

# 海流発電の実用化に向けた数値シミュレーション

平賀郁子 指導教員 河村哲也

## 1 はじめに

二酸化炭素は地球温暖化の原因とされる温室効果ガスのひとつであり、その排出量の33%はエネルギー転換部門が占める。中でも、化石燃料を使用した発電は、自然エネルギー由来の発電と比べてはるかに二酸化炭素の排出量が多くなっている。しかし自然エネルギー由来の発電は、天候などの影響で出力の変動が大きく電気の安定供給に問題が生じるため、多くを化石燃料を使用した発電に頼っている。そこで近年海流発電が注目されている。海流発電は、海流による海水の流れを用いて水車などを回転させ、その運動エネルギーを電気エネルギーに変換する方式である。天候の影響を受けにくく出力が安定している、エネルギー変換効率が高い、などの特徴を持っている。

本研究では、海流発電の実用化に向けた数値シミュレーションをおこなう。

## 2 モデル化・格子生成

### 2.1 計算領域

Fig.2.1のようにパラメータを変化せることで回転装置の形を変化させ、回転にどのような影響が出るかを調べる。

具体的には、一様流の中に回転装置を置き、一定時間後回転装置のブレードの表と裏にかかる圧力の差から回転力を計算して比較する。



Fig. 2.1: パラメータによる回転装置の形の変化

### 2.2 格子

回転装置に沿った格子で、格子数は186（回転方向）×41（半径方向）×101（円柱の高さ方向）。ブレードに合わせて計算領域を三分割した。(Fig. 2.2)

Case1ではFig. 2.2の形状を使う。Case2ではCase1と比べて先が細まった形のFig. 2.3の形状を使う。



Fig. 2.2: Case1の形状

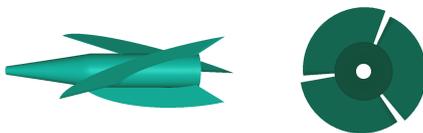


Fig. 2.3: Case2の形状

Case3ではCase2の形状を一定の角速度で回転させ、角速度と回転力からパワーを計算する。角速度の違いがパワーにどのような影響を与えるか観察する。

## 3 計算方法

### 3.1 基礎方程式

Z軸まわりを一定角速度 $\omega$ で回転する回転座標系を用いる。このとき連続の式、Navier-Stokes方程式は以下ようになる。

$$\text{連続の式} \quad \frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

Navier-Stokes 方程式

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} + w \frac{\partial U}{\partial z} - \omega^2 X + 2\omega V \\ = -\frac{\partial P}{\partial X} + \frac{1}{\text{Re}} \left( \frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} + w \frac{\partial V}{\partial z} - \omega^2 Y - 2\omega U \\ = -\frac{\partial P}{\partial Y} + \frac{1}{\text{Re}} \left( \frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial w}{\partial t} + U \frac{\partial w}{\partial X} + V \frac{\partial w}{\partial Y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \\ = -\frac{\partial P}{\partial z} + \frac{1}{\text{Re}} \left( \frac{\partial^2 w}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \end{aligned}$$

$P$ : 圧力,  $Re$ : レイノルズ数,

$\omega$ : 回転装置の回転角速度,  $\theta$ : 回転角

$X, Y$ : 回転座標系での位置,

$U, V$ : 回転座標系での速度

回転座標系で表した式を用いることで、物体に固定した格子による計算が可能になる。なお、静止座標と回転座標との間には以下の関係がある。

$$x = X \cos \theta + Y \sin \theta$$

$$y = -X \sin \theta + Y \cos \theta$$

$$X = x \cos \theta - y \sin \theta$$

$$Y = x \sin \theta + y \cos \theta$$

### 3.2 解法

上記の方程式をMAC法を用いて解く。 $\Delta t = 0.005$ ,  $Re = 2,000$ , 計算ステップは10,000回とした。

## 4 結果と考察

### 4.1 回転力の時間変化

ブレードにかかる回転力の時間変化はFig. 4.1のようになった。

グラフより10,000ステップ後に値は安定している。

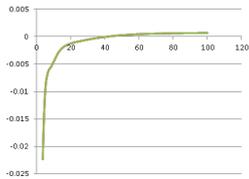


Fig. 4.1: 回転力の時間変化

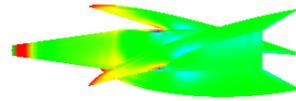


Fig. 4.6: step 数 600 における圧力分布

#### 4.2 ブレードの傾きによる回転力の変化

Fig. 4.2 はブレードの傾きによる回転力の変化を表したものである。横軸の値が小さいほど中心の円柱に対してブレードの傾きが大きい。

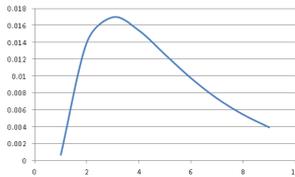


Fig. 4.2: ブレードの傾きによる回転力の変化

#### 4.3 Case2 との比較

Fig. 4.3 はブレードの傾きによる回転力の変化を Case1 と Case2 で比べたグラフである。このグラフから先を細らせた方が、どのブレードの傾きにおいても高い回転力が得られることが分かった。

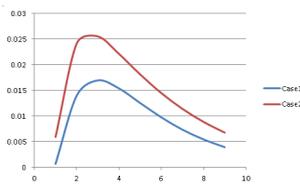


Fig. 4.3: ブレードの傾きによる回転力の変化の比較

#### 4.4 圧力分布

Fig. 4.4-Fig.4.6 は一番回転力の高いブレードの傾きにおける圧力分布の変化である。

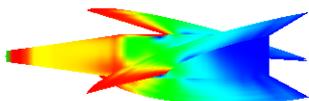


Fig. 4.4: step 数 200 における圧力分布

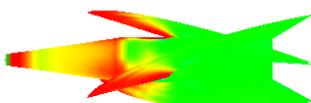


Fig. 4.5: step 数 400 における圧力分布

#### 4.5 角速度によるパワーの比較

今回は回転装置を強制的に回しているので回転速度が大きければ大きいほどパワーが大きくなったが、実際には海流からエネルギーを得るため回転速度には上限がある。

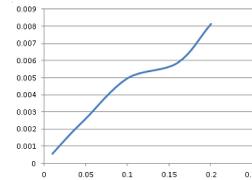


Fig. 4.7:角速度によるパワーの変化

Fig. 4.8 は今回のパラメータにおける回転装置の最適な形である。ブレードの傾きは流れ方向に垂直に近いと抵抗が大きくなりすぎ、平行方向に近いとブレードに当たらない流れが多くなり、いずれも回転力が下がったと考えられる

また、Case1 と Case2 では Case2 のほうが Case1 と比べて、ブレードの前の空間でより多くの流れをブレードにあてることができるため、より回転力が高くなったと考えられる。



Fig. 4.8: 今回のパラメータにおける最適な形

### 5 まとめと今後の課題

海流発電の実用化に向け、効率の良い回転機構の形状をシミュレーションした。その結果、今回のパラメータでは下図のような形が最良であった。

今後は、中心の円柱の太さやブレードの枚数などパラメータを増やしていき、さらに効率の良い形を求めたい。

#### 参考文献

[1] 河村哲也. 数値シミュレーション入門. サイエンス社, 2006.