

波力発電検討会報告書

平成22年3月

波力発電検討会

目 次

はじめに	2
第一部 波力発電検討会の概要	3
1. 波力発電検討会設立の趣旨	3
2. 開催概要	3
3. 波力発電の有効性の検証	4
4. 社会的反響	7
波力発電検討会名簿	8
第二部 検証内容等の説明	9
1. 海外における波力発電の動向	9
2. わが国における波力発電の有効性	16
3. 創出される市場・産業の規模	21
4. 波力発電導入の課題と今後の取り組み	23
第三部 波力発電の導入促進に関する提言.....	25
添付資料： 波力発電検討会に付された主な資料	27

はじめに

平成 21 年 9 月にニューヨークの国連本部で開かれた国連気候変動首脳会合で鳩山首相は「すべての主要国の参加による意欲的な目標の合意」を前提に「温室効果ガスを2020年までに1990年比で25%削減する」との目標を表明した。

この高い目標を掲げて臨んだ12月のCOP15(第15回国連気候変動枠組条約締結国会議)は難航を極め具体的な削減目標が設定できなかったものの、各国が削減努力を続けることで合意した。地球温暖化問題は、紛れもなく全人類が地球規模で取り組むべき安全保障問題であるという共通の認識の下、各国は国益との折り合いを計りながら戦略的に取り組んで行こうとするものである。我が国における新エネルギーの位置づけは、温室効果ガス削減とエネルギーセキュリティ確保の両面から、ますます重要性を増している。

こうしたなか日本の排他的経済水域(EEZ)は世界第6位の規模(中国の約5倍)を有し、そこにおける膨大な海洋再生可能エネルギー資源の有効活用を計ることは、CO₂削減に大きく寄与するのみならず、巨大な国内産業と雇用の創出につながると考えられる。

国土を海洋に接する国々では、海洋エネルギー、とりわけ波力・潮力を洋上風力に並ぶ有望な再生可能エネルギーに位置づけ、その開発・導入に対し様々な支援策を講じている。その結果、欧米を中心に、多くの民間企業が参入、技術レベルも近年実用の段階に進み、多額の民間投資を呼び込んでいる。しかしながら我が国では、波力・潮力は「基礎研究段階であり引き続き技術検証等が必要」とされ、新エネルギーと認められておらず国による導入支援等の対象となっていない。

こうした状況、端的には世界との認識ギャップ、から、東京都の呼びかけで産官学の自発的メンバーが「波力発電検討会」を設置、海外の最新情報を踏まえ、波力発電が有効に活用すべき実用化段階の技術となっていること、及び、我が国でも有望な再生可能エネルギーとして利用可能性が高いことを検証した。このため、本検討会は、波力発電について新エネルギーとしての政策的位置づけを明確化した上で、国内技術にこだわることなく世界的視野に立って導入拡大に取り組むこと、さらにはこれを契機として、海洋再生可能エネルギー全般について、我が国が置かれた地域特性を地球温暖化対策に最大限に活かせるものとして、その開発と導入促進に取り組むことを提言するものである。

平成22年3月25日
波力発電検討会委員長
荒川忠一

第一部 波力発電検討会の概要

1. 波力発電検討会設立の趣旨(プレス発表文)

都は、温室効果ガスの大幅な削減に向け再生可能エネルギーの飛躍的拡大を進めています。現在、太陽エネルギーの拡大を積極的に進めていますが、更に大幅な再生可能エネルギーの拡大が必要です。そのためには、恵まれた海洋エネルギーの利用が有効であり、日本では特に波力発電が、最も実用化の可能性が高いと考えられます。

しかし我が国では、海洋エネルギーが新エネルギーに位置づけられていないため国の支援が得られず、諸外国に比べ実用化に向けた取組が進んでいない状況です。

そこで、波力発電の利用可能性を検討するため、学識経験者や民間事業者等と共に「波力発電検討会」を立ち上げますのでお知らせします。

■ 検討会の目標

- (1) 波力発電の新エネ法における新エネルギーへの位置づけ
- (2) 波力発電技術の検証
- (3) 波力発電の民間における事業化に向けた課題の検討

■ 開催期間

平成 21 年7月22日から平成 22 年3月25日まで4回開催。

■ 検討会の委員及びオブザーバー

第1部末の付表参照。（途中参加があったため第3回検討会の構成メンバーを示す。）

2. 開催概要

<第1回検討会>

日 時 平成 21 年7月22日(水) 10:00～12:00
場 所 東京都庁第二本庁舎10階218会議室
議 案 (1) 波力発電検討会の主旨
(2) 波力発電の動向について
(3) Ocean Power Technologies(米)の紹介

<第2回検討会>

日 時 平成21年10月23日(金) 14:00～16:30
場 所 東京都庁第一本庁舎33階 S6会議室

- 議 題 (1) 海外波力プロジェクト実用化事例紹介
(2) 実証試験・事業海域の検討について
(3) トピックス「海流発電」の紹介

<第3回検討会>

- 日 時 平成22年2月2日(火) 14:00～16:30
場 所 東京都庁第二本庁舎31階22会議室
議 題 (1) 先進地(英国)調査の報告
(2) 英国の波力発電動向(英国大使館貿易対英投資部)
(3) 日本における商業発電の事業性について
(4) 実証試験場の候補地選定と課題について

<第4回検討会>

- 日 時 平成22年3月25日(木) 14:00～16:30
場 所 東京都庁第二本庁舎31階特別会議室21
議 題 (1) 波力発電検討会の検討報告書について
(2) 国への政策提言について
(3) 今後の取組について

3. 波力発電の有効性の検証

本検討会では、次の四点を検証した。

- (1) 海外、特に欧州では再生可能エネルギー分野で海洋の利用が大きく進展するなかで波力発電技術についても実用化の段階にある。
- (2) 日本周辺海域の波力の賦存量は十分大きく、我が国でも波力発電が本格的な再生可能エネルギーとして利用できる可能性が高い。
- (3) 普及が進んだ段階では、波力発電は他の再生可能エネルギーに対して一定の競争力を有する可能性が高い。
- (4) 波力発電の普及が進めば、他の海洋再生可能エネルギーの普及と合わせて国内に巨大産業(年間5兆円規模)を創出することができる。

これを受け、第3回検討会では、具体的に伊豆大島近海を候補地として、実証実験を行うことを今後検討することとした。地元大島町との意見交換の結果も踏まえ、波力発電をはじめとする再生可能エネルギーは、地域における導入を進めやすく、地域経済の活性化や雇用の拡大に結びつく仕組みづくりも併せて進めていくべきこととされた。

第1回～第3回検討会での主な意見交換内容を下に示す。

漁業との関係や実証実験・モデル発電事業の立地に関する事項、次いで、海上交通安全、安全設計、係留技術、発電コストに関する事項が多かった。また、電源としての差別性、環境

への影響、保守に関する事項もあった。

【漁業との関係】

- ・ 日本では、漁業の協力、折り合いが重要。漁礁効果のあるものとの組み合わせも考えられる。
- ・ ポートランドでは漁業関係者と協議して場所を決定した。
- ・ 青森の八戸沖では漁船同士がぶつかるほど混雑する。こういう場所への設置は難しい。青森でも潮流発電で漁業との折り合いつかず、その先に進めないでいる。
- ・ 大室ダシは日本有数の好漁場で、まき網、他の漁業が盛んで、青森、九州からも漁船が来ており、こうした場所に設置するのであれば、各漁業団体との協議が必要となる。調整を図るのが難しいという印象を受ける。
- ・ 波力発電の適地とよい漁場とは重なっているという印象を受ける。

【立地】

- ・ 好波況が期待される沖合はデータがなく、実測が必要。また一般に、波のエネルギーに関するデータが不備で、既存のデータは低目になっている。
- ・ ポートランドに比べ日本は波が小さいが、それでもできるのか。
- ・ 設置場所は、社会的制約条件の少ない方から決める方がよい。
- ・ 英国では地域振興としても位置づけている。そうした点も英国から学ぶ必要がある。
- ・ 東京都としては、地元の地域振興につながることを重要と考えている。
- ・ 仕組みが技術発展を呼び起こし、風力発電のように大きな投資を呼び込むことで可能になる。
- ・ 英国は、洋上風力は世界中の技術をオープンに呼び込んでいる。
- ・ インフラにコストがかかるのではないか。
- ・ 風力、潮流、太陽光などとの複合システムも考えられる。
- ・ 佐賀大では、従来より高効率の波力発電装置の開発をやっている。いずれ実海域で試験したいので、実証試験場を是非実現していただきたい。

【海上交通安全】

- ・ 海上に突然に構造物ができるのは船舶の安全に影響する。日本から北米、中東への航路もある。漁業者への周知も必要。この辺がポイントになる。
- ・ 海上交通の面からは許認可事項は無い。標識の場合は、標識としての許認可がある。船舶関係は合意形成が基本で、協議の場を作ってもらいたい。
- ・ 一定規模以上の船舶搭載の位置情報データに示されるように、大島周辺から本土にかけて全域において船舶が頻繁に航行している実態がある。

【安全設計】

- ・ 台風、地震、津波などに対するハザードアナリシスはやっているのか。
- ・ EMECでは100年に1度の再現頻度である最大波高28mの波に対して設計しているが、日本では事情は異なる。

- ・日本の風力発電は50年に1度の再現頻度の風を設計条件にしている。
- ・沖合ではブイと船の衝突事故も起きているので、安全なサイトでやったほうがよい。
- ・パワーブイは米国の海洋ブイの海洋安全基準に従って設計している。

【係留技術】

- ・パワーブイの占有海域は1ha/MW とコンパクト。
- ・係留について、EMECは浅いために厳しくなっているのではないかと。むしろ100m程度の深さがあつたほうが容易ではないかと。
- ・EMECの係留方式が独特ということだが、英国の規制、日本の規制との違いは何か。
- ・EMECは実験サイトであるため厳しくなっているということもある。
- ・係留が日本で実施する場合のポイント。間隔を空けておくほうが係留は楽。
- ・設置海域の有効利用の観点からは高密度に設置したい。

【発電コスト】

- ・最初のモデル事業は、生産体制もなく量産効果が出ないのでコストは高い。量が出れば安くなる。来年にも実施しようとするコストはこうなるという数字なので、将来こうなるという数字も出してもらいたい。
- ・OPTのオーストラリア側パートナーも、今回の19MW までの発電事業にはビジネスとしては見ておらず、むしろコストダウンのプロセスが分かることが重要と考えている。
- ・技術はかなり出来上がっている。モデル事業の規模がやや大きすぎる。100億円ぐらいで10MW 程度の事業であれば、国が本気になればできるので是非やるべきである。

【差別性】

- ・国への提言に関し、現状波力は新エネルギーとしていないので、すぐさま FIT をどうこうということにならない。まず、「新エネにすべき」という提言が必要であるが、その場合、何故波力のみなのか、他の海洋エネルギーとの違いは何かという点を提示する必要がある。
- ・なぜ波力かという風力と違う特徴を表現しないと理解が得られないのではないかと。
- ・波力発電は小型から大型まであり、どこでも使えるという特徴もある。

【環境への影響】

- ・パワーブイの場合、ハワイでの環境評価は、高い評価を得た。
- ・単一基の設置であれば単なるブイであるが、10km四方に多数設置するとなると、環境に与える影響など気になる。

【保守】

- ・PBのメンテナンスは、米コーストガードの基準に従っている。
- ・稼動部品は、3年毎の定期点検で必要な場合は交換する。

4. 社会的反響

波力発電検討会には、プレスを始め多数の傍聴人の出席があり、また、検討会を契機として波力だけでなく海洋再生可能エネルギー全般について新聞、テレビに多く取上げられ、海洋利用における世界と我が国のギャップなどについても国民の間に認識が深まり、また関心が高まったものと思われる。

主な報道は次のとおり。

【TV放映】

2009/07/23 NHK「首都圏ニュース」
2010/01/04 NHK「おはよう日本」
2010/01/26 TV東京「ワールドビジネスサテライト」
2010/02/16 NHK「おはよう日本」

【新聞報道】

2009/08/25 産経新聞「波力発電を起こせ、遅れる開発 都が実用化へ検討会」
2009/09/02 日本経済新聞「出光・三井造船・日本風力開発波力発電所を建設」
2009/09/03 朝日新聞、日刊工業新聞、電気新聞「同上」
2009/10/26 日経産業新聞「波力発電実験 太平洋側3ヶ所候補に」
2009/12/22 電気新聞「海洋エネの潜在性指摘 波力発電など支援訴え」
2010/02/03 日経産業新聞「波力発電実験 候補地に伊豆大島沖」
2010/02/04 電気新聞「波力発電促進へ提言案」
2010/03/01 野村週報(野村證券)「商業化を目指す波力発電」
2010/03/03 日経産業新聞「海水の眠れる資源生かす 波力発電実験やリチウム回収」

【波力発電検討会名簿】

役職	氏名	所属
委員長	荒川忠一	東京大学教授 海洋エネルギー資源利用推進機構 副会長
委 員	浦谷純一 (谷口信雄)	東京都環境局都市地球環境部副参事 (再生可能エネルギー担当)
	Gilbert George	OCEAN POWER TECHNOLOGIES, INC
	鈴木浩平	首都大学東京名誉教授 日本クレーン協会 会長
	高浜 彰	全国漁業協同組合連合会
	長谷川伸一	稚内新エネルギー研究会会長 長谷川建設株式会社 代表取締役
	濱舘豊光 (八嶋直美)	青森県エネルギー総合対策局(副参事)エネルギー 開発振興課 環境・エネルギー産業振興グループ
	松浦正己	(独)海洋研究開発機構海洋工学センター プログラムディレクター
	宮島省吾	(株)三井造船昭島研究所 技術統括部
オブザーバー	伊藤正治 (米倉秀徳)	(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー技術開発部風力発電グループ主査
	梅田厚彦	(財)エンジニアリング振興協会理事
	小川高宜	東京都産業労働局観光部振興課長
	奥 康彦	海上保安庁交通部企画課 海上交通調整官
	奥山雅之	東京都産業労働局総務部副参事(企画担当)
	木下 健	東京大学生産技術研究所教授 海洋エネルギー資源利用推進機構 会長
	駒 治憲 (井澤良雄)	東京都産業労働局農林水産部水産課長 (水産課漁業調整係長)
	高木 健	東京大学大学院 新領域創成科学研究科教授
	高木儀昌 (大村智宏)	(独)水産総合研究センター 水産業システム研究センター養殖工学タスクグループ長
	永田修一	佐賀大学教授 海洋エネルギー研究センター副センター長
	水間健二	環境省地球環境局地球温暖化対策課 課長補佐
事務局	山下充利	資源エネルギー庁新エネルギー対策課 課長補佐
	畠山裕美	三井造船(株) 事業開発本部

第二部 検証内容等の説明

1. 海外における波力発電の動向

1) 再生可能エネルギー分野の海洋利用の風景

IEAのエネルギー技術シナリオ(図1)は、2050年にCO₂半減を実現するためには、あらゆる新エネルギー・低炭素電源が恐るべき規模で必要になるとしている。ACT Map は現在実用化が見えている技術で、2050年の全世界CO₂排出を現在レベルにするケースで、Blue Map は現段階ではチャレンジな技術も含め導入し現在のレベルの5割以下にするケースである。

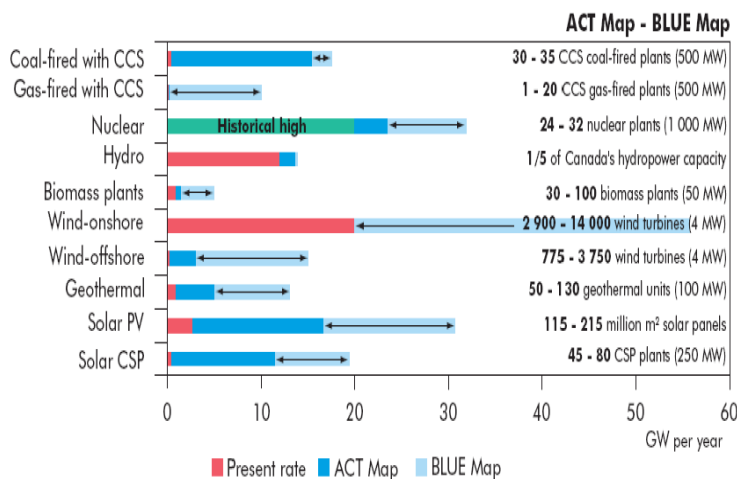
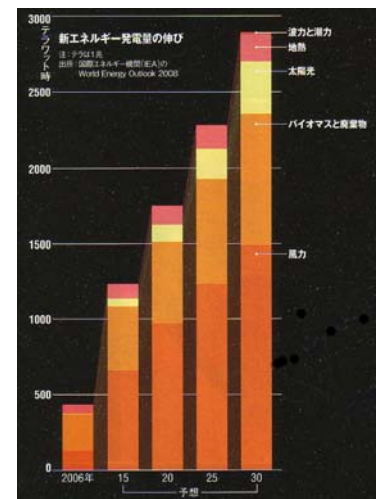


図1 IEAのエネルギー技術シナリオ

右図:IEAの予測に波力・潮力が出現(2030年に設備容量で3GW程度)

(出所: 日経ビジネス)



こうした中、欧州はじめ諸外国では、地球温暖化防止の観点だけでなく、新産業創出、産業競争力強化、地域共同体強化の観点から、再生可能エネルギーの導入拡大のために海洋利用が大胆に進められている。北アフリカなどでの太陽光発電の電力を欧州に輸送するため大陸に跨る海底電力ケーブル敷設など、その有様は、かつての列強諸国が海洋再生可能エネルギーの争奪に舞台を移してしのぎを削っているかのようである。(図2)



図2 DESERTEC for Energy, Water and Climate Security (出所:DLR)

北海などは洋上風力発電の予定海区で埋め尽くされているといつてよい。(図3)

英国は2020年に電力需要の1/4(32GW)を賄う世界最大の洋上風力発電所を完成させる計画で、この内の15GWをドイツ企業が受注した。欧州全体で稼働、許可済、申請中の洋上風力は合計68GWにのぼるとみられる。昨年末には、洋上風力発電用として世界最長の海底送電ケーブル(BorWin-I)が、工期26ヶ月と4億ユーロを投じて完成した。容量400MW、全長200kmの高電圧直流送電ケーブルであり、送電損失は7%以下と報じられている。

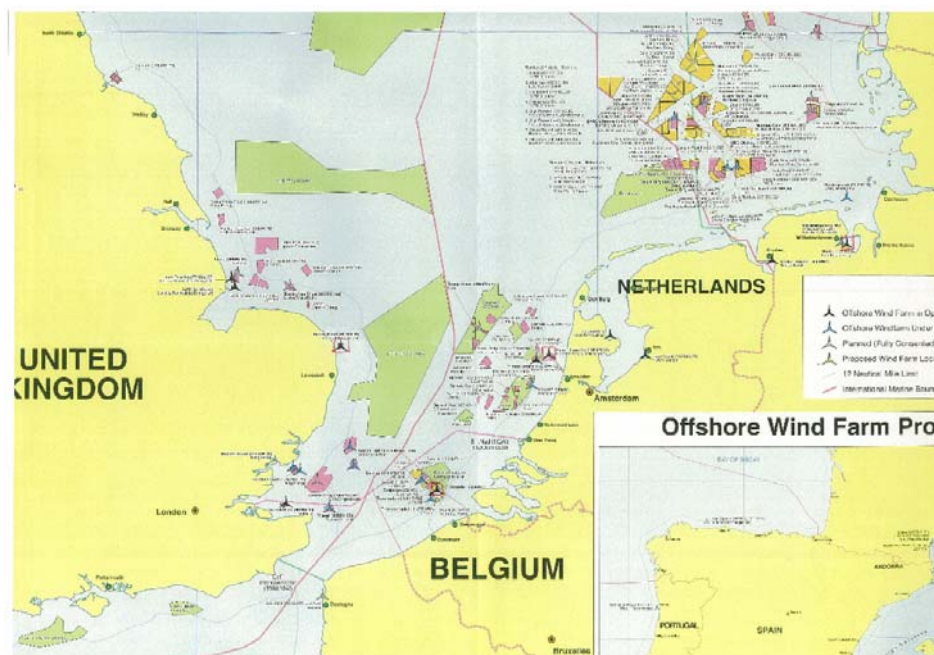


図3 欧州の洋上風力発電プロジェクトマップ

2) 大ブームになっている世界の波力発電開発

我が国は、1975年大出力波力発電「海明」プロジェクトなど波力発電で世界に先駆けた一時代もあったが、今日その面影はない。日本の停滞と対照的に、世界では100を超える海洋再生可能エネルギー開発プロジェクトが様々な研究ステージで進んでいる。このうち波力・潮力、なかでも波力発電が最も有望視され、実用化も近いとみられる。(図4) また、IEC(国際電気標準会議)の規格づくりも欧米中心に進められている。

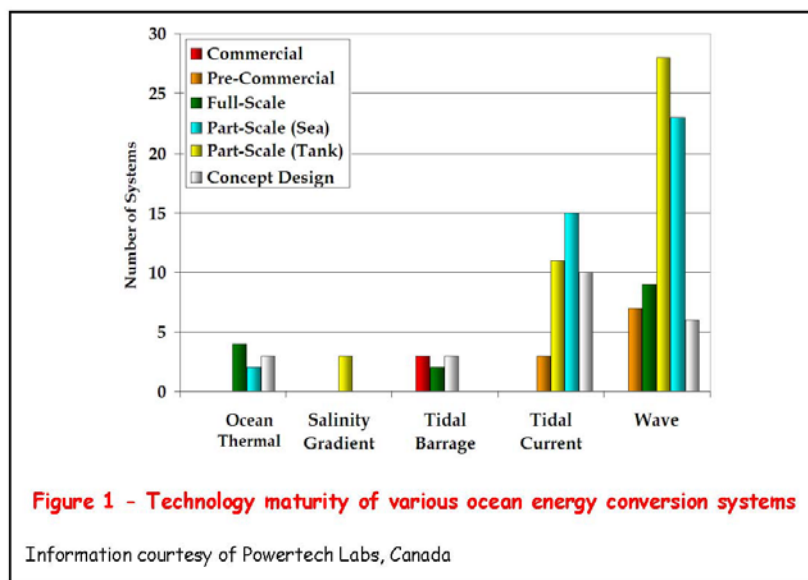


図4 様々な技術の成熟度

(出所:IEA OPEN Technology Bulletin, July 2008)

国別には、図5にみられるように英米が先行している。

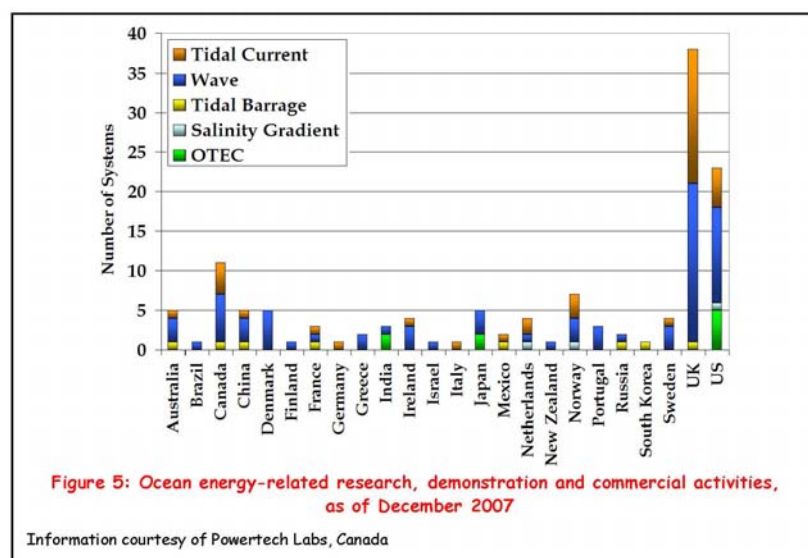


図5 開発で先行する英国と米国

国土を海洋に接する主要国は海洋再生可能エネルギーに対して下表のように様々な助成、優遇措置を設けている。

海洋エネルギーに対する主要国の支援策の一部

国別	優遇措置	当該国での価値	邦貨換算
イングランド	海洋発電に対する再生可能エネルギー証書(ROCs)の価値	€0.1/kWh	13.5円/kWh
スコットランド	潮力発電のROCs 波力発電のROCs	€0.15/kWh €0.25/kWh	20.25円/kWh 33.75円/kWh
ポルトガル	波力発電の固定買取価格(FIT)	€0.23/kWh	31.05円/kWh
アイルランド	海洋発電の固定買取価格(FIT)	€0.22/kWh	29.7円/kWh
米国	US Treasury Grant設備補助金 DOEの融資保証 米国経済再生法の補助金、保証 波力・潮力にDOEの開発補助金 他に、州政府独自の優遇措置	30% 未定 \$ 50,000,000	 50億円(2010)
オーストラリア	連邦政府の設備補助金 州政府の設備補助金 固定買取価格 再生可能エネルギー証書	30% 最大20% A\$396-198/MWh A\$0.05/kWh	32~16円/kWh 4円/kWh

中国について若干触れておく。2005年2月全人代常務委員会で「再生可能エネルギー法」が採択され06年元日施行された。地方政府においても、中央政府の政策に基づき、各地域の状況に合わせて地域毎の「利用計画」を制定することとしている。再生可能エネルギーを「風力、太陽、水力、バイオマス、地熱、海洋エネルギー等の非化石エネルギー」と定義し、海洋エネルギーには、波力と潮力が含まれている。潮力発電の普及が先行しているが、昨年、小規模ながら世界初の風力・波力・太陽エネルギー複合発電所を広東省・珠海市の担杆(Dangan)島に設置したとみられる。

3) 実用化に近い波力発電装置

近年は、水深が深く波高の大きい沖合で多数の小規模装置を配列設置するのがトレンドになっており、ペラミス(Pelamis)とパワーブイ(PowerBuoi)が最も実用化に近いものと見られる。

スコットランドのオーシャン・パワー・デリバリー社(Ocean Power Delivery)が開発したペラミス(図6)は、直径3.8mの円筒形浮体4台が連結した蛇のような姿をした重量750トンの装置である。各浮体連結部にシリンダーポンプ2台と可変容量型モータ1台を組み合わせた油圧装置があり、波で連結部が折れるとピストンでオイルが押され、そのオイルで発電機を回す。2008年9月に北ポルトガル沖に750kW 機が3基設置され、ポルトガル政府が約32円/kWhの固定価格買取(FIT)で支援する世界初の商用波力発電とうたわれたが、その後、故障が発生し改修中の模様である。



図6 オーシャン・パワー・デリバリー社のペラミス

米国のオーシャン・パワー・テクノロジー社(OPT: Ocean Power Technologies)が開発したパワーブイ(図7)はポイントアブソーバー型の波力発電装置で、構造がシンプルかつ大部分が水中に没しているため、安全性や信頼性で有利と見られる。米国ニュージャージー沿岸に定格40kW級の初期の試験機を1台設置し、2005年10月からの1年間と2008年8月から現在まで稼働している。この間、台風や12m以上の波浪に耐えている。スペインでは、世界最大の再生可能エネルギー会社イベルドロラとスペイン政府との合弁事業として建設が進められている1.39MWの波力発電所に採用され、2008年9月に定格40kW改良型の装置を設置した。また、今春にはスコットランド・オークニーに定格150kWの装置を設置予定である。同社は、海底に設置される系統連系機器の開発も進めており、英国コーンウォール沖合ウェーブ・ハブ(Wave Hub)を構成する4海区の一つであるOPT海区にはこれを設置する計画である。

米国Ocean Power Technologiesが開発したPowerBuoyは、各地で40kWの装置の実海域実験を行っており、近く150kWの装置を実海域に投入予定。



図7 OPT社のパワーブイの開発動向

4) 動き出した商業発電プロジェクト

OPTと大手建設企業が進めていたオーストラリア・ビクトリア州ポートランド市沖合19MW波力発電プロジェクト計画に対し政府補助金が決定された。総投資額はA\$ 233百万(約186億円)とみられる。6年計画の中を3フェーズに分け、大型化とコストダウンのステップを折り込んでおり、実証試験と商業発電をつなぐモデル発電事業のような位置づけと考えられる。優遇措置としては、連邦政府・州政府の設備補助金45%、初年度32円/kWh、6年度以降16円/kWhの電力引取価格に再生可能エネルギー証書(現在相場4円/kWh)が付加される。モデル発電事業といっても、どんぶり勘定で損失を補填するようなものではなく、事業期間20年の高収益事業として計画されている。いよいよ本格的な商業波力発電時代の幕開けと言ってよい。

因みに、このプロジェクトは、政府の産業再生事業の公募(競争的資金)に対して応募のあった40プロジェクトから採択された4件のうちの一件である。採択された他のプロジェクトは、地熱発電2件、バイオマスと風力のハイブリッド1件である。

昨年末には、OPTと米国オレゴン州政府の間で、定格100MW波力発電所のフィージビリティ・スタディーについて覚書が交わされた。

また、つい最近のこととして、3月16日スコットランドに商用波力発電所と潮力発電所が建設されることが決まったことが報じられた。(3月18日毎日新聞) 波力6箇所、潮力4箇所の合わせて10箇所に建設され、発電容量は合計1.2GWに達する。投資総額は50～70億ポンド(約7000億～1兆円)とみられる。

5) 再生可能エネルギーにおける波力発電の競争力

普及時の波力発電設備コストは約4億円/MW(年間400基量産ベース)、発電単価は15円/kWhと、他の再生可能エネルギーに比べ遜色ないものと見られる。

再生可能エネルギー間の競争力(OPT社分析による)

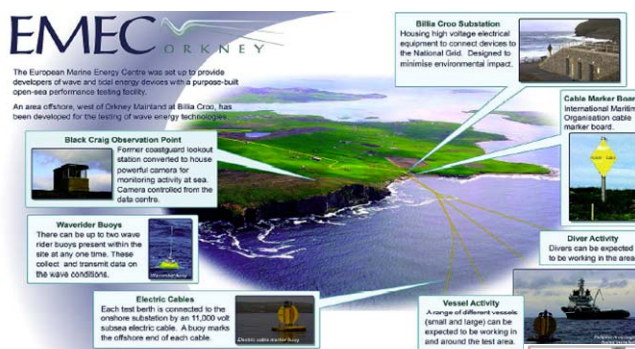
	波力発電 (パワーブイ)	太陽光発電	太陽熱発電	風力発電
設備コスト \$ million/MW	3.9	7.2 - 10.4	4.3 - 5.9	1.5 - 3.1
発電コスト ¢ /kWh	15	50 - 134	24 - 34	8 - 16

6) 海洋エネルギー実証試験場

欧州では多くの実証試験場が整備され、海洋エネルギーの研究開発を支援している。このうち、英国の欧州海洋エネルギーセンタ(EMEC)とウェーブ・ハブが有名である。

EMEC(図8)は、EUのなかでスコットランドが誘致競争を勝ち抜いた施設であり、装置性能、耐久性、信頼性の評価、標準化を目的に世界に利用を公開している。2年先まで予約が埋まる活況であると聞き及ぶ。

また、英国の SWRDA(南西地域開発局)は、コーンウォール(Cornwall) の沖合10マイルの海域に、世界最大の波力発電基地ウェーブ・ハブを、今夏完成予定で建設を進めている。4km×2kmの海域を4海区に分割し、各海区に1型式の波力発電装置のアレイが設置される。既に、米国のOPT社とノルウェーのフレッド・オルセン社が各1海区を契約している。発生した電力は海底ケーブルで送電し陸上の電力グリッドに系統連系される。実証試験と発電基地を兼ねたような施設とみられる。

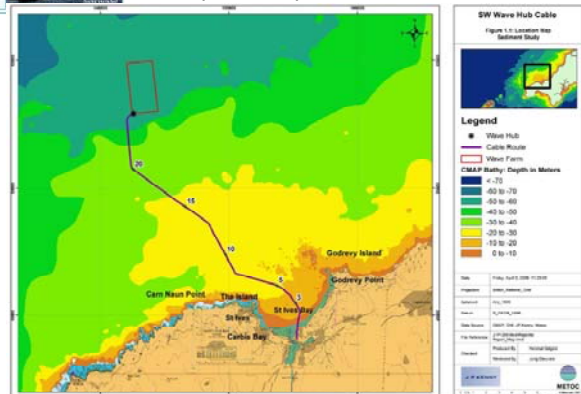


<http://www.emec.org.uk>

欧州海洋エネルギーセンタ:EMEC(左)
英国は装置の発電性能、耐久性、高信頼性を評価する実海域実験場を戦略的に世界に公開している。

出所:SW Wave Hub Cable-Seabed Sediment Study, Report 2057, April 2009, METOC www.metoc.co.uk

英国の実証試験海域 Wave Hub計画(右)
英国 SWRDAが Cornwall の沖合10マイルの海域に、世界最大の波力発電基地 Wave Have を、2010年夏完成に向け建設を進めている。
4km×2kmの海域を4海区に分割し、各海区1型式の波力発電装置列を設置し、発生した電力は海底ケーブルで送電して陸上の電力グリッドに系統連携する。実証試験と発電基地を兼ねたような施設である。



2. わが国における波力発電の有効性

1) 波力の賦存量と波力発電のポテンシャル

日本には沖合の波パワーの賦存量についてコンセンサスはないものの、およそ300GW以上とみられる。

日本の沿岸に打ち寄せる波パワーの賦存量を36GWとする報告^注がある。沿岸の平均波パワー密度を7kW/m（水深50m以下の実測値による）、総海岸線長を5200kmとして計算した値であるが、これは、沖合に設置される波力発電を対象とするにはあまりに控え目な値になっている。

水深が深い沖合での波パワーは15～20kW/mとみることができ、また、海岸線長5200kmには伊豆小笠原諸島が全く含まれておらず、南西諸島についても沖縄本島と奄美大島の二島しか含まれていない。日本の海岸総延長は実に35,000kmで、全長100kmを超える海底電力ケーブルも珍しくなくなった今日では離島と離島の間の海面も波力発電の適地となりうる。さらに、波パワーの一部が波力発電装置に吸収される効果と、周辺の風によって励起される効果とどちらが大きいのかという疑問もある。こうしたことを総合的に考慮して、沖合の波パワー賦存量を的確に示す数値は公には存在しない。

波パワー密度15～20kW/m、沖合線長10,000km、風による復元効果を2倍とすれば日本の波パワーの賦存量は300GW～400GWになる。ひとつには、波パワー密度の単位が単位幅当り(m)で定義されているため、考え方によりいろいろな数値がでてくるのである。日本の広大な海における波力の賦存量を、水深や陸からの距離を考慮せずに定義すれば、無尽蔵とまではいかなくても300GWですら1桁の過小評価と言えるかも知れない。

最近の先進的な装置のエネルギー変換効率は30%程度とみられるので、波パワー賦存量を300GWとみてその3%を利用することにすれば、定格設備容量30GW以上の波力発電設備を設置することができる。

注) 高橋重雄, 日本周辺における波パワーの特性と波力発電, 港湾技術研究資料 No.654, 1989

2) 日本の波力発電の適地

冬場の日本海は波が荒いことで知られるが、年間平均の波パワーから判断すると太平洋側に設置するのが有利である。太平洋側の年間平均波パワーは、日本列島全域にわたり十分な大きさ(15kW/m以上とした)があるが、経済的には陸地からの近さが決め手になる。こうしたことから波力発電の適地としては、北方領土の南方沖、銚子沖、房総沖、伊豆小笠原諸島沖全域、南西諸島沖全域を挙げることができるが(図9)、それらが全てではない。今日では詳細な海象・波浪解析を実施すれば、波力発電の適地は広がる可能性も高い。いずれにしても、陸上送電網と連系すれば、本格的な再生可能エネルギー源に位置づけるに十分な広さがある。

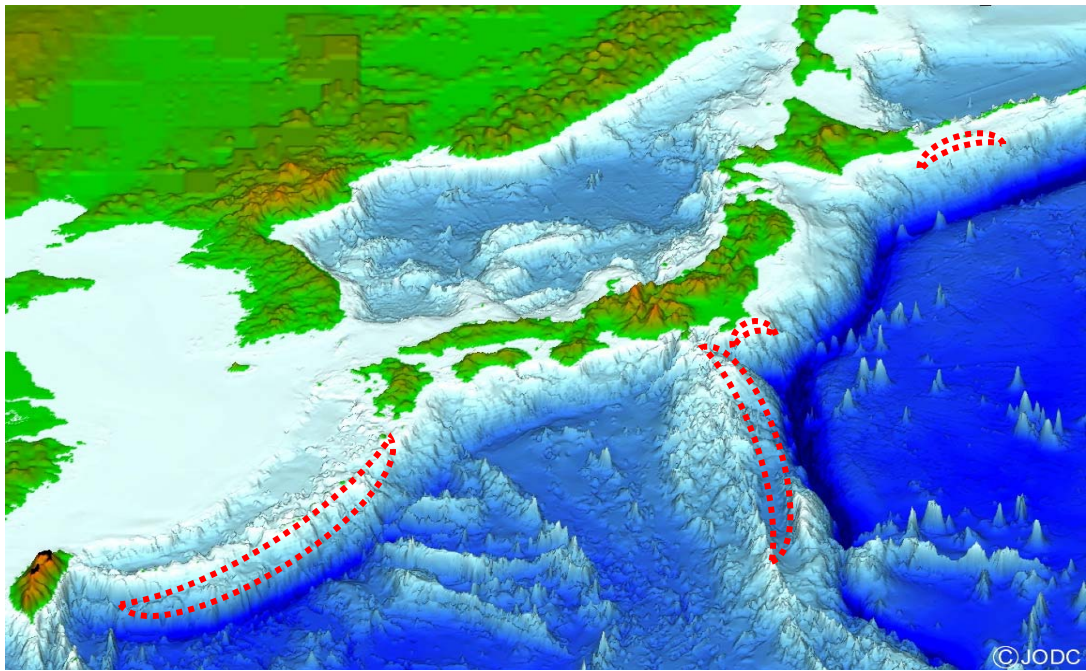


図9 日本近海における波力発電の適地

3) 波力発電技術

波力発電技術は、コンバーター（あるいは波力発電装置）、係留技術、アレイ（配列）技術、海中送変電技術、さらには運転・保守技術などで構成されるシステムの全体と捉えるべきである。

コンバーターについては、日本の「失われた10年」の間に欧米で可能性のある全てのアイデアが試されたと思えるほどの多くの機種が開発途上にあり、そのいくつかは実用化の入り口に立つまでに進化した。今後も、単機出力の大型化やリニア発電採用による効率化などの改良が継続的に行われるものと見られる。こうしたなかで、全体として、おびただしい数の特許が出願あるいは権利化されているとみられ、これをかいくぐっての独自開発は、今からではまず不可能と思われる。このため、海外の優れた製品技術を導入し、日本企業の優れた製造技術で建造するというのが現実的な対応と見られる。幸いにして、日本は欧米企業から先端技術の供与を憚られる筋の国ではない。また、幸いにして、市場は日本国内であり、海外の優れた技術を憚る理由も無い。世界的新興市場の目をみはる成長は例外なく海外からの技術と投資に始まり、時間とともに現地化（ここでは国産化）が進行している。

日本では波浪状況と海底地形から、海外での実績に比し水深100mを越えるような比較的深い海に立地することが想定され、係留技術やアレイ技術が重要となる。コンバーターを海外から技術導入するといっても、システム全体について技術的検証を避けて通ることはできない。まず、実海域実証実験が不可欠である。

4) 日本の海洋エネルギー実証実験場

本格的普及を目指すためには、波力発電システムの完成度を高めることはもちろんのこと、運用経験とデータの蓄積が不可欠であり、このため、一日も早く実海域実証実験場を整備する必要がある。

波力発電検討会では波力発電の適地を検討した結果、波パワーと地域特性の両面から伊豆大島周辺海域を実証実験場の候補地とした。地域振興を絡め離島発電を入口として、実海域実証実験、さらにはモデル発電事業を通じ技術改良とコストダウンを進めながら、徐々に全国的普及に広げていくのが現実的なシナリオと考えている。また、離島では既存電源の発電コストが高いことから、波力発電のような新しい再生可能エネルギー電源も取り入れやすいという背景もある。

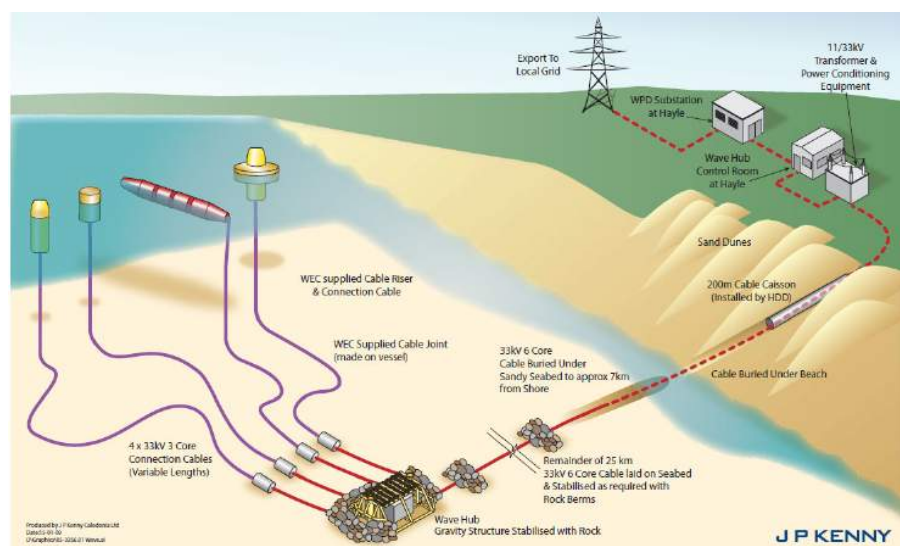


図10 実証試験場のイメージ(ウェーブ・ハブ計画より)

(出所:SW Wave Hub Cable-Seabed Sediment Study, Report 2057, April 2009, METOC WWW.metoc.co.uk)

5) 波力発電の導入目標と経済性目標

実証実験後いきなり商業的発電事業に進むのではなく、中間に、モデル発電事業ともいうべき比較的小規模(定格設備容量で10～30MW)な段階で再生可能エネルギー電源としての完成度を高めていくことが結果的に早道であると考えている。前掲オーストラリアのビクトリア・プロジェクト(定格19MW)もそうした位置づけのプロジェクトである。

下表は、ビクトリア・プロジェクトと同じ計画のプロジェクトをモデル発電事業として日本で実施した場合の事業性検討結果を示している。現時点では、設置場所の波浪条件は特定できないので、設備利用率については20%、25%、30%の3点に振っている。

【計算の前提条件】

定格発電能力 : 19MW

- 総投資額 : 180億円
 建設工程 : 6年計画
 事業期間 : 20年間(建設工程含む)
 支援策 :
- 1) 設備補助金 50%
 - 2) 固定価格買取制度(FIT)は次の2ケースを比較
 ケース1 : 全事業期間に亘り25円/kWh で買い取る。
 ケース2 : 上加え 2～6年目の部分稼働期間中に限り100円/kWh で買い取る。
 - 3) グリーン電力証書: 考慮せず。

モデル発電事業の収益性

(税引後利益累計の単位: 百万円)

摘 要		日本のモデル事業			ビクトリアPJ
調 整 条 件	設備利用率	20%	25%	30%	29.73～35.97%
	インフレ率	0.5%			3.5%
	税率	40%			30%
	預金金利	0.5%			3.5%
	借入金利	2.0%			6%
収 益 性	全事業期間中の電力買取価格を25円/kWhに固定した場合				
	税引後利益累計	▲285	1,757	3,627	非公開
	プロジェクトIRR	3.48%	5.45%	7.19	非公開
	エクイティIRR	1.60%	4.65%	7.32	非公開
	部分稼働期間中(2～6年目)に限り電力買取価格を100円/kWhにした場合				
	税引後利益累計	3,314	6,078	8,715	非公開
	プロジェクトIRR	7.37%	10.72%	14.05%	非公開
	エクイティIRR	10.76%	18.13%	24.88%	非公開

ケース1の結果、設備利用率25%以上になる海域でモデル発電事業を行えば、2分の1程度の設備補助と平均グリッドパリティ程度(25円/kWh)の電力買取価格で基本的には商業的に成立し、継続的な運転と評価が可能になる。ただし、最初のプロジェクトであるリスクを考慮するとIRRで7%台というのは低すぎる。この場合、ケース2のように若干の配慮を講ずれば、現実の投資案件として十分成立する水準の事業になることがわかる。

なお、その後の民間商業発電所(50MW～100MW)では、25円/kWh のFITだけで設備補助なしで経済的に成立するものと予測している。

このように、普及の段階に応じて適時適切な支援策を講じて普及が進めば、規模の効果と経験曲線により発電コストは2020年以降の早い時期に10円/kWh 台を目指すことができるものと期待される。ただし、普及初期の発電所規模は小さいため、海底電力ケーブルなどのインフラは相対的に高コストになるので、発電所には負担能力がない。当面の間、戦略的に公共インフラとして整備されるべきである。

6) 漁業との関係

沿岸(陸地から2km程度)には漁業権が設定されており、この海域を利用するためには当該海域の漁業団体との調整が必要である。この範囲を超える沖合で漁場と重なる場合には、交渉相手先が複数になり、一般には、調整が困難になることが指摘されている。

分 類		主な漁業	関係団体
大臣管理漁業	指定漁業	主に沖合・遠洋で操業する①沖合底びき網漁業、②大中型まき網漁業、③遠洋かつお・まぐろ漁業、④いか釣り漁業 など	各業種別団体
	特定大臣許可漁業	主に沖合・遠洋で操業する①ずわいがに漁業、②東シナ海はえ縄漁業 など	各業種別団体
知事管理漁業	知事許可漁業	主に地先・沖合で操業する①小型まき網漁業、②小型底びき網漁業、③小型いか釣り漁業 など	漁業協同組合など
	漁業権漁業	主に地先で操業する①定置漁業、②区間漁業、③共同漁業	漁業協同組合など

これに対し、波力発電装置の集魚効果は旧くから確認されており、新しい漁場を創出するものとして、波力発電と漁業は共存・共栄関係にあることは実証されている。

【事例】 益田善雄「日本の波力発電」から引用；

一竿五匹と言う成績が普通であり(中略)「海明」の周辺に集まった魚類は、
 浮魚:イナダ・サヨリ、アジ、サバ、ウルメイワシ、カタクチイワシ、シイラ、ソウダカツオ、シマダイ。
 中層魚:クロダイ、スズメダイ、スルメイカ。
 底棲魚:コダイ、ヒラメ、カレイ、ホッケ、コチ、アイナメ、キス、ベラ、ヤリイカ、ウマズラハギ。
 目視された群れは、シマダイ、イワシ、サヨリ、ソウダカツオ、小さなシイラ等。

潜水員による調査では、ヒラメの大きさが 50cm～40cm のものが、鎖の左右両側に 1.5m～2m の間隔に一枚ぐらいの割合でいた。また、チェーンには、50cm 位のアイナメが 12 尾ついているのが目視されている。「海明」の周辺には、由良のみならず、波渡、小波渡などの漁船や釣船が 20～30 隻も集まっていることがよくあり、「海明」の魚礁としての効果が大きいことを示していた。

「海明」が第二次実験を終了し、撤去されることになったとき、現地の漁業関係者から、「海明」付近での漁獲量が減ることを心配する声が出た。このため、海洋科学技術センターは、「海明」とは別に、曲良港外水深8mでテストしていた浮消波堤を魚礁として使うことにした。

図11は、沖永良部島と与論島の中の沖36キロ海上にある大型浮き漁礁であり、魚礁を中心にマグロ、カツオ、ブリ、カンパチ、シイラといった浮魚類が集まり、漁場が形成される。また、船舶の航路標識や海洋情報データを収集するといった役割も有る。このような大型浮き漁礁は日本各地に設置されている。

これに対し、図12の波力発電装置(パワーブイなど)は、物理的形状が浮き漁礁と酷似しており、いわば「浮き漁礁発電装置」とみることができる。また、同様に、漁業情報を提供する役割を担うこともできる。波力発電事業を漁業の一環として、あるいは、新しい漁業として位置づけることを検討すべきである。



図11 沖永良部島と与論島の中の沖36キロ海上にある大型浮き漁礁



図12 OPT社の波力発電装置パワーブイ

3. 創出される市場・産業の規模

1) 新しい市場の規模観

定格5GW の波力発電設備を設置すると、そこから生まれる経済規模(設備単価4億円/MW、設備利用率30%として算定)は凡そ、

- 設備建設: 2兆円(耐用年数30年)
- 電力販売: 3,100億円(年間)
- 設備運用: 630億円(年間)

これは、波力発電に限定した規模であり、洋上風力との併設や漁業、地域振興との組み合わせる効果を2倍程度として、こうしたフィールドを日本全体で30年間に10箇所建設すれば、その経済規模は30年累計で約150兆円に及ぶものと試算できる。こうした規模の新しい国内市場は、大きな雇用と税収につながるほか、海外の投資家から見ても魅力溢れる新興市場ではなかろうか。

2) 産業の波及効果

波力発電から広範囲な産業に波及効果が出始めている。IBMやBoschなど、これまで無縁であったようなIT大手や自動車部品大手が、海洋再生可能エネルギー分野をこれからの有望市場とみて参入戦略を強めている。定格5GW波力発電所建設に使われる素材や部品は、凡そ、鋼材300万トン、係留索3,000km、コンクリートケーソン1,000万トン、波力発電装置10,000基用の油圧機器、電気制御機器、IT機器などとなり、素材産業や部品産業への波及効果は小さくない。

3) 洋上風力はじめ他の海洋再生可能エネルギーとの相乗効果

太陽が風を起こし風が波を起こしながらそのエネルギーを濃縮(エネルギーの濃縮現象)する。波のエネルギー密度は、太陽の凡そ20倍、風の凡そ4倍にもなる。このことから、波力発電は風力発電に比べて設置密度を大きくとることができる。波力発電装置は海上露出部が小さく上空の風を乱す影響が小さいので、波力発電を洋上風力発電の間を埋めるように設置することにより海面の利用効率を大幅に高めることができる。また、他の海洋再生可能エネルギーの利用もあわせて、海底ケーブルなどのインフラをシェアすることもできる。

4) 地域経済に与える効果

実証実験場の候補地とした伊豆大島は海を挟んで電力の大消費地に近く、海上交通の便がよいが、それだけではない。日本の首都東京である。実現すれば、世界的にもインパクトは大きく、地域経済への波及効果は計り知れないものになるだろう。

波力発電は、様々な海洋利用システムの電源として利用できることはもちろんのこと、海洋情報の計測・発信基地としての利用、漁業との協調システムへの展開が考えられ、さらには、観光資源としての価値も大きい。

また、こうした立地であれば、波力だけでなく、洋上風力・潮力など他の海洋再生可能エネルギー、水産、海洋情報サービスなど複合的、多面的な開発拠点とし、さらには、世界に開かれた東アジア・環太平洋のセンターに位置づけるなど、世界的スケールで意義のある展開も期待できる。

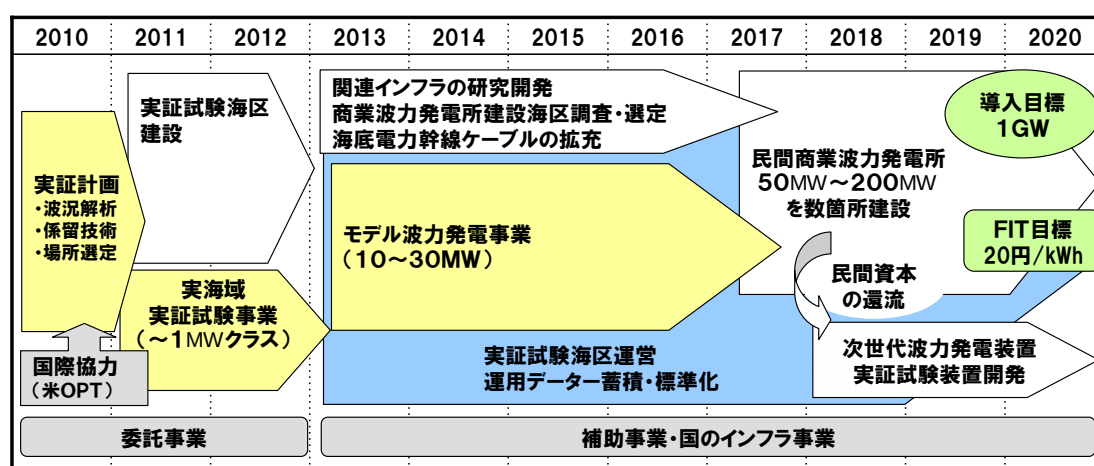
4. 波力発電導入の課題と今後の取り組み

1) 波力発電の導入目標案

波力発電は「新エネルギー」として認められておらず、国としての導入目標があるわけではないが、実証実験場やインフラ整備がタイムリーに進めば、2020年までは、その後の本格導入の準備期間の位置づけとして300MW以上の導入が可能と思われる。国の導入目標としては、他の海洋再生可能エネルギーとあわせて1GW程度とすることが望ましい。

波力の賦存量の大きさから、2020年以降については、洋上風力（浮体式）との相乗効果などから普及のペースは急加速し、風力発電に遅れながらも、概ね2030年までにはこれと並ぶ20～30GWの導入が可能と考えられる。

波力発電を中心とする海洋エネルギー（洋上風力を除く）の普及拡大ロードマップ案



注)

波力発電装置は、周辺の風況を乱すことなく高密度に設置できるため、洋上風力発電と波力発電を同じ海域で利用できる。海洋エネルギーの利用効率を高めるとともに、海底電力ケーブルなどのインフラを共用できるという経済的利点があるため、洋上風力発電と波力発電を同一海域で一体事業として実施することが望ましい。

2) 今後の取り組み

上の導入目標の達成は、2011～12年度の実海域実証実験とその後のモデル発電事業の実現にかかっている。このため、環境が整えば、2010年度には実証実験に向けて次のような取り組みを行うことを計画している。

- (1) 我が国には直ちに実用化できる波力発電装置がないため、世界で最も実績があり、信頼性が高いと考えられる技術を利用する。
- (2) 欧米では比較的浅い（～50m）海においても大きな波力エネルギーを有する海域が

多く存在するため、沖合設置型波力発電技術でも対象となる海域が浅いのに対し、日本では深さ100m前後の海域を設置対象とする必要がある。このため、海外の波力発電装置を日本に設置する場合、欧米と異なる日本に最適化した係留システムを開発する。

- (3) 沖合の波浪データが整備されていないため、近年可能になったコンピューターによる数値解析技術を用いて、過去の気象データから伊豆諸島沖合の波況の詳細データを算出し、波力発電機の設置場所を選定するとともに、設計条件の決定や年間発電量の予測などに用いる。
- (4) 実海域での波力発電は、地域振興、地球温暖化対策、電力系統、水産、航路安全など多岐に跨る課題に対し、関係者の協力が不可欠であることから、実海域実証実験計画の検討のためのラウンドテーブルを設置する。

第3回波力発電検討会資料ー7

波力発電の実海域実証試験とモデル発電事業に向けて

伊豆諸島(大島沖合)の選定のポイント及び課題・解決方法

評価項目		選定のポイント	課題	解決方法
自然環境	海象 波況	大きな波パワーが期待できる	具体的な設置位置が未定 設置申請に必要な情報	海象・波況の詳細解析を実施予定 (2010年度) 海底調査等を実施予定(2011年度)
	海底 地形	伊豆大島近海に大室ダシ、千波埼 沖合等の有望な海域が広がる。	深い海での実用的係留方法が未定 (検討中)	100m前後の深度の係留技術につい て実証研究予定(2010年度)
産業基盤		伊豆大島は人口1万人弱であり、建 設・運用に必要な産業基盤やサービ ス施設が存在する	地域振興との関係	2010年度にラウンドテーブルを設置し、 基本的枠組みを検討： ・東京都(環境局、産業労働局)
漁業関係		波力発電の魚集効果などにより、漁 業との協力が図れる	地元関係者と未調整 沖合利用の関係未調整	・大島町 ・関係省庁
発電関係		小規模な電力は伊豆大島で消費で きる。大電力消費地に近く、将来性 がある。	国の支援策が未定 海底ケーブル等インフラ整備 設置申請に係る取り扱い	・東京都漁業調整委員会 ・東京大学 ・(東京電力)
海上交通関係		(航路にあたる)	周知徹底方法 許認可	・OEAJ
実証試験フィールド の運営体制		東京に近い	フィールド運営主体が未定	事務局：未定

第三部 波力発電の導入促進に関する提言

- ① 波力発電を「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法」に基づく新エネルギーに加えるなど、国のエネルギー政策として法的に位置づけ、開発・導入に取り組むこと。
- ② 波力発電を国の海洋基本計画に折り込むこと。
- ③ 実海域における実証実験やモデル発電事業、海底ケーブル等のインフラの整備等の検討を進めること。
- ④ 今後の技術開発等を踏まえ、将来的には波力発電による電力も固定価格買取制度の対象に加えるほか、必要な支援策を講じること。

【波力発電の導入促進の考え方】

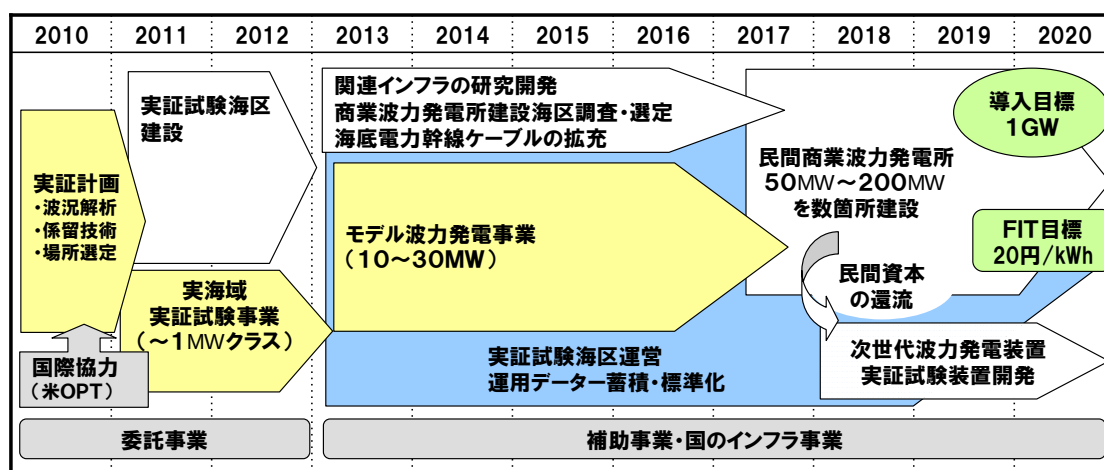
- (1) 海外、特に欧州では再生可能エネルギー分野で海洋の利用が大きく進展するなかで波力発電技術についても実用化の段階にある。
- (2) 日本周辺海域の波力の賦存量は十分大きく、我が国でも波力発電が本格的な再生可能エネルギーとして利用できる可能性が高い。
- (3) 波力発電の普及が進むことにより、他の海洋再生可能エネルギーの普及と合わせて国内に巨大産業を創出することができる。
- (4) 普及が進んだ段階で波力発電は他の再生可能エネルギーに対して一定の競争力を有する。
- (5) 波力発電をはじめとする再生可能エネルギーは、地域における導入が進めやすいため、地域経済の活性化や雇用の拡大に結びつく仕組みづくりも併せて進めていく。

【波力発電の普及拡大ロードマップ】

世界的に最も実用化に近い製品技術を導入し、国際協力により日本化を進め、日本国内で建造すること前提に、その技術の成熟度及び日本における製造能力から推測すると、2020年までには300MW以上の導入が可能と思われる。導入目標としては、他の海洋再生可能エネルギーとあわせて1GW程度とすることが望ましい。

2020年以降については、波力の賦存量の大きさを背景として、洋上風力(浮体式)との相乗効果^{注)}などから普及のペースは急加速し、風力発電に遅れながらも、概ね2030年までにはこれと並ぶ20～30GWの導入が可能と考えられる。

波力発電を中心とする海洋エネルギー(洋上風力を除く)の普及拡大ロードマップ案



注)

波力発電装置は、周辺の風況を乱すことなく高密度に設置できるため、洋上風力発電と波力発電を同じ海域で利用できる。海洋エネルギーの利用効率を高めるとともに、海底電力ケーブルなどのインフラを共用できるという経済的利点があるため、洋上風力発電と波力発電を同一海域で一体事業として実施することが望ましい。

(添付資料)

波力発電検討会に付された主な資料

- ① 波力発電の動向について(佐賀大学海洋エネルギー研究センター永田修一教授提供)
- ② 波力発電検討会による波力発電のイメージ合わせ(事務局)
- ③ Ocean Power Technologies プロジェクト紹介(OPT提供)
- ④ 実証試験・事業海域の検討(三井造船昭島研究所提供)
- ⑤ メガワット級海流システム(エンジニアリング振興協会提供)
- ⑥ 先進地(英国)調査報告(三井造船昭島研究所提供)
- ⑦ 英国の波力発電(英国大使館提供)
- ⑧ 日本における商業発電の事業性(事務局)
- ⑨ EMEC(OPT提供)
- ⑩ 実証試験場の候補地選定と課題(事務局)
- ⑪ 実海域実証試験並びにモデル発電事業等促進のため国への提言案(事務局)

(資料は東京都のホームページに掲載されています。)