

3 浮体式洋上風力発電の将来ビジョンと 海技研の取り組み

中條 俊樹*, 黒岩 隆夫*, 國分健太郎*

Future Vision of Floating Offshore Wind Turbines and Future Activities in National Maritime Research Institute

by

CHUJO Toshiki, KUROIWA Takao, and KOKUBUN Kentaroh

Abstract

The use of floating offshore wind turbines (FOWTs) are spreading in Japan and Europe gradually, and Japan has set a plan to generate 1.7 % of total generated power by wind turbines. One of the drawbacks for the commercial use of FOWTs is the reduction in levelized cost of energy (LCoE). Technological developments, combinations of developed technologies, volume efficiency, etc. are all important to reduce the LCoE to that of the average commercial wind farm in Europe. NMRI has organized the Offshore Wind Turbines Project Team to address these problems in collaboration with private companies, universities, and the government. This paper introduces measures to reduce the LCoE based on the analysis of initial costs of existing projects in Japan. The future vision of FOWTs and activities in NMRI are also introduced in this paper.

* 洋上風力発電プロジェクトチーム

原稿受付 令和2年5月19日

審査日 令和2年6月10日

1. はじめに

風力発電は再生可能エネルギーの一つとして、世界的に導入が進んでいる。風車的大型化や陸上適地の減少により洋上展開が急速に進展しており、我が国においても着床式ウィンドファームの建設や浮体式洋上風力発電の複数の実証プロジェクトが実施されている。

日本では、エネルギーミックスとして、2030年に総電源の22～24%を再生可能エネルギーで、その中で風力発電は総電源の1.7%程度、設備容量として10GWを賄うことが提示されている¹⁾。また、(一社)日本風力発電協会は2030年に36GWの累積導入量というより高い目標を掲げている²⁾。

これらの目標達成には、風力発電の陸上の適地が限られることから、着床式、浮体式の洋上風力発電への期待が大きい。特に浮体式洋上風力発電における課題の一つに発電コスト(LCoE: Levelized Cost of Energy)の高さが挙げられる。浮体式洋上風力発電には、その発電コストをヨーロッパの着床式ウィンドファームにおける10円/kWh程度³⁾まで低減することが必要と考えられる。

このような大規模な発電コスト低減のためには、個別の技術開発に加え、複数の技術開発の組み合わせや量産効果による初期費用(CAPEX: Capital expenditure)や運用費用(OPEX: Operating expense)の低減が必要となる。

当所は浮体式ウィンドファームの商用展開と普及のための様々な技術的課題に部門横断的に対応し、また民間企業や大学等との連携体制の強化のため、2020年3月に洋上風力発電プロジェクトチームを発足させた。本論文では、我が国の浮体式洋上風力発電の将来ビジョン⁴⁾とその実現に向けた当プロジェクトチームの取り組みについて紹介する。

2. 浮体式風力発電の将来ビジョン

2.1 導入容量目標の設定

2050年までの風車導入容量の目標を図-1に示す。

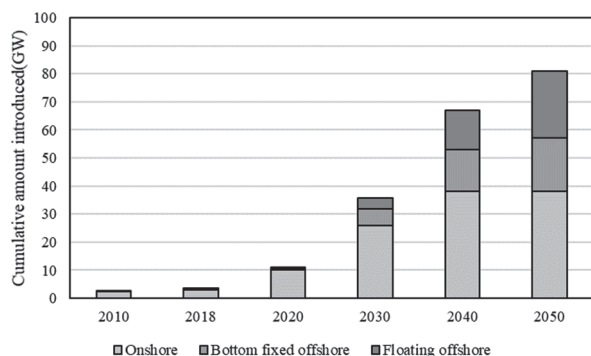


図-1 風力発電導入ロードマップ

これは、(一社)日本風力発電協会によるロードマップ²⁾に示された導入容量目標を用い、日本の洋上風力発電のポテンシャルに占める浮体式洋上風力発電の割合⁵⁾⁶⁾を加味して、浮体式風車についてのみ、2030年以降に10MW風車が毎年100

基建設されると想定して、著者らが導入容量を変更したものである。

なお、10MW風車100基分の設備容量は1GWであり、風車の設備利用率を50%と想定すると、100万kWの火力あるいは原子力発電所の概ね0.5基分に相当する。

2.2 既存プロジェクトの初期費用分析

初期費用の低減効果の大きい分野を抽出するために、現状の初期費用の分析について調査した。これまで国内外で実施された複数の浮体式洋上風力発電のフィージビリティスタディや実証プロジェクトによる初期費用の分析を対象とした⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾。調査結果を表-1および図-2に示す。なお、表-1におけるBalance of Systemsは、系統連系に関連する費用である¹⁰⁾。

表-1 フィージビリティスタディや実証プロジェクトによる初期費用およびその内訳

CAPEX Breakdown (Mil.¥/MW)	Semisub (FS)	Barge (FS)	Fukushima			EU
			2MW	7MW	5MW	
Turbine	525	509	256	1334	594	232
Foundation	231	778	557	352	1052	192
Mooring	62	257	346	117	107	60
Installation	258	334	1095	513	495	82
Balance of System	330	250	558	226	316	111
Decommission	50	85	106	113	109	26

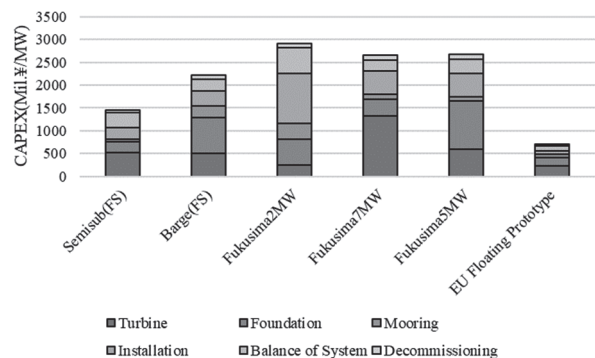


図-2 フィージビリティスタディや実証プロジェクトによる初期費用およびその内訳

表-1および図-2より求めたフィージビリティスタディ、実証プロジェクトのMWあたりの初期費用は、ヨーロッパにおける試算とは大きな差がある。また、福島県沖の浮体式洋上ウィンドファーム実証研究事業においては、浮体の違いによる内訳の差も大きい。この原因としては、海上工事に不慣れであり洋上作業等に長期間を要したことや、初めて導入される風車を用いたこと、作業船の効率的な運用が難しかったこと等が指摘されており⁷⁾、コスト高の原因は浮体によって異なっている。いずれの浮体もMWあたりの初期費用は高い値になっている。

2. 3 目標発電コストの試算

目標発電コストを2030年に15円/kWh、2050年に8円/kWhと設定し、初期費用や運用費用をどの程度低減する必要があるかを試算したものが表-2および表-3である。これらの表で、各項目の費用低減目標は、欧州での検討結果⁵⁾¹⁰⁾¹¹⁾や日本における費用低減の試算⁷⁾などを参考に定めた。表-2に示す運用費用については、公開資料⁷⁾に示されたメンテナンスのための備船料、人件費を参考に算出した。

また、この試算においては現状および2030年では浮体設置海域の平均風速を7.5 m/s程度とし、設備利用率を43%程度、2050年ではそれぞれ8.5 m/s程度、50%程度と設定している。また設備稼働率を95%、運用費における間接費の割合を15%、初期費用における借入金の割合を30%、利子として2%を想定した。

発電コストの試算の結果、目標を達成するためには、初期費用を2030年で537百万円/MW、2050年で341百万円/MWにする必要があることが分かった。単機実証試験の現状の初期費用から、おおよそ35%、25%にする必要がある。

さらに、表-3に示すように、初期費用の中では、浮体の建造費、および浮体・係留の設置費用が大きいと考えられ、これらの低減が必要である。

また、表-2からは運用費用についても稼働期間として20年を考慮すると初期費用相当となる。そのため、運用費用の削減も重要な検討課題であり、当プロジェクトチームにおいても今後詳細に検討を進める。

表-2 発電コストの達成目標

Year		2020	2030	2050
Number of turbines		1	100	100
LCoE (¥/kWh)		40	15	8
Capacity factor (%)		43	43	50
CAPEX (Mil. ¥/MW)		1500	537	341
OPEX/year (Mil. ¥/MW)	O&M	50	10	5
	Insurance	10	5	4
	Indirect expense	7.5	1.5	0.8
	Interest	—	9.8	6.2
	Subtotal	67.5	26.3	15

表-3 初期費用の達成目標の内訳

Cost breakdown (Mil. ¥/MW)	2020	2030	2050	EU
Wind turbine	200	150	105	149
Floater construction	400	159	80	80
Mooring material	100	18	14	76
Installation	500	78	50	
Sub-station construction, other construction	—	44	28	47
Electrical cable material \$ installation	300	50	40	
R & D cost, Interest	—	38	24	NA
Total	1500	537	341	352

3. 目標実現のための取り組み

15～8円/kWhの発電コストや大規模導入量といった高い目標実現には、発電事業者、造船業界、土木建築業界、金融保険業界、大学等との協力が不可欠である。そのため、当所ではJIP（Joint Industry Project）等による複数の関係機関との共同研究開発を構想している。現在構想中のJIPについて、検討項目の例を示す。

- 大量建造に適した浮体コンセプトの提案
 - これまでに提案されている浮体コンセプトは多様であるが、下記の係留、生産システム等と併せ、安全性評価、費用評価を進め、低コストかつ大量建造に適した浮体コンセプトの提案を行う。
- 費用低減可能な係留系コンセプトの検討
 - 係留系に関連する費用も低減が必要であり、そのための検討として、例えば合成繊維索を利用し、アンカー共有化等の検討を実施する。
- 安全かつ安価な浮体輸送・設置法の検討
 - 風車の大型化が進み、より大重量・高重心となる風車を搭載した浮体の安全かつ低コストな輸送・設置法を検討する。
- 大量建造のための生産システムの検討
 - 年間100基程度の大量建造のためには、大量建造に最適化した生産システムが必須と考えられる。省力化や連続生産を考慮した生産システムを検討する。

4. コンセプトの例

前述のJIPにおける検討では、現実的な制約条件に基づいて、費用、性能、生産技術などの種々の要素を検討し、最適なコンセプトを探索していく。それに先行して、当所で検討を始めたコンセプトの例を以下に示す。

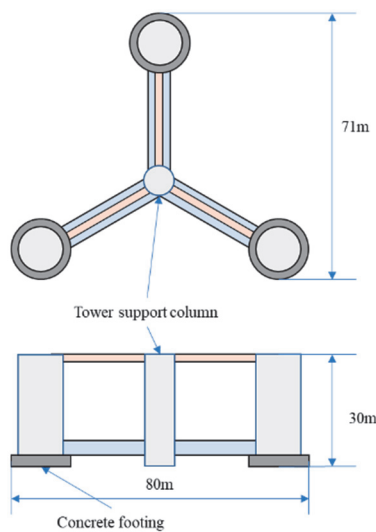
4. 1 浮体・係留のコンセプト

コンセプトの検討に当たり、前提条件を以下に示す。

- 10MW級風車の搭載を想定すること。
- 浮体サイズはできる限りコンパクトであること。例えば既存の大型ドックを活用する場合、ドックのサイズ以下の浮体幅であること。
- 設置海域における水深の制限を減らすため、喫水をできる限り小さくすること。
- 排水量をできる限り小さくすること。
- 係留には合成繊維索を用い、設置費用等を最小化すること。

図-3に基礎検討の一例としてセミサブ型の浮体コンセプトの概要を示す。この浮体コンセプトは、3本のコラム下部にコンクリート製フーティングを設け、喫水を小さく抑えつつ低重心化を図っている。また、風車支持コラムと3本のコラムの頂部と下部をハルで結合しフレーム状の構造とし、細

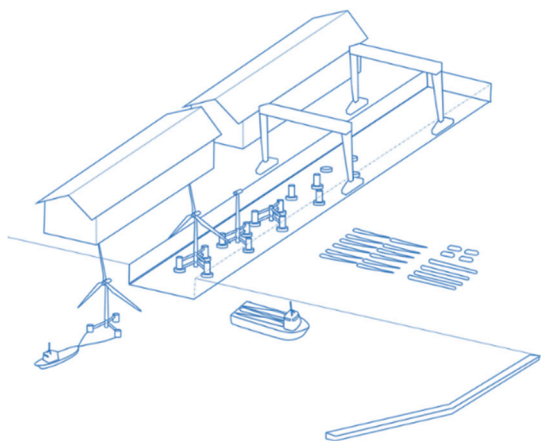
いブレースを廃することで疲労強度の向上を図る。係留系は合成繊維索を使用する。なお、本論文ではセミサブ型のみ示すが、スパー型についても並行して検討を行っている。



図－3 セミサブ型浮体のコンセプト図

4. 2 浮体の建造・設置方法

また、多数の浮体を効率的に建造するために、図－4 のような専用建造ドックを想定する。ドックサイズは長さ 1000 m、幅 150 m とした。ドック内で陸側から沖側へ向かって連続建造を行い、完成後は直接設置海域へ輸送される。風車はドック内で浮体上に搭載される。さらに、ドック周辺には部材の保管ヤード、関連器等の製造工場を併せ持つものとする。さらには、年間 100 基規模の浮体式洋上風力発電施設を効率的に建造するために、浮体の製造・風車の組立および浮体への搭載・稼働海域への設置に必要な国内全体における、建造ドックの建設や浮体の生産手法、資機材のロジスティック等を考慮した全体システムを構築することにより、ライフサイクルにおける最適化を図る。なお、建造ドック等に必要な費用は今後詳細に検討する。



図－4 生産システムのイメージ図

また、稼働海域への設置方法についても検討を行う。10MW 級風車のナセルおよびタワー重量は大きく¹²⁾、風車を搭載した浮体の重心位置は高くなるため、稼働海域への輸送や設置において安全な手法の検討が必要である。

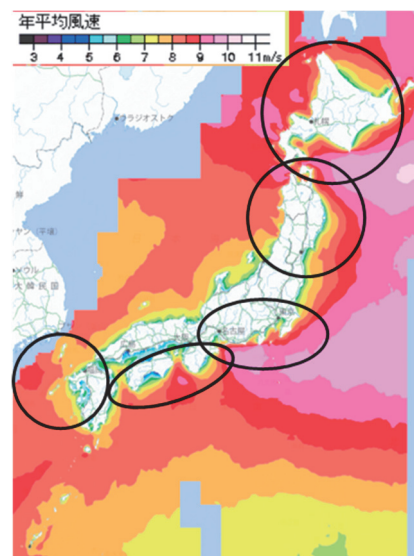
なお、浮体式風力発電施設の稼働海域への設置のために、建設船・作業船の大量導入、海上作業等に係る人材の育成、施工方法の改良・成熟、拠点港の整備も必要である。

4. 3 設置海域

浮体設置候補海域を、年平均風速 8 m/s 以上（高度 120 m）、水深 50～300 m、離岸距離 50 km 以内を条件として洋上風況マップ¹³⁾より抽出した。これらの条件を満たす海域のうち、20 カ所の候補海域のエリア別分布例を表－4 および図－5 に示す。北海道、東北で条件を満たす海域が多いが、関東から中部の太平洋側や四国、九州にも風況の良好な海域が存在する。一方、電力消費地との距離や、電力系統での送電線の容量を考慮すると、日本各地に分散していることや、今後の系統容量の増強に合わせて継続的に設置が進むことが望ましい。なお、10MW 級の風車のロータ径は約 200 m であり、それらを 100 基設置するのに必要な海域面積は、設置間隔を主風向の方向にロータ径の 10 倍、主風向と直角方向にロータ径の 5 倍と仮定した場合に概ね 20 km×10 km となり、設置面積に問題はないと考えられる。

表－4 設置海域の候補の例

Region	Average wind speed (m/s)	
	8~9	9>
Hokkaido	5	1
Tohoku	5	1
Kanto, Chubu	1	2
Kinki, Chugoku, Shikoku	2	0
Kyusyu	3	0
Total	16	4



図－5 浮体式洋上ウィンドファームの適地例

5. まとめ

浮体式洋上風力発電の大量導入および発電コスト低減のための目標として、2030年までに累積で約400基（3.8GW）、2050年までに累積で約2400基（23.8GW）の浮体式洋上風力発電施設を設置し、発電コストを15円/kWh、8円/kWhにすることを提案する。そのためには、以下に示す課題を解決する必要がある。

- ・ 浮体式洋上風力発電の大量導入と発電コスト低減は、大量導入による発電コスト低減の加速、および発電コスト低減による大量導入の加速という、お互いを促進する関係にあり、両者を並行して進める必要がある。
- ・ 発電コスト目標の達成には初期費用を、単機実証試験の現状と比較して、2030年、2050年で、それぞれおおそ35%、25%にする必要がある。この初期費用の低減は、年間100基規模の量産、風車の大型化、および個別の費用低減技術とそれらの組み合わせによって図られると考える。
- ・ 上記を実現するためのJIPによる共同研究開発を、当所では構想している。
- ・ 浮体建造費用、係留および稼働海域への設置費用の低減のための1つのコンセプトの例として、セミサブ型の浮体と合成繊維索を提案する。
- ・ 年間100基規模の浮体式洋上風力発電施設を効率的に建造するために、浮体の建造ドックからロジスティックに至る全体システムの構築により、ライフサイクルにおける最適化を図る。
- ・ 建設船・作業船の大量導入、人材の育成、施工方法の改良・成熟、拠点港の整備も必要である。

浮体式洋上風力発電の大量導入・発電コスト低減を実現するためには、産官学の関係者が、共通のビジョンと目標を持つことが必要と思われる。本提案が、その一助になれば幸いである。

謝辞

本検討を行うに当たり、長崎大学海洋イノベーション機構の織田洋一様から、様々なアドバイスを頂きました。感謝申し上げます。大学の先生方、発電事業者殿、保険会社殿、建設会社殿、機器メーカー殿からは、種々の情報をお教え頂き、感謝申し上げます。また、海上技術安全研究所の関係各位には、様々なご議論を頂きました。

参考文献

- 1) 山本慎一郎：我が国の風力発電と促進政策について、第41回風力エネルギー利用シンポジウム、依頼講演、pp.1-17, 2019.
- 2) 日本風力発電協会：風力発電の導入拡大に向けて、2016. <http://jwpa.jp/pdf/20160229-JWPA-WindVisionReport1.pdf>, 2016.
- 3) Wind Europe: Floating offshore wind energy: a policy blueprint for Europe, Wind Europe Position Paper, 2018.
- 4) 黒岩隆夫、中條俊樹他：浮体式洋上風車の将来ビジョンの提案、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第30号、2020.
- 5) International renewable Energy Agency: FUTURE OF WIND Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects, A Global Energy Transformation paper, 2019.
- 6) 日本風力発電協会：風力発電の賦存量とポテンシャルおよびこれに基づく中長期導入目標とロードマップ（V2.1）
- 7) 福島洋上風力コンソーシアム：浮体式洋上ウィンドファーム実証研究事業（報告書概要版）、2016.
- 8) 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）：平成26年度～平成27年度成果報告書 風力発電等技術研究開発 洋上風力発電等技術研究開発 次世代浮体式洋上風力発電システム実証研究（セミサブ型）、2016.
- 9) 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）：2014年度～2018年度成果報告書 風力発電等技術研究開発/洋上風力発電等技術研究開発/次世代浮体式洋上風力発電システム実証研究（共通基盤調査）、2019.
- 10) CURBON TRUST: Floating Offshore Wind: Market and Technology Review, 2015.
- 11) Kevin Banister: Principle Power Inc. WindFloat Pacific Project Final Scientific / Technical Report, 2017.
- 12) 今村博、戸塚義孝他：10MW風車に関する仕様検討、第37回風力エネルギー利用シンポジウム講演会論文集、pp.197-200, 2017.
- 13) 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）：NEOWinds（洋上風況マップ）
http://app10.infoc.nedo.go.jp/Nedo_Webgis/top.html
（2020年3月5日）

