潮流・海流発電

Tidal and Ocean Current Power Generation

経塚 雄策*
Yusaku KYOZUKA

Key Words: Tidal Current Power, Ocean Current Power, Tidal Turbine, Tidal Power Test Site

1. はじめに

海流は、主に海面上を吹く風によって発生する流れであり、地球の自転の影響によって大洋の西側で流れが強化される。北太平洋では黒潮、北大西洋ではメキシコ湾流など大洋の西側で強い定常的な流れが発生する。黒潮の流速は速いところでは2 m/s以上に達し、その強い流れは幅100 km以上にも及び、輸送する水の量は毎秒5,000万トンにも達するとされている。この膨大なエネルギーの一部でも利用して発電できれば、安定したエネルギー源となることは想像に難くない。

一方、潮流エネルギーは太陽、地球、月などの天体運動に基づく潮汐力によって発生し、地球の自転に伴って日変化する非定常エネルギーである。1日2回の干満、15日周期の大潮、小潮で表現されるように変動する流れであり、その流れは周囲の地形に大きく依存する。例えば、最大流速が10ノット(5 m/s)と我が国で最も速い潮流で知られる鳴門海峡については、淡路島の東側と西側における潮位差自体は最大でも1 m程度にすぎないが、鳴門海峡をはさんで潮位が逆位相となることによって、速い流れが出現する。潮流の変動は規則正しく起こるので長期にわたって予測可能であり、信頼性の高いエネルギー源とみなすことができる。

潮流発電については、現在のところ欧米、カナダにおいて研究開発が進んでいるが、特に欧州においてはスコットランドのオークニー島にあるEMEC (European Marine Energy Centre)において複数の1 MWクラスの潮流発電装置の実証実験が行われ、着実な実績を上げてきたことが商業発電の到来を予感させていたが、2012年12月に欧州委員会(EC)が2つのUKの潮流発電プロジェクトに各20億円以上の投資を決定したニュースが発表されるに及んで、いよいよそれが現実化してきた。

本報では、潮流発電装置に関する基礎的な説明を行い、

実用化が間近となっている潮流発電装置を紹介する。また、潮流発電装置の設置法と係留法、および我が国の潮流発電の現状と今後の課題について述べる。

2. 流れの発電パワー

流体の運動エネルギーから得られる発電パワーの理論式は次式で与えられる。

$$P = \frac{\rho}{2} A U^3 \times \eta_T \quad (1)$$

ただし、 ρ : 海水密度、 A : タービン面積、 U : 流速、 η_T : タービン効率 (=0.3 ~ 0.4 程度)

この式は風力発電と同じであるが、海水の密度は空気の約800倍なので、流速は小さくても大きなパワーが得られることになる。流速は、黒潮についてはほぼ一定値とおけるが、潮流については時間とともに変化するので発電量も時間によって変化する。潮流の流速を単純化して

$$u(t) = U_{\max} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right) \quad (2)$$

ただし、 T : 周期 (通常は12時間25分)
で考えると、平均発電量は

$$\begin{aligned} \bar{P} &= \rho A \eta_T \frac{2}{T} \int_0^{T/2} u^3(t) dt = \frac{2\rho A \eta_T}{3\pi} U_{\max}^3 \\ &\approx 0.42 \times \frac{\rho A \eta_T}{2} U_{\max}^3 \end{aligned} \quad (3)$$

のように近似計算できる。

3. 海流発電装置

黒潮の規模は、流量が3,000 ~ 5,000万 m³/s、流速は1 ~ 5ノット(0.5 ~ 2.5 m/s)であり、平均流速を0.5 m/s、流路幅を250 km、水深1,000 mにおいて黒潮のパワーを計算

*九州大学大学院総合理工学研究院 (〒816-8580 福岡県春日市春日公園6-1)
Faculty of Engineering Sciences, Kyushu University (6-1 Kasugakoen, Kasuga, Fukuoka, 816-8580 Japan)

Fig.1 Distribution of 5 years average speed of Kuroshio by JCOPE2

すると、約 1,600 万 kw となる。もっと詳細には、独立行政法人海洋研究開発機構 (JAMSTEC) が 2001 年から運用している数値海洋モデル JCOPE2¹⁾ が利用できる。Fig.1 は、JCOPE2 による水面下 5 m における流速データから 5 年間の平均流速値を求めたものである。この図から、平均流速が 1 m/s よりも大きいのは、四国から紀伊半島にかけてと、沖縄と奄美大島西方の東シナ海であることが分かる。NEDO の報告書²⁾によれば、黒潮による発電ポテンシャルが大きいのは紀伊半島沖であって、沖合固定型かつ離岸距離 30 km 以内の海域の発電ポテンシャルは 9 Twh/年、沖合係留で離岸距離 100 km までの場合には 45 Twh/年である。日本の総電力量は約 1000 Twh/年であるので、単純計算ではあるが、黒潮発電によって約 1～4.5 % の電力が賄えることになる。

黒潮は、数年毎に大蛇行と呼ばれる流路の変動を引き起こすが、場所と期間を選べば、ほぼ定常流と考えても良いので安定した発電が行える。これが黒潮の最大の利点である。そのため、過去にもいくつかの発電装置が考案されたが、実海域での実験まで至った例はない。最近になって、実用化を目指した研究開発が進行中である。

Fig.2 は、平成 23 年度の NEDO プロジェクトで採択されたもので、IHI、東芝、東大などのグループによる海洋中層における浮遊式黒潮発電装置³⁾の CG である。この装置は、1 対のプロペラ式タービンによってトルクバランスをとり、タービンを繋ぐ水中翼の浮力および揚力と係留索のつり合いによって深度制御が可能となっていることである。また、Fig.3 は、沖縄科学技術大学院大学で実施中のシーホース・プロジェクト⁴⁾の CG であり、2012 年にタービン直径約 2 m の模型を用いた実海域実験が行われた。

Fig.2 Floating ocean current power system by IHI, Toshiba, U. of Tokyo (CG)

Fig.3 Seahorse project by Okinawa Inst. Sci. & Tech. (CG)

4. 潮流発電の現状

4.1 水車の形式

潮流発電装置は、原理としては風車と同じであるが、海中に設置されるため現時点でも多くの形式、タイプの水車が提案されている段階である。水車の形式としては、揚力型、抗力型、混合型などがある。揚力型は、プロペラの断面が翼形をしていてその揚力を利用するものであり、一般に高速回転し、エネルギー変換効率が高いものである。抵抗型は、流れが物体に当たるときの抵抗を利用するものであり、古くから使われてきた水車はこのタイプである。水車が止まっているときに最もトルクが大きく、確実に水車を回転させることができるが、反面、効率は低い。混合型はこれらの両者を組み合わせたものである。

水車のタイプとしては水平軸、鉛直軸、振動翼形などがあるが、潮流は基本的に上潮、下潮によって流れの方向を 180° 変えるので、それを考慮しなければならない。水平軸水車はプロペラ型のものであるが、一般に流れ方向に合わせて首振り角（ヨー角）を制御しなければならない。ただし、

潮流の方向は上潮と下潮でほぼ一定なので、ヨー制御しないで2枚プロペラを同軸にして用いるものもある。

鉛直軸水車の大きな特徴は、回転軸と流れが直交することであり、潮流の方向は無関係で、水平軸のようにヨー制御は必要ない。**Fig.4**は、ORPC社⁵⁾の鉛直軸水車であるが、ローターはらせん翼を用いており、横置きとなっている。

振動翼形は、流れの中で翼の迎角を制御することによって、上下あるいは左右に振動させるものである。**Stingray**と呼ばれる直線翼を用いる装置は2003年に実海域において150 kWの発電に成功し、実用化に有力な装置とみなされていたが、その後、開発中止になった。振動翼形の特徴としては、水深が小さなところにも設置可能なことであり、**Pulse Tidal**⁹⁾は浅い河口において開発を継続しているほか、**Fig.5**は、魚のひれにヒントを得た装置で**bioSTREAM**⁶⁾と名付けられた装置である。ひれの往復動を油圧システムを用いて発電機を回す。ひれのスパン長17 mの装置で流速2.7 m/sにおいて出力250 kWという試算がある。

潮流発電装置の有力なものは現在、実海域での実証実験中であり、発電効率とともに、長期の安定性、メンテナンスの容易さなどがテストされているが、潮流は海域によって水深、流速、流向、乱れなども違うので、最適な水車も

海域ごとに異なることが予想される。

4.2 設置法・係留法による分類

潮流発電装置の設置位置は、海底上、中層、海面下などに分けられる。海底設置型あるいは着床式の例として、**Alstrom**⁷⁾がEMECにおいて実験を行っている1 MW機のCGを**Fig.6**に示す。この装置は、架台と潮流発電本体が分離可能となっているが、架台は3つの脚部に重量バラストを搭載して海底に固定するものである。EMECの潮流は大潮時に4 m/s程度であり、海底地盤は岩盤あるいは礫であろうと思われるので現実的な設置法と思われる。着床式装置の設置法については、水深と海底地盤の種類によって変わるが、海底が岩盤の場合にはアンカーボルトの使用なども有効であろう。その他、**Fig.7**はTidal Energy Ltdの**Delta Stream**⁸⁾という装置であるが、3基の水平軸潮流発電装置を三角形の架台によって一体化して横安定性を担保する装置を提案している。ローター径は15 m、発電出力は400 kW/基で合計1.2 MWであるが、メンテナンスの方法などにつ

Fig.4 Vertical axis turbine by ORPC (CG)

Fig.6 Bottom mount turbine by Alstrom Ltd. (CG)

Fig.5 “bioSTREAM” oscillating wing system (CG)

Fig.7 Delta Stream by Tidal Energy Ltd.(CG)

Fig.8 “Pulse Tidal” oscillating wing system in shallow water (CG)

Fig.9 Floating tidal power system (illustration)

いては工夫が必要かもしれない。

Fig.8 は、Pulse Tidal⁹⁾ という着床式の振動翼装置であるが、重力基礎の上に上潮用、下潮用の一対の装置を取り付けたものである。上潮用の装置は、下潮時には稼働しない。設置およびメンテナンスには、重力基盤ごと一体化して運搬するようになっている。

次に、海中に鉛直パイルあるいはジャケットを組んで発電装置を設置するためにはかなり大掛かりな海洋工事が必要となると思われる。後述の MCT の SeaGen (Fig.13) の場合は、水深 30 m の海域において直径約 3 m、高さ約 41 m の円柱状の支柱を立てたが、流速が大きな海域においてどのような工事を行ったのか、大変興味のあるところである。潮流発電の実用化においては、装置のメンテナンスをどう

Fig.10 “BlueWater” floating system (CG)

Fig.11 “TidalStream” floating system (CG)

するかは極めて重要であるが、MCT のように稼働とメンテが同じ場所で出来ることはコスト的にも有利であると思われる。ただし、この方式は設置海域の水深が大きくなるとコスト的に難しくなることは容易に想像できる。

Fig.9 は、海の中層で浮遊させる装置のイラストであるが、アンカー、チェーンあるいはロープで係留するものである。“TidEL” という装置はこの方式で実海域実験まで行われたが、数年前に中止された。その理由は明確ではないが、メンテナンスや修理時の回収、再設置などの方法かもしれない。

Fig.10 は、BlueWater¹⁰⁾ の浮遊式装置の例であるが、浮体の下に 1 対の水平軸水車がみえる。前後にチェーンあるいはロープによって係留しているので、上潮、下潮による流向変化はタービンのピッチコントロールによっているものと思われる。この装置は、現在、EMEC において実証実験中であるが、BlueWater は船体と係留システムだけを担当し、水車と発電システムは別会社が行うという分業制をとっている。

Fig.11 は、TidalStream¹¹⁾ の Triton 6 という浮体式で 6 ロータ型の装置 (6 MW) の CG である。係留は浮体から延ばし

た斜め部材による1点係留で、流向変化についてはパッシブ・ヨー制御である。また、メンテナンスについては、図中の左側の絵のようにタービン部を水面上に出して行う計画であるが、実証実験についてはこれからである。

4.3 実用化間近の潮流発電装置

Hammerfest Strom¹²⁾ は2003年から2009年までにノルウェーの最北端近くの海峡において、**Fig.12**のような海底設置形の3翼プロペラ式の300 kWの潮流発電装置で実海域実験を行ってきた。HS300のプロペラ直径は20 mで、潮流の向きに応じてプロペラピッチが可変となっている。最大流速2.5 m/sの潮流中での平均出力は80 kWであり、2003年9月に世界で初めて、地元の電力網に接続された。この後継機で、実用直前機として直径30 m、出力1 MWのHS1000がある。HS1000は2011年12月にEMECに設置され、実海域試験を行っている。なお、Hammerfest Stromは2012年4月にANDRITZ HYDRO Hammerfestとなったが、2012年末にScottish Power Renewableが欧州委員会から受注したIslay海峡における20.7 M€(約23億円)の10 MWの潮流発電プロジェクトに採用された。今後、2013年から2015年にかけてIslay海峡において10基のHS1000を設置して世界初となる潮流発電ファームを構築する予定である。

Fig.13 は、イギリスのMarine Current Turbines (MCT)¹³⁾ と呼ばれる潮流発電装置で、海中に支柱を立てて、稼動中は水中に、メンテナンス時には空中に出るような昇降機能を備えたプロペラ式潮流発電装置である。1999年から2006年までのSeaflow Projectでは直径11 mの2翼ローターを用いて、300 KWの実証実験に成功したが、Phase-2のSeaGen Projectでは、ツインローター方式で2008年5月に1.2 MW(600 kW × 2)の発電に成功した。設置場所は、北アイルランドのStrangford湾の湾口で、大潮時の平均最大流速は3.7 m/sであった。水深30 mほどの海域に直径約3 m、高さ約41 mの支柱を立て、上下可動の水平部材上に2基の発電装置を搭載している。ローター直径は16 m、ピッチコントロールとなっている。なお、MCTも2012年4月からSiemens Ocean & Hydro Businessの一部となっている。2012年末に欧州委員会からKyle Rhea Tidal Turbine Array Projectとして採択され、18.4 M€(約21億円)を得た。計画では、2015年から商用発電を行う予定である。

4.4 我が国の潮流発電装置

我が国では、1983年から1988年まで3期にわたって日本大学の木方靖二教授のグループが来島海峡において潮流発電実験を行い、世界で初めて潮流発電に成功した。**Fig.14** は、1987年からの第3期で用いられた海底設置型のダリウス形水車¹⁴⁾であり、3枚の翼は起動トルク対策のために軽量化され、カーボンFRPで製作された。水車の下に増速比1:9の増速機があり、その下に3相同期発電機(AC200 V, 5 kW)が置かれた。第3期実験は、約2年間にわたって

Fig.12 HS1000 by ANDRITZ HYDRO Hammerfest (CG)

Fig.13 SeaGen Project device by MCT (CG)

Fig.14 Darrieus turbine system by Nihon Univ.

Fig.15 Darrieus turbine system with the appendage by FELCO and Kyushu Univ.

Fig.16 "Tuna Turbine" by NOVA Energy

行われ、発電効率は最大で 0.55 という非常に高い結果を得た。また、発電量の経時変化や海洋生物による水車への影響などの調査も行われた。この先駆的な研究は、その後の社会の経済環境の変化により継続できなかったが、この実海域での成功事実は重く、その後の日本大学および海上保安庁¹⁵⁾、新日鉄¹⁶⁾による潮流発電の研究でもダリウス形水車が採用されている。

Fig.15 は、九州大学と西日本流体技研が開発した増速器付ダリウス・サボニウス水車であり、ダリウス水車は直径 1.7 m、スパン 3 m、4 枚翼であり、サボニウス水車は直径 0.85 m、スパン 1 m である。また、ダリウス水車の両側に円弧状の増速器を付けることによって流速を上げる工夫を行った。この水車は、長崎県平戸市の生月大橋の橋脚の横に 2012 年 8 月から 12 月まで設置され、約 3 か月の発電実験を行った。最大発電量は約 800 W であったが、発電効率としては期待値を下回る結果となった。

Fig.16 は、(株)ノヴァエネルギーが開発中のマグロタービ

Fig.17 Twin vertical axis turbine by Kitakyushu City and Kyushu Tech. Inst.

ン¹⁷⁾の写真である。同社のホームページによれば、全長 6 m、直径 3 m で出力は 10 kW である。2010 年に淡路島の近くで実海域実験を行っていたが、12 月にタービン 1 機の流出事故を起こした。ただし、現在も開発を継続中であると思われる。

Fig.17 は、北九州市と九州工業大学が関門海峡において実施した潮流発電装置¹⁸⁾の陸上写真である。直径およびスパン長が 1 m のダリウス水車を 2 段に重ね、それと逆方向に回転する 1 対のダリウス水車を用いて、1 台の相反転式発電機を回すものである。2012 年 3 月から 1 年間の実験を行った。

以上が、2011 年以前から行われていた主な研究開発であるが、2011 年 3 月に発生した東日本大震災と東京電力福島第 1 原発事故によって状況は激変してしまったと言っても過言ではない。

「海洋エネルギー」が、2011 年度から NEDO の技術開発対象となったため、海流・潮流発電に関する支援が始まった。平成 23 年度については、

- A) 東大、IHI、東芝、他による「海流発電システム」
 - B) 川崎重工業、沖縄電力による「潮流・海流発電システム」
- 平成 24 年度の追加分については
- C) 三井海洋開発の「海洋エネルギー発電システム実証研究」
 - D) 佐世保重工、東大、九大の「油圧式潮流発電」
 - E) ナカシマプロペラ、五洋建設、広島工大の「潮流発電」
- の 5 つのプロジェクトが採択された。

A) は Fig.2 で述べたものであり、B) は Fig.18 の川崎重工による潮流発電装置の開発である。直径 18 m の 3 翼ブ

Fig.18 Tidal power generators by Kawasaki Heavy Industry (CG)

Fig.19 Skwid system by MODEC(CG)

ロペラ型でピッチとヨー・コントロールで定格出力 1 MW となっている。採択時の計画では、沖縄電力(株)などと沖縄海域において潮流発電の実証実験を予定していたが、同海域には適地が見つからず別海域での実施を検討中と聞く。なお、この装置は 2013 年から EMEC で実証試験を予定していたが、年内に実施されたというニュースはない。この分野ではベンチャー企業が多い中で、川崎重工のような大手企業の参入は国際的にも注目されている。

C) は、Fig.19 のような洋上風力と潮流のハイブリッド発電装置であるが、NEDO からは潮流に対して支援を受けた。ダリウス風車とサボニウス水車が同軸で互いに反対方向に回転する機構になっており、その間に定格出力 500 kW の発電機が入っている。一般に、ダリウス風車は起動トルクが小さいという欠点があるが、それをサボニウス水車によって解消できることが大きな特徴である。2013 年 10 月

油圧連結潮流発電システムコンセプト

Fig.20 Oil pressure tidal power system by SSK, U. of Tokyo, Kyushu Univ. (CG)

Fig.21 Tidal power system using bridge pier by Nakashima Propeller, Penta-Ocean Construction, Hiroshima Inst. Tech. (CG)

にフルスケールの実証機が佐賀県唐津市沖に設置される予定であったが、瀬戸内海の造船所からの海上輸送中に水車を落下する事故により約半年間の延期を余儀なくされた。

D) は、Fig.20 のように重力式パイルによって 1 対の水平軸潮流発電装置を支えるものである。水車は、前後方向に 1 対のペルシオン型ロータを持ち、ヨー角は固定となっている。水車の動力を油圧ポンプによって、水面上のデッキに置かれた発電システムを駆動する方式である。設置海域としては長崎県五島市となる予定である。

E) は、Fig.21 に見られるように既存の橋脚を利用して潮流発電を低コストで行うプロジェクトである。水車は水平

Fig.22 Tidal power site of EMEC in Orkney Islands

軸を用いるようであるが詳細については不明である。設置海域は、瀬戸内海に多数存在する橋脚を想定しており、適地は多いとのことである。

4.5 実証実験フィールド

潮流発電の実用化のためには実海域で実際に発電して実績を示すことが必要である。そのためには実海域の実験場が必要であるが、それを個別のプロジェクトごとに見つけるのはいろいろな面で非効率であることから、2003年にスコットランドの北方のOrkney諸島にEuropean Marine Energy Centre Ltd¹⁹⁾が設立され、波浪発電と潮流発電の研究開発が始まった。潮流実験フィールドはEday島にあり、大潮時の平均最大流速は3.7 m/sである。EMECが提供するの設置場所（バース）、電源ケーブル、情報ケーブル、陸上の計測小屋、各種の海洋情報、設置工事の手配などであるが、装置の設置を申請しても装置の安全面の審査などがあり、実際に実験をするまでは敷居が高いようである。現在、Fig.22にあるように8つのバースで有力な装置が実証実験を行っているが、川崎重工は既にそのひとつを確保しており、近日中に実験を行う予定である。

我が国でも、EMECの様な実証実験フィールドを保有すべしという声が数年前から高まっていたが、それを受ける形で平成25年3月に内閣官房総合海洋政策本部から「海洋再生可能エネルギー実証フィールドの要件の公表及び公募について」が発表された。それによれば、潮流を含む5種類の海洋エネルギーについて、実証実験フィールドを整備することとなり、そこが満たすべき環境条件やその他の条件が明示された。第1次の募集締め切りが平成26年2月末となっており、現在、複数の県で調査が進行中である。特に、我が国の海域においては漁業権が最優先となっており、海洋エネルギーを実用化するためには漁業者との連携は欠かせない。早ければ、平成26年度中にも実証実験フィールドが整備・開放されて、潮流発電装置の研究開発が進むこ

とを期待したい。

5. 実用化に向けて今後の課題

今後の潮流発電の開発と実用化に向けてアメリカのグループが発表したロードマップ²⁰⁾では、今後必要となる8つのキーファクターを以下のようにまとめている。

- ・発電装置の研究開発
- ・安定的な発展のための政策的体制
- ・適地選定と許認可のガイドライン
- ・環境影響評価研究
- ・関連産業と連携したマーケット開拓
- ・経済財政支援策
- ・送電系統の統合化
- ・教育と労働者トレーニング

つまり、潮流発電が本当に実用化するためには多岐の課題を克服する必要があるということである。その上で、彼らは2030年までを3つのPhaseに分けて

- ・Phase-I デモ実験から試験プロジェクト

100 kW ～ 5 MW

- ・Phase-II 試験プロジェクトから小規模アレイ

5 MW ～ 50 MW

- ・Phase-III 小規模アレイから商業規模スケール

50 MW ～ 100 MW

という流れで、最終的に15 GWの設備容量を完成させるというロードマップを示している。

このような課題と発展の道筋については、我が国にもそのまま当てはまると思われる。我が国における当面の課題としては、前述の実証実験フィールドの整備を行って多くの技術的な問題点を明確にし、それを克服することであるが、それに加えて、海域の利用については漁民が最も大きな権利を有していることから「漁業」との連携、協調が大前提となっている。さらに、発電コストに関しては、現在のところ水中送電ケーブルが高価であるため、他の電力に比べてコストが割高となることがはっきりしている。現在のところ、潮流発電については、FIT（固定価格買取制度）の対象とはなっていないが、買取価格についてはこのような状況を考慮して設定されることを期待している。

6. 結論

我が国の潮流発電の研究開発は、欧米・韓国から約10年は遅れていると言わざるを得ないが、2013年4月に発表された「海洋基本計画」においては主要な取り組みとして「海洋再生可能エネルギーの利用促進」が明記された。つまり、今後は国策として推進することを決定したもので、潮流発電についても強い追い風となろう。ただし、実用化に向けては多くの技術的課題をクリアする必要がある。そのために「実証実験フィールド」が必要であり、また、現在のところ海洋情報の量が圧倒的に不足しているため、今後、海

洋情報のさらなる拡充が求められる。数値モデルなども駆使して、高精度の海流・潮流マップの整備が求められる。

さらには、我が国固有の海洋環境に適する発電システムとメンテナンス法の確立が将来の永続的な運用には不可欠である。例えば、付着生物による発電装置への汚損は海域の環境が要因であるが、コスト評価や環境影響評価とも関係して事前調査が重要となろう。

引用文献

- 1) <http://www.jamstec.go.jp/frcgc/jcope/htdocs/home.html>
- 2) NEDO: 海洋エネルギーポテンシャルの把握に係る業務、平成22年度報告書、平成23年3月
- 3) <http://www.ihl.co.jp/ihl/press/2011/2011-11-28/index.html>
- 4) <http://www.oist.jp/ja/news-center/photos/latest?page=2>
- 5) ORPC 社 : <http://www.orpc.co/>
- 6) G. Kloos, C.A. Gonzalez and T.D. Finnigan: The bioSTREAMTM tidal current energy converter, Proc. of the 8th EWTEC, Uppsala, Sweden, (2009) 426-433
- 7) <http://www.alstom.com/power/renewables/ocean-energy/tidal-energy/>
- 8) Delta Stream: <http://www.tidalenergyltd.com/>
- 9) Pulse Tidal: <http://pulsetidal.co.uk/>
- 10) BlueWater: <http://www.bluewater.com/new-energy/>
- 11) TidalStream: <http://www.tidalstream.co.uk/>
- 12) Hammerfest : <http://www.hammerfeststrom.com/>
- 13) MCT: <http://www.marineturbines.com/>
- 14) 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、**112**-D-6 (1992.6) 530-538.
- 15) <http://www.kaiho.mlit.go.jp/syokai/soshiki/soumu/seika/h12/h12all.pdf> “海上保安庁 潮流発電”
- 16) 鳥井正志、大久保寛、山根信、相良啓太、関和市：直線翼鉛直軸型潮流発電システムの応用、太陽 / 風力エネルギー講演論文集、(2004) 73-76.
- 17) <http://www.nova-ene.co.jp/>
- 18) <http://www.city.kitakyushu.lg.jp/kankyoku/00200009.html>
- 19) EMEC: <http://www.emec.org.uk/>
- 20) OCEAN RENEWABLE ENERGY COALITION: U.S. Marine and Hydrokinetic Renewable Energy Roadmap, Executive Summary, (2011.11) <http://www.oceanrenewable.com/>