津軽海峡における発電機能を実装した つば付き漸拡型ディフューザ潮海流発電装置の開発

Development of Tidal-Ocean Current Generator with Power Generation Function on Flaring Flanged Diffuser for Tsugaru Strait

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 員	蛯子翼 (Tsubasa Ebiko)
函館工業高等専門学校	学生員	加藤佑典 (Yusuke Kato)
函館工業高等専門学校	正 員	宮武誠 (Makoto Miyatake)
函館工業高等専門学校		藤原亮 (Ryo Fujiwara)
函館工業高等専門学校	正 員	越智聖志 (Masashi Ochi)
北海道大学工学研究院	正 員	猿渡亜由未 (Ayumi Saruwatari)

1. はじめに

近年,世界中で脱炭素化に向けた再生可能エネルギ ーの利用拡大が急速に進んでいる.我が国において は,列島周辺海域の再生可能エネルギーには陸上以上 のポテンシャルが存在していることから,海洋再生エ ネルギーの重要性が指摘されてきた¹⁾.とりわけ,潮流 ・海流は天候に左右されにくく,動きが規則的である ため,電力への安定的な変換が可能であり,我が国の 各海域において潮海流発電の実用化へ向けた様々な検 証が行われている²⁾³⁾.しかし,これらは大規模な発電 を対象としたものであり,昨今機運が高まりつつある 電力の地産地消に向けた,小規模発電に関する研究は 概観する限り少ない.

本研究ではこれまで,津軽海峡周辺の港湾・漁港へ の電力供給を目的とした小規模潮海流発電の実現可能 性を探るため,海峡の流況観測を実施しており,現地 の流れは一方向に日周期で変動すること,年平均最大 流速は1.0m/s強程度であることを明らかにしている⁴). さらに,この結果を踏まえ,一方向流れに特化させた 図-1に示すつば付き漸拡型ディフューザを用いた潮海 流発電装置を考案し,形状によって内部を通過するエ ネルギーを増幅させる検討⁵⁾および装置の機械特性と発 電特性の評価⁶⁾を行ってきた.しかし,検討に用いた模 型装置は発電機能の実装を想定した構造になっていな いことが課題として残された.

本論文は,発電機能を実装した模型装置を新たに製作し,水理模型実験を行うことで,発電機能が装置の 特性に与える影響を評価するものである.

2. つば付き漸拡型ディフューザへの発電機能の実装

既往の3次元流体乱流解析⁶⁾の結果に基づく主流に対して法線方向に及ぶ乱れ領域,および再現可能な諸条件を勘案し,図-1(右)に示す過去に最適化された断面形状をベースに,図-2に示す模型縮尺を1/11とした発電模型装置(樹脂製)を製作した.本模型では,タービンの中心回転軸を廃し,外周で回転させる構造とすることで,回転時に生じる負荷を低減させている.図-3に発電様式の概要図を示す.固定子である500mHのチョークコイルをディフューザ内部に表面部のみを露出させ封入し,その内側をタービンに配した回転子である310mTの永久磁石が平行に通過することで磁束密度の変化が生じ,誘導起電力を発生させる仕組みである.



図-1 発電装置概念図(左)と最適断面形状(右)



図-2 発電装置模型概要図(単位:mm)



図-3 発電装置模型概要図

3. 発電装置の性能評価方法

3.1 PIV法による2次元断面模型を用いた増速効果の検証

っば付き漸拡型ディフューザの内部を通過する流れ は、装置の漸拡形状が揚力を発生させ内部が負圧となる こと、つば背後に形成される渦輪によって内部の負圧領 域が流下方向に及ぶこと、以上によって増速する.この 効果を、1/33スケールで別途作成した発電装置の2次元 断面模型を用いてPIV法によって可視化し、タービン該 当部における増速率を算出する.さらに、過去に最適化 された断面での実験も同様に行い、流速分布の比較を行 うことで,発電機能の実装に伴う外縁形状の膨大の影響についても明らかにする.図-4に実験に用いた2次元 断面模型を示す.なお,装置には現地の代表流速である1.0m/sをFroude相似則に基づきスケールダウンし,作 用させた.

3.2 3次元模型を用いたタービン回転特性の検証

製作した3次元発電模型を開水路装置に設置し,表-1 に示す現地において通年で起こりうる流速域をFroude相 似則に基づきスケールダウンさせ発電模型に作用させ る.さらに、タービンに配する磁石数を、図-5に示す ように、設置可能な最大数である27個から18個、9個へ と段階的に変化させて同様の実験を行うことで、主流 流速および磁石数がタービンの回転特性に与える影響 を明らかにする.評価の指標には、次式で定義される TSRを用いた.

$$TSR = \frac{v_0}{u} \tag{1}$$

ここに、uは実験流速、 v_b は実験における発電装置のタービン先端速度であり、 v_b は角速度 ω とタービン半径との積より求めている. TSRを用いることで、タービン 径によらず回転速度を評価することが可能となる.

3.3 3次元模型を用いた発電特性の検証

はじめに、前述のタービン回転特性に関する実験と 併行して、オシロスコープにより各磁石数における発 生交流電圧を計測し、以下に示すRMSを用いて実効値 に変換する.

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} V_i^2}$$
(2)

ここに、 V_{rms} は発生交流電圧の実効値、nは交流電圧波 形のピーク数、 V_i は各ピーク電圧値である.つぎに、発 電量をオームの法則より、実効値と抵抗値から次式に 従い算出する.

$$P_{e,m} = \frac{V_{rms}^2}{R} \tag{3}$$

ここに、 $P_{e,m}$ は発電量、 V_{rms} は実効値、Rは抵抗値である. さらに、与えた流れエネルギーに対する発電量の応答から、発電模型における発電の総合効率を次式により求める.

$$\eta = \frac{P_{e,m}}{\frac{1}{2}\rho A u^3} \tag{4}$$

ここに、 η は総合効率、 $P_{e,m}$ は発電量、 ρ は実験水密度、Aは発電模型のタービン面積、uは実験流速である、 η を用いることで、次式より現地の流れエネルギーに対する現地発電量 P_{en} を求めることができる.

$$P_{e,p} = \frac{1}{2} \eta \rho_p A_p u_p^3 \tag{5}$$

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_p は海水密度、 A_p は実機のタービン面積、 u_p は 現地流速である.

これによって、タービンに配する磁石数が発電量お よび装置全体の効率に与える影響を明らかにする.



図-4 2次元断面模型(模型縮尺: 1/33)

表-1 実験における設定流速

ケース	現地流速 u_	実験流速 u
Run	m/s p	m/s
1	1.90	0.57
2	1.70	0.52
3	1.50	0.45
4	1.30	0.39
5	1.10	0.33
6	1.00	0.30
7	0.90	0.27
8	0.70	0.21
		AR

(a) 磁石数27

図−5 磁石配置図

(c) 磁石数9

(b) 磁石数18



図-6 平均流速分布図

4. 結果と考察

4.1 装置内部を通過する流れの増速効果特性

各断面形状における主流方向成分の平均流速分布図 を図-6に示す.両断面ともに、漸拡形状によって上面 に揚力が生じ内部が負圧となること、つば背後におい て渦が発生し内部の負圧が流下方向に引き込まれるこ とによって、断面内で増速効果を発揮している.この 結果、タービン該当部における増速率は両者ともに約 1.4倍となった.発電量は流速の3乗に比例して増大する ため、わずかな増速でも高効率化を期待することがで きる.また,過去に最適化された形状である図-6(a)で は増速域がまばらであったものの,発電機能の実装を 想定し、外縁を膨大させた図-6(b)の形状では、増速域 が断面内で均一となった.これは、外縁形状の膨大に 伴い、つば背後の流速よどみが低減されたためと推察 される.以上より,装置の増速効果が確認され,発電 機能の実装に伴い断面内の増速域が均一となったこと から、タービンの安定的な回転が期待される.

4.2 タービンの回転特性

流速とTSRとの関係を図-7に示す.高速域になるに従って、TSRは横ばいとなることから、タービンの回転効率は流速が高速になるに従い頭打ちとなることが示唆される.全ケースを概観すると、特に中速域において、配した磁石の個数によるTSRに大きな差はないことから、磁力の変化による駆動トルクへの影響は少ないものと推察される.

4.3 磁石数に伴う発電量の挙動

流速と発電量および総合効率ηとの関係を図-8に示 す.磁石数27のケースにおいて、流速と発電量は概ね 比例関係にあるものの、他ケースと比較し発電量は極め て微弱となった.これは、磁石を過密に配したことによ って磁石間の空間が十分確保されず、発電に必要な磁束 密度の変化が得られなかったことに起因すると考えられ る.また、有効に発電量が得られた磁石数18と9のケー スでは、高速域になるに従い発電効率が低下している. これは、前述したタービンの回転効率が高速域において 頭打ちとなることに起因する.

本結果より、最も高い発電量が得られた磁石数18の ケースでの総合効率を、津軽海峡における流れエネルギ ーに乗ずると、現地発電量は本装置1基あたり約 10~100W程度と推算される.

5. 結論

本研究で得られた結論を要約する.

(1)つば付き漸拡型ディフューザに発電機能を実装し, 内部を通過する流れの増速効果をPIV法によって検証し た結果,装置断面内のタービン該当部における増速率は 約1.4倍となり,加えて,発電機能の実装に伴った外縁 形状の膨大によって,増速域は均一となった.

(2)製作した発電装置による水理模型実験の結果,ター ビンの回転効率は高速になるに従って頭打ちとなり,そ れに起因して発電効率も高速域において低下することが 明らかとなった.また,タービンに磁石を過密に配置す ると,磁束密度の変化が十分に得られず,発電量は微弱 となった.

(3)最も発電量が得られた磁石数18のケースでの総合効率をもとに、本装置1基あたりの現地発電量は10~100W程度と推算された.

なお、本研究にけるタービンに配した磁石数は、試行 的な決定に基づくものであり、最も効率的な配置を見出 すには至っていない.今後、発電部の磁界特性を明らか にすることで、装置の出力向上を図っていく.また、津 軽海峡における複雑な流れを勘案し、流れが装置の発電 量に与える影響を明らかにする必要がある.さらに、本 装置を海域に複数設置することを想定し、装置が流れ場 に与える影響を検証していく.以上より、津軽海峡沿岸 域における港湾・漁港の維持に必要となる電力を効率的 に確保できる発電手法を確立していく所存である.

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.



図-7 回転子の回転数と電力量との関係



参考文献

- 内閣府総合海洋政策本部."海洋再生可能エネルギー利用促進 に関する今後の取り組み方針".
 https://www8.cao.go.jp/ocean/policies/energy/pdf/houshin.pdf
- 木方靖二,塩野光弘: 来島海峡におけるダリウス形水車による潮流発電,電気学会論文誌D,産業応用部門誌, 112 巻6号, pp.530-538, 1992.
- 3) 明宏幸,経塚雄策:潮流発電用ダリウス-サボニウス混合水 車の流力特性について、日本船舶海洋工学会講演会論文 集,5巻,pp.31-32,2007.
- 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) 蛯子翼, 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.
- 6)藤原亮,蛯子翼,宮武誠,猿渡亜由未,剱地利昭:津軽海峡に おける潮海流発電装置の機械および発電特性の評価,土木学 会論文集B2(海岸工学),76巻2号,pp.I_1201-I_1206,2020.