

## 2014年12月プレチャレンジ問題

4種類の発電方法での出力パワーを比較してみよう。

### 1. 風力発電

風力発電では、風のエネルギー（空気の運動エネルギー）を電気エネルギーに変換している。下記の小問にしたがって、1基の風車で1秒間に発電できる電気エネルギー（出力パワー）は何Wか計算してみる。ただし、空気の密度 $\rho$ は $\rho=1.3 \text{ g/l}$ とする。

- (1) 風速  $v=10 \text{ m/s}$  の風が吹いているとき、空気  $1 \text{ m}^3$  の運動エネルギー  $E_0$  はいくらか計算しなさい。
- (2) 風車の半径  $r$  を  $r=25 \text{ m}$  とする。風速  $v=10 \text{ m/s}$  の風が吹いているとき、1秒間に風車の回転面を通過する空気の体積  $V$  を計算しなさい。ただし、風は風車の回転面に直角にあたるとする。
- (3) (1)と(2)から、1秒間に風車がうける風のエネルギーの総量  $E_{\text{total}}$  を計算しなさい。
- (4)  $E_{\text{total}}$  のうち 20%が風車によって電気エネルギーに変換されるとする。風車1基の出力パワーを計算しなさい。



### 2. 太陽光発電

$1\text{m}^2$ の太陽光パネルは平均  $150 \text{ W}$  の出力パワーである。上記の風力発電での風車1基に相当する出力パワーを出すにはどのぐらいの広さの太陽光パネルが必要か計算しなさい。



### 3. 水力発電

落差  $30\text{m}$  の水力発電所で、上記の風力発電での風車1基に相当する出力パワーを出すにはどのぐらいの水を流す必要があるか計算しなさい。ただし、位置エネルギーが電気エネルギーに変換される効率は90%とする。



### 4. 火力発電

火力発電所の熱効率は、発生した電力量と消費した燃料の保有発熱量との比率で表す。液化天然ガスの保有発熱量は  $1 \text{ kg}$  あたり  $55 \text{ MJ}$  であり、一般的な火力発電所の熱効率は約 50%である。火力発電所で、上記の風力発電での風車1基に相当する出力パワーを出すには毎秒どのぐらいの液化天然ガスを消費するか計算しなさい。

解答

1. (1)  $1\text{m}^3$ の質量  $m$  を考えて、 $E_0 = \frac{1}{2}m \cdot v^2 = \frac{1}{2} * (1.3 \times 10^{-3} \times 10^3) \times 10^2 = 65 \text{ (J)}$ 。

(2) 1秒間に風車の回転面を通過する空気の体積  $V$ は、底面が  $\pi r^2 \text{ (m}^2\text{)}$ で高さが  $v \text{ (m)}$ の円柱の体積なので、 $V = \pi r^2 \cdot v = 3.14 \times 25^2 \times 10 = 19625 \text{ (m}^3\text{)}$ 。

(3)  $E_{total} = E_0 \cdot V = 65 \times 19625 = 1275625 = 1.28 \times 10^6 \text{ (J)} = 1.28 \text{ (MJ)}$ 。

(4) 出力パワー =  $0.2 \cdot E_{total} = 0.2 \times 1.28 = 0.26 \text{ (MJ/s)} = 0.26 \text{ (MW)}$ 。

(ここでは効率を 20%と仮定したが、実際の風力発電の風車の効率は 15~40%程度である。)

文字式で書くと、 $E_{total} = E_0 \cdot V = \left(\frac{1}{2}m \cdot v^2\right) \cdot (\pi r^2 \cdot v) = \frac{1}{2}\pi m r^2 \cdot v^3$ となり、出力パワーは風速  $v$ の 3乗に比例する。

つまり、風速が 2倍になれば、発電する電気エネルギーは 8倍になる。この関係は、川の中での水車による発電も同じである。また、逆に考えると、扇風機のように、電気エネルギーで風を起こすことは風力発電の逆なので、風速が 2倍の風を作るには 8倍の電気エネルギーが必要ということになる。これをさらに拡張すると、プロペラ飛行機やジェット機のエンジンも同様の関係となっており、2倍の風速、つまり、2倍のスピードで飛ぶには 8倍のエネルギーが必要ということになる。昔、フランスでコンコルドという超音速旅客機が運行していたが、経済性の悪さと環境問題で廃止になった。

2.  $2.6 \times 10^5 \div 150 = \text{約 } 1700\text{m}^2$ 。つまり、およそ 40m 四方の面積となる。以外と大きな面積が必要となる。つまり、太陽光のエネルギーは希薄であるといえる。ちなみに、上記の風車の回転面積  $\pi r^2 = 1960\text{m}^2$ と同程度の面積である。

3. 毎秒  $m \text{ (kg)}$ の水を落として発電するとする。落差を  $h$ と書くと、出力パワーは  $0.9 \cdot mgh$ 。

ただし、 $g$ は重力加速度。よって  $0.9 \cdot mgh = 2.6 \times 10^5$ から  $m$ を計算すると、

$$m = \frac{2.6 \times 10^5}{0.9 \times 9.8 \times 30} = \underline{980 \text{ (kg)}}$$
となる。つまり、毎秒、およそ 1 トンの水を流す必要がある。

4.  $(0.26 / (55 \times 0.5)) \times 1000 = 9.5 \text{ g/s}$ 。つまり、1秒間に約 10 g の液化天然ガスを燃やす必要がある。

以上の計算では、風力発電が効率良い発電のようにみえるかもしれないが、計算で仮定した風速 10 m/s はかなりの強風である。木々の枝が大きく揺れ、傘をさすのも難しくなるぐらいの風である。そのような風が定常的に吹くのは限られた地域だけである。

太陽発電の効率は 15~20%であり、その向上が望まれる。

水力発電の効率は 90%程度と極めて高い。日本は山が多く雨も多いので、水力発電に向いているが、ダム建設は山間部の自然破壊につながるのとことで新規建設は行われていない。CO<sub>2</sub>排出の無い水力発電は見直されてもいいかもしれない。

火力発電所の熱効率は世界最高でも 60%程度である。

ちなみに液化天然ガスの値段は、1 kg あたり約 1 米国ドル(約 120 円)である。

このような計算をしてみると、それぞれの発電方式の長所短所が見えてきて興味深い。