

流体解析ソフトウェアを活用した少量流水発電用水車の開発

上杉 憲雄

流体解析ソフトウェアによる三次元非定常数値流体解析により、用水路や暗渠を流れる水など人間活動のすぐ傍にある少量流水を利用する発電装置用水車（双翼旋回水車）に適する羽根形状の検討を行った。

キーワード：双翼旋回水車 流体解析

1. はじめに

原子力に替わる代替エネルギーとして、水力、風力、地熱等が注目されている。その内、水力については、日本のほとんどの大河川には既に大規模ダムが建設されている。しかし、用水路や暗渠を流れる水、工場排水など人間活動のすぐ傍にある少量流水を利用した発電はあまり行われていない。そのため、市内企業*と共同で少量流水に適する発電装置（以下、装置と略す。）の開発に取り組んだ。

開発する装置は、市内企業が独自に考案した双翼旋回水車を使用したものである。本報では、その水力発電に最適な水車形状を求めるために、市販の流体解析ソフトウェアにより三次元非定常数値流体解析を行った事例について報告する。

2. 双翼旋回水車

図1に装置の水車形状を示す。水車は、円板上に2枚の羽根が取り付けられたものであり、円板の回転により発電を行う。



図1 水車外観

図2から図4は、円板が回転した際の2つの羽根の位置関係を示したものである。水流は、各図の右方向から流れ込んできており、円板は右回りに回転する。各羽根は、それぞれ独自の回転軸を持っており、円板の1/2の回転速度で左回りに回転する。そのことにより、2つの羽根は常に直交状態を保つ。

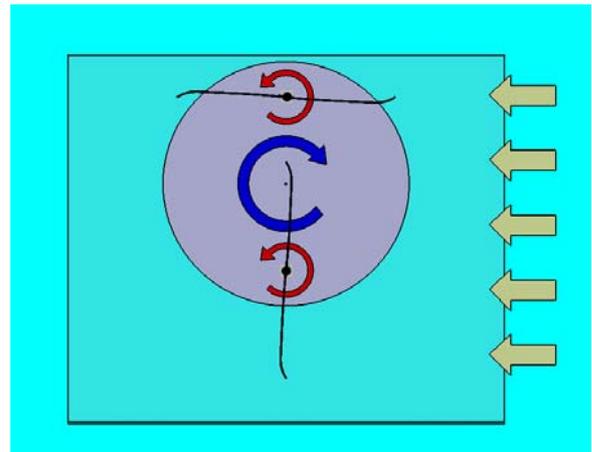


図2 羽根間の位置関係（円板回転角度0°）

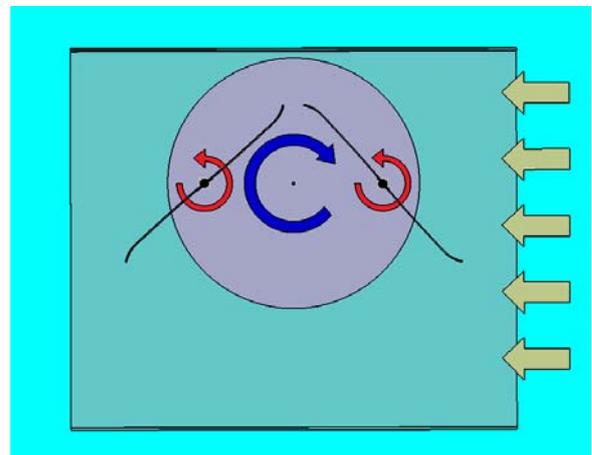


図3 羽根間の位置関係（円板回転角度90°）

*テクノ環境機器株式会社

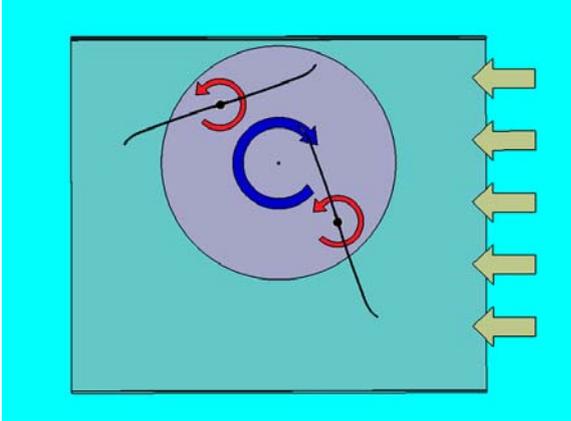


図4 羽根間の位置関係 (円板回転角度135°)

3. 水車羽根断面形状の検討

3.1 解析方法

装置の水車羽根を試作するにあたり、最適な断面形状を求めるため、流体解析ソフトウェア (SCRUYU/Tetra (株)ソフトウェアクレイドル) による流体解析を行った。流体解析は、図5から図7に示す各断面形状を20mm押し出して作成した水車羽根に対して行った。各断面形状における羽根の厚みは1mmである。図5は、図1の羽根の断面形状である。図6及び図7の断面形状において、羽根の頂点部の高さ h 及び羽根先端から頂点までの距離 d を変更することで、発電に最適な断面形状を検討した。各羽根の翼長は160mm、2つの羽根の中心間距離は130mmである。

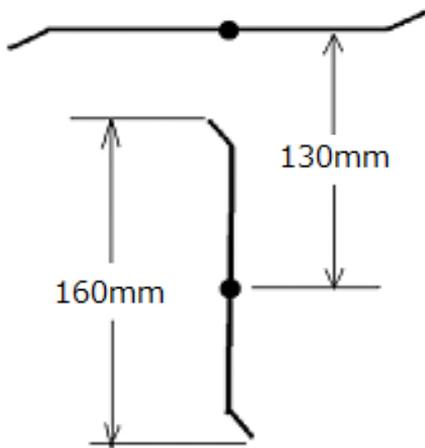


図5 直線形羽根断面形状

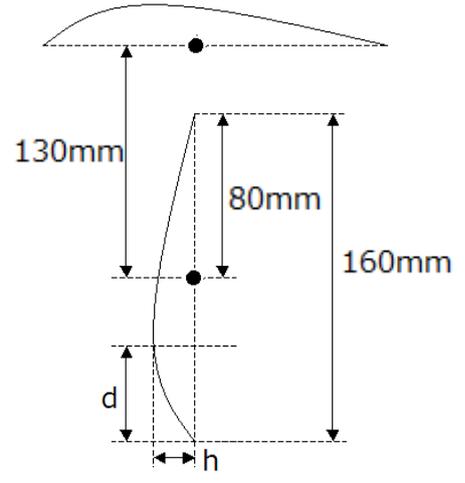


図6 飛行機形羽根断面形状

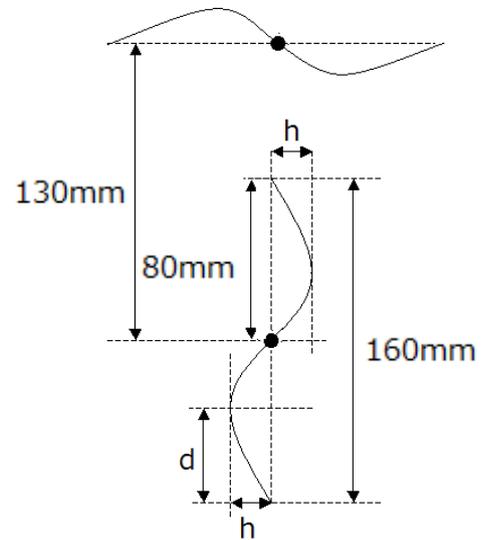


図7 S字形羽根断面形状

解析モデルを図8に示す。水車のメッシュと水領域のメッシュは、別々に作成し、両方のメッシュをマージして解析用メッシュを作成している。なお、水車と水領域のメッシュは重合する部分があるため、SCRUYU/Tetraの重合格子機能を使用して解析を行っている。他の主な解析条件は以下のとおりである。

- ・非圧縮の乱流解析
- ・乱流モデル 標準 $k-\epsilon$ モデル
- ・解析モデルの右上端の流入口での流速を1.5m/s
- ・解析モデルの左下端の流出口での圧力規定 ($p=0$)
- ・円板の回転数を2回転/s
- ・水車羽根の境界条件としては壁関数を適用し、その他の面はSlip条件とした。

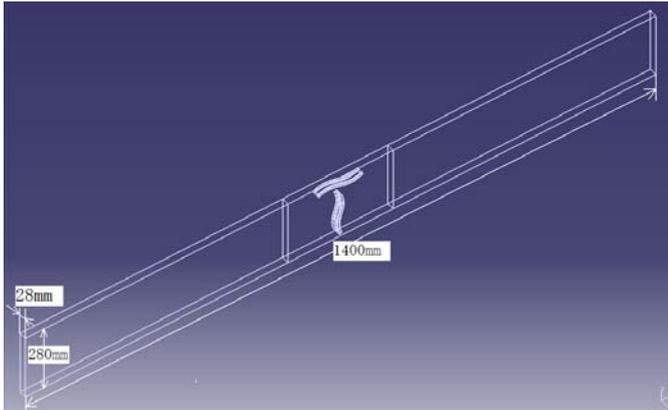


図8 解析モデル

3.2 解析結果

図6と図7の断面形状において、頂点の高さ h 及び羽根先端から頂点までの距離 d をパラメータとして変化させた場合の解析結果を表1と表2に示す。トルクは、水車の回転角度により変動するため、水車が2回転する際の平均トルクを算出している。

	$h=8\text{mm}$	$h=16\text{mm}$	$H=24\text{mm}$	$h=32\text{mm}$	$h=40\text{mm}$
$d=40\text{mm}$	0.210	0.202	0.184	0.156	0.078
$d=48\text{mm}$	0.206	0.198	0.185	0.151	0.085
$d=56\text{mm}$	0.203	0.191	0.180	0.148	0.094
$d=64\text{mm}$	0.198	0.192	0.171	0.146	0.097
$d=72\text{mm}$	0.196	0.187	0.166	0.134	0.088
$d=80\text{mm}$	0.194	0.183	0.154	0.122	0.092

表1 断面形状が飛行機形羽根の場合の平均トルク
(単位 Nm)

	$h=2\text{mm}$	$h=4\text{mm}$	$h=6\text{mm}$	$h=8\text{mm}$	$h=10\text{mm}$
$d=10\text{mm}$	0.225	0.232	—	0.226	0.226
$d=15\text{mm}$	0.226	0.235	0.230	0.230	0.234
$d=20\text{mm}$	0.221	0.232	0.233	0.231	0.231
$d=25\text{mm}$	0.220	0.227	0.231	0.227	0.229
$d=30\text{mm}$	0.218	0.228	0.235	0.224	0.226
$d=35\text{mm}$	0.217	0.226	0.230	0.226	0.215
$d=40\text{mm}$	0.216	0.221	0.229	0.227	0.220

表2 断面形状がS字形羽根の場合の平均トルク
(単位 Nm)

図9に、表1と表2で最も平均トルクが高かったものと図5の直線形羽根のトルク変動を示す。横軸は、円板の回転角度を示し、縦軸は円板の回転軸回りに発生するトルクを示す。

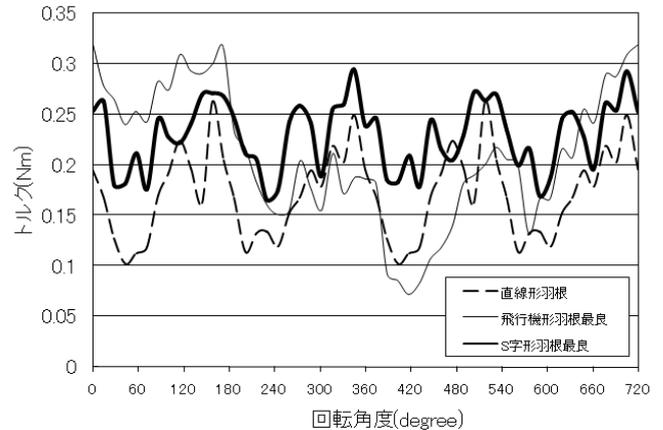


図9 円板の回転角度によるトルクの変動

解析結果として、断面形状をS字形とし、頂点の高さ h を6mm、羽根先端から頂点までの距離 d を30mmとした場合が、最も平均トルクが高くなったため、その断面形状で水車羽根を新たに試作することとした。

4. 流入板形状の検討

4.1 解析方法

3章で求めたS字形羽根の断面を230mm押し出した水車羽根を使用した装置を試作した。しかし、装置の性能を実測するための実験を回流水槽で行ったが、目標とする出力が得られなかった。今回、開発する装置は、LEDを使用した街路灯用電源として、流速0.8m/sで6Wの発電を目標としている。目標とする出力が得られなかった原因としては、回流水槽内の水の流れに対する水車の抵抗が大きく、回流水槽の川上、流入口付近の流速に対して、水車近傍の流速が低下したことが考えられる。

水車近傍での流速の低下を軽減する方法として、図10の解析モデルに示すように、水車ケースに流入板を取り付けることを考案した。なお、図10の解析モデルは、回流水槽内に水車を設置した際の状況を再現したものである。流入板は図11のとおり三枚の板により構成され、水車ケースに対しては 15° 、回流水槽右上端の流入口での水の流れに対しては 30°

の傾きをもたせている。

解析では、図 12 の流入板の横方向の長さを変化させた場合の平均トルクを計算することでその効果を検討した。平均トルクは、図 10 の解析モデルの右上端流入口での流速を 0.8m/s、水車の回転数を 1 回転/秒とし、水車が 2 回転する際のものである。なお、図 12 において、横方向の長さ d を 124mm とした場合、流入板先端部での断面積は、水車ケースの断面積の 2 倍となっている。

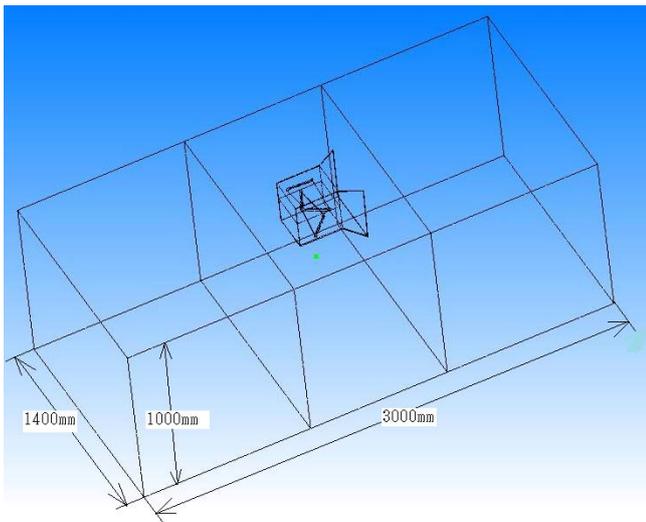


図 10 回流水槽内に装置を設置した際の解析モデル

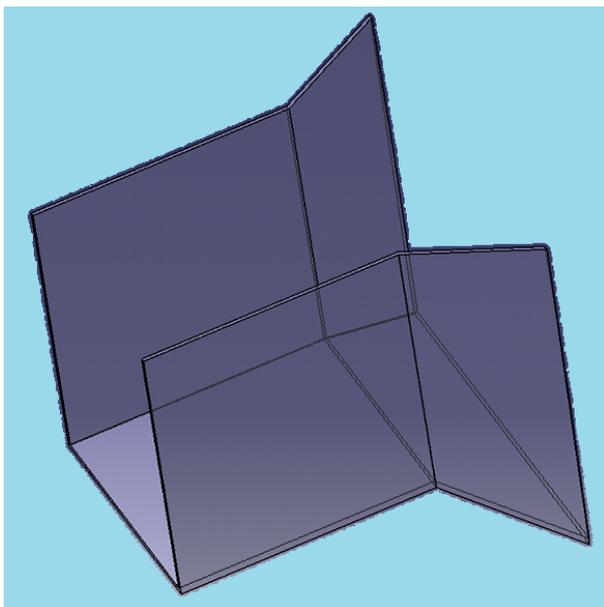


図 11 流入板を付加した水車ケース

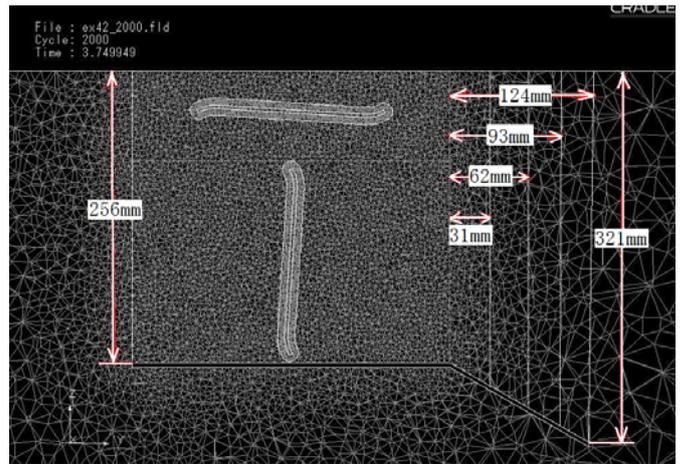


図 12 水車ケース近傍の解析モデル（流体解析ソフトウェアで作成したメッシュ）

4.2 解析結果

解析結果を図13に示す。横軸は、図12での流入板の横方向の長さが124mmの場合を100%とし、その長さを75%、50%、25%にした場合の平均トルクを示す。長さ50%をしきい値として、それ以上になると流入板の設置効果が顕著となる。よって、流入板の効果がシミュレーション上で認められたため、流入板先端部での断面積が、水車ケースの断面積の2倍程度となるような流入板を水車ケースに追加した。回流水槽で再実験を行ったところ、流速0.76m/sで2Wの出力が得られた。

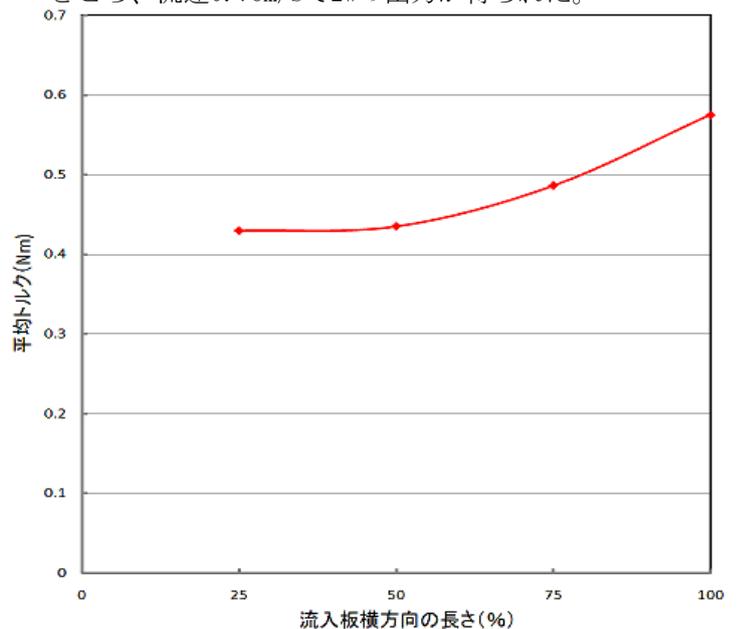


図 13 流入板の横方向長さによる平均トルクの変化

5. おわりに

開発に取り組んだ装置は、工場用排水路のU字溝やそれと比較して幅の広い農業用水路や暗渠などでのマイクロ発電装置である。今回、試作した装置は、流路幅が広い水路では目標とする発電量が得られなかったが、水路幅がせまく流量が安定している工場用排水路等ではLED照明の電源として十分な発電量が得られると思われる。

最後に、本研究にご協力いただいた企業担当者及び、ご指導いただいた広島大学大学院工学研究院 土井康明 教授に深く感謝いたします。

また、本研究の実施に際して使用した流体解析ソフトウェア **SCRYU/Tetra** は財団法人 **JKA** の自転車等機械工業振興事業に関する補助金により整備したものであることを記し、関係各位に深く感謝いたします。