

日本における浮体式洋上風力発電に関する一考察

A considering about the floating-body type on the ocean wind power generation in Japan

井上尚之*
Naoyuki INOUE

Abstract

The Suga cabinet prime minister at the time of October 26th, 2020 remarked that Japan makes the emission of the greenhouse gas 0 as a whole (Carbon Neutral) by 2050 in the belief manifestation

Moreover, in climate change Summit on April 22nd, 2021, Japanese Government expressed reducing CO₂ reduction target in 2030 by 46 % at the ratio in 2013.

By this, in the 6th energy basic plan, the rate of the wind power generation to occupy to all power generation was about 3.5 times raised from 1.7 % to 6 %.

It is the floating-body type on the ocean wind power generation that, in Japan, is watched specifically in the wind power generation.

In this paper, this floating-body type on the ocean wind power generation is considered. Then, the possibility of the popularization of the floating-body type on the ocean wind power generation is investigated.

キーワード：第6次エネルギー基本計画、浮体式洋上風力発電、スパー型、再エネ海域利用法、洋上風力産業ビジョン（第1次）

I はじめに

2021年7月21日に資源エネルギー庁が第6次エネルギー基本計画素案を発表した。この素案による2030年度の電源構成見通しは、再生可能エネルギー36～38%、原子力20～22%、水素・アンモニア1%、LNG（液化天然ガス）20%、石炭19%、石油2%である。このうちの再生可能エネルギーの割合は、太陽光15%、風力6%、地熱1%、水力10%、バイオマス5%である。2018年7月に作成された第5次エネルギー基本計画では2030年度における数値は、再生可能エネルギー22～24%、原子力20～22%、水素・アンモニア0%、LNG（液化天然ガス）27%、石炭26%、石

* 関西国際大学 現代社会学部

油3%である。このうちの再生可能エネルギーの割合は、太陽光7%、風力1.7%、地熱1.0~1.1%、水力8.8~9.2%、バイオマス3.7~4.6%であった。第5次と第6次を比較して特徴的な点は再生可能エネルギーの増大(22~24%から36~38%)と石炭の減少(26%から19%)である。この背景には、2020年10月26日、当時の菅内閣総理大臣が所信表明で「2050年までに温室効果ガスの排出を全体として0にする(カーボンニュートラル)」という発言及び2021年4月22日の気候変動サミットで2030年度のCO₂削減目標を2013年度比で従前の26%削減を46%削減にまで引き上げることがを表明したことによる。本論文は、第5次から第6次に於いて1.7%から6%に約3.5倍に引き上げられ(太陽光は7%から15%で約2.1倍)、最も引き上げ率が高い風力発電の中でも、注目を浴びている洋上風力発電、特に浮体式洋上風力発電について考察し、その普及の可能性を闡明する。

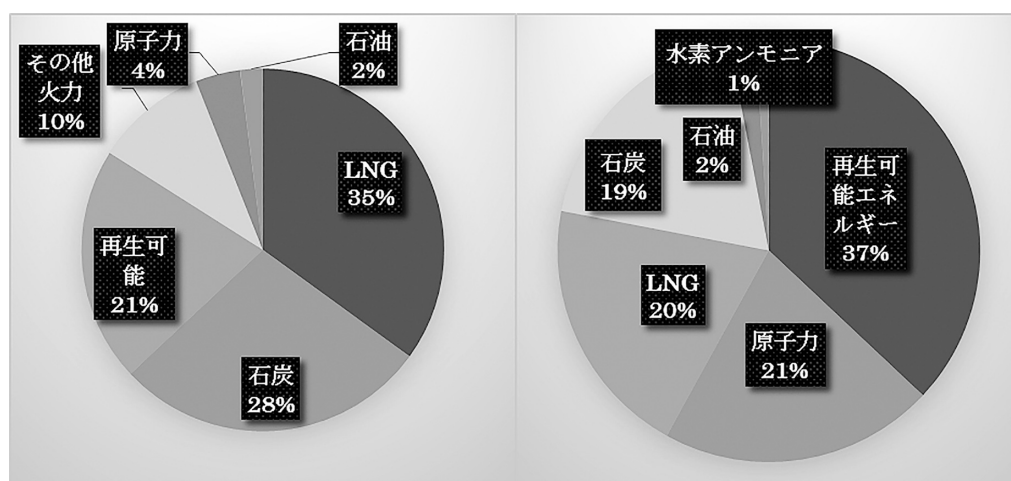


図1 (左)：2020年度の電源割合 (環境エネルギー政策研究所 ISEP 速報版より筆者作成)
 (右)：2030年度の電源割合 (資源エネルギー庁第6次エネルギー基本計画素案より筆者作成)

II 風力発電の原理と実態

図1に現在と2030年度の各再生可能性エネルギーの発電電力を示す。

風力発電は、風力エネルギーの約40%を電気エネルギーに変換できる比較的効率の良いものである。因みに太陽光発電の太陽光エネルギーの電気エネルギーの変換効率は、ポリシリコン系(ほとんど中国から輸入)で約20%であり、風力発電の方が太陽光発電よりも変換効率は高い。日本では、陸上では安定した風力(平均風速6m/秒以上)の得られる、北海道・青森・秋田などの海岸部や沖縄の島々などで、440基以上が稼働している。「風力エネルギー」は風を受ける面積と空気の密度と風速の3乗に比例する。風を受ける面積や空気の密度を一定とすると、風速が2倍になると風力エネルギーは8倍になる。

風力発電は、風の運動エネルギーの約40%を電気エネルギーに変換できるので効率性にも優れ、また大型になるほど格安になる(規模のメリットが働く)ため、大型化すれば発電のコスト低減も期待できる。風力発電は再生可能エネルギーの中でも発電効率が良く注目されてきたが、陸上の設置には制約が多い。そこで新たに注目を集めているのが、洋上風力発電なのである。

洋上風力発電には、着床式洋上風力発電と浮体式洋上風力発電がある。着床式洋上風力発電は、水深20m以内の遠浅の地形を活かした海の上の風力発電である。海上は陸上に比べて風が強く、設置のための輸送制約も少なく、より大型のブレードを用いることも可能なため、発電力の高い風力発電が実現できる。さらに、海上は人間社会からの距離もあるため、社会的な制約も少なくなる。着床式洋上風力発電の分野では、世界の9割以上の設備はEU諸国に偏在している。特にイギリスが牽引しており、イギリスだけで世界の4割以上を占めている。その他、ドイツとデンマークを足した3ヶ国の世界シェアは約80%、着床式洋上風力発電は北海・バルト海で占められている。一方で、陸上風力発電大国であるアメリカ、インド、スペイン、カナダ、フランスなどでは洋上風力は全く進んでいない。

ヨーロッパで洋上風力が伸びている背景には、遠浅の地形が多いという地理上のメリットがある。イギリスでは数百MWの大規模着床式洋上風力発電プロジェクトが次々と始まっている。日本もこの洋上風力に力を入れはじめている。すでに、北海道、山形県、茨城県、千葉県、福岡県で、併せて1GW～3GW程度の着床式風力発電機が営業運転されているが、ヨーロッパ諸国と比べると小規模である。

一方、浮体式洋上風力発電は、最新の手法で、実証研究が行われている。日本の長崎沖、福島沖、ノルウェーやポルトガルの海上で稼働している。浮体式洋上風力発電の特徴は、浮いているということである。風力発電の発電効率をより高くするには、風がより強い沖合へと出て行く必要があるが、沖合は水深が深く、着床式で海底に固定するためには大規模な構造物と工事を要し、非常にコスト高となってしまう。沖合は水圧も強く耐久性も問題となる。そこで考案されたのが、海底に固定させずに洋上に浮かべる浮体式洋上風力発電である。この浮体式洋上風力発電の開発で日本は世界のトップを走っている。着床式洋上風力発電は水深50mを超えるとコストが跳ね上がるため、ヨーロッパと違って遠浅が少ない日本は着床式洋上風力を推進しづらい。そこで、水深50m～200mで実現可能と言われる浮体式洋上風力を用いて、一気に遅れを取り戻そうとしているのである。

つまり、国土が狭く太陽光発電のメガソーラー発電の場所が少ないことに対して広大な海で囲まれている日本では、特に浮体式洋上発電普及の可能性が大きいと思われる。X項で詳述するが、日本と同様に海で囲まれた島国のイギリスでは既に風力発電が再生可能エネルギーの中の44%が風力である（太陽光発電は19%）。ただし遠浅の海に囲まれているイギリスでは現状においては圧倒的に着床式洋上風力である。

Ⅲ 再エネ海域利用法

大規模な再生可能エネルギーの導入が、2020年10月26日に首相が発表した2050年カーボンニュートラルを実現する手段であり、大規模で設備利用率も大きい洋上風力は、日本の主要電源の一つとなっていく可能性がある。次の表1を見れば、洋上風力が最も伸び率が早く設定されていることからこのことがわかる。

太陽光発電では世界第2位の導入量（2019年末現在62GW）¹⁾を持つ日本で、昼夜に関わらず発電する風力の導入を加速し、電源ミックスのバランスを確保することも求められる。日本の周

表1：現状と第6次エネルギー基本計画（素案）による2020年と2030年とのGW比較

再生可能エネルギーの種類	2020年①	2030年②	②／①
太陽光	56.0GW	100.0GW	1.79倍
陸上風力	4.0GW	15.9GW	3.98倍
◎洋上風力（浮体式中心）	0.2GW	10GW	50.0倍（最大）
地熱	1.0GW	1.5GW	1.50倍（最小）
水力	21.0GW	50.6GW	2.41倍
バイオマス	5.0GW	8.0GW	1.60倍

IRENA (International Renewable Energy Agency), Renewable energy statistics 2020, 経済産業省『第6次エネルギー基本計画（素案）の概要』（2021）などより筆者作成

りに広がる巨大な海域ポテンシャルはタワーの基礎を海底に固定する着床式に加えて、水深が深い場所で行われる浮体式が大いに期待されている。

しかし浮体式を含む洋上発電にも次の問題が横たわる。

- ① 海域の専用に関する統一的なルールがない。
- ② 海運業や漁業など、海域の先行利用者との調整に関する枠組みが存在しない。

そこで洋上風力に関する上記2点を改善するための法律が策定された。2018年に制定された海洋再生可能エネルギー発電設備に係る海域の利用の促進に関する法律（以下、「再エネ海域利用法」）である。

「再エネ海域利用法」の概要は以下である。（施行は2019年4月）

- ① 政府は、関係自治体や漁業団体などの利害関係者から構成される「協議会」を設置し、海洋再エネ発電事業の実施に関して内容について協議を行う。
- ② 政府は、関係省庁との協議や関係都道府県知事、協議会などからの意見聴取を経たうえで「促進区域」を指定し、「公募専用指針」を策定する。
- ③ 政府は、「公募専用指針」に基づいて公募を行い、長期的・安定的・効率的な事業実施の観点から最も適切な「公募専用計画（事業実施計画）」を提出した事業者を選定する。
- ④ 選定された事業者は、「公募専用計画」に基づいて最大30年間の占用許可を受けるとともに、この計画に沿って事業発電を実施する。

（資源エネルギー庁 HP「洋上風力発電関連制度 | なっとく！再生可能エネルギー (meti.go.jp)」より筆者作成）

ポイントは洋上風力発電事業を行う「促進区域」を政府が指定し、事業者は「公募」によって選定されると共に、選抜事業者は「最大30年間」海域占用が認められるということである。今後洋上風力発電が行えるエリアは限定され公募で選抜された事業者以外はその地域で洋上風力発電が出来なくなる。一方で選抜された事業者は30年間の占用ができるので長期的な事業計画を立てることができ、資金調達も容易となる。ここでいう公募は入札の事であり、発電した電力をより安く提供できる事業者が選定される。ここでの入札価格が当該事業の固定価格買い取り制度（FIT）の売電価格になる。ここでの許認可省庁は2つである。経済産業大臣がFITに基づく発電事業計画として認定し、国土交通大臣は選定事業者に当該海域の占用を30年間許可する。

これまで4促進区域が指定され、公募による事業者選定手続きが進められている。2021年6月11

日には、長崎県五島市沖の事業者選定結果が公表された。さらに表2に示す有望な区域4箇所、一定の準備段階に進んでいる6地域も指定されているのが現状であるが今後さらに促進区域等が増えて行くことは確実である。

表2：浮体式洋上発電の促進地域・有望な区域・一定の準備段階に進んでいる区域

促進区域	有望な区域	一定の準備段階に進んでいる区域
① 長崎県五島市沖	① 青森県沖日本海（北側）	① 青森県陸奥湾
② 秋田県能代市・三種町・男鹿市沖	② 青森県沖日本海（南側）	② 秋田県潟上市・秋田市沖
③ 秋田県由利本荘市沖	③ 秋田県八峰町・能代市沖	③ 新潟県村上市・胎内市沖
④ 千葉県銚子市沖	④ 長崎県西海市江島沖	④ 北海道岩宇・南後志地区沖
		⑤ 北海道檜山沖
		⑥ 山形県遊佐町沖

洋上風力の産業競争力強化に向けた官民評議会『洋上風力産業ビジョン（第1次）』（2020）を参考に筆者作成

また次の表3は、洋上浮体式発電の都道府県等からの情報収集から事業の開始までの流れの概要である。

表3：浮体式洋上発電の事業化までの流れ

(1)	都道府県等からの情報収集
	↓
(2)	有望な区域等の公表
	↓
(3)	協議会の設置、風況・地質調査
	↓
(4)	促進市域の指定
	↓
(5)	公募による事業者選定（最も早い五島市沖がこの段階）
	↓
(6)	FIT 認定、30年間の占有許可
	↓
(7)	事業の開始

洋上風力の産業競争力強化に向けた官民評議会『洋上風力産業ビジョン（第1次）』（2020）を参考に筆者作成

洋上風力発電設備の設置及び維持管理に利用される基地港湾においては、重厚長大な資機材を扱うことが可能な耐荷重・広さを備えた埠頭が必要であり、高度な維持管理のほか、広域に展開し、参入時期の異なる複数の事業者間の利用調整も必要となる。このため、2019年12月に「港湾法の一部を改正する法律（令和元年法律第68号）」が公布され、政府が基地港湾を指定し、当該基地港湾の特定の埠頭を構成する行政財産について、政府から再エネ海域利用法等に基づく許可業者に対して長期的かつ安定的に貸し付ける制度が創設された。これらの措置により事業の見込みが立ちやすくなり、洋上風力発電事業者のより一層の参加が容易となった²⁾。

2021年6月11日経済産業省及び国土交通省は、「再エネ海域利用法」に基づき「長崎県五島市沖に係る海洋再生可能エネルギー発電設備整備促進区域」における洋上風力発電事業者の公募を行い、学識経験者及び専門家等により構成される第3者委員会の意見及び長崎県知事意見を参考にして以下のとおり選定事業者を選定したと発表した。

- (1) 選定事業者（コンソーシアム）：（仮）ごとう市沖洋上風力発電株式会社
- (2) 構成員：戸田建設株式会社、ENEOS 株式会社、大阪瓦斯株式会社、関西電力株式会社、株式会社 INPEX、中部電力株式会社
- (3) 事業計画概要：発電設備…浮体式洋上風力発電、発電設備出力…16.8MW (2.1MW × 8基)

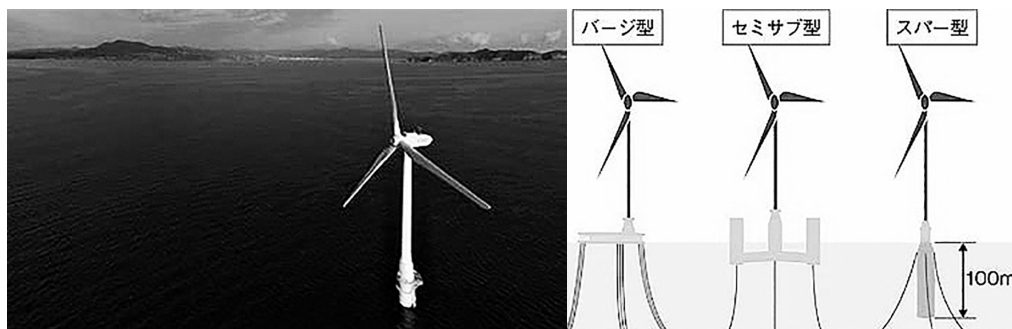


図2 (左)：五島市沖で実証実験のために設置された浮体式洋上風力発電（提供 戸田建設（株））
 (右)：浮体式洋上風力発電の主な種類（提供 環境経営学会）

IV 現在の洋上浮体式発電の型

図2左に五島市沖の浮体式風力発電の写真、図2右に現在世界で行われている浮体式洋上風力発電の型を示す。現行の大型風車は大きな傾斜に耐える設計になっていないため、浮体式洋上風力発電では風と波浪による傾斜を数度以内に抑制できる安定性の確保が求められる。スパー型は縦長で低重心が特徴である。浮体の小型化・量産化・コンクリートが採用できるなどの点では有利である。五島市沖のコンソーシアムに参加している戸田建設は鋼鉄板よりも安価な鉄筋コンクリートで浮体を作ることに成功している。しかし喫水が70m以上あるために岸壁では艀装（ぎそう：設備を付ける事）できない（座礁する）。水深の深い沖合で備船料が高いクレーン船を使って風車を浮体上に艀装する必要がある。この作業はフィヨルド地形のノルウェー（崖で囲まれた大深水の湾）では常時可能だが、日本では工事可能な風と波浪が平穏な時期を長時間待たねばならず、据え付け工事遅延のリスクが伴う。

一方バージ型とセミサブ型は水平方向の安定性を重視する構造で、埠頭で風車を艀装できるのでクレーン船は不要になるが、スパー型よりも複雑で大型の浮体が必要となりその分建造コストが高む。実証実験によるイニシャルコストを比較すると浮体式洋上風力が約100万円/kW、着床式洋上風力が約40万円/kW、陸上風力が15～30万円/kWであり浮体式のコスト高が目立つ。洋上は陸上よりも風況が良く、1.5～2倍の設備利用率（発電量）が期待できるので、イニシャルコストを同比率以下まで低減するのが当面の課題である。

V 洋上風力産業ビジョン（第1次）

2020年12月15日、経済産業省・国土交通省の「洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会」は「洋上風力産業ビジョン（第1次）」を公表した。このビジョンのポイントは年間100万kW程度の区域指定を10年間継続し、2030年までに10GW、2040年までに30GW～45GWを導入することが目標にされたことである。1GWとは日本の原発1基に等しく、2030年までに原発10基、2040年までに最大で原発を45基新設するに等しい。

2011年3月11日の東日本大震災の発生前、日本には54基の原発があり、日本で使う電力の30%の電力を賅っていた。しかし東京電力の福島第1原子力発電所の事故により、原発に対する不信感や不安感が高まり、2021年3月時点で再稼働したした原発は、大飯（関西電力）、高浜（関西電力）、玄海（九州電力）、川内（九州電力）、伊方（四国電力）の5発電所の9基のみである。一方、東日本大震災以降に廃炉が決定した原発は21基に上る。つづまるところ今後稼働できる原発は、 $54 - 21 + 9 = 42$ 基 < 45基である。計算上は、2040年までの洋上風力発電を計画の上限まで実行した場合、原発を0にできることを意味している。

仮に導入目標通りに拡大した場合、近年大型とされる10MW級のタービン換算でも、2030年で1000基、2040年に4500基もの風車が建設される。つまり、表2でいうと、長崎県沖、秋田県沖、青森県沖、新潟県沖、千葉県沖、山形県沖、北海道沖などの風景は一変して巨大洋上風車が立ち並ぶことになる。

浮体式洋上風車の直径と風車の出力電力の関係を図3に示す。風車サイズの大型化により、1基当たりの価格・建設費は増加するが、それ以上に風車の電力（MW）が増加するため、全体としてコスト低減につながる。

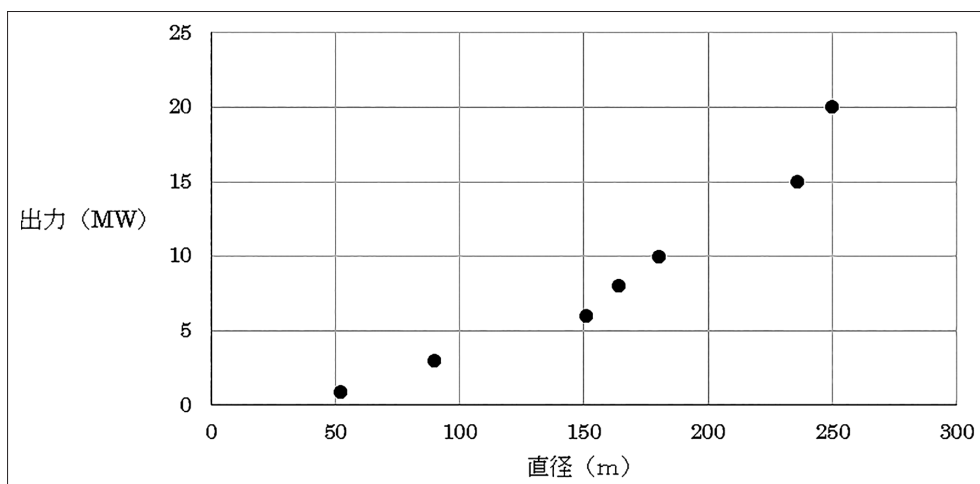


図3：浮体式洋上発電の出力（MW）とブレード直径（m）の関係
IEA (International Energy Agency), World Energy Outlook 2019, Figure14.4を参考に筆者作成

VI 洋上風力発電の問題点

洋上風力発電は北海道や東北など大消費地からは離れたところにある。日本全体で洋上風力の電力を活用するには、洋上風力発電所（着床式+浮体式）から陸揚げまでの送電線（海中送電線）だけでなく、陸上の送電線（電力系統）の効率的な利用や増強が不可欠である。日本のルールでは先発の発電所が確実に送電できるための送電線の容量確保が優先される。これを先着優先という。よって新たに作られる発電所を接続するには送電線の増強が必要となる。日本では新たな発電所の接続により送電線の増強が必要な場合、送電会社が負担する費用に上限が設けられており、残りを発電事業者が負担する。例として東北北部エリアの送電線増強については、電源接続案件募集プロセスという手続きによって増強計画が進行している。これは電力広域的運営推進機関が主宰し、近隣電源接続案件の可能性を募って、複数の電気供給事業者により工事負担金を共同負担して系統増強を行う手続きで、この手続きの完了を経て具体的に工事に入ることになっている³⁾。現状は発電事業者の辞退や工事負担金分担割合のトラブルなどで手続きが大幅に遅れているのが現状である⁴⁾。2019年8月に公表された募集プロセスの結果によると計3.9GWの新規増強に占める洋上風力は2.6GWであり、67%を占めている。

このような状況の下、自然エネルギーの大量導入に向けて、将来の電源配置を想定した全国の広域的な系統計画を行うため、再生可能エネルギーの導入予想から必要な系統整備を考えるマスタープランが策定されることになった。地域間連携線と基幹系統について費用分析等を実施し増強の可否が判断される。これによって従前の事業者主導による募集プロセスに変わり、政府が促進区域への導入量を想定しあらかじめ系統を確保することができる一括検討プロセスが整備された。しかしマスタープラン第1次案の策定をみると前提となる再生可能エネルギーの導入量は発電事業者の現在の供給計画を積み上げた数字となっている。つまり将来必要と予測される膨大な導入量から検討するものにはなっていない。

また、マスタープラン策定過程で行われる費用便益分析も今後の再生可能エネルギー導入によるCO₂削減効果の費用がどのように反映されていくかも未定である⁵⁾。よって、CO₂削減効果の費用を算入する必要があると筆者は考える。

VII 洋上風力のサプライチェーン構築で雇用を生み出す

風車メーカーがない日本では、風車の製造拠点が国内になく、多くの部材を外国から輸入せざるを得ない状況にある。洋上風力のブレードや海底送電用施設は大型で輸送コストがかかるため、海外に頼ることは必然的にコストアップにつながる。必要な機械や部品を現地で調達、組み立てることができればコスト低減が可能となる。サプライチェーンは風車やその部品に関わるものだけではない。風車の組み立てや設置のための工事、稼働後のメンテナンスも風力発電事業には不可欠である。サプライチェーン戦略は、こうした広い意味でのサプライチェーンの充実を視野に考えられることが必須である。特に日本企業のサプライチェーン構築は、国内の雇用を促すことに直結しているので最優先されるべきであろう。

洋上発電において技術革新が求められる分野は多岐にわたっている。設備利用率の向上や稼働状況モニタリングに向けた技術・風車・基礎の大規模化や耐久向上のための材料開発のほか、洋

上風力の環境影響の評価方法、浮体式の大量導入に向けての新技术など多くの技術開発が必要である。よって日本における研究者・技術者・工場労働者など多くの雇用が期待される。下記に具体値な洋上発電で期待される研究・雇用分野を示す。

表 4：洋上風力発電（浮体式+着床式）による新技术、雇用分野

調査分野	<ul style="list-style-type: none"> ・海底土質 ・風況観察 ・風車ウェイク（風車が並んでいる場合、前の風車の後方の風速の減速による損失） ・ウィンドファーム（集合型風力発電所）の配置最適化
建設	<ul style="list-style-type: none"> ・大型化 ・統合設計ルーツ ・長寿命化 ・ブレード長尺化、スレンダー化 ・2枚ブレード ・分割ブレード ・ナセルの軽量化（ブレードの付け根をローター軸に連結する部分） ・モジュール化（設計上の基準となる基本寸法の標準化） ・流入風計測高度化 ・先進的制御 ・基礎構造物高度化 ・基礎・支持物の長寿命化 ・施工方法の高度化・期間短縮 ・施行船 ・変電所 ・海底ケーブル ・ケーブル配置最適化 ・損傷時の発電量確保 ・洗堀（せんくつ：土台や係留杭周辺の土壌が海流によって削られること）防止 ・作業船、メンテナンス船の造船
運用	<ul style="list-style-type: none"> ・スマートメンテナンス ・ロボット、AI、IoTの使用 ・基礎構造物塗装頻度低減 ・海底ケーブル損傷位置の検出 ・洗堀モニタリング
撤去	<ul style="list-style-type: none"> ・撤去工法

今村 博 植田祐子「風力発電の低コスト化技術に関する検討」『日本風力学会誌』（p.636, Vol.41, No. 4）を参考に筆者作成

実は洋上風力発電の増加を見込んで既に風力発電の人材育成が始まっている。2020年10月1日に開講した「長崎海洋アカデミー」である。日本財団・特定非営利活動法人長崎海洋産業クラスター形成推進協議会・長崎県・長崎大学・長崎総合科学大学が共同で創設した洋上風力発電等の海洋エネルギー開発に関する教育プログラムを提供し、5年間で1600名以上の人材育成を目指している。現在、洋上風力発電総論コース、洋上風力発電事業開発コース、基礎構造の選定と洋上施行コース等5コースが置かれている。長崎県が中心となりアカデミーを始めた背景はもちろんⅢ項で述べたように長崎県五島市沖が洋上風力の促進地域に指定され最も早く業者選定がなされ、洋上風力のトップを走っているからに他ならない。

VIII 漁業問題

前項で述べた長崎県五島市沖では、2016年に浮体式洋上発電機が1基作られ、作る前と作られた2年後の海中や海底の調査を環境省が中心となって行った。この浮体式洋上発電機は風車の直径が80mで2MWの出力をもつ。全長が172mで全体の約半分が海中にあるスパー型である(図2右参照)。この発電機の付近は水深が100mと深いので水中遠隔操作ロボット(ROV)が使用された。漁業者の協力を得て風車の周辺がくまなく調査された。その結果意外な事実が分かった。浮体式洋上風力発電機の立つ沿岸の磯焼け(海藻が繁茂し藻場を形成している沿岸海域で、海藻が著しく減少・焼失し海藻が繁茂しなくなる現象をさす。それに伴って、アワビやサザエが等の生物が減少し、沿岸漁業に大きな打撃を与える。)が減少したという⁶⁾。

さらに浮体式洋上風力発電を建てた海域、人工の漁礁を沈めた海域、何もしていない天然の海域が比較調査された。その結果は常に浮体式洋上風力を建てた海域での漁獲量が多かったという⁷⁾。また浮体式洋上風力係留チェーンには貝が付着しイセエビも住み着いていたという⁸⁾。以上の事実を踏まえると次のようにまとめられよう。

- (1) 浮体式洋上発電は電気のみならず良好な漁場を作ることができる。
- (2) 今後浮体式洋上風力発電機が多く並ぶようになる海域は大漁場になる可能性がある。
- (3) 磯焼けを防止できヒジキなどの海藻を再生できる。
- (4) 洋上風力建築には漁業者が反対するケースが多いが(1)～(3)を示すことにより反対を防ぐことができる。

今後、浮体式洋上風力発電をさらに普及させるためには漁業従事者の協力が不可欠である。浮体式洋上発電が稼働している長崎県五島市沖の海中・海底の現場を漁業従事者に見てもらい、上記の事実等を丁寧に説明していくことが漁業従事者の説得には不可欠である。

IX 洋上風力発電の固定買取額

次表に再生可能エネルギー固定買取制度(FIT)の価格を示す。

表6よりわかることは、着床式洋上風力発電の買取価格(32円+税)を上回る発電は、地熱発電15000kW未満の(40円+税)と中小水力発電200kW未満(34円+税)のみであり、浮体式洋上風力発電の買取価格(36円+税)を上回る発電は地熱発電15000kW未満の(40円+税)のみである。つまり洋上風力発電は普及のためにより高額な買取価格が設定されている。これは洋上発電の実施を政府が重視している証左であり、この高い買取価格が洋上風力発電の急速な普及の後押しになろう。

X 海外における洋上風力発電の実情

第2項で述べたように着床式洋上風力発電の分野では、世界の9割以上の設備はEU諸国に偏在している。特にイギリスが牽引しており、イギリスだけで世界の4割以上を占めている。洋上風力導入量で世界のトップを走るイギリスについての著者の調査結果を述べる。

表 5：2021年度再生可能エネルギー発電の FIT 制度における買取価格（経済産業 HP より筆者作成）

電源	規模	2021年度買取価格
着床式洋上風力発電	全規模	32円＋税
浮体式洋上風力発電	全規模	36円＋税
陸上風力発電	250kW 未満	17円＋税
陸上風力発電	250kW 以上	上限価格15円＋税
住宅用太陽光発電（参考）	10kW 未満	19円
事業用太陽光発電（参考）	10kW 以上50未満	12円＋税
事業用太陽光発電（参考）	50kW 以上250kW 未満	11円＋税
事業用太陽光発電（参考）	250kW 以上	入札（4回、上限価格11円～10.25円＋税
地熱発電（参考）	15000kW 未満	40円＋税
地熱発電（参考）	15000kW 以上	26円＋税
中小水力発電（参考）	200kW 未満	34円＋税
中小水力発電（参考）	200kW 以上1000kW 未満	29円＋税
中小水力発電（参考）	1000kW 以上5000kW 未満	27円＋税
中小水力発電（参考）	5000kW 以上30000kW 未満	20円＋税
バイオマス発電（一般木材等） （参考）	10000kW 未満	24円＋税
バイオマス発電（一般木材等） （参考）	10000kW 以上	入札、上限価格非公表

イギリスでは、海域占用の事業者の決定手続きと、洋上風力発電導入のための経済的支援制度の事業者選定手順が分かれている。海洋の占有については、クラウン・エステート（法人格を持つ特殊法人）が入札を実施し、発電事業者が応募して海域占有権を得るシステムである。クラウン・エステートは、水深や海象情報のほか、航路等の存在や防衛上の理由、鳥類への影響など環境影響に関する情報を考慮して、入札を実施する海域を選定する⁹⁾。選定された海域の漁業・景観・文化遺産等は、クラウン・エステートが実施した評価とともに公開される。現在実施されている Round 4 では、2030年では30GW、2050年には75GW の導入を目指して海域占有の範囲が決められている。対象海域は領海及び EEZ（排他的経済水域）である¹⁰⁾。

イギリスは再生可能エネルギーの支援スキームとして2002年に Renewable Obligation (RO) 制度を導入した。この制度は、小売り業者に一定割合の再生可能エネルギー由来電力の調達義務を負わす制度である。再生可能エネルギー発電事業者は、発電電力量に応じて Renewable Obligation Certificate (ROC) を発行する。小売り電気事業者は ROC を購入して再生可能エネルギー調達義務を果たす。ROC の販売代金には政府による割増金が付くので再生可能エネルギー発電業者には、割増金による更なる再生可能エネルギーへの投資が期待される。洋上風力も当然のことながら RO 制度下にあるが、これに加えてイギリス政府は洋上風力に対して事業費の10%補助を別途与えた。更に導入の加速のために、2009年以降、洋上風力では発電事業者が発電電力量当たり 2 倍の ROC が提供されることになった。例えば石炭火力発電のみを購入していた小売

り業者が義務として再生可能エネルギーに付与される ROC を入手しようとする、洋上発電ならば xkWh の電力量を購入すれば済むところを、太陽発電ならば 2 xkWh の電力量を購入しなければならぬことを意味する。例えば2017年の太陽光の売電価格は80ポンド/MWh、洋上風力は120ポンド/MWhであった¹¹⁾。太陽光を80ポンド購入したとき仮に1 ROC が得られるとすると、洋上風力では、 $120 \div 2 = 60$ ポンドを購入するだけで同じ1 ROC が得られる。よって英国では電力小売業者は洋上風力による電力を必然的に買うことになる。よって発電業者は洋上風力を選択していくことになる。その結果イギリスでは2017年末に於いて、全電力に占める再生エネルギーは約30%であるが、そのうちの7.9%が洋上風力、5.3%が陸上風力、10.0%がバイオ、5.8%が太陽光、1.0%が水素である。つまり洋上風力が再生エネルギー発電のトップに立ったのである。ただしイギリスの洋上風力はほとんどが着床式である。このようにイギリスは日本と異なり、再生可能エネルギー電源の主流は太陽光発電ではなく、風力発電である。この原因はイギリスは遠浅の海に囲まれて地形が洋上風力に適していることやメガソーラーに適した広大な場所がないことなどが挙げられよう。またイギリスは緯度が高く太陽光が弱い上に曇天が多く、根本的に太陽光発電には適した気象条件にないことが影響していると考えられる。

しかし現在ではイギリスの風力発電を含む再生可能エネルギー発電は、差額決済契約 (Contract for Difference、CfD) に移行している。CfD は、発電事業者と政府の間の取り決めにより、発電事業者が市場価格の変動にかかわらず一定の収入を確保できる制度である。発電事業者は運転開始年ごとに行われる入札に参加し、価格競争によって各年の行使価格 (Strike price) が決められる。この制度は日本の固定買取制度における入札制度と同じである (表 6 における250kW 以上の太陽光発電や10000kW 以上のバイオマス発電参照)。入札制度の導入によって2021年には洋上風力の売電価格は、42ポンド/MWh まで下落している¹²⁾。よって国民の電気代金の高騰には至っていない。

以上、洋上風力発電の議論を I ～IX 項で進めてきたが、次項ではこれまでの議論を箇条書きにしてまとめとしたい。

XI まとめ

(1) 2050年のカーボンニュートラルの達成のために期待されている再生可能エネルギーとして風力発電が資源エネルギー庁を中心に有望視されている。遠浅の海が少ない日本では特に浮体式洋上発電の普及に期待が寄せられている。

(2) 洋上発電の問題は、海域の専用に関する統一的なルールや海運業や漁業など、海域の先行利用者との調整に関する枠組みが存在しないことであった。この解消の為に政府が「海域再エネルギー利用法」を2018年に制定し洋上風力発電の普及に努めていることは、政府が浮体式普及に本腰を入れ始めたことの証左である。

(3) 浮体式洋上発電の固定買取価格 (FIT) は36円+税という太陽光発電の平均11円+税の3倍の高価格であり、今後急速に浮体式が普及することが予想される。

(4) 洋上風力発電には漁業者の反対がつきものであったが、環境省による長崎県五島沖の浮体式洋上発電機の海域・海底調査では磯焼けが解消し、浮体式洋上発電機の下には伊勢エビや多くの魚類の繁殖が観察されている。つまり今後、浮体式洋上発電機が多く並ぶと予想される海域は

豊かな漁場になる可能性が示唆されている。よって、漁業者の反対も解消していくと史料される。

(5) 資源エネルギー庁の計画では2040年には、10MW級の浮体式洋上発電の最大4500基が海上に立ち並ぶことになる。これにより国内に浮体式洋上発電機作成のための多くのサプライチェーンが形成され、多くの雇用を生むことが期待される。太陽光パネルは中国製が圧倒的であるが、風力発電は日本の中小企業が得意の金属加工分野が多く、日本での製造・販売・雇用が進むと予想される。既に長崎県では「長崎海洋アカデミー」が開講し、浮体式洋上発電のための人材育成が始まっている。

(6) イギリスでは2002年より政府が手厚い洋上風力発電導入政策をとったことにより、洋上風力発電が急速に普及した。その後の洋上発電の普及に伴い入札形式に移行している。日本でも太陽光発電は導入時には高価格の買取が実施されたが、現在では事業者による入札が実施され、価格の低下が始まっている。風力発電、特に浮体式は現在はまだ導入段階であり比較的高額な買取価格が提示されているのは致し方ないことであるが、普及が順調に進めば入札形式に移行し電気料金が低下していくことが予想される。

(7) 1GWの風力発電は1基の原発に相当するので、(5)で述べた10MW級の浮体式洋上発電4500基は原発45基に相当することになる。これが実現すれば放射性廃棄物の心配が軽減されるので世論の後押しも大きくなり、浮体式洋上発電の普及が現実のものになっていく可能性が膨らむ。

【引用文献】

- 1) IRENA (International Renewable Energy Agency), *Renewable energy statistics 2020*, p.20. 2020.5
- 2) 資源エネルギー庁『エネルギー白書』p.240, 2021年6月
- 3) 電力広域的運営推進機関『電源接続案件募集プロセスの具体的な進め方について』p.15, 2020年4月
- 4) 同上『東北部エリア 電源接続案件募集プロセス』p.25, 2020年10月
- 5) 広域連携システムのマスタープラン及びシステム利用ルールの在り方等に関する検討委員会事務局『マスタープラン第1次案に向けて』p.25, 2021年1月
- 6) 渋谷正信『地域や漁業と共存共栄する洋上風力発電づくり』p.124, KK ロングセラーズ, 2021年3月
- 7) 同上書, p.126
- 8) 同上書, p.125
- 9) The Crown Estate, *Information Memorandum Introducing Offshore Wind Leasing Round 4*, p.9. 2019.9
- 10) The Crown Estate, *Offshore Wind Operational report 2019*, p.15. 2019.9
- 11) IEEJ 日本エネルギー経済研究所ニュース2015年3月号, p.1
- 12) Department for Business, *Energy & Industrial Strategy, "Energy White paper :Powering our net zero future"* p.56. 2020.12

【参考文献】

- ・井上尚之『サステナビリティ経営』大阪公立大学共同出版会、2021年6月
- ・吉川武郎『エネルギーソフト』白桃書房、2021年7月
- ・渋谷正信『地域や漁業と共存共栄する洋上風力発電づくり』KK ロングセラーズ、2021年3月
- ・浅野達「再エネ主力電源化の切り札に」『日経 ESG』日経 BP 社、2021年9月号
- ・浅野達「巨額な再エネ投資をどう呼びこむか」『日経 ESG』日経 BP 社、2021年10月号
- ・経済産業省『第6次エネルギー基本計画（素案）』2021年7月

- ・資源エネルギー庁『エネルギー白書2021』2021年6月
- ・洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会『洋上風力産業ビジョン（第1次）（案）』2020年12月
- ・広域連系系統のマスタープラン及び系統利用ルールの在り方等に関する検討委員会事務局『マスタープラン1次案の策定に向けて』2021年1月
- ・自然エネルギー財団『洋上風力発電に関する世界の動向（第2版）』2021年6月
- ・SOLAR JOURNAL「なぜ日本で風力が広まらないのか？」2019年2月27日号
- ・SOLAR JOURNAL「五島市、洋上風力の地産地消に向け協定」2020年11月6日号
- ・朝日新聞デジタル「20年で洋上風力7500倍以上 日本の「風力発電ビジョン」実現への道は」2021年6月7日
- ・Smart Grid ニュースレター「イギリスの総発電量に対する再エネの比率が約30%に、過去最高値を更新」2017年9月29日号
- ・資源エネルギー庁『国内外の再生可能エネルギーの現状と今年度の調達価格等算定委員会の論点案』2019年9月
- ・IRENA (International Renewable Energy Agency), *Renewable energy statistics 2020*, 2020.6
- ・IRENA (International Renewable Energy Agency), *Renewable Power generation Cost in 2019*, 2019.8
- ・IRENA (International Renewable Energy Agency), *Renewable Energy and Jobs-Annual Review 2020*, 2020.3
- ・IRENA (International Renewable Energy Agency), *Renewable Power generation Cost in 2019*energy, 2019.11
- ・IRENA (International Renewable Energy Agency), *Future of wind 2019*, 2019.10
- ・IEA (international Energy Agency), *World Energy Outlook 2019*, 2019.11
- ・Wind Europe, *Our Energy Our Future*, 2019.11
- ・GWEC (Global Wind Energy Council), *Global Wind Report 2021*, 2021.3
- ・REN21 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century), *Renewable 2021 Global Status Report*, 2021.6
- ・Crown Estate, *Information Memorandum Introducing Offshore Wind Leasing Round 4*, 2019.9