

自家発電設備レクチャー

第1回 『発電装置の仕事量と仕事率』

4月号より、長年第一線で活躍されてこられた発電設備のエンジニアの方々に寄稿いただき、自家発電設備の設計、施工及び保全の各分野の実務上の要点について誌上にて講義していただく「自家発電設備レクチャー」の連載を開始します。第1回は、「**発電装置の仕事量と仕事率**」と題し、装置設計において必ず習熟しておかなければならない物理的事項等について、内発協技術部長の沼田明が講義します。

1. はじめに

発電装置の出力やその出力でどれ位の時間運転できるかなど、発電装置を設置するに当たっては様々な検討が必要です。これらの検討に当たっては仕事量と仕事率についての知識が肝要です。

併せて、質量と重量の相違、力や仕事の単位についても説明します。これらは中学や高校の物理でも学習することになっていますが、基礎的な内容になりますので、改めて**自家用発電設備専門技術者テキスト**（以下「テキスト」）等も参照して確認してみてください。

2. 仕事量と仕事率

まず、仕事量と仕事率の説明をする前に、重量と質量について簡単に説明します。重量と質量は混同されやすく、また理解しにくいものです。これは地球上では重量と質量が同じ値になるためです。

質量と重量については物体の重さを分銅とのつり合いで計測する天秤と、ばねのフックの法則を利用して計測するばねばかりで説明されます。

質量は、その物体が持つ固有の値であり、重力加速度が異なる地球上と月面上で値は同一です。

一方、月面での物体の重量は重力加速度が地球上の $1/6$ であることから、ばねばかりで計測すると、地球上の値の $1/6$ になります。

地球上で6kgの物体を天秤で計測してもばねばかりで計測しても同じ6kgになります。ところが月面上では天秤ばかりで計測すると6kgですが、ばねばかりで計測すると1kgになります。さらに詳しい説明や事例などはインターネット上で検索すると数多くあります。

ここで仕事量と仕事率の話に戻ります。

物理学で仕事量とは、物体に力を加えて、その力の方向に移動したとき使用されたエネルギーであると定義されます。

例えば、ある機械で重量が1kgの物体を高さ1mまで吊り上げると、その機械は仕事をしたことになります。この時、機械はどの位の仕事をしたのかという物理量を表すには単位が必要です。この仕事量を表す単位にJ（ジュール）を用います。Jはエネルギー（熱量）の単位であり、国際単位系における1Jの定義は「1N（ニュートン）の力がその力の方向に物体を1m動かすときの仕事」となっています。

ここでNというあまり日常では使用しない単位が出てきます。重量が1kgの物体は何もしなければ重力により落下します。これを一定の位置にとどめるには重力（重力加速度）に打ち勝つ力で支える必要があります、この力が1Nになります。Nの語源であるイギリスの物理学者ニュートンが万有引力の法則を見出したことにより名付けられました。地球上での重力は引力と自転による遠心力の合力になります。

物体を自然落下させた場合、重力により物体の落下速度が単位時間当たりどれだけ早くなるか（加速するか）を表す単位が重力加速度であり、地球上で

は 9.8m/s^2 です。1 Nは1 kgの物体に 9.8m/s^2 の加速度を生じさせる力になります。

つまり、1 kgの物体を吊り上げるためにはこの重力加速度に打ち勝つ力が必要であり、これが前述のNになります。

次に仕事率ですが、重量が1 kgの物体をある機械で高さ1 mまで吊り上げるのに必要な仕事量は1 Jですが、それに1秒かかるのか10秒かかるのかで吊り上げ機械の単位時間当たり仕事量が異なります。ここに単位時間当たりの仕事量を仕事率といい単位はW（ワット）です。1 Wは1秒当たり1 Jの仕事をした時の値になります。原動機の出力はkW（キロワット）やMW（メガワット）で表しますが、それぞれ $\times 10^3$ 及び $\times 10^6$ になります。

重量が1 kgの物体をある機械で高さ1 mまで吊り上げるときの仕事量および仕事率は以下のようになります。

まず図1に示すように、1 kgの物体を一定の位置にとどめるには重力（重力加速度）に打ち勝つ力を与える必要があります。この力は以下の式で表されます。

$$1\text{ kg} \times 9.8\text{m/s}^2 = 9.8\text{N}$$

次に図2に示すように、この物体にかかる重力に打ち勝ち、任意の時間をかけて1 m吊り上げるのに必要な仕事量は次式になります。

$$9.8\text{N} \times 1\text{ m} = 9.8\text{ J}$$

さらに図3に示すように、これを1秒間で吊上げるために必要な仕事率は次式になります。

$$9.8\text{ J} \div 1\text{ s}^2 = 9.8\text{W}$$

逆に9.8Wの仕事率で1秒間仕事をすればその時の仕事量は9.8 Jになります。したがって、J（ジュール）=Ws（ワット秒）となり、仕事量は次式で表せるように、仕事率×時間です。

$$9.8\text{W} \times 1\text{ s}^2 = 9.8\text{ J}$$

同様に、水平な床に置いた重量1kgの物体を動かす仕事は次のようになります。

図4に示すように、物体と床の間には垂直抗力R（N）が働きます。垂直抗力は物体による重量で床を押す力と同じ大きさで、床から物体を押し返す反力であり、以下のように重量に重力加速度を乗じた値になります。単位はN（ニュートン）です。

$$R = 1\text{ kg} \times 9.8\text{m/s}^2 = 9.8\text{N}$$

この物体に床と平行な力（水平牽引力）を加えても物体は床との間の摩擦力によってその場所にとど

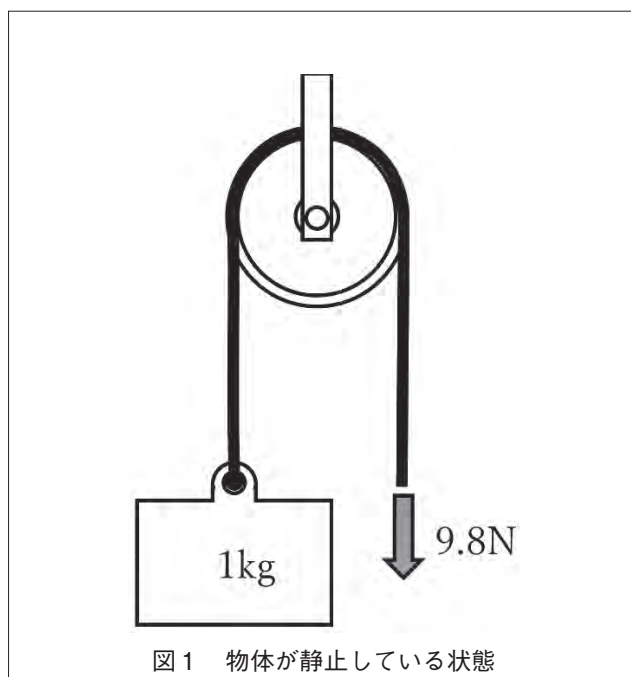


図1 物体が静止している状態

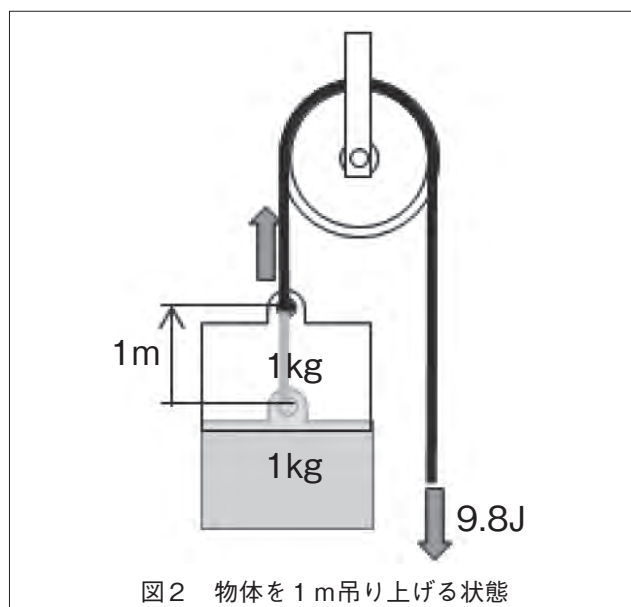


図2 物体を1 m吊り上げる状態

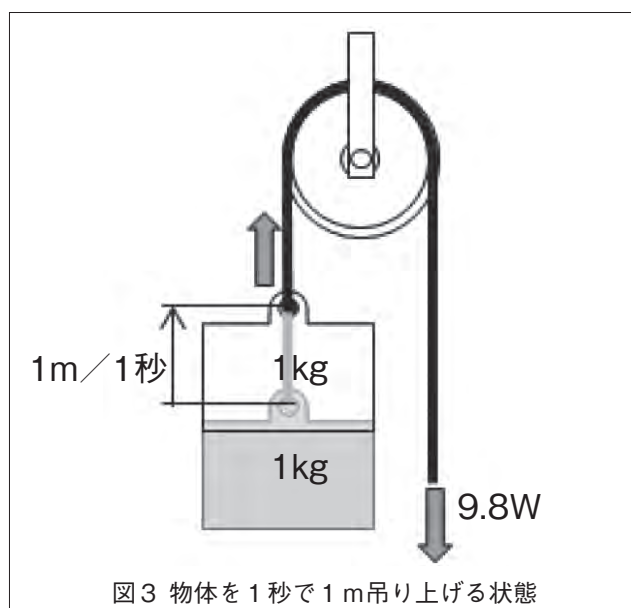


図3 物体を1秒で1 m吊り上げる状態

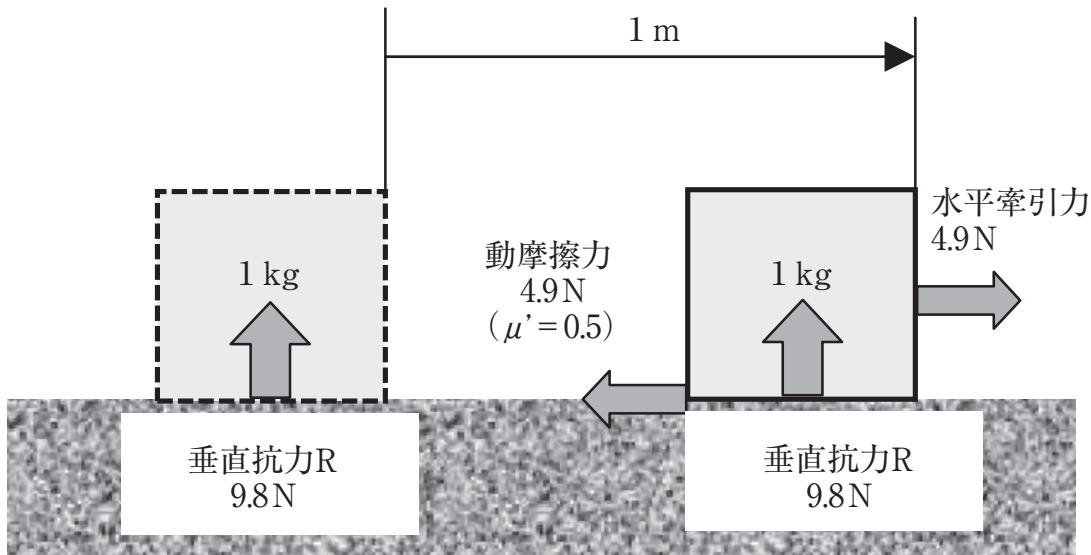


図4 床上の1kgの物体を1m移動する場合

まろうとします。このとどまろうとする力静摩擦力 F_r (N) は以下のように垂直抗力 R に静摩擦係数 μ を乗じた値になります。

$$F_r = R \times \mu$$

さらに、徐々に水平牽引力を増加させると、静摩擦力に打ち勝った時点で物体が動き始めます。この時の摩擦係数を動摩擦係数 μ' といい、水平牽引力は以下の式になります。

$$F_r' = R \times \mu'$$

動摩擦係数が仮に0.5であれば物体が動きだすときの動摩擦力 F_r' (N) は以下ようになります。

$$F_r' = 9.8 \text{ N} \times 0.5 = 4.9 \text{ N}$$

この動摩擦力と同等の水平牽引力 F' (N) で物体を1m動かせば4.9Jの仕事量であり、移動時間が1秒であれば4.9Wの仕事率になります。

3. 電力と電力量

電流による仕事に関しては平成29年度版テキスト第2章の2-2及び2-17で述べられています。

R (Ω) の抵抗に I (A) の電流を流すと、抵抗には、

$$P = I^2 \times R$$

の電力が熱として発生します。この $I^2 R$ をジュール熱といいます。オームの法則により、電圧を V (V) とすると

$$R = V / I$$

であることから、直流回路の場合、電力 P (W) は次式となります。

$$P = V \times I$$

また、三相交流では次式となり (テキスト第2章の2-17参照)、

$$\Rightarrow P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi$$

ここで $\cos \phi$ とは、力率と呼ばれており、皮相電力に対する有効電力の比です。(テキスト第2章の2-17参照)

単相交流では次式となります。

$$P = V \times I \times \cos \phi$$

電力とは電流によって単位時間になされる仕事量、すなわち単位時間 (1秒) 当たりの電気エネルギーであり、単位としてはWが用いられます。(テキスト2-2参照)

$$1 \text{ Ws} = 1 \text{ J}$$

$$1 \text{ Wh} = 3,600 \text{ J}$$

電力量を取り扱うときは大きな量を扱うことが多く、1kWの電力を1時間使用したときの電力量の単位として、1キロワット時 (kWh) が用いられます。

$$1 \text{ kWh} = 1,000 \text{ Wh} = 3.6 \times 10^6 \text{ J} = 3,600 \text{ kJ}$$

ここで、熱量の単位としてcal (カロリー) があります。力学的エネルギーや電気的エネルギーは国際単位系であるJを用いますが、食品の持つ熱エネルギーや運動により消費されるエネルギーはcalを使用するのが一般的です。換算式は以下の式になります。

$$1 \text{ J} = 0.24 \text{ cal}$$

第2回は「軸出力とトルク (回転力) 及び平均有効圧力」について講義します。