



Kochi Univ. Tech

物理の「エネルギー」は難しい

- エネルギーは重要な物理量
 - エネルギーは仕事をする能力
 - エネルギーの量＝結果としての仕事の量
 - エネルギーを消費する＝仕事をする
- イメージ、直感で理解することが難しい
 - エネルギー＝仕事は積分量（かけ算の結果）であるため直感が難しい
 - 空間積分 仕事[J]＝力[N]×距離[m]
 - 時間積分 仕事[J]＝仕事率[W]×時間[s]

Kochi Univ. Tech

分かり易い物理量と 分かりにくい物理量

- 分かりやすい物理量
 - 大きさ（長さ、面積、体積、容積）：視覚、比較
 - 質量：重さ＝重力の大きさとして認知
 - 時間：時計、天文、暦、生体リズム、
 - 明るさと色：輝度、照度、光束、視覚
 - 速度：視覚等、加速度：慣性力等
- わかりにくい物理量
 - 電圧と電流：見えない→電気は苦手
 - 仕事とエネルギー：？

Kochi Univ. Tech

空間で積分する仕事（エネルギー）

力 f [N], 空間座標 x [m] の時
仕事は $W = \int f \cdot x dx$ [J]

- 仕事[J]＝力[N]×距離[m]
 - 長さの単位はイメージそのもの、メートル原器
 - 力の単位[N]は重さで理解、1[N]≒100[gw]、キログラム原器を持ち上げるとき、1[kgw]≒10[N]
 - 力と距離、それぞれにイメージできても、積分量（かけ算の結果）のイメージが湧かない

時間で積分する仕事（エネルギー）

仕事率 $p[W]$ とすると
 仕事は $W = \int p dt [J]$

- 仕事 $[J] = \text{仕事率} [W] \times \text{時間} [s]$
 - 仕事率 $[W]$ 、1[馬力] $\doteq 750[W]$
 - 蒸気機関を売り込むにはその性能を定量的にアピールする必要があった。馬何頭分のパワー？
 - エネルギーを実感するものさし、1[人力] $\doteq 100[W]$ ？

仕事率（ワット）の測定 2

- 電力測定

電力 = 仕事率
 $p[W] = V[V] \times I[A]$

- 電圧と電流を測定して掛算
- 仕事率 $[W] \times \text{時間} [s] = \text{仕事（エネルギー）} [J]$
 - 電力の場合、秒ではなく時間をかけて電力量
 - 仕事率 $[W] \times \text{時間} [h] = \text{仕事（エネルギー）} [Wh]$
 - $1kWh = 1,000W \times 3,600s = 3,600,000J (3.6MJ)$

仕事率（ワット）の測定 1

- 力学的測定

$$\begin{aligned} \text{仕事率} \\ p[W] &= \frac{W[J]}{t[s]} = \frac{F[N] \times x[m]}{t[s]} \\ &= F[N] \times v[m/s] \end{aligned}$$

- 力学的仕事率の計算例
 - 階段を上る速度（高さ、段数、時間）と体重
 - 登山のペース（標高差、時間）と体重
 - 踏み台昇降運動（高さ、回数、時間）と体重

人間が感じるエネルギー（＝仕事）

- リアルタイムで体感するのは仕事「率」
 - $100W = 100J/s$ 、毎秒100Jの仕事をする
 - 100Wの仕事率で8時間労働すると
 - $100W \times 8h = 800Wh = 0.8kWh$ 、電力量なら20円弱
- 仕事率の時間積分として体感する「仕事」、「エネルギー」とは、仕事の後の「疲労感」
 - 疲労感の客観的、定量的把握は困難
 - 力学的仕事→肉体的疲労感は、精神的な達成感でキャンセルされてしまうことが多い
 - エンドルフィンの分泌によるリアルタイムな補償

背景と目的

- エネルギー環境問題を考えるときエネルギーを定量的に理解することが必須である。原油換算は体積で理解できそうであるが、必ずしも容易にイメージできない。
- 人力発電を行うことはエネルギーの微分量である仕事率を体感、その時間積分としてエネルギーを把握する教材として有効である。
- 人力発電機（計測、変換回路を含む）を最適化し、人力を効率よく変換して人間の限界を引き出すシステムが望ましい。人力を明確にしてエネルギーを計測する単位を構築する。



- 自転車発電機 1 号機
- 小型風力発電用に開発された高効率コアレス発電機を改造自転車に取りつけてベルト駆動で人力発電、電圧最大200V程度、出力は最大600W程度

自転車型人力発電機

- 人間の仕事で発電し電力を正確に測定する
- 人間の仕事率を最大限引き出す高効率発電機
 - 高性能コアレス発電機：鉄心を用いない発電機
 - コギングトルク（回しはじめの重さ）がなく、弱い力でも容易にまわる
 - 発電する「電圧」と「周波数（交流）」は不安定
 - パワーエレクトロニクス
 - 電力用半導体素子を用いて、人力発電の電圧を安定なAC100Vに高効率変換し、人力でテレビや家電製品を動かすことができる（連続的には100W程度）
- 最適な負荷：重すぎず軽すぎず適度な仕事



- 自転車発電機 3 号機（最新機種）
- 市販の自転車トレーニングマシンの負荷部分にコアレス発電機を装着、回転数を上げて最大700V程度の高電圧出力



