

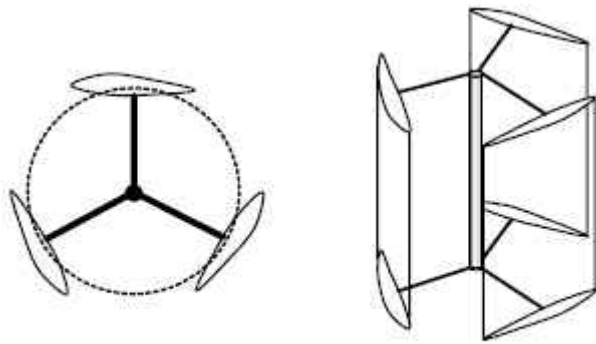
## FLOW-3D 应用于潮汐/海洋发电方面的水车旋转性能评估

作者：日本大学理工部 海洋建筑工学科系 居驹知树

近年来，各国积极投入再生能源的研究课题，希望能够替代传统濒临枯竭的能源。对一个四面环海的国家而言，海洋工程是一个极其重要的课题。近年来，研究人员提出了多种方案，如风力发电、海洋温差发电，潮汐发电 … 等。

课题研究原理：将一个浮物上安装水车，并放至海洋中，利用海水的运动推动水车发电。由于海水的运动非常复杂，加上安装水车的浮物本身也会随着海洋的波浪运动。

本研究目的：针对浮物上的水车设计，进行其旋转效能的评估。采用的水车为立式水车（如图所示），

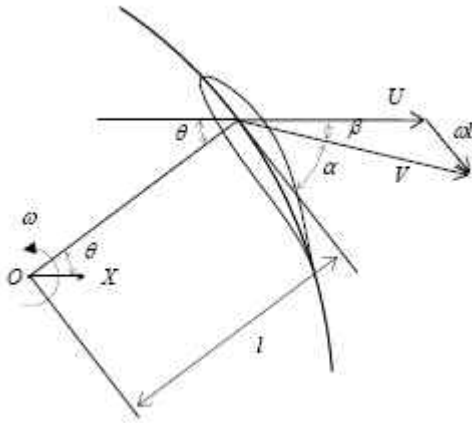


垂直翼型ダリウス水車

水车与风车的设计类似，唯一不同是水车采用流体作为动力源。旋转过程中，叶片背部区域会产生涡流，这会大大影响水车的性能，因此必须对叶片几何外形进行调整。

本文的研究方式，是先采用叶片理论设计出叶片外形，再利用 FLOW-3D 进行数值模拟，测试在不同的水流运动条件下，叶片外形的设计参数对于水车性能的影响。

根据叶片理论，水车在旋转过程中的受力如下图。



相关的公式如下：

$$V = \sqrt{U^2 + \omega^2 l^2 - 2U\omega l \sin \theta}$$

$$\beta = \tan^{-1} \left( \frac{\omega l \cos \theta}{U + \omega l \sin \theta} \right)$$

$$\lambda = \frac{\omega l}{U}$$

$$U = U_\infty (1 - s)$$

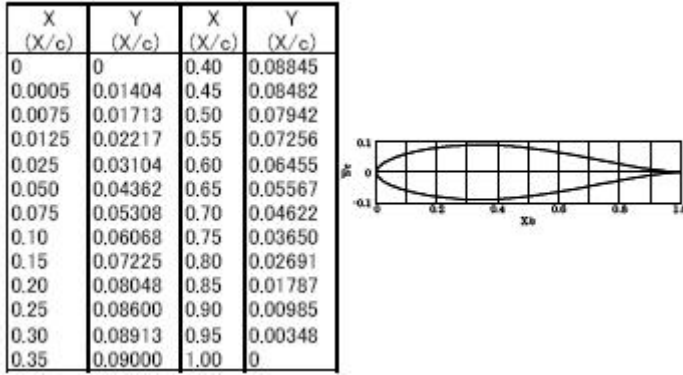
$$\alpha = \begin{cases} \frac{\pi}{2} - \theta - \beta, & \text{回轉中} \\ \frac{\pi}{2} - \theta, & \text{回轉なし} \end{cases}$$

$$M = l \cdot \{L \cos \theta + D \sin \theta\}$$

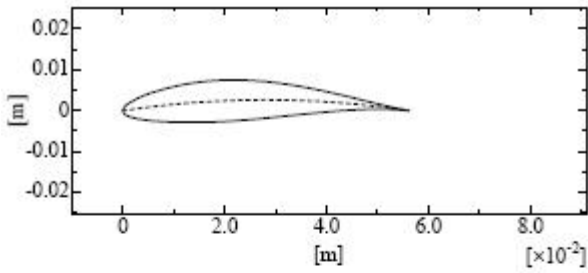
$$L = \frac{\rho}{2} A_w V^2 C_L(\alpha)$$

$$D = \frac{\rho}{2} A_w V^2 C_D(\alpha)$$

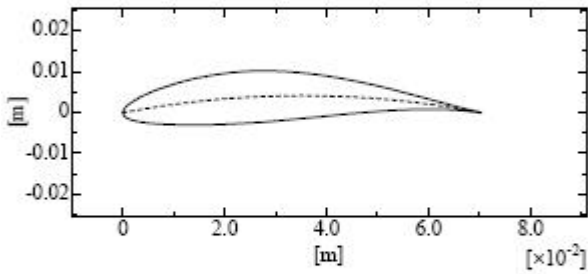
水车的叶片外形以 NACA63 3 -018 为基础，相关的参数如表格所示。



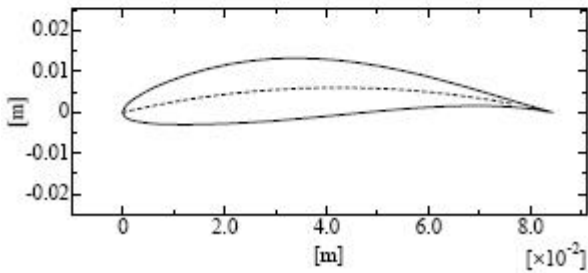
并且设计三种不同的叶片外形。



a) model S1



b) model S2

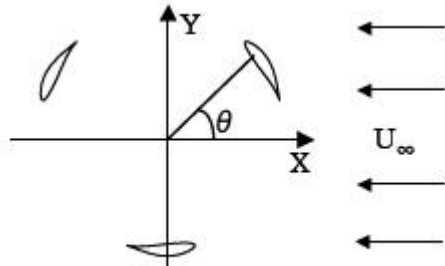


c) model S3

| Blade type | Solidity of three wings | Camber line length of a wing |
|------------|-------------------------|------------------------------|
| S1         | 0.179                   | 0.0562                       |
| S2         | 0.224                   | 0.0704                       |
| S3         | 0.269                   | 0.0844                       |

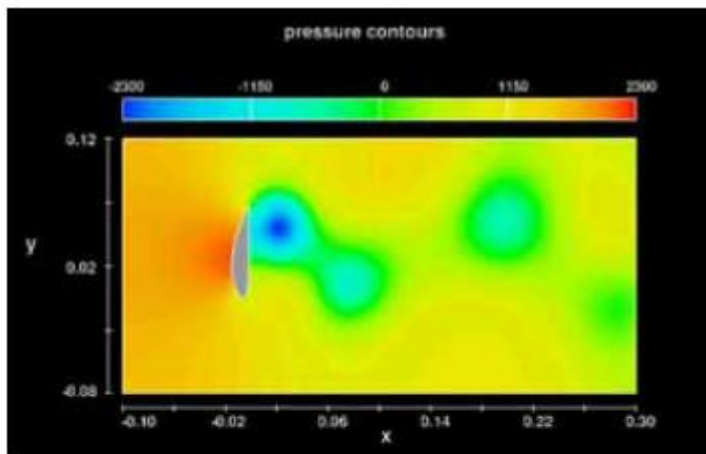
将设计完成的水车模型转成 3D STL 图档,采用 *FLOW-3D* 的 GMO ( General Moving Obstacle ) 模块进行流 - 固耦合计算。

采用四种不同的水流速度: 0.8 m /sec, 1.0 m /sec, 1.2 m /sec, 1.4 m /sec 。

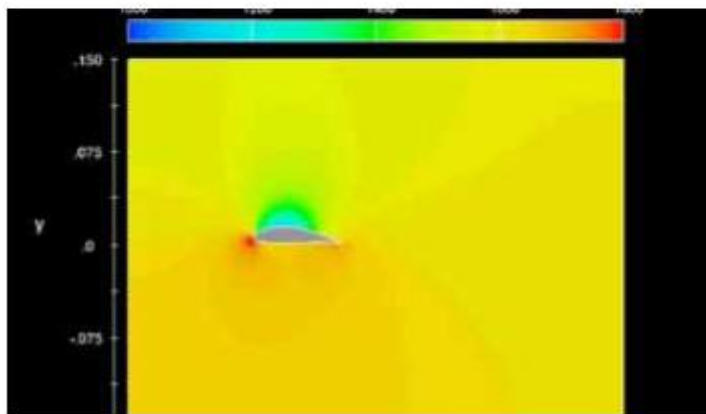


Coordinate system for CFD calculations

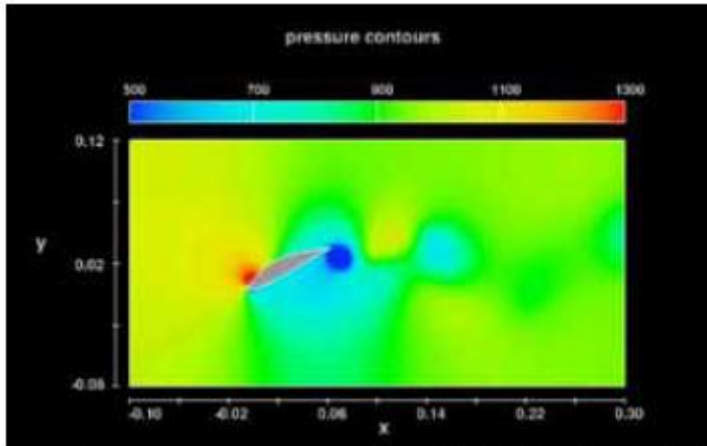
如下为 *FLOW-3D* 模拟结果:



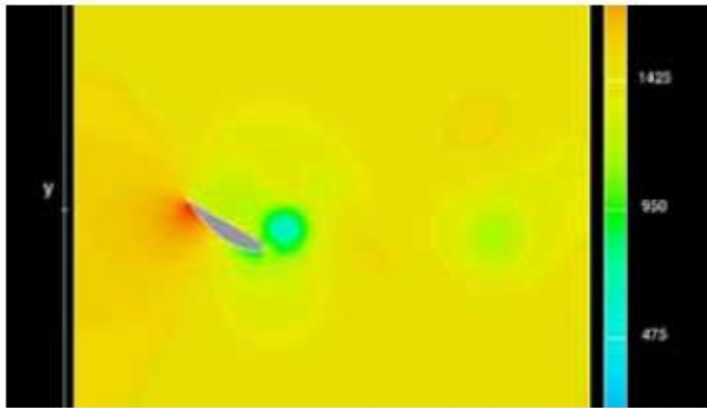
Pressure contour around one fixed blade (180 deg.)



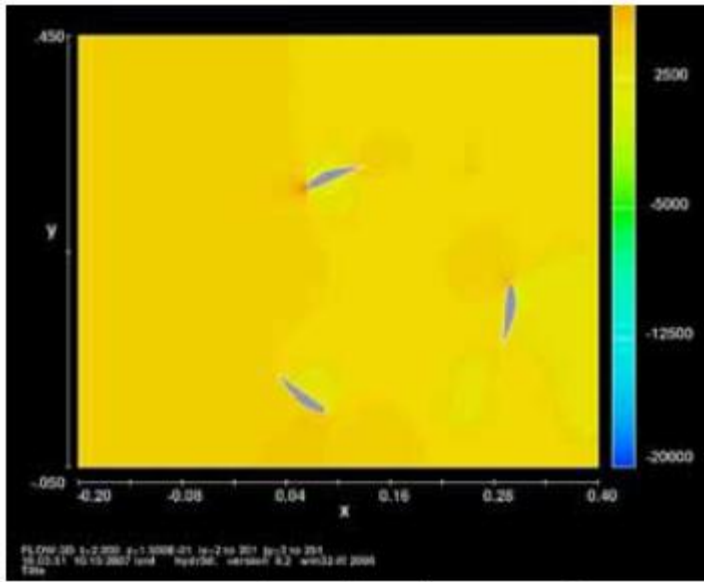
Pressure contour around one fixed blade (90 deg.)



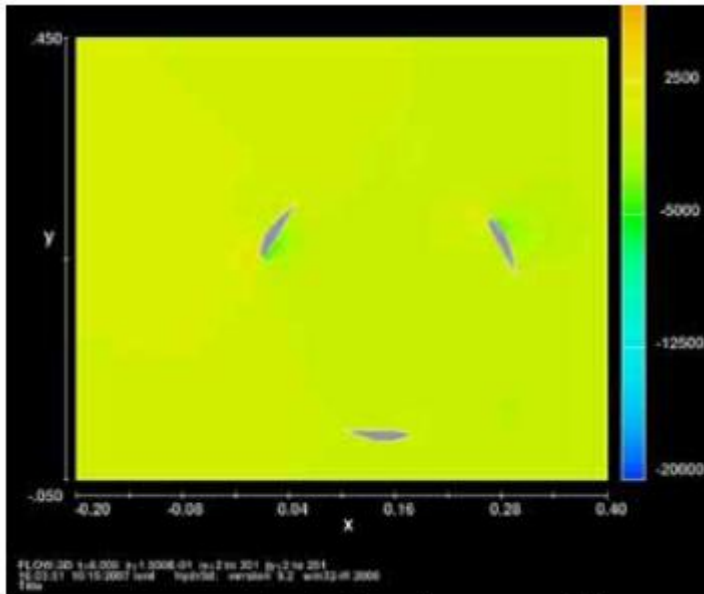
Pressure contour around one fixed blade (120 deg.)



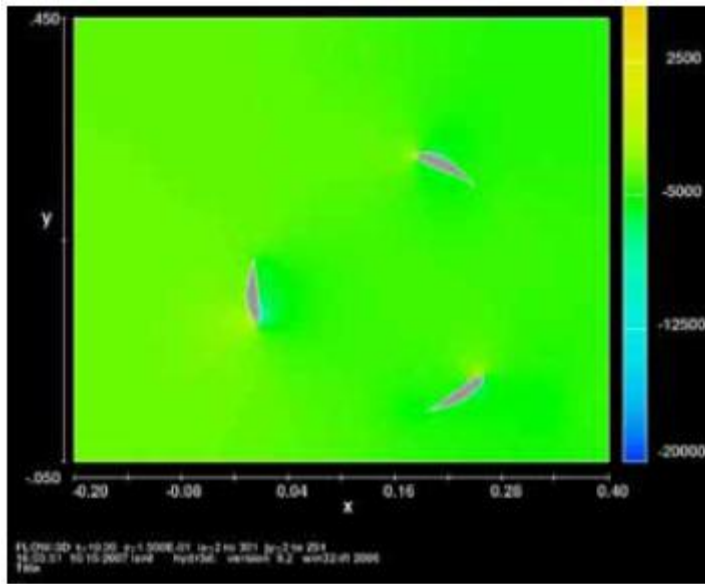
Pressure contour around one fixed blade (240 deg.)



Snap shot a of rotating water turbine



Snap shot b of rotating water turbine



Snap shot c of rotating water turbine