

課 題 情 報 シ ー ト

テ ー マ 名 :	潮流発電装置の開発		
担当指導員名 :	森公秀、佐藤幸司 藤井昌之	実施年度 :	25 年度
施 設 名 :	九州職業能力開発大学校		
課 程 名 :	応用課程	訓練科名 :	生産システム技術系
課題の区分 :	開発課題	学生数 :	10
		時間 :	48 単位 (864h)

課 題 制 作 ・ 開 発 の ポ イ ン ト

【開発（制作）のポイント】

現在、潮流発電方法の一般的なものはタービンやスクルーなど回転体を利用した発電です。この方法は、発電効率は良いのですが、漁業や自然環境への影響が懸念されています。そこで、より環境に考慮した新しい発電方法の開発を目指しました。

本開発は、流体の運動が起因する流体励起振動エネルギーを利用した発電システムを考案しました。この方法で発電できれば、潮流以外での利用も考えられます。

開発初年度は、流体励起振動を利用した風力発電装置及の基礎実験から試み、動作原理を明らかにし、開発 2 年目である本年度は、潮流の励起振動現象を利用し電力の蓄電に成功しました。今後は実用化に向けて潮流観測システムの開発、発電・蓄電制御システムの開発、効率の検証などを試みます。

【学生数の内訳】 発電装置開発：4 名、流速流向計開発：2 名、蓄電システム開発：1 名、表示アプリケーション開発：3 名

【訓練（指導）のポイント】

課題で用いる原理原則が工学的な理論を基としているため、通常の専門学科や実技では行っていない領域の技術的なアドバイスや解析技術などの補講を行う必要があります。また、企画（5 月）および仕様（7 月）、デザインレビュー（10 月）や最終（3 月）の長期に亘り客員教授や諸先生方からも専門的なアドバイスを頂き、開発成果を定期的に評価すること重要になります。本開発は、潮流発電という技術的にも開発目標や規模において、非常に大きな取り組みのため、幾つかの段階的な目標を提示し、当面の目標達成に向け開発を進めさせるモチベーションの維持と達成に向けた粘り強い指導と評価がポイントになります。

課 題 に 関 す る 問 い 合 わ せ 先

施 設 名 : 九州職業能力開発大学校
 住 所 : 〒802-0985 福岡県北九州市小倉南区志井 1665-1
 電話番号 : 093-963-0125 (代表)
 施設 Web アドレス : <http://www3.jeed.or.jp/fukuoka/college/>

課題制作・開発の「予稿」および「テーマ設定シート」

次のページ以降に、本課題の「予稿」および「テーマ設定シート」を掲載しています。

潮流発電装置の開発

生産機械システム技術科	4 名
生産電子システム技術科	3 名
生産情報システム技術科	3 名

1. 目的

現在、福島第一原発の汚染水や廃炉に向けた取り組みの課題、放射性廃棄物の最終処分地選定などを抱え原子力政策は転換期にある。また、火力発電についてもエネルギーの高騰や CO₂ の削減問題が当然発生する。こうした状況下において自然エネルギーを利用した発電の開発が急務となっている。

日本の地理的状況を考慮すると、海に囲まれ 39 もの離島から領海と排他的経済水域の総面積は世界 6 位である。この資源を有効活用し発電に利用できれば潮流発電のみでも大型原発の約 50 基に相当する発電量が期待できる。

こうした現状を踏まえ我々は、有効な発電方法を開発し、実地実験を行い安定的な電力供給ができることを実証できれば、地域発展に寄与できるのではないかと考え、この潮流発電装置の開発に取り組んでいる。

2. 課題概要

現在、潮流発電方法の一般的なものはタービンやスクリューなど回転体を利用した発電である。この方法は、発電効率は良いが、漁業や自然環境への影響が懸念される。そこで、より環境に考慮した発電方法の開発を目指した。

本開発は、流体の運動が起因する流体励起振動エネルギーを利用した発電システムを考案した。この方法で発電できれば、潮流以外での利用も考えられる。

開発初年度は、流体励起振動を利用した発電装置の基礎実験を試み、微量ではあるが電力の取り出しに成功した。開発二年目である本年度は、流体励起振動現象を明らかにし、潮流発電の実用化に向け、潮流観測システムの開発、発電・蓄電制御システムの開発、効率の検証などを試みた。

3. 装置仕様

今回開発する発電装置は、渦励振を利用した。渦励振は、流れ中の物体からの後流渦形成に伴う流体力に励起される振動である。

3. 1 渦励振発生条件

流れの中に置かれた物体や静止流体中を移動する物体の壁面には境界層が形成される。境界層は、流れに影響され物体からはく離し、はく離せん断層が下流方向へ放出され発達し渦を生成する。渦の生成に伴い物体まわりの循環や圧力分布は大きく変化し、物体に対する揚力や抗力が周期的に変動する。流出渦は周期性を伴い物体の固有振動数と共振し自励振動を起こす。この現象を利用し、発電装置を振動させエネルギーを取得する。

渦励振の振動特性は、理論的に求めることができる。一様流中に置かれた円柱の後渦には、レイノルズ数 (Re) に応じた周期性を持つ。流速を U [m/s], 円柱直径を d [m], 流出渦の周波数を f [Hz] とすると、次式の関係がある。

$$St = f \cdot d / U \quad (1)$$

St : ストローハル数

$$Re = U \cdot d / \nu \quad (2)$$

ν : 動粘度

$$10^3 < Re < 10^5 \quad St \cong 0.21 \quad (3)$$

流出渦の周波数 f の無次元量 St をストローハル数といい、円柱の場合は式(3)のレイノルズ数範囲で 0.21 程度となり、流出渦の周波数は流速に比例する。[1] 本開発においては、半円柱 $St=0.15$, 流速 $U=1.25$ [m/s] を設定し、振動発電装置の振動特性と流出渦の周波数を等しくした。

3. 2 本体構造

図 1 に振動発電装置本体の構造、表 1 に仕様を示す。

振動体の設計に当たり、円柱、角柱、半円柱などの形状や代表寸法の違いにおける振動特性を調べた。結果、渦励振の影響を受けやすい $\Phi 90$ 半円柱を採用した。半円形状は、渦励振による振動領域に加えて、高い変換流速 ($U/f \cdot d$) 域でギャロッピングによる振動領域が加わる[2]ことが期待できる。振動体は 2 [Hz] 程度で振動する。そのため起電力を増やすためには電磁誘導の周波数を上げる必要がある。そこで振動体の往復運動を回転運動に変換し、軸にコイル 32 極を配置した。実地実験の結果 30 [Hz] の波形が得られた。

また、発電部を 2 層にし、位相をずらすことで初期動作の負荷軽減とともに発電量の増大を目指している。



図 1. 振動発電装置の構造 (2 号機)

表 1. 振動発電装置仕様

本体サイズ	440×645×600[mm]
本体質量	20[kg]
振動体	半円柱 質量 0.9[kg]
コイル巻数	0.8[mm]×120 巻/個×64
ロータ	慣性モーメント 0.023[kg・m ²]
出力電圧	交流±15[V]
発電電力	1.3[W]
磁石	0.5[T]×64

3. 3 出力波形

図 2 に実地実験時の出力波形を示す。波形は、流速 $U=1.4[m/s]$ 、水温 10° 、振動体 $\Phi 90$ 半円柱質量 $900[g]$ 、無負荷駆動時の 1・2 層の出力波形である。交流±15[V]程度、周波数 30[Hz]程度の出力が得られた。

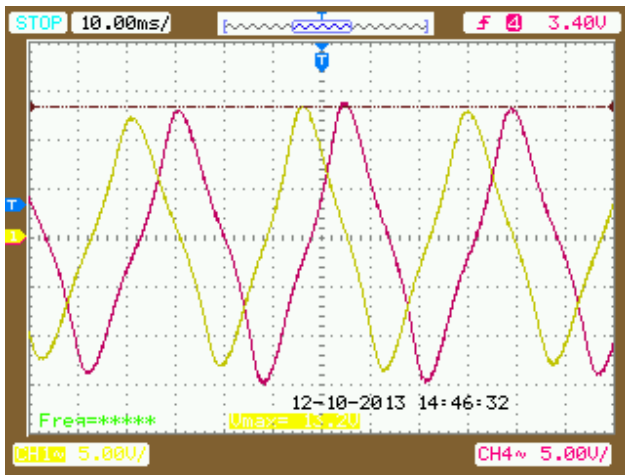


図 2. 実地実験の出力波形

3. 4 発電力特性

今回作成した発電装置がどの程度の発電能力を持っているのか、発電装置と負荷抵抗を直接接続し、負荷抵抗での消費電力を計測した。図 3 には各抵抗値における発電装置 1 号機(内部抵抗 6[Ω])と 2 号機(内部抵抗 4.6[Ω])の発電電力を示す。計測した結果どちらも負荷抵抗の値が 20[Ω]のとき最大電力をとり 1 号機が 156[mW]、2 号機が 230[mW]だった。

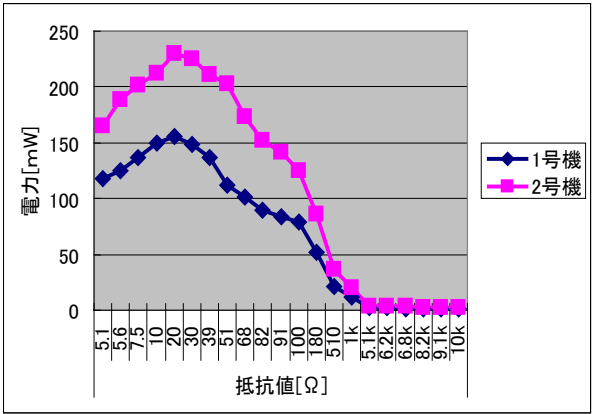


図 3. 発電電力計測実験結果

3. 5 蓄電装置

発電装置によって得られた電力を蓄電するために図 4 のような蓄電装置を製作した。以下に機能を示す。

- ・過電流、過電圧での充電、満充電時にはリレーによりバッテリーへの電圧供給を遮断
- ・AC アダプタかバッテリーで供給電源を選択可能
- ・LCD による各パラメータの表示(電圧、電流、電力、バッテリー電圧)
- ・RS232C 接続でデータ転送可能

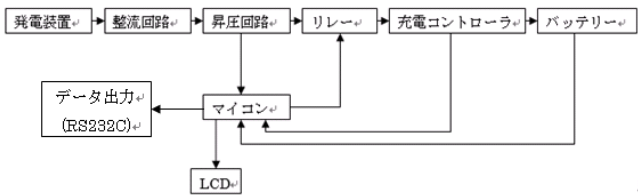


図 4. 蓄電装置ブロック図

4. 流速計(計測部)

4. 1 流速計の構成

流速計は計測部と表示部に分かれて構成されている。構成図を図 5 に示す。

FPGA で出力波形を生成し、その波形を出力回路で増幅し超音波センサ(送波器)から出力する。出力した波形を超音波センサ(受波器)で受信し、検出回路で受信したことを検出する。

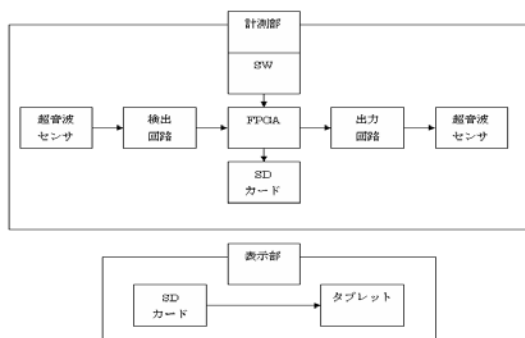


図 5. 流速計の構成図

流速は送波器から出力された信号が受波器に届くまでの時間で求める。センサを4つ一定の間隔で図6のように設置し、超音波の到達時間を計測することにより流速と流向を求める。

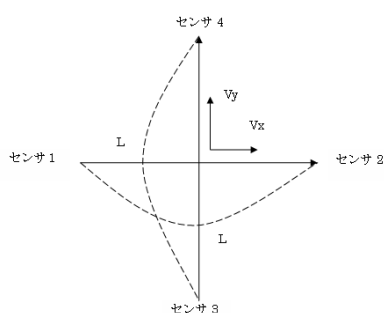


図 6. 流速の求め方

4. 2 受信波形と遅延

図7に受信信号を示す。正弦波は超音波信号で、方形波はFPGAへの入力信号である。正弦波の振幅は毎回変化してしまい、方形波が立ち上がるまでの遅延時間も毎回変動する。また図7から明らかであるように、方形波が立ち上がる1周期目は正弦波の振幅が小さいため、遅延時間に与える影響も大きい。その影響を小さくするために、方形波の立ち上がる5周期目のところで時間を計測することにした。

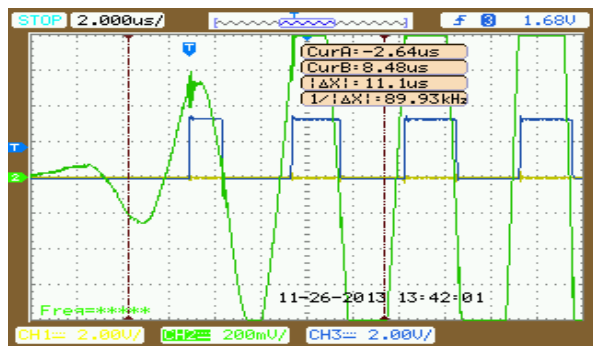


図 7. 受信波形

表 2. 到達時間の遅延

	到達時間の遅延
1 周期目	0.88~1.36[μs]
5 周期目	432[ns]

4. 3 実験結果

実験は超音波センサを二つ用いて、超音波の到達時間を計測する。信号の送受信の時間はFPGAに入力される100[MHz]のクロックをもとに最小10[ns]単位までを計測する。実験場所は川沿いにある用水路と学校にある水槽で行った。用水路の流速は1.3[m/s]、水温8℃で、水槽の流速は0[m/s]、水温11.5℃である。

表3に実験環境と超音波の到達時間の計測値、図8にその実験結果とDel Grossoの式をもとに水温と流速の関係求めたグラフを示す。水の流れに沿って音波を送信することを順方向とし、流れに逆らって送信することを逆方向としている。

表 3. 送受信の時間

流速 [m/s]	水温 [℃]	塩分 [%]	方向	到達時間 [μs]
0	11.5	0	順	691.450
		0	逆	691.448
1.3	8	0	順	694.540
		0	逆	695.987

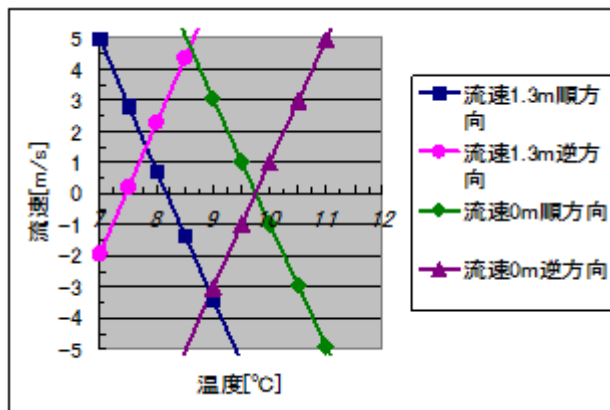


図 8. 水温と流速の関係

流速は、距離/時間=音速で求めることができる。音速はDel Grossoの方式より、水温の変化に影響を受けることがわかっている。

図8をみてわかるように、一方向の時間測定のみで流速を求めるには、同時に高い精度をもって水温、塩分濃度を計測する必要がある。

しかし、双方向の時間を計測すると水温、塩分濃度に関係なく以下の式(4)で流速を求めることができる。

$$Vx = L/2 \times (T2 - T1)/(T1 \cdot T2) \quad (4)$$

実験結果の送受信の時間差を式に当てはめると、流速は1.50[m/s]となり、図8で順方向と逆方向の交わっている値とほぼ同じになる。

5. 流速計（表示部）

SD カードに保存された時間差のデータから流速・流向を求め、そのデータを画面上に表示する。携帯性にすぐれ、屋外での使用に適しているのでタブレットを使用する。大まかな機能は、流速データの表示、グラフ化、九州周辺海域の海面温度、海流データの表示がある。

5. 1 データ表示、グラフ化

流速データ表示はその日の最大流速の時間帯を濃い黒、最小流速を黒、また発電効率が高い領域だと予測される流速を灰色で表している。これはレイノルズ数を計算して領域を求めている。以上を元に作成した流速データ表示を図 9 に示す。



図 9. 流速データ表示

流速データのグラフ表示はタブレットの特性であるタッチ機能を活かし、画面上をタッチすることによってタッチした箇所の時間帯、またおおよその流速の値を表示することが可能である。図 10 に流速データのグラフ表示を示す。



図 10. 流速データのグラフ表示

5. 2 海面温度、海流、潮流マップ

潮流を利用して発電するにあたって、あらかじめ発電効率の高い場所を推定するために、九州周辺海域の海面温度、海流の方向を表すマップを作成した。また、本開発の実地実験予定地である関門海峡周辺の潮流の変化を示した潮流マップを作成した。この潮流マップの仕様は、選択した日の潮流の最大流速及び流向を 1 時間ごとに表示することが可能である。以下に海面温度、海流、潮流マップを示す。

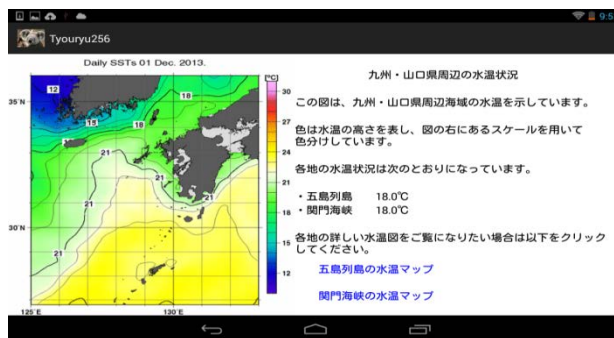


図 11. 九州周辺海域の海面温度マップ

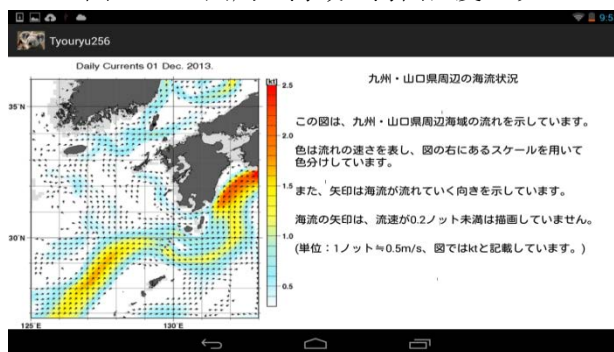


図 12. 九州周辺海域の海流マップ

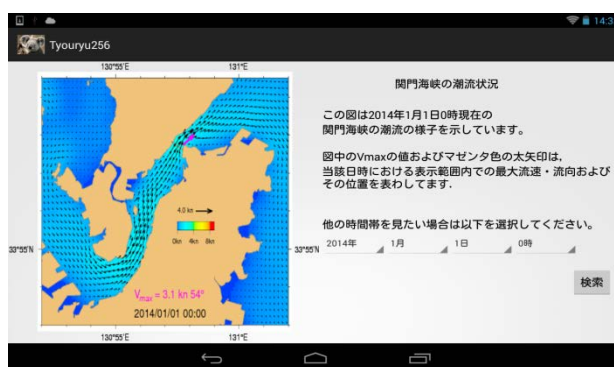


図 13. 関門海峡周辺海域の潮流マップ

6. まとめ

本開発は、流体励起振動を利用した新たな潮流発電方法と潮流観測システムおよび発電蓄電制御システムの開発に取り組んだ。現段階は実験の領域ではあるが、流体振動現象を明らかにし振動発電装置の製作、バッテリーへの蓄電および効率の検証、また環境計測システムの理論構築と計測を実証することができた。

この技術が確立すれば、潮流に限らず、河川、風力、さらに振動が発生する構造物の免振装置など利用範囲が限りなく広がる。今後は、さらに実用化に向けて、近隣の他大学とも連携する中で、潮流環境下で実証実験を進めていきたい。

【参考文献】

- [1] 日本機械学会編集, 機械工学便覧, A5 編. 力学・機械力学 (1987), 123, 日本機械学会

開発課題実習「テーマ設定シート」

作成日： 3月15日

科名：生産システム技術系

教科の科目		実習テーマ名	
精密機器設計製作課題実習（生産機械システム技術科） 電気制御システム課題実習（生産電子システム技術科） 計測システム応用構築実習（生産情報システム技術科） （開発課題実習）		潮流発電装置の開発（2年目）	
担当教員		担当学生	
生産機械システム技術科 ○森 公秀		○リーダーとなる学生の氏名を記載	担当となる学生の氏名を記載
生産電子システム技術科 佐藤 幸司		(今回の提案では学生名は記載不要)	担当となる学生の氏名を記載
生産情報システム技術科 藤井 昌之		〃	〃
		〃	〃
課題実習の技能・技術習得目標			
潮流発電装置の開発を通して、「ものづくり」全工程を行うことにより、複合した技能・技術及びその活用能力（応用力、創造的能力、問題解決能力、管理的能力等）を習得することを目的としています。具体的には、解析を主体とした製品設計技術、各種理論に基づいた作成及び管理技術などの習得を目標にします。			
実習テーマの設定背景・取組目標			
実習テーマの設定背景			
福島原発事故以来、原子力依存から自然エネルギー利用に日本人の考え方が大きく変化してきている。そこで日本の環境を考えれば潮流発電は有効なエネルギー源である。しかし、潮流発電の取り組みは行われつつあるものの太陽光発電や風力発電のような取り組みになっていない。北九州市環境未来都市推進室では九州工業大学などと共同で関門海峡での潮流発電の実験を開始したが、まだ緒についていない分野であるため有効な発電方法などの技術が発見できれば地域発展に少しは寄与できるのではないかと考えテーマ選定した。			
実習テーマの特徴・概要			
開発の初年度は、流体振動系を利用した発電・充電方法の基礎実験を試み、微量ではあるが電力を取り出すことができた。2年目である本年度は、これらの基礎実験を基に潮流を想定した水流下での発電・充電システムの実用化に向け、潮流観測システムの開発、発電・充電制御システムの開発、効率の検証などを目指す。			
No	取組目標		
①	潮流を想定した水流発電装置を完成させます。		
②	課題装置を設計する際に品質、コスト及び納期をバランス良く調和させます。		
③	機構部を設計する際、独自性を持って創意工夫をします。		
④	装置を設計製作する際、理論と現場の技能・技術を複合して取り組みます。		
⑤	課題を解決するために必要な情報を収集し、分析・評価して合理的な手順や方法を提案します。		
⑥	工程・日程・人材・他部門との関係・予算・リスク等の観点から計画を立て、進捗を調整します。		
⑦	グループメンバーの意見に耳を傾け、課題解決に向けた目的や目標及び手順や方法について共通の認識持ちます。		
⑧	各自が与えられた役割を果たし、グループメンバーをフォローし合って、グループのモチベーションを維持します。		
⑨	図や表を効率的に利用した分かり易い報告書や発表会予稿原稿を作成し、発表会では制限時間内に伝えたい内容を説明します。		
⑩	5S（整理、整頓、清掃、清潔、躰）の実現に努め、安全衛生活動を行います。		