

## 海洋エネルギー

海洋エネルギーには風、波、潮流、潮汐、海流、温度差、濃度差等、様々なエネルギー形態がある。波力発電、潮流発電、海洋温度差発電は、商用化段階にあるか、または海域における実証試験が進行している段階にある。

波力発電は、波のエネルギーを利用した発電技術のことをいい、スペインで2011年7月に商用プラントが稼働開始した。波エネルギー密度が比較的低い日本では、効率と信頼性が高く低コストの発電装置の開発などが課題となっている。

潮流発電は潮流の運動エネルギーを回転エネルギーに変換し発電する技術のことをいい、欧米の一部で商用プラントが稼働開始している。低コスト化、高耐久化、潮流マップの整備などが課題となっている。

海洋温度差発電は、表層の暖水（表層水）と深海の冷水（深層水）との温度差を利用する発電技術のことをいう。商用プラントは稼働しておらず、研究開発・実証の段階である。スケールメリットを活かす大規模な実証試験、コア技術の強化、低コスト化などが課題となっている。

### I 技術・エネルギーの説明

海洋エネルギーには、風、波、潮流、潮汐、海流、温度差、濃度差等、様々なエネルギー形態があり（表1）、それぞれに異なる発電技術が開発されている<sup>(1)</sup>。

表1 主な海洋エネルギー

技術名	利用エネルギー
洋上風力発電	洋上の風エネルギー
波力発電	波エネルギー
潮流発電	潮流エネルギー
潮汐力発電	潮汐に伴う潮位差エネルギー
海流発電	海流エネルギー
海洋温度差発電	表層水と深層水の温度差エネルギー
塩分濃度差発電	河川水・海水間の濃度差エネルギー

（出典）角田智彦ほか「海洋資源・エネルギーに関する科学技術の動向」『海洋資源・エネルギーをめぐる科学技術政策』（調査資料2012-6）国立国会図書館調査及び立法考査局，2013，p.8. <[http://dl.ndl.go.jp/view/download/digidepo\\_8111680\\_po\\_20120603.pdf?contentNo=1](http://dl.ndl.go.jp/view/download/digidepo_8111680_po_20120603.pdf?contentNo=1)>

このうち、洋上風力発電、潮汐力発電、波力発電、潮流発電、海洋温度差発電は、商用化段階にあるか、または海域における実証試験が進行している段階にある。中でも潮汐力発電は、フランスのランス潮汐力発電所（1967年発電開始）のように40年以上前から商用化されている

\*本稿の執筆時点は平成26年2月5日である。インターネット情報の最終アクセス日は平成26年1月31日である。

(1) 角田智彦ほか「海洋資源・エネルギーに関する科学技術の動向」『海洋資源・エネルギーをめぐる科学技術政策』（調査資料2012-6）国立国会図書館調査及び立法考査局，2013，p.8. <[http://dl.ndl.go.jp/view/download/digidepo\\_8111680\\_po\\_20120603.pdf?contentNo=1](http://dl.ndl.go.jp/view/download/digidepo_8111680_po_20120603.pdf?contentNo=1)> なお、潮流とは潮の干満に伴って海水が移動する流れをいい、潮汐と同じように1日で数回の周期的な変化をする。また、海流とは川のようにほぼ一定の向きや速さで流れることをいう。このため、本稿では潮流と海流を区別し、記載している。海上保安庁 第八管区海上保安本部 「潮流と海流」海洋情報部ウェブサイト <<http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAN8/sv/teach/kaisyo/stream1.html>>

(表2)。潮汐力発電は、潮位差が大きい湾や河口の入り口などに堰を設けて、満潮時に貯水し、干潮時に水位差を利用して放水することで発電機を回す<sup>(2)</sup>。しかし、日本ではポテンシャルが小さく、稼動しているプラントはない<sup>(3)</sup>。

表2 世界の主要な潮汐力発電所

発電所名	国名	運転開始年	最大出力	概要
ランス潮汐発電所	フランス	1967年	240MW	フランス北西部ランス川河口に建設。年間発電量600,000MWh、平均出力約68MW。
アンナポリス発電所	カナダ	1984年	20MW	大西洋岸のファンディ湾に建設。
キスラヤ潮汐発電所	ロシア	1968年建設	400kW	ムルマンスク北西80kmの入り江に建設。
江夏潮汐発電所	中国	1980年	3.9MW	浙江省温嶺市に建設。中国初の大規模実験プラント。
始華湖潮汐力発電所	韓国	2011年	254MW	韓国北西部・京畿道の人造湖である始華湖に建設。世界最大規模のプラント。

(出典) 新エネルギー・産業技術総合開発機構「第6章 海洋エネルギー」『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』2013, p.38. <<http://www.nedo.go.jp/content/100544821.pdf>> を基に筆者作成。

以上を踏まえ、商用化段階あるいは実証段階にある技術のうち、本節では、波力発電、潮流発電、海洋温度差発電について整理を行い、洋上風力発電は「風力発電」の節で取り上げる。

以下で取り上げる各発電技術では、沿岸、海底等に発電設備等を設置する固定式に加え、海面又は海中に浮遊させる浮体式も導入されている。

## 1 波力発電

波のエネルギーを土木構造物、浮体構造物、装置によって回転運動に変換し、発電機を回すなどして発電する。波力発電システムは、主に「振動水柱型」、「可動物体型」、「越波型」の3種類に区分される<sup>(4)</sup> (後述)。

## 2 潮流発電

潮流の運動エネルギーで水車を回転させて発電する<sup>(5)</sup>。また、水車を用いない「振動水中翼型」という方式もある (後述)。

## 3 海洋温度差発電

表層の温かい海水 (表層水) と深海の冷たい海水 (深層水) との温度差を利用する熱機関により、タービンを回転させて発電する<sup>(6)</sup>。

(2) 新エネルギー・産業技術総合開発機構「第6章 海洋エネルギー」『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』2013, p.8. <<http://www.nedo.go.jp/content/100544821.pdf>>

(3) 同上, p.38.

(4) 同上, pp.3-5.

(5) 同上, pp.6-7.

(6) 同上, pp.10-14.

## II 技術動向・利用動向・将来動向

### 1 技術動向

#### (1) 波力発電

発電システムとしては、主に「振動水柱型」、「可動物体型」、「越波型」の3種類がある（表3）。

表3 主な波力発電システム

システム名	概要
振動水柱型	装置内に空気室を設けて海面の上下動により生じる空気の振動流を用いて、空気タービンを回転させる方式。OWC (Oscillating Water Column) システムともいう。
可動物体型	可動物体を介して波力エネルギーを油圧に変換した後、油圧モータ等を用いて発電するシステム。沖合に設置される波力発電装置の主流。
越波型	波を貯水池等に越波させて貯留し、貯水面と海面との落差を利用して海に排水する際に、導水溝に設置した水車を回し発電する方式。

(出典) 角田智彦ほか「海洋資源・エネルギーに関する科学技術の動向」『海洋資源・エネルギーをめぐる科学技術政策』（調査資料2012-6）国立国会図書館調査及び立法考査局，2013，p.16. <[http://dl.ndl.go.jp/view/download/digidepo\\_8111680\\_po\\_20120603.pdf?contentNo=1](http://dl.ndl.go.jp/view/download/digidepo_8111680_po_20120603.pdf?contentNo=1)> を基に筆者作成。

波力エネルギーの変換装置には100を超える方式があり、世界30か国以上で開発が行われている<sup>(7)</sup>。特に英国、アメリカはプロジェクト数が多い。日本は1970年代以降の一時期、世界を主導していたが、その後、研究開発投資が縮小し、実用化に向けた技術開発では遅れているといわれている<sup>(8)</sup>。

以下では、日本における最近の取組み例をみていく。

まず、振動水柱型については、福井県丹生郡越前町において東京大学が進めている「ブローホール波力発電システム」の実証研究がある。ブローホール波力発電システムは振動水柱型の一例で、同実証研究は、環境省の「平成24（2012）年度地球温暖化対策技術開発・実証研究事業」の採択案件である。ブローホール（潮吹穴）とは波の浸食によって海岸の岩にできた穴で、波の圧力で海水が地上に吹き出すものである。波の上下に対応して往復する空気流が発生し、それをタービンで受けて発電する仕組みである<sup>(9)</sup>。

可動物体型については、2011年度から三井造船株式会社と東京大学が共同で、日本の海域に適した新世代の装置開発を進めている。これは、新エネルギー・産業技術総合開発機構（New Energy and Industrial Technology Development Organization: NEDO）による「海洋エネルギー発電システム実証研究」の委託事業であり、2015年度の海域での実証試験を目指している。開発のベースとなる装置として米国のOcean Power Technologies社の「パワーブイ（Power Buoy）」を採用し、水槽試験や数値シミュレーション等により、発電単価40円/kWh以下を目

(7) SI Ocean, “Ocean Energy: State of the Art,” 2012.12. p.17. <[http://si-ocean.eu/en/upload/docs/WP3/Technology%20Status%20Report\\_FV.pdf](http://si-ocean.eu/en/upload/docs/WP3/Technology%20Status%20Report_FV.pdf)> SI Ocean は、EU の支援を受ける2年間限定のプロジェクトである。

(8) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 前掲注(2), pp.45-48.

(9) 「ブローホールによる波力発電の地質調査を開始します」福井県報道発表資料，2012.12.14. <<http://www2.pref.fukui.lg.jp/press/view.php?cod=e85KMf135529337725>> ; 環境省「平成24年度地球温暖化対策技術開発・実証研究事業（競争的資金）新規採択案件一覧」<[http://www.env.go.jp/press/file\\_view.php?serial=19601&hou\\_id=15046](http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=19601&hou_id=15046)>

標に発電効率の向上と海底への係留方法の改良に取り組んでいる。<sup>(10)</sup>

また、越波型については、例えば東海大学が研究開発を行っており、2009年度にはNEDOの「海洋エネルギー先導研究」事業に採択された。同事業では、発電効率の良い波の打ち上げ角度等に関する研究が実施された。<sup>(11)</sup>

## (2) 潮流発電

カナダ・トロント大学のダニー・ハーヴィー教授によると、主な潮流発電システムは以下の4種類である(表4)。潮流発電の分野で最も多く採用されているのは水平軸型タービンである<sup>(12)</sup>。

表4 主な潮流発電システム

システム名	概要
水平軸型タービン	海水の流れに対して水平軸上に取り付けられた回転装置で、気流からエネルギーを得る風力タービン同様に、潮流からエネルギーを取り込む。ダクト内に格納して潮流を収束させることも可能。
垂直軸型タービン	海水の流れに対して垂直軸上に取り付けられた回転装置。
ベンチュリー	漏斗型のエネルギー収集装置で、潮流に沈める。海水の流れが直接タービンを移動させるか、システム内の誘起圧力の差によってエアタービンを移動させる。
振動水中翼	振動するアームに水中翼を取り付ける。水中翼のいずれかの方向に沿って流れる潮流により振動が発生し、揚力が生まれる。振動アームの動きが水圧システム内の流体を動かし、利用可能なエネルギーに変換する。

(出典) L. D. ダニー・ハーヴィー (立木勝ほか訳)『カーボンフリーエネルギー事典』ガイアブックス, 2013, p.551.  
(原書名: L. D. Danny Harvey, *Energy and the New Reality 2 Carbon-Free Energy Supply*, London: Earthscan, 2010) を基に筆者作成。

潮流発電の分野では、これまで多くの装置開発事業者が単機の装置を設置し、運用上の経験を蓄積してきた。複数の装置を設置して行う実証プロジェクトとしては、2011年3月、スコットランド政府がアイラ海峡(Sound of Islay)での10MW規模のプロジェクトを認可している<sup>(13)</sup>。2013年9月の報道によれば、同プロジェクトについてScottish Power Renewable社とフランスのAlstom社が覚書を締結し、Alstom社製の装置とAndritz Hydro Hammerfest社製のタービンが最大で各4基設置されるとのことであった。プロジェクトは予定通りに進行しており、最初の装置は2015年後期に設置され、2016年中にはサイト全体への設置が完了する見込みである<sup>(14)</sup>。Alstom社のプレスリリースでは、完成後フル稼働すれば世界最大規模の潮流発電所になると報じられている<sup>(15)</sup>。

## (3) 海洋温度差発電

海洋温度差発電には主な発電方式として、クローズドサイクル、オープンサイクル、ハイブリッドサイクルの3種類がある。主流となっているクローズドサイクルのシステム概略を図1

(10) 前村敏彦ほか「日本海域に適した波力発電技術の開発」『三井造船技報』第210号, 三井造船技術本部, 2013, pp.29-34. <[http://www.mes.co.jp/mes\\_technology/research/pdf/210\\_03.pdf](http://www.mes.co.jp/mes_technology/research/pdf/210_03.pdf)>

(11) 田中博通・淀川已之助「越波型波力発電装置の研究開発」<[http://suisankaiyo.com/seeds/wp-content/uploads/2011/03/2010\\_tokai\\_tanaka.pdf](http://suisankaiyo.com/seeds/wp-content/uploads/2011/03/2010_tokai_tanaka.pdf)>

(12) SI Ocean, *op.cit.*(7), pp.39-40.

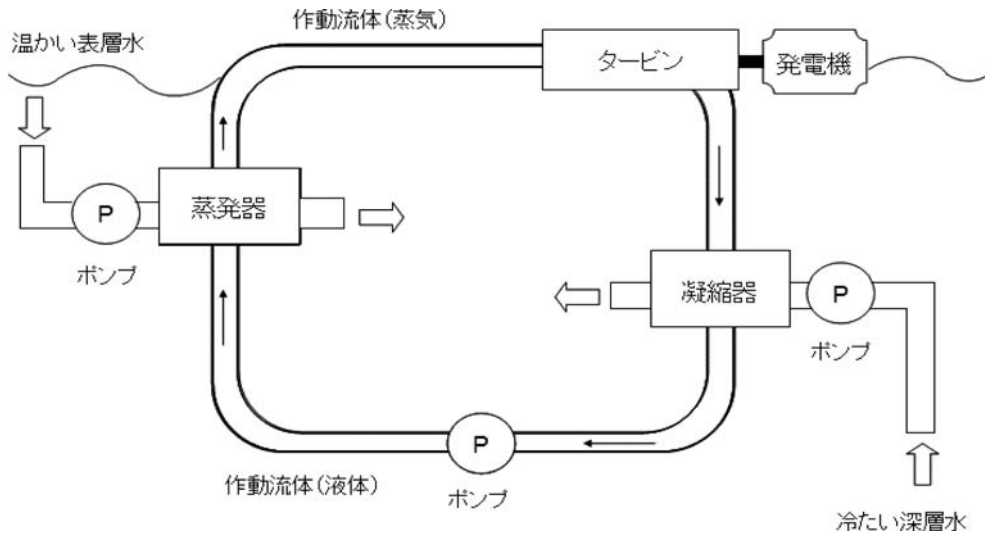
(13) *ibid.*, p.39.

(14) “Alstom devices deal for Sound of Islay tidal array,” *BBC News Scotland Business*, 2013.9.16. <<http://www.bbc.co.uk/news/uk-scotland-scotland-business-24114413>>

(15) “Memorandum of Understanding signed between Alstom and Scottish Power Renewables for tidal power devices,” 『Alstom 社プレスリリース』2013.9.17. <<http://www.alstom.com/press-centre/2013/9/memorandum-of-understanding-signed-between-alstom-and-scottish-power-renewables-for-tidal-power-devices/>>

に示す。クローズドサイクルの基本構成は蒸発器、凝縮器、タービン、発電機、作動流体ポンプである。蒸発器・凝縮器・タービンはパイプで繋がれ、低沸点の作動流体が封入されている。作動流体は温かい表層水から熱を受け取り、蒸発器で蒸気になる。膨張した蒸気がタービンを稼働させる。冷たい深層水が作動流体を内包した凝縮器を通り抜けることで、気化した作動流体が液体に戻り、システム内で再利用される。<sup>(16)</sup>

図1 クローズドサイクルのシステム概略図



(出典) L. D. ダニー・ハーヴィー (立木勝ほか訳) 『カーボンフリーエネルギー事典』ガイアブックス, 2013, p.554.  
(原書名: L. D. Danny Harvey, *Energy and the New Reality 2 Carbon-Free Energy Supply*, London: Earthscan, 2010) を基に筆者作成。

海洋温度差発電は、1970年代の石油危機を契機に注目を集め、各国で研究開発が進められてきた。世界の主な実証プラントの規模は数十kW～数百kW級にとどまっているが<sup>(17)</sup>、スケールメリットを活かした実用化に向けて、米国や台湾、フランスなどでMW級のプロジェクトが計画されている<sup>(18)</sup>。

日本は、数十kW級の実証研究では世界トップレベルにある。佐賀大学海洋エネルギー研究センターが1973年に研究を開始し、1994年にクローズドサイクルの一方式に改良を加えた「ウエハラサイクル」を開発した。世界トップレベルのサイクル熱効率であると理論的に評価されており、国内外12か国の特許を取得している<sup>(19)</sup>。2003年3月、同センターは新伊万里サテライトに30kWの実証プラントを設置し、研究を進めている<sup>(20)</sup>。

(16) 佐賀大学海洋エネルギー研究センター「海洋温度差発電 (OTEC) とは」 <[http://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/about\\_otec\\_02.html](http://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/about_otec_02.html)> ; L. D. ダニー・ハーヴィー (立木勝ほか訳) 『カーボンフリーエネルギー事典』ガイアブックス, 2013, p.552. (原書名: L. D. Danny Harvey, *Energy and the New Reality 2 Carbon-Free Energy Supply*, London: Earthscan, 2010) なお、オープンサイクルの基本構成はクローズドサイクルと同様であるが、表層水自体が作動流体であるため、作動流体ポンプがない。表層水はそのままの温度で、真空に近い状態で気化し、低压タービンを稼働させる。ハイブリッドサイクルは、クローズドサイクルとオープンサイクルを組み合わせたものである。

(17) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 前掲注(2), p.71.

(18) 同上, p.74.

(19) 同上, p.73 ; 佐賀大学海洋エネルギー研究センター「研究の主な沿革・成果」 <[http://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/about\\_lab\\_02.html](http://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/about_lab_02.html)>

(20) 佐賀大学海洋エネルギー研究センター「佐賀大学における OTEC の研究」 <[http://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/about\\_otec\\_saga.html](http://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/about_otec_saga.html)>

## 2 利用動向

### (1) 波力発電

世界初の商用プラントとしては2008年9月に稼動を開始したポルトガル沖の事例があるが、技術的・経済的な問題により運転停止に追い込まれた<sup>(21)</sup>。商用運転に成功した事例としては、2011年7月に電力供給を開始したスペイン北部バスク地方のムトリク (Mutriku) OWC (Oscillating Water Column: 振動水柱型) プラントがある。16のタービンで構成される本プラントの規模は296kW、稼動から1年余で200MWhの発電量となっている。運用主体はバスク自治州政府エネルギー局 (Ente Vasco de la Energia: EVE) である<sup>(22)</sup>。

### (2) 潮流発電

欧州では商用規模の実証段階に入っている。イングランドやスコットランドでは、National Renewable Energy Centre (Narec) やEuropean Marine Energy Centre (EMEC) といった実証試験サイトが設置されており、潮流発電向けの実証試験が行われている<sup>(23)</sup>。

また、米国においても2012年7月24日、国内初となる送電網に接続された商用規模の潮流発電プロジェクトがエネルギー省によって認可された。メイン州に拠点を置く Ocean Renewable Power Company (ORPC) が同省から1000万ドルの資金拠出を受け、2012年8月、同州コブスック湾 (Cobscook Bay) に潮流発電システム (定格出力150kW) を設置した。稼動から1年を迎え、2013年7月には初回のシステム点検・整備の準備に入っている。ORPCは、今後本プロジェクトを拡大し、州内1,000世帯以上の家庭や企業向けに電力供給を行うための発電システムの追加設置を計画している<sup>(24)</sup>。

日本では、海峡・瀬戸を中心として沿岸域に適地が存在する。北九州市は、2010年度から関門海峡において小規模潮流発電の実証事業を実施している<sup>(25)</sup>。また、環境省は経済産業省と連携し、「潮流発電技術実用化推進事業」(2014年度予算要求額6億円) を開始する予定である。民間企業へ委託し、2014年度は要素技術の確立、耐久性能・発電効率の向上といった技術開発を実施する。2015年度以降は海域での実証と周辺環境への影響調査、2017年度からは採算が合う事業の検討に入る<sup>(26)</sup>。

(21) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 前掲注(2), p.39.

(22) TECNALIA, *The Basque Country regional experience*, (Atlantic Forum Workshop, Brest, 2012.10.30) p.9. <[http://ec.europa.eu/maritimeaffairs/policy/sea\\_basins/atlantic\\_ocean/atlanticforum/events/brest/presentations/forum\\_brest\\_duperray\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/maritimeaffairs/policy/sea_basins/atlantic_ocean/atlanticforum/events/brest/presentations/forum_brest_duperray_en.pdf)>

(23) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 前掲注(2), pp.57-62.

(24) "Maine Deploys First U.S. Commercial, Grid-Connected Tidal Energy Project," 2012.07.24. U.S. Department of Energy Website. <<http://energy.gov/articles/maine-deploys-first-us-commercial-grid-connected-tidal-energy-project>>; 「メイン州が米国初の商業規模の潮力発電系統連系プロジェクトを展開 (米国)」『NEDO 海外レポート』No.1088, 2012.9.5, pp.21-23. <<http://www.nedo.go.jp/content/100501314.pdf>>; "ORPC preparing for annual maintenance and inspection of tidal energy device," (Press Release, Ocean Renewable Power Company) 2013.7.12. <[http://www.orpc.co/newsevents\\_pressrelease.aspx?id=D5MZLiRACUs%3D](http://www.orpc.co/newsevents_pressrelease.aspx?id=D5MZLiRACUs%3D)>

(25) 「関門海峡潮流発電設置推進事業 潮流発電実験機の設置工事について」(北九州市報道発表資料) 2013.3.12. <<http://www.city.kitakyushu.lg.jp/files/000108107.pdf>>

(26) 環境省「(新)潮流発電技術実用化推進事業 (経済産業省連携)」『平成26年度環境省概算要求 主要新規事項等の概要』2013.8. <<http://www.env.go.jp/guide/budget/h26/h26-gaiyo/047.pdf>>; 「環境省、潮流発電18年度に実用化へ 新エネルギー開拓」『日本経済新聞』(電子版) 2013.9.13.

### (3) 海洋温度差発電

商用化への具体的な動きも見受けられる。米国ロッキード・マーティン社の2013年4月16日付プレスリリースによると、同社は中国北京に拠点を置く多国籍企業、Reignwood Groupと覚書を締結し、現時点では最大規模となる10MWの海洋温度差発電パイロット・プラントを中国南方沖に設置することを計画している。発電した電力はReignwood Groupが建設するグリーン・リゾートに100%供給される。<sup>(27)</sup>

また、報道によると、2013年6月16日、沖縄県が海洋温度差発電の実証プラント（出力50kW）の本格運転を同県久米島町で開始した<sup>(28)</sup>。

## 3 将来動向

IEAのWorld Energy Outlook 2013<sup>(29)</sup>では、温室効果ガスの排出量削減、化石燃料に対する補助金の段階的廃止など、各国による公約・計画が実施される場合の「新政策シナリオ」と、現在の状況が継続する場合の「現行政策シナリオ」に基づき、海洋エネルギーによる2020年と2035年の年間総発電量を表5のように試算している。2035年では、総発電量に約1.6倍近い開きが出る。

表5 海洋エネルギーによる全世界の年間総発電量

	2011年実績値（参考）	2020年	2035年
新政策シナリオ	1TWh	3TWh	39TWh
現行政策シナリオ		3TWh	24TWh

（出典）IEA, *World Energy Outlook 2013*, Paris: IEA, 2013, p.200を基に筆者作成。

## III 資源・エネルギーの賦存量・導入ポテンシャル

### 1 波力発電

世界的に大きな波力エネルギーが存在しているのは、北大西洋、北太平洋、南米の南岸、南オーストラリアの海域である。日本の波力エネルギー密度は沿岸で10kW/m未満、沖合で10～20kW/m未満であり、諸外国に比較すると小さい。<sup>(30)</sup>

全世界では、年間最大80,000TWhの発電が可能との試算がある<sup>(31)</sup>。

NEDOは、日本の波力エネルギーのポテンシャル（沖合100kmまで）を195GW、現状の技術レベルを前提条件とした導入ポテンシャルを5.4GW、発電ポテンシャルを19TWh/年と試算している。<sup>(32)</sup>

(27)“Lockheed Martin and Reignwood Group to Develop Ocean Thermal Energy Conversion Power Plant,”『ロッキード・マーティン社プレスリリース』2013.4.16. <<http://www.lockheedmartin.com/us/news/press-releases/2013/april/lockheed-martin-and-reignwood-group-to-develop-ocean-thermal-ene.html>>

(28)「海洋温度差で発電 沖縄県実証プラント稼働」『日本経済新聞』2013.6.17.

(29)IEA, *World Energy Outlook 2013*, Paris: IEA, 2013, p.200.

(30)新エネルギー・産業技術総合開発機構 前掲注(2), p.20；kW/mは、1m幅の波が持つエネルギー量を示す。

(31)同上

(32)新エネルギー・産業技術総合開発機構『平成22年度成果報告書 風力等自然エネルギー技術研究開発 洋上風力発電等技術研究開発 海洋エネルギーポテンシャルの把握に係る業務』2011.3, p.156；本稿では「導入ポテンシャル」は「実際に導入することができる最大電力量」、「発電ポテンシャル」は「発電デバイスを“理想的に”海上または陸上に敷設した場合に得られる年間を通じた総発電量」を指す（同 p.1.）。

## 2 潮流発電

潮流は海峡、水道、瀬戸といった2つの海面を結ぶ狭い水路で強くなる。<sup>(33)</sup>

英国産業貿易省 (Department of Trade and Industry) の試算によると、世界の潮流発電のポテンシャルのうち、流速や地理的条件を踏まえると発電に利用できるのは3%とされている<sup>(34)</sup>。

NEDOは、日本の潮流エネルギーのポテンシャル (沖合100kmまで) を22GW、現状の技術レベルを前提条件とした導入ポテンシャルを1.9GW、発電ポテンシャルを6TWh/年と試算している。<sup>(35)</sup>

## 3 海洋温度差発電

発電には20℃程度の温度差が必要とされており、インド、東南アジア、オーストラリア南部、メキシコ、ブラジル、アフリカの沖合等、赤道を挟んだ海域が温度差に恵まれている。<sup>(36)</sup>

世界全体でみると、海洋温度差エネルギーのポテンシャルは10,000TWh/年と見込まれている<sup>(37)</sup>。

NEDOは、日本の海洋温度差発電のポテンシャル (沖合100kmまで) を904GW、現状の技術レベルを前提条件とした導入ポテンシャルを6.0GW、発電ポテンシャルを47TWh/年と試算している<sup>(38)</sup>。

# IV 経済性

## 1 波力発電

国際エネルギー機関海洋エネルギー実施委員会 (IEA-OES) の2012年版アニュアルレポートには、「波力エネルギーコスト低減への進路」という記事が掲載されている。それによると、現時点ではプロトタイプ、または数基のユニットで構成される比較的小規模な導入例に留まっていることもあり、以下の理由から初期コストが高額になっている。<sup>(39)</sup>

- ・ 製造工程において規模の経済性が欠如している
- ・ 海洋開発産業向けの高額な設置・保守手法に依存せざるを得ない現状にある
- ・ 初期段階のプロジェクトに対し高額な資本借入コストがかかる
- ・ 厳しい海洋環境での耐久性を確保するため、初期商用段階のシステムは過度に堅牢な設計が求められる

(33) 角田ほか 前掲注(1), p.21.

(34) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 前掲注(2), p.25.

(35) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 前掲注(32)

(36) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 前掲注(2), p.32.

(37) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 前掲注(32), p.124.

(38) 同上, p.156.

(39) IEA-OES, *Annual Report 2012*, Executive Committee of Ocean Energy Systems (IEA-OES), [posted on 2013.3.12], p.109. <[http://www.ocean-energy-systems.org/oes\\_reports/annual\\_reports/2012\\_annual\\_report/](http://www.ocean-energy-systems.org/oes_reports/annual_reports/2012_annual_report/)>



試験的な商用発電システムの開発・設置を通して導入コストや経済性に関するデータの収集が進み、そうしたデータを次世代技術の開発に活用すれば、コスト低減が可能になる。表6は、波力発電プラントの大規模化に伴うコスト低減効果を示すものである（固定費率12.4%、プロジェクト期間20年として算出）。これは、米国での商用規模かつ成熟した波力発電プロジェクト向けの典型的な数値である。

表6 波力発電プラントの大規模化に伴うコスト低減効果（試算例）

	プラントの規模			
	5MW	20MW	50MW	
CAPEX（資本支出）	\$6,912/kW	\$5,035/kW	\$4,347/kW	
OPEX（操業コスト）（年）	\$438/kW	\$239/kW	\$162/kW	
CAPEXに占める運用保守（O&M）コスト	6.3%	4.7%	3.7%	
設備利用率	30%	30%	30%	
利用可能率	95%	95%	95%	
発電コスト	52 ¢ /kWh	34 ¢ /kWh	27 ¢ /kWh	
内訳	CAPEX 寄与分	30 ¢ /kWh	22 ¢ /kWh	19 ¢ /kWh
	O&M 寄与分	22 ¢ /kWh	12 ¢ /kWh	8 ¢ /kWh

\* 「CAPEX（Capital Expenditure）」は、大規模または長期の修繕に要する費用。「OPEX（Operating Expense）」は、事業・施設等を運営していくために継続して必要となる費用。

（出典）IEA-OES, *Annual Report 2012*, Executive Committee of Ocean Energy Systems (IEA-OES), pp.110-111. <[http://www.ocean-energy-systems.org/oes\\_reports/annual\\_reports/2012\\_annual\\_report/](http://www.ocean-energy-systems.org/oes_reports/annual_reports/2012_annual_report/)> を基に筆者作成。

## 2 潮流発電

潮流発電のシステム価格を表7に、発電コストを表8に示している。これらは、英国のエネルギー・気候変動省とスコットランド自治政府が委託した調査で試算されたものである。

まず、システム価格はシステムが設置される水深によっても異なり、例えば実証プロジェクトの段階では、浅水域では350万ポンド/MW～510万ポンド/MW（5.9億円/MW～8.6億円/MW<sup>(40)</sup>）、深水域では300万ポンド/MW～410万ポンド/MW（5.1億円/MW～6.9億円/MW）である（表7）。また、商用プロジェクトでは浅水域、深水域双方で価格はさらに低下することが見込まれている。

表7 潮流発電のシステム価格試算例

	実証プロジェクト	商用プロジェクト
浅水域	£ 350万/MW～£ 510万/MW	£ 270/MW～£ 390万/MW
深水域	£ 300万/MW～£ 410万/MW	£ 280万/MW～£ 400万/MW

（出典）*Cost of and Financial Support for Wave, Tidal Stream and Tidal Range Generation in UK: a Report for DECC and the Scottish Government*, Ernst & Young, 2010, p. iv. <[http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20120403105717/http://www.decc.gov.uk/assets/decc/What%20we%20do/UK%20energy%20supply/Energy%20mix/Renewable%20energy/explained/wave\\_tidal/798-cost-of-and-finacial-support-for-wave-tidal-strea.pdf](http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20120403105717/http://www.decc.gov.uk/assets/decc/What%20we%20do/UK%20energy%20supply/Energy%20mix/Renewable%20energy/explained/wave_tidal/798-cost-of-and-finacial-support-for-wave-tidal-strea.pdf)> を基に筆者作成。

次に発電コストは、実証プロジェクトの段階では、浅水域では179ポンド/MWh（3.0万円/MWh）、深水域では247ポンド/MWh（4.1万円/MWh）である（表8）。また、2020年には、浅水域では173ポンド/MWh（2.9万円/MWh）、深水域では203ポンド/MWh（3.4万円/MWh）に低下

(40) 1ポンド=169円で換算。以下、同様。

することが見込まれている。

表8 潮流発電の発電コスト試算例

	実証プロジェクト	商用プロジェクト	
		2020	2035
浅水域	£ 179/MWh	£ 173/MWh	£ 166/MWh
深水域	£ 247/MWh	£ 203/MWh	£ 126/MWh

(出典) *Cost of and Financial Support for Wave, Tidal Stream and Tidal Range Generation in UK: a Report for DECC and the Scottish Government*, Ernst & Young, 2010, p.26. <[http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20120403105717/http://www.decc.gov.uk/assets/decc/What%20we%20do/UK%20energy%20supply/Energy%20mix/Renewable%20energy/explained/wave\\_tidal/798-cost-of-and-financial-support-for-wave-tidal-strea.pdf](http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20120403105717/http://www.decc.gov.uk/assets/decc/What%20we%20do/UK%20energy%20supply/Energy%20mix/Renewable%20energy/explained/wave_tidal/798-cost-of-and-financial-support-for-wave-tidal-strea.pdf)> を基に筆者作成。

### 3 海洋温度差発電

世界エネルギー会議 (World Energy Council) の2007年現在のデータによると、海洋温度差発電の資本コストは7,000ドル/kW～1万5,000ドル/kW (72万円/kW～155万円/kW<sup>(41)</sup>) であるが、その後の材料コスト上昇により、かなり増加している<sup>(42)</sup>。海洋温度差発電の資本コストは風力発電 (陸上で1,300ドル/kW～1,900ドル/kW (13万円/kW～20万円/kW)、洋上で1,800ドル/kW～2,500ドル/kW (19万円/kW～26万円/kW)) の数倍であるが、高い設備利用率が期待できるため、発電コストにおいてこの差は大幅に圧縮できる<sup>(43)</sup>。海洋温度差発電の発電コスト試算例を表9に示す。

表9 海洋温度差発電の発電コスト試算例

	1MW	5MW	10MW	100MW
発電コスト	50円/kWh	30.4～45.7円/kWh	20円/kWh	10円/kWh

(出典) 新エネルギー・産業技術総合開発機構「第6章 海洋エネルギー」『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』2013, p.19. ((原典) OEAJ 海洋温度差発電分科会資料) <<http://www.nedo.go.jp/content/100544821.pdf>> を基に筆者作成。

## V 技術的課題

### 1 波力発電

普及に向けて発電コストを低減させるためには、次のような技術的アプローチがある。<sup>(44)</sup>

- ・ 効率的な運用保守戦略を開発する (定期的な検査とメンテナンスを行う無人機器など)
- ・ 発電装置の波力エネルギー捕獲能力を向上させる
- ・ 発電装置運用時の負荷予測ツール改善により、過度に堅牢な構造設計を控える
- ・ 代替材料を利用する (鋼を複合材料、コンクリートで代替)

(41) 1ドル=103円で換算。以下、同様。

(42) ハーヴェー 前掲注(16), p.554.

(43) 同上

(44) IEA-OES, *op.cit.*(39), pp.112-113.

- ・発電システムの信頼性を向上させる

欧米に比べ技術開発で後発に属し、波エネルギー密度が比較的低い日本においては、より効率と信頼性が高く、低コストな波力発電装置の開発が必要である。また、台風など異常海象時の耐久性を確保することも重要である<sup>(45)</sup>。海外の試算を参考にすると、波力発電はコストが高い離島のディーゼル発電に対抗できる可能性があるため、分散型電源としての実用化が考えられる<sup>(46)</sup>。

## 2 潮流発電

実用化に向けての技術的課題としては、波力発電と同様、高効率化、低コスト化、高耐久化、管理・運用の改善（例えば、遠隔運用システムの装備など）が挙げられる。また、適地を特定するための高精度な潮流マップの整備、我が国固有の海洋環境に適する発電システムおよびメンテナンス法の確立、コスト評価や環境影響評価とともに付着生物など運用に影響を及ぼす海洋環境の事前調査なども重要とされている。<sup>(47)</sup>

## 3 海洋温度差発電

海洋温度差発電は、ほかの再生可能エネルギーとは異なり、スケールメリットが極めて大きいという特性を有することから、より大規模な実証試験の実施が望まれる。佐賀大学とジャパンマリンユナイテッド株式会社は、没水型では世界初となる10MW規模の海洋温度差発電システムの概念設計を行い、2013年9月2日に一般財団法人日本海事協会より概念承認（Approval in Principle）を取得しており、今後の実証を目指している<sup>(48)</sup>。

我が国の優位性として、海洋温度差発電に特化した熱交換機、高効率の発電サイクル（「ウエハラサイクル」）、システム制御技術、高度なプラント設計技術、海洋深層水の取水技術が挙げられる。優位性を保つためには、これらのコア技術のさらなる強化と大規模な実証試験の実施が求められる<sup>(49)</sup>。また、海洋温度差発電の導入を図るには、小規模の場合は発電以外の事業（熱利用、海水淡水化、海洋深層水の利活用、リチウム回収など）との複合利用を行うなど、コストの低減が重要である<sup>(50)</sup>。

(45) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 前掲注(2), pp.96-98 ; 佐賀大学海洋エネルギー研究センター「波力発電について」 <[http://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/about\\_wave\\_0.html](http://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/about_wave_0.html)>

(46) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 同上, pp.97-98 ; 池野正明『海洋エネルギー利用発電技術の現状と課題』（電力中央研究所報告 V10002）, 2011.1, pp.21-22. <<http://criepi.denken.or.jp/jp/kenkikaku/report/detail/V10002.html>>

(47) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 同上, pp.96-98 ; 経塚雄策「海流・潮流発電の実用化に向けて」（テクノフロントシリーズ海洋エネルギー（1））, 2013.5.15, SciencePortal. <<http://scienceportal.jp/column/technofront/19591/20130515.html>>

(48) 「世界で初めて浮体式の没水型海洋温度差発電で NK より AIP（概念承認）を取得—佐賀大学と共同で—」『プレスリリース』ジャパンマリンユナイテッド株式会社ウェブサイト, 2013.9.5. <<http://www.jmuc.co.jp/press/2013/nkaip.html>>

(49) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 前掲注(2), p.44.

(50) 同上, p.19.

## VI 技術を取り巻く社会経済状況

波力発電、潮流発電、海洋温度差発電を含む海洋エネルギーの開発推進に際しては、生態系をはじめとする周辺環境への影響や、漁業者を含む関連ステークホルダーとの合意形成が重要な要件である。

まず、発電装置の設置による周辺環境への影響をみると、港の外壁に一体化されるオンショアの波力発電装置は海運に影響を与え、騒音を生じる可能性があるが、一方で地形の侵食を緩和するという利点もある。海底に固定するシステムの場合は人工岩礁のようになり、新たなコロニーを形成する<sup>(51)</sup>。潮流発電では、大規模な装置群が導入された場合、流速が低下することによって、堆積物の移動ならびに下流の生態系に影響が及ぶ可能性がある<sup>(52)</sup>。海洋温度差発電は大量の海水を汲み上げること、発電に際して熱が移動することから、海水循環や海洋環境に様々な変化を与える可能性がある。こうした環境への影響については、実証実験で収集した基礎データの活用や、各種シミュレーション結果との比較などにより検討する必要がある。また、事前に環境への影響を調査・予測・評価する「環境アセスメント」の手法をプラントの規模に応じて確立することが求められる。<sup>(53)</sup>

海洋エネルギーの開発には実証試験が不可欠であるが、日本では実証試験の海域を確保するために多数の許可申請手続きが必要である。これは、欧米に比べ実証試験場の開設が遅れている一つの要因となっている<sup>(54)</sup>。

また、海洋エネルギーの開発を進めるうえではステークホルダー間の合意形成が重要であるが、海域には漁業者、海運企業などの複雑な利害関係が存在する。欧州では1990年代後半から洋上風力発電の沖合展開とともに合理的な問題解決の方法が探られ、合意形成の手法確立が進んでいる<sup>(55)</sup>。日本でも海上保安庁が「海洋政策支援情報ツール（海洋台帳）」をWebGIS（ブラウザ上で地理情報を利用できるようにしたシステム）として整備しており、海底地形、海流などの自然情報と漁業権区域などの社会情報を統合的に利用できるようになりつつある<sup>(56)</sup>。これにより、海洋空間の利用に関する合意形成に必要な情報がオープンになった。海洋エネルギーの場合、エネルギーの賦存量、水深、底質、波浪、風、潮流、漁業権、漁法ごとの許可漁業などが適地選定の情報になるが、これらに加えて各漁協の経営状態や漁業者のイニシアチブの取り方も合意形成に大きく影響する。<sup>(57)</sup>

みずほ総合研究所株式会社 社会・公共アドバイザー一部  
政策・経営研究グループ 研究員 塚越 由郁

(51) University of Strathclyde, Energy Systems Research Unit (英・ストラスクライド大学エネルギーシステム研究ユニット), "Wave Power." <[http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web\\_sites/01-02/RE\\_info/wave%20power.htm](http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/01-02/RE_info/wave%20power.htm)>

(52) ハーヴィー 前掲注(16), p.550.

(53) 角田ほか 前掲注(1), p.26.

(54) ハーヴィー 前掲注(16), p.561.

(55) 同上, p.562.

(56) 海上保安庁海上情報部「海を拓く」(パンフレット) p.14. <<http://www1.kaiho.mlit.go.jp/images/panhu.pdf>>

(57) ハーヴィー 前掲注(16), p.563.