

日本の海域に調和する洋上風車浮体の開発

Development of Offshore Wind Turbine Floater to Blend into Japanese Waters



太田 真^{*1}
Makoto Ohta

小松 正夫^{*2}
Masao Komatsu

伊藤 弘人^{*3}
Hiroto Ito

熊本 均^{*4}
Hitoshi Kumamoto

日本の国土面積は世界で 60 位くらいの低位でありながら、その海岸線の長さや領海と排他的経済水域の海域面積は世界6位に位置することはよく知られている。16 億kWと推算されている洋上風力賦存量の活用を図るべく、官／学／産において様々な局面から洋上風車の検討・開発が進められ、種々の提言や論文発表がなされるとともに、経済産業省や環境省では実証試験が開始された。三菱重工でも 2000 年から洋上風車用浮体開発の取組みを実施し、その成果は経済産業省からの委託事業として実施されている「福島復興・浮体式洋上ウインドファーム実証研究事業」での大型風車用浮体開発へとつながっている。ここでは実証研究事業の一環として進められている世界最大級の 7MW 油圧式風車を搭載した洋上風車の浮体開発にフォーカスし、浮体に対する基本的な考え方と現況を紹介するとともに、浮体式洋上風車の産業化に向けての課題について言及する。

1. はじめに

浮体式洋上風車の開発は、ノルウェーの HYWIND プロジェクトに始まり、イタリアでの BULE-H、スペインの WINDFLOAT、長崎県樺島沖の試験機と国内外で実証試験が開始されている^{(1)~(4)}。これらのプロジェクトで搭載されている風車の規模は 2MW 級以下の中小型機であり、風車本体は陸上での実績もあり、浮体本体の開発を除くと、現状技術の延長で対応可能と言える。浮体式洋上風車の実用化に当たっては、COE(発電単価)低減のための単機容量の大型化が必須と言われているが、7MW 級では大型化による様々な制約があり、その浮体開発は性能のみでなく、あらゆる面でのノウハウを結集して実施する必要がある。台風が襲来する日本の洋上という過酷な環境に浮かび、安全に稼働できる大型浮体式風車を提供するには、O&M (Operation & Maintenance)を含めたコストを考慮しながら、日本の環境に合致した浮体と風車のバランス、その建造法、風車の搭載設置要領、設置工法等が総合的に考慮されなければならない。

2. 大型浮体式風車のコンセプト

7MW 風車の規模を図1に示す。この風車を支える浮体として、以下の条件を設定した。この条件は種々の面で複合している。

- (1) 自己安定型の浮体
- (2) 日本の港湾域で建造可能
- (3) 建造場所が限定されないこと

*1 技術統括本部 長崎研究所

*2 船舶・海洋事業本部 船海技術総括部 グループ長

*3 船舶・海洋事業本部 船海技術総括部 主席技師

*4 船舶・海洋事業本部 船海技術総括部

- (4) 量産に適した形状・構造
- (5) 風車搭載の効率化
- (6) 重大故障・メンテナンスへの配慮
- (7) 7MW 風車搭載が可能な係留・運動性能

上記条件より、長年にわたる研究開発の成果として、当社では洋上風車の基礎となる浮体として、V字型セミサブ浮体を選定した。V字状に配置された2辺のローハルの浮力によって建造中は浮上させ、稼働時には注水して没水させ、セミサブ状態となる⁽⁵⁾。ローハルの交叉部及び端部は3本のコラムと接続した形状をなし、センターコラム上に風車を搭載した。ローハル/コラムは曲面のない箱型構造とし、構造の複雑化と溶接欠陥を招きやすい斜め支持構造材等を廃し、極めてシンプルな構造を採用している。



図1 7MW 風車の要目

2.1 浮体の喫水

本浮体の主要目を図2に示す。日本の港湾域に面した既存の設備を利用する場合、その建造中の喫水は浅くしておくことが望ましい。本浮体ではローハル内部のバラストタンクへの注排水により、建造時の浅喫水が可能となった。また、曳航の際にもローハル喫水(3~5m)/セミサブ稼働時喫水(17m)の両方で調整可能であり、海象・状況に応じて曳航喫水を変更することができる。建造中のみならず、重大故障時の対応や将来の撤去を考慮すると、サイト近隣の港湾域への入港が必要な場合も考えられるため、国内における浮体式風車では、建造喫水の考慮は重要といえる。

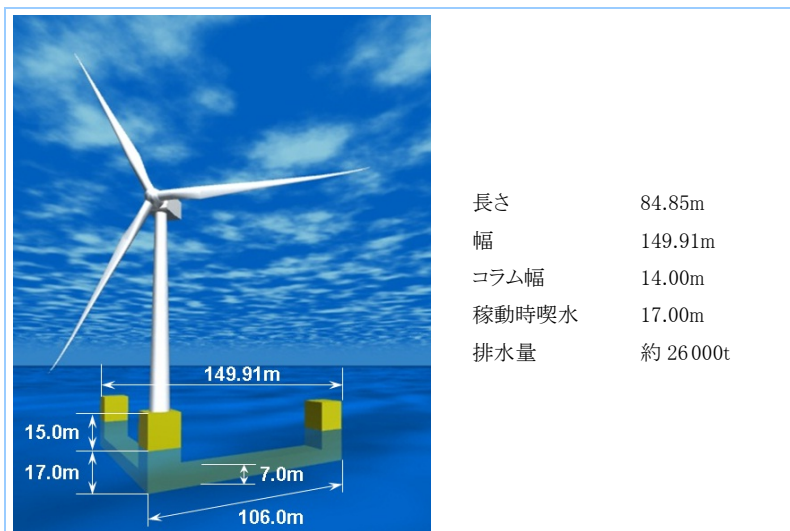


図2 浮体主要目

2.2 量産化と建造場所

先に述べたように、本浮体は単純形状の組み合わせを採用することにより、建造コストの低減が可能になるとともに、量産化においても浮体建造時の自由度が増大した。通常、大型鋼構造物は造船所のドック等で建造されることが多いが、建造場所から設置場所への曳航費や建造後のメンテナンスを考慮すると、設置場所近隣での建造も望まれる可能性がある。箱型形状のブロックを集積し、サイト近傍の建造場所で最終組み立てを実施する等も今後の課題であろう。図3にドック設備を使用しない場合の進水浮上、風車組み立て要領のアイデアを示す。これは、ケーソンの製作等でも採用されている手法であり、箱型形状の組み合わせであれば、このような建造要領も検討の対象となると考える。

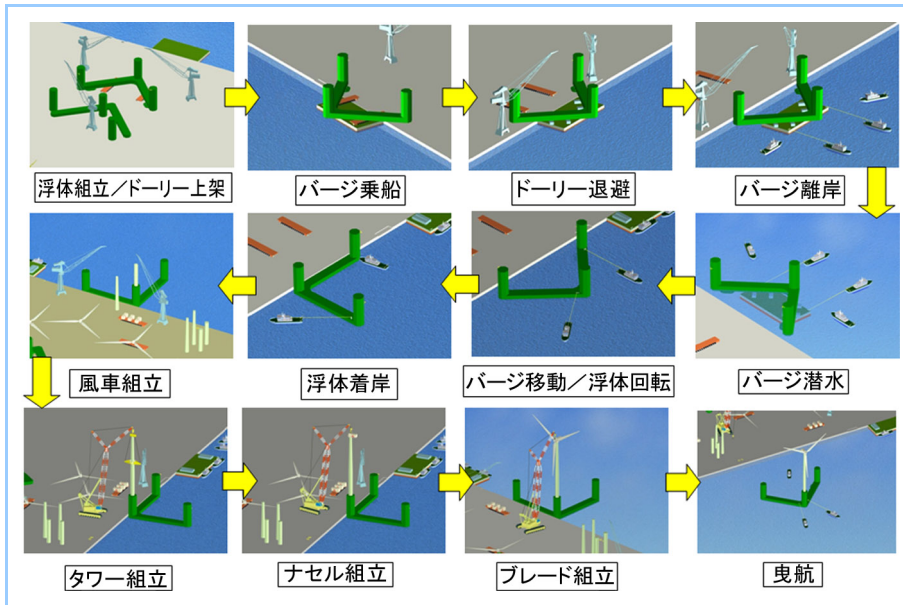


図3 造船所以外での建造要領の一例

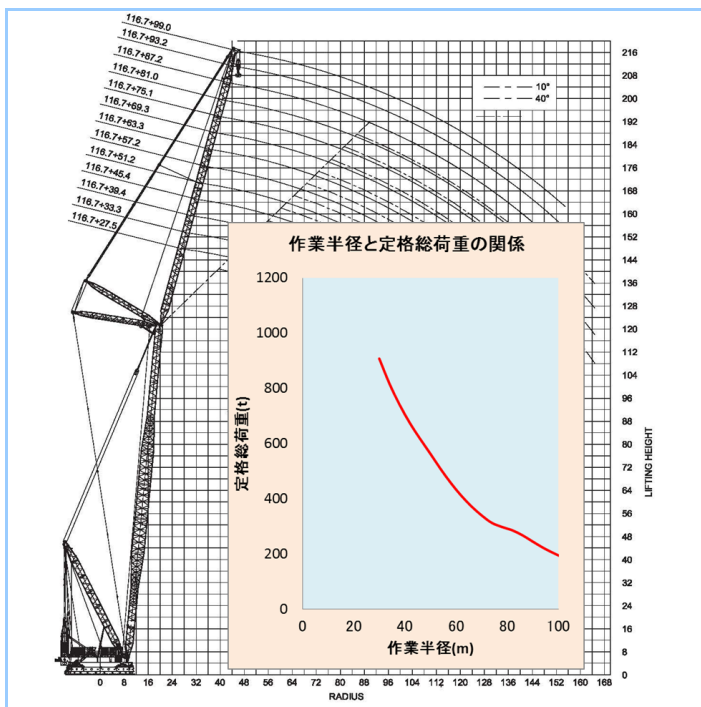


図4 クレーンの吊能力とアウトリーチの関係

2.3 工事に関する配慮

風車は浮体外側に配置されたセンターコラム上に搭載されている。これにより風車搭載時、浮体に搭載用のクレーン等を最接近させることが可能で、クレーンリーチを大幅に減少できる。図4にクレーンの吊能力とアウトリーチの関係を示す。

風車搭載時には浮体を整地された海底マウンド上に着底させ、風／波等に対して安定させる手法も適用できる。また、将来国内で大型の自己昇降型作業台船(SEP)が建造された場合には、そのSEPを利用して風車の搭載も可能なように配慮されている。

さらに、ローハル構造は将来、メンテナンス用のフローティングクレーンのドッキングベースとして使用することも考慮した浮体形状を選定している。

3. V字型セミサブ浮体の性能

浮体設計において最も重要なことは、超大型風車が安全に稼働できる浮体基礎を提供することであり、転覆あるいは漂流といった重大事故は決してあってはならない。一方で、上述の建造性、現地工事・保守の利便性及び各種性能は、製品価値に大きく関わってくる。例えば、浮体建造費や動揺性能など部分最適のみで設計した場合には、バリューチェーン全体で評価した結果、事業性を大幅に下げることがあると考えられる。

3.1 浮体式風車の性能要件

一般に、浮体設計における静的安定性能と波浪中動揺性能の重要性は知られているが、浮体式風車の設計における性能要件として最重要な項目の1つに風車制御系と連動した動的安定性がある⁽⁶⁾。本性能要件は、風車出力／推力の平滑化のための風車翼制御に起因する力が浮体回転運動に負減衰として作用するために、浮体回転運動を増幅させるかどうかの評価になる。本浮体は、これら三大性能をすべて満足するよう設計初期段階において詳細検討を実施し、十分な性能を有していることを確認している。

3.2 水槽試験による確認

上記の性能要件の確認と設計認証コードの検証データの取得を目的に、当社保有の大型の水槽設備／風洞設備を用いた模型試験を実施した。国内最大級(長さ 160m×幅 30m×深さ 3.1m)の耐航性能水槽に簡易送風機を設置した水槽試験、加えて境界層風洞(長さ 35m×幅 6m×高さ 5m)を改造して簡易水槽と造波機を設置した風洞試験を行って、風と波の条件を広範に組み合わせた膨大な試験ケースを実施した。水槽試験状況を図5に、風洞でのセットアップを図6に示す。これら試験では、浮体動揺、係留索張力、浮体／風車模型に作用する様々な荷重計測に加え、大型風車の安全稼働を目的とした浮体動揺低減装置による効果に関する設計データについても取得している⁽⁷⁾。

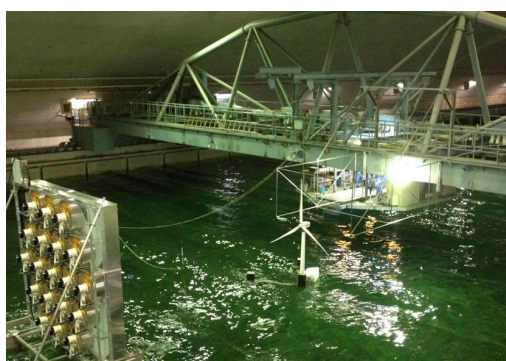


図5 水槽試験状況

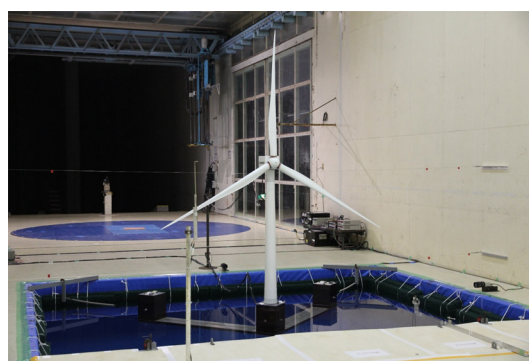


図6 風洞試験セットアップ

3.3 係留装置の安全設計

国土交通省海事局は浮体式洋上風車特有の技術課題として係留関連の問題を挙げ、非常時に係留索が破断しても安全性が確保できるようガイドラインに反映されている⁽⁸⁾。また、係留設計における環境条件も厳しく設定されていて、設置海域の風速や波浪などのデータから 50 年再現期間の極値統計結果を採用している。日本沿岸海域 58 箇所の 30 年間にわたる観測波浪データから既往最大高波を抽出して図7に示すが、大型台風が通過する西日本の観測最大高波を凌ぐ高い波高が設定されている⁽⁹⁾。

さらに、設置海域は黒潮の影響を受けて強潮流となる可能性があることから、浮体没水部に作用する抗力も極めて大きな荷重になることが予想されている。係留設計では、風・波・流れによる荷重の最大が全て同じ方向から受けても安全に位置保持できるよう、呼び径 132mm のチェーン 8 本を放射状に展張させて、水槽試験や係留シミュレーション計算に基づき十分な安全性を確認している。

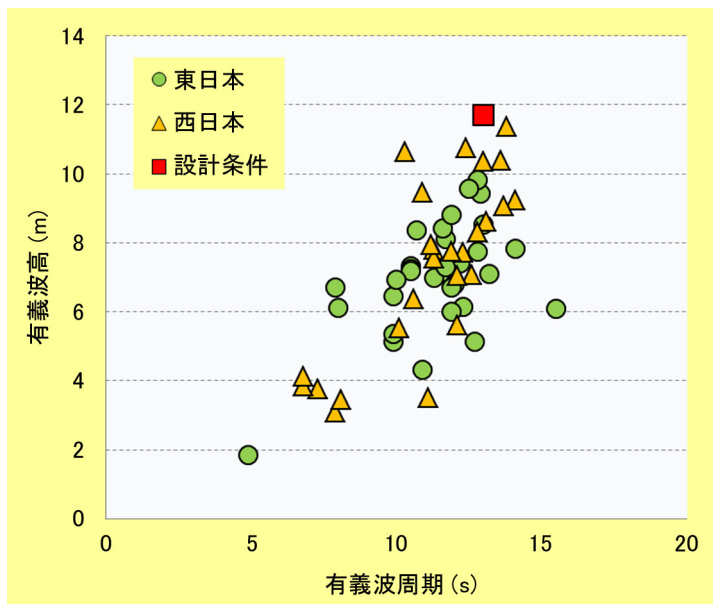


図7 日本沿岸の既往最大高波と設計波

4. まとめ

以上、「福島復興・浮体式洋上ウインドファーム実証研究事業」に当社が提案したV字型セミサブ浮体の設計思想や実設計の現状について言及したが、未だ社内で設計段階にある7MW風車を搭載する浮体開発において、事前に検討・検証すべき項目は山積している。しかしながら、本実証研究事業は福島復興予算で実施されており、福島復興と再生可能エネルギー事業の起爆剤となれば幸甚である。

本浮体式風車は、設置後二年間にわたる実証観測が予定されており、本実証試験において、技術の確立とともに、安全性・信頼性・経済性が明らかにされる計画である。いよいよ次世代の洋上ウインドファームが誕生することも夢ではない⁽¹⁰⁾。再生可能エネルギーを中心とした新たな産業の創出に向けて、工事機材の充実や集積基地の整備が進むことを期待する。

なお、本実証試験は丸紅(株)(プロジェクトインテグレーター)、東京大学(テクニカルアドバイザー)を中心にコンソーシアムを形成し推進されています⁽¹¹⁾。本実証試験の実現に向けて尽力されているコンソーシアムメンバーの方々に、心より感謝いたします。

参考文献

- (1) <http://www.statoil.com/en/technologyinnovation/newenergy/pages/default.aspx>
- (2) <http://www.bluehgroup.com/product/phase-1.php>
- (3) <http://www.principlepowerinc.com/products/windfloat.html>
- (4) <http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=13288>
- (5) 片山正敏ほか、半潜水式海洋構造物の波浪中構造応答解析、三菱重工技報、第13巻第4号(1976)
- (6) Larsen T., Hanson T., A method to avoid negative damped low frequent tower vibrations for a floating, pitch controlled wind turbine, The science of making torque from wind. Journal of Physics: Conference Series 75(2007)
- (7) 松浦正己ほか、浮体動揺低減に関する新技術、三菱重工技報 Vol.38 No.3 (2001)
- (8) http://www.mlit.go.jp/report/press/kaiji07_hh_000017.html
- (9) 永井紀彦、全国港湾海洋波浪観測 30 年統計(NOWPHAS1970-1999)、港湾空港技術研究所資料 No.1035(2002)
- (10) http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu_kakaku/001_07_01.pdf
- (11) 福島復興 浮体式洋上ウインドファーム実証研究事業 パンフレット 福島洋上風力コンソーシアム版