

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 13 日現在

機関番号：55502

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560977

研究課題名(和文)大島瀬戸の潮流発電に関する基礎研究

研究課題名(英文)Basic Study of Tidal Stream Electricity Generation for Obatake Strait

研究代表者

清水 聖治(Shimizu, Seiji)

大島商船高等専門学校・その他部局等・教授

研究者番号：00243626

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：潮流発電のため大島瀬戸について潮流の流速と方向の分布を観測した。複雑な地形と橋の橋脚が影響して、橋脚付近は3次元流である。深さ方向への流速減少が少なく一様流に近い。大島瀬戸全体で期待される電力量は当初想定約5倍になる。水車を深く設置しても発電量の減少がない。

ダリウス形水車の試作と実験では、いろいろな構造、翼形状、条件を試した。起動性の改善では、自動アシスト起動が有効で、低速な潮流の有効活用に役立つ。回流水槽での発電実験と潮流観測を合わせ、橋脚に水車を設置した場合の発電電力を見積もった。大島瀬戸の潮流シミュレーションでは、速さが計算できた。

研究成果の概要(英文)：Tidal stream distribution in Obatake strait was observed for electricity generation. There are 3-dimensional flows near a bridge's piers due to complicated geography of the strait and the existing piers. Depth-ward reducing of the stream isn't so much. So, the strait has 5 times higher energy than expected and a turbine can be set deep without a loss.

Various Darrieus water turbines' properties were investigated. To improve their difficulty of starting revolution, assist experiment was carried out. It resulted in helping well starting revolution to harness low stream power efficiently. Expecting electricity was estimated from these results. Only flow speed of the tide in Obatake which explains the observed tide could be calculated by CFD.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：ダリウス形水車 自動アシスト起動 回流水槽実験 大島瀬戸 潮流発電 潮流観測 3次元潮流 潮流シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

自然エネルギーを利用する安定した電力供給の技術開発は急務である。中国地方においても、ウィンドファームが至る所に建設され、多くの公共施設の屋根に太陽光発電システムが見られる。しかしながら、風力や太陽光は天候に大きく左右され、安定的な電力供給をすることが難しい。たとえば、山口県の日本海沿岸に位置し、強風で知られる油谷の風力発電の稼働率は大変良好で、定格値の23.8%稼働することがあるが、月別発表で見ると図1のように変動が激しい。日別では、さらに急激な変動すると考えられ、電力の安定供給の観点から既存発電所の出力調整との連携がとて難しい。一方、研究対象の潮流は大島瀬戸の場合を図2に示すが、流速値は地球と月、太陽の運動でほとんど決まり、天候に左右されず規則的な変化をする。潮流発電から供給できる電力は見積もりが容易で、計画的に利用できる。



図1 油谷風力発電量の月別変化¹⁾

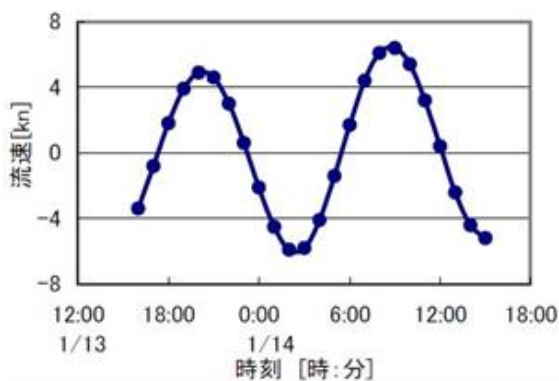


図2 大島瀬戸の潮流の時間変化²⁾

大島瀬戸の潮流のエネルギーは、水車効率を0.3、電力変換効率を0.5と仮定すると油谷風力発電の5倍以上が見込め、最近の一般家庭3,700軒分を賄えるという大きなポテンシャルがある。さらに、瀬戸内海を考えると、潮流は水の質量が大きいので、風力よりエネルギー密度が高く取り出しやすい性質があることに加え、島が数多く存在し、大島瀬戸のような急潮が多いことから全体としては大き

な供給能力を有する。特に気候が穏やかな瀬戸内海では風力より利用価値が高い。しかしながら、現在までに、潮流発電の研究は、鳴門海峡で徳島大学、来島海峡で日本大学³⁾等、明石海峡で海上保安試験研究センターが灯浮標用の潮流発電装置の実験⁴⁾等、また、長崎県生月大橋で九州大学が実験⁵⁾の程度であり、そのポテンシャルに比べると取組がとて少ない。

これらの潮流発電の研究の多くは、流れ方向によらず一定方向の回転が取り出せ、水車効率が低いダリウス形水車を採用しているが、潮流の空間的または時間的変化の把握とダリウス形水車の起動性が問題となっている。瀬戸内海の代表的な急潮の大島海峡で、この問題を解決すれば、安定した電力供給を潮流発電によって達成するための画期的な方法論を確立することができる。

- 1) 油谷風力発電株式会社, <http://www.oken-co.jp/fuuryoku/f-03.html>
- 2) 藤井雅之, 綿屋茂男, 大島瀬戸の潮流発電に関する研究, 独立行政法人国立高等専門学校機構大島商船高等専門学校紀要 第39号, pp.52-57, 2006年
- 3) 谷口貴志 他, 潮流発電用ダリウス形水車の基礎特性 直径寸法への影響, 平成15年電気学会全国大会講演論文集, pp.179-180, 2003年
- 4) 平本敏弥, 潮流発電装置に関する研究, <http://www.kaiho.mlit.go.jp/syoukai/soshiki/soumu/seika/h12/05.pdf>
- 5) 経塚雄策, 橋脚を利用した潮流発電の実用化に関する研究, <http://www.engan.esst.kyushu-u.ac.jp/~kyozuka/ikitukishima.html>

2. 研究の目的

地球環境保全のため、CO₂の排出削減が世界的に求められている。化石燃料に依存せずかつ安定した電力供給を潮流発電によって達成するための画期的な方法論を確立する。

- a 試験対象とする大島瀬戸(山口県)の急潮流の時間・空間的な変動特性を明確にする。
- b 発電用水車として効率は高いが、流れ中での起動性に欠点があるダリウス水車を改良し、発電機をモータ代わりに強制回転させることにより起動性を向上させる。
- c 現地試験により流向および流速が時間・空間的に変動する状況において、水車による発電量がどの程度得られるかを明確にし、これらの結果をもとに将来の大型水車の設計指針を確立する。

3. 研究の方法

本研究では、瀬戸内海の急潮の一つ大島瀬戸において、安定した電力供給を潮流発電によって達成するための画期的な方法論を確立する。研究は次の六つの部分に分けて連携

しながら進める。

① 大島瀬戸の潮流特性、海水特性に関する全体的な把握

② 発電に用いる水車の試作と回流水槽での発電試験を通じた水車構造の改良と新起動方法試験

③ 潮流特性と発電量の相関関係の把握と大島瀬戸における潮流発電量の予測計算

④ 大島瀬戸における潮流発電の現地実験

⑤ 研究のまとめと将来の実用化に向けた基礎資料の蓄積

初年度は①潮流特性と②水車試作で基礎データ蓄積を行い、次年度に③発電予測、④現地実験、最終年度に各部分成果のまとめと⑤方法論構築、将来の実用化への問題点抽出を行う。

4. 研究成果

大島瀬戸の潮流特性、海水特性については、大まかではあるが、全体的な把握ができた。この点において、広島工業大学との共同での潮流観測・地形調査できたことは、本予算内では利用不可能であった機器の観測調査の結果を共有でき、とても有意義であった。これらの結果は、我々が行った橋脚での潮流観測結果とよく一致している。その結果、大島瀬戸の潮流の速い位置、潮流の流速と方向の分布がわかった。注目すべき点の一つ目として、東西で水深が大きく異なる複雑な地形と大島大橋の橋脚の存在が影響して、特に橋脚の付近では、強い3次元潮流になっていることがわかった。また、もう一つは、潮流流速の深さ方向への減少が一般に河岸工学等の教科書で言われているよりずっと少ない。特に大島瀬戸では、流路が急に狭くなっていることに起因すると考えられる。瀬戸全体にわたってある意味一様流に近い。この点から見ると、背景で述べた瀬戸全体から見込まれる電力量について、実際は約5倍多いのではないかと考えられる。また、水車を交通量が多い、海面を避け水中に設置しても、見込まれる発電量について、ほとんど減少がないといえる。

ダリウス形水車の試作と回流水槽での実験については、いろいろな水車構造、翼形状、条件を手分けして行い、技術と経験を蓄積できた。また、ダリウス形水車の起動性の改善については、自動アシストによる起動が有効で、低速な潮流の有効活用に役立つことがわかった。また、起動の前にスタックしてしまう現象について、3枚翼の場合スタックし易い水車の翼の特定な角度が主に2種類あること、潮流の障害物が起動の助けになることがあること、逆回転することがあることなどの見出された。これらの現象を解析、説明し、最適設計や運転に活用するためには、今後、実験的に追及する他に、CFDなどの解析手法を試す必要があると思われる。

水車の回流水槽での実験と、橋脚での潮流観測により、橋脚に試作した水車を設置した

場合について、発電できる電力の見積もりを行った。

大島海峡の潮流シミュレーションにより、潮流のおおよその速さの予測が可能で、他の場所での発電できる電力の見積もりに役立つ。また、潮流特性の把握で行った観測において、潮流の流速、方向の分布がわかったので、今後これを潮流シミュレーション精度向上へフィードバックする方向へ役立てると、電力見積もりがより正確にできるようになると思われる。

現地での発電実験は時間の都合上できなかった。

大島瀬戸での将来の潮流発電実現へ向け、基礎資料の蓄積ができた。

○今後の研究の推進の方策

平成25年度が最終年度であるが、今後も引き続き予算支援の申請を行い、研究を続ける予定である。

現地発電実験は、時間の都合上実施できなかった。予算確保ができ次第、引き続き行いたい。

水車特性の解析と説明について、引き続きの回流水槽での実験的な最適形状および設計の追及の他に、CFDなどの手法を導入する必要があると思われる。とくに、橋脚付近に水車を設置することを考えると、橋脚での潮流観測でわかった乱れた流れに対する水車の挙動や、広島工業大学との共同観測で見出した3次元流に対する水車の挙動の調査と理解が今後の焦点として挙げられる。大島瀬戸の潮流シミュレーションについて、潮流の流速分布の正確さの向上のため（特に流向）、メッシュのサイズを細かくする、また、大島海峡の地形調査の結果や橋脚の算入、4箇所での潮位の観測による境界条件の明確化など改善する必要があると思われる。

○各年度の実績

平成23年度

(1) 大島瀬戸の中心部である大島大橋の南側P4橋脚にて冬季の1ヶ月間ほど連続観測した。大潮時の最大流速は4~5ノット、小潮時は2ノット程度発生することが分かった。大潮の一日の潮流変化を海上保安庁の予測値と比較すると、転流時刻は良く一致するが、最大値付近は正弦変化の頭がつぶれたように頭打ちになり、予測値より小さい。観測への橋脚の影響が心配される。

(2) 南北に境界条件を設定した流れの数値シミュレーションを実施し、潮流の観測点にて計算値と観測値を比較した。流向は観測値よりも計算値の方がばらつきは大きくなっている。流速は計算値も大潮時で4~5ノット、小潮時で2~3ノットであり、観測値に近い値になった。また、大潮時の空間的な流速および流向の分布を整理した。この結果、大島大橋の真下ではなく、数百メートルほど東側に位置する航路の北側で流速が最も大きく

なっていることが分かった。また大島瀬戸の東側、西側の海域において本流とは逆の向きに流れが局所的に卓越しており、空間的に一様でない、渦を発生するような複雑な流れがある。

(3)ダリウス形水車発電装置のプロトタイプを製作し、回流水槽で発電実験を行った。翼枚数は3枚と4枚、ソリディティは0.2~0.3、発電機は自転車用の単相交流発電機の2タイプ、風力発電用高効率3相交流の1タイプを試した。翼の幅やソリディティは大きい方が、また、発電機はコギングが少なくスムーズに回転する方が、起動流速が小さく、発電出力が大きかった。最も成績の良いプロトタイプは、起動流速 0.5m/s で、その後、流速を下げても 0.35m/s まで発電を維持できた。1.5m/s の流速のとき、4.2W 発電し、そのときの全効率は 10%にも及んだ。観測した潮流を用いて概算すると、このプロトタイプは、止まっていることがあまりないという意味で、実に潮流エネルギーの 99.7%を発電に利用できる。

平成 24 年度

(1)大島瀬戸の大島大橋の北側橋脚 P3 と南側橋脚 P4 の 2 箇所にて 1 ヶ月間ほど冬季の潮流を連続観測した。P3 の上げ潮（東流）の時を除き、大潮の潮流が最大値になる頃に観測された最大流速は 6 ノット程度でほぼ海上保安庁の予測に一致することが分かった。平均流速は最大流速の約半分程度であり、橋脚による影響、例えば、潮流の妨げ、渦の発生などが原因で流れが乱れていると考えられる。一日の潮流変化を海上保安庁の予測値と比較すると、転流時刻は良く一致する。P3 の上げ潮（東流）の時、潮流が最大値になる頃に観測された最大流速は正弦変化の頭がつぶれたように頭打ちになり、海上保安庁の予測値よりかなり小さい。潮流計が橋脚の下流側になったと考えられ、他とは潮流の方向が異なっていると考えられる。この時、日見漁港と椋野漁港で潮位も観測した。次年度、数値シミュレーションに用いる予定である。

(2)広島工業大学都市デザイン工学科上嶋英機氏、石垣衛氏に協力し、ADCP により大島瀬戸の潮流について、大島大橋橋脚付近の断面方向の分布について観測を行った。

(3)起動アシスト装置を備えたダリウス形水車発電装置のプロトタイプを製作し、回流水槽で、起動アシストと発電実験を行った。翼枚数は 3 枚で、ソリディティは 0.3、発電機は風力発電用の三相交流高効率発電機を用いた。負荷抵抗 10Ω のスター結線を用いた。まず、流速 0.5m/s から 1.4m/s までを適用したが、自己起動することはなかった。装着した起動アシスト装置の摩擦に加え、丈夫に重く製作したため軸受摩擦トルクなどが多くなったのが原因と考えられる。ところが、120rpm、5s 程度のアシストを行うと起動でき、最低で 0.5m/s の流速のとき、発電を維持で

きた。そのとき、0.26W 発電し、効率は 3.9% であった。起動アシストは潮流エネルギーをより有効に発電に利用するために役立つとわかった。

平成 25 年度

(1)起動アシスト装置を備えた 3 枚翼のダリウス形水車発電装置のプロトタイプを製作し、回流水槽で自動起動アシスト実験を行った。水車の揺動を捕らえ、120rpm、5s 程度の自動アシストを行うと 0.6m/s 起動でき、0.5m/s の流速のときまで流速が低下しても発電を維持できた。自動起動アシストは低速の潮流エネルギーを利用するために役立つ。

(2)ダリウス形水車の起動性を検討するため、採用した翼形状の揚力係数、抗力係数から一様潮流を仮定し、発生トルクを求めた。水車起動時の水車の回転数が低いとき翼に対する潮流の入射角が大きくなり、失速が生じ発生トルクが低くまたは負になることがわかった。3 枚翼の場合、入射角が大きくなるある特定の角度に水車の翼がスタックし易いことがわかった。この検討で予測できた角度以外に停滞しやすい角度があることが実験でわかった。

(3)広島工業大学都市デザイン工学科上嶋英機氏、石垣衛氏に協力し、ADCP により大島瀬戸の潮流について、大島大橋橋脚付近の断面方向の分布について観測を行った。上げ潮（東流）のとき、P3 橋脚の南側で最大で約 7 ノット流れることがわかった。下げ潮（西流）のとき、P4 橋脚の北側で最大約 6 ノットであった。予測に反して、水深方向の流速の変化はあまり大きくなく、一様流に近い。大島瀬戸は、大島大橋の東側では水深が深く、西では浅く複雑な地形になっている。その結果、瀬戸の中央付近の潮流においても、上げ潮（東流）と下げ潮（西流）は 180° 真反対ではなく、約 24° のずれが見られる。また、その影響に加え、大島大橋の橋脚の存在による影響があり、潮流には上昇流、下降流が存在することがわかった。

(4)水車の試作、回流水槽実験において、3 枚翼の水車が、起動前に特にスタックしやすい特定の翼の角度が 2 箇所あることがわかった。潮流の障害物が起動の助けになることがある。ソリディティが大きい場合、通常の逆回転に起動することがある。

(5)瀬戸の潮流のシミュレーションは日見（西側）と椋野（東側）の潮位を計測し、境界条件の正確さを向上させたが計算の潮流方向のばらつきは以前と変わらなかった。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 2 件）

1 石垣衛, 三好順也, 清水聖治, 藤井雅之, 瀬戸内海における橋脚下海洋空間を活用し

た潮流発電エネルギー量の算定, 土木学会論文
文集 B3, Vol. 70, No. 2, pp. 未定, 平成 26 年
6 月. 掲載決定済み

2 笹健児, 清水聖治, 古賀英司, 藤井雅之,
航行安全および潮流発電から見た大島瀬戸
の潮流特性に関する基礎的研究, 日本航海学
会論文集, No.126, pp. 105- 114, 平成 24
年 3 月.

[学会発表] (計 5 件)

1 清水聖治, 藤井雅之, 笹健児, 木村安宏,
古賀英司, 本木久也, 潮流発電用ダリウス形
水車の発生トルク特性と起動アシスト実験,
第 10 回海洋エネルギーシンポジウム
(OES2013)・2013 年 9 月 25 日(水)佐賀大学
海洋エネルギー研究センター, pp. 43- 46,
平成 25 年 9 月.

2 Seiji SHIMIZU, Masayuki FUJII, Eishi
KOGA, Kenji SASA, Yasuhiro KIMURA, and
Hironori KITAKAZE, Study of Tidal Stream
Electricity Generation for Obatake Strait,
Proceedings of The Twenty-third (2013)
International Offshore and Polar
Engineering Conference, Anchorage, Alaska,
USA, June 30-July 5, 2013, pp. 623- 628,
平成 25 年 7 月.

3 Seiji SHIMIZU, Miku OKIKAWA, Eishi
KOGA, Kenji SASA, and Masayuki FUJII,
Fundamental Study of Tidal Stream
Electricity Generation for Obatake Strait,
Proceedings of The International
Conference on Electrical Engineering 2012,
Kanazawa, Japan, pp. 508- 511, 平成 24 年
7 月.

4 Kenji Sasa, Seiji Shimizu, Masayuki
Fujii and Eishi Koga, Fundamental Study on
Tidal Currents in Obatake Seto from the
Viewpoint of Tidal Energy Generation,
Proceedings of The 22nd International
Ocean and Polar Engineering Conference,
Rhodes (Rodos), Greece, 2012, pp. 680- 687,
平成 24 年 6 月.

5 笹健児, 清水聖治, 古賀英司, 藤井雅之,
航行安全および潮流発電から見た大島瀬戸
の潮流特性に関する基礎的研究, 日本航海学
会第 125 回講演会・研究会予稿集第 2 部, pp.
1- 1, 平成 23 年 10 月.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

清水 聖治 (シミズ セイジ)

大島商船高等専門学校・その他部局等・教
授

研究者番号: 00243626

(2) 研究分担者

古賀 英司 (コガ エイシ)

大島商船高等専門学校・その他部局等・准
教授

研究者番号: 60311081

(3) 研究分担者

笹 健児 (ササ ケンジ)

神戸大学・海事科学研究科 (研究院)・准
教授

研究者番号: 10360330

(4) 研究分担者

角田 哲也 (スミダ テツヤ)

大島商船高等専門学校・その他部局等・准
教授

研究者番号: 00163056

(5) 研究分担者

木村 安宏 (キムラ ヤスヒロ)

大島商船高等専門学校・その
他部局等・講師

研究者番号: 10465916

(6) 研究分担者

藤井 雅之 (フジイ マサユキ)

大島商船高等専門学校・その他部局等・准
教授

研究者番号: 70270337