

漸拡ディフューザを用いた潮海流発電装置の機械的及び電氣的効率特性の検証

Verification of Mechanical and Electrical Properties for Tidal/Ocean Current Generator with Flaring Flanged Diffuser

函館工業高等専門学校	学生員	齋藤翔大 (Shota Saito)
函館工業高等専門学校	正会員	蛸子翼 (Tsubasa Ebiko)
函館工業高等専門学校	正会員	藤原亮 (Ryo Fujiwara)
函館工業高等専門学校	正会員	宮武誠 (Makoto Miyatake)
函館工業高等専門学校	正会員	越智聖志 (Masashi Ochi)
北海道大学工学研究院	正会員	猿渡亜由未 (Ayumi Saruwatari)

1. はじめに

現在、諸外国において潮流発電の実用化に向けた研究開発が進められている¹⁾。我が国においても早期実用化の重要性が指摘されており、日本周辺の様々な海域において検証・計画が行われている²⁾。

本研究³⁾⁴⁾⁵⁾ではこれまで、津軽海峡における港湾・漁港の維持に必要な小規模電力を供給する潮海流発電の実現可能性を探るため、津軽海峡の狭窄部にあたる汐首岬沿岸部において年間通じ流況観測を実施している。観測の結果、現地の流況は一方向に日周期で変動する流れを有しているため、発電装置の機構に有利であることが明らかとなった。しかしながら、当該海域の流速は他の研究が進められている海域に比べ小さいため、効率的かつ安定的にエネルギーを回収できる発電手法が求められる。そこで、本研究では主流方向に漸拡させた形状のつば付きディフューザと発電装置を組み合わせた図-1(左)のような潮海流発電装置を考案し、最適化の検討を行なった結果⁶⁾⁷⁾、図-1(右)のようなディフューザ形状が最適であると明らかにした。

本論文は、ディフューザのつば部がタービンに及ぼす機械的特性の影響を明らかにし、また、別途製作した発電模型を用いた実験を行うことで潮海流発電装置の発電効率特性を評価するものである。

2. ディフューザつば部がタービン回転数に及ぼす影響

2.1 実験方法

ディフューザのつば部がタービン回転数に及ぼす影響を把握するため、図-2に示す可傾斜式開水路に3次元模型を設置し実験を行なった。模型はつば付き模型とつば無し模型の2種類であり、その概要図を図-3に示す。模型縮尺はFroude相似律によって設定し、1/25 (内径0.04m)とした。なお、タービンプレードの形状は本実験の検討対象から除外している。水路内に上流より与える流速は、流量及び越流堰高を変更することで調整を行い、現地の代表流速である1.00m/sを基準として年間通じ起こりうる流速をFroude相似律に基づき設定した。計測は流れが安定し、定常流となったことを確認してから行い、「つば」の有無によるタービンの回転数を高速カメラ(200fps)で測定した。なお、算出したタービンの角速度はつば付き模型、つば無し模型ともにばらつきがなく安定した数値となっているこ

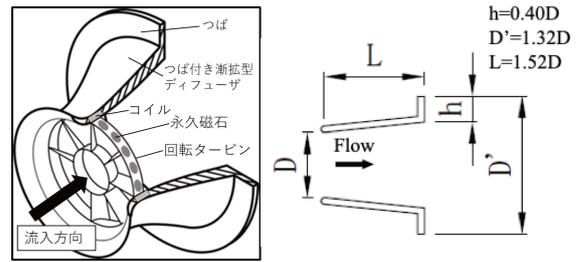


図-1 発電装置概念図(左)とディフューザの最適形状(右)

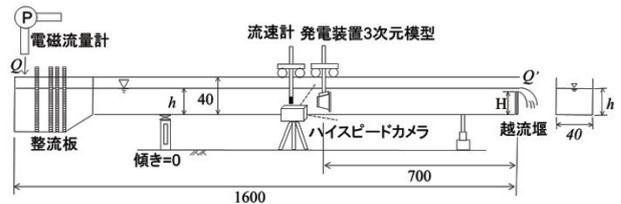


図-2 可傾斜式開水路(単位: cm)

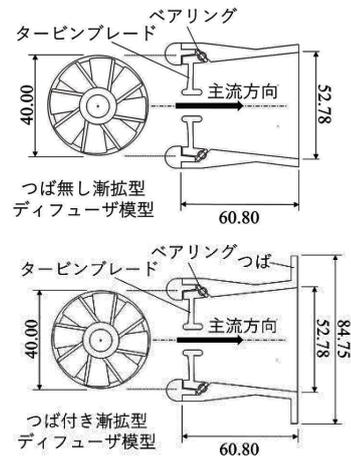


図-3 発電装置模型概要図

とを確認している。得られた実験結果よりTSRを用いて、ディフューザつば部がタービン回転数に及ぼす影響を考察する。ここでTSRは次の通り表される。

$$TSR = \frac{v_b}{u} \tag{1}$$

ここに v_b は実験におけるタービンの先端速度であり、角速度 ω とタービン半径の積により求めている。

2.2 実験結果及び考察

図-4は実験より得られた主流流速 u とTSRの関係である。つば付き模型の方が全体的にTSRが高く、特に対象流速付近で顕著な増加がみとれる。さらに、約0.3m/s以上の流速域においても高いTSRの増加が見られる。この要因として、つば付き模型のディフューザ形状を図中の点線で示す対象流速に対して最適化しているため、形成される低圧領域の影響が相対的に大きくなっていることが考えられる。また、つば付き模型の結果において、対象流速付近のTSRは大きく変動しているが、これも同様の低圧領域の変化により数値が不安定になったものと考えられる。

2.3 軸出力の推算

後出する電気的出力効率の検証に必要な軸出力 P_m をつば付き模型における主流流速 u とタービン角速度 ω の関係から求める。実験結果を対象流速以下の低速域と対象流速以上の高速域に分けて検証する。軸出力を推算するため、3次元模型のタービン角速度 ω と主流流速 u のプロットに理論曲線をフィッティングさせたものが図-5である。理論曲線は流れパワーと軸出力の変換式を変形させた次式を用いた。

$$\omega = \frac{\eta_m \rho A u^3}{T} \quad (2)$$

ここに η_m は機械効率、 T は駆動トルク、 ρ は水の密度、 A はタービン面積、 u は主流流速である。Betzの法則より、 η_m は最大効率である60%と仮定する。結果、駆動トルク T は低速域において $2.9 \times 10^{-4} \text{Nm}$ 、高速域において $6.9 \times 10^{-4} \text{Nm}$ と見積もられる。対象流速のみならずそれ以上の流速域における運用を行った際の特性を大域的に見積もるため、トルク T の値は高速域の数値を使用し、前出の模型実験によって得た角速度毎との積 $T\omega$ を軸出力 P_m として求めた。

3. 発電実験による電気的出力効率の検証

3.1 実験方法

現地における潮海流発電装置の発電量を評価する。本研究では発電コイル単体の性能を評価すべく、前出の3次元模型実験とは独立して評価実験を行うという手法をとった。図-6に本実験装置の概要図を示す。永久磁石を装着した回転子をACモーターにより回転させ、その外縁に配したチョークコイルを磁石が通過することで磁束の変化が生じ起電力が発生する。回転子を回転させた際のコイル両端の電圧降下の時間変化は、多少歪んでいるが正弦波とみなした。装置の被膜抵抗(抵抗値1kΩ)はコイルと直列に接続されており、抵抗両端の電圧降下の最大値と抵抗値により、次式に従い電力を求めた。

$$P_e = \frac{V_m^2}{2R} \quad (3)$$

ここに P_e は実験において発生する電力、 V_m は測定電圧の最大値、 R は抵抗値である。本実験における発生電力より、次式に従い電気効率を求めた。

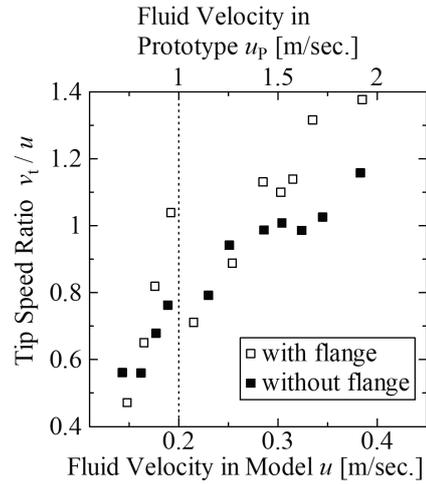


図-4 主流流速とTSRの関係

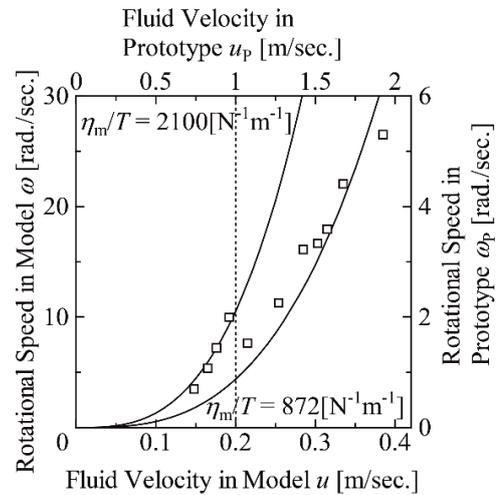


図-5 主流流速とタービン回転数との関係

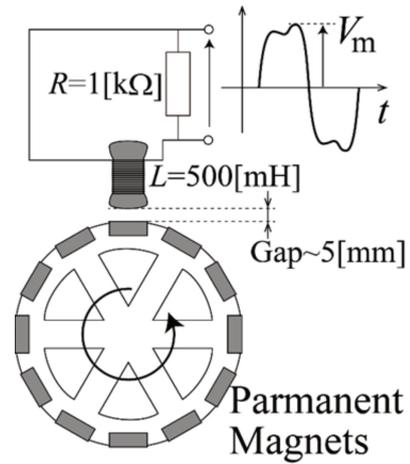


図-6 電気効率評価実験装置の概要図

$$\eta_e = \frac{P_e}{P_m} \quad (4)$$

ここに η_e は電気効率、 P_e は発生電力、 P_m は前出した軸出力である。なお、発電実験で与えた回転子の角速度は、模型実験で得られたタービンブレードの角速度と重複するように定めている。

3.2 実験結果及び考察

実験で得られた回転子の回転数 ω_e と発生電力量 P_e のプロットに理論曲線をフィッティングさせ、電気効率 η_e を求める。理論曲線は次式を用いる。

$$P_e = \eta_e T \omega \tag{5}$$

ここに P_e は実験における発生電力量、 η_e は電気効率である。図-7は回転子の回転数 ω_e と発生電力量 P_e のプロットに理論曲線をフィッティングさせたものであり、上軸と右軸には相似拡大した際に想定される回転子の回転数 ω_e と発生電力量 P_e を示している。図中の破線は模型実験における回転数の範囲を示している。フィッティングの結果、模型実験における回転数の範囲内においては電気効率 η_e は25%~50%と見積もられる。なお、効率100%の理論曲線を上回る実験値が図中に存在しているが、これは外部からモータでトルクを与えているために模型実験で出力できる以上の軸出力が得られたものと想定され、実際には100%で頭打ちするものと考えられる。

次に機械効率 η_m と電気効率 η_e の積から総合効率 η を求め、以下の式より現地発電量 $P_{e,p}$ を算出する。なお、機械効率 η_m は前述したBetzの法則より60%と仮定する。

$$P_{e,p} = \frac{\eta}{2} \rho' A u^3 \tag{6}$$

ここに、 $P_{e,p}$ は潮海流発電装置による現地発電量、 η は総合効率、 ρ' は海水密度、 A は発電装置のタービン面積、 u_p は現地流速である。図-8に現地発電量 $P_{e,p}$ と現地流速 u_p との関係を示す。図から、対象流速の流れでは数10~100W程度の電力量が得られ、高速域では約1.0kWの電力が得られると試算される。

4. 結論

潮海流発電装置の3次元模型実験を行い、ディフューザのつば部がタービン回転数に及ぼす影響を検証した結果、つば付き模型において対象流域付近で顕著なTSRの増加が見て取れ、以降高い流速においてもつば無し模型の結果と比較して高いTSRの増加が確認された。

3次元模型実験において得られたタービン回転数を基に、別途専用の発電実験装置を用いて潮海流発電装置の発電量を検証した結果、電気効率 η_e は25%~50%と見積もられ、総合効率 η は約15%~30%の範囲になることが分かった。また、対象流速の流れを受けた際には数10~100W程度の電力量が得られ、以降の高速域では約1.0kWの電力が得られる試算を提示した。

なお今回の検証においては、機械効率をBetzの法則より推定しており、現地の正確な発電量の評価には至っていない。それを踏まえ今後は、軸出力を実験において具体的に求める方法を確立し、実験精度の向上を図っていく。また、より高い回転数を得られるタービンブレードの形状について検討を行い、電力変換効率の向上を図っていく。そして、発電機構を内蔵したディフューザ模型を製作し、より実地に近い形態で検証を行っていく。以上に述べた方法を用いて、港湾・漁港の維持に必要な小規模電力を供給する潮海流発電装置の実現に向け検討を重ねていきたい。

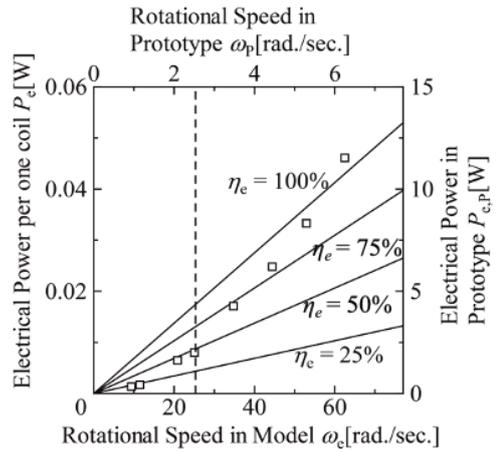


図-7 回転子の回転数と電力量との関係

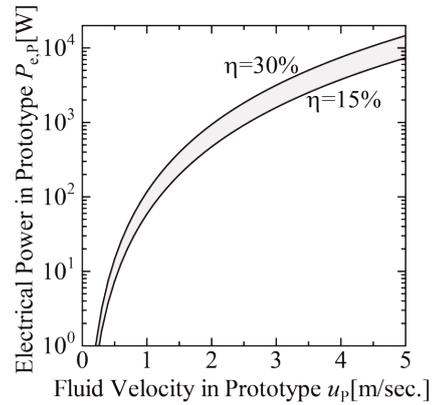


図-8 現地流速と発電量の関係

謝辞

本研究の一部は科学研究費補助金基盤研究(B)18H01537の補助を受けた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) Fergal O'Rourke, Fergal Boyle, Anthony Reynolds: Tidal energy update 2009. Applied energy, 87.2, pp.398-409, 2010.
- 2) 経塚雄策: 潮流・海流発電: スマートプロセス学会誌, 3巻2号, pp.137-145, 2014.
- 3) 本間翔希, 宮武誠, 猿渡亜由未: 潮流・海流発電に向けた津軽海峡の流況特性及びエネルギー賦存量に関する研究, 土木学会論文集B2(海岸工学), 70巻2号, pp.I_129-I_1295, 2014.
- 4) 本間翔希, 宮武誠, 猿渡亜由未, 広田知也: 津軽海峡の潮流・海流発電に向けた流況とエネルギー賦存量の四季的変動特性, 土木学会論文集B2(海岸工学), 71巻2号, pp.I_1555-I_1560, 2015.
- 5) 本間翔希, 猿渡亜由未, 宮武誠: 津軽海峡における三次元密度構造の特徴化, 土木学会論文集B2(海岸工学), 73巻2号, pp.I_67-I_72, 2017.
- 6) 蝦子翼, 宮武誠, 猿渡亜由未: 潮流・津軽海峡の潮海流発電のためのディフューザ周りの流れ特性, 土木学会論文集B2(海岸工学), 74巻2号, pp.I_1387-I_1392, 2018.
- 7) 蝦子翼, 宮武誠, 猿渡亜由未: 津軽海峡における潮海流発電のディフューザ形状が増速効果に及ぼす影響, 土木学会論文集B2(海岸工学), 75巻2号, pp.I_0206-I_0211, 2019.