

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25289319

研究課題名(和文) 実海域の潮流発電装置に及ぼす付着生物の影響評価

研究課題名(英文) Evaluation of bio-fouling effects on tidal turbines in the sea

研究代表者

経塚 雄策 (Kyozyuka, Yusaku)

九州大学・総合理工学研究科(研究院)・教授

研究者番号：80177948

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 8,000,000円

研究成果の概要(和文)：潮流発電装置への付着生物影響を調査するために、潮流速が大きな平戸瀬戸の田平港の岸壁において5枚の塗装した試験板および5枚の無塗装板を用いて実海域実験を行った。各試験板を毎月観察し、付着生物の種類と重量を求め、水温、流速、クロロフィルとの関係について調査した。塗装板については、アクリル系塗料は18ヶ月後から効果が薄れるが、通常の防汚塗料は2年半以上の効果が認められた。フジツボの付着が潮流タービンに及ぼす影響を調べるために模型実験を行い、フジツボ個数と発電性能の関係などについて調査を行った。

研究成果の概要(英文)：For the study of the bio-fouling effects on the tidal turbine performance, a bio-fouling observation by using test plates was conducted at the breakwater of Tabira port in Hirado Strait, Nagasaki Prefecture, where the maximum tidal speed is around 1.9 m/s. Test plates consist of 5 painted plates and 5 without paint were used. The observation was made to find the kind of bio-lives and the weight increase of the each plate every month and they were considered with the relation of water temperature and the chlorophyll-a. Acrylic paint lost the effect after 18 months but the normal bio-fouling paints were found to continue the bio-fouling effects. For the evaluation of the effects on the performance of tidal turbine by the attaching of the red-barnacles, model experiments were conducted to obtain the relationship between the number of barnacles and the power coefficient of the turbine.

研究分野：海洋環境工学

キーワード：潮流発電 付着生物 防汚塗料 フジツボ 実海域実験 抵抗試験

1. 研究開始当初の背景

本研究の背景としては、世界的には地球温暖化対策としての再生可能エネルギーの促進と国内的には 20011 年の福島原発事故と国内原発の全面的な停止による新たなエネルギー源の開発が急務となったことにより、海洋エネルギーの実用化への期待が大きくなったことが上げられる。特に、潮流発電については発電量の予測が可能であり、信頼性が高いエネルギー源であると見なされている。2003 年に欧州海洋エネルギーセンター(EMEC)が開設されて、実海域実験が行われており、実用化が間近に迫っていると思われた。研究代表者は、2005 年頃から潮流発電に関する基礎的な研究を行ってきたが、2007 年に長崎県平戸市の生月大橋の橋脚を利用した潮流発電の実験を行った際に、8 月末に実海域に設置した潮流発電装置が翌年 4 月の回収時にアカフジツボが装置の表面全体に付着したことを目の当たりにした。この経験から、付着生物、特に強い潮流中におけるアカフジツボの問題を認識し、潮流発電の実用化前に解決することが必要であると思われた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、近い将来潮流発電が実用化されると思われる九州近海における付着生物の生物種と付着状況の調査および付着生物による潮流発電装置の性能への影響評価、塗装による防汚効果の実海域での調査である。付着状況調査については、長崎県の平戸瀬戸にある田平港の防波堤岸壁を借用して試験板を用いた調査を実施する。ここでの潮流速は最大で約 1.7 m/s であり、潮流発電が検討されている海域に近い環境となっているため、生物相についても同様であることが予想される。試験板は、5 枚の無塗装板と 5 種類の塗料で塗装したものの計 10 枚であり、無塗装板は防汚対策をしない場合の付着状況、塗装板は塗装による防汚効果について調査が可能である。この海域における付着生物の優占種はアカフジツボであることが 1 年目の試験板を用いた調査によって分かったので、この結果よりアカフジツボの付着による潮流発電装置への影響について主として模型実験によって調査を行った。

3. 研究の方法

強潮流域として知られている長崎県平戸瀬戸の田平港の防波堤(図-1)において 2013 年 9 月から試験板を用いた生物汚損調査を実施した。図-2 は今回用いた試験板実験装置の概略であり、試験板は塩ビ板 (H x B x t = 200 x 150 x 10 (mm)) を使い、4 隅に設けた穴を使って実験装置のフレームに固定した。上下 2 段とし、上段には塗装を施した 5 枚、下段には無塗装の 5 枚を固定した。無塗装の試験板は、1 か月ごとに交換する 1 か月板、同様に 3 か月板、6 か月板、12 か月板および無期



図-1 田平港防波堤の実験場所

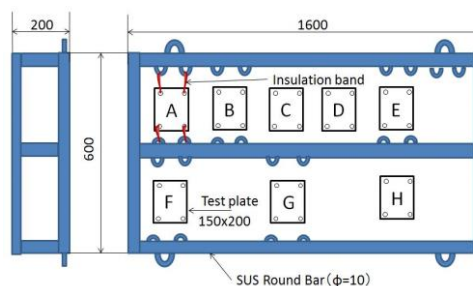


図-2 実験装置概略

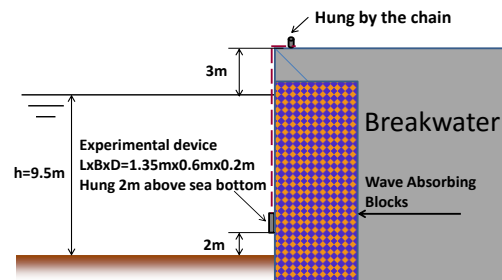


図-3 実験装置の設置状況

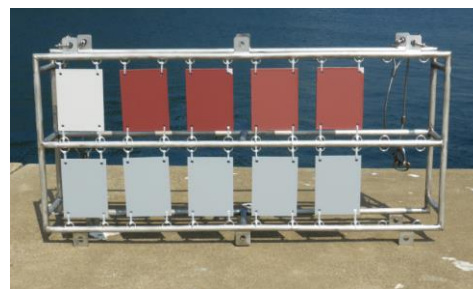


図-4 実験装置の初期写真

表-1 塗装板の種類

Plate	Kind of paint	Durable years
A	Silicon synthetic resin coating (CMP, BioClean ECO)	4
B	Self-abrasive ship-bottom paint-1 (CMP, Powerclean 2000)	2
C	Self-abrasive ship-bottom paint-1 (CMP, Powerclean 2000)	4
D	Self-abrasive ship-bottom paint-2 (CMP, Seagrاندprix 660HS)	2
E	Self-abrasive ship-bottom paint-2 (CMP, Seagrاندprix 660HS)	4

限板とした。塗装板については、中国塗料(株)に依頼して船底塗料で塗装した。上塗り塗料は表-1の様な5種類を用いた。Aはいわゆるシリコン系塗料、BとCは海洋構造物用研磨性防汚塗料で2回塗りと3回塗りの違い、DとEは船舶用研磨型防汚塗料で2回塗りと3回塗りである。これを図-3のように岸壁から吊り下げて海中に設置し、毎月試験板の重量計測および写真撮影の定期観測を行った。図-4は実験装置の初期写真である。

図-5は、2013年11月11日から12月11日まで実験装置の約5m沖合に設置した超音波式多層流速計(ADCP)によって計測された水平流速(u, v)をホドグラフで表現したものである。これによれば、現地の潮流は上げ潮時は、北西方向に最大1.7m/s程度であるが、下げ潮時は最大でも約1m/sの流速であること、流向については防波堤の方向と一致していることなどが分かる。上潮時の流速が大きいことは平戸瀬戸の地形から納得できる。このような潮流場については当初の想定を超えるほどで、今回の調査には最適な場所であったと思われる。

次に、図-6は現場で計測された水温の記録であり、開始が1か月遅れの2013年10月11日から2015年11月11日までの25か月間であり、2年目は色を変えてプロットした。観測開始から2014年2月中旬まではほぼ単調減少で年間最低温は約13°C、その後はほぼ単調に上昇して7月末から8月初旬に最高水温は約27°Cとなっている。2年目の最低水温の時期は1年目よりも時間的に遅れて、3月中旬にずれ込んだため3月中の水温は1年目よりも低かったことが分かる。このような状況を欧州海洋エネルギーセンター(EMEC)のある海域の水温と比較すると、EMEC周辺では年間の最高水温は15°C以下であるとのことなのでそこに生息する生物相も全く違うものと思われされる。従って、潮流発電装置については、世界中で共通化できる部分も多いと思われるが、設置海域のローカルな環境条件が重要となる部分については個別に考慮しないといけないということになる。

4. 研究成果

(1) 付着生物の種類と特徴

図-7は、設置から2年後の2015年9月16日の実験装置引上げ直後の写真である。この写真から塗装板Aには複数のアカフジツボが付着していることが分かる。塗装板BからEには藻類など植物性のものが表面にうっすらと付いてはいるが、アカフジツボなどは付いてはなかった。これに対して、下段の無塗装の試験板については、かなりの付着生物が付いていることが分かる。下段の左端のFは1か月板で全表面に藻が付いており、数個の小さなアカフジツボが観察できた。その横の3か月板(G)から固定板(J)までは多量の付着物が付いており、色が黒ずんでいる。付着生物としては、アカフジツボが圧倒的に多

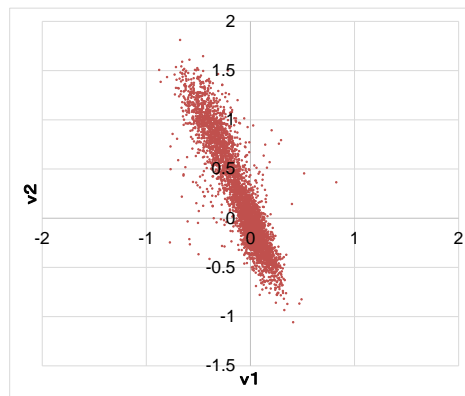


図-5 潮流速ホドグラフ

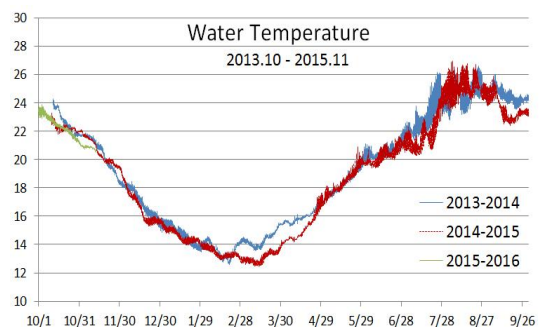


図-6 水温の観測結果



図-7 設置から2年後の実験装置写真(2015.9.16)

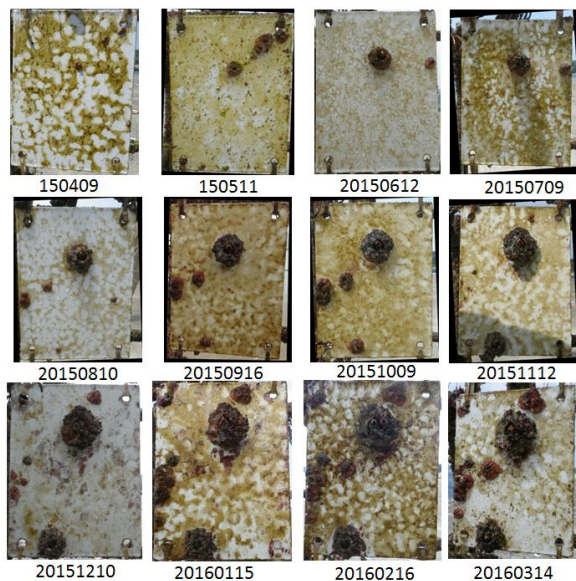


図-8 シリコン系塗装板Aの2015年9月から2016年3月までの写真

いがそれ以外にホヤ類、ヒドロ虫類、コケムシ類、イソギンチャク類などの動物と紅藻類、珪藻類などの植物が観察された。

図-8は、試験板Aにアカフジツボの付着がみられた2015年4月から1年間の写真をまとめたものである。当初は小さなアカフジツボが数個付着し、その後成長していくがやや大きくなった後になくなるものもあることが観察される。中央上部のアカフジツボについては、この期間を通じて安定的に成長を続けており、次第に巨大化していく様子が明確に分かる。

(2) 付着生物量の変化

図-9は、2013年9月13日の設置以来の1か月板Fの重量増加を示したもので、月平均水温も参考としてプロットした。これを見ると、2015年の5月と11月に突出した重量増加があるが、一般的には6月から10月に10～20グラムの増加があり、特に冬場にはほとんど増加がないことが分かる。6月～10月の平均水温は約20℃を上回っており、水温が重要な役割を果たしていると思われる。このことは、アカフジツボの産卵が温度によって律速されていて、水温が一定値以下(約20℃)の場合には産卵が止まるためであると思われる。2015年の突出値については、図-11の3か月板Gの結果にも現れているが、重量のみならず何が付いたのかについても今後、原因究明をしたい。

図-10は、同様に3か月板Gの重量増加を示したものである。この試験板は、3月、6月、9月、12月に交換するが、10～12月分だけが3年間のデータがあることになる。これらの結果をみると、年によるバラつきが少なくないが、はっきりしているのは12月～3月分についてはほとんど重量増加がないこと、夏場には月とともに重量が増えること、10月～12月についても重量は増加すること、などが言える。1か月板については、12月の重量増加はなかったのに対し、3か月板については水温に関わらず重量増加がある。つまり、9月以降に付着したアカフジツボは12月にも成長を続けている。

図-11は、6か月板Hの重量増加を示した。この試験板は、3月と9月に交換するため横軸は10月を起点として描いた。10月から3月の冬場については3年間のデータがあるが、夏場については2年間のデータしかない。これを見ると、特に夏場の1年目と2年目の結果の違いが大きいことである。この原因が何によるものなのかは現在分かっていないが、水温については大きな違いはないので、アカフジツボの餌となる植物プランクトンの濃度なども考慮すべきであると思われる。

図-12は、12か月板Iの重量増加であり、この試験板は9月に交換するため、9月を起点として描いた。これを見ると1年目、2年目の結果は初めの6か月間は同じように時間とともに増加しているが、1年目については6月以降は約700グラムで頭打ちなのに対し、

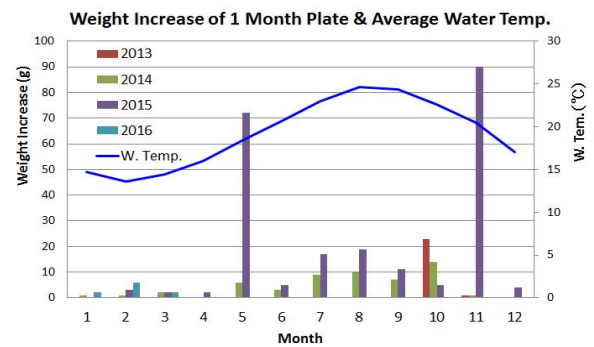


図-9 1か月板の付着量変化(2013年10月～2016年3月)

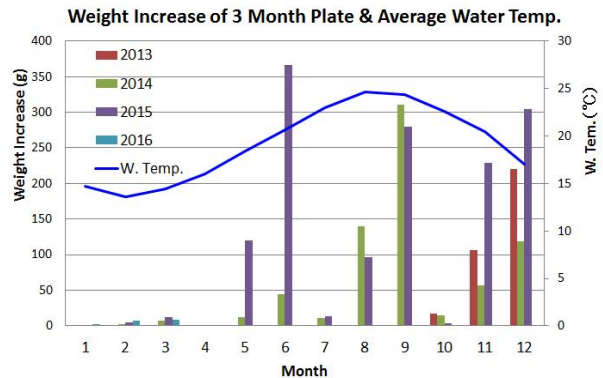


図-10 3か月板の付着量変化(2013年10月～2016年3月)

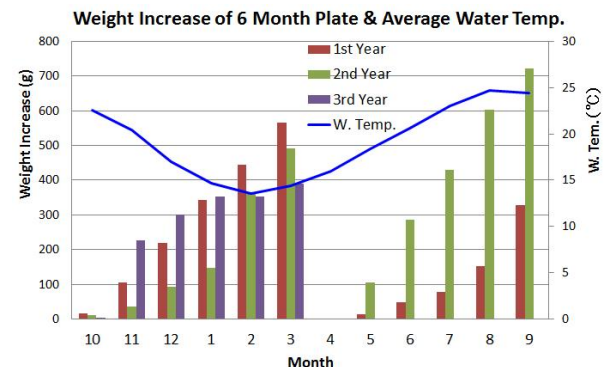


図-11 6か月板の付着量変化(2013年10月～2016年3月)

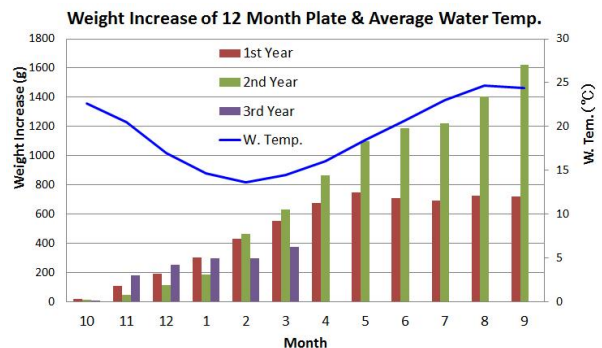


図-12 12か月板の付着量変化
(2013年10月～2016年3月)

2年目については6月以降も重量は増加を続けている。この違いについては、1年目と2年目の12か月板Iの写真を比較すると、どちらも全面に大きなアカフジツボが付着し

ているが、2年目には表面と裏面にも大型のアカフジツボが盛り上がり付着しており、1年目と比較すると全体に分厚くなったことが重量の違いになったものと思われる。

図-13は、試験板Jについて実験開始からの2年6か月間の重量変化を月毎の平均水温とともに示したものである。この結果をみると、浸水から8か月後まで重量は増加を続け、その後、一旦は減少したが、17か月後の2015年2月に最大重量約1300グラムとなった。その後、重量的には波打った変化を示しているが、これは付着生物の種類が変化しているためである。初期には付着生物はフジツボ類に限られているが、その上にフジツボ類や別の動植物が重なって付着するようになると、その海域における生態系が出現することになるものと思われる。

(3) 付着生物による水車効率への影響評価

付着生物の代表としてアカフジツボを考え、アカフジツボの付着が潮流発電装置の水車効率にどの程度影響を及ぼすかについて調査した。どの形式の水車で、どの程度の大きさを考えるかが問題であるが、今回は平成24年度に長崎県生月大橋で行った実証実験の装置の1/3の模型を用いることにした。その装置は直径1.8mのダリウス・サボニウス直角軸水車であるが、模型では直径0.6m、翼長0.6m、翼弦長0.118mとなっている。アカフジツボは殻直径最大3cmまで成長すると言われているので、今回の実験で用いたアカフジツボ模型は最大直径1cm、高さ0.5cmとなるように製作した。また、これと相似で直径0.8cmと0.6cmの模型も製作し、アカフジツボ模型の大きさの違いによる水車効率についても調査した。

図-14は、今回の実験で用いたアカフジツボ模型およびそれらをダリウス水車直線翼に接着した写真である。アカフジツボ模型の製作にあたっては3Dプリンターを使用した。従って、同一模型や相似模型の量産は非常に正確かつ簡単に行えた。アカフジツボ模型の接着位置については、翼弦と翼長方向に2次元一様乱数を発生させ決定した。この際、接着が難しい翼先端部は除外した。また、今回はアカフジツボ模型の個数を5, 10, 15, 20, 40, 60と変化させて実験を行ったが、それらの位置については最初に60個の接着場所を決めてから、順次追加して行った。表-2にアカフジツボ模型の個数とそれが翼表面積に占める割合(被覆率)を示す。今回の実験では、最大の被覆率が3.21%なのでどちらかと言えば付着生物量は多くはない範囲と思われる。

実験は、応用力学研究所の曳航体試験水槽にて行った。この回流水槽の観測部は(LxBxD = 4.4m x 1.5m x 1.2m)であり、その中央部に鉛直水車用動力試験装置を設置して実験した。図-15は実験装置および1枚翼のダリウス水車の取付け状況を示す。回流水槽の流速Uを1.0[m/s]に設定して、水車の回転数をモータで制御する。水車の回転速度

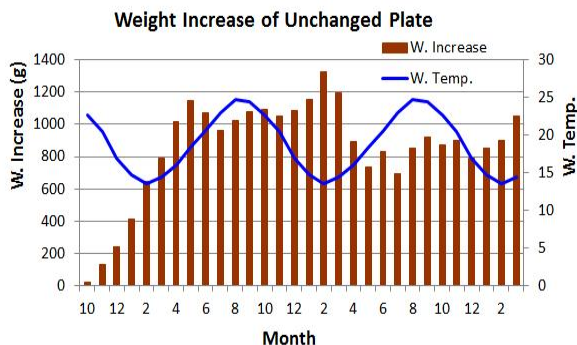


図-13 無塗装板(J)の付着量変化 (2013年10月～2016年3月)

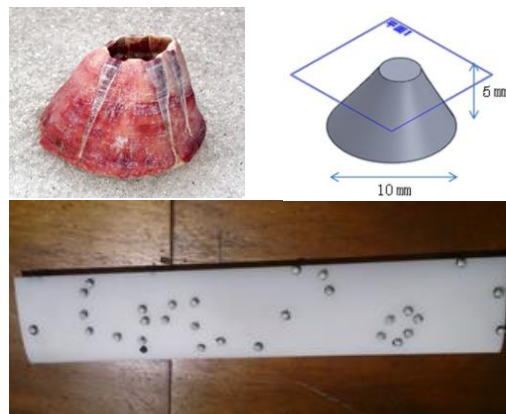


図-14 アカフジツボ模型とダリウス水車への付着状況



図-15 回流水槽中の1枚翼ダリウス水車

表-2 アカフジツボの個数とブレード被覆面積比 (%)

Number		5	10	15	20	40	60
Size	0.6 cm	0.10	0.19	0.29	0.38	0.77	1.15
	0.8	0.17	0.34	0.51	0.68	1.37	2.05
	1.0	0.27	0.53	0.80	1.07	2.14	3.21

(周速比)を変化させ、水車の回転トルクを計測する。

トルクを T 、水の密度を ρ 、水車の投影面積を A 、流速を U 、水車の回転半径を R 、回転円振動数 ω 、周速比を λ 、トルク計数を C_T 、水車効

率を C_p とすると以下の式で定義される。

$$C_p = C_T \lambda = \omega T / (1/2 \rho A U^3) \quad (1)$$

$$\lambda = \omega R / U \quad (2)$$

今回の実験ではタービンは1翼のみとし、そのトルク変動を計測する。さらに、1回転中の平均トルクからトルク係数および水車効率を求めた。

図-16は、翼だけの場合(F=0)とアカフジツボ模型の個数をF=20, 60とした場合の水車効率を、アカフジツボ模型の大きさを変えて比較した。これらを比較すると周速比(λ)が2以下の場合にはアカフジツボ模型が付いたものは総じてパワー係数が小さく、性能が悪くなることである。ところが、アカフジツボ模型0.6cmの場合には、周速比が2.5付近では性能が上がる結果となった。このことは直感的には首肯しがたいが、小さなアカフジツボ模型による乱流促進効果によって翼性能が上がったことも考えられる。

アカフジツボ模型のサイズが1cmの場合には、全ての個数の場合に対して、また個数が多いほど水車効率は低下している。水車効率の低下とアカフジツボ模型の個数との関係では、F=20からF=40の場合に大きな変化があり、アカフジツボによる翼表面被覆率が2%程度になると水車効率の低下が深刻となると言える。サイズが0.8cmの結果については、個数が少ない場合に水車効率が上がる周速比の範囲があり、0.6cmと1cmの中間的な性能となった。

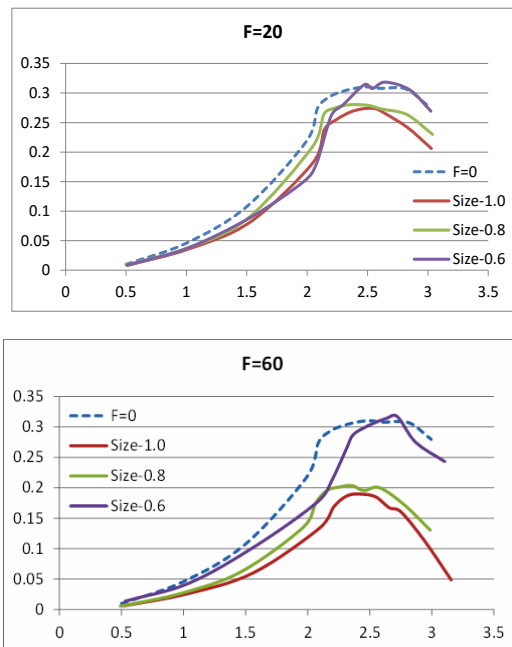


図-16 アカフジツボ個数(F=0, 20, 60)ごとのパワー係数の模型サイズによる違いの比較

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 5件)

1. 経塚雄策、伊田匡志、小林聖治、井川周三、勝山一朗：平戸瀬戸・田平港岸壁における生物汚損調査と付着生物による潮流発電性能への影響、第25回海洋工学シンポジウム、査読無 CD-ROM、pp.108-114、平成27年8月。
2. 経塚雄策、伊田匡志、小林聖治、井川周三、勝山一朗：強潮流海域における試験板を用いた生物汚損調査、日本船舶海洋工学学会講演会論文集、査読無、第19号、pp.147-150、平成26年11月。
3. 勝山一朗、小林聖治、井川周三、経塚雄策、伊田匡志：潮流発電タービンプレード模型の生物汚損と防汚塗料の効果、Sessile Organism、査読有、31(1)、1-5、(2014)。
4. 経塚雄策、伊田匡志、勝山一朗、小林聖治、井川周三：潮流発電装置に及ぼす生物汚損影響に関する研究、第24回海洋工学シンポジウム、査読無、CD-ROM、平成26年3月13、14日。
5. 経塚雄策、伊田匡志、青柳洋平、勝山一朗、小林聖治、井川周三：潮流発電装置に及ぼす生物汚損影響に関する基礎的研究、日本船舶海洋工学学会講演会論文集、査読無、第16号、平成25年5月、pp.433-436。

[学会発表] (計 4件)

1. 経塚雄策、川床翔平、小林聖治、勝山一朗：日本船舶海洋工学学会春季講演会、平成28年5月26-27日、福岡県中小企業振興センター(福岡市)
2. 経塚雄策、伊田匡志、小林聖治、井川周三、勝山一朗：第25回海洋工学シンポジウム、日本海洋工学学会、平成27年8月6,7日、日本大学理工学部(東京)
3. 経塚雄策、伊田匡志、小林聖治、井川周三、勝山一朗：日本船舶海洋工学学会秋季講演会、平成26年11月20-21日、長崎ブリックホール(長崎市)
4. 経塚雄策、伊田匡志、勝山一朗、小林聖治、井川周三：第24回海洋工学シンポジウム、日本海洋工学学会、平成26年3月13,14日、日本大学理工学部(東京)

[図書] (計 0件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0件)
- 取得状況 (計 0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

経塚 雄策 (Yusaku Kyozyuka)

九州大学・大学院総合理工学研究院・教授
研究者番号： 80177948