

■特集

浮体式洋上風力発電の技術課題

日本風力発電協会 技術部会 浮体式洋上WGリーダー 井上俊司
独立行政法人 海上技術安全研究所

1 はじめに

平成 22 年度、日本風力発電協会・技術部会に浮体式洋上WGを設立し、まず端緒の活動として、浮体式洋上風力発電に係る法制的・技術的現状把握と技術課題の抽出を試みた。平成 22 年度の調査結果の一端をここに紹介する。なお、文末に委員名簿を記載し、謝意を表する。

2 浮体の種類と技術課題

浮体式洋上風力発電に適用される浮体形式は何れも石油生産等で実績があるコンセプトの応用であり、幾つかの浮体形式が提案されているが、特性に応じた選択がなされていくと考えられている。但し、定量的な判断基準は今後の課題となっている。

以下に代表的な浮体形式の特性を述べる。

セミサブ型は、タワーや風車をドックまたは岸壁搭載可能で、施工性に富む。一方、広大な製作ヤードを用意して、複雑な構造を製作することになり、生産性に課題がある。大波高時の復原性喪失に注意が要る。

TLP（張力脚）型は、縦動揺をほぼ抑制することができ、海域占有面積も小さい。一方で、構造物、テンドン（張力脚）、海底基礎工事のそれぞれが複雑になり、生産性および施工性に課題がある。また、地震時やテンドン喪失時等の安全性に十分に注意が要る。

スパー型は、単純円筒形状で生産性が高く、コストダウンの可能性が高い。また、復原力に富み、転覆する可能性がほぼ無い。一方で、タワー・風車の取り付けをドック・岸壁等で行い難いので、工夫を要する。また、大水深での適応となる。

3 現行の法制・規格上の位置付けと課題

風車の構造設備について、電気事業法、建築基準法に基づく安全基準等の適用がなされている。

また、風車の設置に関しても、公共の海域や港湾区域の占有、電波利用への影響、航行安全の確保、水産業との調整、自然保護、景観への影響等の観点から、各種法令が適用される。

また、国際電気標準会議（IEC）においては、1988 年以降、各国の共同作業により、風力発電システムの標準化、すなわち技術規格の策定が進められ、我が国における JIS 化も進められている。洋上浮体式の風力発電設備については、韓国から I E C 規格策定の提案が行われ、今後、検討作業が開始されることとなる。

現在の国内における構造設備に関する安全規制等は、以下のようになっている。

1) 電気事業法に基づく保安規制

- ① 電気工作物の工事、運用等に伴う危険や障害の防止を目的とした規制が行われている。

■ セミサブ型



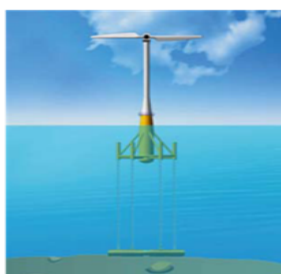
出所: Henderson



出所: Marine Innovation & Technology



■ TLP型



出所: Blue H

■ SPAR型



出所: Hywind

- ② 現在、陸上の風車については、保安確保の観点から、電気主任技術者によるアクセス時間を2時間以内とすることを条件とする運用がなされている。

2) 建築基準法に基づく構造規制

風車の支持構造物は、建築物に準じて構造的な安全性を確保する必要のある工作物（高さが15mを越える鉄筋コンクリート造の柱、鉄柱等）に該当し、建築基準法の一部の規定を準用することとされている。

また、平成19年の建築基準法関係法令改正により、高さ60mを超える風力発電設備については、その支持タワー（基礎部分を含む。）の構造耐力が基準に適合することについて個別案件ごとの大臣認定が必要となった。当該認定の申請に際しては、大臣が指定した性能評価機関が発行する性能評価書を添付する必要がある。

3) 船舶安全法に基づく安全規制

船舶安全法では船舶及び浮体設備の構造、サイズや用途の実態に応じて、同法に基づく技術基準の適用の有無が個々に定められている。

現在、推進機関及び帆装を有しない浮体設備については、一定の要件（例：国際航海に従事するもの、一体型プッシャーバージのバージ、係留船であって多数の旅客が利用する事となる船舶等。）に合致するものを除き、同法に基づく技術基準の適用はなされていない。

将来の洋上風力発電設備（浮体式）への適用の有無については不明である。

4 要素技術課題

4.1 風況観測

浮体式洋上風力発電に必要な観測要件として、外洋での観測の実現、気象および海象の同時観測、上層までの風況観測などが挙げられる。既往の洋上観測例では、これらを必ずしも全て十分に満足した体系的な観測とはなっていない。

風況観測に係る技術課題は、浮体式洋上風力発電に必要な観測要素・観測データ仕様等の観測要件の明確化、および大水深に適した観測システムの開発が挙げられる。観測システムに関しては、リモートセンシング機器自体の観測精度の問題、浮体上で行う場合の動揺の補正対策および全体システムとしての観測精度の問題、および電源供給・データ伝送方法等の維持管理方法の確立などが具体的テーマと考えられる。

4.2 風力発電機

洋上においては、その特性から風車の大型化が図られることが予想される。その場合、軽量化が重要課題である。また、高回転化によって効率向上を目指す方向性もある。一般に洋上ではコストが高くなるので、低コスト化も重要である。その他、洋上では、塩害対策のために、水密化、気密化の他、絶縁強化、間接冷却化などの工夫も取り入れられてくると思われる。

浮体式の場合には、動揺対策が重要課題である。海域の選定や、動揺を低減する浮体や係留の技術開発が進むにしても、動揺を皆無にはできない。従って、風力発電機は、何らかの動揺を蒙ることを前提に考えられなければならない。今後、浮体式の普及に伴って、風力発電機の耐動揺性に関する設計クラス分けがされるようになる可能性もある。

風力発電機の耐動揺クラスが上がれば、当然コストが上昇する。ブレイクスルー技術も必要と思われる。一方で、その場合には、浮体や係留のコストは低くて済む可能性が高い。トレードオフの関係になる各要素のバランスを取ることが重要になってくる。

4.3 輸送・据付

施工課題の方向性は、費用の大半を占める大型起重機船の使用をいかに減らすか、ということである。そのためには、風車の据付は、使用機材や品質確保の観点で、洋上ではなく工場で行うのが望ましい。ただ、据付工法については、未だ詳細に検討されておらず、工法の確立が必要である。

また、クレーン船、杭打ち船、ケーブル敷設船、潜水作業支援船など様々な作業船が必要となるが、大水深対応、荒天対応、位置保持能力など特殊機能が必要となる。現在、国内には、これらの作業船の一部しか存在しておらず、工法に合わせた作業船の開発と充実が必要と思われる。

4.4 海底ケーブル

既に着床式洋上風力発電においては、一般に海底ケーブルとして使用されている製品仕様や施工方法で対応可能であり、実績も増えている。しかし、浮体式に適用される海底ケーブルは、浮体構造特有の動揺や振動を受けるため、製品仕様や工法を再検討する必要がある。

ケーブルは動揺や振動を受けて、疲労破壊しやすくなる。この動揺の軽減策としては、ケー

ブルの中間を浮力調整ブイで浮遊させる方法があるが、実証データによる評価が必要である。また、着底部ではケーブルの磨耗が発生するが、これに対しても浮力調整ブイは効果があると考えられる。現在の海底ケーブルは、鉄線などで外部からの衝撃を保護する構造になっているが、前述のような動揺や振動を受けることを前提としていない。また、海底ケーブルの公的な規格が無く、メーカー独自のノウハウで製造される場合が多い。今後、規格化するためには、ケーブルが持つべき疲労特性、磨耗特性、設計寿命等を新たに定義する必要がある。

4.5 メンテナンス

一般的には、丁寧な予防保全によって故障を防いで稼働率の向上を図ることが良いとされるが、洋上保守での費用の多くを占める船費を減らすために、保守に行く往復回数をいかに減らすかと言うことが、トレードオフの課題となる。そこでは、コンディション・モニタリングも一つの有力な手段である。なるべく現地に行かずして故障予知、遠隔診断することで、計画的に修理をする。ただ、モニタリングのためのシステムや部品が追加されるので、全体の信頼工学的には故障率が上がり、それも含めて評価する必要がある。

保安管理体制については、電気事業法が定めるところの2時間以内のアクセスが課題となる。陸上の電気主任技術者が2時間以内に到達可能な範囲に風力発電施設を配置するか、または、洋上に前進基地を設置することになる。ヘリコプターの利用や、高速船の利用が効果的である可能性もある。

運転監視に関しては、SCADAによる監視を行うことになると考えられるが、現状の陸上では電気事業法上の届出は随時巡回方式としている場合が多い。洋上において、通信手段にトラブルが発生し、かつアクセス性で制限を受けた場合には、随時巡回方式は成立しなくなる可能性がある。通信手段の冗長性やアクセス能力の確保が重要となる。

その他、点検、エラー・故障対応、災害対応等においては、アクセス能力や輸送手段の確保、浮体動揺下での作業性確保などが課題となる。それぞれは、コストに響いてくるので、経済性を絡めた検討や開発が必要であると共に、そもそも、陸上での考え方をそのまま洋上に持って行くのではなく、総合的判断に基づく洋上での保守の在り方を議論する必要があるかもし

れない。

4.6 環境影響評価

浮体式施設は構造物を係留によって固定する方式のため、一般に着床式より環境に与える影響は小さい。しかし、環境影響に関して一定の評価をする必要があるため、その際の課題を整理すると以下のとおりとなる。

まず、定量化データ取得の困難性がある。底生生物の調査には大なり小なりダイバーの作業が求められる場合が多いが、大水深の場合にはダイバー作業について多くは望めない。また、魚介類の定量化のために適切な漁具・漁法を用いる船舶を活用する必要があるが、その調達も課題となるかもしれない。

つぎに、生物への影響評価手法が未確立である点が挙げられる。汎用性のある生態系モデルが未確立であり、予測のために必要なパラメータ群も不明である。

また、評価基準が未確立であり、確立が容易でないことも大きな課題と言える。

5 風力発電導入ポテンシャルの推定における課題

ポテンシャル量の推計は通常、①エネルギー量の賦存量を推計するステップと、②各種導入要因を考慮した場合の導入ポテンシャル量を推計するステップで構成される。

まず、エネルギー量の賦存量を推計するステップでは、洋上では観測データが少ないためにシミュレーションの精度が低下しがちであることに留意を要する。日本付近の洋上におけるシミュレーション誤差を明らかにすることや、衛星リモートセンシングデータ等を活用して、シミュレーション精度を向上させる手法を検討する必要がある。また、風況の年変動を考慮すると、複数年（5年以上程度）のデータを蓄積してシミュレーションを行うなどの工夫も必要となる。

導入ポテンシャル量の推計においては、船舶航路、漁業活動、その他の海洋利用などを考慮する必要があるが、現状では必ずしも確立された判断基準がある訳では無いので、推計値をなかなか確定しづらい。経済性の観点を入れると、ますます推計が困難になる。しかし、一方では推計の社会的ニーズは存在するので、一部に仮定を置いて検討する試みがなされるが、結果がこのような大きな不確定性に基づくことを十分念頭において判断する必要がある。将来に向

けての諸問題の解決をどのように配慮に織り込むかと言う点で、判断が分かれてくると考えられる。

6 今後の展望

浮体式洋上風力発電システムは、本格的な実証実験として欧州に1例あるのみの分野であり、多くの不明点を抱えている。

特に、以下の観点での調査、検討が今後望まれる。

- ① 風車および浮体システムとしては、それぞれの分野で既往の技術に立脚しているが、それを統合した際の全体最適化、および新規技術課題
- ② 設計、製造・建造、設置、運用、メンテナンス、撤去のライフサイクルで見た場合の、最適化、および新規技術課題
- ③ 上記を踏まえた上での、事業性の評価および開発ロードマップ

上記の整理を行うに当たって、差し当たり、特に全体へのインパクトが大きいと考えられる項目として、下記が挙げられる。

- (ア) 法的位置付け、および許認可
- (イ) 浮体の動揺環境下での風車の在り方、および浮体の在り方とのトレードオフ
- (ウ) 輸送・設置方法
- (エ) メンテナンスの考え方、および方法

また、FITの議論も今後は洋上風力発電へと進むことが考えられ、事業性（コスト）に関する議論がなされる機運にあることを踏まえると、本来は前述の検討を待つ部分はあるにしても、適切な情報発信の観点から、事業性（コスト）に関する初期検討を始める必要がある。

(委員名簿) 順不同・敬称略

井上俊司(リダー)	海上技術安全研究所
岡野克弥(サブリーダー)	日本製鋼所
高清彦/中村賢	佐世保重工業
出口啓	きんでん
斎藤正美	明電舎
榊原雅行	ユーラスエナジーホールディングス

松木敦則	四電エンジニアリング
早崎宣之/青木功	伊藤忠テクノソリューションズ
藤井朋国	ストルツコーポレーション
河原林英彰	竹中土木
石塚紀雄	イオスエンジニアリング&サービス
藤田重友	三菱重工業
片桐力/中溝栄一	NTN
寺門雅史/三浦義仁	日本造船工業会
新家哲司/寺町新一	竹中製作所
上田聡	IHIマリンユナイテッド
白石崇	富士重工業
小野寺雪乃	メカルアジア
鹿野敏	鹿島建設
赤星貞夫/岩下智也	日本海事協会
中尾徹	イー・アンド・イーソリューションズ