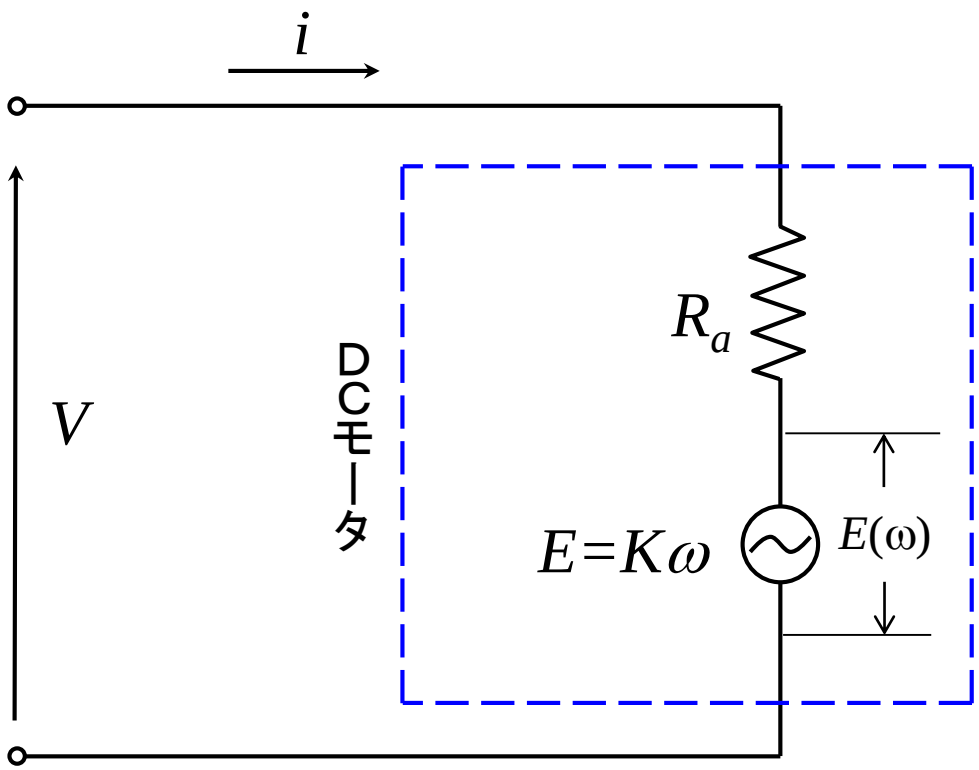
DCモータの特性

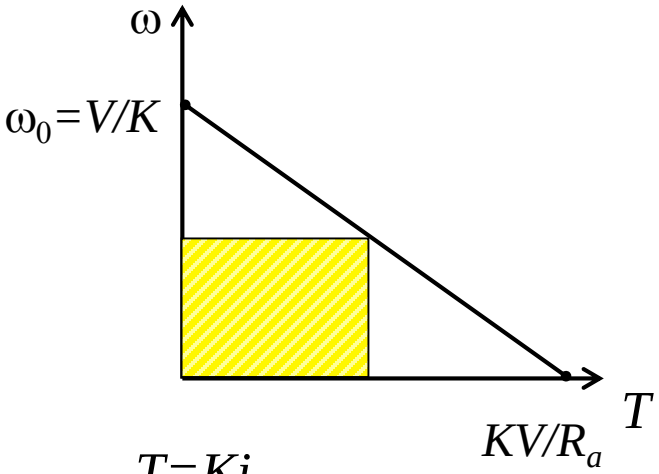


モーター特性曲線の１例

DCモータの効率

回転子の回転抵抗、鉄心内の電流損を考えない場合





$T=Ki$

$V=R_a i+K\omega$

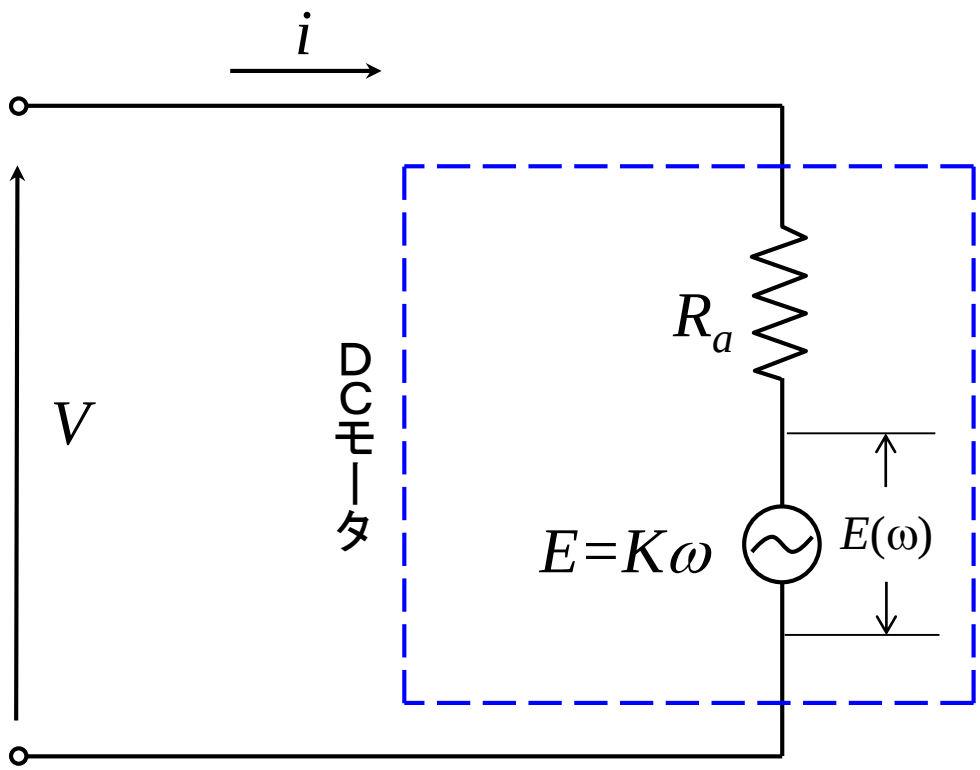
出力パワー

$$P=T\omega=T\left(\frac{V}{K}-\frac{R_a}{K^2}T\right)$$

$T=0.5KV/R_a$のとき最大

DCモータの効率

回転子の回転抵抗、鉄心内の電流損を考えない場合



モータの変換効率

出力=入力−R_aでの損失

$$=V\frac{V-E}{R_a}-(V-E)\frac{V-E}{R_a}=E\frac{V-E}{R_a}$$

入力=印加電圧x入力電圧

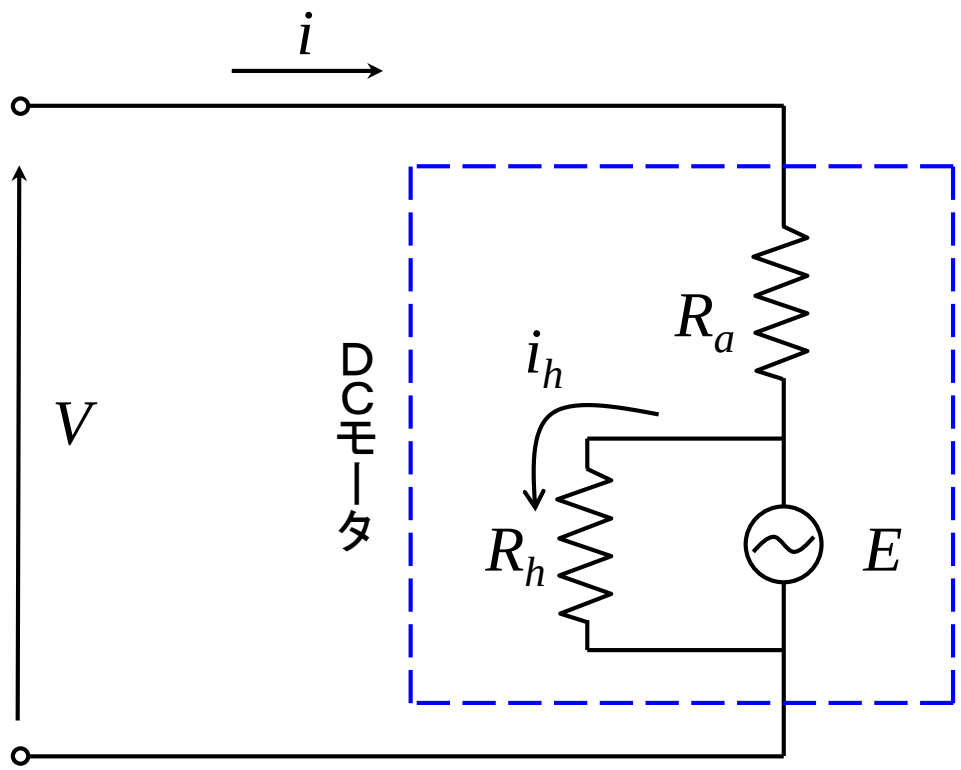
$$=V\frac{V-E}{R_a}$$

4 η=出力/入力=E/V

$E=V$（最大角速度ω_0のとき）で効率100%?

DCモータの効率

回転子の回転抵抗、鉄心内の電流損を考慮した場合



モータの変換効率

出力=入力−R_aでの損失−R_hでの損失

$$= E\frac{V-E}{R_a} - \frac{E^2}{R_h}$$

$$入力 = V\frac{V-E}{R_a}$$

$$\eta = \frac{E}{V}\left(1 - \frac{R_a}{R_h}\frac{E}{V-E}\right)$$

R_a/R_h=0.1のとき、η=54%, $\omega_{max}=0.77\omega_0$

筋肉のエネルギー効率

筋肉は外部に仕事をしなくても収縮しただけでエネルギーを消費する. dxだけ収縮すると, $adx=avdt$

$$\eta = \frac{\int Fvdt}{\int Fvdt + \int avdt} = \frac{\int Fvdt}{\int (F+a)vdt}$$

筋収縮の時間が非常に短く収縮速度がほぼ一定とみなすことができれば

$$\eta \approx \frac{Fv}{(F+a)v} = \frac{F}{(F+a)} \approx \frac{F}{(F+0.2F_{\max})}$$

筋力ができるだけ大きい状態（収縮速度ができるだけ小さい）で動作させると効率が高くなる.