

### 3. 浮体式洋上風力発電の導入拡大に伴う浮体サプライヤーの新たなビジネス機会

#### 【要約】

- ◆ 日本が温室効果ガス排出量の削減目標を達成する上では、洋上風力発電の導入拡大が不可欠である。洋上風力発電は着床式と浮体式の 2 つの方式に分類されるが、日本においては遠浅の海域が少ない為、浮体式の導入ポテンシャルが着床式よりも高い。今後の日本の洋上風力発電拡大において浮体式の果たす役割は大きい。そして、浮体式は、いまだ商用化に向けた取り組みの途上にある。
- ◆ 浮体式洋上風力発電の商用化に向けた課題としては、着床式に比べ①技術的に十分確立していない、②ライフサイクルコスト<sup>1</sup>が高いという 2 点が挙げられる。技術については、浮体と風力タービンのバランスをとる最適な設計が難しい。また、ライフサイクルコストについては、浮体式は着床式に比べ、複雑な構造ゆえに初期コストが高いことに加えて、単機出力の規模が小さく、事業規模もまだ小さいことから量産効果がないといった要因がある。長期的に安定稼動可能な技術とライフサイクルコスト低減の両立に向け、複数の浮体構造形式の検証が進むが、一長一短があり、いずれの形式が優れているか、どの形式の経済性が高いかを判断できるに至っていない。
- ◆ 日本では、浮体式洋上風力発電の技術開発に向け、五島列島の杣島沖プロジェクト、福島沖プロジェクト、北九州沖プロジェクトの 3 プロジェクトの実証事業の実績がある。日本の機器サプライヤーは、3 プロジェクトに技術開発の担い手として参画し、中心的な役割を果たしている。さらに、一部の機器サプライヤーは発電事業者として、浮体式洋上風力発電プロジェクトを推進している。
- ◆ 日本の機器サプライヤーにとっては、今後拡大が期待される浮体式洋上風力発電の事業に参入する機会が残されているとみる。なかでも、浮体は設計難度が高いが、日本の機器サプライヤーが造船やインフラ建造等で培ってきた高度な技術が活用しうる領域であり、実証プロジェクトで積み上げている経験値を梃子とし、競争優位を築くことができると考える。浮体サプライヤーが事業として本格展開するにあたっては、技術面では風力タービンサプライヤーとの共同開発、コスト面では初期コストとランニングコストの圧縮に資する事業構造の作り込みが必要となろう。そして、発電プロジェクトの全体とりまとめの観点からは、国内外の海洋関連事業者や発電事業者とのアライアンスが選択肢となりうる。
- ◆ さらに、産業育成の観点から、浮体式洋上風力発電の自立化までは、浮体式と着床式を区分した FIT 価格の設定や、浮体式のパイロットプラント、大規模商用発電建設の加速に向けた公的な支援策の導入も検討に値するだろう。日本の浮体サプライヤーが国内浮体式洋上風力発電市場を創出すべく、官民挙げた取り組みに期待したい。

#### 1. はじめに

温室効果ガス排出量削減には、洋上風力発電の導入拡大が鍵を握る

日本では、2050 年までに温室効果ガスを 2013 年比 80%削減する為に、排出量全体の約 9 割を占めるエネルギー部門において、再生可能エネルギーの導入拡大への取り組みが進められる方向性にある<sup>2</sup>。日本は、国土が狭く平地が少ないという陸地の地形条件から、太陽光発電や陸上風力発電の導入可能な適地が限られている。その為、再生可能エネルギーの導入拡大において

<sup>1</sup> ライフサイクルコストとは、建設、運転維持費、撤去費用を総発電量で割ったもの。

<sup>2</sup> 「2. 再生可能エネルギーの活用拡大に伴うビジネスチャンス」参照。

洋上風力は設備利用率が高く再エネ導入拡大に寄与する電源と期待される

日本では着床式よりも浮体式に適した海域が広い

2030 年から 2050 年にかけて、日本では浮体式が着床式の新設市場を上回る見通し

は、洋上風力発電の飛躍的な増加が必要となると考えられる<sup>3</sup>。

洋上風力発電は、陸上風力発電に比べて障害物が少ないために風を安定的に受けて風力タービンを回転させやすいことから発電効率が高く、昼夜問わず風が吹いている時間は発電可能なことから設備利用率<sup>4</sup>が高いとされており、再生可能エネルギーの導入拡大に大きく寄与する電源と期待されている。洋上風力発電は、海底に直接基礎を設置する着床式と、浮体を基礎として係留などで固定する浮体式の2種類に分類される。一般に、水深 50m を境として、水深の浅い海洋では着床式が適しており、水深の深い海洋では浮体式が適していると言われる。

国土全体が海に囲われた日本だが、水深の浅い海洋が少なく、着床式よりも浮体式が適している海域が広い。環境省が公表した「平成 21 年度再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査」においても、浮体式の導入ポテンシャルが着床式の 5 倍大きいと示されている<sup>5</sup>。

日本の洋上風力発電の市場規模について、日本風力発電協会が 2014 年に掲げた中長期導入目標値を参考にしたい。その導入目標値は、2030 年にかけて、着床式洋上風力発電 5.8GW、浮体式洋上風力発電 3.8GW、2050 年にかけて、着床式洋上風力発電 19GW(2030 年対比+13.2GW)、浮体式洋上風力発電 18GW(同年対比+14.2GW)となっている(【図表 1】)。つまり、洋上風力発電の新設市場は、2030 年から 2050 年にかけて浮体式が着床式を上回る規模になる見通しである。

【図表 1】 風力発電導入実績と導入目標値

| 年度            | 風力発電導入実績と導入目標値(単位:GW) |      |           |           |
|---------------|-----------------------|------|-----------|-----------|
|               | 合計                    | 陸上   | 着床式<br>洋上 | 浮体式<br>洋上 |
| 2010<br>(実績)  | 2.48                  | 2.45 | 0.03      | 0         |
| 2020<br>(目標値) | 10.9                  | 10.2 | 0.6       | 0.1       |
| 2030<br>(目標値) | 36.2                  | 26.6 | 5.8       | 3.8       |
| 2040<br>(目標値) | 65.9                  | 38.0 | 15.0      | 12.9      |
| 2050<br>(目標値) | 75.0                  | 38.0 | 19.0      | 18.0      |

(出所) 日本風力発電協会公開資料より、みずほ銀行産業調査部作成

2030 年以降の市場拡大が想定されるも、商用化に向けた課題あり

従って、日本の浮体式洋上風力発電は 2030 年以降に市場が本格的に拡大すると考えられる。日本の浮体式洋上風力発電の市場拡大は、国内外の発電事業者、機器サプライヤーにとってビジネス機会とみなされている。しかしながら、現時点では浮体式洋上風力発電は技術、コストの両面で商用化に向け

<sup>3</sup> 2018 年 7 月に閣議決定された「第 5 次エネルギー基本計画」において、陸上風力の導入可能な適地が限られていることから、洋上風力の導入拡大が不可欠との記載あり。

<sup>4</sup> 設備利用率とは、年間発電量÷{発電設備容量×365(日)×24(時間)}×100 により求められる安定稼働を示す指標である。

<sup>5</sup> 秒速 7.5m の風速が吹く海洋で想定される設備容量は着床式洋上風力発電が 94GW であるのに対し、浮体式洋上風力発電は 520GW である。

た課題があり、これらの課題解決なくして浮体式洋上風力発電の市場拡大はない。

浮体式の商用化の課題解決のキープレイヤーになる浮体サプライヤーに着目し、考察

そこで、本章では浮体式洋上風力の商用化の課題、日本の浮体式洋上風力発電の現状を整理し、日本の機器サプライヤー、特に浮体を供給した又は供給する能力を有する企業が日本の浮体式洋上風力発電の市場拡大に伴うビジネス機会を捉える為に取りうる策について考察する。ここで浮体に着目する理由は、浮体を供給した又は供給する能力を有する企業こそが日本市場において商用化に向けた課題解決のキープレイヤーになると考えられる為である。本章では浮体の設計または製造を担う能力のある企業を浮体サプライヤーと定義する。

## 2. 浮体式洋上風力発電の商用化に向けた課題

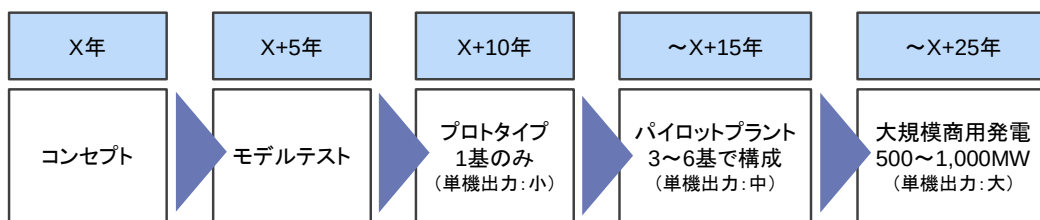
浮体式は商用化に向けた取り組みの途上

浮体式洋上風力発電は、世界的にみても、欧州で 8 機、日本で 5 機の導入実績<sup>6</sup>に限られ、それらの発電設備容量は合わせて 100MW にも満たない規模にとどまっている。浮体式洋上風力発電は商用化に向けた取り組みの途上にあり、本格的な商用化にはまだ時間を要すると考えられる。

商用化までのプロセスの過程で長期安定稼動が可能な技術の確立とコストの低減を実現

商用化に至るまでのプロセスのイメージは、【図表 2】に示した通りである。コンセプトを構築した後、社内施設でのモデルテスト・検証を経て、海洋上でプロトタイプ<sup>7</sup>の技術検証を実施する。技術面の課題を一定程度クリアした段階で、同一構造形式の 3～6 基で構成されるパイロットプラントを運転し、安定稼動の実績を積み上げる。最後に、大規模な商用発電プラントを運転し、長期安定稼動が可能な技術の確立とライフサイクルコストの低減を実現すると想定される。

【図表 2】コンセプトから本格的な商用化に至るイメージ



(注) 単機出力: 風力タービン 1 基あたりの発電容量

(出所) みずほ銀行産業調査部作成

浮体式の商用化に向けた課題は技術とコストの 2 点

ここで浮体式洋上風力発電の本格的な商用化に向けた課題を、世界で 23GW<sup>7</sup>導入され、既に商用化ステージにある着床式との比較により説明したい。浮体式洋上風力発電の商用化に向けた課題は、着床式洋上風力発電に比べ、①技術が十分に確立していない、②コストが高いという 2 点が挙げられる。

<sup>6</sup> 機とは、風力タービンと浮体の組み合わせを指す。過去導入された実績を指し、既に撤去された機も含む。

<sup>7</sup> Global Wind Energy Council の開示資料より、2018 年末時点の数値。

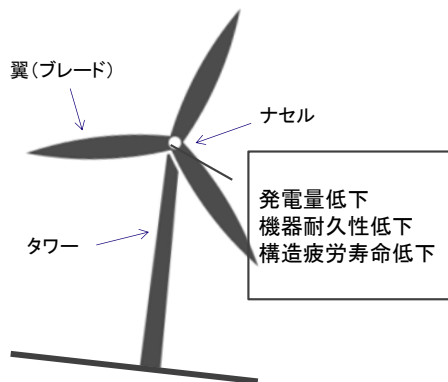
浮体式は風、波、潮流の影響を受け、技術的難度が高い

浮体式は傾斜により風力タービンの機器の耐久性が低下しやすい

まず、技術面の課題について整理する。着床式洋上風力発電は、海洋上で風力タービンを基礎に乗せて発電する形式であるが、その基礎は海底に固定されており、安定している。つまり、海洋上にはあるものの、基礎が波、潮流のエネルギーの影響を受けて傾斜することはない。それに対し、浮体式洋上風力発電では、浮体が洋上に浮かんでいるために、波、潮流のエネルギーの影響を受けて傾いてしまう。浮体基礎に搭載する風力タービンは傾くと荷重がかかり、本来の性能を発揮しない(【図表 3】)。その為、風力タービンの傾きを抑制するように、浮体の揺れる角度を調整する必要がある。そして、風、波、潮流のエネルギーを風力タービンと浮体の各々が受け、その影響が相互に作用する仕組みとなることから、これらの影響を総合的に勘案した発電設備の設計を行わなければならない、技術的難度は高い(【図表 4】)。

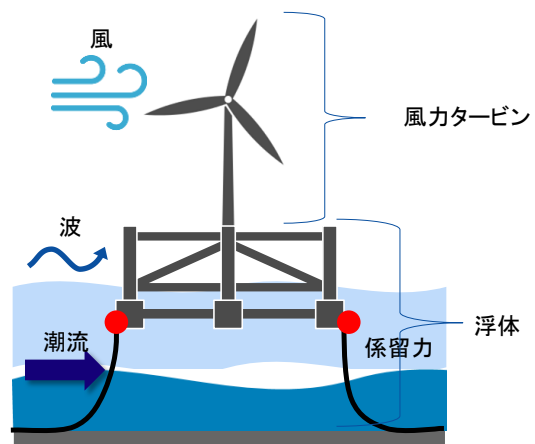
そして、浮体上で風力タービンを運転した場合、常時傾斜の影響を受ける為、風力タービンのナセル内部の機器の耐久性、風力タービンの構造疲労寿命の低下が想定される。その為、機器トラブルの頻度が着床式よりも高まる可能性が指摘される。さらに、浮体式洋上風力発電プラントを建設する場所の気象や海象条件に合わせた、最適な設計を個別に構築しなければならない。したがって、長期安定稼動するための技術の確立には、複数地点における長期間の運転実績を基とした検証が必要であり、現在の稼動数ではサンプル数が十分でないと言える。

【図表 3】 傾斜が風力タービンへ与える影響



(出所) みずほ銀行産業調査部作成

【図表 4】 浮体式洋上風力発電イメージ



(出所) みずほ銀行産業調査部作成

浮体式は浮体のコストが高いことから、着床式よりも初期コストが高い

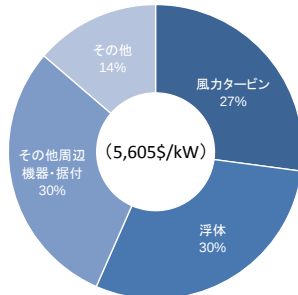
次に、コスト面の課題について整理する。浮体式洋上風力発電は着床式に比べ、主に浮体と基礎のコストの差から、初期コストが高い。米国の研究所 NREL<sup>8</sup>の試算では、同一の発電出力規模の場合、浮体式の kW あたりの資本費<sup>9</sup>は 5,606 ドルであり、着床式の 4,536 ドルに比べ、2 割程高い(【図表 5、6】)と評価されている。同一の発電出力規模を想定した場合、風力タービン及びその他の発電機器・付帯設備の価格は同程度であり、浮体式の浮体が着

<sup>8</sup> NREL とは National Renewable Energy Laboratory の略。米エネルギー省に属する再生可能エネルギーとエネルギー効率に関する研究開発を行う基礎研究所。

<sup>9</sup> 資本費は、電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法施行規則(平成 24 年経済産業省令第 46 号)第 5 条第 1 項第 6 号の規定に基づき経済産業大臣に対して提供する発電設備の設置に要した費用に関する情報のうち資本費(設計費、設備費、工事費、接続費、その他資本に充てられた費用をいう。)の合計額を指す。

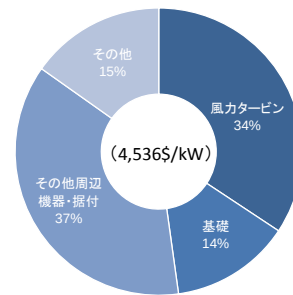
床式の基礎に比べて、資本費に占める構成比率が高いことがここで確認できる。

【図表 5】 浮体式洋上風力発電の資本費構成



(注) 風力タービン 5.64MW、セミサブ式  
(出所) NREL, 2017 Cost of Wind energy Review より、  
みずほ銀行産業調査部作成

【図表 6】 着床式洋上風力発電の資本費構成



(注) 風力タービン 5.64MW  
(出所) NREL, 2017 Cost of Wind energy Review より、  
みずほ銀行産業調査部作成

浮体式はライフ  
サイクルコストも  
高い

また、浮体式洋上風力発電はライフサイクルコストも高い。これは、着床式に比べて単機出力の規模が小さく、事業規模もまだ小さいことから量産効果が全く無いことが要因として挙げられる。実際に、欧州の浮体式洋上風力発電の発電コストは 180～200 ユーロ/MWh 程度<sup>10</sup>と着床式の 3 倍以上である<sup>11</sup>。

浮体式の単機出力の大型化は機器、据付、メンテナンスコストの低減に寄与

一方、欧州の業界団体 Wind Europe<sup>12</sup>は、浮体式の発電コストが、2030 年までに現在の着床式の発電コストを下回り、40～60 ユーロ/MWh 程度に下がるとの試算を公表している。この試算においては、浮体式のライフサイクルコストの引き下げの前提として、着床式並みの単機出力の大型化が織り込まれている。単機出力の大型化を実現できた場合、MW 当たりの機器、据付、メンテナンスコストが低減可能となる。また、同一の発電所出力規模の場合、単機出力の大型化により、浮体の設置数を削減することができ、据付、メンテナンスにおいて、海洋上での工事日数、工事延人員数、用船料を削減できる。しかしながら、浮体式洋上風力発電の技術はまだ確立されておらず、どの程度の規模の風力タービンが浮体上で機器性能を発揮し、一定の設備利用率を維持できるのかという点は、未知数である。

浮体が技術確立  
とコスト低減の鍵  
を握る

浮体式洋上風力の発電設備は主として、風力タービンと浮体で構成される。この内、風力タービンは、着床式洋上風力発電で技術が確立され、コスト低減が進んできた。また、着床式洋上風力発電の基礎も同様に技術の確立、据付を含むノウハウの蓄積により、コスト低減が図られてきた。しかしながら、浮体は、基礎とは全く構造が異なることから、新たに技術を確立し、コスト低減の方法を見出す必要がある。したがって、浮体式洋上風力発電の技術確立とコスト低減の達成において、鍵を握るのは浮体といえる。

<sup>10</sup> 浮体式洋上風力発電の発電コストは、2018 年 10 月付 Wind Europe “FLOATING OFFSHORE WIND ENERGY A POLICY BLUEPRINT FOR EUROPE” から現在のコスト、2030 年のコストを抜粋。

<sup>11</sup> 2019 年から初号機のインストールが始まる Borssele 洋上風力の落札価格 72.7 ユーロ/MWh と比較。

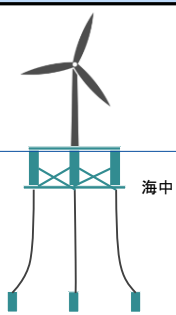
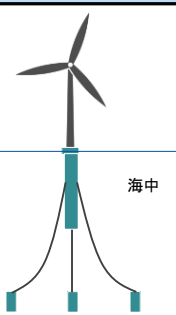
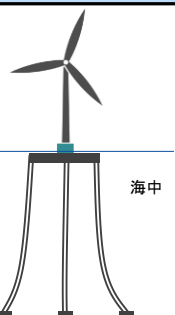
<sup>12</sup> Wind Europe とは、欧州の風力発電を推進する業界団体。



浮体の技術には一長一短があり、技術・コスト両面で最も優れているものは判断できない

長期安定稼動とコスト低減を同時に達成できる浮体の確立に向け、浮体式洋上風力発電では複数の浮体の技術の実証が続けられている。浮体の類型としては、セミサブ、スパー、バージと大きく3つが挙げられるが、それぞれの技術には一長一短があり、特定の技術が優れていると判断できるに至っていない(【図表7】)。また、各々の浮体の特徴に応じて、建造及び据付の初期コスト、修繕等のランニングコストが異なり、長期安定稼動に際してどの浮体類型が最も経済的かはまだ判別出来ていない。

【図表7】浮体構造形式の特徴

| 浮体の類型    | セミサブ                                                                              | スパー                                                                                | バージ                                                                                 |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| イメージ図    |  |  |  |
| 浮体の建造コスト | △                                                                                 | ◎                                                                                  | ○                                                                                   |
| 浮体の据付コスト | ○                                                                                 | △                                                                                  | ○                                                                                   |
| 大規模修繕コスト | ○                                                                                 | △                                                                                  | ○                                                                                   |
| 波の影響     | ○                                                                                 | ◎                                                                                  | △                                                                                   |
| その他      | 場所を選ばない                                                                           | 水深100m程度                                                                           | 海象条件の厳しい場所は設置できない                                                                   |

(注)コスト、影響度低い◎>○>△コスト、影響度高い

(出所)浮体式洋上風力発電導入マニュアル、関係者ヒアリングより、みずほ銀行産業調査部作成

### 3. 日本の機器サプライヤーによる浮体式洋上風力発電の商用化に向けた取り組み

技術開発に向けた実証を3カ所で実施

日本では、浮体式洋上風力発電の技術開発に向け、3カ所で実証設備が導入された。環境省主導による五島列島の杵島沖プロジェクト、経済産業省主導による福島沖プロジェクト、NEDO 主導による北九州沖プロジェクトの3プロジェクトである(【図表8】)。この3プロジェクトには、日本の機器サプライヤーが技術開発の担い手として参画している。

杵島沖プロジェクトの実証後は、戸田建設が発電事業者の役割を担う

一つ目の五島列島の杵島沖プロジェクトは、戸田建設が開発したハイブリッドスパー型<sup>13</sup>の浮体に日立製作所の風力タービンを載せた風力発電設備である。2015年度には杵島沖から五島市崎山沖に浮体設備を移設して、実証フェーズを終えた。約2年半の実証においては目立ったトラブルはなかった。その後、風力発電設備を環境省から五島市に譲渡し、戸田建設の子会社が2016

<sup>13</sup> ハイブリッドスパー型とは、プレキャストコンクリート製セグメントを下部に、上部を鋼製とするハイブリッド構造のスパー型(スパー型は【図表7】参照)。

年 3 月から発電事業を運営している。つまり、戸田建設は浮体の開発を手掛け、供給したのみならず、発電事業者の役割も担い始めた。

戸田建設が浮体  
サプライヤー兼  
発電事業者とし  
て案件を推進

さらに、戸田建設は、当該発電設備から沖合へ風力タービンを 1km の間隔で最大 10 基配置する風力発電の拡大プロジェクトを計画している。このプロジェクトは 2021 年 4 月の運転開始を目標に、許認可の手続き中である。これは、日本初のパイロットプラントとなる予定である。このプロジェクトにおいて、戸田建設は浮体サプライヤー兼発電事業者として案件を推進している。

【図表 8】国内の浮体式洋上風力発電プロジェクトの概要

|                  | 琵琶湖沖                                         | 福島沖                                                                                    |                   |                                                  | 北九州沖                                               |
|------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 稼働開始             | 2013年                                        | 2013年                                                                                  | 2015年             | 2017年                                            | 2019年                                              |
| 現状               | 2016年～移設                                     | 稼働中                                                                                    | 停止中               | 稼働中                                              | 稼働中                                                |
| 設備容量             | 2MW                                          | 2MW                                                                                    | 7MW               | 5MW                                              | 3MW                                                |
| 風力タービン設計         | 日立製作所                                        | 日立製作所                                                                                  | 三菱重工業             | 日立製作所                                            | Aerodyn engineering                                |
| 構造形式             | ハイブリッドスパー                                    | カラムセミサブ                                                                                | V字型セミサブ           | アドバンスドスパー                                        | バージ式                                               |
| 浮体設計             | 戸田建設                                         | 三井造船<br>(現:三井E&S造船)                                                                    | 三菱重工業<br>(現:三菱造船) | アイ・エイチ・アイ<br>マリンユナイテッド<br>(現:ジャパン マリン<br>ユナイテッド) | IDEOL<br>日立造船                                      |
| 係留索数             | 3本                                           | 6本                                                                                     | 8本                | 6本                                               | 9本                                                 |
| 水深               | 100m                                         | 120m                                                                                   |                   |                                                  | 50m                                                |
| 離岸距離             | 1km                                          | 20km                                                                                   |                   |                                                  | 15km                                               |
| 実施主体<br>(開始時の社名) | 戸田建設<br>日立製作所<br>芙蓉海洋開発<br>京都大学<br>海上技術安全研究所 | 丸紅、東京大学、三菱商事、三菱重工業、<br>アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド、三井造船、<br>新日本製鐵、日立製作所、古河電気工業、清水建設<br>みずほ情報総研 |                   |                                                  | 日立造船<br>エコ・パワー<br>丸電みらいエナジー<br>丸紅<br>グローバル<br>東京大学 |

(注 1) 実施主体は、各プロジェクト受託時点の社名を記載

(注 2) 北九州沖プロジェクトの浮体は IDEOL の設計に基づくもの

(出所) 浮体式洋上風力発電導入マニュアル、各プロジェクト公開情報より、みずほ銀行産業調査部作成

技術確立済の風  
力タービンを乗せ  
た 2MW の発電設  
備のみ長期安定  
稼働を実現

二つ目の福島沖プロジェクトは、世界で初めて複数基の実証を試みた浮体式洋上風力発電設備である。当該プロジェクトは、3 つの発電設備と 1 つの変電設備<sup>14</sup>で構成されている。それぞれ浮体設備の構造形式が異なっており、同一の海洋条件における複数の技術の比較が容易となっている。これらの内、2MW の発電設備は、三井 E&S 造船が開発したセミサブ型の浮体に日立製作所の風力タービンを乗せたものである。この 2MW の風力発電設備の実証の結果、風力タービンの稼働率は 95%、浮体の稼働率は法令上の定期点検を除き 100%と長期安定稼働を示した。5MW の発電設備はジャパン マリンユナイテッドが開発したスパー型の浮体に日立製作所の風力タービンを乗せたものである。台風による艀装品の補強工事を除き、浮体の稼働率は 100%に達したが、風力タービンの稼働率は商用化の目標値である 95%を達成できな

<sup>14</sup> 世界初の浮体式洋上変電所。変電設備は日立製作所が、浮体はジャパン マリンユナイテッド(現社名)が供給。

かった。三菱重工業グループが浮体と風力タービンを手掛けた 7MW の発電設備は、風力タービンの油圧システムの技術的な課題から商用化は困難であり、撤去準備を進めるべきとの結論が 2018 年に出された。2MW、5MW の発電設備は稼働データの長期取得や維持管理費の低減可否検証の観点から、運転の継続が決定している。福島沖プロジェクトは 2MW の発電設備を除き、技術が確立されていない風力タービンを搭載した為、浮体の安定稼働の検証はできたものの、発電設備としての検証が不十分となっている。

北九州沖プロジェクトは欧州企業の技術を活用。維持管理費の低減に向けた研究開発に取り組む

三つ目の北九州沖プロジェクトは、日立造船が IDEOL の技術をベースに浮体を供給、2019 年 5 月から実証運転を開始し、2022 年 3 月まで継続を予定している発電設備である。当該プロジェクトは、浮体サプライヤーの日立造船が主導している。そして、従来の日本企業のための技術開発ではなく、欧州企業の技術を日本に転用した点に特徴がある。また、遠隔操作型の無人潜水機を使用した浮体の効率的な保守管理方法の技術開発を行い、稼働後の最適な O&M 方法を模索する試みを実施予定である。

#### 4. 日本の機器サプライヤーの戦略方向性と求められる政策的後押し

機器サプライヤーにとってのビジネス機会になり得るかと打ち手は何かを考察

これまで、浮体式洋上風力発電の商用化に向けた課題と日本の浮体式風力発電の実証プロジェクトの現状について述べてきたが、浮体式洋上風力発電の実証プロジェクトに参画してきた日本の機器サプライヤーにとって、浮体式洋上風力発電への取り組みがビジネス機会になり得るのか、そして日本でビジネス機会を獲得する為の打ち手は何かについて、考察していきたい。

大型化の進展に伴い、浮体式の風力タービンへの参入余地は殆どない

まず、風力タービンについてである。風力タービンは着床式と浮体式で同一の機種を設置可能である。欧州の着床式洋上風力タービントップ 3 社である Siemens Gamesa Renewable Energy、MHI Vestas Offshore Wind、GE Renewable Energy は、10MW 超の大型風力タービンの開発を既に進めており、現時点で参入していない企業による浮体式への新規参入は技術の差から難しい。そして、日本の実証事業に参画していた風力タービンサプライヤーである日立製作所は、2019 年に自社風力タービンの新設からの撤退を公表した。日立製作所は、既存受注案件に対応する旨を公表していることから、既に進行中の案件への直接的な影響は軽微と考えられる。しかしながら、こうした状況下、日本で製造する風力タービンサプライヤーは皆無であり、ここから洋上風力の風力タービン事業に参入する余地は殆どないといえる。

着床式と浮体式は基礎構造が異なる為、基礎には参入できる可能性がある

次に、基礎部分となる浮体についてである。基礎部分は着床式と浮体式で、その構造形式が全く異なることから、着床式の経験がなくとも、浮体式への事業参入に可能性がある。浮体式洋上風力発電の浮体を手掛けるフランス IDEOL は浮体式のみに参入するプレイヤーであり、2010 年に創設された比較的業歴の浅い会社である。凡そ 60 名のエンジニアを擁する浮体式洋上風力発電の浮体専門の EPC 企業<sup>15</sup>である。浮体の設計は技術難度が高いが、造船やインフラ建造で培ってきた高度な技術を有する日本のプレイヤーは多数存在する。実際、日本の実証プロジェクトに参画している戸田建設、三井 E&S 造船、三菱造船、ジャパン マリンユナイテッド、日立造船は、実証での経験値も梃子に、浮体事業に参入する機会が十分残されていると考えられる。

<sup>15</sup> IDEOL の事業領域は、浮体を構成する基礎の基本設計・詳細設計、係留システムコンポーネントの調達、建設のモニタリング、そして洋上での設置作業(係留システムの敷設・テスト、浮体の曳航、係留ラインと電源ケーブルの浮体への接続)である。



日本の浮体サプライヤーが、浮体事業に参入し、市場を創出していくにあたっての競争軸は、①技術の確立、②コストの低減、③発電プロジェクトの全体とりまとめへの対応であるとみる。そして、欧州の浮体サプライヤーも洋上風力事業に取り組みを始めている状況下では、日本の浮体サプライヤーには、早急な取り組みが求められる。

#### 風力タービンサプライヤーとの共同技術開発による最適な機器設計の実現

まず、技術確立の観点では、自身が設計する浮体にとどまらず、風力タービンの特徴や機器性能及び浮体と風力タービンの相互関係を理解した上で、海洋条件に合わせた発電設備としての全体設計能力が必要となろう。そして、発電設備の最適設計が設備利用率の向上と長期安定稼働の実現に直結すると考えられる。浮体サプライヤーが単独で発電設備の技術開発を行うことは難しいと思われ、浮体サプライヤーは風力タービンの設計を担う風力タービンサプライヤーと共同で技術開発を行うことが有効な策となるだろう。ただし、各設計のコア技術の開示が前提となることから、風力タービンサプライヤーとの共同開発の合弁会社設立等、踏み込んだアライアンスが具体的な打ち手として考えられる。

#### コスト低減では自社工場での製造を前提にしないサプライチェーンの構築とメンテナンスコスト低減に向けた技術開発

次に、コスト低減の観点では、初期コストとランニングコストの圧縮に資する事業構造の作り込みが必要となろう。浮体サプライヤーは、初期コスト削減にあたっては、①浮体のコアパーツのみを自社工場で製造し、その他の大型パーツ等は発電プラント建設地の協力企業に製造を委ねるといった分業体制の構築や、②発電プラント建設地近辺での完成品組立設備の確保、③大型タービンを搭載可能な浮体構造技術の確立による浮体設置数の削減が打ち手として考えられる。また、浮体サプライヤーは、メンテナンスコストの低減にあたり、①風力タービンの耐久性低下を防ぐ為に浮体の傾斜を抑制する設計や、②メンテナンス時に洋上に浮かぶ発電設備に乗り込みやすい浮体の設計、③ドローン等を活用した無人メンテナンスに適した発電設備の設計等の研究開発の継続が打ち手として考えられる。

#### プロトタイプからパイロットプラントへの移行時に全体とりまとめ能力が必要

第三に、発電プロジェクト全体のとりまとめ、つまり新設プロジェクトの検討において必要となる、立地選定、各種調査、風力発電プラントの全体設計、風力タービン、浮体の調達、送電関連の設計、調達までを手がけられるエンジニアリング能力を有することが必要となろう。浮体式洋上風力発電の関連プレイヤーを整理すると、発電・送電設備の供給者、据付工事請負企業、エンジニアリング会社が存在し、複数のプレイヤー間で分業が成立している（【図表 9】）。

【図表 9】 福島沖プロジェクトの役割分担

|      |                  |                                |
|------|------------------|--------------------------------|
| 発電設備 | 浮体基礎             | ジャパン マリンユナイテッド<br>三井E&S造船、三菱造船 |
|      | 風力タービン           | 日立製作所2機、三菱重工業1機                |
| 送電設備 | 変電設備             | 日立製作所                          |
|      | 送電線(含む海中・海底ケーブル) | 古河電気工業                         |
| 工事   | 据付工事             | 清水建設、日鉄エンジニアリング                |

(出所) 福島コンソーシアム開示資料より、みずほ銀行産業調査部作成

役割・機能の補完の為、国内外の海洋関連事業者や発電事業者とのアライアンスは選択肢となる

しかしながら、プロトタイプからパイロットプラントへの移行時には、案件を推進し、発電プロジェクト全体をとりまとめることができるプレイヤーは必要になるだろう。

現状、浮体サプライヤー単独では、全体のとりまとめは難しいとみられる。単独で担えない役割や機能の補完の観点からは、国内外の海洋関連事業者や発電事業者とのアライアンスは選択肢となるだろう。例えば、日立造船は、2019年にフランスの海洋再生可能エネルギー企業である Naval Energies<sup>16</sup>と、日本における浮体式洋上風力発電プラント建設に関する事業化可能性調査実施を公表した。これは日立造船だけでは全体とりまとめの経験が少ないことから、海洋エネルギープロジェクトの管理経験のある企業との協業による補完効果を狙ってのことと推察される。発電設備全体の中で浮体の重要性が高いからこそ、浮体サプライヤーが主体的にアライアンス締結に動き、発電プロジェクト全体をとりまとめていくプレイヤーになりうると考えられる。

政策面から市場創出を後押しすることも必要

加えて、このような浮体サプライヤーの取り組みと共に、政策面から市場創出を後押しすることも必要となろう。日本では、着床式洋上風力発電、浮体式洋上風力発電で FIT 価格が同一価格の 36 円/kWh に設定されている。そして、現行の洋上風力の FIT 価格では、事業採算に見合っていない状況である。日本では今後の再生可能エネルギー拡大に向けて電源毎の特性に応じた制度の在り方が議論されており、洋上風力は入札制の活用も必要と検討されている<sup>17</sup>。しかしながら、洋上風力ではコスト水準が大きく異なる着床式と浮体式は区別して議論を進めるべきである。着床式と浮体式の各々の長期的且つ具体的なコスト低減策を提示した上で、今後の制度の議論を進めることが必要である。また、FIT 価格の議論のみならず、浮体式のパイロットプラント、大規模商用発電建設の加速に向けた公的な支援策の導入も検討に値するだろう。

イギリスでは浮体式洋上風力にプレミアムを付与し、プロジェクト成立を支援

実際に、英国スコットランドは、世界初のパイロットプラントである Hywind Scotland プロジェクト<sup>18</sup>において再生可能エネルギー価値にプレミアムを付与することで、プロジェクト成立を支援した。英国スコットランドの再生可能エネルギー推進制度である Renewable Obligation Scheme<sup>19</sup>では、再生可能エネルギーの発電事業者は発電市場における売電収入に加えて再生可能エネルギーの価値に対する対価を受け取ることができる。この再生可能エネルギーの価値に対する対価は、着床式洋上風力発電では 1.8 ROC (Renewables Obligation Certificate) 分の価値と規定されているが、浮体式洋上風力発電である Hywind Scotland プロジェクトでは 3.5ROC 分の価値との認定を受けた。

10GW の洋上風力導入の経済効果は大きい

浮体式洋上風力発電による産業振興の観点から政策による支援策の導入の意義は大きいと考えている。仮に、10GW の洋上風力発電の導入が実現した場合、日本風力発電協会によれば、直接投資 5～6 兆円程度、その経済効果

<sup>16</sup> Naval Energies は、海軍艦艇の製造業などを展開する Naval Group の子会社で、海洋や沿岸地域での再生可能エネルギー施設および関連設備の設計・製造・設置・メンテナンスのバリューチェーン全体の管理を手掛ける企業。

<sup>17</sup> 2019 年 8 月 5 日開催、第 17 回総合資源エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会／電力・ガス事業分科会 再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会の中間整理(第 3 次)(案)参照。

<sup>18</sup> ノルウェー企業 Equinor が主導し、2017 年に稼働を開始した 6MW の発電設備 5 基で構成されるプロジェクト。

<sup>19</sup> 英国イングランド、ウェールズ、スコットランド地域で導入されている電力小売企業は、販売電力の一定割合を再生可能エネルギーによる発電設備から購入しなくてはならないという制度。実際は、再生可能エネルギーによる発電施設に発電実績 1MWh ごとに付与される証明 (Renewables Obligation Certificate) を購入義務の電力量分を入手しなくてはならず、ROC のみの売買も可能である。

13～15 兆円程度、雇用創出効果 8～9 万人程度になると試算されている。浮体は資本費の約 1/3 を占めることから(前掲【図表 5】)、1～2 兆円程度の市場規模が想定され、浮体供給を一つの産業として確立する意義は大きいと言える。

日本の浮体サプライヤーは、日本の浮体式洋上風力発電の市場創出、拡大に向け、国内外の発電事業者、海洋関連事業者とも協業し、取り組みを加速すべきである。

## 5. おわりに

浮体式洋上風力  
発電は世界最先  
端の新技术とい  
う位置付け

第5次エネルギー基本計画において、世界最先端の浮体式洋上風力発電や大型蓄電池などによる新技术市場の創出など、新たなエネルギー関連の産業・雇用創出も視野に、経済性等とのバランスのとれた開発を進めていくことが必要であると述べられている。

技術差別化によ  
る海外展開も中  
長期的には検討

風力タービンでは大手3社体制を崩せる可能性が殆どないのに対し、浮体であれば参入の機会はある。浮体サプライヤーは、造船やインフラ建造で培ってきた高度な技術、実証プロジェクトによる経験値を梃子に、日本市場で技術確立とコスト低減を早期に実現していくことが求められる。そして、技術差別化による海外展開を中長期的には検討していくべきだろう。

官民挙げた取り  
組みに期待

産業育成の観点からは、民間企業の努力のみならず、浮体式洋上風力発電の自立化までは、各種制度設計や新たなパイロットプラントへの支援を含め、官民を挙げた取り組みに期待したい。

みずほ銀行産業調査部  
自動車・機械チーム 田村 多恵  
tae.tamura@mizuho-bk.co.jp

©2019 株式会社みずほ銀行

本資料は情報提供のみを目的として作成されたものであり、取引の勧誘を目的としたものではありません。本資料は、弊行が信頼に足り且つ正確であると判断した情報に基づき作成されておりますが、弊行はその正確性・確実性を保証するものではありません。本資料のご利用に際しては、貴社ご自身の判断にてなされますよう、また必要な場合は、弁護士、会計士、税理士等にご相談のうえお取扱い下さいますようお願い申し上げます。

本資料の一部または全部を、①複写、写真複写、あるいはその他如何なる手段において複製すること、②弊行の書面による許可なくして再配布することを禁じます。