

【再生可能エネルギー特集】**海洋エネルギー利用**

欧米における潮力・波力発電技術の最新状況

本テーマについては、約1年前の977号(2006年4月26日発行)¹で報告しているが、その後の1年間の最新情報を中心に報告する。

目 次

1. 概 要
2. 潮力発電
3. 波力発電
4. 潮力および波力発電の最近の開発状況
 - (1) 欧州
 - (2) 米国およびカナダ

1. 概 要

欧米においては、波力および潮力エネルギー技術への関心は引き続き増加している。特に**欧州**における波力・潮力エネルギーの実証プロジェクトでは、地域の送配電網への接続が行われている。現在、海洋エネルギー利用分野では、**スコットランド**(イギリスの北部地域)と**ポルトガル**が中心的な役割を担っている。スコットランドは、この新興産業の育成をリードする意欲を持っている。

米国での資源調査結果によると、米国の海岸線は波力・潮力エネルギー開発の大きなポテンシャルを持っていることが示されている。しかし、米国では商業化に向けての取組は遅れている状況にあり、送配電網に接続するような海洋エネルギープロジェクトは未だ実施されていない。その理由は、認可プロセスに時間と費用がかかることと、米国政府による研究開発資金が少ないことである。

現状の技術の延長線上で、大規模な設備が商業的に成立しうるかについては疑問が残されているものの、潮力・波力資源は2010年以降の重要なエネルギー源になる可能性がある。また海洋発電設備は、設置が進んでいる洋上風力発電設備ほど目障りではないという長所を持っている。

海洋エネルギー利用技術の開発者達は、海洋エネルギーシステムのパフォーマンスと信頼性と有効性の改善に取り組んでいる。潮力・波力エネルギー資源は、断続的だが予測可能であり、かなりの高エネルギー密度である。潮力エネルギー利用技術には風力発電の技術を利用できる面が多い。例えば、風車の羽根やタービン設計においてパフォーマンスや低コスト化を改善させた複合材料、沖合設置技術などである。水は空気の830

¹ <http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/977/977-04.pdf>

倍も高密度であるため、海流タービンブレードの水理学的な損失を最小化するために、高強度で丈夫な材料は特に重要である。設置やメンテナンスのコストの低減のためには、耐食性の軽量材料が必要である。海洋エネルギー利用技術に関して、引き続き取り組むべき課題としては、海洋エネルギー利用のトータルコスト（含む発電機、係留、設置、運転時のメンテナンスのコスト）の低減、環境への影響の評価、過酷な海洋環境下における長期間(25年以上)の設備寿命の実証などがある。

国際エネルギー機関(IEA)は海洋エネルギーシステムに関するウェブサイトを開設²しており、日本や欧米諸国を含む多くの国の海洋エネルギープログラムのレビューを掲載している。

2. 潮力発電

潮力発電は、海洋の潮汐（含む海流）のエネルギーを利用して発電を行うものであり、原理は水力発電と同様である。潮力発電プロジェクトでは、沖合（オフショア）の水平軸タービンや垂直軸タービンを用いて、（水面下のウインドファームのように）潮力発電を行う。ほとんどの潮力発電設備は 4–5 ノットの流速において最もよく稼働する。もう一つの潮力発電技術は潮の満干差のエネルギー - 潮の干満によって起こされる海面の垂直方向の上下動 - に基づいている。潮流バラージ（堰）またはダム - 例えば河川の河口を横切る堰 - に設置されたタービンを海水が出入りすることで、発電機を動かす。潮汐バラージプロジェクトはフランスなどにおいて商業運転が行われているが、高い資本費と環境への影響の問題があるため、今後さらに商用開発が進められる可能性は少ないようである。

欧州海洋エネルギー協会³ は、海流資源、費用、技術に関する基本情報を web 上で提供している。例えば、Rotech 式潮流タービン (RTT) は 2 方向性の水平軸タービンが対称のベンチュリーダクトに収納されている。エネルギーを捉えて発電するために、ベンチュリーが海流を RTT に導く。パワージェン(Powergen)を運営する企業であるルナ・エナジー・アンド・イーオン・ユーカー (Lunar Energy and E.ON UK) 社は、最近 RTT 設備を用い、英国西海岸の沖合で 8MW までの潮流発電プロジェクトを行うことを発表した。

前回 (977 号) でも報告した**ストラッチサイド大学**は、エネルギーシステム研究ユニット(ESRU)サイトを維持しており、多くの海流技術についての基礎情報を提供している⁴。例えば、開発中の海流エネルギー捕捉に関する主な概念の解説を掲載している⁵。

² www.iea-oceans.org/presentations/index.asp?id=2

³ The European Ocean Energy Association (www.eu-oea.com/)

⁴ www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/03-04/marine/index2.htm

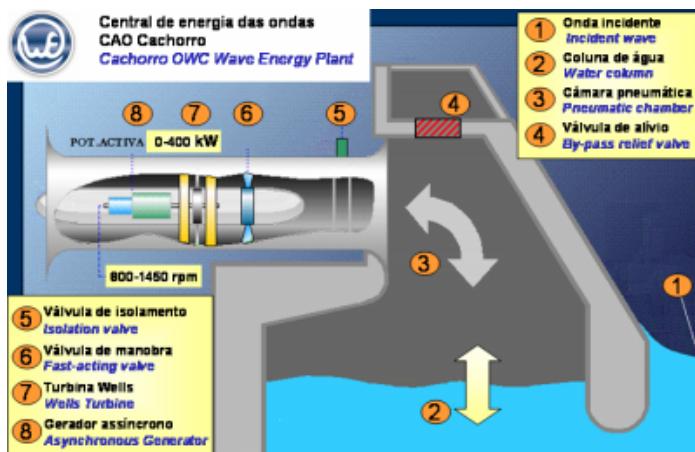
⁵ www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/03-04/marine/tech_concepts.htm

3. 波力発電

波力エネルギーの変換には 3 つの基本的なシステムが存在する。波を貯留槽（リザーバー）に集中させる**チャンネルシステム**、水圧ポンプを作動させる**フロートシステム**、コンテナ中の空気を圧縮するために波を用いる**周期振動水柱(OWC⁶)システム**である。これらのシステムから産み出される機械的な力で、直接発電機を作動させたり、作動流体や水や空気へエネルギーを変換した後にタービンや発電機を作動させたりする。

一方、欧州海洋エネルギー協会では、波力エネルギー利用システムを、設備の設置場所の観点から。以下の 3 グループに分類している。

「**海岸装置 (Shoreline devices)**」は、容易に設置やメンテナンスを行うために海岸に固定または埋め込まれている。海岸装置は、深い水中での係留や長い水中電線が不要である。不利な点は、海岸装置ではパワフルな波をあまり受けにくいことである。海岸装置の最も有利な型式は OWC である。例えば大西洋上のピコ島のプラント⁷(**図 1 参照**)は、400kW の海岸 OWC 装置で、ウェルズ・タービンを備えており、1995 年～1999 年に建設された。2003 年には、ポルトガルの波力エネルギーセンター(Wave Energy Centre)がプラントを改造し、2005 年 9 月から海洋試験を行っている。波力エネルギー防波堤プロジェクト⁸が、ポルトガルのポルト県のドーロ川河口において実施中である。その他の防波堤に組み込まれた波力エネルギー利用システムとしては、ノルウェーのスタベンガーでウェイブエネジー (WAVEenergy AS) 社⁹によって行われている変換機 SSG (Seawave Slot-Cone Generator) がある。



(出典 www.pico-owc.net/)

図 1
 ピコ島のプラントの概念図

⁶ oscillating water-column (OWC) systems

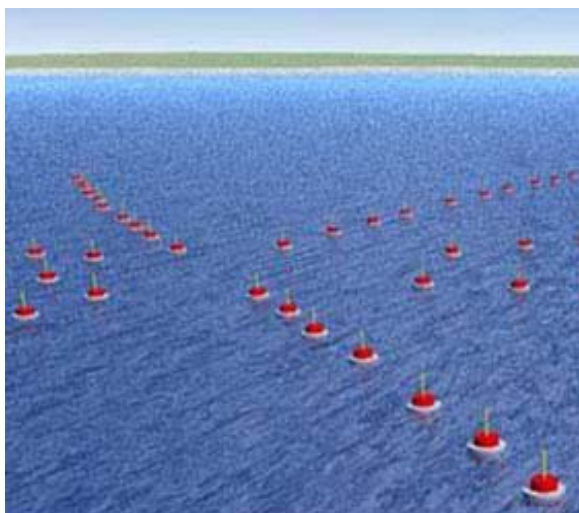
⁷ www.pico-owc.net/. ピコ島は大西洋の中央部に位置するポルトガル領アゾレス諸島の島の一つ。

⁸ wave-energy-breakwater project

⁹ www.waveenergy.no/

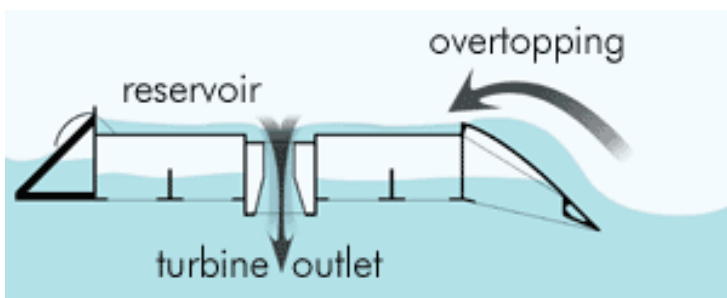
「**近海岸装置** (Near-shore devices)」は海岸から 500m 以内の距離の、20 ~ 25m 程度の水深の地点に設置される。海岸装置とほとんど同様な長所を持っており、より高パワーの波を受ける。いくつかの点集中式吸収システム (ポイント・アブソーバー・システム) は近海岸装置である。

「**沖合装置** (Offshore devices)」は、水深 25m 以上のより深い海域で、よりパワフルな波を利用できる。最近の沖合装置では、高出力で小規模なモジュール式の装置を列上に多数配列した設計が行われる。アクアエナジー・グループの**アクアブイシステム AquaBuOY**¹⁰ は、沖合波力エネルギー装置の一例である (図 2 参照)。アクアブイシステムは、水で満たされた沈水性のチューブの動きに反動する、浮遊式うねり点吸収システム¹¹である。その他の沖合式装置の例としては、越波 (オーバートッピング) の原理に基づく**ウェイブドラゴン**¹²がある (図 3 参照)。



(<http://www.finavera.com/en/wavetech/advantages> より)

図 2
アクアブイシステムの設置イメージ図



(wavedragon.net/より)

図 3
ウェイブドラゴンの概念図

注) 越波(吸収) 貯留(貯留池) 発電(タービン)

¹⁰ www.finavera.com/en/wavetech。同 Web サイトにはアクアブイの作動原理を占める動画 (アニメーション) が掲載されている。

¹¹ heaving-point-absorber system。

¹² wavedragon.net/

4. 潮力および波力発電の最近の開発状況

(1) 欧州

欧州で、海洋エネルギー利用技術の開発を主として支えているものは積極的な政府の政策 - 地球温暖化対策として再生可能エネルギーを指向し、経済成長の機会を提供するクリーン技術のリーダーシップの達成を願望する政府の政策 である。特にイギリスにおいて潮力・波力発電技術の開発が活発である。

スコットランドは、海洋発電装置開発の促進と加速を行うため、2004年に**欧州海洋エネルギーセンター(EMEC)**をオークニー諸島に設立した。オークニー諸島はスコットランド本土北東端から数マイル沖の諸島である。**オーシャン・パワー・デリバリー社(OPD社、エジンバラ、スコットランド)**は、EMECの潮流・波力技術の試験センターで、同社の**ペラミス(Pelamis)技術(図4参照)**の試験を行った。同社はポルトガルでの商業用の設置を目指している。2007年に欧州の実海洋条件下において、大規模な試作機が設置・試験される予定である。さらに商用の波力エネルギープロジェクトが建設中である。



(港での荷積み風景。装置の大きさが把握できる) (ペラミスを多数設置した波力ファームのイメージ図)

(www.oceanpd.com より)

図4 ペラミス(Pelamis)装置

・OPD社は2006年3月に波力エネルギー装置の商用販売を初めて行った。3基のペラミス波力装置(各750kW)を、エネシス(Enersis)社が主導するポルトガルのコンソーシアムに対して出荷した。2007年春に北ポルトガルの5km沖にペラミス装置が設置されることをOPD社は期待している。第一段階では24MW分が設置され、世界で最初の商用波力ファームになる。他のプロジェクトでは、OPD社とスコティッシュパワー社が最近スコットランド沖合のオークニー諸島での波力ファーム計画を発表した。予算1,000万ポンドのプラントが2007年に建設され、2008年に3MW規模の発電が始まる計画である。その他に提案されているプロジェクトでは、ウエストウェー

ブ・ウィズ・イーオン・ユーカー (WestWave with E.ON UK) 社とオーシャン・プロスペクト社 - 後者はウインドプロスペクトグループの子会社 - のイングランドのコーンウェルの沖合の 5MW の波力サイトがある。ここでは 7 基のペラミス装置が使用される。エネルギー市場での主要なプレイヤーである GE コマーシャルファイナンス社は OPD 社の商用海洋エネルギーベンチャーに投資を続けている。

・2007 年 2 月に、**スコットランド政府**は 9 つの波力・潮力の開発者に対して 1,300 万ポンド (2,500 万ドル) 以上の海洋エネルギー(基金)助成金を与えると発表した。ほとんどのプロジェクトでは、2007 年に EMEC の波力・潮力試験設備に一つの装置または小規模の配列 (複数基) を設置する。採択者は以下の通り。

- **CRE エネルギー社** (スコットランド電力社の 100%子会社)。4 基の OPD 社のペラミス装置 (出力 3MW の単列波力アレイ) を設置するために 410 万ポンドを受領。
- **AWS オーシャン・エネルギー社** (スコットランド)。欧州波力エネルギーセンターにおける、500kW の AWS (Archimedes Wave Swing)波力エネルギー変換機の設計・設置・実証のために 210 万ポンドを受領。
- **スコットリニューアブル社** (スコットランド)。水面下のナセル内の発電機を動かす二重水平軸ローターを用いた SRTT 浮遊潮流エネルギー変換機を使用するために 180 万ポンドを受領。
- **オープン・ハイドロ・グループ社** (アイルランド)。EMEC の潮流サイトの海底に設置される 250kW のオープンセンター式のタービンを使用するために 120 万ポンドを受領。
- **オーシャン・パワー・テクノロジー社** (OPT 社、米国ニュージャージー)。EMEC の波力テストサイトで**パワーブイ (PowerBuoy) 装置 (図 5 参照)** を設置するために 60 万ポンドを受領。
- **アクアマリン・パワー社** (スコットランド)。沿岸の波力資源を利用する装置を設置するために 30 万ポンドを受領。沿岸環境は沖合よりも利点がある。なぜなら、波は十分なパワーを保つ一方、水深が浅いため設備に損害を与えるほどの大規模な波は限られている。沿岸立地は、波力エネルギー装置の資本費および運転費を減少させる。
- **クリーンテックコム社**。同社はウッドシェッド・テクノロジー Pty 社 (豪州) の一部門。オークニー諸島のラムホルン島の防波堤 (ランドバリア) を通る 2 本の直径 1m のサイフォン管の設置に 30 万ポンドを受領。



(www.oceanpowertechnologies.com より)

図 5 パワーブイ (OPT 社)

- **ウエーブジェン社** (スコットランド)。アウター・ヘブリディーズ諸島の波力エネルギープロジェクトに用いる先進的ウェル式タービンシステムの開発と試験のため 15 万ドルを受領。これはエヌパワー・リニューアブル (Npower Renewables) 社 (イングランド) と共同で開発中のものである。プロジェクトでは、アイラ島のリンペット・サイトのウエーブジェン社の既存の OWC を使用予定。
- **タイダル・ジェネレーション社** (ブリストル、イングランド)。潮流発電機が設置される予定の海域の海底のコアサンプルを採取するために 10 万ポンドを受領。
- **EMEC** (前出)。3 つの新しい波力・潮力設備を設置する試験サイトの改修に使用するため 250 万ドルを受領。

- ・潮力エネルギーに関しては、**マリン・カレント・タービン社** (MCT 社：イングランド) のみが、海底固定型試験を実施した (他の研究実施者達は、はしけ式や曳航装置で実施)。MCT 社は 2003 年にイングランドのデボン沖に、世界で最初の潮力発電装置 **SeaFlow 300-kW 装置** を設置した。同社は初期の研究開発を終えようとしており、現在 10MW、12 基の潮力エネルギーファーム (the Lynmouth SeaGen Array) の実現可能性の調査を行っている。このプロジェクトでは研究開発を続けつつ、売電により一部資金回収を行う予定である。同社はさらに、新しい市場における技術の確立を促進するために、北米、東南アジア、オーストラリア、ニュージーランドなどの世界各地でこの設備を設置することを計画している。MCT 社は 2010 年までに約 300MW の設置を目指している。

- ・2006 年、**イングランド南西地域開発局** (サウスウエスト RDA) は、同局が提案している 2,600 万ドルの **ウェーブハブ・プロジェクト** (Wave Hub project) の第一段階実施のために 3 社の開発パートナーを指名した。ウェーブハブは、コーンウェル海岸の 10 マイル沖の海底に設置されて発電し、電気は海中ケーブルを通じてイングランドの国内送配電網に接続される。新たなパートナーは、**オーシャン・プロスペクト社** (同社は OPD 社製の 10 基のペラミス装置を試験する)、**オーシャン・パワー・テクノロジー社** (同社は緩やかに繋がれたパワーブイ波力変換機による 5MW プロジェクトを行う予定)、**フレッド・オールセン社** (ノルウェー、浮遊構造プラットフォームに浮遊したブイを装着したシステムに多重式ポイント・アブソーバー・システムを保有している)。波力変換装置がウェーブハブに接続される。このプロジェクトにより設備の製造者は商用生産に移行する以前に、大規模な試験を行うことができる。サウスウエスト RDA は南西地域で環境技術を開発するという戦略の一部として 350 万ポンドをウェーブハブ・プロジェクトに提供することを約束し、ウェーブハブを保有し運転する民間のパートナーを探している。

(2) 米国およびカナダ

許認可に時間がかかるため、米国のプロジェクトの進展は遅いが、公共および民間

の支援は増加している。**電力研究所 (EPRI: カリフォルニア)** は政府および産業界の参加を得て、実現可能性研究を数年間行った。EPRI はオレゴン、ワシントン、ハワイ、メインの各州において波力資源の評価を行い、これらの州およびカリフォルニア州とマサチューセッツ州において、波力エネルギー利用施設の概念設計を行った。EPRI はまた潮力エネルギーの評価も行っており、米国のメイン、ワシントン、マサチューセッツ、カリフォルニアの各州およびカナダのファンディ湾¹³での潮力エネルギーのポテンシャルを明らかにした。

2007 年に米国内でいくつかの波力および潮力のパイロット実証プロジェクトが開始される見込みである。**米国連邦エネルギー規制委員会(FERC)**が、EPRI が発表した実現可能性研究結果の報告書の中に明示されている潮力エネルギーサイトでの研究の実施に関して、2006 年に約 40 件の許可の申請を受けているためである (FERC はまだ開発許可のための申請は受領していない)。いくつかの EPRI の海洋エネルギープログラムに関する説明資料は web サイト¹⁴で見ることができる。

海洋エネルギー協議会は、ワシントン DC の支援団体であるが、現在進行中の海洋エネルギー活動に取り組む企業や政府機関のリストをオンライン図書館で提供している¹⁵。

カナダの**オーシャン・リニューアブル・エナジー・グループ**は、海洋エネルギー開発に関する産業、学会、政府の情報を提供している。例えば、2006 年 10 月のカーボントラストのために用意された「費用低減研究開発のための主要な海洋エネルギー構成技術」など技術、政策、戦略文書のライブラリーを掲載している¹⁶。

いくつかの民間企業 - 顕著な所はオーシャン・パワー・テクノロジー社、アクアエナジー・グループ社、フィナベラ・リニューアブル社 (カナダ) の一部門、バーダント・パワー LLC 社 (バージニア) など - が、米国においてこの分野の技術を進展させている。

- ・ **アクアエナジー (AquaEnergy) 社**が提案したワシントン州マカー湾の沖合波力パイロットプロジェクト¹⁷は、米国で最も進んでいる波力エネルギープロジェクトの一つである。同社は 2006 年 11 月に予備的環境評価 (アセスメント) を終了した。この環境アセスメント結果では、このプロジェクトによりマカー湾に「重大な環境への影響を及ぼさない」と結論づけている。この結論により、このプロジェクトが FERC から認可を受ける可能性が高まった。1MW の実証用発電プラントから地元電力会社の送配電網に電気を供給する予定である。アクアエナジー社のアクアブイ

¹³ 世界で最も満干差が大きいことで著名な湾

¹⁴ Electric Power Research Institute www.epri.com/oceanenergy/oceanenergy.html.

¹⁵ The Ocean Energy Council (www.oceanenergycouncil.com/library.html)

¹⁶ The Ocean Renewable Energy Group in Canada (www.oreg.ca/docs/Carbon%20Trust%20Report/KeyComponentTechnologies_CostReduction_PublicRev1.pdf)

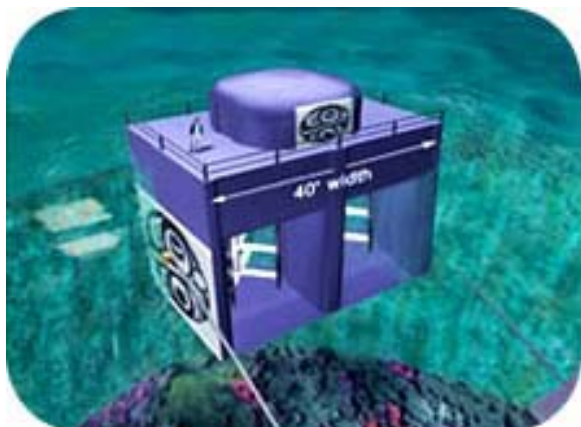
¹⁷ http://finavera.com/en/wave/makah_bay

波力変換機は小さなモジュール型式の装置で、海岸から数マイル沖の波力資源が最大の場所に係留される。マカー湾のロケーションは、好ましい水深、海岸への近接性、非常に良好な波力資源、海岸線、海岸沿いの地域の電力需要、電力会社の参加、協力的な土地所有者が揃っている。

- ・ **オーシャン・パワー・テクノロジー社 (OPT 社)** は、最近、オレゴン州のリードスポートの 50MW の波力パーク建設に対して予備的な認可を FERC から受けた。ここでは同社の パワーブイ波力装置 (前出図 5 参照) を使用する。実用規模でのこのような発電プロジェクトの最初の申請である。2.5 マイル沖合の水深 50m の地点にパワーブイを設置し、当初は 2MW の発電を行う予定である。実規模の 50MW の波力プラントの承認が引き続きなされる予定である。OPT 社は地元の電力会社と電力販売の合意を行っている。OPT 社はこれまでに、ハワイのオアフ島の海兵隊基地やニュージャージー州のアトランティックシティのニュージャージー電力公社で 40kW の実証プロジェクトを行っている。
- ・ ニューヨークの **バーダント・パワー社のイーストリバー・プロジェクト** は最も米国で進んだ潮流エネルギープロジェクトである。2007 年に、同社は小規模な試験的プロジェクトでマンハッタン地区とクイーンズ地区の間を流れるイーストリバーに二つの水中タービンを設置することを計画している。そしてさらに 4 つのタービンを追加する前に、18 ヶ月に亘り魚への影響を研究する。もし問題がなければ、同社は 300 基の水中タービンをイーストリバーに追加設置することができ、2008 年に 10MW の発電容量に達する。ニューヨーク州エネルギー研究・開発局はこのプロジェクトに対しこれまでに 200 万ドル以上を投資している。
- ・ カリフォルニア州の **サンフランシスコ市** では、もう一つの重要な潮力エネルギーサイトがある。同市は、ゴールデン・ゲート・ブリッジ (金門橋) の下を流れる潮流を利用して発電する 35MW のプロジェクトの実現可能性を検討している。2006 年の 9 月末には、市は 15 万ドルの実現可能性調査を開始し、2007 年後半か 2008 年頭に終了する予定である。
- ・ **ブルーエナジー (BE) 社**¹⁸ の **オーシャン・タービン (Ocean Turbine、図 6 参照)** は水中垂直軸風車である。現在まで、カナダ国家研究会議¹⁹ の支援で 6 つの試作タービンが設置され試験が行われた。2006 年 9 月に、BE 社はブリティッシュコロンビア大学で、タービンの試作機の試験が完了したと発表した。同社は現在、カナダのブリティッシュコロンビアの沖合で前商業化段階の実証プロジェクトを行っている。

¹⁸ www.blueenergy.com

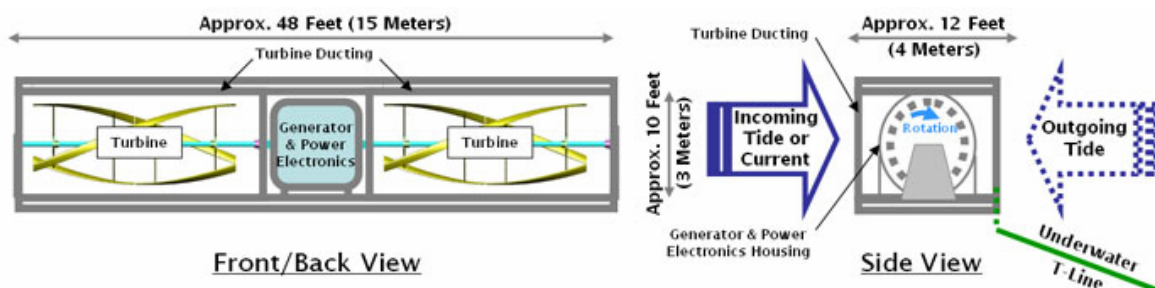
¹⁹ the National Research Council of Canada (www.blueenergy.com/davisTurbinesptypes.html#proto)



(www.blueenergy.com より)

図 6
オーシャン・タービン (ブルーエナジー社)

- ・ **オーシャン・リニューアブルパワー社²⁰ (ORPC 社、フロリダ)** は OCGen **モジュールタービン** (図 7 参照) の特許を保有している。これは海流の方向にかかわらず一方方向のみに回転する。ORPC 社はフロリダの東海岸の沖のフロリダ海流で 6 カ所の海流プロジェクトを開発している。同社は、パサマクオディ湾の潮力エネルギープロジェクトも計画している。この湾はカナダのニューブランズウィック州と米国メイン州に囲まれたファンディ湾の入り口に位置する。ファンディ湾は、世界の中でも潮力エネルギーの最高のサイトの一つである。試作機の運転は 2009 年に始まる予定である。



(www.oceanrenewablepower.com/ti_ogenmodule.htm より)

図 7 OCGen モジュールの概念図

- ・ **アンダーウォーター・エレクトリック・カイト社²¹** はフィッリペ・バウサー氏が起業した小さな企業であり、ファンディ湾において潮流エネルギープロジェクトを実施している。ATEC パワー社は、10 億ドルを提供するとともに、現在潮力エネルギー

²⁰ www.oceanrenewablepower.com/ti_ogenmodule.htm

²¹ Underwater Electric Kites (www.uekus.com)

ーに関する規制を立案する地方政府に働きかけを行っている。海洋試験は 2007 年に始まる予定である。



(www.uekus.com より)

図 8
アンダーウォーター・エレクトリック・カイト社 の
水中タービン

翻訳・編集：NEDO情報・システム部

(出典：SRI Consulting Business Intelligence Explorer Program)