



技術戦略研究センターレポート

TSC Foresight

Vol. **28**

海洋エネルギー分野の 技術戦略策定に向けて

2018年7月

1 章 海洋エネルギー技術の概要	2
2 章 海洋エネルギー技術の置かれた状況	3
2-1 導入量・市場規模予測	3
2-2 特許・論文動向	7
2-3 国際標準化等の動向	8
2-4 海外における取組	9
2-5 我が国における取組	14
3 章 海洋エネルギー技術の課題	15
4 章 おわりに	19

TSCとはTechnology Strategy Center(技術戦略研究センター)の略称です。

1章 海洋エネルギー技術の概要

海洋エネルギーには、海底の石油、ガス、メタンハイドレート等の化石燃料や、洋上風力、海流、波力、潮流（もしくは潮力、潮汐力）、海洋温度差、塩分濃度差のような再生可能エネルギー等が含まれる。このうち、本レポートでは海流発電、波力発電、海洋温度差発電、潮流発電の4種を取り上げる。

(1) 海流発電

海流発電は、対流、自転等によって生じる海水の流れ（海流）の運動エネルギーを、水車（タービン）の回転に変換して発電するシステムである。

日本周辺の代表的な海流である黒潮は、東シナ海を北上してトカラ海峡から太平洋へ入り、日本南岸に沿って流れた後、房総半島沖から東進する海流で、最大で約4ノット（2.1 m/s）になる世界最大規模の海流である。なお、黒潮の流路は不定期に変動し、紀伊半島沖から沿岸を離れ、大きく迂回する流路で安定化することがあり、黒潮の大蛇行と呼ばれている。

(2) 波力発電

波力発電は、波のエネルギーを利用した発電システムであり、多種多様なエネルギー変換方式が開発されている。主に、波の力を一度空気の流れに変換する振動水柱式、可動物体を用いて機械エネルギーに変換する方式、貯水槽に波を打ち上げさせて、そこから落ちる水の流れを利用する越波式がある。

海洋の波は、時々刻々変化する風によって形成され、複雑な干渉により波高や周期が非常に不規則であるが、その変動は太陽光・風力に比べて激しくなく、予測しやすいエネルギー源と考えられている。波高は、海上を吹く風により、波が風を受けて発達しながら長距離進行することで高くな

る。世界的には、日本のような大陸の東側沿岸より、大洋に面して偏西風等の一様の風を受ける大陸西岸のほうがポテンシャルが大きい。

(3) 海洋温度差発電

海洋温度差発電は、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（熱）のエネルギーにより、タービンを回転させ発電するシステムである。

海洋の表層100m程度までの海水には、太陽エネルギーの一部が熱として蓄えられ、低緯度では年間を通じて26～30℃程度の温度に保たれている。一方、北大西洋や南極海で冷却された海水が低緯度へ移動すると、密度が相対的に大きく冷たい海水は深層へと沈み込むため、水深600～1,000mでは1～7℃程度の温度に保たれている。海洋温度差発電の経済性を成立させるには、表層と深層で平均20℃程度の温度差が必要とされ、日本では九州・沖縄等の南方が適地となる。

また、深海から汲み上げられる海洋深層水には、低温であることに加え、清浄性、富栄養性といった特徴があり、発電以外にも様々な用途に複合利用が可能である。具体的には、海水淡水化、清浄性・富栄養性の水産業への利用、空調等への冷熱利用、リチウムなどの金属回収などが挙げられる。

(4) 潮流発電

潮流発電は、潮の干満により海峡等で生じる海水の流れを、水車等によって回転エネルギーに変換して発電するシステムである。発電方式は水平軸タービンが主流であるが、形状や設置方式は様々である。

潮流は、地球・月・太陽の公転及び自転によって生じる規則的・周期的な流れである。内湾や海峡においては、海水が一方方向に流れ出してから、流速が次第に大きくなって極大に達した後、次第に小さくなって停止する。次いで反対の方向に流れ始め、極大に達した後、再び停止する。潮流の向きが変わるのは、多くの場所では1日に4回であ

海洋エネルギー分野の技術戦略策定に向けて

るが、場所によって2回の場合もある。

これらの海洋エネルギーは、天候に左右される太陽光や風力と比較し、変動が少なく利用しやすい特性のエネルギー源が多い。さらに、四方を海に囲まれ多数の離島からなる我が国においては、ポテンシャルが大きく陸上の制約も少ないエネルギー源でもある。また、世界的にも商用化の事例は少なく、今後新規市場の開拓が期待されている。

2章 海洋エネルギー技術の置かれた状況

2-1 導入量・市場規模予測

(1) 世界

世界的に、ほとんどの海洋エネルギー発電技術は商用段階に至っていないため※1、導入は小規模な実証レベルにとどまっている。主に欧州、北米、アジア、オーストラリアにおいて、各種実証事業が進められており、その多くが潮流発電、波力発電である（図1、図2）。

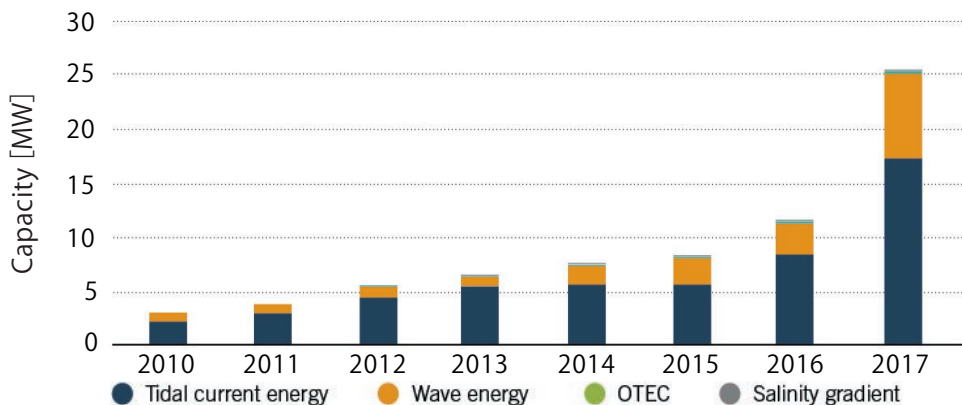


図1 世界の海洋エネルギーの種類別導入量推移※2

出所：OES Annual Report 2017 (IEA, 2018)

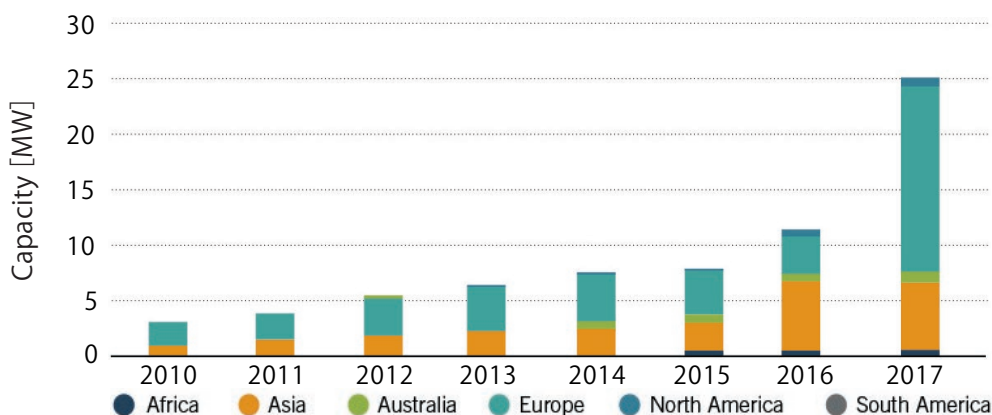


図2 世界の海洋エネルギーの地域別導入量推移

出所：OES Annual Report 2017 (IEA, 2018)

※1 商業発電が行われている例として、潮汐力発電が挙げられ、フランス、韓国、カナダにおいて商用発電が行われている。

※2 潮汐力発電は含まれていない。

海洋エネルギー分野の技術戦略策定に向けて

2020年までの短期的な導入量予測としては、主に再生可能エネルギーの導入の下地が整った欧州において、潮流発電と波力発電の導入が見込まれている。図3にそれぞれの見通しを示す。

長期的には、IEA (International Energy Agency: 国際エネルギー機関) において海洋エネルギーの導入量がシナリオ別に推計されており、2040年までに世界全体で約9～34GWの導入が予測されている(図4)^{※3}。

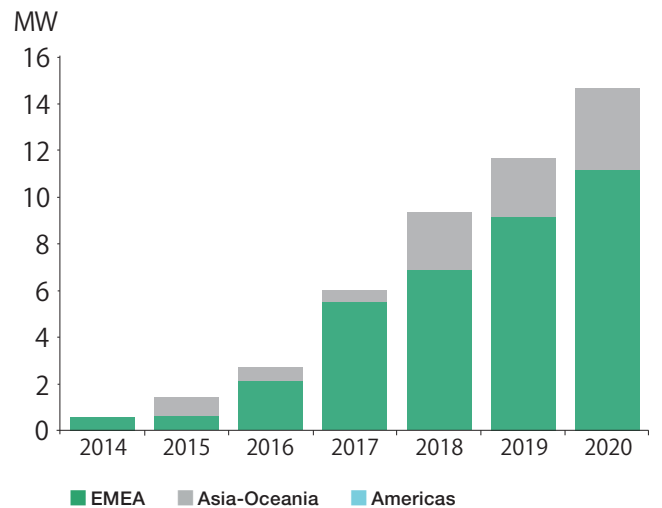
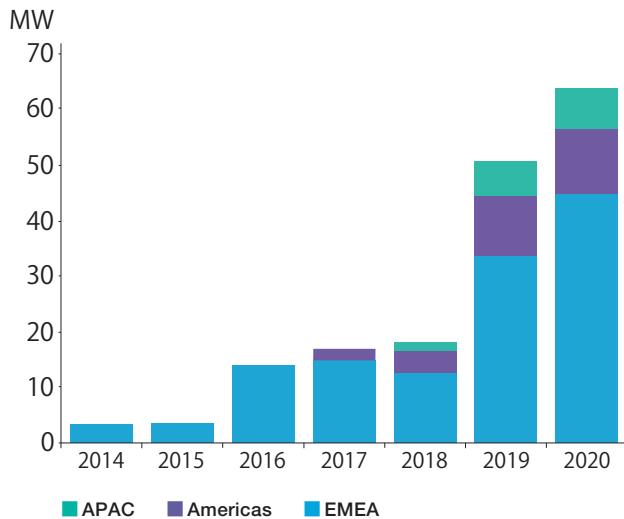


図3 世界の海洋エネルギー導入量見通し(左:潮流発電、右:波力発電)

出所: Tidal Stream 1H 2017 – High Hopes But Also Anxiety (Bloomberg New Energy Finance, 2017), Wave power and ocean thermal, H2 2016: a few splashes (Bloomberg New Energy Finance, 2016)

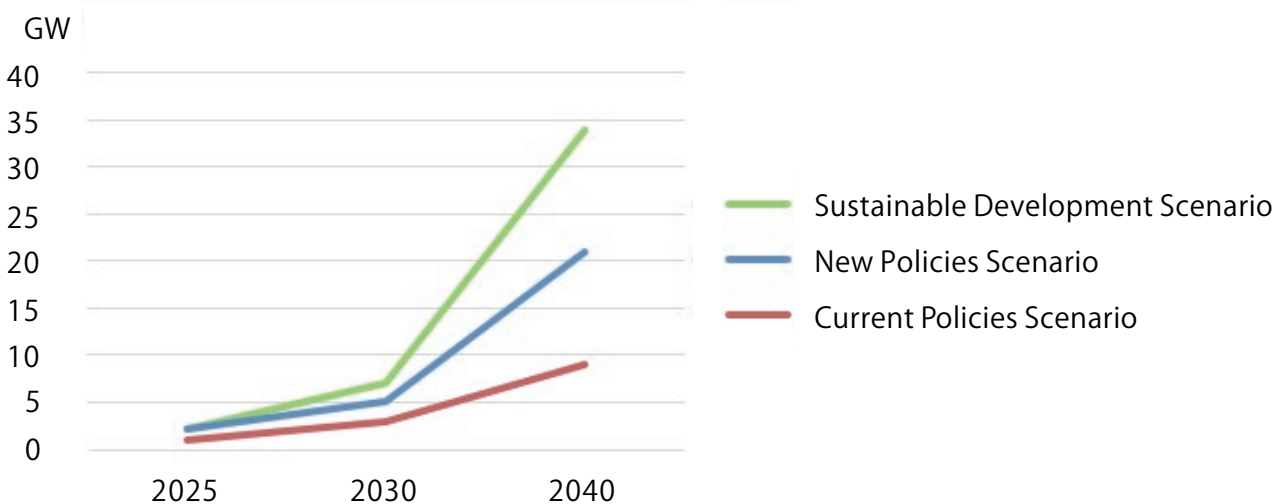


図4 IEAの各シナリオにおける海洋エネルギーの導入量予測

出所: 「IEA World Energy Outlook 2017」を基にNEDO技術戦略研究センター作成(2018)

※3 Current Policies Scenario (現状の政策から進展しない消極的シナリオ)、New Policies Scenario (現状公表されている、もしくは検討されている政策に基づいたシナリオ)、Sustainable Development Scenario (パリ協定における目標や、国連の持続可能な開発目標(SDGs)の達成を踏まえたシナリオ)の3パターンからなる。

海洋エネルギー分野の技術戦略策定に向けて

(2) 国内

日本の海洋エネルギー導入ポテンシャルについて、NEDO「平成22年度成果報告書 海洋エネルギーポテンシャルの把握に係る業務」では、海洋エネルギーのポテンシャル（賦存量）と導入ポテンシャルを、エネルギー別に試算している。

表1に試算結果を、図5にポテンシャルマップを示す。表1における導入ポテンシャルは、物理的なエネルギーのポテンシャル（賦存量）に対して、地理的条件を考慮し、発電設備を“理想的に”設置した場合の設備容量及び発電量を表している*4。

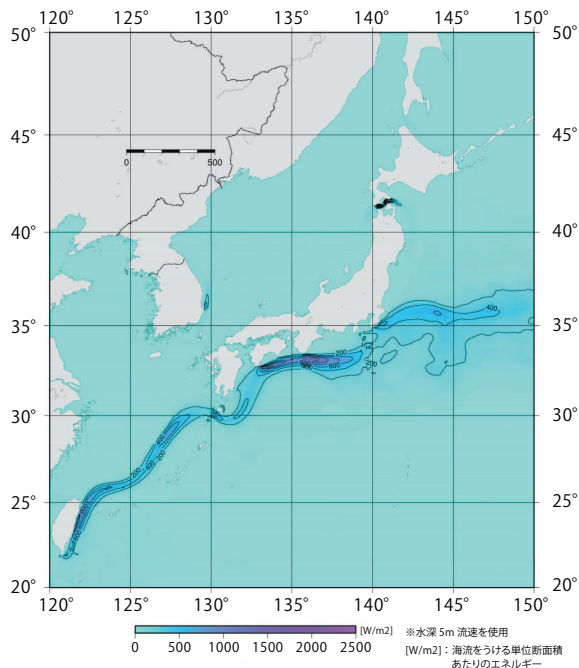
表1 国内の海洋エネルギーポテンシャル試算結果

	海流		波力		海洋温度差		潮流
海洋エネルギーポテンシャル（賦存量）[GW]	205		195		904 (GWth)		22
導入ポテンシャル（設備容量）[GW]	離岸距離 30kmまで	離岸距離 100kmまで	15kW/m 以上	10kW/m 以上	陸上設置のみ	離岸距離 30kmまで	2
	1	4	5	25	2	6	
導入ポテンシャル（発電量）[TWh/年]	10	31	19	87	15	47	6

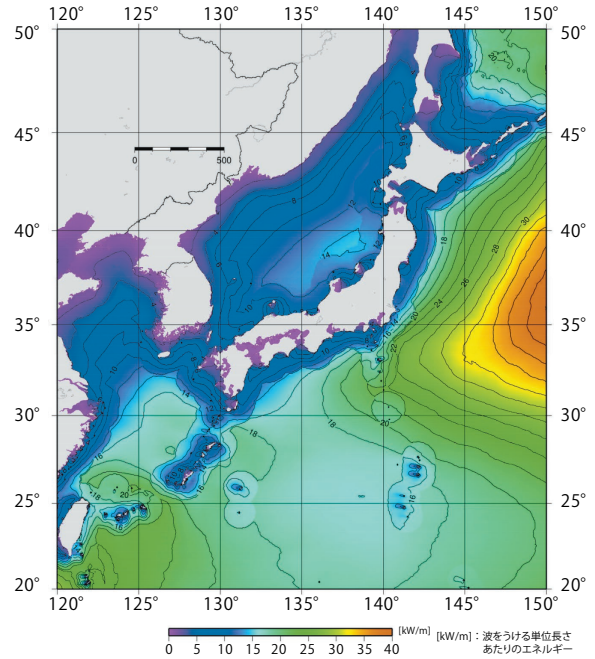
出所：NEDO「平成22年度成果報告書 海洋エネルギーポテンシャルの把握に係る業務」（2011）

*4 発電種類別において、発電可能なエネルギー密度や海域の条件が設定されている。表1においては、海洋温度差発電は20℃以上の温度差の海域を、海流発電は流速1.0m/s以上で発電を、波力発電は沿岸設置型と沖合の離岸距離30km、水深100m未満の海域を想定した試算値を記載している。

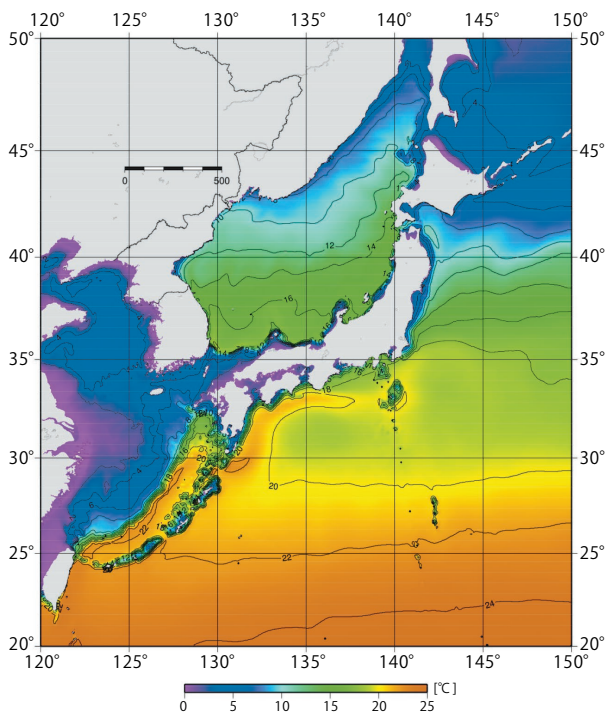
海洋エネルギー分野の技術戦略策定に向けて



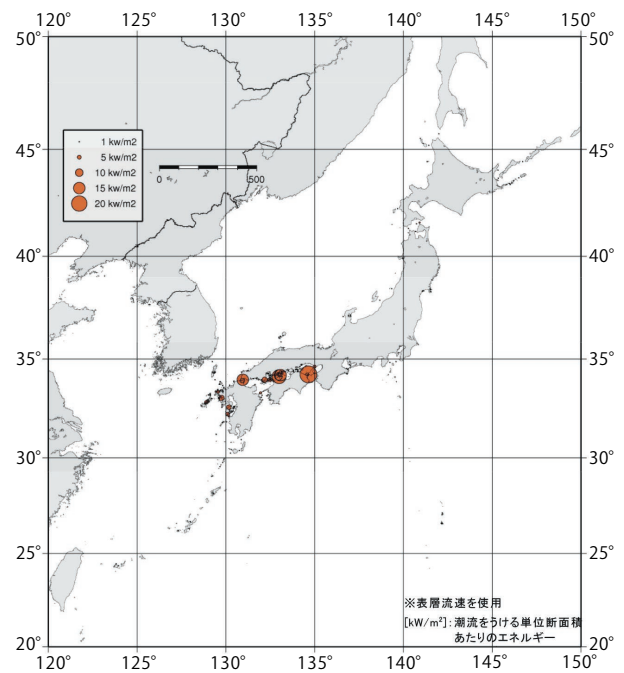
a. 海流



b. 波力



c. 海洋温度差



d. 潮流

図5 海洋エネルギー別ポテンシャルマップ

出所：NEDO「平成22年度成果報告書 海洋エネルギーポテンシャルの把握に係る業務」(2011)

海洋エネルギー分野の技術戦略策定に向けて

2-2 特許・論文動向

図6に、2000年以降の海洋エネルギーの種類別特許出願件数国別内訳を示す。潮流発電と海流発電については、技術の分別が難しいため、合計値を示した。

潮流・海流、波力では中国・韓国の出願数が特に多く、潮流・海流に関しては英国が、波力に関しては米国がそ

のあとに続く。海洋温度差に関しては、米国の出願数が最も多い。なお、日本の出願数は各分野いずれも4番目である。

論文については、海洋エネルギー発電に使われる技術が、その発電方式に応じて、機械工学、流体力学、船舶・海洋工学、熱工学等の分野の技術が組み合わされて成り立っているため、分野を区別して傾向を示すことは難しい状況にある。

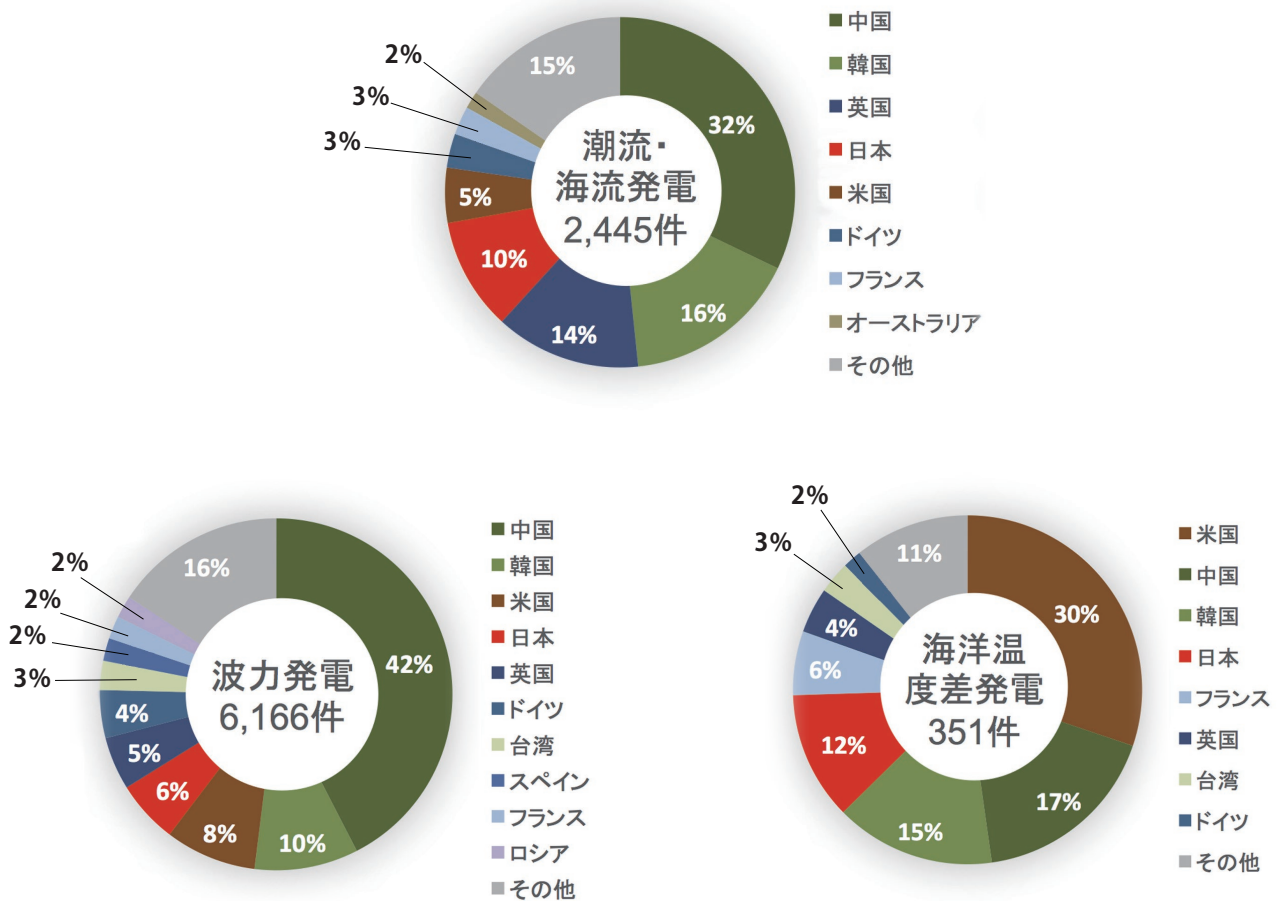


図6 海洋エネルギーの種類別特許出願件数の国別内訳

出所：NEDO「平成28年度 出願特許における日本のポジションに関する情報収集」を基にNEDO技術戦略研究センター作成(2017)

海洋エネルギー分野の技術戦略策定に向けて

2-3 国際標準化等の動向

2007年に、国際電気標準会議（IEC：International Electrotechnical Commission）において国際海洋エネルギー変換器標準化委員会（TC114）が設けられた。TC114の活動に対し、日本では一般社団法人電気学会が国内審議団体となっており、そのもとで一般財団法人日本海事協会、電源開発、東芝が事務局として国内委員会（委員長：佐賀大学 永田海洋エネルギー研究センター長）を組織し、国際規格案等の審議等を行っている。

TC114では、海洋エネルギーとして波力、潮流、河川流及び海洋温度差を取り上げており、波力発電と潮流発電については、それぞれ発電性能評価と資源量評価、設計要件に関する規格を発行済である。現在発行済の規格を表2に示す。海流については、今のところ対象外となっているが、2018年に改正作業を開始したTS62600-200において、海流発電の性能評価を附属書に記載することになっている。海洋温度差発電プラントについては、設計及び解析のための一般ガイダンスが2018年内に発行される予定となっている。

表2 発行済の海洋エネルギー関連国際規格

規格番号	概要
IEC/TS 62600-1	用語集
IEC/TS 62600-2	海洋エネルギーシステムの設計要件
IEC/TS 62600-10	海洋エネルギー変換器の係留設備評価
IEC/TS 62600-100	波力エネルギー変換器の発電性能評価
IEC/TS 62600-101	波力エネルギー資源量評価
IEC/TS 62600-102	波力エネルギー変換器の測定された評価データによる2ヶ所目における発電性能評価
IEC/TS 62600-200	潮流エネルギー変換器の発電性能評価
IEC/TS 62600-201	潮流エネルギー資源量評価

出所：IEC ホームページを基に NEDO 技術戦略研究センター作成（2018）

海洋エネルギー分野の技術戦略策定に向けて

2-4 海外における取組

海外における海洋エネルギー政策については、国によって大きく異なる。全体的に、海洋エネルギーの推進政策について、他の再生可能エネルギーと比較して十分に整備されている国は少ない。導入量目標については、欧米の一部の国においてのみ設定され、FIT やグリーン電力証書等の市場インセンティブは、英国、カナダなどにおいて設定されている。

その他、排他的経済水域を有する各国において、研究開発・技術開発に関する支援や、海洋空間計画等の海域利用に係る制度整備、実証試験サイトの整備等が行われている。

(1) 欧州

EUでは、2020年における再生可能エネルギーの電力比率を20%まで高めることを目標としており、各国はこの目標達成に向けてNational Renewable Energy Action Plan (NREAP) を作成している。これらの計画によるとEUにおける2020年までの海洋エネルギーの導入量目標は2253MWであり、2016年には641MWの導入が期待されたが、実際の導入量は254MWであった。ただし、この値はフランスで1967年から稼働している潮汐発電240MWを含む値であり、これを除くと14MWとなる。

ECの技術開発プログラムとしては、Horizon2020において潮流発電や波力発電に関する複数のプロジェクトが実施されている(表3)。

表3 Horizon2020における主な海洋エネルギープロジェクト

分野	タイトル	主なメーカー	主な内容
潮流	FloTEC (Floating Tidal Energy Commercialisation project)	Scotrenewables tidal power	浮体式潮流発電のフルスケール実証と、ローター大口径化やメンテナンス性の向上等によるLCOE20%削減
	InToTidal (Demonstration of Integrated Solution for offshore Tocado Tidal power plants)	Tocado International	低コスト潮流発電システムの実証
	PowerKite (Power Take-Off System for a Subsea Tidal Kite)	Minesto	実海域試験等によるパワーテイクオフ (PTO) の最適化 (高信頼性や低環境影響の確立)
	TAOIDE (Technology Advancement of Ocean energy Devices through Innovative Development of Electrical systems to increase performance and reliability)	ORPC Ireland	海中で運転可能なwet-gap発電機の開発等によるコスト低減、稼働率98%超の達成等
	DEMOTIDE (Demonstration for Tidal Industry Derisking)	Atlantis Resources	複数機アレイでの低コスト潮流発電の実証 (MeygenプロジェクトのPhase1B)
	EnFAIT (Enabling Future Arrays in Tidal)	Nova Innovation	複数機アレイでの潮流発電の経済性や信頼性等の実証
	OCTARRAY (Scaling up to the Normandie Hydro Open-Centre Tidal Turbine Pilot Array)	OpenHydro	センターオープン式潮流タービンによる複数機アレイでの実証
波力	CEFOW (Clean energy from ocean waves)	Wello	実海域実証や新規係留方法、電線コネクタ開発等によるLCOEの低減、維持管理の最適化、稼働率向上
	OPERA (Open Sea Operating Experience to Reduce Wave Energy Cost)	OceanTEC	振動水柱式における効率50%超のタービン、ラッチングと予測制御、複数機係留索等の開発によるLCOE50%以上低減
	WaveBoost (Advance Braking Module with Cyclic Energy Recovery System (CERS) for enhanced reliability and performance of Wave Energy Converters)	Corpower Ocean	Point Absorber式のPTOの性能向上等による年間発電量25%向上、LCOE30%以上低減
	SEA-TITAN (Surging Energy Absorption Through Increasing Thrust and efficiency)	Wedge Global	Point Absorber式のPTOの性能向上や低コスト化等の開発
	MegaRoller (Developing the PTO of the first MW-level Oscillating Wave Surge Converter)	AW Energy	OWSC式波力発電のPTO及び制御システムの開発と実証によるLCOE150ユーロ/MWh以下への低減

出所：各種資料を基にNEDO技術戦略研究センター作成(2018)

海洋エネルギー分野の技術戦略策定に向けて

2016年9月には、ECより「SET Plan – Declaration of Intent on Strategic Targets in the context of an Initiative for Global Leadership in Ocean Energy」が発表され、潮流発電と波力発電に関して2030年、2035年までに達成すべき発電コスト目標が示されている（表4）。

欧州の中でも、英国は特に潮流、波力のポテンシャルに恵まれており、市場インセンティブ、ロードマップ、技術開発支援等の施策が他国に比べて充実している。例えば、

市場側の支援策として、差額決済契約（Contract for Difference : CFD）を導入^{※5}しており、潮流発電及び波力発電もその対象となっている（表5）。

技術開発・実証研究支援の一環としては、スコットランドオークニー諸島の実証サイトEMEC（European Marine Energy Centre）や北東イングランドの実験施設Narec（National Renewable Energy Centre）、南西イングランドの波力発電実証サイトWave Hub、FaB Test等の試験サイトが整備され、潮流発電を中心に中～大規模の

表4 ECにおける潮流発電と波力発電の発電コスト目標 [¢/kWh]

	2025	2030	2035
Tidal stream	15	10	—
Wave	20	15	10

出所：SET Plan – Declaration of Intent on Strategic Targets in the context of an Initiative for Global Leadership in Ocean Energy (EC, 2016) を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2018)

表5 英国のCFDにおける海洋エネルギーの基準価格案 [£/MWh]

	Delivery Year	
	2021/22	2022/23
Tidal stream	300	295
Wave	310	300

出所：Strike price methodology (Department for Business, Energy & Industrial Strategy, 2016) を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2018)

※5 発電事業者が、政府の決定した基準価格 (Strike Price) と、その時々のおける平均電力価格の差額を受け取ることができる制度。

海洋エネルギー分野の技術戦略策定に向けて

プロジェクトが複数進行している（表6）。

2011年に発表された「UK Renewable Energy Roadmap」では、海洋エネルギーについて2050年までに27GW導入の可能性があるとしている。英国Carbon Trustの見込みでは、英国における導入可能量は潮流発電が20.6TWh/year、波力発電が50 TWh/yearとしている。

英国以外の欧州各国においても、多くの国でFITが導入されているが、現状の海洋エネルギーの技術

成熟度を反映した買取価格設定を行っている国は少ない（表7）。また、実証サイトに関しては、フランス、ベルギー、オランダ、アイルランド、スペイン、ポルトガル、デンマーク、ノルウェー、スウェーデンの各国で、潮流発電や波力発電を対象に整備されている。

なお、海洋温度差発電に関しては、欧州沿岸部は適地とならないものの、フランスの造船業大手のNaval Groupが、フランス海外県のマルティニークや東南アジア等への導入を見据えた開発を行っている。

表6 英国における主な潮流発電のプロジェクト

プロジェクト・デバイス名	場所	規模	採用技術	ステータス等
MeyGen Phase 1A	Pentland Firth, Scotland	6MW (1.5MW×4 devices)	3:Andritz Hydro Hammerfest, 1:Atlantis Resources	2018年4月設置完了 Phase3までに398MWへ拡大予定
Shetland Tidal Array	Shetland, Scotland	300kW (100kW×3 devices)	Nova Innovation	2016年導入開始、 600kWまで拡大予定
SR2000	EMEC(Orkney), Scotland	2MW	Scotrenewables tidal power	2016年10月設置
Plat-I	Connel Sound, Scotland	280kW	Schottel Hydro	2017年11月設置
Deep Green Tidal Plant	Holyhead Deep, Wales	0.5MW	Minesto	建設中、10MWまで拡大予定
Sound of Islay Tidal Array	Sound of Islay, Scotland	10 MW	Atlantis Resources, Andritz Hydro Hammerfest	計画中

出所：各種資料を基に NEDO 技術戦略研究センター作成（2018）

表7 欧州各国における海洋エネルギーのFIT 価格

国	種類	価格 [€/kWh]	備考
イタリア	潮流・波力	30	1~5,000kW
ドイツ	潮流・波力	3.47~12.4	規模による、水力と同じ基準、塩分濃度差含む
フランス	潮流	17.3	2016年5月まで
オランダ	潮流・波力	9~13	塩分濃度差も含む、フェーズによる
ポルトガル	波力	10~26	規模による
デンマーク	波力	5~8	水力と同じ基準。6kW超の場合のPremium tariff

出所：各種資料を基に NEDO 技術戦略研究センター作成（2018）

海洋エネルギー分野の技術戦略策定に向けて

(2) 北米

米国エネルギー省 (Department of Energy : DOE) は、国内の海洋エネルギーのポテンシャル評価 (表8) を行っている。特に波力発電のポテンシャルが大きく、経済性を考慮した導入可能量は、522TWh/yearと試算している。

技術開発プロジェクトについてはDOEのWater Power Technologies Officeのプログラムを中心に多数実施されており、一例としては2015年に開始されたWave Energy Prizeがある。この事業はコンペティション形式であり、波力発電の効率を倍増させる革新的デバイスを募って、優勝者には賞金150万ドルが与えられている。

波力発電に関しては一部用途で商用段階にある。一例として、2005～2011年頃にかけて各地で実証試験を行ったOcean Power Technologies社は、現在は海洋気象観測や海防、通信等での電力供給に向けて、多様な展開を目指すとしている。

海洋温度差発電については、ポテンシャルがハワイ州に集中しており、主にハワイ州による開発支援等の施策が講じられている。代表プレイヤーとしては大規模な浮体式の研究を行っているLockheed Martin社が挙げられる。

試験サイトについては、米国海軍のNavy's Wave Energy Test Site (ハワイ) の他、主にDOEのWater Power Programの支援のもと、Northwest National Marine Renewable Energy Center (主に波力、河川流)、Southeast National Marine Renewable Energy Center (主に海流)、Hawaii National Marine Renewable Energy Center (主に海洋温度差、波力) 等、多数整備されている。

カナダでは2011年に天然資源省 (Natural Resources Canada) が、潮流、波力や河川流等の再生可能エネルギーの2030年までの目標を定めた「Marine Renewables Technology Roadmap」を策定している (表9)。

表8 米国の海洋エネルギーポテンシャル [TWh/year]

	Theoretical resource potential	Technical resource potential
Wave	1,594~2,640	898~1,229
Tidal streams	445	222~334
Ocean current	200	45~163

出所：Department of Energy ホームページを基にNEDO技術戦略研究センター作成(2018)

表9 カナダの海洋エネルギーロードマップにおける目標値

	2016	2020	2030
Capacity [MW]	75	250	2,000
Annual economic value [\$]			2 billion
Rate of global projects using Canadian technologies or expertise [%]		30	50

出所：Natural Resources Canada ホームページを基にNEDO技術戦略研究センター作成(2018)

海洋エネルギー分野の技術戦略策定に向けて

また、大西洋に面した東部に位置するノバスコシア州では、500kW以上の潮流発電を対象とした Developmental Tidal Feed-in Tariff Program^{※6}において規模に応じた金額設定がなされており(表10)、潮流のポテンシャルの大きいファンディ湾において、既に5事業が承認されている(表11)。

試験サイトについては、ファンディ湾に潮流発電用の Fundy Ocean Research Centre for Energy (FORCE) が、波力発電については、Newfoundland 島南岸に Wave Energy Research Centre が整備されている。

(3) アジア

中国においては、中国科学技術部が策定した「再生可能エネルギー技術開発プログラム(2016-2020)」において、MW級潮流発電タービンの開発や、100kW級波力発電デバイスの開発が掲げられている。また、2016年12月に策定された「再生可能エネルギー発展13次五カ年計画」においては、海洋エネルギーモデル基地の初歩的な建築、100kW級の波力発電、MW級の潮流発電モデル事業の重点的实施、浙江省・福建省において万kW級の潮汐力発電所の建設を開始するとしている。

また、国家海洋局と国家海洋技術センターが策定した「海洋エネルギー開発戦略」では、海洋エネルギーの技

表10 ノバスコシア州 Developmental Tidal Feed-in Tariff における FIT 価格

	Scale [MWh/year]	Rate [¢ /kWh]
Developmental (15 year term)	≤16,640	53
	>16,640	42
Testing-in a declining block structure : Path1 (for 3 years)	≤3,330	57.5
	>3,330	45.5
Testing-in a declining block structure : Path2 (15 years and follows Path1)	≤16,640	49.5
	>16,640	38.5

出所: Nova Scotia Department of Energy ホームページを基に NEDO 技術戦略研究センター作成(2018)

表11 ファンディ湾の潮流発電プロジェクト

事業者、主なプレイヤー	承認規模 [MW]
Minas Energy、Tocado Tidal Power	4.0
Black Rock Tidal Power、Schottel Hydro	5.0
Atlantis Operations Canada、DP energy	4.5
Cape Sharp Tidal Venture、OpenHydro	4.0
DP Marine Energy、Halagonia Tidal Energy	4.5

出所: 各種資料を基に NEDO 技術戦略研究センター作成(2017)

※6 ノバスコシア州の FIT 制度の一つ。主に大型の潮流発電を対象に制定された。

術成熟度を上げ、離島・洋上での適用を促進するとしている。さらに、国家海洋局が2016年12月に発表した「海洋エネルギー発展13次五カ年計画」においては、離島の再生可能エネルギーシステムにおける海洋エネルギーの開発や、2020年までに50MW導入を目標とすることが設定されている。海洋エネルギーの試験サイトについては、山東省威海、浙江省舟山、広東省万山の3か所で整備されている。

韓国では、2014年に発表された「第4次新・再生可能エネルギー基本計画」において、海洋エネルギーの目標割合が示されている(表12)。

技術開発については、主に海洋水産部による支援がなされており、波力、潮流、潮汐力に加え、韓国ではポテンシャルが非常に小さい海洋温度差発電についても開発が行われ、南太平洋諸国との協力を目標として掲げている。

市場側の支援策としては、2012年にFITからRPS (Renewable Portfolio Standard) ※7に移行しており、再生可能エネルギーの発電に対し証書(REC: Renewable Energy Certificate)を発行し、市場取引が可能な制度としている※8。RECでは発電種類ごとの優遇倍率が設定されており、潮汐発電は1.0、堤防式でない潮汐発電と潮流発電は2.0であるが、波力発電と海洋温度差発電については設定されていない。

表12 韓国の海洋エネルギー導入目標割合[%]

	2020	2025	2035
エネルギー供給に占める再エネ・新エネの割合目標値	5.0	7.7	11.0
上記再エネ・新エネのうち、海洋エネルギーの割合	2.4	1.6	1.3

出所：The 4th Basic Plan for New and Renewable Energies (韓国エネルギー委員会, 2014) を基に NEDO 技術戦略研究センター作成(2018)

2-5 我が国における取組

国内の技術開発は1980年頃から、国や自治体の事業や大学の研究を中心に進められてきたが、2000年以降、研究開発は一旦縮小していた。近年、内閣府総合海洋政策推進事務局によって、実証試験のための海域として、6県8海域(2017年11月時点)が選定され、環境省や文部科学省の事業においても実証試験が行われる等、海洋エネルギーの実用化に向けた開発が推進されている。

経済産業省とNEDOにおいては、平成23年度から平成29年度まで、「海洋エネルギー技術研究開発事業」を実施し、波力、潮流、海流、海洋温度差の各種発電技術の開発を推進してきた。この事業では、共通基盤研究から要素技術開発、スケールモデルによるシステム実証までの開発が行われた。平成30年度からの「海洋エネルギー発電実証等研究開発事業」では、次の段階として、1年以上の長期実証研究を実施し、2030年以降の海洋エネルギー発電の早期実用化を目的としている。

なお、波力発電について、電力事業用ではなく洋上観測ブイ等への電力供給用としては、限定的ではあるが既に実用化している。1965年に海上保安庁に採用された益田式航路標識用ブイは、小型ながら最初に実用化された浮体式の振動水柱型装置(最大出力30W~60W)である。

※7 電気事業者に対して発電電力量の一定比率を再エネ電源で賄うことを義務付ける制度。

※8 売電価格は系統限界価格(SMP: System Marginal Price)とRECの価格に発電種類ごとの優遇倍率を掛けた値の合計とみなせる。2015年3月時点でSMPは11セント/kWh、RECは8セント/kWhである。

3章 海洋エネルギー技術の課題

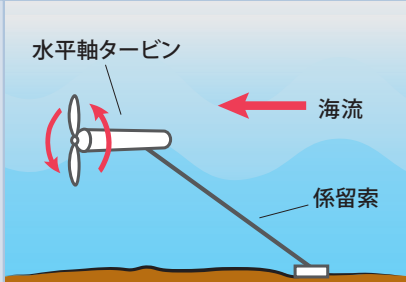
海洋エネルギーは、他の再生可能エネルギーと比べて技術成熟度が低く、発電コスト見通しが高いことから、コストの低減が重要な課題となる。また、各方式で技術成熟度や導入場所・規模の見込みが異なるため、個別の特徴を踏まえた課題解決も必要である。

共通の課題としては、長期運転に向けた耐久性や信頼性の向上（防水、生物付着、錆等への対策）や環境影響に係る調査・研究等が挙げられる。

(1) 海流発電

表13に、海流発電の主な特徴と課題を示す。海流は、基本的に一方向の流れであり、波力や潮流と比較し変動が少ないため、高い設備利用率（50%～70%）で運転可能である。黒潮の場合、流れの強い海域は、陸地から数km以上離れた水深も深い海域である。そのため海流発電については、海底や沿岸部に固定可能な潮流発電と異なり、発電デバイスを係留索で水中に浮遊させ続ける方式の開発が行われている。

表13 海流発電の主な特徴と課題

種類	技術の特徴	課題等
水中浮遊式 (水平軸タービン) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 水中浮遊体を海底から係留し、姿勢の安定制御を行いながら、プロペラで海流の流れを受け発電する方式。 ● 発電デバイスの位置・姿勢を制御することで、海流の流れに対応。 ● 海面に浮上可能であれば、効率的なメンテナンスも可能となる。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 発電デバイスの係留・海底固定技術、姿勢・水深の制御技術の確立が重要。 ● 陸から離れた海域での効率的な施工・メンテナンス方法の確立も必要。 ● デバイスの大型化も課題。

出所：各種資料を基に NEDO 技術戦略研究センター作成(2018)

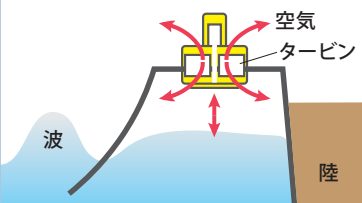
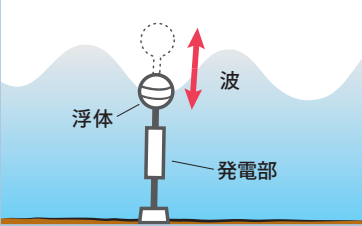
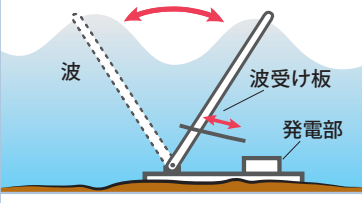
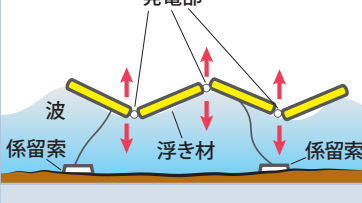
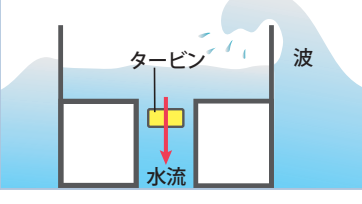
海洋エネルギー分野の技術戦略策定に向けて

(2) 波力発電

表14に、波力発電の主な発電方式別の特徴と課題を示す。波力発電については、多種多様なエネルギー変換方式が開発されているが、どの方式が性能及びコ

ストの面で優れているのか、いまだ絞り込まれていない。波の性質は気象や地理的条件によって異なることから、地域の特徴や利用形態に応じた発電方式を選択する必要がある。

表 14 波力発電の主な特徴と課題

種類	技術の特徴	課題等
振動水柱式 (OWC: Oscillating Water Column)	 <ul style="list-style-type: none"> ●装置内に空気室を設け、海面の上下動によって生じる空気室内外の圧力差によりタービンを回転させる。 ●往復気流中でも一方向に回転する衝動タービンやウェルズタービンが用いられる。 ●日本で開発されてきた波力発電においても多く採用されている。 	<ul style="list-style-type: none"> ●波力は天候等により出力が変動する電源であるため、安定した電源と比較して、より低コスト化が求められる。 ●海面の運動を利用するため、台風・荒波の対策も重要。 ●一部の方式では、波の周期により単機出力が変動するため、複数機で平準化が必要。 ●波力のエネルギー密度は比較的小さいため、小規模（～数百kW）のデバイスの複数機設置が望ましいが、多数機による沿岸、海域占有においては、他の海洋設備との組み合わせ等も重要。
Point Absorber	 <ul style="list-style-type: none"> ●浮遊構造物で水面や水面下の浮きを利用して波のエネルギーを吸収し、機械的エネルギーに変換する。 ●海外では比較的TRLが高いとされている。 ●ECのJRC (Joint Research Centre) による調査では、世界で開発中の波力発電の約4割はPoint Absorber式である。 	
可動物体式 Oscillating Wave Surge Converter (OWSC)	 <ul style="list-style-type: none"> ●振り子構造や逆振り子構造の波受け板等により、波の動きを受けて高圧水を発生させ、陸上等に設置した水力発電タービンへ送り込む。 	
Attenuator	 <ul style="list-style-type: none"> ●複数の浮き材を並べて互いに相対動可能に接続した筏体で波のエネルギーを吸収し、回転運動等に変換して発電する。 	
その他の可動物体式	波によるデバイスの振動を内側の偏心構造物の回転体やジャイロ스코ープの運動に変換する方式 (Rotating Mass)、水平軸タービンを利用する方式など。	
越波式 (Overtopping)	 <ul style="list-style-type: none"> ●貯水池などに越波させて貯留し、貯水面と海面の高低差を利用してタービンを回して発電する。 ●比較的構造は単純で可動部は少ないが、出力に対し設備が大型となる傾向にある。 	

出所：各種資料を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2018)

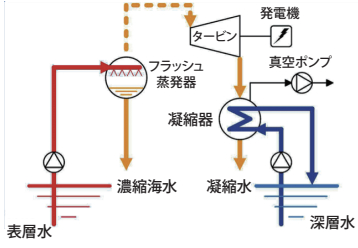
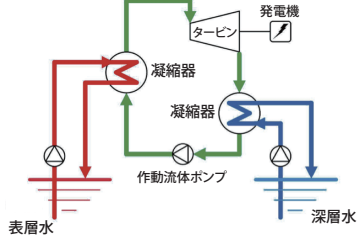
海洋エネルギー分野の技術戦略策定に向けて

(3) 海洋温度差発電

表15に、海洋温度差発電の発電方式別の特徴と課題を示す。海洋温度差発電は、昼夜の変動が小さく、比較的安定したエネルギー源であり、季節変動が予測可能であるため、ベース電源として計画的な発電が可能である。

作動流体のサイクルにより、フラッシュ方式のオープンサイクルとバイナリー方式のクローズドサイクルの2つに分類されるが、両者を組み合わせたハイブリッドサイクルも考えられている。

表15 海洋温度差発電の主な特徴と課題

種類	技術の特徴	課題等
オープンサイクル 	<ul style="list-style-type: none"> ● 表層水をフラッシュ蒸発させ、水蒸気を作動流体として用いてタービンを回す。 ● タービンから出る膨張した水蒸気は汲み上げられた深層水によって冷却されるが、この水は淡水となるため、海水淡水化の機能も兼ねることができる。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 他の熱機関による発電と比べて原理上変換効率が低いため、効率向上と所内消費電力の低減が重要。 ● 深層水取水管の施工等を含めた低コスト化が課題。 ● 取水管の大口径化が必要。ただし、大口径化した場合は長期耐久性が課題。また、洋上浮体式の場合は、動揺する浮体との接続維持も課題。
クローズドサイクル 	<ul style="list-style-type: none"> ● 蒸発器、タービン、凝縮器がパイプでつながれ、低沸点の作動流体が封入されている。 ● 作動流体にはアンモニアやフロン系媒体が用いられる。 ● 比較的発電量が大きく、またプラント全体の初期費用もより小さい傾向にある。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 大規模化した場合、排出する表層水より低温かつ栄養分の多い深層水の環境影響に対する考慮が必要。 ● 海洋深層水の複合利用は、初期費用の回収や環境影響低減の観点から有効であり、冷熱や淡水の需要に対応した最適な利用技術の開発も重要。

出所：各種資料を基にNEDO技術戦略研究センター作成、図は佐賀大学海洋エネルギー研究センター資料を基に作成(2018)

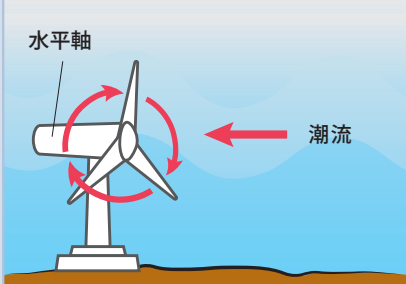
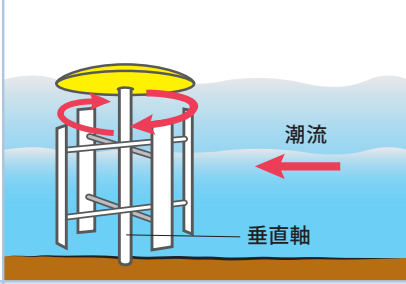
海洋エネルギー分野の技術戦略策定に向けて

(4) 潮流発電

表16に、潮流発電の主な発電方式別の特徴と課題を示す。潮流発電は、出力が周期的に大きく変動するものの、

その変動は高精度に予測可能な電源である。方式としては、水平軸タービンにより潮流を回転エネルギーに変換して発電する方式が主流である。

表16 潮流発電の主な特徴と課題

種類	技術の特徴	課題等
<p>水平軸タービン</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ● 海水の流れに対して水平な回転軸に取り付けたブレードによって発電する。 ● JRCの調査では、世界で開発中の潮流発電の4分の3は水平軸タービンである。 ● 羽の枚数や形状は様々な方式が開発されている。Openhydro社のようにダクトの内側に回転する多翼ローターが設置され、ローターの外側が軸受、発電機部分となる構造もある。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 潮流発電のコストは、狭い海峡などの地形に大きく依存する。 ● 国内の適地は西日本に集中している。流速の速い海峡等で、大型タービンを設置可能な場所は限定されるため、小規模化や低流速域対応も重要。 ● 潮流の速い海域における効率的な施工、メンテナンス方法の確立も重要。
<p>垂直軸タービン</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ● 海水の流れに対して垂直な回転軸に取り付けたブレードによって発電する。 ● 流れの方向に対する依存性が少ない。 ● 揚力を利用したダリウス式や抗力を利用したサボニウス式が代表的。 ● 一般的にブレードの製造がプロペラ式に比べて容易。 	
<p>その他の方式</p> <p>振動する水中翼を利用する方式や、海中でデバイス自体を風のように泳がせるような方式も開発されている。</p>		

出所：各種資料を基に NEDO 技術戦略研究センター作成（2018）

4章 おわりに

四方を海に囲まれた我が国にとって、海洋エネルギーの利用・開発はエネルギー・環境政策のみならず、産業政策、地域振興政策等の観点からも重要である。一方、海洋エネルギーの種類によって、導入可能量や場所、技術的成熟度、経済波及効果等がそれぞれ異なる。そのため、多様な発電方式の中から、我が国の環境に適した方式を見だし、技術開発を行う必要がある。

NEDOでは、2011年度から2017年度までの「海洋エネルギー技術研究開発事業」において、スケールモデル機の製作と実海域での実証試験を実施し、発電コスト 40円/kWhに資するデータを得るとともに、要素技術開発により発電コスト 20円/kWhに資するデータを取得する等の成果を得ている。

今後は、海洋エネルギー技術の実用化をより確かなものとするべく、長期間の実海域試験を通して、様々な季節・気象条件下での発電性能や信頼向上や生物付着・環境影響等の検証を行い、商用電源としての経済性を確立していくことが重要である。

技術戦略研究センターレポート

TSC Foresight Vol.28

海洋エネルギー分野の技術戦略策定に向けて

2018年7月13日発行

TSC Foresight Vol.28 海洋エネルギー分野 作成メンバー

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
技術戦略研究センター(TSC)

- センター長 川合 知二
- センター次長 矢島 秀浩
- 再生可能エネルギーユニット
 - ・ユニット長 矢部 彰
 - ・統括研究員 板倉 賢司 (2018年3月まで)
 - ・研究員 江川 光
 - 米倉 秀徳 (2017年8月まで)
 - 上野 伸子
 - 森 則之
 - 吉田 卓生 (2018年3月まで)
- ・フェロー 黒沢 厚志 一般財団法人エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部 部長

- 本書に関する問い合わせ先
電話 044-520-5150 (技術戦略研究センター)
- 本書は以下URLよりダウンロードできます。
<http://www.nedo.go.jp/library/foresight.html>

本資料は技術戦略研究センターの解釈によるものです。
掲載されているコンテンツの無断複製、転送、改変、修正、追加などの行為を禁止します。
引用を行う際は、必ず出典を明記願います。