

P-44 : 海洋エネルギー施設の環境影響
評価に関する研究委員会

報告書

2017年3月

公益社団法人日本船舶海洋工学会

目次

1. はじめに.....	1
2. 研究委員会の概要.....	3
2.1 組織.....	3
2.2 研究委員会の進め方.....	3
2.3 委員会開催履歴.....	4
3. 環境影響評価の国内外情勢の調査.....	5
3.1 はじめに.....	5
3.2 海洋再生可能エネルギーの効果.....	5
3.3 環境影響評価の現状.....	6
3.3.1 世界での協力体制.....	6
3.3.2 代表的な取り組み.....	6
3.3.3 各国の法制度・規則の整備状況.....	7
3.4 各発電方式の環境影響.....	10
3.4.1 共通の項目.....	10
3.4.2 風力発電.....	12
3.4.3 波力発電.....	12
3.4.4 潮流発電・海流発電.....	12
3.4.5 海洋温度差発電.....	13
3.5 おわりに.....	13
4. 実海域調査レポート.....	14
4.1 はじめに.....	14
4.2 各評価項目の概要.....	14
4.2.1 海生動物のタービンブレードへの衝突.....	14
4.2.2 水中音の影響.....	14
4.2.3 エネルギーの取り出しの影響.....	15
4.2.4 底生生物の変化・魚礁効果.....	15
5. おわりに.....	16

1. はじめに

近年、欧州を中心として海洋再生可能エネルギーの開発が進められている。洋上風力発電については、着床式が商業化の段階となり、浮体式も実海域実験が行われている。これに伴って、洋上風力発電施設の影響に関する調査、研究も進められている。一方、潮流発電、波力発電、海洋温度差発電などの海洋エネルギーについては、現在は実海域実験の段階にあり、本格的な商業化には至っていない。また、海洋エネルギー施設が環境に及ぼす影響についても不明な点が多い。たとえば、海洋エネルギー施設の影響は、従来の港湾の建設等が環境に及ぼす影響の項目に加え、海生動物のタービンブレードへの衝突、海底に設置された送電ケーブルからの電磁場の影響、魚礁効果など、新たな影響項目を多く含む。したがって、これらの影響の評価手法を確立していく必要がある。

国際エネルギー機関 (International Energy Agency/IEA) の海洋エネルギー実施委員会 (Ocean Energy Systems/OES) では、Annex IV として海洋エネルギー施設の影響に関する部会が 2010 年に設立された。IEA/OES Annex IV では、世界で実施されているプロジェクト、調査・研究、各国の取り組みなどの海洋エネルギー施設の影響評価に関する情報を収集し (図 1-1)、Tethys と呼ばれるホームページ (<https://tethys.pnnl.gov/>) 上で共有している。これらの検討に基づき、国際電気標準会議 (International Electrotechnical Commission/IEC) で何らかの規制がなされる場合も考えられる。一方、風力についても、WREN (Working Together to Resolve Environmental Effects of Wind Energy) が立ち上がっており、風力の環境影響評価に関する情報が集められている。Annex IV の活動は、Phase 1 (2010~2013 年)¹⁾、Phase 2 (2013~2016 年)²⁾を終え、現在 Phase 3 (2016~2020 年) に突入している。世界各国での実海域調査や研究の積み重ねによって、当初に比べると環境影響の不確かさがやや減少したが、依然として影響が不明な項目が残されている。

そこで、本研究委員会では、まず海洋エネルギー施設の影響評価に関する欧米の先進的な事例をレビューし、海洋エネルギー施設の影響評価手法やガイドラインの現状について調査した。さらに、主要な評価項目に対して、調査手法、調査結果、緩和手法等について取り纏め、評価技術の現状を整理するとともに、今後の技術課題を抽出した。これらの情報は、環境影響評価の実施主体にとって役立つものとなり、将来、環境影響評価法の対象として位置づけられる場合にも有用な情報となることが期待される。

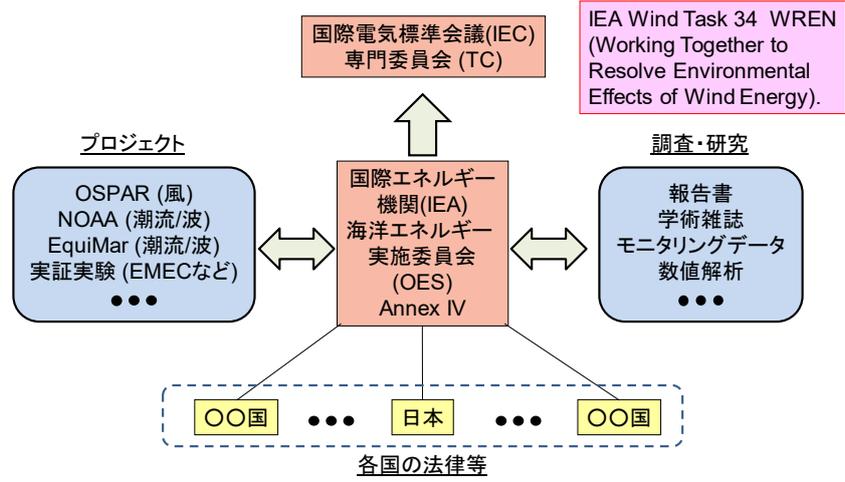


図 1-1 世界での海洋エネルギー施設の影響評価への取り組み

2. 研究委員会の概要

2.1 組織

本研究委員会のメンバーは、表 2-1 のとおりである。その他、オブザーバとして、海上技術安全研究所、東京海洋大学、株式会社環境総合テクノス、株式会社東京久栄、日本ミクニヤ株式会社の方にご参加いただいた。職種としては、海洋エネルギー発電事業者、環境関係の大学教員、環境コンサルティング会社より構成された。

表 2-1 研究委員会メンバー

役職	氏名	所属
	大塚 耕司	大阪府立大学大学院人間社会システム科学研究科
委員長	北澤 大輔	東京大学 生産技術研究所 海中観測実装工学研究センター
	黒田 桂菜	大阪府立大学大学院 人間社会システム科学研究科
	鈴木 隆男 前村 敏彦	三井造船株式会社 技術開発本部 技術総括部（平成 26～27 年度） 再生可能エネルギープロジェクトグループ（平成 28 年度）
	多部田 茂	東京大学大学院新領域創成科学研究科 環境システム学専攻
	寺尾 裕	東海大学海洋学部 マリンデザイン工学科
	中川 隆政	FlagshipJapan
	宮島 省吾	株式会社三井造船昭島研究所 事業統括部

2.2 研究委員会の進め方

海洋エネルギー発電施設の環境影響評価は、欧州を中心とした世界で先行して行われている。そこで、IEA/OES Annex IV で作成された報告書の一部を翻訳し、実海域での調査事例を記した文献、ウェブ上のレポートを抽出した。一つのプロジェクトにおいて、複数の評価項目が調査されているが、本研究委員会では評価項目ごとに調査と結果の動向をとりまとめることを目標とし、各評価項目で実海域調査レポートを作成した。A4 サイズで 2 ページからなる実海域調査レポートの構成は、プロジェクト名、プロジェクト内容（開発者、エネルギーの種類、発電容量（定格）、場所、水深、自然条件、実施期間、参考資料）、目的・調査計画、調査方法・時期、結果と予測・評価手法、環境保全措置として、海域図や発電機の図、観測手法・結果に関する代表的な図表を添付した。これらの成果の概要を評価項目ごとにとりまとめた。

また、随時、海外での環境影響評価の現状や国内での実海域調査の事例について情報交換を行った。さらに、International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAЕ)や海洋工学シンポジウムでセッションを立てた。

2.3 委員会開催履歴

本研究委員会は、3年間で計8回開催した。委員会の日時、場所、出席者数、主な議題を表2-2に示す。

表 2-2 委員会開催履歴

回	日時	場所	出席者数	主な議題
1	平成26年9月2日 (火) 14:00~17:00	東京大学 生産技術研究所 E棟ラウンジ	7	<ul style="list-style-type: none"> 研究委員会の目的 情報交換 委員の拡充 自由討論
2	平成26年12月20日 (土) 9:50~12:10	大阪府立大学 I-site なんば カンファレンス ルーム C2	8	<ul style="list-style-type: none"> 研究委員会の目的 評価項目と事例の検討 情報交換 今後の方針
3	平成27年3月4日 (水) 10:15~11:50	東京大学 生産技術研究所 An-403	8	<ul style="list-style-type: none"> 実海域調査レポート 浮体式洋上風車 WG 報告書 Annex IV meeting report
4	平成27年9月18日 (金) 15:00~16:45	東京大学 生産技術研究所 C棟ラウンジ	8	<ul style="list-style-type: none"> 実海域調査レポート 情報交換 学会でのセッション
5	平成28年3月10日 (木) 9:30~11:00	東京大学 生産技術研究所 E棟ラウンジ	4	<ul style="list-style-type: none"> 学会でのセッション 日本での現地調査事例 実海域調査レポート
6	平成28年7月8日 (金) 13:00~15:00	大阪府立大学 I-site なんば 3階 R6	6	<ul style="list-style-type: none"> 実海域調査レポート IEA/OES Annex IV Phase 2 レポート 情報交換
7	平成28年9月16日 (金) 13:00~15:00	東京大学 本郷キャンパス 工学部3号館 413会議室	7	<ul style="list-style-type: none"> 海洋温度差発電の環境影響評価 実海域調査レポート 日本での現地調査事例
8	平成28年12月12日 (月) 14:00~16:00	大阪府立大学 I-site なんば 3階 R6	7	<ul style="list-style-type: none"> 研究委員会報告書(案)の検討 シンポジウムの対応

3. 環境影響評価の国内外情勢の調査

3.1 はじめに

本研究委員会は、波力、潮流、海流、温度差などの海洋エネルギーを対象としている。これらの海洋エネルギーと、洋上の空間を利用する風力発電を合わせて、海洋再生可能エネルギーと呼ぶこととし、本報告書では洋上風力発電の環境影響評価にも触れる。海洋再生可能エネルギー発電施設の環境への影響には、正の影響（効果）と負の影響とが考えられる。Environmental effects と Environmental impacts が区別して用いられる場合があり、Effects は、広い意味で発電事業と海洋環境との相互作用、Impacts は、Effects の中で、環境に負の影響を及ぼすレベルになりうるものと定義されている³⁾。日本では、環境影響評価は Environmental Impact Assessment と訳され、Impacts に着目しがちであるが、Effects は海洋再生可能エネルギー開発の動機となっているため、十分に認識しておく必要がある。

海洋再生可能エネルギー発電施設の環境への影響は、現在、世界各国で調査や研究が行われている。日本でも、風力発電施設が、環境影響評価法の対象となり、陸上の風車に加えて、神栖市等での着床式洋上風車、栂島沖、福島沖の浮体式風車などの環境影響評価の事例が集まってきた。しかし、海洋再生可能エネルギー発電施設の環境への影響については、まだ不明な点も数多く残されている。本研究委員会では、主に文献やインターネット上のレポートを収集し、海洋再生可能エネルギーの環境影響評価の体制や現状を整理したので、以下に簡単にまとめる。

3.2 海洋再生可能エネルギーの効果

近年、世界各国において、陸上、洋上を問わず、再生可能エネルギーの開発が活発に進められている。これは、二酸化炭素排出量を削減することによって地球温暖化の防止に貢献できるとの考えに基づくものである。また、エネルギー安全保障や産業育成、雇用創出も期待される。大気中の二酸化炭素濃度が上昇し、気温が上昇すると、表層の海水温も上昇するものと考えられる。海生動物の摂餌、代謝、回遊等の活動は、水温に強く依存するため、海水温の上昇は海生動物の成長や分布に大きな影響を及ぼす⁴⁾。また、底層の海水温の上昇率は、海面水温の上昇率に比べて低いと考えられるため、成層構造がより強固なものとなる。一方、二酸化炭素に加え、窒素化合物、硫黄化合物などが大気中に排出されると、海水の酸性化が進行する。海水の酸性化は、炭酸カルシウムを形成する海生動物などに大きな影響を及ぼす⁵⁾。再生可能エネルギー発電によって化石燃料による発電を代替できると、二酸化炭素、窒素化合物、硫黄化合物などのガス排出量を削減でき、これらの影響が緩和される可能性がある⁶⁾。

また、再生可能エネルギー発電容量の増大は、他の発電方式の事故によるリスクを減らせる可能性がある。たとえば、原子力による発電量が軽減されると、福島第一原子力発電所事故のような事故の発生やそれに伴う放射性物質の拡散のリスクが減少する。また、洋上での油田・ガス田の開発件数が減少すると、メキシコ湾で起こったような油田施設の爆発事故などのリスクが減少する。さらに、石油を輸送するタンカーの隻数が減少すると、タンカーの座礁事故の発生リスクが減少する。これらの事故の発生が減少することによって、原油流出のリスクが減少する。したがって、流出した油などの有害物質によって、海生動物に影響を

与える事例は減少する可能性がある。ただし、再生可能エネルギー発電装置は、通常 1 基あたりの出力が小さいため、洋上に多数設置する必要がある。その場合は、再生可能エネルギー発電装置と船舶等との衝突事故リスクが増加する可能性がある。

その他、構造物を設置することによる魚礁効果、底生生態系の活発化などの効果も考えられる。魚礁効果には、周辺の魚などの海生動物が構造物に蝟集する効果と、構造物周辺で新たな生態系が創られ、稚魚の育成の場となる等の効果とがある。魚礁効果は、漁業にとって正の効果と捉えられる場合もあるが、魚などの海生動物の分布に変化を与えることなどは負の影響として捉えられることもある。

3.3 環境影響評価の現状

3.3.1 世界での協力体制

海洋再生可能エネルギーの環境への影響については、まだ不明な点が多いため、世界で情報を共有し、お互いに協力しながら、不確実性を減らしていく必要がある。1 章で述べたように、現在、加盟している 28 ヶ国以上に、信頼でき、安価でクリーンなエネルギーを保証するための諮問機関である IEA/OES に、海洋再生可能エネルギーの環境影響評価を取り扱う Annex IV が設置されている (図 1-1)。IEA/OES の Annex IV では、様々なプロジェクト、実証試験サイトのレポートや、科学的な調査、研究レポート、論文の情報を集約しており、最近は実際の海洋再生可能エネルギー周辺でのモニタリングデータ等の収集に力を入れている。将来的には、これらの情報をもとにして、全分野の電気技術のための国際的な標準を評価する IEC において、環境影響評価の標準化に向けた動きが始まる可能性もある。一方で、海洋再生可能エネルギーの環境への影響は地域性が強いため、統一的な基準を設けることは必ずしも適切ではなく、各国の基準や法律で柔軟に対応する必要がある場合も多いと予想される。

3.3.2 代表的な取り組み

OSPAR 委員会は、北東大西洋の海洋環境の保全に関する国際協調を推進するための公的機関であり、1972 年のオスロ条約、1974 年のパリ条約が、1992 年に統合、発展されたオスパール条約 (OSPAR Convention) (オスロ・パリ条約) に基づく作業を管理する委員会である。条約締結 15 ヶ国 (ベルギー、デンマーク、フィンランド、フランス、ドイツ、アイスランド、アイルランド、ルクセンブルグ、オランダ、ノルウェー、ポルトガル、スペイン、スウェーデン、スイス、イギリス) の政府代表とヨーロッパ委員会から構成される。これらの国のうち、フィンランドはバレンツ海への河川、また海と接していないルクセンブルクとスイスは、ライン川を有しているために加盟している。OSPAR 委員会では、2004 年～2009 年にかけて、沖合風車群の環境影響評価に関するレポートを多く発行した⁷⁾。

アメリカ海洋大気庁 (National Oceanic and Atmospheric Administration, 以下では NOAA) は、1980 年代に温度差発電の環境影響評価に関するレポートをまとめ⁸⁾、近年は流れ⁹⁾、波力⁹⁾による発電の環境影響評価に関するレポートを発行した。主に、既存の知見に基づいて、机上の検討を十分に行って作成されたレポートではあるが、環境に影響を及ぼす要因となるもの (Stressors) と影響を受けるもの (Receptors) の関係について、個別の

関係を多くの科学者が議論し、取り纏めている。

EquiMar (Equitable Testing and Evaluation of Marine Energy Extraction Devices in terms of Performance, Cost and Environmental Impact) は、2008年～2011年の3年間にわたって実施されたプロジェクトであり、ヨーロッパ11ヶ国から約60名の科学者、開発者、工学者、自然保護論者が集まって、潮流エネルギー、波力エネルギーの資源、装置の性能、コスト、環境影響に関するプロトコルを作成した¹⁰⁾。このプロトコルは、IECの技術委員会(TC114)によって作成されつつある将来の標準化の基礎となるものである。環境影響評価のプロトコルについても作成された。

その他、欧州海洋エネルギーセンター(European Marine Energy Center、以下ではEMEC)などを中心とした海洋エネルギー実証試験サイトでも、環境影響評価に係わるデータが蓄積されてきている。

3.3.3 各国の法制度・規則の整備状況

先に述べたように、多くのプロジェクトや科学的な知見がIEA/OESのAnnex IVのTethysに集約され、今後、IECにおいて、環境影響評価の標準化に向けた動きが始まる可能性もあるが、海洋再生可能エネルギーの環境への影響は地域性が強いいため、各国の基準や法律で対応する必要がある場合も多いと予想される。その際には、Tethysの知見が各国の基準や法律にフィードバックされ、活用されるものと考えられる。海洋再生可能エネルギーの環境影響評価に関して、いくつかの国で適用されている法律や、担当している組織をまとめると、表3-1～表3-3のようになる。

表 3-1 各国の関連する法制度 1

国	法制度・関連する組織
オーストラリア	<ul style="list-style-type: none"> ・ Environment Protection and Biodiversity Conservation Act 1999 ・ Coastal Management Act 1995 ・ Department of Sustainability and Environment
ベルギー	<ul style="list-style-type: none"> ・ Ministry of Energy ・ Federal Public Services Environment ・ Management Unit of the North Sea Mathematical Models ・ Flemish Planning Administration
カナダ	<ul style="list-style-type: none"> ・ Canadian Environmental Assessment Act, 2012 ・ Canadian Environmental Protection Act, 1999 ・ Fisheries Act ・ Migratory Birds Convention Act ・ Navigable Waters Protection Act and Species at Risk Act ・ Canadian Environmental Assessment Agency ・ Justice Canada
中国	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2010 Renewable Energy Law of the People's Republic of China (Amendment) ・ State Oceanic Administration ・ National Energy Administration
デンマーク	<ul style="list-style-type: none"> ・ Promotion of Renewable Energy Act ・ Executive Order no. 815 of 28 August 2000 ・ Danish Energy Agency
フィンランド	<ul style="list-style-type: none"> ・ Ministry of the Environment ・ Finish Environment Institute ・ Ministry of Employment and the Economy
ドイツ	<ul style="list-style-type: none"> ・ Federal Maritime and Hydrographic Agency ・ Waterways and Shipping Directorates ・ Federal Agency for Nature Conservation ・ Federal Energy Regulator
アイルランド	<ul style="list-style-type: none"> ・ Sustainable Energy Act, 2002 ・ Offshore Renewable Energy Development Plan ・ Department of Communications, Energy and Natural Resource ・ Sustainable Energy Authority of Ireland

表 3-2 各国の関連する法制度 2

国	法制度・関連する組織
ラトビア	<ul style="list-style-type: none"> ・ Law on Continental Shelf and Exclusive Economic ・ Law on Protection and Management of the Marine Environment ・ Cabinet of Ministers ・ Latvian Maritime Administration ・ Ministry of Transportation
オランダ	<ul style="list-style-type: none"> ・ Public Works and Water Management Act ・ Water Act ・ Ministry of Infrastructure and the Environment
ニュージ ーランド	<ul style="list-style-type: none"> ・ Environmental Protection Authority ・ Energy Efficiency and Conservation Authority
ナイジェ リア	<ul style="list-style-type: none"> ・ EIA Acts No. 86 of 1992 ・ Environmental Impact Assessment Division
ノルウェ ー	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2010 Ocean Energy Bill ・ Norwegian Energy Agency
ポルトガ ル	<ul style="list-style-type: none"> ・ Planning and Ordering of Maritime Space ・ Institute of Ports and Maritime Transport ・ Redes Energéticas Nacionais
スペイン	<ul style="list-style-type: none"> ・ Royal Decree 661 from 2007 ・ The first Royal Decree from 2012 ・ Renewable Energy Plan 2011-2020
スウェー デン	<ul style="list-style-type: none"> ・ The Environmental Act ・ The National Maritime Policy Bill ・ The Planning and Building Act ・ The Swedish Economic Zone Act ・ Fishery Act ・ Swedish Agency for Marine and Water Management
スコット ランド	<ul style="list-style-type: none"> ・ Marine Scotland Licensing Operations Team
イングラ ンド	<ul style="list-style-type: none"> ・ Marine and Coastal Access Act 2009 ・ Electricity Act 1989 ・ Energy Act 2004 ・ Marine Management Organization (MMO) ・ The Department of Energy and Climate Change (DECC)

表 3-3 各国の関連する法制度 3

国	法制度・関連する組織
ウェールズ	<ul style="list-style-type: none"> ・ Part 4 of the Marine and Coastal Access Act 2009 ・ Energy Act 2004 ・ European Protected Species (EPS) License ・ Department of Energy and Climate Change (DECC)
北アイルランド	<ul style="list-style-type: none"> ・ Conservation of Habitats and Species Regulations 2010 (as amended) ・ Offshore Marine Conservation Regulations 2007 (as amended) ・ Water Framework Directive ・ Northern Ireland Environmental Agency
米国	<ul style="list-style-type: none"> ・ Federal Power Act ・ Federal Energy Regulatory Commission ・ The Bureau of Ocean Energy Management

3.4 各発電方式の環境影響

3.4.1 共通の項目

すべての発電方式に共通する評価項目として、まず送電線の影響が挙げられる。ただし、送電線の容量は、風力発電や温度差発電のように、単体でも発電容量が比較的大きいものと、波力発電や潮流発電、海流発電のように、単体では比較的小さい発電容量の装置を多数並べて使用するものとで異なる。また、送電線の距離も、各発電方式に適した海域の海岸線からの距離に依存する。送電線の影響としては、①海底上の送電線の存在による底生動物の移動の阻害、②電場の発生が電気を使用して索餌等を行う動物に及ぼす影響、③磁場の発生が磁場を利用して回遊している動物に及ぼす影響、④堆積物温度の上昇による動物への影響などが挙げられる。電磁場の発生による魚類等への影響については、いくつかの文献にまとめられている¹¹⁻¹³⁾。送電線を埋設した場合は、これらの影響が軽減されるかもしれないが、現在のところそのことを検証する十分なデータは得られていない。また、過去にパイプラインや通信ケーブルが海底に設置された場合の影響が参考になるが、電磁場の発生強度など、異なる点もあるので、今後のさらなる調査が期待される。

水中音は、既に海水中には他の人工物から発生したもの（表 3-4）に加えて、発電施設の建設、発電機の駆動、風力発電のタービンの回転などによって発生する¹⁴⁾。水中音の計測は、洋上の着床式風力発電を中心として行われてきた。たとえば、建設中の騒音によってある哺乳類の分布が変化したが、風力発電の稼働中は哺乳類の分布が元に戻ったなどの報告がある¹⁵⁾。近年は、水中音の計測方法は概ね確立してきた。ただし、計測された水中音が動物に与える影響についてはよく分かっていない。日本では、各魚種に対して、聴覚に関する研究が行われており、認識できる音の周波数や音圧レベルが示されている¹⁶⁾。ただし、水中音が聞こえるかどうかと、動物が影響を受けるかどうかは別であるため、実海域での動物の分布計測と比較して、水中音が魚類等の生物に及ぼす影響を予測する必要がある。

表 3-4 人工物からの水中音¹⁴⁾

音源	音圧 (dB re1μPa-m)*	バンド幅 (Hz)	最大振幅 (Hz)	周期(ms)	指向性
沖合建造					
トリニトロトルエン (1-100 lbs)	272 -287	2-1000	6-21	~1-10	無指向性
杭打ち	228 Peak 243-257 P-to-P	20->20,000	100-500	50	無指向性
沖合産業活動					
浚渫	168-186 rms	30-> 20,000	100-500	連続的	無指向性
ドリリング	145-190 rms**	10-10,000	<100	連続的	無指向性
風力発電	142 rms	16-20,000	30-200	連続的	無指向性
海運					
小型ボート・船舶	160-180 rms	20->10,000	>1000	連続的	無指向性
大型船舶	180-190 rms	6-> 30,000	>200	連続的	無指向性
ソナー					
軍事ソナー (低周波数)	215 (ピーク)	100-500	-	600-1000	水平方向
軍事ソナー (中周波数)	223-235 (ピーク)	2800-8200	3500	500-2000	水平方向
エコサウンダー	235 (ピーク)	変化	1,500-36,000 (変化)	5-10	鉛直方向
地震調査					
エアガン	260-262P-to-P	10-100,000	10-120	30-60	鉛直方向*
その他の活動					
聴覚妨害装置	132-200 (ピーク)	5,000-30,000	5,000-30,000	15-500 (変化)	無指向性
潮流・波力発電***	165-175rms***	10-50,000	-	連続的	無指向性

* 通常の場合

** バウスラスターを用いた掘削船からの高い音源レベル

*** 1m で逆計算された文献からの推定

また、海中に構造物が出現すると、魚の蝟集効果や生物付着が発生する。付着防止用の塗料が用いられると、これらの塗料が海中に溶け出し、海生動物に蓄積され、影響が生じる可能性がある。構造物への生物付着や付着防止用の塗料の影響については、船舶や他の海洋構造物を対象とした研究を参照できるものと考えられる。魚の蝟集効果については、洋上風力発電施設でも確認された事例はあるが、蝟集効果は構造物の形状や材質等に依存するものと考えられる。現在は、水中カメラやダイバーによる調査が主体であるが、今後、調査方法の確立と予測手法の開発が期待される。

3.4.2 風力発電

日本では、平成 24 年 10 月より、10,000kW を超える風力発電事業は環境影響評価法の対象となり、環境省等で評価項目が検討され、参考事例集が作成されてきた。海外では、着床式の洋上風力発電が多数設置されており、環境影響評価に関する知見が積み重ねられつつある。国内でも、着床式、浮体式洋上風力発電のプロジェクトが行われており、実際の海域でのデータが蓄積されるものと期待される。今後は、効率的な環境影響評価に向けて、評価項目の選定や評価手法の確立が重要になると思われる。

風力発電に特徴的な評価項目としては、陸上風力発電と同様に、海鳥などの鳥類のブレードへの衝突が挙げられる。海上では、鳥類のブレードへの衝突を確認することは難しいが、実際に確認された事例も報告されているため¹⁵⁾、今後も衝突防止のためのサイトの選定や配置の検討、緩和措置の検討が必要になると考えられる。一方、洋上風力発電は海岸線から比較的離れた海域であっても、障害物がほとんどないため、景観の問題についても検討しなければならない。

3.4.3 波力発電

波力発電の影響については、米国が中心となって、2007 年に包括的な報告書が作成された⁹⁾。波力発電で特徴的な評価項目としては、波エネルギーを吸収することによって、周辺、特に波力発電装置背後の波浪場が変化し、堆積物の再懸濁、輸送の変化を通じて海浜が変形することなどが挙げられる。海浜の変形や堆積物の再懸濁、堆積物の輸送の変化などが、底生生物の生息地、産卵活動等に影響を及ぼす可能性がある。また、波力発電装置は、1 基あたりの発電容量が小さく、多数並べられることが予想されるため、蓄積影響についても検討する必要がある。

3.4.4 潮流発電・海流発電

潮流発電・海流発電の影響についても、米国が中心となって、2010 年に包括的な報告書が作成された³⁾。潮流発電・海流発電で特徴的な評価項目としては、風力発電の場合と同様に、ブレードへの魚類、哺乳類等の海生動物の衝突が挙げられる。これまでに、回流水槽を用いた室内での魚類の衝突試験がいくつか実施されているが¹⁷⁾、比較的厳しい条件であっても、魚類がブレードの衝突する事例はあまり見られないことが報告されている(図 3-1)。また、実際に発電機が設置されている海域での調査もいくつか報告されている。現地調査では、ダイバー等による死魚や怪我をした魚の調査に加えて、発電施設近傍の魚類や哺乳類の遊泳行動を把握するために、光学式あるいは音響ビデオカメラを用いた調査が行われている。これらの装置の設置方法、魚類や哺乳類の撮影方法、解析手法の開発が進められている。タグを魚類や哺乳類に埋め込んで、タービン周りでの遊泳行動を把握する手法も試みられている。一方、水力発電で用いられるタービンへの魚の衝突モデルをベースとした確率論的なモデリング技術も開発されているが、実海域データによる検証を必要としている。ただし、海生動物の潮流発電・海流発電のブレードへの衝突を直接的に観測できた事例は存在しないため、今後も継続して調査すべき項目とされている。

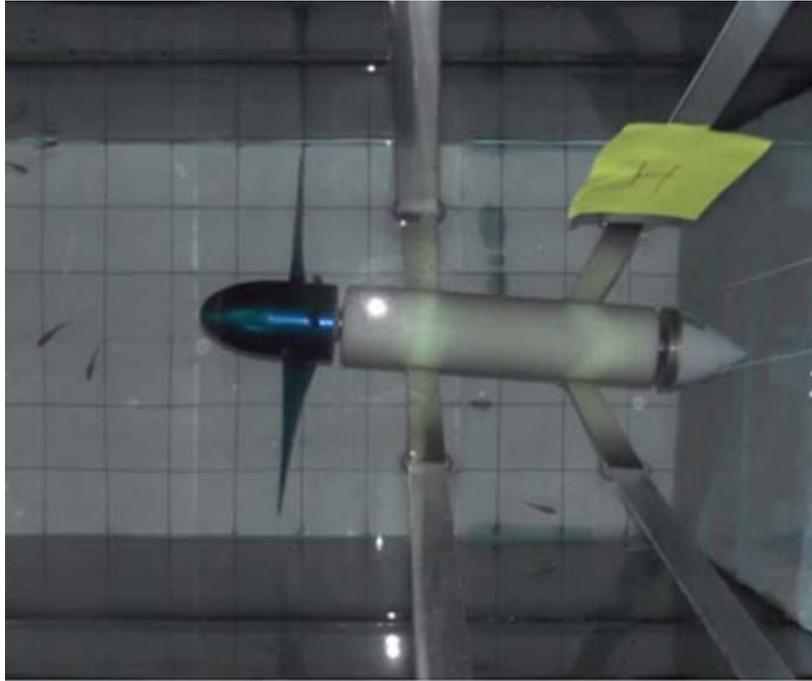


図 3-1 回流水槽における魚類のブレードへの衝突実験の事例

3.4.5 海洋温度差発電

温度差発電の影響については、他の発電方式よりも早く、1980年代にいくつかのレポートが作成された^{10, 18, 19)}。近年、海洋エネルギーが注目を浴びるようになってから、温度差発電に関する研究開発も活発化し、環境影響評価に関するレポートが再度見られるようになってきた²⁰⁾。温度差発電で特徴的な評価項目としては、周辺の温度変化が海生生物の成長や分布に及ぼす影響、取水管への海生動物の侵入等が挙げられる。また、温度差発電では作動流体を用いるため、事故に伴う漏洩リスク等も考慮に入れる必要がある。温度差発電ではないが、海洋深層水の利用においても、深層で取水をするプロセスは似たものであるため、海洋深層水利用の環境影響評価の事例が参考になるものと思われる。

3.5 おわりに

本稿では、海洋再生可能エネルギーの効果について述べた後、環境影響評価に関する国際的な協力体制、各国の法制度等の状況をまとめた。また、各発電方式に共通の評価項目や、各発電方式で特徴的な評価項目を概観した。近年、洋上風力発電の環境影響評価に関する情報は蓄積されてきたが、海洋エネルギーの環境影響評価についてはほとんど情報が得られておらず、不明な点が残されたままである。評価項目は広範にわたり、各事業者、各国のみでの対応は極めて困難であるため、国際的に協調し、情報を交換しながら進めていくことが効率的である。ただし、諸外国とは、海生生物の種類その他、食用としている魚類、ほ乳類への国民の関心などが異なるため、地域性を考慮すべき点については留意する必要がある。今後、実証実験の実施に伴って、環境影響評価の調査事例が蓄積されていくと予想されるが、得られた情報の活用方法に知恵を絞り、効率的な環境影響評価につなげていく必要がある。

4. 実海域調査レポート

4.1 はじめに

海洋エネルギー実証フィールドが発達している欧州を中心として、実海域での調査が行われている。また、数値シミュレーションや室内実験の事例も増えてきている。研究委員会では、主要な評価項目として海生動物のタービンブレードへの衝突、水中音の影響、エネルギーの取り出しの影響、底生生物の変化・魚礁効果を抽出し、文献やウェブ上に掲載されている調査結果、研究論文等をプロジェクトごとに 2 ページの実海域調査レポートに取りまとめた。これらの取りまとめ結果から得られる各評価項目の現状と今後の課題は、概ね IEA/OES Annex IV の Phase 2 レポートで要約されているものと概ね一致する。

4.2 各評価項目の概要

4.2.1 海生動物のタービンブレードへの衝突

海生動物の潮流発電装置のタービンブレードへの衝突は、潮流発電開発において最も関心が高い評価項目である。潮流発電装置の設置場所が保護区と重なった場合も含めて、海生動物の怪我や死亡を引き起こし、個体群の長期的な変動に影響を及ぼすことが懸念されている。

現在までに、衝突が懸念される海棲哺乳類、魚、海鳥に関して、1 基、あるいは小さなアレイの周辺で衝突は確認されていない。研究の焦点は、衝突そのものに加えて、タービンブレード周りの海生動物の行動の観察に置かれている。衝突やタービン周りの動物の行動を観測するために、超音波や視覚装置を使用した適切な観測装置を用いる必要があるが、海域の流れが速いため、実際に観測を行うことは困難である。タービンブレードとの衝突を予測する数値モデルもあるが、これらのモデルは最悪のシナリオを想定したものであり、予測結果を使用する場合は、事前に実海域で検証しなければならない。近年は、回避、逃避、蟄集を含むタービンブレード周りの動物の行動が調査されている。装置近傍で海生動物の行動を直接的に観測することは、海域使用の調整において有効である。

4.2.2 水中音の影響

動物は、海中において、会話、社会的行動、方位の指定、捕食、回避などの目的で音を利用する。海生動物がどのような音を検知し、また音を発するかは、周波数と振幅によって異なる。波力発電装置や潮流発電装置が稼働時に水中音が発生すると、海棲哺乳類、魚、海鳥、ウミガメなどの動物の行動が変化するかもしれない。水中音の発生は、動物の行動の変化に加えて、直接的な傷害を与えるかもしれない。直接的な障害は、たとえば聴力の低下、聴覚ではない組織への傷害、魚や海棲哺乳類の組織内での空気バブルの形成、神経への外傷などが挙げられる。会話、回避、餌動物の検知の妨害のみでなく、水中音源からの逃避や水中音源への集合などの行動的な変化も起こるかもしれない。

低周波音の計測はまだ困難を伴うが、稼働している波力発電装置や潮流発電装置からの音の計測は当たり前に行われるようになってきている。これらの水中音に対する動物の反応の

観測は、まだ困難である。装置の設置時の水中音による物理的な傷害や行動の変化が、有害なものかどうかを知るためには、さらなる情報が必要である。海洋再生可能エネルギー装置からの水中音計測データのほとんどは、1基の装置からの水中音を計測したものである。複数基の装置が設置された場合の累積的な影響を調べるためには、水中音の出力を足し合わせることによって予測できるが、複数基の装置周りの実測はほとんど行われていない。

4.2.3 エネルギーの取り出しの影響

波浪、流れなどは、生物の生活や持続可能性にとって重要な要素である。海洋再生可能エネルギー装置の設置は、装置周りの波浪や流れのパターンを変化させるかもしれない。また、波浪や流れのパターンの変化は、堆積物の分布や輸送を変化させる可能性がある。海洋再生可能エネルギー装置の設置個数が数基であれば、流れや波浪の変化を計測することは困難である。しかし、多くの装置が並べられた場合は、時間の経過とともに波浪や流れが変化するかもしれない。

海洋再生可能エネルギー装置によるエネルギーの取り出しや波浪、流れの変化に関する実海域研究は極めて少ない。多くの数値モデルが開発されてきたが、ほとんどの数値モデルは、発電の最適化に焦点を置いたものであり、堆積物輸送や水質の変化のような環境影響に焦点を置いた数値モデルは少ない。また数値モデルによる計算結果を検証するための実海域データが必要であるが、現在は検証データが不足しており、数値モデルの利用が制限されている。

4.2.4 底生生物の変化・魚礁効果

海洋再生可能エネルギー装置の設置によって、係留索、ケーブル、タービンブレード等の可動機械に加えて、重力式の基礎、アンカーなどが追加され、底生生物の生息地が変化する。同様に、海底上に設置された、あるいは水中に浮遊する海洋再生可能エネルギー装置の存在は、魚や底生生物の蝸集効果を持つ場合がある。このことによって、魚や底生生物の行動や生息場所が変化するかもしれない。

底生生息地の変化が観測されている事例として、沖合の風車の設置時に観測されたものがある。沖合の風車の設置は、海洋再生可能エネルギー装置の設置による変化の予測において、示唆を与えるものである。海洋再生可能エネルギー装置が蝸集効果に及ぼす影響は分かっていないが、特に有害な影響を及ぼさないことが示されている人工の魚礁や、他の海洋産業で用いる構造物の蝸集効果と似たものになると予想される。

5. おわりに

本研究委員会では、まず海洋エネルギー施設の環境影響評価に関する欧米の先進的な事例をレビューし、海洋エネルギー施設の環境影響評価手法やガイドラインの現状について調査した。さらに、主要な評価項目に対して、調査手法、調査結果、緩和手法等について各プロジェクトで取り纏め、評価技術の現状を整理するとともに、今後の技術課題を抽出した。最近の世界各国での研究や調査の結果、海生動物のタービンブレードへの衝突が観測された事例はないこと、水中音の計測手法が確立しつつあることなど、主要な影響評価項目に対する知見が少しずつ得られるようになった。しかしながら、発電装置まわりの波浪や流れ場の変化、発電装置が多数設置された場合の影響など、まだ不明な点が多い。今後、実海域での実証実験にあわせて、特に実海域での調査を通じて、これらの不明な影響項目を減らしていくことが望まれる。

参考文献

- 1) Copping, A., Hanna, L., Whiting, J., Geerlofs, S., Grear, M., Blake, K., Coffey, A., Massaua, M., Brown-Saracino, J., Battey, H. Environmental Effects of Marine Energy Development around the World: Annex IV Final Report. Report by Pacific Northwest National Laboratory (PNNL). pp 96, 2013.
- 2) Copping, A., Sather, N., Hanna, L., Whiting, J., Zydlewski, G., Staines, G., Gill, A., Hutchison, I., O'Hagan, A., Simas, T., Bald, J., Sparling, C., Wood, J., Masden, E. Annex IV 2016 State of the Science Report: Environmental Effects of Marine Renewable Energy Development Around the World. pp 224, 2016.
- 3) Brian Polagye, Brie Van Cleve, Andrea Copping, and Keith Kirkendall: Environmental effects of tidal energy development, NOAA Technical Memorandum NMFS F/SPO-16, 2010
- 4) 独立行政法人水産総合研究センター: 地球温暖化とさかな, 成山堂書店, 2009
- 5) Scot C. Doney: 海洋酸性化の脅威, 日経サイエンス社, 6月号, pp.50-59, 2006
- 6) OSPAR Commission: Assessment of climate change mitigation and adaptation, Monitoring and Assessment Series, 2009
- 7) OSPAR Commission: Assessment of the environmental impact of offshore wind-farms, Biodiversity Series, 2008
- 8) Edward P. Myers, Donald E. Hoss, Walter M. Matsumoto, David S. Peters, Michael P. Seki, Richard N. Uchida, John D. Ditmars, Robert A. Paddock: The potential impact of ocean thermal energy conversion (OTEC) on fisheries, NOAA Technical Report NMFS 40, 1986
- 9) George W. Boehlert, Gregory R. McMurray, and Cathryn E. Tortorici: Ecological effects of wave energy development in the Pacific Northwest, NOAA Technical Memorandum NMFS-F/SPO-92, 2007
- 10) Simas T., Moura A., Batty R., Wilson B., Thompson D., Lonergan M., Norris J.: Equitable testing and evaluation of marine energy extraction devices in terms of performance, cost and environmental impact, Deliverable D6.3.2, Uncertainties and road map, 2010
- 11) OSPAR Commission: Assessment of the environmental impact of cables, Biodiversity Series, 2009
- 12) Fisher C., Slater M.: Effects of electromagnetic fields on marine species: A literature review, OregonWaveEnergy Trust, 2010
- 13) Gill A. B., Bartlett M.: Literature review on the potential effects of electromagnetic fields and subsea noise from marine renewable energy developments on Atlantic salmon, sea trout and European eel, Scottish Natural Heritage Commissioned Report No.401, 2010
- 14) OSPAR Commission: Assessment of the environmental impact of underwater noise, Biodiversity Series, 2009
- 15) Koller J., Koppel J., Peters W.: Offshore wind energy: Research on environmental impacts, Springer, 2006
- 16) 添田秀男, 川村軍蔵, 畠山良己: 魚類の聴覚生理, 恒星社厚生閣, 1998
- 17) Junbo Zhang, Daisuke Kitazawa, Sayuri Taya, Yoichi Mizukami: Impact assessment of marine current turbines on fish behavior by experimental approach based on similarity law. Journal of Marine Science and Technology

(in press), 2017

- 18) Wilde P., Sandusky J., Jassby A.: Assessment and control of OTEC ecological impact, U.S. DOE Environmental Control Symposium, Washington DC, 1978
- 19) Quinby-Hunt M. S., Wilde P., Dengler A. T.: Potential environmental impacts of open-cycle thermal energy conversion. *Environ Impact Assess Rev* 6, 77-93, 1986
- 20) NOAA (2010): Ocean thermal energy conversion, Assessing potential physical, chemical, and biological impacts and risks