

機械の動力と必要な電力

工学部 機械知能工学科

熊谷正朗

kumagai@mail.tohoku-gakuin.ac.jp

東北学院大学工学部
ロボット開発工学研究室 RDE

今回の到達目標

○動力・電力の計算 と 効率・損失

◇効率、損失について説明できる

- ・ 効率 = 出力[W] / 入力[W]
- ・ 損失 = 入力[W] - 出力[W]

◇損失の影響について説明できる

- ・ 熱、温度上昇、その影響

◇動力から電力を見積もることができる

- ・ 効率と損失の具体的な計算方法

効率と損失

○エネルギーの関係

◇各物理量の[W][J]は同等 $[W] = [J] / [s]$

- ・ 仕事[J] 仕事率・動力[W] ・ 電力[W]
- ・ 力学的エネルギー[J]
運動(並進、回転)、位置(重力、バネ)
- ・ 熱[J] 単位時間あたりの熱流[W]

◇すべてが変換できれば、数値はそのまま

- ・ 重力による位置エネルギー → 落下速度
- ・ 電力 × 時間 → 熱、温度上昇 ジュールの法則

効率と損失

○全てが変換されない場合がある

◇目的と違う形に変換される分がある

- ・ モータに入れた電力 = 回転 + 発熱 + 振動
- ・ 機構に入れた動力 = 目的の出力
+ [摩擦 × 速度] の動力
- ・ 熱機関に入れた熱 = 動力 + 低温に捨てる
- ・ 電源回路の入力 = 出力電力 + 発熱
- ・ 充電機に入れた電力 = 使える分 + 発熱

◇変換されなかった分 (= 無駄になった) = 損失

効率と損失

○損失と効率

◇損失 = 入力電力・動力 - 出力電力・動力

- ・ 目的のエネルギー等に変換されなかった分
- ・ とらえ方でその区分は変わる
例) 一般に発熱は損失 or 暖めも必要

◇効率 $\text{効率} = \frac{\text{目的の出力}[W, J]}{\text{入力}[W, J]} = \frac{\text{入力} - \text{損失}}{\text{入力}}$

- ・ 出力 = 入力 × 効率 入力 = 出力 ÷ 効率
- ・ 損失 = 入力 - 出力 = 入力(1 - 効率)

効率と損失

○損失の主な原因

◇機械的な損失

- ・ 摩擦力

◇電気的な損失

- ・ 部品による電力消費 EI, RI^2
- ・ マイコンなど、出力そのものではない消費
※動作には必須であるが

◇損失の行き先

- ・ 基本的に / 最終的には熱

効率と損失

○損失の結果としての熱、温度

◇損失 → 熱 → 温度上昇 $[K] \quad [^{\circ}C/W]$

- ・ 流れる熱の量[W] = 温度差[$^{\circ}C$] ÷ 熱抵抗
- ・ ものの温度 = 周囲温度 + 熱[W] × 熱抵抗
※熱抵抗が小さい = 放熱しやすい
- ・ 熱が多い、熱抵抗高い → 温度上昇
※周囲温度も

◇温度上昇の結果

- ・ 発火 / 損傷、樹脂軟化による強度低下など
- ・ 寿命短縮 (電解Cは温度10度高いと寿命半減)

効率と損失

○効率のとりえ方

◇効率は高いほどよい

- ※一般に高価になる

◇効率が100%に満たない部分 (1 - 効率)

- ・ 熱になる → 放熱を考える必要
- ・ 機器の小型化が進むと熱が集中
- ・ エコではない

◇効率の測定条件に注意

- ・ たとえばモータは低出力の時は効率低い

効率と損失

○出力の大きさと損失、効率

- ◇同一物であれば、メカトロパワー系は一般に
 - ・出力が高いほど 効率は高い傾向
 - ※動作に依存しない損失の割合が、
 - ※出力が高いほど低くなるため
 - ・カタログ値は「最高値」記載が多い。
 - ・損失については種々の要因によるため、あまりはっきりした傾向はない。
- ※例) 電流による損失は電圧、速度に関係しない

効率と損失

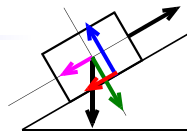
○効率の算出

- ◇現物があれば実測できる
- ◇効率の完全な予測は難しい
 - ・モータや制御装置の効率: カタログ
 - ・メカの効率: 摩擦などの見積もりが難しい
 - 可能な限り摩擦の少ないメカ設計が楽
 - ・回路の効率: 大電流による分は計算しうる。
 - ただし、配線などの微小抵抗の見積りが現実的には難しい。

効率と損失

○メカの損失・効率

- ◇摩擦等抵抗による損失
 - ・損失 = 抵抗[N] × 速さ[m/s]
 - ・重力によって斜面方向にかかる力(前回)は、損失ではない: 位置エネルギーになる
 - ・ダンパは意図的にエネルギーを減らす要素
- ◇減速機の効率 (カタログに記載の場合あり)
 - ・効率 = 出力動力 ÷ 入力動力
 - ・逆方向(出力側 → 入力側)の効率は異なる



効率と損失

○電氣的な損失・効率

- ◇電気抵抗による損失 EI, RI^2
 - ・配線の抵抗
 - ・スイッチ用半導体素子のオン抵抗
- ◇意図的な電圧降下による消費
 - ・出力の電圧を下げるために、意図的に途中の素子で電圧降下させる。
 - ・アナログ型増幅での手法。 ※効率 = 電圧比
 - ・損失 = (入力(電源)電圧 - 出力電圧) × 電流



必要な電力の計算

○入力→出力

- ◇入力の電力に対して、順に効率をかける
 - ・入力の電力[W] ※ η : いーた えーた
 - × モータ制御装置の効率 η_1 (0~1)
 - × モータの効率 η_2 (0~1)
 - × メカの効率 η_3 (0~1)
 - 出力される動力[W]
- ◇トータルの損失
 - ・入力 - 出力 ※ $(1 - \eta_1)(1 - \eta_2) \dots$ ではない

必要な電力の計算

○出力→入力

- ◇欲しい動力を、順に効率で割る
 - ・動力を計算する(前回)
 - ・必要な動力[W]
 - ÷ メカの効率 η_3 (0~1)
 - モータに必要な出力 → モータの選定
 - ÷ モータの効率 η_2 (0~1)
 - ÷ モータ制御装置の効率 η_1 (0~1)
 - 必要な電力[W]、(制御装置の容量)

演習問題(各自ノートに→答え合わせ)

1: 出力の計算

- 入力電力 200[W]
- 回路の効率 90[%]
- モータの効率 80[%]
- メカの効率 50[%]
- ◇最終的な出力は? [W]

2: 電線による損失

- 抵抗1[Ω]の配線で100[W]の電力を送り出した。
- 各条件の損失は?
- ◇10[V] 10[A]
- ◇25[V] 4[A]
- ◇100[V] 1[A]

演習問題(プチテスト)

○エレベータの電力

- ・乗客を含めたかごの質量 1000[kg]
- ・最高速度 10[m/s]
- ・加速度 1[m/s²]
- ・モータ+メカ効率 70[%]
- ・インバータ効率 90[%]
- としたときに必要な電力と全体で生じる損失は何[W]か?